CAPÍTULO IV

Comunidade fitoplanctônica e seus limitantes ambientais no reservatório de Guarapiranga, São Paulo – SP

*Leila dos Santos Machado¹, Larissa Gonçalves Santos¹, Julio Cesar Lopéz Doval², Marcelo Luiz Martins Pompeo³, Viviane Moschini Carlos¹

¹Universidade Estadual Paulista, Instituto de Ciência e Tecnologia – ICT UNESP Sorocaba

²Catalan Institute for Water Research - ICRA, University of Girona - Catalonia, Spain

³Universidade de São Paulo, Instituto de Biociências – IB USP São Paulo

*leila.machado@unesp.br

<https://doi.org/10.4322/978-65-86819-07-6-04>

RESUMO

O presente estudo de caso teve como objetivo avaliar a comunidade fitoplanctônica e sua relação com as variáveis ambientais, no reservatório de Guarapiranga, no período seco e chuvoso durante o ano de 2014. As amostras referem-se à região montante (local A), intermediária (local B) e barragem (local C). Os maiores valores de nitrogênio, PO_4^{3-} , pH, condutividade, clorofila-a e biomassa algal, foram registrados para o local B. Houve predominância de cianobactérias potencialmente tóxicas (*C. raciborskii* e *P. limnetica*) em ambos os períodos no local B e, segundo análise estatística, as espécies estiveram correlacionadas às elevadas concentrações de NH_4^+ e PO_4^{3-} . No período seco, foi observada dominância de *Didymocistis* sp no local C, correlacionada à elevadas concentrações de NO_3^- , zona eufótica e pH. Estes resultados estão relacionados às características do entorno urbanizado do reservatório; porém, também refletem a influência da transposição do Sistema Billings-Guarapiranga, a qual esteve operante praticamente o ano todo, devido à intensa estiagem em 2014. Além disso, o manejo com algicidas para controle do fitoplâncton é outra medida que altera artificialmente a qualidade da água, favorecendo a dominância das espécies identificadas pelo presente estudo.

Palavras-chave: Fitoplâncton; Reservatórios; Guarapiranga; Cianobactérias; Algicidas

INTRODUÇÃO

Em virtude da multiplicidade dos usos relativos aos reservatórios, a qualidade das águas destes ambientes é suscetível às alterações recorrentes. Aliadas a estes fatores, as características de formações dendríticas, profundidade relativamente rasa e áreas de seu entorno fragilizadas potencializam condições favoráveis à eutrofização. A incidência deste fenômeno é problemática, já que favorece a dominância de cianobactérias e, conseqüentemente, o acúmulo excessivo de matéria orgânica nestes ambientes devido aos episódios recorrentes de floração (Ye et al., 2015).

Em geral este processo de sucessão fitoplanctônica envolve uma série de etapas distintas promovendo a ocorrência de uma espécie dominante (Iachetti & Llames, 2015). Durante essa fase, a densidade destes organismos é constante, porém, após um determinado período de tempo e gradativamente, ocorre a substituição por outras espécies (Ortega-Mayagoitia et al., 2003; Padisák et al., 2003). Como consequência, esta dinâmica pode culminar na diminuição de interações competitivas, de modo que a composição da comunidade é limitada por conta das restrições ambientais (Harris, 1986; Iachetti e Llames, 2015; O'Farrell et al., 2015).

Diante de tais processos, existem ainda os fatores climáticos os quais exercem, também, grande influência na dinâmica dos reservatórios. Adicionalmente às atividades antrópicas, a elevação da temperatura global e períodos de estiagem cada vez mais intensos e maior disponibilidade de CO₂ proporcionam condições favoráveis para o crescimento do fitoplâncton, inclusive de cianobactérias, podendo formar florações tóxicas (Paerl e Paul, 2012; Ye et al., 2015; Huisman et al. 2018). Os efeitos das mudanças climáticas, relacionados ao grupo das cianobactérias, são ainda mais preocupantes devido às características fisiológicas, morfológicas e ecológicas destes organismos; as quais representam grande vantagem adaptativa a, por exemplo, alterações abruptas de luminosidade, turbulência e teores de nutrientes (Mischike, 2003; O'Farrell et al., 2015).

Além disso, nestes sistemas, há uma marcada heterogeneidade espacial na produtividade fitoplanctônica devido aos gradientes longitudinais da morfologia da bacia, velocidade de fluxo, tempo de residência, sólidos em

suspensão, luz e disponibilidade de nutrientes (Kimmel et al., 1990; Thorton, 1990). Neste sentido, dependendo da disponibilidade de nutrientes a estrutura das comunidades fitoplanctônicas podem ser afetadas, seja pelo aumento de biomassa de espécies abundantes ou pela variação da diversidade, sob o efeito da razão NT:PT (Havens et al., 2003; Deininger et al., 2017; Huisman et al., 2018).

Desta forma, o estudo da comunidade fitoplanctônica pode fornecer indicadores importantes quanto à ecologia dos reservatórios, dinâmica e disponibilidade de nutrientes e, até mesmo, impactos aos quais estes ambientes possam estar expostos, fornecendo informações essenciais ao aprimoramento da gestão destes ambientes.

Este estudo objetivou analisar o efeito das variáveis ambientais na diversidade, biomassa e riqueza da comunidade fitoplanctônica do reservatório de Guarapiranga, buscando identificar quais são os principais padrões resposta da comunidade fitoplanctônica em relação às condições ambientais e sazonalidade.

METODOLOGIA

Descrição dos locais amostrais

O reservatório de Guarapiranga é responsável pelo fornecimento de água para grande parte da região metropolitana de São Paulo. Ele está localizado a 23°43'S e 46°32'W, a uma altitude de 742 m, profundidade média de 7 m e máxima de 13 m. O tempo médio de retenção no ano de 2014 foi de 85 dias, indicando uma queda em relação a anos anteriores (Cetesb, 2015).

Machado et al. (2016) descreveram as condições que caracterizaram as campanhas realizadas nos períodos chuvoso e seco, as quais se referem os dados do presente estudo. Os locais de coleta foram denominados nesta ordem: região montante próxima ao Rodoanel (local A), região intermediária próxima ao tributário Parelheiros (local B) e região jusante próxima a barragem (local C). As amostras foram coletadas em triplicatas nos três pontos, em duas campanhas.

Fig. 1. Representação da área de estudo e localização dos locais amostrais distribuídos no reservatório de Guarapiranga. *Fonte: Faustino et al. (2016) com adaptações.* Legenda: Região próxima ao Rodoanel (A); região de Parelheiros (B); próximo a barragem (C).

Procedimentos de coleta em campo

As amostras de fitoplâncton foram coletadas utilizando rede de malha de 20µm e, em seguida, as mesmas foram fixadas com formaldeído a 4% para análise qualitativa. Para análise quantitativa, foi retirado da amostra integrada da coluna d'água um volume de 100 mL, colocada em frasco de vidro e fixadas com lugol acético 1%. A identificação dos organismos fitoplanctônicos baseou-se nos trabalhos de Komárek e Anagnostidis (1989; 1999; 2005), Bogaertes et al. (2014) e Compère (1967, 1976, 1977).

Análises laboratoriais e processamento dos dados

A contagem das algas foi realizada pelo método descrito por Utermöhl (1958). Foram calculados os índices de diversidade de Shannon e de Equabilidade para as classes, também foram calculados os dados de densidade e abundância para as classes e espécies. O cálculo do biovolume foi baseado nas metodologias de Hillebrand et al. (1999) e Sun & Liu (2003). Para obtenção do volume celular médio de cada espécie, foram medidos sempre que possível, até 30 espécimes.

Para avaliar o efeito das variáveis ambientais na ocorrência das classes e as espécies de acordo com a variação das variáveis limnológicas e entre os locais amostrais, foi efetuada uma análise de correspondência canônica (ACC), cujo critério de inclusão das variáveis se baseou numa análise de correlação linear de Pearson, adotando-se um intervalo de confiança de $p \leq 0,05$. Foram incluídas na ACC as espécies que contribuíram com mais de 5% tanto em biomassa quanto em abundância. Adicionalmente, com a finalidade de verificar o efeito do NT:PT nos índices de diversidade, foi efetuada uma análise de regressão linear. As análises foram efetuadas por meio dos programas Past 3 e pacote nativo do Software livre R Studio® 3.4.0.

RESULTADOS

Os valores e padrões de variação referentes às características físicas, químicas e biológicas do reservatório de Guarapiranga estão descritos em Machado et al. (2016). A razão NT:PT foi calculada e os valores estão apresentados na Tab. 1, onde é possível observar maiores razões no período

chuvoso no local A. Já no período seco as maiores razões foram observadas no local C. O fósforo total predominou como fator limitante no reservatório, com exceção apenas local B, no período seco, cujo valor calculado para este foi < 10 para razão NT:PT, indicando ser o único a possuir o NT como fator limitante.

Tab. 1. Razão NT:PT no período seco e chuvoso.

Local amostral	chuvoso	seco
A1	184,26	25,53
A2	242,80	21,29
A3	57,70	16,76
B1	19,35	9,78
B2	29,34	12,26
B3	22,93	19,74
C1	11,37	42,26
C2	23,54	21,88
C3	-	59,29

A comunidade fitoplanctônica do reservatório de Guarapiranga é composta principalmente pelas classes Chlorophyceae, Trebouxiophyceae e Cyanophyceae. Nos dois períodos, nos quais foram coletados os dados do estudo (estação chuvosa e seca), estas classes estiveram entre as três mais representativas em biomassa (Fig. 2).

Quanto à riqueza, a classe Chlorophyceae foi a mais representativa (71 táxons), em ambos os períodos. Os maiores índices de diversidade de Shannon (H) e riqueza (S) foram identificados no período chuvoso (H= 3,06 bits/ind e S= 61, já no período de seca: H= 2,22 e S=34). Adicionalmente foi observada variação espacial dos índices de diversidade e uma suposta variação em função da razão NT:PT, porém a análise de regressão linear não foi significativa para um possível efeito destes nutrientes na diversidade fitoplanctônica. É provável que esta variação dos índices esteja associada à ocorrência de espécies oportunistas e tolerantes às variações dos nutrientes, já que a diversidade não foi afetada de maneira linear. Contudo, estas condições, favoreceram o desenvolvimento de algumas espécies elevando os valores de biomassa, principalmente no período de seca (a).

Fig. 2. Biomassa por classe em cada local, no período chuvoso e no período de seca. Locais: Região próxima ao Rodoanel (local A), região de Parelheiros (local B) e região próxima à barragem (local C).

A partir dos dados de biomassa observados entre os períodos analisados, foram consideradas descritoras 63 espécies (Tab. 2). A alta variação dos valores de biomassa, entre a estação seca e chuvosa, estiveram relacionados à dominância de *Planktolyngbya limnetica* e *Didymocistis* sp, nos locais B e C, respectivamente. Também foram observadas variações na ocorrência de outras espécies que modificaram a estrutura da comunidade fitoplanctônica entre os períodos (como *Cylindrospermopsis raciborskii* no período de seca e de *P. limnetica* na estação chuvosa). A predominância destas espécies, especialmente no período de seca, contribuiu para que a proporção entre biomassa e diversidade fosse inversa. A análise segundo o modelo linear generalizado, elaborada para comparar as variações da biomassa média e os índices de diversidade, foi significativa ($p < 0,05$) (Fig. 3a e 3b), corroborando o pressuposto.

Fig. 3. (a) Biomassa média do fitoplâncton nos períodos chuvoso e seco em comparação com o índice de diversidade de Shannon. (b) Modelo linear generalizado comprova que a variação da biomassa influenciou significativamente ($p < 0,05$) na queda da diversidade fitoplanctônica entre os períodos analisados.

Tab. 2. Espécies fitoplancônicas descritoras organizadas de acordo com as classes indicando biomassa (mg.L⁻¹) nos locais amostrais ao longo do reservatório de Guarapiranga, nos períodos chuvoso e seco.

Classe	Biomassa (mg. L ⁻¹)																	
	Espécie	Período chuvoso									Período seco							
		A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
Bacillariophyceae																		
<i>Nitzschia</i> sp Hassall	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,49	5,92	12,20
<i>Stauroneis</i> sp Ehrenberg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,96	-	-	-	-	-
Chlorophyceae																		
<i>Ankistrodesmus falcatus</i> Corda	-	2,80	1,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Chlamydomonas</i> sp Ehrenberg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,15	0,37	-	-	-	-	0,69	-	-
<i>Chlamydomonas epibiotica</i> Ettl	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,14	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Chlorella vulgaris</i> Beyerinck [Beijerinck]	0,85	0,63	0,73	-	-	-	1,27	0,72	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Coelastrum cambricum</i> W.Archer	-	-	3,04	2,03	-	5,24	3,92	3,39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Coelastrum reticulatum</i> (P.A.Dangeard) Senn	3,04	3,64	2,50	2,03	4,93	3,04	3,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Golenkinia radiata</i> Chodat	-	-	-	4,32	-	-	13,71	8,65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Kirchneriella obesa</i> (West) West & G.S.West	0,56	1,12	0,84	0,14	-	0,14	0,14	0,28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Monoraphidium contortum</i> (Thuret) Komárková-Legnerová	0,06	0,08	0,07	0,13	0,19	0,14	0,20	0,31	0,03	0,02	0,04	0,09	0,09	0,06	0,16	0,16	0,14	0,14
<i>Monoraphidium griffithii</i> (Berkeley) Komárková-Legnerová	0,17	0,53	0,29	0,30	0,17	0,15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Monoraphidium minutum</i> (Nägeli) Komárková-Legnerová	0,05	0,03	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Monoraphidium setiforme</i> (Nygaard) Komárková-Legnerová	0,18	0,37	0,20	0,33	0,31	0,33	0,20	0,21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Scenedesmus obtusus</i> Meyen	-	-	-	-	-	-	-	-	0,63	-	-	21,78	9,03	8,89	211,62	318,40	299,24	299,24
<i>Scenedesmus obtusus</i> f. <i>alternans</i> (Reinsch) Compère	-	-	-	-	3,09	-	6,49	3,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(continua)

Classe	Biomassa (mg. L ⁻¹)																	
	Espécie																	
	Período chuvoso									Período seco								
	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3	
<i>Scenedesmus obtusus f. eornis</i> Compère	-	-	-	18,68	4,77	3,50	4,13	7,17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Scenedesmus quadricauda</i> (Turpin) Brébisson	-	3,80	3,80	14,59	6,67	2,13	4,69	5,27	1,52	1,52	3,04	6,62	6,29	6,41	22,77	21,78	19,95	
<i>Schroederia indica</i> Philipose	-	-	-	-	-	0,14	0,25	0,32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Sphaerocystis</i> R.Chodat	-	-	47,44	0,46	7,28	0,55	-	1,28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Tetrastrum komarekii</i> Hindák	1,08	1,07	1,04	1,79	1,08	1,16	1,09	1,16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Conjugatophyceae																		
<i>Cosmarium abbreviatum</i> Raciborski	0,37	-	-	-	-	0,22	0,19	0,16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Cosmarium contractum</i> O.Kirchner	4,27	5,34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Gonatozygon monotaenium</i> De Bary	-	2,59	4,23	3,62	4,52	1,40	6,40	3,82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Teilingia granulata</i> (J.Roy & Bisset) Bourrelly	3,89	1,60	2,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Coccinodiscophyceae																		
<i>Cyclotella</i> (Kützing) Brébisson	-	-	0,05	0,08	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing	-	-	-	0,04	-	0,04	0,05	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Melosira distans</i> (Ehrenberg) Kützing	-	-	-	3,75	3,41	2,29	0,82	2,88	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cryptophyceae																		
<i>Cryptomonas brasiliensis</i> A.Castro, C.Bicudo & D.Bicudo	1,56	2,36	1,30	1,07	-	-	-	-	1,97	1,47	3,56	2,79	2,91	3,37	-	1,72	1,18	
<i>Cryptomonas curvata</i> Ehrenberg	12,77	18,28	2,95	4,17	12,77	-	-	-	7,42	4,32	15,26	-	-	-	-	-	-	
<i>Cryptomonas erosa</i> Ehrenberg	-	-	-	37,76	26,19	20,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cyanophyceae																		
<i>Aphanocapsa delicatissima</i> West & G.S.West	-	48,58	24,29	11,58	13,66	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Aphanocapsa holsatica</i> (Lemmermann) G.Cronberg & Komárek	-	-	-	-	-	-	-	-	0,81	1,93	1,08	-	-	-	-	-	-	

(continua)

Classe	Biomassa (mg. L ⁻¹)																	
	Período chuvoso												Período seco					
	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3	
<i>Aphanocapsa incerta</i> (Lemmermann) G.Cronberg & Komárek	2,41	1,45	1,45	1,45	-	2,12	-	1,89	1,79	1,29	1,09	-	1,74	-	-	3,62	6,78	1,48
<i>Cyanogranis ferruginea</i> (F.Wawrik) Hindák ex Hindák	0,02	0,05	0,02	0,02	0,01	-	-	-	0,01	-	0,01	-	-	-	-	0,15	-	-
<i>Cylindropermopsis raciborskii</i> (Woloszynska) Seenayya & Subb a Raju	5,28	-	7,64	14,05	13,05	9,73	6,80	6,80	-	-	-	6,80	5,56	5,28	-	-	-	-
<i>Geitlerinema amphibium</i> (C.Agardh ex Gomont) Anagnostidis	-	-	3,75	4,67	5,72	4,94	2,75	3,64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Merismopedia tenuissima</i> Lemmermann	0,48	0,48	0,48	0,48	0,93	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Merismopedia trolleri</i> Bachmann	0,28	-	-	1,64	0,35	0,50	0,30	3,71	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Myxobaktron</i> sp W. Schmidle	-	-	-	0,08	0,06	-	0,04	0,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Planktolyngbya limnetica</i> (Lemmermann)Komárková-Legnerová & Cronberg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36,08	36,80	27,96	-	-	-	-
<i>Planktothrix isothrix</i> (Skuja) Komárek & Komárková	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18,04	16,54	13,14	-	-	-	-
<i>Pseudanabaena galeata</i> Böcher	1,61	0,20	0,22	2,52	0,02	0,01	2,57	1,61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Snowella lacustris</i> (Chodat) Komárek & Hindák	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	0,01	0,02	-	-	-	-	0,06	0,04	-
<i>Synechocystis aquatilis</i> Sauvageau	-	-	0,37	0,06	-	-	0,06	-	0,66	1,00	1,26	-	-	-	-	-	-	-
Dinophyceae																		
<i>Dinobryon divergens</i> O.E.Imhof	0,75	0,88	0,74	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Dinobryon</i> sp Ehrenberg	-	-	-	-	-	-	-	-	0,19	0,15	0,42	-	-	-	-	-	-	-
<i>Gymnodinium rotundatum</i> Klebs	-	4,71	4,71	25,94	16,58	10,17	3,61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Peridinium cinctum</i> (O.F.Müller)Ehrenberg	-	-	11,35	39,85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Euglenophyceae																		

(conclusão)

Classe	Biomassa (mg. L ⁻¹)																
Espécie	Período chuvoso									Período seco							
	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
<i>Petalomonas</i> sp F.Stein	-	-	-	-	0,99	0,73	1,73	1,15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Strombomonas</i> Deflandre	-	-	-	-	-	-	-	-	0,80	0,84	4,14	-	-	-	-	-	-
<i>Trachelomonas</i> spp Ehrenberg	1,21	0,93	0,47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Trachelomonas hispida</i> (Perty) F.Stein	8,15	13,49	6,57	8,99	12,23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Trachelomonas volvocina</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	1,88	0,73	0,32	5,56	5,64	3,03	3,06	3,50	1,59	1,89	2,66	0,58	0,69	0,37	0,56	0,91	0,89
Fragilariophyceae																	
<i>Synedra</i> spp Ehrenberg	-	-	-	0,43	-	0,94	1,75	0,73	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Synedra rumpens</i> Kützing	-	-	-	0,47	1,06	0,60	2,84	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Klebsormidiophyceae																	
<i>Elakatothrix genevensis</i> (Reverdin) Hindák	-	-	-	0,72	0,71	0,57	0,47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Trebouxiophyceae																	
<i>Actinastrum hantzschii</i> Lagerheim	-	-	-	1,47	0,14	0,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Crucigenia crucifera</i> (Wolle) O.Kuntze	-	-	-	0,90	0,13	0,09	0,13	0,45	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> H.C.Wood	69,49	-	-	-	0,25	0,20	-	1,26	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Didymocystis</i> sp Korshikov	-	-	-	-	-	-	-	-	0,06	0,10	0,09	0,36	0,19	0,16	135,24	148,96	93,38
<i>Micractinium pusillum</i> Fresenius	-	-	1,63	1,86	1,63	2,36	3,26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Nephrocytium agardhianum</i> Nägeli	4,80	3,00	10,08	0,75	-	0,75	0,23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Locais: região próxima ao Rodoanel (local A), região de Parelheiros (local B) e região próxima a barragem (local C).																	

Locais: região próxima ao Rodoanel (local A), região de Parelheiros (local B) e região próxima a barragem (local C).

As ACC's elaboradas com base nos dados das espécies descritoras, em cada um dos períodos, demonstraram alto poder explanatório (Fig. 4 e Fig. 5).

Por meio destas análises, pode-se observar a marcada heterogeneidade espacial da composição fitoplanctônica no reservatório de Guarapiranga. Neste sentido, a região do Rodoanel (local A) difere dos demais locais, em ambos os períodos, ficando ordenada oposta às variáveis relacionadas à eutrofização, ao passo que as regiões de Parelheiros e da barragem (locais B e C) apresentaram alta correlação com as mesmas.

Fig.4. Biplot da ACC entre as variáveis ambientais e a biomassa das espécies descritoras, locais amostrais, na estação chuvosa. Legenda: Locais amostrais: próximo ao Rodoanel (local A), região de Parelheiros (local B) e região da barragem (local C). Variáveis: zona eufótica (zona euf) Clorofila-a (Cla); pH, condutividade elétrica (Cond), nitrito (N-NO₂), nitrato (N-NO₃⁻), amônio (N-NH₄⁺), nitrogênio total (N), fósforo total (P), e as espécies: *Actinastrum hantzschii*, *Cosmarium contractum*, *Crucigenia crucifera*, *Cryptomonas brasiliensis*, *Cryptomonas erosa*, *Cyclotella meneghiniana*, *Cillindrospermopsis raciborskii*, *Didymocystis fina*, *Dinobryon divergens*, *Elakatothrix genevensis*, *Geitlerinema amphibium*, *Golenkinia radiata*, *Gonatozygon monotaenium*, *Gymnodinium rotundatum*, *Melosira distans* var. *africana*, *Merismopedia tenuissima*, *Monoraphidium contortum*, *Monoraphidium griffithii*, *Myxobaktron*, *Nephrocystium aghardhianum*, *Petalomonas*, *Pseudanabaena galeata*, *Scenedesmus obtusus* f. *alternans*, *Scenedesmus obtusus* f. *ecornis*, *Scenedesmus quadricauda*, *Teilingia granulata*, *Trachelomonas volvocina*.

Fig.5. Biplot da ACC entre as variáveis ambientais e a biomassa das espécies descritoras, locais amostrais, na estação seca. Legenda: Locais amostrais: próximo ao Rodoanel (local A), região de Parelheiros (local B) e região da barragem (local C). Variáveis: zona eufótica (zona euf) Clorofila-a (Cla); pH, condutividade elétrica (Cond), nitrito (N-NO₂), nitrato (N-NO₃⁻), amônio (N-NH₄⁺), nitrogênio total (N), fósforo total (P), e as espécies: *Aphanocapsa holsatica*, *Aphanocapsa incerta*, *Cryptomonas curvata*, *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Didymocistis sp*, *Dinobryon sp*, *Monoraphidium contortum*, *Nitzschia sp*, *Planktolyngbya limnetica*, *Planktothrix isotrix*, *Scenedesmus obtusus*, *Scenedesmus quadricauda*, *Strombomonas sp*, *Synechocystis aquatilis*, *Trachelomonas volvocina*.

A ordenação dos dados de biomassa por classe e variáveis físico-químicas (clorofila-a; pH, condutividade elétrica, N-NO₂⁻, N-NO₃⁻, N-NH₄⁺, TN e TP), obtida por meio da ACC, indicou que na estação chuvosa (Fig. 4) a variação dos dados entre os locais teve maior similaridade se comparada ao período de seca (Fig. 5). Ainda assim, no período chuvoso, o fato de o local A (região do Rodoanel) ficar isolado no arranjo, indica compartimentalização, tanto relacionada à comunidade fitoplanctônica quanto às variáveis ambientais, devido a ocorrência de algumas espécies somente neste local, principalmente organismos pertencentes à classe Chlorophyceae. Por outro lado, a alta correlação do local B (Parelheiros) com as cianobactérias potencialmente tóxicas (*C. raciborskii* e *G. amphibium*) exprime sua vulnerabilidade à variação das características ambientais (N-NO₂⁻, N-NH₄⁺, TP) por conta do lançamento de efluentes na região, agravado pela transposição do sistema Billings – Guarapiranga. Como consequência, a variação das características ambientais do local C (barragem) foi similar ao local B, o que pode ser observado pela

organização no arranjo (Fig. 4), sugerindo que esta situação pode influenciar a qualidade da água na região da barragem.

No período de seca, a variação dos dados resultou em um arranjo heterogêneo na ACC (Fig. 5). Neste sentido, as características dos locais amostrais diferiram significativamente, de modo que o local A (região do Rodoanel) e as espécies *Aphanocapsa holsatica*, *Coelastrum cambricum*, *Cryptomonas verrucosa*, *Scenedesmus acutus*, *Strombomonas* sp e *Tachelomonas volvocina* tiveram alta correlação à variável zona eufótica, o que indica a necessidade destas espécies por maior incidência de luz na coluna d'água para seu desenvolvimento. Estas espécies ficaram ordenadas em oposição às variáveis comumente relacionadas à eutrofização (NH_4 , NT, PT e Clorofila-a). Assim, as espécies que tiveram alta correlação com estas variáveis foram *Dolichospermum* sp, *Monoraphidium contortum*, *Planktothrix isothrix* e *Planktolyngbya limnetica*. Estas características evidenciam as vantagens adaptativas das cianobactérias, em condições restritas de luminosidade e elevados teores de nutrientes e amônio, como ocorre no local B (Parelheiros) comprometendo a região da barragem (local C).

DISCUSSÃO

A comunidade fitoplanctônica do reservatório Guarapiranga teve distribuição heterogênea, e a ocorrência das espécies variou de acordo com as características ambientais particulares de cada região do reservatório. Esta forma de distribuição está relacionada à sensibilidade que estes organismos têm às mudanças ambientais, conferindo ao fitoplâncton o papel de bioindicador (Reynolds, 2006). Embora tenha ocorrido variação da distribuição espacial dos organismos, a composição taxonômica da comunidade fitoplanctônica foi similar àquela identificada por Nishimura et al. (2014), indicando que a mesma possui certa estabilidade. Segundo Calijuri et al. (2002) esta estabilidade pode ser explicada quando o reservatório possui um longo tempo de retenção, como é o caso do Guarapiranga (tempo médio de 85 dias, Machado et al., 2016). Outros estudos relatam que o tempo de residência pode ser determinante para a dinâmica da comunidade fitoplanctônica, já que ele

pode regular a sobrevivência ou mortandade dos organismos (O'Farrell et al., 2016).

Por outro lado, os índices de diversidade que foram relativamente menores quando as concentrações dos nutrientes estiveram elevadas, como o que ocorreu nas amostras obtidas no período de seca. As condições ambientais deste período favoreceram o desenvolvimento de espécies fixadoras de nitrogênio e adaptadas a menor incidência de luz (como as cianobactérias no local B: *C.raciborskii* e *P.limnetica*). Foi observada uma tendência à diminuição dos índices de diversidade de acordo com a razão NT:PT, porém, a análise de regressão não indicou dados significativos. Ainda assim, nos locais para os quais foram observados os maiores valores da razão NT:PT, a biomassa algal foi menor se comparada aos locais nos quais foram constatadas menores razões. Paralelamente, espécies fixadoras de nitrogênio foram dominantes e tiveram os maiores valores de biomassa. Outros estudos já relataram estes efeitos determinante das razões NT:PT sobre a dominância de espécies fitoplanctônicas, sugerindo que quando o NT é o fator limitante ocorre crescimento em biomassa, já o PT como fator limitante promove a seleção de espécies adaptadas à estas condições (Schindler, 1977; Smith, 1983; Bulgakov & Levich, 1999; Dokulil & Teubner, 2000; Havens et al., 2003; Deininger et al., 2017).

As ACC's efetuadas para as espécies no período chuvoso e de seca, comprovam que alta variação dos valores de biomassa foi uma resposta à variação dos fatores ambientais (nutrientes, clima seco e chuvoso) e espaciais (aporte de efluentes domésticos e compartimentalização). Na região do Rodoanel (local A), ainda que tenham sido observadas diferenças em sua composição de um período para outro, os gêneros mais representativos em biomassa correlacionados a este local (*Dinobryon* sp, *Aphanocapsa* sp, *Cryptomonas* sp) são geralmente relacionados à ambientes com baixas concentrações de nutrientes e maior zona eufótica (Reynolds et al., 2006). A região de Parelheiros (local B), nos dois períodos, esteve correlacionada à elevada biomassa de cianobactérias (*Cylindrospermopsis raciborskii* e *Planktolyngbya limnetica*), conforme já observado por Machado et al. (2016), é possível que a dominância deste grupo esteja relacionada às altas concentrações de amônio, compondo fortes características de ambientes

poluídos por efluentes domésticos. Já na região da barragem (local C), diferentemente dos demais locais, foi encontrada a maior variação de biomassa e de nutrientes entre o período seco e chuvoso. No período seco, a baixa diversidade e a alta correlação, observada entre o gênero *Didymocystis* sp com a variação de nitrito e nitrato, indicam que o crescimento destes organismos pode ter sido impulsionado pela maior disponibilidade de nitrogênio (Deininger et al., 2017). Porém, as características desta região envolvem outros fatores incertos, já que a dominância desta espécie no local C, também pode ser uma consequência do manejo com uso de algicidas no reservatório, promovendo a alternância de espécies e baixa equidade na comunidade.

De maneira geral, a dinâmica da comunidade fitoplanctônica no reservatório de Guarapiranga está exposta aos efeitos do manejo realizado no local com o objetivo de controlar as florações. Alguns estudos relataram o uso de algicidas (peróxido de hidrogênio e sulfato de cobre) para controle de florações e sugerem que tal prática possa ter efeito nas características da composição fitoplanctônica no local e em outros organismos (Cetesb, 2012; Beghelli et al., 2015; Cardoso-Silva, Mariani e Pompêo, 2015).

Contudo, na região do local B, é possível que a baixa qualidade das águas provenientes do tributário Parelheiros tenha influenciado a qualidade da água no reservatório como um todo, conforme já foi sugerido por Moschini-Carlos et al. (2009) e Nishimura et al. (2014) favorecendo, até mesmo, a transferência de espécies invasoras e/ou potencialmente tóxicas. Moschini-Carlos et al. (2009) relataram a problemática das florações potencialmente tóxicas e a presença de cianotoxinas no reservatório Billings. Os autores comentam a respeito dos efeitos que estas alterações podem desencadear no reservatório de Guarapiranga devido à ligação que estes mananciais possuem por estarem conectados pelo braço Taquacetuba.

No presente estudo, a influência do tributário Parelheiros foi mais forte na região intermediária (local B) do reservatório com reflexos à jusante (região da barragem, local C), principalmente período de seca, comprovando os impactos negativos que esta transposição desencadeia no Guarapiranga. Segundo Machado et al. (2016) o ano de 2014 foi marcado por um período de estiagem intensa e, com a diminuição do volume de armazenamento do sistema Cantareira, as regiões que são abastecidas pelo Guarapiranga foram

expandidas, ampliando a distribuição de água para áreas prejudicadas pela falta de abastecimento. Assim, a transposição de água do braço Taquacetuba da Billings para Guarapiranga esteve operante praticamente o ano todo para suprir esta demanda, elevando sua capacidade de abastecimento (Sabesp, 2015). Porém, esta atividade favoreceu a transferência de espécies potencialmente tóxicas e a piora da qualidade da água no reservatório, no período em que esteve operante.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados sugerem uma possível tendência de diminuição da diversidade e riqueza em função da razão N:P. As informações da composição da comunidade fitoplanctônica levantadas por este estudo somada ao histórico do reservatório Guarapiranga, reforçam a influência destas e de outras variáveis (como zona eufótica, pH) na diminuição da diversidade e favorecimento da dominância de cianobactérias potencialmente tóxicas.

O efeito da variação dos nutrientes sob a composição da comunidade fitoplanctônica ficou mais evidente ao observar os resultados das ACC's, nos quais os arranjos formados foram representados principalmente por grupos de espécies fixadoras de nitrogênio correlacionadas ao NT, enquanto que outros grupos tiveram correlação com características físicas (como zona eufótica), principalmente.

Conforme já mencionado por outros estudos, faz-se necessário o monitoramento constante do sistema de transposição Billings – Guarapiranga. Com a incidência cada vez mais frequente de intensos períodos de estiagem, este sistema tem afetado diretamente as características limnológicas da região de Parelheiros. Neste sentido, é muito provável que no futuro estes efeitos deletérios acometam uma extensão cada vez maior do reservatório de Guarapiranga, favorecendo ainda a dominância de espécies potencialmente tóxicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Beghelli, F.G.S. et al. 2015. Aplicações de sulfato de cobre no reservatório Guarapiranga, SP: Distribuição no meio e efeitos sobre a comunidade

planctônica. In: POMPEO, M. et al. (Org.). Ecologia de Reservatórios e Interfaces. 1ed. São Paulo: Universidade de São Paulo, v. 1, p. 294-308.

Bogaerts, A., Haan, M., Van De Vijver, B., Cocquyt, C. 2014. A complete catalogue of algal taxa described by Pierre Compère. Plant Ecology and Evolution. v.147, 3rd ed. p. 311-324.

Bulgakov, N.G. & Levich, A.P. 1999. The nitrogen: phosphorus ratio as a factor regulating phytoplankton community structure. Arch. Hydrobiol v.146, p. 3-22.

Calijuri, M.C., Santos, A.C.A.D., Jati, S. 2002. Temporal changes in the phytoplankton community structure in a tropical and eutrophic reservoir (Barra Bonita, S.P.—Brazil). Journal of Plankton Research, Volume 24, Issue 7, Pages 617–634.

Cardoso-Silva, S., Mariani, C.F., Pompêo, M.L.M. 2015. Análise crítica da resolução CONAMA n 357 à luz da Diretiva Quadro da Água da comunidade europeia: estudo de caso (represa do Guarapiranga - São Paulo, Brasil). In: Pompêo, M. et al. (Org.). Ecologia de reservatórios e interfaces. 1ed. São Paulo: Universidade de São Paulo, v. 1, p. 367-375. 2015

Cetesb - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (São Paulo). 2012. Qualidade das águas superficiais no Estado de São Paulo. 2011. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/35-publicacoes/-relatorios>>. Acessado em: 12 de nov 2017.

Cetesb - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (São Paulo). Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2014 e 2015. Disponível em: <<http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-e-relatorios/>> Acesso em 13 nov. 2017.

Compère, P. 1977. Algues de la région du lac Tchad. VII : Chlorophycophytes (3ème partie: Desmidiées). Cahiers Orstom. Série Hydrobiologie, 11 (2), p. 77-177.

Compère, P. 1976. Algues de la région du lac Tchad. VI : Chlorophycophytes (2e partie: Ulotrichophycees, Zygnematacees). Cahiers Orstom. Série Hydrobiologie, 10 (3), 135-164.

Compère, P. 1967. Algues du Sahara et de la région du lac Tchad. Bulletin Du Jardin Botanique National de Belgique 37: 109-288.

Deininger, A., Faithfull, C.L., Bergström, A.K. 2017. Phytoplankton response to whole lake inorganic N fertilization along a gradient in dissolved organic carbon. Ecology, 98(4), 982–994.

Dokulil, M.T. & Teubner, K. 2000 Cyanobacterial dominance in lakes. Hydrobiologia 438: 1-12.

Faustino, S.B. et al. 2016. Composition and distribution of diatom assemblages from core and surface sediments of a water supply reservoir in Southeastern Brazil. *Biota Neotropica*. 16(2):e20150129.

Haande, S. et al. 2011. Phytoplankton dynamics and cyanobacterial dominance in Murchison Bay of Lake Victoria (Uganda) in relation to environmental conditions. *Limnologica* 41, 20–29.

Harris, G.P. 1986. *Phytoplankton Ecology*. Chapman & Hall, London.

Havens, K.E., James, R.T., East, T.L. & Smith, V.H. 2003. N:P ratios, light limitation, and cyanobacterial dominance in a subtropical lake impacted by non-point source nutrient pollution. *Environmental Pollution* 122 (3):379-390.

Henry, R., Nunes, M.A., Mitzuka, P.M., Lima, N.D. & Casanova, S.M.C. 1998. Variação espacial e temporal da produtividade primária pelo fitoplâncton na represa de Jurumirim (Rio Paranapanema, SP). *Rev. Bras. Biol.*, 58(4): 571-590.

Hillebrand, H., Dürselen, C-D., Kirschtel, D. 1999. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *J Phycol* 35:403–424.

Huisman, J. et al. 2018. Cyanobacterial blooms - *Nature Reviews Microbiology* - volume 16, pages 471–483.

Iachetti, C.M. & Llames, M.E. 2015. Light limitation helps stabilize the phytoplankton assemblages steady-state in a temperate and highly turbid, hypertrophic shallow lake (Laguna Chascomú's, Argentina). *Hydrobiologia* 752, 33–46.

Kimmel, B.L., Lind, O.T., Paulson, L.J. 1990. Reservoir Primary Production. In: Thornton, K.W., Kimmel, B.L. & Payne, F.E. (Ed.). *Reservoir Limnology: Ecological Perspectives*. New York: John Wiley & Sons, p.133-193.

Komárek, J. & Anagnostidis, K. 2005. *Süsswasserflora von Mitteleuropa*. Cyanoprokaryota: 2. Teil/2nd Part: Oscillatoriales. Vol. 19 pp. 1-759. München: Elsevier Spektrum Akademischer Verlag.

Machado, L.S. et al. 2016. Fatores ambientais relacionados à ocorrência de cianobactérias potencialmente tóxicas no reservatório de Guarapiranga, SP, Brasil. *Ambiente & Água- An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v. 11, n. 4.

Mischke, U. 2003. Cyanobacteria associations in shallow polytrophic lakes: influence of environmental factors. *Acta Oecologica*, 24 (S11-S23).

Moschini-Carlos, V. et al. 2009. Cyanobacteria and Cyanotoxin in the Billings Reservoir (São Paulo, SP, Brazil). *Limnética*, Vol. 28, Núm. 2, p. 273-282.

- Nishimura, P.Y., Meirinho, P.A., Moschini-Carlos, V., Pompêo, M.L.M. 2014. Does the plankton community follow the water quality heterogeneity in a tropical urban reservoir (Guarapiranga reservoir, São Paulo, Brazil) *Limnetica*, 33(2): 263-280.
- O'Farrell, I., Vinocur, A., Pinto, P.T. 2015. Long – term study of bloom-forming cyanobacteria in a highly fluctuating vegetated flood plain lake: a morpho-functional approach. *Hydrobiologia* - 752:91–102.
- Ortega-Mayagoitia, E., ROJO, C., RODRIGO, M. A. 2003. Controlling factors of phytoplankton assemblages in wetlands: an experimental approach. *Hydrobiologia*, 502: 177-186.
- Padisa'k, 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: 1–19.
- R Development Core Team. 2011. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Reynolds, C.S. The ecology of phytoplankton. Cambridge University Press, 2006.
- Schindler, D.W. Evolution of Phosphorus Limitation in Lakes. *Science* 195 (4275):260-262. 1977
- Smith, V.H. 1983. Low nitrogen to phosphorus ratios favour dominance by blue-green algae in lake phytoplankton. *Science*, 221: 669-671.
- Sun, J. & Liu, D. 2003. Geometric models for calculating cell biovolume and surface area for phytoplankton. *Journal of plankton Research*. vol 25. n 11. p 1331–1346.
- Thorton, K.W. 1990. Perspectives on reservoir limnology. In: Thorton, K.W; Kimmel, B. L. & Payne, F.E. *Reservoir limnology: ecological perspectives*. New York, John Wiley. p1-13.
- Tundisi, J. G. 2003. Água no século XXI: enfrentando a escassez. São Carlos: Rima/IIE, v. 1.
- Utermohl, H. 1958. Zur vervollkommnung der quantitativen phytoplankton-methodik. Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte. *Limnologie: Mitteilungen* v.9, p.1-38.
- Yu, Q., et al. 2016. Longitudinal variations of phytoplankton compositions in lake-to-river systems. *Limnologica*. v. 62, p. 173-180