

## Compartimentalização e qualidade da água: o caso da Represa Billings

### *Compartmentalization and water quality: Billings reservoir case*

Sheila Cardoso-Silva<sup>1</sup>  
Paula Yuri Nishimura<sup>1</sup>  
Paula Regina Padial<sup>2</sup>  
Carolina Fiorillo Mariani<sup>1</sup>  
Viviane Moschini-Carlos<sup>3</sup>  
Marcelo Luiz Martins Pompêo<sup>1</sup>

### RESUMO

A Represa Billings, maior reservatório de água da Região Metropolitana de São Paulo, devido à sua importância estratégica e à degradação na qualidade de suas águas, foi e continua sendo alvo de muitos estudos. A fim de avaliar de maneira integral a qualidade das águas superficiais desse manancial, investigaram-se diversas variáveis limnológicas ao longo de 20 pontos. Analisaram-se as variáveis: temperatura, pH, condutividade elétrica, transparência da água, oxigênio dissolvido, sólidos totais, nitrogênio total, nitrato, nitrito, amônio, ortofosfato, ortossilicato, clorofila *a* e feofitina. De maneira geral, a represa apresenta sinais de degradação da qualidade da água, com elevados teores de clorofila *a*. Análise de Componentes Principais forneceu nítida separação dos braços formadores da Represa Billings. Observaram-se sete compartimentos: 1) região de Pedreira, sob influência das águas do rio Pinheiros, apresentou elevados teores de nutrientes e clorofila *a*; 2) região do Corpo Central e Bororé, sob influência das águas provenientes de Pedreira, apresentou elevados teores de sólidos totais; 3) região do Taquacetuba; 4) região do *Summit Control*, Riacho Grande, partes do Taquacetuba e Capivari, sob influência da variável amônio; 5) Braços Capivari e 6) Rio Pequeno apresentaram os menores teores de clorofila *a* e nutrientes; 7) Braço Rio Grande, constantemente submetido à aplicação de algicidas, isolado do restante da Represa Billings. A compartimentação da Represa Billings deve-se

<sup>1</sup> Universidade de São Paulo, Instituto de Biociências, Departamento de Ecologia. R. do Matão, 321, Travessa 14, 05508-900, São Paulo, SP, Brasil. Correspondência para/Correspondence to: S. CARDOSO-SILVA. E-mail: <sheilacardoso@usp.br>.

<sup>2</sup> Prefeitura Municipal de Santo André, Serviço Municipal de Saneamento Ambiental. Santo André, SP, Brasil.

<sup>3</sup> Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Departamento de Engenharia Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. Sorocaba, SP, Brasil.

principalmente à sua conformação dendrítica, associada às atividades antrópicas, como a ocupação do seu entorno. Portanto, é crucial reduzir a carga de nutrientes que penetram nesse ecossistema, o que pode ser obtido por meio do controle dos assentamentos urbanos e medidas de saneamento básico.

**Palavras-chave:** Águas superficiais. Eutrofização. Heterogeneidade espacial. Nutrientes.

## ABSTRACT

*Billings reservoir, the biggest reservoir in the Metropolitan Region of São Paulo (SP), due its strategic importance and the deterioration in its water quality over time, was and remains, subject of many studies in several areas. In order to assess the water quality of this source, several limnological features were investigated throughout 20 surface points. Were analysed: temperature, pH, electrical conductivity, water body transparency, dissolved oxygen, total solids, total nitrogen, nitrate, nitrite, ammonium, orthophosphate, orthosilicate, chlorophyll a and phaeophytin. In general, Billings Complex has signs of water quality degradation, with high levels of chlorophyll a. Principal Component Analysis provided a clear separation of the Complex Billings' arms. Were observed seven compartments: 1) Pedreira region, influenced by Pinheiros river, presented high levels of nutrients and chlorophyll-a; 2) Corpo Central and Bororé regions, influenced by Pedreira's waters, with high levels of total solids; 3) Taquacetuba region; 4) Summit Control, Riacho Grande and parts of Taquacetuba and Capivari, influenced by the variable ammonium; 5) Capivari and 6) Rio Pequeno, both areas had the lowest levels of chlorophyll a and nutrients; 7) Rio Grande, with constant applications of algacides, isolated from the other Billings reservoir regions. The separation was probably due to the dendritic conformation of the reservoir associated with the operating system and human activities such as illegal occupation in the vicinity of the dam. Therefore, actions must be taken in order to reduce nutrient loading that continually enters this ecosystem, through urban settlements control in the region and appropriate sanitation.*

**Key words:** Surface water. Eutrophication. Spatial heterogeneity. Nutrients.

## INTRODUÇÃO

A Represa Billings, localizada a sudeste da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), na bacia hidrográfica do rio Tietê, é o maior reservatório de água da RMSP, com área de 127 milhões de m<sup>2</sup> e profundidade máxima de 19 m. Devido a seu formato irregular, a Represa Billings está subdividida em oito unidades, denominadas braços, os quais correspondem às sub-regiões da Bacia Hidrográfica: Rio Grande, Rio Pequeno, Capivari, Pedra Branca, Taquacetuba, Bororé, Cocaia e Alvarenga.

O Complexo Billings foi construído em 1927, com o intuito de gerar energia elétrica (Whately,

2003) para a usina Henry Borden, localizada no sopé da Serra do Mar, na Baixada Santista (SP). No início dos anos 1940, a fim de ampliar a capacidade de geração de energia da usina hidrelétrica Henry Borden, iniciou-se o desvio de parte da água dos rios Tietê e Pinheiros para o reservatório Billings, através das usinas elevatórias de Pedreira e Traição (Whately, 2003). Em 1958, o reservatório passou também a ter fins de abastecimento público. Contudo, o lançamento de efluentes domésticos no leito dos rios Tietê e Pinheiros, ao longo do tempo acabou por acarretar acelerado processo de eutrofização no reservatório. Outro agravante da qualidade das águas da Billings foi o avanço da urbanização e de outras

atividades antrópicas que levaram ao desmatamento acelerado do entorno e ocupação intensa de seus arredores por atividades irregulares (Capobianco & Whately, 2002). Em 1981, com os sérios problemas de florações de cianobactérias (Rocha, 1992), o braço Rio Grande foi totalmente isolado do restante da represa, para manter a qualidade da água em níveis adequados para o abastecimento público. Em 1992, o bombeamento de água dos rios Tietê e Pinheiros passou a ser restrito a situações emergenciais, como ameaças de enchente e risco de colapso na produção de energia elétrica.

Atualmente, na Represa Billings há dois importantes mananciais que abastecem a RMSP, o Reservatório Rio Grande (localizado no braço Rio Grande, isolado do restante da represa) e o braço Taquacetuba. O primeiro reservatório abastece 1,2 milhões de pessoas na região do Grande ABC Paulista (SP), enquanto o segundo braço reverte água para a Represa Guarapiranga, segunda maior represa de abastecimento público da RMSP, que atende a 3,8 milhões de pessoas.

Devido à sua importância estratégica e às mudanças na qualidade de suas águas ao longo do tempo, a Represa Billings foi - e continua sendo -, alvo de diversos estudos.

As primeiras pesquisas iniciaram-se no fim da década de 1950, desenvolvidas por Branco (1966) e Kawai & Branco (1969), com ênfase nas condições sanitárias, e por Palmer (1960), com ênfase no fitoplâncton.

Em 1977-1978, estudos sobre os braços Rio Grande e Rio Pequeno relacionaram as características físicas e químicas da água com a comunidade fitoplanctônica (Xavier, 1981a; 1981b) e zooplânctônica (Sendacz, 1984). Em 1979, um estudo limnológico foi realizado em 17 reservatórios do sudeste do estado de São Paulo, contemplando aspectos como climatologia (Santos & Paulo, 1985), circulação e estratificação (Maier, 1985), qualidade da água (Maier & Takino, 1985a), nutrientes e clorofila *a* (Santos & Paulo, 1985), fatores abióticos e clorofila *a* (Maier & Takino, 1985b), produtividade primária (Tundisi, 1983; Basile-Martins et al., 1985), fitoplâncton (Xavier et al., 1985), tipologia (Tundisi,

1981), entre outros (Matsumura-Tundisi et al., 1981). Dos reservatórios estudados, três regiões amostradas pertencem ao Complexo Billings: os braços Pedreira, Rio Grande e o reservatório Rio das Pedras.

Para estudar os efeitos do isolamento do braço Rio Grande, Maier et al. (1997) analisaram o comportamento diurno desse reservatório antes (1981) e depois de seu isolamento (1982, 1985 e 1986). Beyruth & Pereira (2002) estudaram esses efeitos sobre o fitoplâncton, em 1985-1986. Devido à sua importância para o abastecimento público da região, o braço Rio Grande foi estudado em diversos aspectos após seu isolamento: caracterização física e química da água (Maier et al., 1985), análise do potencial de autodepuração em 1982-1983 (Takino & Maier, 1986), Euglenaceae pigmentadas em 1982-1983 (Xavier, 1988; Xavier, 1993) e taxonomia do fitoplâncton em 1985-1986 (Xavier, 1996).

Após esse período de grandes projetos envolvendo o Complexo Billings, os estudos no reservatório se restringiram a monografias, dissertações e teses de acesso limitado (Lamparelli, 2004; Jesus, 2006; Mariani, 2006; Matsuzaki, 2007; Nishimura, 2008a; Rodrigues, 2008; Mariani et al., 2010; Meirinho, 2010); publicações de divulgação científica (Moraes, 2006; Mariani & Pompêo, 2007; Globo Comunicação e Participações, 2009); ou apresentações em congressos (Braidotti et al., 2005; Lima et al., 2005; Lobo et al., 2005; Mariani et al., 2005; Nishimura et al., 2005; Padial et al., 2005; Cardoso-Silva et al., 2007; Nishimura et al., 2007; Mariani et al., 2008; Meirinho & Pompêo, 2009; Mariani et al., 2010) e relatórios técnicos e científicos (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo, 1996; Capobianco & Whately, 2002; Whately, 2003; Pompêo, 2006). Entre os relatórios técnicos, há uma série de publicações organizadas pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo, resultado do monitoramento nos corpos hídricos efetuado pela companhia. Os relatórios, desde o ano 2000, estão disponibilizados em página da Internet da companhia.

Há vários artigos científicos resultantes de trabalhos desenvolvidos na região, além dos já citados anteriormente. Por exemplo, Rocha et al. (1985)

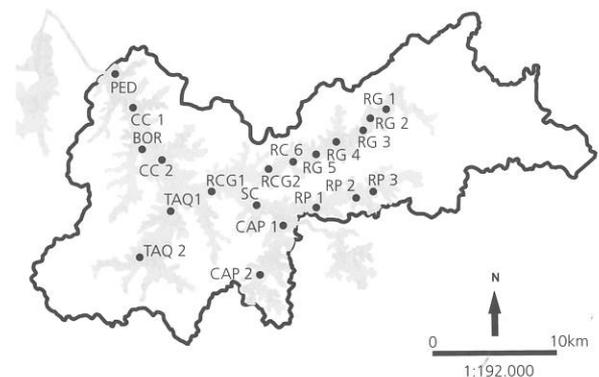
alertaram sobre a contaminação dos peixes provenientes da Billings por metais pesados e surfactantes em 1980; Souza *et al.* (1998) descreveram a ocorrência da cianobactéria *Cylindrospermopsis raciborskii* no braço Rio Pequeno em 1992-1993; Aragão *et al.* (2003) classificaram como moles as águas superficiais do estado de São Paulo, incluindo a Represa Billings; Silvério *et al.* (2005) estudaram a liberação, biodisponibilidade e toxicidade de metais no sedimento no braço Taquacetuba, entre outros reservatórios e lagos; Mariani *et al.* (2006) estudaram a biota e a qualidade da água no Riacho Grande em 2004; Nishimura (2008b) compararam a produtividade primária fitoplanctônica nos pontos de captação de água da Billings; sobre os metais no sedimento do braço Rio Grande, Fávoro *et al.* (2007) detectaram contaminação recente em 1998, e Mariani & Pompêo (2008) avaliaram sua biodisponibilidade, em 2005; Moschini-Carlos *et al.* (2009) detectaram cianobactérias e cianotoxinas no braço Taquacetuba. Avaliações limnológicas e de qualidade da água foram efetuadas por Padial *et al.* (2009) no Reservatório Rio das Pedras; por Moschini-Carlos *et al.* (2010) nos braços Rio Grande e Taquacetuba; e por Wengrat & Bicudo (2011) nos braços Taquacetuba e Rio Grande e no corpo central da Billings.

Diante do histórico da represa e dos estudos realizados até o momento, observa-se a necessidade de trabalhos científicos que avaliem de maneira integral a qualidade de suas águas superficiais. Estudos desse tipo podem ser utilizados como ferramenta auxiliar na gestão de recursos hídricos, evidenciando, por exemplo, quais áreas necessitam de maiores esforços para a restauração ou proteção ambiental. Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi analisar as diversas variáveis limnológicas ao longo de toda a Represa Billings, a fim de avaliar de maneira integral a qualidade das águas superficiais desse manancial e dos diferentes compartimentos.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram efetuadas coletas de março a maio de 2004, totalizando 20 pontos de amostragem ao longo

do Complexo Billings (Figura 1). Foram medidos *in situ*, em águas superficiais, a temperatura, o pH e a condutividade elétrica, por meio de sonda multiparâmetros (YSI 63). A transparência foi obtida através da medida da profundidade do Disco de Secchi. Amostras de água superficial foram coletadas em galões de polietileno e mantidas ao abrigo da luz e calor até o processamento em laboratório das seguintes variáveis: oxigênio dissolvido (Golterman *et al.*, 1978), sólidos totais (Wetzel & Likens, 1991), nitrogênio total (Valderrama, 1981), nitrato e nitrito (Mackereth *et al.*, 1978), amônio (Koroleff, 1976), fosfato inorgânico dissolvido (Strickland & Parsons, 1960), sílica reativa (Golterman *et al.*, 1978), clorofila *a* e feofitina, através de extração por etanol 90% (Lorenzen, 1967). Calculou-se também o Índice do Estado Trófico (IET) segundo Lamparelli (2004). Os dados foram analisados através da Análise dos Componentes Principais (ACP), com base em uma matriz de correlação, a fim de identificar as variáveis mais importantes na formação dos padrões espaciais. A matriz de correlações elimina o efeito das diferentes unidades de mensuração, tornando desnecessária a padronização da matriz escalar (Valentin, 2000). Foi efetuada também análise de agrupamento (distância Euclidiana, método Ward) a partir dos escores 1 e 2



**Figura 1.** Pontos de coleta no reservatório Billings.

Nota: Seis estações no braço Rio Grande (RG1, RG2, RG3, RG4, RG5, RG6 - 9/3/2004); duas no Riacho Grande (RCG1 e RCG2 4/5/2004); uma no *Summit Control* (SC - 29/4/2004); três no braço Rio Pequeno (RP1, RP2, RP3 19/3/2004); duas no braço Taquacetuba (TAQ1 e TAQ2 - 27/4/2004); duas no braço Capivari (CAP1 e CAP2 - 27/4/2004); duas no Corpo Central (CC1 e CC2 - 27/4/2004); uma em Pedreira (PED - 27/4/2004) e uma no braço Bororé (BOR-27/4/2004).

Fonte: Modificado de Nishimura *et al.* (2010).

obtidos na ACP, com o intuito de agrupar os pontos semelhantes para a representação dos centroides no arranjo da ACP (material suplementar 1). A representação dos centroides foi baseada no cálculo da média dos valores dos escores dos eixos 1 e 2, correspondentes a cada grupo observado na análise de agrupamento.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os valores encontrados para as variáveis analisadas nos pontos amostrados da Represa Billings. Os coeficientes de variação indicam que as concentrações de nutrientes e as

variáveis biológicas, clorofila *a* e feofitina, são as variáveis que apresentam maior variação ao longo da represa (Tabela 1) - resultado que sugere a existência de heterogeneidade espacial no Complexo Billings.

Relativamente à ACP, os dois primeiros eixos explicaram 48,83% da variação total dos dados, sendo 31,18% pelo eixo 1 e 17,65% pelo eixo 2. As variáveis que mais influenciaram o arranjo no eixo 1 foram sólidos totais, disco de Secchi e teores de nitrato com os autovalores: 0,827; 0,809 e 0,747 respectivamente. No eixo 2, foram temperatura, oxigênio dissolvido e nitrito com os autovalores, 0,759; 0,710 e -0,605, respectivamente.

**Tabela 1.** Variáveis analisadas ao longo da Represa Billings.

Pontos	ST mg/L	SO mg/L	NO <sub>3</sub> µg/L	NO <sub>2</sub> µg/L	NH <sub>4</sub> µg/L	Cl mg/L	FE mg/L	NT µg/L	DS M	Z m	T °C	pH	CE µS/cm	OD mg/L
RG1	139,7	*	<b>73,7</b>	*	430,8	3,7	6,9	615,1	1,2	8,4	24,0	<b>6,4</b>	94,1	8,9
RG2	108,5	1,2	386,5	10,4	14,8	19,9	18,7	577,5	0,9	5,0	25,6	8,7	190,4	<b>9,7</b>
RG3	125,5	<b>1,0</b>	281,7	<b>8,2</b>	*	20,6	17,5	497,4	0,9	6,5	25,7	8,6	200,7	9,5
RG4	147,0	<b>1,0</b>	334,1	*	*	10,3	7,5	549,6	1,0	8,4	26,1	7,9	222,3	8,6
RG5	159,5	*	304,4	*	*	6,2	6,2	266,7	1,4	12,0	<b>26,3</b>	7,9	239,0	8,2
RG6	158,0	*	336,9	*	*	5,5	<b>5,9</b>	590,3	<b>1,6</b>	10,0	26,1	8,3	<b>248,0</b>	8,4
RCG1	126,5	*	15,7	*	223,0	34,7	8,1	1616,0	0,9	10,5	23,8	8,8	183,3	9,6
RCG2	56,5	*	75,9	*	<b>588,0</b>	33,0	10,8	1072,0	0,7	12,5	22,7	7,7	179,8	8,2
SC	115,0	*	*	*	473,0	20,9	42,8	689,6	0,8	9,0	23,7	8,1	201,6	8,0
CAP1	102,0	1,3	*	*	364,0	19,8	44,3	1010,0	0,7	9,0	24,1	7,8	155,6	7,6
CAP2	100,5	1,6	*	*	*	<b>3,3</b>	<b>67,9</b>	846,9	<b>0,6</b>	6,5	22,8	8,2	134,0	7,9
RP1	94,0	*	14,5	*	*	8,2	60,5	696,5	0,7	7,5	<b>21,7</b>	<b>9,2</b>	160,0	9,1
RP2	92,0	*	*	*	*	<b>37,1</b>	9,9	1248,0	0,6	5,8	24,4	9,0	136,3	9,3
RP3	<b>44,5</b>	*	*	*	*	12,4	11,9	<b>84,5</b>	0,8	<b>4,5</b>	23,9	7,2	<b>46,5</b>	8,3
TAQ1	125,5	<b>1,7</b>	*	*	109,0	33,0	29,9	1157,0	0,6	9,0	22,8	8,2	201,6	7,2
TAQ2	<b>163,5</b>	*	411,6	46,5	*	20,9	17,9	<b>9284,0</b>	0,9	11,5	24,0	8,0	207,0	8,0
CC1	143,5	*	<b>464,1</b>	34,3	*	3,8	6,0	454,2	0,7	14,5	23,2	9,1	182,2	7,6
CC2	140,5	*	300,1	39,7	10,6	3,8	6,0	467,5	1,1	<b>14,5</b>	23,3	7,4	215,5	4,7
BOR	140,0	*	290,5	50,9	<b>5,2</b>	23,4	17,4	367,9	1,2	9,5	23,8	7,6	212,6	5,3
PED	149,5	*	*	<b>91,8</b>	233,0	32,4	17,4	2624,0	1,2	10,5	23,0	8,0	223,5	<b>3,8</b>
<b>Med</b>	121,6	1,3	253,1	40,3	204,2	17,6	20,7	1235,7	0,9	9,3	24,1	8,1	181,7	7,9
<b>DP</b>	32,7	0,3	154,1	28,2	213,8	11,8	18,7	1975,4	0,3	2,9	1,3	0,7	49,5	1,6
<b>CV</b>	26,9	23	60,9	70,0	104,7	67,1	90,6	159,9	30,4	30,8	<b>5,4</b>	8,4	27,2	20,3
<b>N</b>	20	6	13	7	12	20	20	20	20	20	20	20	20	20

Nota: \*Valores abaixo do limite de detecção do método.

Valores brutos e Médios (Med), Desvio-Padrão (DP) e Coeficiente de Variação (CV) para: Sólidos Totais (ST); Ortosilicato (SO); Nitrato (NO<sub>3</sub>); Nitrito (NO<sub>2</sub>); Amônio (NH<sub>4</sub>); Clorofila *a* (Cl); Feofitina (FE); Nitrogênio Total (NT).

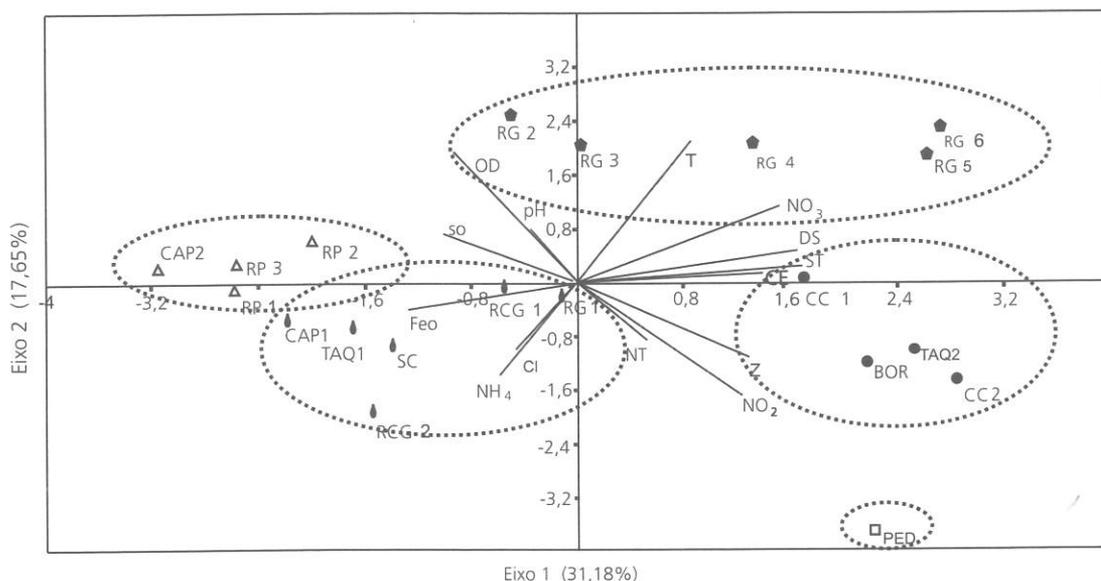
Campanha efetuada em 20 pontos distribuídos ao longo do Complexo Billings, no período de março a maio de 2004. Pontos no braço Rio Grande (RG1, RG2, RG3, RG4, RG5, RG6); no Riacho Grande (RCG1 e RCG2); no Summit Control (SC); no braço Rio Pequeno (RP1, RP2, RP3); no braço Taquacetuba (TAQ1 e TAQ2); no braço Capivari (CAP1 e CAP2); no Corpo Central (CC1 e CC2); em Pedreira (PED) e no Braço Bororé (BOR). Em negrito, valores máximos e mínimos determinados.

Através da ACP, observa-se nítida separação dos braços formadores do complexo Billings (Figura 2). A região de Pedreira (PED), influenciada pelas variáveis nitrogênio total e nitrito, apresentou altas concentrações de nutrientes e clorofila *a* em relação aos demais pontos amostrados (Tabela 1) e, em oposição, menores teores de oxigênio dissolvido (Tabela 1). O padrão observado está provavelmente relacionado às águas do Rio Pinheiros revertidas à represa e ao fato de que essa área do Complexo Billings apresenta intensa urbanização, com o consequente lançamento de efluentes sem tratamento.

Nas regiões do Corpo Central, Bororé e braço Taquacetuba (CC1, CC2, BOR, TAQ2), os pontos correlacionaram-se com a profundidade, condutividade elétrica e sólidos totais (Figura 2). Essas regiões recebem grande quantidade de esgotos, provenientes da ocupação de suas sub-bacias formadoras (Capobianco & Whately, 2002). Tais dados justificariam os altos valores para condutividade

elétrica e sólidos totais, uma vez que esses parâmetros podem indicar a presença da emissão de esgotamento sanitário (Akaishi et al., 2006).

Os pontos do *Summit Control* (SC), do Riacho Grande (RCG1 e RCG2), um ponto do braço Taquacetuba (TAQ1), um do braço Capivari (CAP1) e outro do braço Rio Grande (RG1) correlacionaram-se com feofitina, amônio e clorofila *a* (Figura 2). A maior concentração de amônio observada nesses pontos pode ser consequência da entrada de efluentes clandestinos oriundos da urbanização irregular em torno do manancial. A conformação da represa, associada ao tempo de retenção (720 dias), (Gemelgo et al., 2008), poderia também favorecer o acúmulo de amônio nessa região, (SC, RCG1, RCG2, TAQ1 e CAP1). A localização de RG1 próxima aos pontos citados está possivelmente associada ao fato de RG1 estar localizado na região montante do Braço Rio Grande, área também sob influência da entrada dos efluentes domésticos, justificando os altos teores de amônio (Tabela 1).



**Figura 2.** Análise de Componentes Principais (ACP) de Correlação, de variáveis limnológicas em águas superficiais de 20 pontos de coleta no Complexo Billings.

Nota: Pontos no braço Rio Grande (RG1, RG2, RG3, RG4, RG5, RG6), no Riacho Grande (RCG1 e RCG2), no Summit Control (SC); no braço Rio Pequeno (RP1, RP2, RP3); no braço Taquacetuba (TAQ1 e TAQ2), no braço Capivari (CAP1 e CAP2), no Corpo Central (CC1 e CC2), em Pedreira (PED) e no braço Bororé (BOR).

Profundidade da represa (Z), pH, CE: Condutividade Elétrica; OD: Oxigênio Dissolvido; DS: Disco de Secchi; ST: Sólidos Totais; T: Temperatura; Cl: Clorofila *a*; FE: Feofitina; NT: Nitrogênio Total; NO<sub>2</sub>: Nitrito; NO<sub>3</sub>: Nitrito; NH<sub>4</sub>: Amônio; SO: Ortosilicato.

Fonte: Elaborado pelos autores.

O amônio é a forma preferencialmente assimilada pelo fitoplâncton (Von Rückert & Giani, 2004), acarretando aumento da produtividade primária fitoplanctônica e, assim, elevando os teores de clorofila *a*. Segundo Capobianco & Whately (2002), no período de 1989-1999, as águas do braço Taquacetuba foram caracterizadas como eutróficas, com qualidade de sedimento comprometida por elevadas concentrações de metais e compostos orgânicos, sendo inclusive identificadas florações de cianobactérias. Essas observações foram confirmadas por Moschini-Carlos *et al.* (2009), ao detectarem saxitoxina e três variantes de microcistina (MC-RR, MC-LR e MC-YR) no braço Taquacetuba; entretanto, não foi detectada a presença de cylindrospermopsina e anatoxina-a. A partir de 2000, as águas desse braço passaram a ser revertidas à Represa Guarapiranga, segundo maior sistema de abastecimento da RMSP, trazendo preocupações quanto à qualidade das águas desse manancial, dada a adição de água com florações de cianobactérias comprovadamente tóxicas (Moschini-Carlos *et al.*, 2009).

Os pontos dos braços Capivari (CAP2) e Rio Pequeno (RP1, RP2 e RP3) correlacionaram-se com feofitina e ortossilicato. Essa região apresentou as menores concentrações de clorofila *a* e nutrientes totais, dissolvidos em relação aos demais pontos (Tabela 1). É comum que braços de reservatórios detriticos, como a Billings, apresentem características diferentes do restante da represa (Henry *et al.*, 1998). A localização desses braços, em regiões distantes do corpo central da Represa Billings, pode gerar um efeito de diluição, justificando os baixos valores observados. Além disso, nos arredores dos braços Rio Pequeno e Capivari não há urbanização intensa, o que favorece uma melhor qualidade da água.

O braço Rio Grande, por sua vez, apresentou características distintas das demais áreas do Complexo Billings, com os maiores valores de nitrato, sólidos totais e condutividade elétrica. Tais diferenças foram evidenciadas na ACP, cujo arranjo agrupou: os pontos a montante do reservatório Rio Grande (RG2 e RG3) correlacionados fortemente com o oxigênio dissolvido (OD), e os pontos a jusante (RG4,

RG5 e RG6) correlacionados com nitrato e temperatura. O ponto RG1 apresentou características distintas dos demais pontos amostrados no braço Rio Grande, como discutido anteriormente. O ponto RG1 foi também o único a apresentar teores de ortofosfato (49,8 µg/L). As regiões montante (RG1) e jusante (RG6) apresentaram os menores teores de clorofila *a* (Tabela 1).

Esse padrão - maiores teores de fósforo na parte alta de reservatórios, e maiores teores de clorofila na zona intermediária -, é o que se observa nas represas que seguem o modelo de heterogeneidade espacial proposto por Thorton (1990). O arranjo encontrado para o Rio Grande é previsto, já que esse braço é isolado do restante do Complexo Billings pela barragem Anchieta, recebendo influência apenas dos rios formadores, os rios Grande e Ribeirão Pires (Maier *et al.*, 1985). Contudo, também é importante que sejam considerados os usos antrópicos na bacia de drenagem bem como os teores de nutriente no corpo hídrico, pois o manejo inadequado pode ser responsável por resultados como o encontrado nesta pesquisa, também identificado por Alexandre *et al.* (2010) no reservatório Serrote, no estado do Ceará.

Os rios formadores do Rio Grande recebem esgoto industrial e doméstico dos municípios de Rio Grande da Serra (SP) e Ribeirão Pires (SP), comprometendo a qualidade da sua água. Além disso, a região a jusante do braço Rio Grande, onde se localiza uma Estação de Tratamento de Água (ETA), são constantes as aplicações de peróxido de hidrogênio e sulfato de cobre para o controle da biomassa algal, a fim de manter os requisitos mínimos de potabilidade. Assim, esse controle artificial da biomassa algal pode também ser o responsável pelas baixas concentrações de clorofila *a*, observadas a jusante do braço Rio Grande. Portanto, as concentrações de clorofila *a* provavelmente foram inferiores ao real potencial produtivo desse ecossistema.

Apesar de a aplicação direta de sulfato de cobre na água como algicida ser considerada uma técnica ultrapassada (Reynolds, 2006), ela ainda é

uma prática rotineira das companhias de saneamento no Brasil. Tal técnica promove o acúmulo de cobre no sedimento, que, conforme a condição ambiental, pode tornar-se biodisponível (Mariani & Pompêo, 2008; Mariani, 2011). Nishimura (2008b) atribuiu a diferença observada na estrutura da comunidade fitoplanctônica entre os braços Rio Grande e Taquacetuba, entre outros fatores, ao manejo realizado no braço Rio Grande (aplicação de algicidas): a biomassa média foi quase duas vezes maior no Taquacetuba ( $9,4 \pm 5,6 \text{ mgL}^{-1}$  no Rio Grande e  $17,3 \pm 7,2 \text{ mgL}^{-1}$  no Taquacetuba) em 2005.

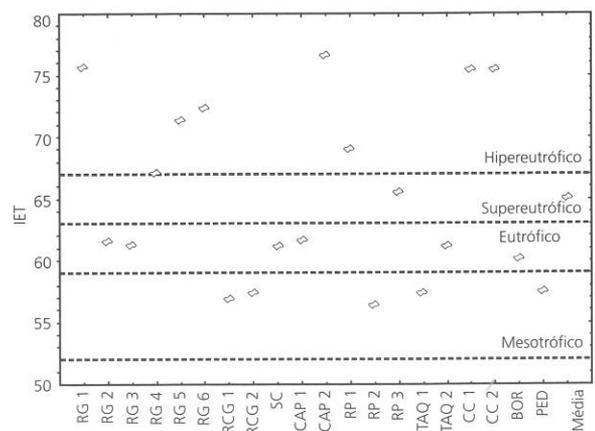
No reservatório Billings, aumentou a concentração dos nutrientes associada à eutrofização, no período de 1992-2000 (Soares & Mozeto, 2006). Embora no presente trabalho as concentrações observadas de ortofosfato tenham sido baixas, as concentrações de clorofila *a* foram elevadas, indicando alta produtividade fitoplanctônica. Além disso, em ambientes tropicais, o ortofosfato é prontamente assimilado pelos organismos fotossintetizantes, acarretando baixa concentração no ambiente (Bouvy et al., 2003). O elevado potencial produtivo da Represa Billings é corroborado por Nishimura (2008b), que observaram uma produção primária total do fitoplâncton no braço Rio Grande, em fevereiro e agosto de 2005, de 77,6 e 92,7  $\text{mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ , respectivamente; e, no braço Taquacetuba, de 313,2 e 152,7  $\text{mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ , em fevereiro e agosto de 2005, respectivamente. Todos os valores observados pelos autores são indicativos de ambientes eutróficos (Esteves, 2011).

Em relação à classificação trófica do sistema, o Complexo Billings apresentou a maioria dos pontos entre os estados eutrófico, supereutrófico e hipereutrófico para clorofila *a* (Figura 3). Esse enriquecimento pode levar a problemas como floração de algas potencialmente tóxicas, redução dos teores de oxigênio e degradação da qualidade da água (Almeida et al., 2012), elevando os gastos em tratamento para o consumo humano e colocando em risco o equilíbrio ecossistêmico.

De fato, por todo o país, problemas de eutrofização são recorrentes em diversos reser-

vatórios: Salto Grande (Zanata & Espíndola, 2002) e Guarapiranga (Cardoso-Silva, 2008) em São Paulo; Duas Unas e Mundaú no Nordeste do Brasil (Almeida et al., 2009); Serrote, no Ceará (Alexandre et al., 2010), Jucazinho (Moura et al., 2012) e Apipuco (Almeida et al., 2012), em Pernambuco. Em geral, esse processo está associado ao uso e ocupação do solo, em especial ao lançamento de esgotamento sanitário no corpo hídrico mais próximo, sem o devido tratamento. Atualmente, no Brasil, 10 milhões de pessoas não são cobertas pelo sistema de tratamento de esgoto, muito embora sejam servidas por abastecimento público (Pompêo & Moschini-Carlos, 2012). Sem dúvida, a universalização da cobertura sanitária contribuiria para a melhoria da qualidade de água de inúmeros mananciais, entre os quais a Billings.

Além de melhor cobertura na coleta e no tratamento de esgotos, é essencial a aplicação de políticas públicas eficientes. Até o presente momento, as políticas públicas aplicadas à região do Complexo Billings não foram suficientes para reverter o quadro de degradação das águas desse importante manancial.



**Figura 3.** Índice de Estado Trófico (IET) para clorofila-a (Lamparelli, 2004) em 20 pontos distribuídos ao longo do Complexo Billings, no período de março a maio de 2004.

Nota: Pontos no braço Rio Grande (RG1, RG2, RG3, RG4, RG5, RG6); no Riacho Grande (RCG1 e RCG2); no Summit Control (SC); no braço Rio Pequeno (RP1, RP2, RP3); no braço Taquacetuba (TAQ1 e TAQ2); no braço Capivari (CAP1 e CAP2); no Corpo Central (CC1 e CC2); em Pedreira (PED) e no braço Bororé (BOR).

Fonte: Elaborado pelos autores.

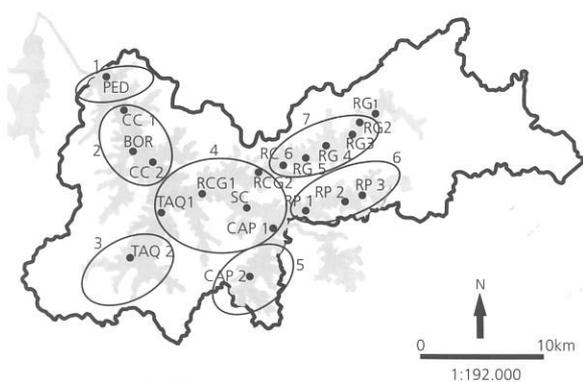
Neste trabalho foi possível observar a existência de sete grandes compartimentos na Represa Billings (Figura 4). O ponto localizado próximo à entrada de água proveniente do bombeamento do rio Pinheiros (Pedreira, PED) apresenta características distintas dos demais pontos estudados na represa, com elevados teores de nitrito e baixos teores de oxigênio dissolvido, permanecendo isolado no arranjo da ACP (Figura 2). Estes dados sugerem portanto, que a região de Pedreira representa um compartimento. O Corpo Central (CC) e o braço Bororé (BOR) compõem outro compartimento, cujas águas estão comprometidas não só por serem originárias de PED, mas também em decorrência da grande ocupação urbana em seu entorno e da baixa cobertura sanitária. Embora o ponto TAQ2 tenha sido, na ACP, arranjado próximo aos pontos do Corpo Central e Bororé, sua localização espacial é distinta na represa, sugerindo que esse ponto pertença a um terceiro compartimento no Complexo Billings. A região do Summit Control (SC), Capivari (CAP1), Taquacetuba (TAQ1) e Riacho Grande (RCG), localizada entre a Rodovia Imigrantes e a barragem Anchieta, representa um quarto compartimento. Os braços Capivari (CAP2) e Rio Pequeno (RP), apesar de sua proximidade na ACP,

compõem cada um deles um compartimento distinto, devido também à localização espacial distante. O braço Rio Grande, fisicamente separado dos demais pontos da represa e periodicamente manejado com aplicações de sulfato de cobre e peróxido de hidrogênio, pode ser considerado o sétimo grande compartimento do sistema.

O Complexo Billings, como visto, não obedece ao padrão clássico de heterogeneidade espacial descrito por Thorton (1990), que prevê três zonas distintas: fluvial, de transição e lacustre. A formação dos compartimentos está possivelmente associada à sua conformação dendrítica, ao regime de operação do reservatório, ao seu elevado tempo de residência, às atividades antrópicas (como a ocupação irregular) e à reduzida cobertura sanitária no entorno da represa. Portanto, é crucial que medidas sejam tomadas para se reduza a entrada de nutrientes nesse ecossistema, por meio do controle dos assentamentos urbanos na região e de medidas apropriadas de saneamento básico, com a efetiva coleta e tratamento das águas servidas. É também necessário bombear água de melhor qualidade proveniente do rio Pinheiros (Elevatório Pedreira), caso o objetivo maior seja manter a Represa Billings com melhor padrão de qualidade das águas, possibilitando múltiplos usos em seus diversos compartimentos, gerar hidroeletricidade em Henry Borden e manter, ou ampliar, a transposição de água para a Represa Guarapiranga.

## CONCLUSÃO

As águas superficiais do Complexo Billings apresentaram sinais de degradação e elevado grau de trofia. A diferença na qualidade das águas ao longo da Represa Billings foi associada principalmente à ocupação do entorno, além de ser um dos fatores responsáveis pela formação de compartimentos nesse manancial. As regiões dos rios Capivari e Pequeno apresentaram melhor qualidade da água, necessitando de menores esforços para a recuperação ambiental, e, por outro lado, de grandes esforços para sua proteção.



**Figura 4.** Sete compartimentos formados na Represa Billings, com base na qualidade da água superficial.

Nota: Pontos no braço Rio Grande (RG1, RG2, RG3, RG4, RG5, RG6); no Riacho Grande (RCG1 e RCG2); no Summit Control (SC); no braço Rio Pequeno (RP1, RP2, RP3); no braço Taquacetuba (TAQ1 e TAQ2); no braço Capivari (CAP1 e CAP2); no Corpo Central (CC1 e CC2); em Pedreira (PED) e no Braço Bororé (BOR).

Fonte: Modificado de Nishimura et al. (2010).

## AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Processos 2002/13376-4) e ao Departamento de Ecologia, Instituto de Biologia, Universidade de São Paulo.

## REFERÊNCIAS

- Akaishi, F.; Satake, N.; Otaki, M. & Tominaga, N. (2006). Surface water quality and information about the environment surrounding Inle lake in Myanmar. *Limnology & Oceanography*, 7(1):57-62.
- Alexandre, D.M.B.; Andrade, E.M.; Lopes, F.B.; Palácio, H.A.Q. & Ferreira, A.C.S. (2010). The water quality investigation using GIS and multivariable analysis in a semiarid region reservoir. *Revista Ciência Agrônômica*, 41(4):554-61.
- Almeida, V.L.S.; Dantas, E.W.; Melo-Júnior, M.; Bittencourt-Oliveira, M.C. & Moura, A.N. (2009). Zooplanktonic community of six reservoirs in Northeast Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 69(1):57-65.
- Almeida, V.L.S.; Melão, M.G.G. & Moura, A.N. (2012). Plankton diversity and limnological characterization in two shallow tropical urban reservoirs of Pernambuco State, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 84(2): 537-50.
- Aragão, M.A.; Buratini, S.V. & Bertolotti, E. (2003). Total hardness of surface waters in São Paulo State (Brazil). *Acta Limnologica Brasiliensia*, 1(15):15-8.
- Basile-Martins, M.A.; Cipolli, M.N. & Cestarolli, M.A. (1985). Limnologia de reservatórios do sudeste do estado de São Paulo, Brasil, VI. Produção primária. *Boletim do Instituto de Pesca*, 12(1):123-43.
- Beyruth, Z. & Pereira, H.A.D.S.L. (2002). O isolamento do Rio Grande da represa Billings, São Paulo: efeitos sobre o fitoplâncton durante um ciclo hidrológico completo. *Boletim do Instituto de Pesca*, 2(28):111-23.
- Bouvy, M.; Nascimento, S.M.; Molica, R.J.R.; Ferreira, A.; Huszar, V.L. & Azevedo, S.M.F.O. (2003). Limnological features in Tapacurá reservoir (Northeast Brazil) during a severe drought. *Hydrobiologia*, 493(1-3):115-30.
- Braidotti, J.C.; Pompêo, M.L.M.; Fernanda, M.R. & Cardoso-Silva, S. (2005). Equações para determinar a biomassa da macrófita aquática *Eleocharis interstincta*. *Anais do X Congresso de Brasileiro de Limnologia*, 2005, Ilhéus.
- Branco, S.M. (1966). Estudo das condições sanitárias da Represa Billings. *Arquivos da Faculdade de Higiene da Universidade de São Paulo*, (20):57-86.
- Capobianco, J.P.R. & Whately, M. (2002). *Billings 2000: ameaças e perspectivas para o maior reservatório de água da região metropolitana de São Paulo*: relatório do diagnóstico socioambiental participativo da bacia hidrográfica da Billings no período 1989-99. São Paulo: Instituto Socioambiental.
- Cardoso-Silva, S.; Nishimura, P.Y.; Pompêo, M.L.M. & Moschini-Carlos, V. (2007). Caracterização limnológica das águas superficiais do reservatório Billings (São Paulo - SP). *Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil*, 2007, Caxambú.
- Cardoso-Silva, S. (2008). *Heterogeneidade espacial e a qualidade das águas superficiais do reservatório Guarapiranga (São Paulo - SP - Brasil)*. Dissertação em Ecologia (Ecologia), Universidade de São Paulo.
- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. *Comunidade planctônica e clorofila-a do Complexo Billings: out/92 a out/93*. (1996). São Paulo: CETESB.
- Esteves, F.A. (2011). *Fundamentos de limnologia*. Rio de Janeiro: Interciência.
- Fávaro, D.I.T.; Damatto, S.R.; Moreira, E.G.; Mazzilli, B.P. & Campagnoli, F. (2007). Chemical characterization and recent sedimentation rates in sediment cores from Rio Grande reservoir, SP, Brazil. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 273(2):451-63.
- Gemelgo, M.C.P.; Sant'Anna, S.L.; Tucci, A. & Barbosa, H.R. (2008). Population dynamics of *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya & Subba Raju, a Cyanobacteria toxic species, in water supply reservoirs in São Paulo, Brazil. *Hoehnea*, 2(35):297-307.
- Globo Comunicação e Participações. (2009). *Ocupação desenfreada ameaça sobrevivência da represa Billings*. Disponível em: <<http://g1.globo.com/Noticias/SaoPaulo/0,,MRP1077638-5605,00.html>>. (acesso: 4 jun. 2009).
- Golterman, H.L.; Clymo, R.S. & Ohnstad, M.A.M. (1978). *Methods for physical and chemical analysis of freshwaters*. Oxford: Blackwell Scientific.
- Henry, R.; Nunes, M.A.; Mitsuka, 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). *Revista Brasileira de Biologia*, 4(58):517-90.
- Jesus, J.A.O.D. (2006). *Utilização de modelagem matemática 3D na gestão da qualidade da água em mananciais: aplicação no reservatório Billings*. Tese em Saúde Pública (Saúde Ambiental), Universidade de São Paulo.
- Kawai, H. & Branco, S.M. (1969). Estudo das relações entre despejos domésticos e industriais da região da Grande São Paulo e a eutrofização na Represa Billings. *Revista DAE*, (29):57-68.
- Koroleff, F. (1976). Determination of nutrients. In: Grasshoff, K. (Org.). *Methods of seawater analysis*. Weinhein: Verlag Chemie.

- Lamparelli, M.C. (2004). *Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento*. Tese em Ecologia (Ecologia), Universidade de São Paulo.
- Lima, M.; Pompêo, M.L.M.; Mariani, C.F.; Moschini-Carlos, V.; Cardoso-Silva, S. & Gonçalves, P. K. (2005). Variação temporal e espacial da qualidade da água da sub-bacia do Rio Pequeno, Complexo Reservatório Billings, São Paulo (SP). *Anais do X Congresso Brasileiro de Limnologia*, 2005, Ilhéus.
- Lobo, F.L.; Bitencourt, M.D.; Pompêo, M.L.M.; Gonçalves, P.K. & Mariani, C.F. (2005). Uso de sensoriamento remoto na estimativa da qualidade da água da represa Billings, braço Rio Grande, São Paulo, Brasil. *Anais do X Congresso Brasileiro de Limnologia*, 2005, Ilhéus.
- Lorenzen, C.J. (1967). Determination of chlorophyll and phaeo-pigments: Spectrophotometric equations. *Limnology and Oceanography*, (12):343-6.
- Mackereth, F.J.H.; Heron, J. & Talling, J.F. (1978). *Water analysis: Some revised methods for limnologists*. Dorset: Freshwater Biological Association.
- Maier, M.H. (1985). Limnologia de reservatórios do sudeste do estado de São Paulo, Brasil II. Circulação e estratificação da água. *Boletim do Instituto de Pesca*, 1(12):11-43.
- Maier, M.H.; Meyer, M. & Takino, M. (1985). Caracterização física e química da água da Represa do Rio Grande (Riacho Grande), SP, Brasil. *Boletim do Instituto de Pesca*, 3(12):47-61.
- Maier, M.H. & Takino, M. (1985a). Limnologia de reservatórios do sudeste do estado de São Paulo, Brasil. III. Qualidade da água. *Boletim do Instituto de Pesca*, 1(12):45-73.
- Maier, M.H. & Takino, M. (1985b). Limnologia de reservatórios do sudeste do estado de São Paulo, Brasil. V. Tipificação através de fatores abióticos e clorofila-a. *Boletim do Instituto de Pesca*, (12):102-(2005)22.
- Maier, M.H.; Takino, M. & Monteiro Junior, A.J. (1997). Comportamento diurno do reservatório Rio Grande (Complexo Billings), 23°52'S - 46°31'W; Riacho Grande, SP, Brasil. *Boletim do Instituto de Pesca*; (24):1-17.
- Mariani, C.F. (2006). *Reservatório Rio Grande: caracterização limnológica da água e biodisponibilidade de metais-traço no sedimento*. Dissertação em Ciências (Ecologia), Universidade de São Paulo.
- Mariani, C.F. (2011). *Variação temporal do teor de SVAl MES e avaliação integrada do sedimento do Braço do Rio Grande (Complexo Billings - SP)*. Tese em Ciências (Ecologia), Universidade de São Paulo.
- Mariani, C.F.; Cardoso-Silva, S.; Padial, P. & Hollert, H. (2008). Use of equilibrium partition in tropical environment: Is it a reliable approach? Preliminary results AVS/MES temporal variation in sediment from Rio Grande Reservoir (Billings Complex, São Paulo, Brazil). *Anais do X Congresso Brasileiro de Ecotoxicologia*, 2008, Bento Gonçalves.
- Mariani, C.F.; Hollert, H.; Rocha, P.S. & Pompêo, M.L.M. (2010). Análise integrada de sedimento: um link entre ciência e sociedade - caso de estudo: reservatório. Rio Grande (Complexo Billings, São Paulo - SP). *Anais do X Congresso Brasileiro de Ecotoxicologia*, 2010, Bombinhas.
- Mariani, C.F.; Moschini-Carlos, V.; Brandimarte, A.L.; Nishimura, P.Y.; Tófoli, C.F.; Duran, D.S., et al. (2006). Biota and water quality in the Riacho Grande reservoir, Billings Complex (São Paulo, Brazil). *Acta Limnologica Brasiliensis*, 3(18):267-80.
- Mariani, C.F. & Pompêo, M.L.M. (2007). A qualidade do sedimento: contaminação por metais pode ser ameaça a seres vivos. *Ciência Hoje*, (41):32-7.
- Mariani, C.F. & Pompêo, M.L.M. (2008). Potentially bioavailable metals in sediment from a tropical polymictic environment Rio Grande Reservoir, Brazil. *Journal of Soils and Sediments*, (8):284-8.
- Mariani, C.F.; Pompêo, M.L.M. & Masini, J.C. (2005). Potencial tóxico do sedimento do braço do Rio Grande (Complexo Billings, SP): uma abordagem espacial. *Anais do X Congresso Brasileiro de Limnologia*, 2005, Ilhéus.
- Matsumura-Tundisi, T.; Hino, K.; Claro, S. M. (1981). Limnological studies at 23 reservoirs in Southern part of Brazil. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie*, (21):1040-7.
- Matsuzaki, M. (2007). *Transposição das águas do braço Taquacetuba da represa Billings para a represa Guarapiranga: aspectos relacionados à qualidade da água para abastecimento*. Tese em Saúde Pública (Saúde Ambiental), Universidade de São Paulo.
- Meirinho, P.A. (2010). *Compartimentalização da comunidade zooplanctônica em um reservatório tropical urbano eutrofizado (braço Rio Grande, Complexo Billings, SP)*. Dissertação em Ciências (Ecologia), Universidade de São Paulo.
- Meirinho, P.A. & Pompêo, M.L.M. (2009). Heterogeneidade espacial horizontal da comunidade zooplanctônica no Reservatório Rio Grande (Complexo Billings). *Anais do XII Congresso Brasileiro de Limnologia*, 2009, Gramado.
- Moraes, A. (2006). *Concentração de seis metais pesados no fundo de Reservatório da Billings ultrapassa nível máximo*. São Paulo: USP. Agência USP de Notícias, n.1943.
- Moschini-Carlos, V.; Pompêo, M.L.M. & Freitas, L.G. (2010). Evaluation of limnological conditions of water in the Rio Grande and Taquacetuba branches of the Billings Complex (São Paulo, Brazil) and implications for management. *Revista Ambiente & Água*, 5(3):47-59.

- Moschini-Carlos, V.; Pinto, E.; Nishimura, P.Y.; Freitas, L.G.; Pompêo, M.L.M. & Dorr, F. (2009). Analysis of water quality in the Billings and Guarapiranga Reservoir (São Paulo, SP, Brazil): Emphasis on cyanobacteria and cyanotoxins. *Limnética*, 28:273-82.
- Moura, A.N.; Nascimento, E.C. & Dantas, E.W. (2012). Temporal and spatial dynamics of phytoplankton near farm fish in eutrophic reservoir in Pernambuco, Brazil. *Revista de Biologia Tropical*, 60(2):581-97.
- Nishimura, P.Y. (2008a). *Ecologia do fitoplâncton em dois braços da Represa Billings (São Paulo - SP) com diferentes graus de trofia*. Dissertação em Ciências (Ecologia), Universidade de São Paulo.
- Nishimura, P.Y. (2008b). Phytoplankton primary productivity in Rio Grande and Taquacetuba branches (Billings Reservoir, São Paulo, Brazil). *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie*, 1(30):50-2.
- Nishimura, P.Y.; Moschini-Carlos, V.; Pompêo, M.L.M.; Giancesella, S.M.F. & Saldanha-Corrêa, F.M.P. (2005). A comunidade fitoplanctônica nos braços Rio Grande e Taquacetuba - Complexo Billings, SP. *Anais do X Congresso de Brasileiro de Limnologia*, 2005, Ilhéus.
- Nishimura, P.Y.; Moschini-Carlos, V.; Pompêo, M.L.M.; Silva, S.C.D. & Padial, P.R. (2007). A comunidade fitoplanctônica nos braços Rio Grande e Taquacetuba do Complexo Billings (São Paulo - Brasil). *Anais do XI Congresso Brasileiro de Limnologia*, 2007, Macaé.
- Nishimura, P.Y.; Moschini-Carlos, V.; Pompêo, M.L.M. A Represa Billings e as captações de Água Bruta. (2010). *II Congresso Estadual de Comitês de Bacias Hidrográficas*, 2010, São Pedro. Disponível em: [http://ecologia.ib.usp.br/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=163&Itemid=462](http://ecologia.ib.usp.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=163&Itemid=462). (acesso: 30 jun. 2013).
- Padial, P.R.; Pompêo, M.L.M. & Moschini-Carlos, V. (2009). Heterogeneidade espacial e temporal da qualidade da água no reservatório Rio das Pedras (Complexo Billings, São Paulo). *Revista Ambiente & Água*, (4):35-53.
- Padial, P.R.; Pompêo, M.L.M.; Moschini-Carlos, V.; Meirelles, S.T. & Cardoso-Silva, S. (2005). Usos múltiplos e análise da heterogeneidade espacial e temporal no reservatório Rio das Pedras, São Bernardo do Campo, SP. *Anais do X Congresso de Brasileiro de Limnologia*, 2005, Ilhéus.
- Palmer, C.M. (1960). Algas e suprimento de água na área de São Paulo. *Revista DAE*, 27(21):11-5.
- Pompêo, M.L.M. (2006). *A represa Billings, um reservatório tropical urbano eutrofizado e as macrófitas aquáticas: aspectos ecológicos e diagnóstico ambiental*. (Relatório nº 2002/13376-4). São Paulo: USP.
- Pompêo, M.L.M. & Moschini-Carlos, V. (2012). O abastecimento de água e o esgotamento sanitário: propostas para minimizar os problemas no Brasil. In: Rosa, A.H.; Fraceto, L.F. & Moschini-Carlos, V. (Org.). *Meio ambiente e sustentabilidade*. Porto Alegre: Bookman.
- Reynolds, C.S. (2006). *Ecology of phytoplankton*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Rocha, A.A. (1992). Algae as biological indicators of water pollution. In: *Algae and environment: A general approach*. São Paulo: Cetesb.
- Rocha, A.A.; Pereira, D.N. & Pádua, H.B. (1985). Produtos de pesca e contaminantes químicos na água da represa Billings, São Paulo (Brasil). *Revista de Saúde Pública*, 19(5):401-10.
- Rodrigues, L.L. (2008). *Biodiversidade de cianobactérias e algas das represas Billings (Braço Taquacetuba), e Guarapiranga, SP, Brasil*. Dissertação em Ciências (Ecologia), Universidade de São Paulo.
- Santos, L.E. & Paulo, M.S. (1985). Limnologia de reservatórios do sudeste do estado de São Paulo, Brasil. I. Climatologia. *Boletim do Instituto de Pesca*, 1(12):1-10.
- Sendacz, S. (1984). A study of the zooplankton community of Billings Reservoir - São Paulo. *Hydrobiologia*, 113(1):121-7.
- Silvério, P.F.; Fonseca, A.L.; Botta-Paschoal, C.M.R. & Mozeto, A.A. (2005). Release, bioavailability and toxicity of metals in lacustrine sediments: A case of study of reservoirs and lakes in Southeast Brazil. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, 3(8):313-22.
- Soares, A. & Mozeto, A.A. (2006). Water quality in the Tietê river reservoirs (Billings, Barra Bonita, Bariri and Promissão, SP- Brazil) and nutrient fluxes across the sediment-water interface (Barra Bonita). *Acta Limnológica Brasiliensis*, 18(3):247-66.
- Souza, R.C.R.; Carvalho, M.C. & Truzzi, A.C. (1998). *Cylindrospermopsis raciborskii* (Wolosz.) Seenaya and a contribution to the knowledge of Rio Pequeno arm, Billings Reservoir, Brazil. *Environmental Toxicology and Water Quality*, 13(1):73-81.
- Strickland, J.D. & Parsons, T.R. (1960). A manual of seawater analysis. *Bulletin: Fisheries Research Board of Canada*, (125):1-185.
- Takino, M. & Maier, M.H. (1986). Autopeduração da Represa Rio Grande (Riacho Grande, SP-Brasil): íons dominantes e clorofila-a. *Boletim do Instituto de Pesca*, 1(13):179-84.
- 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.
- Tundisi, J.G. (1981). Typology of reservoirs in Southern Brazil. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie*, 21:1031-9.
- Tundisi, J.G. (1983). A review of basic ecological processes interacting with production and standing-stock of phytoplankton in lakes and reservoirs in Brazil. *Hydrobiologia*, 100(1):223-43.

- Valderrama, J.C. (1981). The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorous in natural waters. *Marine Chemistry*, 10(2):109-222.
- Valentin, J.L. (2000). *Ecologia numérica*. Rio de Janeiro: Interciência.
- Von Rükert, G. & Giani, A. (2004). Effect of nitrate and ammonium on the growth and protein concentration of *Microcystis viridis* Lemmermann (Cyanobacteria). *Revista Brasileira de Botânica*, 27(2):325-31.
- Wetzel, R.G. & Likens, G.E. (1991). *Limnological analyses*. New York: Springer-Verlag.
- Wengrat, S. & Bicudo, D. (2011). Spatial evaluation of water quality in an urban reservoir (Billings Complex, Southeastern Brazil). *Acta Limnologica Brasiliensia*, 23(2):200-16.
- Whately, M. (2003). *Seminário Billings 2002: avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para a conservação, recuperação e uso sustentável da Bacia Hidrográfica da Billings*. São Paulo: Instituto Socioambiental
- Xavier, M.B. (1981a). Represa Billings, São Paulo I: Fitoplâncton e características físicas da água. *Boletim do Instituto de Pesca*, (8):23-46.
- Xavier, M. B. (1981b). Represa Billings, São Paulo II: Variação sazonal do fitoplâncton. *Boletim do Instituto de Pesca*, 8:47-64.
- Xavier, M.B. (1988). Euglenaceae pigmentadas (*Euglenophyceae*) do Rio Grande, Represa Billings, São Paulo, Brasil: estudo limnológico. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 11:303-21.
- Xavier, M.B. (1993). Distribuição vertical das Euglenaceae pigmentadas do Rio Grande, Represa Billings, São Paulo, Brasil. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 6:13-30.
- Xavier, M.B. (1996). Fitoplâncton de Rio Grande, Represa Billings, São Paulo, Brasil: estudo taxonômico (1985-1986). *Iheringia*, (47):103-22.
- Xavier, M.B., Monteiro J.R.A.J. & Fujjara, L.P. (1985). Limnologia de reservatórios do sudeste do estado de São Paulo, Brasil, VII: Fitoplâncton. *Boletim do Instituto de Pesca*, 12(1):145-86.
- Zanata, L.H. & Espíndola, E.L.G. (2002). Longitudinal processes in Salto Grande Reservoir (Americana, SP, Brazil) and its influence in the formation of compartment system. *Brazilian Journal of Biology*, 62(2):347-61.

Recebido em: 29/7/2013  
Versão final em: 4/11/2013  
Aprovado em: 2/1/2014