

CAPÍTULO 7

AVALIAÇÃO EXPEDITA DA HETEROGENEIDADE ESPACIAL HORIZONTAL INTRA E INTER RESERVATÓRIOS DO SISTEMA CANTAREIRA (REPRESAS JAGUARI E JACAREI, SÃO PAULO)

Vivian Cristina Santos Hackbart¹, Ana Rita Pinheiro Marques², Bianca Mayumi Silva Kida¹, Carlos Eduardo Tolussi¹, Daniel Din Betin Negri¹, Iris Amati Martins¹, Isabella Fontana¹, Mariana Pivi Collucci³, Ana Lucia Brandimarti¹, Viviane Moschini-Carlos⁴, Sheila Cardoso da Silva¹, Patrícia do Amaral Meirinho¹, Rogério Herlon Furtado Freire⁵, Marcelo Pompêo¹

1 - Departamento de Ecologia, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil. 2 – anarita.marques@hotmail.com. 3 – mariana_collucci@yahoo.com.br. 4-Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Campus de Sorocaba, Sorocaba, Brasil. 5 – Fundação Parque Tecnológico Itaipú – Brasil, FPTI-BR E-mail: vhackbart@ib.usp.br

RESUMO

A determinação dos padrões de heterogeneidade espacial horizontal de reservatórios auxilia na elaboração de propostas de manejo e gerenciamento das bacias. O Sistema Cantareira abastece em torno de 55% da região metropolitana de São Paulo, é constituído de cinco reservatórios interligados, e vem sofrendo inúmeros impactos ao longo dos anos, principalmente em relação ao uso e ocupação do solo das cinco bacias hidrográficas que o compõe. Diante deste contexto, o objetivo do presente trabalho foi determinar se existe heterogeneidade espacial horizontal entre os reservatórios Jaguari e Jacareí, respectivamente o primeiro e segundo reservatório do Sistema, por meio da avaliação de parâmetros químicos (água e sedimentos), físicos (água) e biológicos (clorofila, fitoplâncton e zooplâncton), representativos para o estado trófico destes ambientes e que pudessem ser analisados de forma rápida e com baixo custo. Os resultados da água foram comparados com os valores da Resolução CONAMA n° 357/2005. Também foi calculado o Índice de Estado Trófico (IET) dos dois reservatórios. Nesses reservatórios o IET variou entre 54 a 69, classificando os reservatórios como meso a hiperutrófico, sendo o Jaguari quem apresentou os maiores IET. De acordo com a Resolução CONAMA n° 357/2005, ambos os reservatórios apresentaram, no momento da coleta, algumas não conformidades em relação às variáveis OD, PT e clorofila-a, para a Classe 1, classe de enquadramento dos reservatórios. Sugerem também heterogeneidade espacial horizontal.

1 INTRODUÇÃO

Os reservatórios são corpos d'água artificiais, construídos para armazenar a água destinada a múltiplos usos, principalmente abastecimento público. São considerados ambientes lênticos em função da reduzida velocidade do fluxo de água, possuem maior profundidade nas proximidades da barragem e recebem grande parte do seu volume de água a partir de um ou dois tributários principais (CUNHA, 2012).

Em um reservatório são observados processos de acumulação, exportação e ciclagem de material em suspensão e nutrientes (principalmente fósforo e nitrogênio). O fósforo, em ambientes aquáticos, é considerado nutriente limitante e quando liberado na coluna d'água tende normalmente a ser prontamente absorvido pelos organismos ou ser adsorvido ao material em suspensão sendo posteriormente retido e acumulado nos sedimentos. Entretanto, pode ser disponibilizado à coluna de água sob determinadas condições físico-químicas: turbulência, revolvimento do sedimento, alterações no potencial redox e nas concentrações de oxigênio dissolvido na interface água-sedimento (CYR et al., 2009; CAO et al., 2011).

De um modo geral, os reservatórios têm um alto grau de heterogeneidade espacial e temporal, devido à sua natureza dendrítica e também à presença de tributários com águas de diferentes qualidades (THORTON et al., 1990). Esta heterogeneidade reflete-se na composição química, nas características físicas e na distribuição espacial das comunidades (NOGUEIRA, 1999). Segundo Tundisi (1988), a heterogeneidade vertical em reservatórios decorre primeiramente da estratificação térmica, seguida por estratificações química e biológica.

O estabelecimento de padrões de heterogeneidade espacial e temporal em reservatórios é uma ferramenta importante na elaboração de propostas de manejo (CARDOSO-SILVA, 2008).

No Brasil encontramos um dos maiores sistemas produtores de água do mundo, o Sistema Cantareira (Figura 1), que abastece em torno de 55% da Região Metropolitana do Estado de São Paulo (RMSP) e é composto por um complexo de seis reservatórios: Jaguari, Jacareí, Cachoeira, Atibainha, Paiva Castro e Águas Claras. Em 2003, grande parte do território ocupado pelas cinco bacias que formam o Sistema se encontrava alterado devido às atividades antrópicas (WHATELY; CUNHA, 2006).

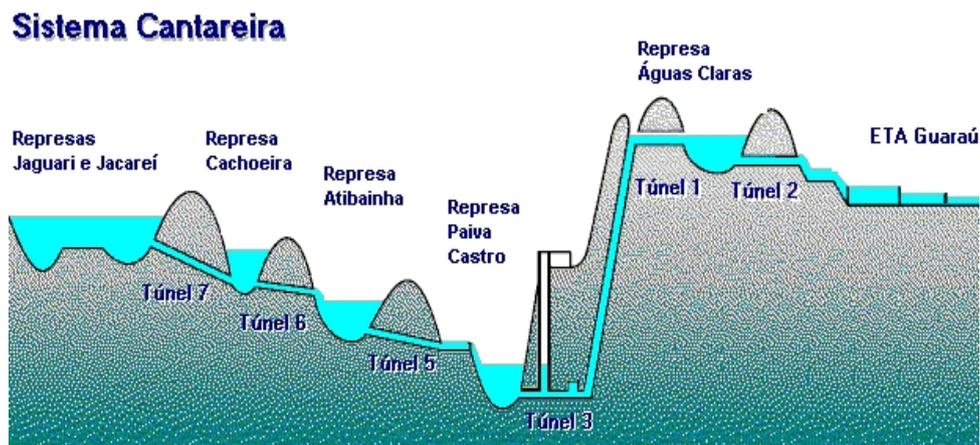


Figura 1: Esquema gráfico do perfil dos reservatórios do Sistema Cantareira. Fonte: Comitê das Bacias Hidrográficas do Piracicaba, Capivari e Jundiá, s/d (<http://aguasdobrasil.org/edicao-06/sistema-cantareira.html>).

Dada a grande importância do Sistema Cantareira para o abastecimento público da RMSP e o crescente impacto das mudanças desordenadas no uso e ocupação do solo que, conseqüentemente, desencadeia uma série de outros impactos que levam à alteração da qualidade da água, torna-se imperativa a caracterização das bacias que compõem o sistema. Esta caracterização pode envolver uma série de análises espaciais, físicas, químicas e biológicas que englobam o entorno dos reservatórios e os reservatórios em si. O presente trabalho restringiu-se à caracterização física,

química e biológica de dois reservatórios, buscando observar eventual diferenciação espacial, representativa no que diz respeito ao estado trófico destes ambientes e que pudesse ser analisada de forma rápida e com baixo custo.

Devido às características intrínsecas de cada reservatório, principalmente quanto ao tempo de residência da água, uso e ocupação do entorno, contribuintes da drenagem e batimetria, espera-se que haja uma heterogeneidade espacial que seja refletida na qualidade da água, sedimentos e biota aquática. Essas características são determinadas por meio da análise das concentrações de alguns componentes químicos inorgânicos na água e sedimentos, assim como por meio da avaliação de parâmetros físicos medidos na água (condutividade elétrica, potencial redox, oxigênio dissolvido, pH e turbidez) e parâmetros biológicos (zooplâncton, fitoplâncton, clorofila *a* e feopigmentos).

Desta forma, o objetivo do presente trabalho foi analisar se há heterogeneidade espacial entre os dois reservatórios estudados por meio da avaliação de parâmetros físicos, químicos e biológicos; comunidade fitoplanctônica e zooplanctônica e investigar a existência de heterogeneidade espacial entre as estações de amostragem de cada reservatório; calcular o Índice de Estado Trófico para os reservatórios; e comparar os resultados com a legislação ambiental pertinente, CONAMA n° 357 de 17 de março de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e dá as diretrizes ambientais para o seu enquadramento.

2 ÁREAS DE ESTUDO

O Sistema Jaguari – Jacareí é formado por duas barragens e um canal de interligação que conecta os dois corpos d'água, formando um único reservatório (WHATELY; CUNHA, 2006), contribuindo com 22 mil L/s, é o maior reservatório do Sistema Cantareira.

A Bacia hidrográfica do rio Jaguari abrange 103.243,4 hectares e compreende total ou parcialmente os municípios de Camanducaia, Extrema, Itapeva, Sapucaí-Mirim, Joanópolis e Vargem. Suas nascentes estão localizadas no Estado de Minas Gerais. Dentro do Estado de São Paulo, o rio Jaguari é represado, constituindo o primeiro dos reservatórios que compõem o complexo de reservatórios do Sistema Cantareira (WHATELY; CUNHA, 2006). A Bacia Hidrográfica do rio Jacareí abrange uma área de 20.290,7 hectares e sua bacia compreende parcialmente os municípios de Bragança Paulista, Joanópolis, Piracaia e Vargem. A maioria de suas nascentes está localizada no município de Joanópolis. Após o represamento, dá origem ao reservatório Jacareí, que é interligado através de um canal ao reservatório Jaguari, o que faz com que sejam operados como um único reservatório (WHATELY; CUNHA, 2006). Para o período compreendido entre janeiro de 2012 a junho de 2013, os reservatórios Jaguari/Jacareí apresentaram volume com amplitude 508,13 (janeiro/2013) a 869,31 milhões de m³ (fevereiro/2012) (GAZONATO-NETO, 2013). Para esse mesmo período a vazão variou de 7,24 (junho/2012) a 30,16 m³/s⁻¹ (maio/2013) e o tempo de residência de 217 (janeiro/2013) a 1308 dias (junho/2012). Para maio de 2013, mês de realização deste trabalho, os valores foram 653,63 milhões de m³ (volume total), 30,16 m³/s de vazão e 251 dias de tempo de residência (GAZONATO-NETO, op cit.)

Estes reservatórios estão enquadrados na Classe 1 (CONAMA n° 357/2005), com suas águas destinadas ao abastecimento para consumo humano após tratamento simplificado, à proteção das comunidades aquáticas, à recreação de contato primário e à irrigação de hortaliças e frutas que são consumidas cruas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

As coletas foram realizadas em 08/05/2013 em sete estações de amostragem (Figura 2), distribuídas em ambos os reservatórios. No reservatório Jaguari foi considerada a zona de rio (JG-rio, 355728 W 7465325 S), onde há entrada de água pelo rio de mesmo nome, e a zona de saída para o reservatório Jacareí (JG-saída, 354185 W 7462817 S), com ponto de coleta próximo ao canal que liga os reservatórios. Também foi selecionada uma região intermediária, definida como central (JG-centro, 355092 W 7463092 S), na tentativa de melhor observar a heterogeneidade espacial

intra- represa. O mesmo ocorreu para o reservatório Jacareí, onde foi selecionada uma estação de coleta logo após a entrada do rio Jacareí (JC-rio, 365406 W 7460966 S) no reservatório, outra estação estava compreendida logo a entrada de água proveniente do reservatório Jaguari (JC-Sapu, 352787 W 7461874 S, próximo a zona de saída do rio Sapucaia). Outro ponto compreendeu a região próxima ao canal de coleta de água que segue por túnel para a represa Cachoeira (JC-canal, 363410 W 7459136 S), e uma última estação num ponto intermediário, no corpo central do Jacareí (JC-centro, 356325 W 7458478 S). Desta forma, ficaram contempladas importantes zonas dos respectivos reservatórios.

Todas as estações foram georreferenciadas por meio de um GPS (*Global Position System*, Garmin Montana 650), programado para registrar coordenadas planas, projeção UTM, Zona 23, Datum WGS 84.

A coleta de amostras de água foi feita com o auxílio de uma mangueira, a qual foi inserida na coluna d'água, possibilitando obter amostras integradas representando uma coluna de água da lâmina de água até a profundidade de 5 m. Este procedimento foi repetido três vezes para obter volume final de água bruta em balde de 5 litros. Imediatamente à coleta foram medidas a temperatura, pH, oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica (CE), turbidez e potencial de oxirredução (E_H), com Sonda Multiparâmetros Horiba® U-50, devidamente calibrada. Esta água bruta foi então acondicionada em galões de polietileno e guardada no escuro em bolsas térmicas para processamento no laboratório. Em laboratório, as amostras de água em galão foram refrigeradas e analisadas no dia seguinte a coleta.

Para a quantificação da clorofila *a* e material em suspensão, amostras de água bruta foram filtradas em filtros de fibra de vidro Millipore AP40 e anotados os volumes empregados. Os filtros para clorofila *a* foram mantidos congelados até o processamento e os filtros para material em suspensão imediatamente colocados em estufa a 105 °C. Para quantificação dos nutrientes totais (água bruta) e dissolvidos (água bruta filtrada - filtros de fibra de vidro Millipore AP40) sub-amostras foram armazenadas em frascos de polietileno previamente descontaminados.

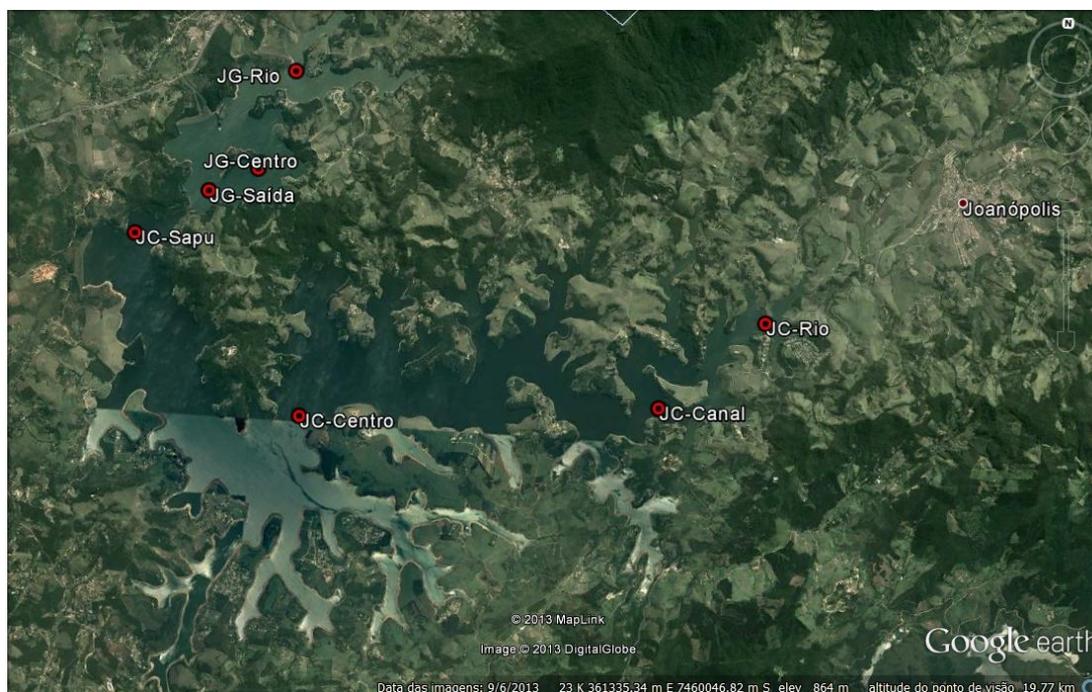


Figura 2: Localização das estações de coleta nos reservatórios Jaguari e Jacareí. (Fonte: Google Earth).

As análises laboratoriais da água compreenderam as determinações das concentrações de fósforo total (VALDERRAMA, 1981), de nutrientes dissolvidos, como nitrito e nitrato (MACKERETH et al., 1978), nitrogênio amoniacal (KOROLEF, 1976) e ortofosfato (STRICKLAND; PARSONS, 1965). A concentração de material em suspensão (total e frações

orgânica e inorgânica) seguiu o método gravimétrico descrito em Wetzel; Likens (1991), secos em estufa a 105 °C e calcinados a 450 °C. A concentração de clorofila-a foi determinada por maceração com acetona 90% a frio e acidificação com HCl 0,1N (WETZEL; LIKENS, 1991).

A coleta de sedimentos foi realizada nos mesmos pontos de amostragem da água bruta, com o auxílio de um pegador (Hydro-Bios No. 437 310), que permitiu a retirada de amostras provenientes dos primeiros 2 cm superficiais de sedimento. O sedimento foi coletado em potes previamente lavados com HNO₃ 10% e após a coleta mantidos em bolsas térmicas e no escuro até processamento em laboratório. Em laboratório, as amostras de sedimento foram secas em estufa a 50 °C, seguida da pulverização em almofariz e pistilo de vidro. Para a determinação dos teores de fósforo e matéria orgânica, aproximadamente 200 mg de amostras secas e trituradas foram calcinadas em forno mufla a 550 °C por 1 hora para remover a fração orgânica, seguindo a metodologia de Andersen (1976), conforme descrito em Pompêo; Moschini-Carlos (2003), para fósforo total. No processo de análise, após a adição do reagente misto, as amostras foram posteriormente centrifugadas a 5000 rpm por 30 minutos (centrífuga Quimis) para remoção de material particulado. Todas as absorbâncias foram lidas em espectrofotômetro Micronal B572 em cubeta de 10 mm de passo óptico.

A coleta de fitoplâncton total foi tomada da mesma água coletada com a mangueira de 5 m e para o zooplâncton em cada estação de coleta foi realizado arrasto vertical representando a camada de cerca de 5 m superficiais, com rede de 68 µm de abertura de malha, respectivamente. Em campo as amostras de fitoplâncton foram fixadas em formol 4% e as amostras de zooplâncton foram primeiramente narcotizadas com água mineral gaseificada e depois fixadas em formol a 4% com adição de açúcar (BICUDO; BICUDO, 2004). Após cada coleta a rede de zooplâncton foi abundantemente lavada com água destilada para remoção da fauna local.

Durante a amostragem a campo, foram ainda realizadas determinações da transparência da água com Disco de Secchi e para a estimativa da zona fótica multiplicou-se seu valor por 3 (Cole, 1975).

A avaliação do estado trófico (IET) foi realizada por meio do cálculo do Índice de Estado Trófico (Índice de Carlson modificado), como descrito em Lamparelli (2004), como a média entre os IETs relativos à concentração de fósforo total e dos teores de clorofila-a. Quando apenas um dos valores eram existentes este foi considerado na classificação do estado trófico.

Para avaliar a heterogeneidade espacial entre os dois reservatórios e entre as estações de coleta de cada reservatório, foram realizadas análises estatísticas multivariadas utilizando *software Statistica 7.0* em Análise de Agrupamento (método Ward e distância euclidiana), com correlações simples, sendo que para a análise foram empregados dados brutos sem padronização, de pH, temperatura, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, disco de Secchi, material em suspensão, porcentagem da fração orgânica do material em suspensão, nitrito, nitrato, amônio, fósforo total (valores abaixo do limite de detecção foram substituídos pelo valor do limite de detecção), valores do IET e das concentrações de fósforo no sedimento (para JC-canal, a concentração de fósforo total foi substituída pela média).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos dados de campo e das análises químicas laboratoriais são apresentados na Tabela 1, além dos valores de IET.

Os valores de pH sugerem o reservatório Jaguari ligeiramente ácido, quando comparado às águas do Jacareí, não corroborado com os dados de Gazonato-Neto (2013), que também amostrou os reservatórios Jaguari e Jacareí em diversas estações de coletas, em dois períodos (agosto de 2012 e março de 2013). Comparados aos resultados obtidos por Gazonato-Neto (op cit.), os valores deste trabalho foram menores para OD e ligeiramente maiores para CE. Para CE, Gazonato-Neto (op cit.) observou valores entre 21 e 30,4 µS/cm e entre 5,60 e 9,11 mg/l para OD. De modo geral, as concentrações de clorofila para este trabalho foram similares aos valores observados por Gazonato-Neto (op cit.), exceto para duas estações no reservatório Jacareí, na segunda coleta, quando este

autor determinou valores de 36,40 e 31,18 $\mu\text{g/l}$, as concentrações variaram de 0,72 a 4,38 $\mu\text{g/l}$. Com base nos valores obtidos para o IET, o reservatório Jaguari se apresentou mais eutrofizado quando comparado ao Jacareí. Vale também ressaltar na Tabela 1 a marcada profundidade da zona fótica em algumas estações de coleta no reservatório Jacareí e seus maiores teores de nitrato.

À título de comparação, Macedo (2011) amostrando água superficial em 36 estações de coleta no reservatório Paiva Castro, último reservatório do Sistema Cantareira, em duas épocas do ano (12/11/2008 e 02/06/2009), observou concentrações de PT abaixo de 20 $\mu\text{g/l}$, exceto na porção mais próxima à cidade de Mairiporã, onde observou valores de até 70 $\mu\text{g/l}$ no período chuvoso (11/2008). Estes valores foram atribuídos à contribuição de esgotos domésticos. Para a extensão da zona fótica, Macedo (op cit.) calculou valores de 2,4 a 7,2 m.

Tabela 1: Resultados das análises físicas e químicas e cálculos do IET nas amostras coletadas nos reservatórios Jaguari e Jacareí, em 08/05/2013

Parâmetros		JG rio	JG centro	JG saída	JC Sapu	JC centro	JC canal	JC rio	L.D.	V.M.P.
Água superficial										
pH	-	6,40	6,96	7,43	7,30	7,27	7,22	7,20	---	6,0-9,0
Temperatura	°C	20,5	20,3	20,6	21,0	21,0	20,6	21,3	---	---
Oxigênio dissolvido	mg/l	6,60	6,89	6,80	6,58	5,53	8,36	6,12	---	6 mg/l
Condutividade elétrica	mS/cm	0,10	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	---	---
Potencial redox	mv	229	293	243	270	261	Nr	Nr	---	---
Disco de secchi	cm	97	88	73	305	350	362	118	---	---
Zona fótica	m	2,91	2,64	2,19	9,15	10,50	10,86	3,54	---	---
Profundidade máxima	m	27	42	39	27	26	18	Nr	---	---
MST	mg/l	3,10	6,36	7,07	1,00	1,25	0,81	4,30	---	---
MSTOrg.	%	96,8	87,6	86,9	46,5	69,2	90,0	81,3	---	---
MSTInorg.	%	3,2	12,4	13,1	53,5	30,8	10,0	18,7	---	---
Nitrito	$\mu\text{g/l}$	6,3	5,4	8,5	2,4	2,5	3,2	6,4	---	1 mg/l
Nitrato	$\mu\text{g/l}$	83,50	79,95	113,10	153,36	175,86	235,07	185,34	17*	10 mg/l
Amônio	$\mu\text{g/l}$	125,9	84,5	99,9	57,3	58,5	56,1	179,1	18*	---
Ortofosfato	$\mu\text{g/l}$	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	9*	---
Fósforo total	$\mu\text{g/l}$	79,3	15,5	22,6	26,2	Nd	40,3	Nd	9*	20 $\mu\text{g/l}$
Clorofila-a	$\mu\text{g/l}$	Nr	7,64	14,70	6,95	1,33	2,67	1,84	---	10 $\mu\text{g/l}$
IET (PT+clor a)/2		69	60	61	61	54	60	54	---	---
IET - Classificação		hiper	eu	eu	eu	meso	eu	meso	---	---
Sedimentos										
matéria orgânica	%	3	3	3	3	4	4	3	---	---
fósforo total	mg/kg	359,31	364,50	405,15	394,04	---	390,31	387,98	---	2,0 g/kg**

Legenda: Nd – Não Detectado. Na – Não Aplicável. Nr – Não realizado. V.M.P. – Valores máximos permissíveis da Resolução CONAMA n° 357/2005 para Classe 1. L.D. – Limite de detecção do método. $\mu\text{g/l}$. MST - material em suspensão total, MSTOrg. - material em suspensão fração orgânica, MSTInorg. - material em suspensão fração inorgânica, IET – índice do estado trófico, PT – fósforo total, Clor. a – clorofila a, eu – eutrófico, meso – mesotrófico, super – supertrófico. * estimado como o valor médio mais três vezes o desvio padrão de amostras controle (15 brancos). ** valor limite de alerta, acima do qual poderá causar prejuízo ambiental a área de disposição do sedimento, em eventual dragagem, conforme Resolução CONAMA n° 344/2004.

Os valores de E_H ratificaram as águas dos dois reservatórios como bem oxigenadas.

Espacialmente, a região fluvial dos dois reservatórios (JG-rio e JC-rio) apresentou as maiores concentrações de nitrogênio amoniacal e nitrito (exceto para JG-saída: 8,5 $\mu\text{g/l}$ de N- NO_2), com valores mais altos no Jaguari. Também nestas regiões foram observados elevados valores para as variáveis clorofila-a, material em suspensão e sua fração orgânica. Os resultados podem ser atribuídos ao aporte de esgotos domésticos.

A análise de fósforo total nos sedimentos dos dois reservatórios retornou valores entre 359,31 e 405,15 mgPT/kg, sem que houvesse, no entanto, claro padrão de variação entre os sistemas, bem como entre as estações de amostragem.

Para 19 estações de coleta localizadas ao longo do rio Paranapanema e tributários, Jorcín; Nogueira (2005) encontraram teores de PT que variaram do valor abaixo do limite de detecção do método a 1.960 mgPT/kg. Relativo à represa Paiva Castro (Mairiporã, SP), S. Cardoso-Silva (dados não publicados), em 9 estações de coleta distribuídas ao longo da represa, encontrou concentrações

de PT entre 63,2 e 1.154,0 mgPT /kg, com nítido padrão de aumento em direção à barragem ($r^2=0,75$). A autora, analisando perfil de sedimento na área da barragem, também registrou marcado padrão sugerindo aumento da concentração dos teores de fósforo em direção aos sedimentos mais recentes e, portanto, aumento ao longo do tempo.

De maneira geral, pode-se considerar que os valores determinados no presente trabalho encontram-se próximos aos valores mais baixos determinados por Jorcín; Nogueira (2005).

Em pesquisa em andamento no Laboratório de Limnologia do Departamento de Ecologia (Instituto de Biociências, USP, dados não publicados) foram levantados os teores de PT no sedimento em 19 estações de coletas distribuídas nas represas Jaguari, Jacareí, Cachoeira, Atibainha e Paiva Castro, com coletas ocorridas no final de maio e em junho de 2013. Nesse extenso levantamento, efetuado em tréplica por estação de coleta, foi determinada a amplitude de 273,15 a 574,90 mgPT/kg, com média de 428,94 mgPT/kg, valores também próximos aos observados neste trabalho.

De acordo com a Resolução CONAMA n° 357/2005 (Tabela 2) para corpos d'água enquadrados na Classe 1, ambos os reservatórios apresentaram algumas não conformidades em relação às variáveis OD, PT e clorofila- a (Tabela 2).

Tabela 2: Padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 357/05 para corpos hídricos classe 1, para algumas variáveis analisada no presente estudo

Variáveis	Padrões	Estações em não conformidade a classe 1
pH	Entre 6 e 9	T.E.C.**
Oxigênio dissolvido	Em qualquer amostra, não inferior a 6 mg/L	JC-centro
Fósforo Total*	Valor máximo 0,020 mg/L	JG-rio, JG-saída, JC-Sapu, JC-canal
Clorofila-a	Valor máximo 10 µg/L	JG-centro
N-NO ₃ ⁻	Valor máximo de 10 mg/l	T.E.C.
N-NO ₂ ⁻	Valor máximo de 1 mg/l	T.E.C.

* - para ambientes lênticos, ** - T.E.C. – Todas as Estações em Conformidade.

A composição de táxons do fitoplâncton (estações JG-Centro e JC-Centro) foi representada por 6 e 18 táxons, nos reservatórios Jaguari e Jacareí, respectivamente (Tabela 3). No fitoplâncton, merece destaque *C. furcoides*, representando quase a totalidade dos organismos presentes na represa Jaguari (JG-centro), da ordem de 131.954,0 ind./ml. Este valor é superior ao encontrado por Matsumura-Tundisi et al. (2010) (535-21.455 ind./ml) no braço Taquacetuba na represa Billings (São Paulo) ou por Wisniewski et al. (2007) no reservatório de Furnas (12 ind./ml). No reservatório Jacareí, a densidade dessa espécie foi menor, 17.556,0 ind./ml. A presença deste organismo exótico vem sendo relatada há pouco tempo em represas brasileiras: em 2007 na represa de Furnas (Minas Gerais) (Santos-Wisniewski et al., 2007), em 2008 na represa Billings (CETESB, 2009), além de em 2013 ter sido observado distribuído em vários pontos das demais represas do Sistema Cantareira, com elevada densidade em alguns pontos (V. Moschini-Carlos, dados não publicados). Em 2009, Nishimura (2012) também observou elevada biomassa de *C. furcoides* no braço Taquacetuba (0,2 a 5,7 mm³/l) e menor biomassa na represa Guarapiranga (0 a 2,6 mm³/l).

Relativo ao zooplâncton (estações JG-Centro e JC-Centro), a composição de microcrustáceos mostrou-se praticamente homogênea em todos os pontos de coleta, não sendo observadas diferenças entre os reservatórios (Tabela 4). A presença de grupos como Calanoida e Cladocera, com espécies representativas de ambientes meso a oligotróficos indicam um ambiente ainda com menor impacto se comparado a outros reservatórios de abastecimento como Guarapiranga e Billings, que vêm sendo impactados ao longo de muito tempo (NISHIMURA, 2012; MEIRINHO, 2010).

Ainda com relação à comunidade zooplânctônica, foi possível observar grande diferença entre os reservatórios quanto à riqueza de rotíferos, reduzida no reservatório Jaguari (4 a 6 espécies), enquanto que no reservatório Jacareí foram observadas de 18 a 21 espécies. Além disso, a abundância relativa mostra uma proporção um pouco menor de rotíferos em relação aos

microcrustáceos no reservatório Jaguari (Tabela 5). Esta baixa riqueza e abundância de rotíferos não são comuns, visto que estes organismos costumam ser bastante abundantes e diversos em ambientes tropicais e subtropicais independente do grau de trofia (NOGUEIRA, 2001; COELHO-BOTELHO, 2003), apesar de serem considerados indicadores de ambientes eutróficos.

Tabela 3: Composição e densidade de fitoplâncton nas estações JG-centro e JC-centro

Táxons	Densidade (n°indivíduo/ml)	Percentual
JG-centro		
Cyanophyceae		
<i>Aphanocapsa</i> sp	5.097,0	3,7
<i>Chroococcus</i> sp	566,0	0,4
Chlorophyceae		
<i>Botryococcus braunii</i>	566,0	0,4
<i>Monoraphidium minutum</i>	566,0	0,4
Bacillariophyceae		
<i>Cyclotella pseudostelligera</i>	566,0	0,4
Dinophyceae		
<i>Ceratium furcoides</i>	131.954,0	94,7
TOTAL	139.315,0	100
JC-centro		
Cyanophyceae		
<i>Aphanocapsa</i> sp	7.362,0	16,1
<i>Chroococcus</i> sp	566,0	1,2
<i>Leptolyngbya</i> sp	1.133,0	2,5
<i>Synechocystis aquatilis</i>	566,0	1,2
Chlorophyceae		
<i>Monoraphidium minutum</i>	566,0	1,2
<i>Botryococcus braunii</i>	566,0	1,2
<i>Chlorella</i> sp	8.495,0	18,5
<i>Eutetramorus</i> sp	566,0	1,2
<i>Dictyosphaerium</i> sp	1.133,0	2,5
<i>Nephrocytium</i> sp	566,0	1,2
<i>Kirchneriella</i> sp	566,0	1,2
Zygnemaphyceae		
<i>Cosmarium</i> sp	566,0	1,2
Bacillariophyceae		
<i>Cyclotella psudostelligera</i>	3.398,0	7,7
<i>Achnanthes</i> sp	566,0	1,2
<i>Nitzschya</i> sp	566,0	1,2
Cryptophyceae		
<i>Cryptomonas</i> sp	566,0	1,2
Euglenophyceae		
<i>Trachelomonas</i> sp	566,0	1,2
Dinophyceae		
<i>Ceratium furcoides</i>	17.556,0	38,3
TOTAL	45.869,0	100

A baixa riqueza de rotíferos no reservatório Jaguari coincidiu com a alta densidade de *C. furcoides* no local. Portanto, este pode ser um fator de explicação para a diferença na riqueza de rotíferos observada entre os reservatórios, se levada em consideração a hipótese de que este organismo pode afetar a composição e densidade da comunidade zooplânctônica, além do próprio fitoplâncton.

Além disso, caso fosse realizada análise quantitativa, provavelmente grande diferença na densidade do zooplâncton entre os reservatórios seria encontrada, com reduzido número de organismos no reservatório Jaguari, reforçando, assim, a hipótese da modificação da comunidade pela extrema densidade de *C. furcoides*. Neste estudo, a amostragem não permitiu uma análise mais precisa, porém, Gazonato-Neto (2013) encontrou densidade numérica zooplânctônica total bastante

reduzida em um ponto da região central do reservatório Jaguari em período (março de 2013) próximo ao coletado neste trabalho, com 2451 indivíduos/m³. Em ponto também central no reservatório Jacareí, a densidade encontrada foi de 16213 indivíduos/m³.

Tabela 4: Diversidade e presença de zooplâncton nos reservatórios

	JC-rio	JC-Sapu	JC-centro	JC-canal	JG-saída	JG-centro	JG-rio
Copepoda Calanoida							
<i>Notodiaptomus</i> sp1.	x	x	x	x	x	x	x
<i>Notodiaptomus</i> sp2.	x	x	x	x	x	x	x
Riqueza Calanoida	2	2	2	2	2	2	2
Copepoda Cyclopoida							
<i>Mesocyclops</i> sp.		x					
<i>Thermocyclops decipiens</i> (Kiefer, 1929)	x	x	x	x			x
<i>Thermocyclops</i> sp.	x	x	x	x	x	x	x
Riqueza Cyclopoida	2	3	2	2	1	1	2
Cladocera							
<i>Bosmina longirostris</i> (O. F. Muller, 1785)	x	x	x	x	x	x	
<i>Ceriodaphnia cornuta</i> (Sars, 1886)	x	x	x	x	x	x	x
<i>Daphnia gessneri</i> (Herbst, 1967)	x	x	x	x	x	x	x
<i>Diaphanosoma birgei</i> (Korineck, 1981)	x	x	x	x	x	x	x
<i>Moina minuta</i> (Hansen, 1899)	x	x	x	x	x	x	x
Riqueza cladocera	5	5	5	5	5	5	4
Rotifera							
<i>Ascomorpha tundisii</i> (Segers & Dumont 1995)	x	x	x	x			
<i>Asplanchna brightwelli</i> (Gosse, 1850)		x	x	x			
<i>Brachionus angularis</i> (Gosse, 1851)	x	x					
<i>Brachionus falcatus</i> (Zacharias, 1898)	x			x			
<i>Brachionus mirus</i> (Daday, 1905)						x	
<i>Collotheca</i> sp.		x	x	x			
<i>Conochilus unicornis</i> (Rousselet, 1892)	x	x	x	x	x	x	x
<i>Filinia opoliensis</i> (Zacharias, 1898)		x		x			
<i>Gastropus hyptopus</i> (Ehrenberg, 1838)				x			
<i>Hexarthra intermedia</i> (Hauer, 1953)	x	x	x	x	x		
<i>Kellicottia bostoniensis</i> (Rousselet, 1908)	x	x	x	x	x		
<i>Keratella americana</i> (Carlin, 1943)	x	x		x	x	x	x
<i>Keratella cochlearis</i> (Gosse, 1851)	x	x	x	x			x
<i>Keratella lensi</i> (Hauer, 1953)			x		x		
<i>Polyarthra aff. Vulgaris</i>	x	x	x		x	x	x
<i>Synchaeta</i> sp.	x			x			
<i>Trichocerca</i> sp.	x						
Riqueza Rotifera	11	11	9	12	6	4	4
Riqueza total	20	21	18	21	14	12	12

Tabela 5: Abundância relativa dos principais grupos zooplânctônicos nas estações JC-Centro e JG-Centro

Grupo	Estações	
	JC - Centro	JG - Centro
Calanoida	28,97 %	30,56 %
Cyclopoida	23,68 %	23,15 %
Cladocera	23,68 %	28,70 %
Rotifera	23,68 %	17,59 %

A análise de cluster, considerando os resultados das variáveis físicas, químicas e clorofila-a, resultou num dendograma com dois grupos bem definidos: i) um grupo formado por todos os pontos amostrados no reservatório Jaguari (JG-rio, JG-centro, JG-saída) mais o ponto localizado na região fluvial do Jacareí (JC-rio); e ii) outro formado pelas unidades amostrais do Jacareí (JC-Sapu, JC-canal, JC-centro) (Figura 3). A diferenciação entre represas pode ser atribuída às variáveis DS e nitrato, com valores mais altos no reservatório Jacareí, e às variáveis material em suspensão, nitrito e nitrogênio amoniacal, com maiores concentrações no Jaguari. A estação JC-rio, por apresentar menor valor de DS e maiores concentrações de MST, nitrito e nitrogênio amoniacal, se assemelhou aos pontos amostrados no Jaguari. Os resultados mostraram que, apesar de estarem interligadas por um canal, as represas apresentam dinâmica própria e, portanto, características limnológicas

distintas, incluindo diferenças marcantes na estrutura das comunidades planctônicas estudadas. Individualmente, a heterogeneidade espacial foi representada principalmente pela diferenciação das respectivas regiões fluviais, mais enriquecidas e com maiores concentrações de material em suspensão e menor transparência. No caso da represa Jaguari, a diferenciação da região fluvial se deveu também ao seu estado trófico, com o ponto JG-rio classificado como hipereutrófico.

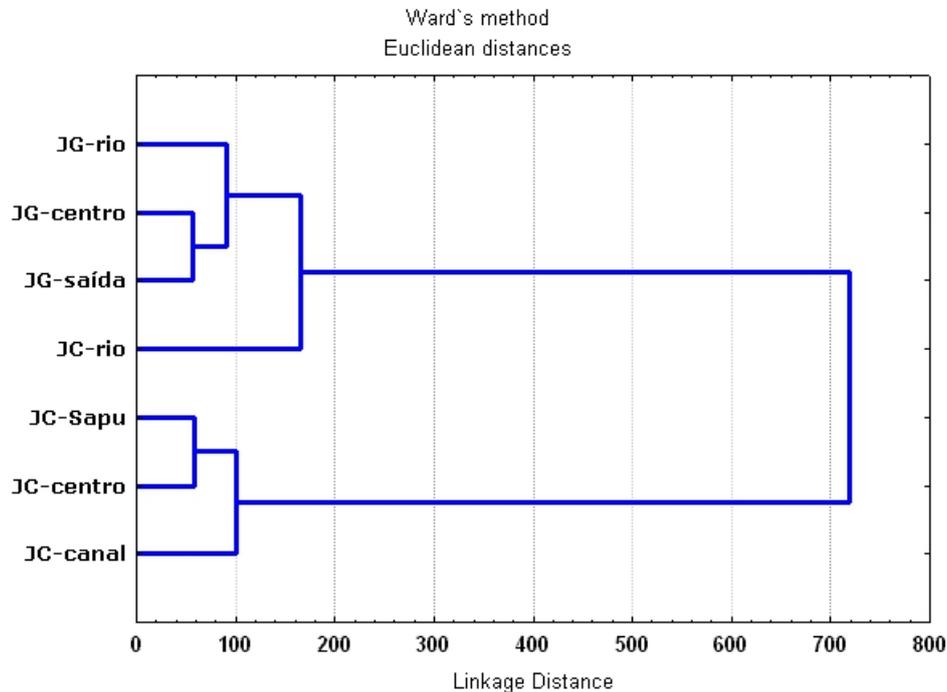


Figura 3: Análise de agrupamento (cluster) entre as estações de coleta dos reservatórios Jaguari e Jacaré.

Portanto, os resultados observados no presente estudo sugeriram heterogeneidade espacial horizontal nos reservatórios Jaguari e Jacaré. Marcada heterogeneidade espacial horizontal também foi encontrada nos reservatórios Paiva Castro (MACEDO, 2010), Guarapiranga (CARDOSO-SILVA, 2008) e Complexo Billings (CARDOSO-SILVA et al., 2014) para amostras de água superficial e para o sedimento nos reservatórios Guarapiranga (POMPÊO et al., 2013), braço Rio Grande (Complexo Billings) (MARIANI; POMPÊO, 2008) e Paiva Castro (CARDOSO-SILVA, 2013).

De acordo com modelo teórico de heterogeneidade espacial proposto por Thorton et al. (1990), reservatórios podem desenvolver compartimentalização horizontal, dando origem a regiões diferenciadas química, física e biologicamente: as zona de rio, zona intermediária e zona lacustre, influenciada por diversos fatores, incluindo o regime de operação, determinante para a magnitude e variabilidade do tempo de residência, variável hidráulica que tem influência direta sobre a renovação e o movimento das massas d'águas nestes ecossistemas. O tempo de residência tem influência ainda sobre as taxas de sedimentação, a ciclagem de nutrientes e a produtividade primária do fitoplâncton, pois é determinante para as velocidades de fluxo ao longo do eixo longitudinal de reservatórios.

Cabe ressaltar também que, além do regime de operação, dependente de fatores hidrológicos e climáticos, a heterogeneidade observada em represas é dependente também de fatores antrópicos, particularmente os relacionados aos usos e ocupação do solo e à cobertura de serviços de saneamento nas bacias de drenagem. No presente trabalho, as respectivas regiões fluviais pareceram apresentar forte influência da carga de nutrientes oriunda provavelmente do lançamento de esgotos domésticos não tratados nos rios principais ou seus tributários.

Portanto, a heterogeneidade espacial observada em reservatórios depende não somente de fatores intrínsecos, como a morfometria, regime de operação, o qual também é influenciado pelas demandas de água de determinada região, mas também das características fisiográficas e atividades

humanas que se desenvolvem ao longo de suas bacias hidrográficas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O levantamento expedito realizado neste trabalho permitiu obter informações qualificadas da coluna de água e do sedimento dos reservatórios Jaguari e Jacareí. A análise de dados sugeriu heterogeneidade espacial horizontal entre os dois reservatórios, com diferenças provavelmente associadas à dinâmica de cada um deles e do seu entorno (tempo de residência da água, movimentação horizontal e vertical da água e contribuições associadas ao uso e ocupação do solo do entorno, escoamento superficial, carga difusa, velocidade e sentido dos ventos, tipo do solo, morfometria dos reservatórios, aspectos geoquímicos e hidrogeológicos).

Foi possível observar diferenças intra- e inter-reservatórios. Estas diferenças, do ponto de vista do monitoramento, permitem considerar estudos em três estações de coleta no Jaguari, uma na porção rio, outra na região central/barragem e uma terceira próxima ao ponto de saída do reservatório, no canal de ligação com o reservatório Jacareí. Já no reservatório Jacareí, decorrente da dinâmica da água no sistema, também ao menos três compartimentos podem ser considerados, a porção rio, a região próxima ao canal de saída de água para o reservatório Cachoeira e um ponto na região central.

O IET, da ordem de 54 a 69, representa massas de água com trofia meso a hipereutrófica, como observado para o Jaguari e Jacareí. No entanto, o elevado IET para JG-rio e a não conformidade a classe 1 (CONAMA n° 357/2005), associada à baixa riqueza na comunidade fitoplanctônica, mas com elevadíssima densidade de *C. furcoides*, são sinais de alerta aos gestores do sistema.

É necessário estabelecer sólido protocolo para monitoramento contínuo desses reservatórios, que deve ser estendido aos demais reservatórios que compõem o Sistema Cantareira. A adoção de um sistema de gerenciamento e análise integrada de dados é fundamental dada à importância no abastecimento público e a fragilidade já detectada neste trabalho particularmente no Jaguari, com grande potencial para comprometer a qualidade desses reservatórios.

Apesar de o trabalho ter sugerido a existência de heterogeneidade espacial nos reservatórios investigados, é recomendável que estudos posteriores contemplem uma maior frequência de amostragem ao longo do ano para que se possa inferir sobre os fatores preponderantes para a compartimentalização dos mesmos. Este aspecto é relevante, visto que as regiões hipotéticas, diferenciadas física, química e biologicamente, são caracterizadas por fronteiras fluidas e dinâmicas que podem se expandir ou contrair de acordo com a dinâmica sazonal do corpo d'água. Se levarmos em consideração o aspecto do monitoramento da qualidade da água armazenada, uma maior frequência de amostragem permitiria também avaliar a frequência de ocorrência de não conformidades (como as que foram observadas neste trabalho) em relação aos valores máximos admissíveis para a respectiva classe de enquadramento, como definidas pela Conama n° 357/2005.

AGRADECIMENTOS

A FAPESP (Procs. 2013/08272-0 e 2012/11890-4), à Marina Confiança (Bragança Paulista, SP) e a Sabesp (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo), pelas facilidades ao desenvolvimento deste projeto. Esta pesquisa foi desenvolvida como atividade prática da disciplina BIE-5729 Ecologia de Águas Continentais, no ano 2013, oferecida no PPG em Ecologia, do Instituto de Biologia, da Universidade de São Paulo.

REFERÊNCIAS

- ANDERSEN, J. M. An ignition method for determination of total phosphorus in lake sediments. **Water Research**, v. 10, p. 329-331, 1976.
- BICUDO, C. E.; BICUDO, D. C. (Orgs.). **Amostragem em limnologia**. RiMa: São Carlos, 2004. 351 p.

- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 18 mar. 2005.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n° 344, de 25 de março de 2004. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 07 maio de 2004. p. 56-57.
- CAO, Z.; ZHANG, X.; AL, N. Effect of sediment on concentration of dissolved phosphorus in the Three Gorges Reservoir. **International Journal of Sediment Research**, v. 26, n. 11, p. 87-95, 2011.
- CARDOSO-SILVA, S. **Heterogeneidade espacial e a qualidade das águas superficiais do reservatório Guarapiranga**. 2008. 100 f. Dissertação (Mestrado em Ecossistemas Terrestres e Aquáticos) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- CARDOSO SILVA, S. **Metais-traço em sedimentos do reservatório Paiva Castro (Mairiporã - São Paulo): histórico por meio da geocronologia do ²¹⁰Pb, biodisponibilidade e uma proposta para a gestão dos recursos hídricos**. 2013. 166 p. Tese (Doutorado) - Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.
- CARDOSO-SILVA, C.; NISHIMURA, P. Y.; PADIAL, P. R.; MARIANI, C. F.; MOSCHINI-CARLOS, V.; POMPÊO, M. Compartimentalização e qualidade da água: o caso da represa Billings. **Bioikos**, v28, n.1,p.31-43, 2014.
- COELHO-BOTELHO, M. J. **Dinâmica da comunidade zooplancônica e sua relação com o grau de trofia em reservatórios**. São Paulo: CETESB, 2003.
- COLE, G. A. **Textbook of Limnology**. Saint Louis: Mosby, 1975. 283 p.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2008**. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 2009.
- CUNHA, D. G. F. **Heterogeneidade espacial e variabilidade temporal do reservatório de Itupararanga: uma contribuição ao manejo sustentável dos recursos hídricos da bacia do Rio Sorocaba (SP)**. 2012. 235 p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.
- CYR, H.; MCCABE, S. K.; NUREMBERG, G. K. Phosphorus sorption experiments and the potential for internal phosphorus loading in littoral areas of a stratified lake. **Water Research**, v. 43, n. 6, p. 1654-1666, 2009.
- GAZONATO-NETO, A. J. **Estudo limnológico dos reservatórios Jaguari e Jacaré com ênfase na comunidade zooplancônica**. 2013. 115 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013.
- JORCIN, A.; NOGUEIRA, M. G. Phosphate distribution in the sediments along a cascade of reservoirs (Paranapanema River, SE, Brazil). In: SERRANA, L.; GOLTERMAN, H. L. **Phosphate in sediment**. Leiden: Backhuys Publishers, 2005, p. 77-86. (Proceedings of the 4th International Symposium).
- KOROLEFF, F. Determination of nutrients. In: GRASSHOFF, K. (Ed.). **Methods of seawater analysis**. New York: Verlag Chemie Weinheim, 1976. p. 117-181.
- LAMPARELLI, M. C. **Graus de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. 2004. 234 f. Tese (Doutorado em Ecologia)- Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- MACEDO, C. C. L. **Heterogeneidade espacial e temporal das águas superficiais e das macrófitas aquáticas do reservatório Paiva Castro (Mairiporã - SP-Brasil)**. 2011. 124 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de São Paulo - UNESP, Sorocaba, 2011.
- MACKERETH, F. J. H.; HERON, J.; TALLING, J. F. Water analysis: some revised methods for limnologists. **Freshwater Biological Association**, n. 36, p. 121, 1978.
- MARIANI, C. F.; POMPÊO, M. Potentially bioavailable metals in sediment from a tropical polymictic environment—Rio Grande Reservoir, Brazil. **Journal Soils and Sediments**, v, 8, p. 284–288, 2008.
- MATSUMURA-TUNDISI, T.; TUNDISI, J.; LUZIA, A.; DEGANI, R. Occurrence of *Ceratium furcoides* (Levander) Langhans 1925 bloom at the Billings Reservoir, São Paulo State, Brazil. **Braz. J. Biol.**, v. 70, p. 825-829, 2010.

- MEIRINHO, A. M. **Compartimentalização da comunidade zooplancônica em um reservatório tropical urbano eutrofizado (braço Rio Grande, Complexo Billings, SP)**. 2010. 89 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- NISHIMURA, P. Y. **A comunidade fitoplanctônica nas represas Billings e Guarapiranga (Região Metropolitana de São Paulo)**. 2012. 135 p. Tese (Doutorado em Ecologia) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- NOGUEIRA, M. G. Zooplankton composition, dominance and abundance as indicators of environmental compartmentalization in Jurumirim Reservoir (Parapanema River), São Paulo, Brazil. **Hydrobiologia**, v. 455, p. 1-18, 2001.
- NOGUEIRA, V. P. Q. Qualidade da água em lagos e reservatórios. In: **HIDROBIOLOGIA AMBIENTAL**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo/Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1999. p. 58-63.
- POMPÊO, M.; PADIAL, P. R.; MARIANI, C. F.; CARDOSO-SILVA, S.; MOSCHINI-CARLOS, V.; RÊGO-SILVA, D. C. V.; PAIVA, T. C. B.; BRANDIMARTE, A. L. Biodisponibilidade de metais no sedimento de um reservatório tropical urbano (reservatório Guarapiranga – São Paulo (SP), Brasil): há toxicidade potencial e heterogeneidade espacial? **Geochimica Brasiliensis**, v. 27, n. 2, p. 104-119, 2013
- POMPÊO, M. L. M.; MOSCHINI-CARLOS, V. **Macrófitas aquáticas e perifiton: aspectos ecológicos e metodológicos**. São Carlos: RiMa, 2003.
- SANTOS-WISNIEWSKI, M. J.; SILVA, L. C.; LEONE, I. C.; LAUDARES-SILVA, R.; ROCHA, O. First record of the occurrence of *Ceratium furcoides* (Levander) Langhans 1925, an invasive species in the hydroelectricity power plant Furnas Reservoir, MG, Brazil. **Braz. J. Biol.**, v. 67, n. 4, p. 791-793, 2007.
- THORTON, K. W.; KIMMEL, B. L.; PAYNE, F. E. Perspectives on Reservoir Limnology. In: THORTON, K. W.; KIMMEL, B. L.; PAYNE, F. E. (Eds.). **Reservoir limnology: ecological perspectives**. New York: Wiley-Interscience, 1990.
- TUNDISI, J. G. Impactos ecológicos da construção de represas: aspectos específicos e problemas de manejo. In: TUNDISI, J. G. (Ed.). **Limnologia e manejo de represas**. São Carlos: EESC-USP/CRHEA/ACIEP, 1988. v. 1, Tomo 1. (Série Monografias em Limnologia).
- VALDERRAMA, G. C. The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorus in natural waters. **Marine Chemical**, v. 10, p. 109-122, 1981.
- WETZEL, R. G.; LIKENS, G. E. **Limnological analysis**. 2. ed. New York: Springer-Verlag, 1991. 391 p.