

# RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)  
autor(a), o texto completo desta\_\_\_\_  
dissertação será disponibilizado  
somente a partir  
de 29/03/2021.

**Aline Martins Vicentin**

**AVALIAÇÃO DA HETEROGENEIDADE ESPACIAL DO  
RESERVATÓRIO CARLOS BOTELHO (LOBO/BROA),  
COM ÊNFASE NA COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA**

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Luiz Martins  
Pompêo

Sorocaba  
2019

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO em

ciências ambientais

**Aline Martins Vicentin**

**AVALIAÇÃO DA HETEROGENEIDADE ESPACIAL DO  
RESERVATÓRIO CARLOS BOTELHO (LOBO/BROA),  
COM ÊNFASE NA COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA**

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" na Área de Concentração Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Luiz Martins  
Pompêo

Sorocaba

2019

V633a      Vicentin, Aline Martins  
Avaliação da heterogeneidade espacial do reservatório Carlos Botelho (Lobo/Broa), com ênfase na comunidade fitoplanctônica / Aline Martins Vicentin. -- Sorocaba, 2019  
117 p. : tabs., mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba  
Orientador: Marcelo Luiz Martins Pompêo

1. Ecologia Aquática. 2. Água Qualidade. 3. Limnologia. 4. Fitoplâncton. 5. Eutroficação. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO


TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Avaliação da Heterogeneidade Espacial do Reservatório Carlos Botelho (Lobo/ Broa), com ênfase na comunidade fitoplanctônica

AUTORA: ALINE MARTINS VICENTIN

ORIENTADOR: MARCELO LUIZ MARTINS POMPÊO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em CIÊNCIAS AMBIENTAIS, área: Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental pela Comissão Examinadora:

  
Prof. Dr. MARCELO LUIZ MARTINS POMPÊO  
Departamento de Ecologia / Instituto de Biociências - Universidade de São Paulo (USP)

  
Prof.ª. Dr.ª. RENATA FRACÁCIO FRANCISCO  
Engenharia Ambiental / Unesp - ICT Sorocaba

  
Prof.ª. Dr.ª. ROSELI FREDERIGI BENASSI  
Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas (CECS) / Universidade Federal do ABC (UFABC)

Sorocaba, 29 de março de 2019

*À minha família:  
minha base.*



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao meu orientador, Marcelo Pompêo, pela oportunidade de desenvolver o Mestrado, por todo o aprendizado e confiança.

Aos colegas do Laboratório de Limnologia da Universidade de São Paulo (USP), como também da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), que torceram pelo meu sucesso. E, em especial, aos colegas: Eduardo Rodrigues, Rayssa de Lima Cardoso, Jéssica Medeiros, Victor Cioce, Sheila Cardoso-Silva, Leila dos Santos e Angela Pantoja, que se tornaram grandes amigos e ajudaram imensamente, do começo ao fim.

À Professora Viviane Moschini-Carlos por ter me acompanhado e instruído durante o estágio-docência, assim como aos queridos discentes da Engenharia Ambiental que me receberam tão bem.

Aos amigos de coração que sempre me desejaram sucesso.

Á minha família: minha base. Especialmente aos meus pais, Telmo e Ana, que me apoiam incondicionalmente!

Destaco meus sinceros agradecimentos a todos que se envolveram direta ou indiretamente nesta trajetória. Cada um teve um papel especial.

## RESUMO

Objetivou-se avaliar a heterogeneidade espacial do reservatório Broa a partir das variáveis limnológicas, metais em água e sedimento e comunidade fitoplanctônica. As coletas foram realizadas no período seco em nove pontos amostrais distribuídos ao longo do eixo longitudinal do reservatório. Determinou-se *in situ*, laboratório e/ou microscopia: coordenadas GPS, profundidade, temperatura superficial, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, pH, transparência, nutrientes inorgânicos, clorofila-a, metais em água e sedimento, matéria orgânica, nutrientes em sedimento, riqueza, densidade, biomassa e grupos funcionais do fitoplâncton, a partir de microscópio óptico binocular e invertido, e método de câmaras de sedimentação. As seguintes análises estatísticas foram aplicadas: Análise de Componentes Principais (ACP), Análise de Correspondência Canônica (ACC), ANOVA, análise de correlação, assim como os índices de Uniformidade (*Evenness E<sub>2</sub>*), Fator de Enriquecimento (FE), Carga Poluidora (PLI) e Risco Ecológico (RI). As variáveis OD, NT, Clor-a, densidade de cianobactérias e concentração de Cu estiveram em desacordo com a Resolução CONAMA 357/05, com classificação da qualidade da água como “Ruim” pelo *Evenness E<sub>2</sub>*, sendo que as baixas concentrações dos elementos conservativos e metais em sedimento favoreceram respostas positivas aos índices FE, PLI e RI. Foi identificada tendência de eutrofia, com destaque das cianobactérias na estrutura da comunidade em relação à densidade, biomassa e espécies descritoras a partir dos grupos funcionais H1, K, Lm e Sn. Foi identificada compartimentalização do reservatório em duas zonas (lótica e lêntica) a partir de ACP. As atividades antrópicas que ocorrem na bacia contribuem efetivamente para o processo de eutrofização e aporte de metais, devendo-se atenção ao comprometimento da qualidade da água devido à densa presença de espécies potencialmente tóxicas. As variáveis apresentaram distribuição heterogênea, com ausência de tendência de variação clara ao longo do eixo longitudinal ou entre compartimentos. A aplicação dos índices foi satisfatória e auxiliou na identificação e controle da poluição aquática, evidenciando que a principal problemática identificada é a eutrofização, visto que a mesma pode comprometer os múltiplos usos da represa, além da saúde humana e ecossistêmica.

**Palavras-chave:** Índices Ecológicos. Qualidade da água. Qualidade do sedimento. Eutrofização. Fitoplâncton.

## ABSTRACT

The aim of the study was to evaluate the spatial heterogeneity of the Broa reservoir from the limnological variables, metals in water and sediment and phytoplankton community. The samples were collected during the dry period at nine sampling points distributed along the longitudinal axis of the reservoir. The following variables were determined *in situ*, laboratory and/or microscopy: GPS coordinates, depth, surface temperature, dissolved oxygen, conductivity, pH, transparency, inorganic nutrients, chlorophyll a, metals in water and sediment, organic matter, sediment nutrients, richness, density, biomass and phytoplankton functional groups, using binocular and inverted optical microscope, and sedimentation chamber method. The statistical analyzes were Principal Components Analysis (PCA), Canonical Correspondence Analysis (CCA), ANOVA, correlation analysis, as well the Uniformity Index (*Evenness* E2), Enrichment Factor (EF), Pollutant Concentration (PLI) and Ecological Risk (ER). The DO, TN, Chlor-a, cyanobacteria density and Cu concentrations variables were in disagreement with CONAMA Resolution 357/05, with water quality classified as "Bad" by *Evenness* E2. For the concentrations of the conservative elements and metals in sediment the classification of pollutant was "absent/very low" by the EF, PLI and ER indexes. Eutrophic tendency was identified, with emphasis on cyanobacteria in the community structure in relation to density, biomass and descriptive species from functional groups H1, K, Lm and Sn. Nutrient enrichment was identified in both matrices, with emphasis on nitrogen content in the sediment. The PCA analysis showed an inverse relation between some metals (Ni, Cu and Zn) and the variables associated with the trophic state in sediment, indicating a compartmentalization of the reservoir in two zones. There was no variation clear trend of the variables along the longitudinal axis or between compartments. The conservative elements and metals concentrations were low for most of the quantified elements, indicating that nutrient enrichment represents a main concern for the environmental quality maintenance. This issue can bring losses to aquatic communities and environmental variables, corroborated by the indexes which were satisfactory to the reservoir evaluation, assisting in the identification and pollution control in aquatic environments.

**Key-words:** Ecological indexes. Water quality. Sediment quality. Eutrophication. Phytoplankton.

## LISTA DE FIGURAS

### **Geral: Introdução geral e Referencial teórico**

- Figura 1:** Representação de processos internos em um reservatório, contemplando os subsistemas físico, químico e biológico. Fonte: Straškraba e Tundisi (2013).....**02**
- Figura 2:** Compartimentalização em um reservatório, composto por zonas de rio, transição e lacustre. Fonte: Straškraba e Tundisi (2013).....**05**
- Figura 3:** Sistema de reservatório com seus principais componentes ecossistêmicos. Fonte: Straškraba e Tundisi (2013).....**06**
- Figura 4:** Frequência de efeitos biológicos adversos segundo em relação a concentração química do elemento de interesse, estabelecendo faixas de PEL/ISQG (Probable Effect Level/Interim Sediment Quality Guidelines) e TEL (Threshold Effect Level) para os Valores Guia de Qualidade do Sedimento (VGQS). Fonte: CCME (1999).....**09**
- Figura 5:** Critério de Avaliação da Qualidade dos Sedimentos definido pela CETESB para contaminantes químicos em cinco faixas de qualidade a partir de valores de PEL/ISQG (Probable Effect Level/Interim Sediment Quality Guidelines) e TEL (Threshold Effect Level). Fonte: CETESB (2017).....**10**

### **Capítulo I: Is it possible to evaluate the ecological status of a reservoir using the phytoplankton community?**

- Figure 1:** Representation of the sampling points (P1 to P9) in the Broa reservoir and its respective tributaries, located in the State of São Paulo, Brazil. The different shades of gray highlighting the following sets of sample points (P1 – P3; P4 – P6; and P7 – P9) indicate the theoretical zones of river, center and dam, respectively. From: Adapted from Tundisi et al. (2004).....**24**
- Figure 2:** Percentage distribution of the phytoplankton community classes from Broa reservoir.....**27**
- Figure 3:** Density of the phytoplankton community from Broa reservoir in 9 points (P1 to P9) along a longitudinal transect. The primary axis includes all phytoplankton classes, with the exception of the class Cyanophyceae, which is allocated on the secondary axis].....**28**
- Figure 4:** Principal Component Analysis (PCA) formed by axes 1 and 2 from

correlation of limnological variables in surface waters of 9 collection points in the Broa reservoir. NO<sub>3</sub> - : nitrate concentration, T.P.: total phosphorus, Chlor. a: Chlorophyll-a, T.N.: total nitrogen, Depth, T: surface temperature, E.C.: electrical conductivity, pH: hydrogenation potential, S.D.: Secchi depth, and D.O.: dissolved oxygen.....30

## **Capítulo II: Variação espacial dos Grupos Funcionais fitoplanctônicos de um reservatório tropical de usos múltiplos (São Paulo, Brasil)**

**Figura 1:** Representação dos pontos amostrais (P1 a P9) no reservatório Carlos Botelho e seus respectivos tributários, localizado no Estado de São Paulo, Brasil. Fonte: Adaptado de Tundisi et al. (2004); Vicentin et al. (2018).....49

**Figura 2:** Gráfico de densidade dos grupos funcionais em relação à densidade total da comunidade do Reservatório Carlos Botelho, São Paulo, Brasil. O eixo primário (inferior) corresponde aos GFs H1, K, Sn e Lm que estão dispostos como barras empilhadas, enquanto o eixo secundário (superior) está representando a densidade total de acordo com o seu ponto de ocorrência.....55

**Figura 3:** Biomassa dos Grupos Funcionais fitoplanctônicos, das cianobactérias e biomassa total da comunidade do Reservatório Carlos Botelho, São Paulo, Brasil.....56

**Figura 4:** Índice de Estado Trófico (IET) aplicado aos nove pontos amostrais e respectivas categorias de trofia do reservatório Carlos Botelho, São Paulo, Brasil.....57

**Figura 5:** Espécies abundantes e dominantes de acordo com metodologia de Lobo e Leighton (1986) ao longo do reservatório Carlos Botelho, São Paulo, Brasil.....58

**Figura 6:** Análise de Correspondência Canônica (CCA) das variáveis: profundidade (Prof.), Temperatura da água (T), Concentração de oxigênio dissolvido (OD), pH, potencial redox (PR), transparência (DS), fósforo total (PT), nitrogênio total (NT), clorofila-a (Clor.), densidade de cianobactérias (Dens. C), Índice de estado Trófico (IET), e dos grupos funcionais (H1, K, Sn e Lm) do reservatório Broa, no qual o eixo 1 explica 76,11% das variáveis, e o eixo 2, 17,61% .....59

## **Capítulo III: Biodisponibilidade de metais e nutrientes em água e sedimento superficial de um reservatório do Estado de São Paulo**

**Figura 1:** Representação dos pontos amostrais (1 a 9) no reservatório Broa e seus respectivos tributários, localizado no Estado de São Paulo, Brasil. Fonte: Adaptado de

Tundisi et al. (2004).....	<b>81</b>
<b>Figura 2:</b> Variação da concentração de nitrato (NO <sub>3</sub> -), fósforo total (PT), Clorofila-a (Clor. α) (eixo primário – esquerda), Nitrogênio total (NT) e oxigênio dissolvido (OD) (eixo secundário – direita) no reservatório estudado.....	<b>87</b>
<b>Figura 3:</b> Teores de Cu, Ni, Pb, Zn e Cr em sedimento e suas respectivas concentrações ao longo do reservatório de estudo e respectivas comparações com os VGQS TEL/ISQG e PEL e sua respectiva classificação elaborada por CETESB (2017), e valores de referência estabelecidos por Nascimento e Mozeto (2008) - VRR (1) e por Cardoso-Silva e Soares-Silva - VRR (2).....	<b>90</b>
<b>Figura 4:</b> Análise de Componentes Principais (ACP) das variáveis: fósforo total (PT), nitrogênio total (NT), silte e argila (S+A), matéria orgânica (MO) e metais em sedimento do reservatório Broa, no qual o eixo 1 explica 36,80% das variáveis, e o eixo 2, 28,85%.....	<b>92</b>

## LISTA DE TABELAS

### **Geral: Introdução geral e Referencial teórico**

<b>Tabela 1:</b> Valores e informações dos índices aplicados FE, PLI e RI para metais em sedimento. ....	<b>11</b>
<b>Tabela 2:</b> Revisão bibliográfica dos resultados dos Índices de Estado Trófico aplicados para o reservatório Broa de 1976 a 2015.....	<b>14</b>

### **Capítulo I: Is it possible to evaluate the ecological status of a reservoir using the phytoplankton community?**

<b>Table 1:</b> Trophic state classification for reservoirs (modified by POMPÊO, 2017).....	<b>25</b>
<b>Table 2:</b> Reference values of Evenness E2 index to phytoplankton classifying the water quality (SPATHARIS & TSIRTSIS, 2010).....	<b>26</b>
<b>Table 3:</b> Data from physicochemical analyzes obtained in the field and posterior laboratory analysis.....	<b>28</b>
<b>Table 1:</b> Classification of Broa reservoir according Trophic State Index in 9 points (P1 to P9) along a longitudinal transect.....	<b>30</b>
<b>Table 2:</b> Water quality classification of Broa reservoir according to Evenness E2 Index in 9 points (P1 to P9) along a longitudinal transect.....	<b>31</b>

### **Capítulo II: Variação espacial dos Grupos Funcionais fitoplanctônicos de um reservatório tropical de usos múltiplos (São Paulo, Brasil)**

<b>Tabela 2:</b> Classificação do estado de trofia de acordo com ponderação do IET para reservatórios (CUNHA et al., 2013).....	<b>52</b>
<b>Tabela 2:</b> Dados provenientes das análises físico-químicas obtidos em campo e/ou análise laboratorial posterior do Reservatório Carlos Botelho, São Paulo, Brasil.....	<b>53</b>
<b>Tabela 3:</b> Espécies selecionadas da comunidade fitoplanctônica do Reservatório Broa com base no biovolume >1% em pelo menos uma unidade de amostra e sua contribuição porcentual (%) no Grupo Funcional (GF) nos pontos amostrais (P1 a P9).....	<b>54</b>

### **Capítulo III: Biodisponibilidade de metais e nutrientes em água e sedimento superficial de um reservatório do Estado de São Paulo**

<b>Tabela 3:</b> Características do reservatório Carlos Botelho. Fonte: TUNDISI et al. (2008); CERVI et al. (2016) e Tundisi; Matusumura-Tundisi (2016).....	<b>80</b>
<b>Tabela 2:</b> Variáveis e metodologias empregadas na análise da água e sedimento. ICP-OES: Espectroscopia de Emissão Atômica com plasma acoplado indutivamente.....	<b>82</b>
<b>Tabela 3:</b> Limites de quantificação (LQ) e detecção (LD) para metais estabelecidos em ICP AES.....	<b>83</b>
<b>Tabela 4:</b> Recuperação analítica (%) a partir da leitura de soluções com 0,10; 0,25; 0,50 e 1,00 mg L <sup>-1</sup> e valor de R <sup>2</sup> das curvas de calibração.....	<b>83</b>
<b>Tabela 5:</b> Classificação de contaminantes em sedimento de água doce estabelecidos a partir de TEL e PEL de acordo com a CETESB* (2017).....	<b>84</b>
<b>Tabela 6:</b> Valores e informações dos índices aplicados FE, PLI e RI para metais em sedimento. Fonte: Sutherland (2000) e Cardoso-Silva (2013)*; Tomlinson et al. (1980); Hakanson (1980).....	<b>86</b>
<b>Tabela 7:</b> Estatística descritiva básica para as variáveis: temperatura superficial (T), potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE) e transparência (DS) do Reservatório Broa, São Paulo, Brasil. Mínimo (Mín.), máximo (Máx.), média (Méd.), desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV).....	<b>88</b>
<b>Tabela 8:</b> Estatística descritiva básica para as variáveis: Matéria Orgânica (MO), Fósforo Total (PT), Nitrogênio Total (NT) e Frações de silte e argila (S+A) no sedimento do reservatório Broa. Mínimo (Mín.), máximo (Máx.), média (Méd.), desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV).....	<b>89</b>
<b>Tabela 9:</b> Estatística descritiva Básica para Crômio (Cr); Cobre (Cu); Níquel (Ni); Zinco (Zn) em água (mg L <sup>-1</sup> ) no reservatório Broa obtidos em análise laboratorial, e respectiva comparação com a Resolução CONAMA 357/05. Mínimo (Mín.), máximo (Máx.), média (Méd.), desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV).....	<b>89</b>
<b>Tabela 10:</b> Resultados provenientes das aplicações Fator de enriquecimento (FE), Índice de carga poluidora (PLI) e Risco Ecológico (RI) para amostras de sedimento do Reservatório Broa nos pontos amostrais e respectiva classificação.....	<b>91</b>

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL E REFERENCIAL TEÓRICO.....	1
1. Introdução Geral .....	2
2. Referencial Teórico .....	4
2.1. Sistemas de Reservatórios.....	4
2.2. Disponibilidade de metais em água e sedimento .....	6
2.3. Comunidade Fitoplanctônica e a eutrofização .....	11
2.4. Histórico de enriquecimento trófico.....	13
<b>CAPÍTULO I: IS IT POSSIBLE TO EVALUATE THE ECOLOGICAL STATUS OF A RESERVOIR USING THE PHYTOPLANKTON COMMUNITY?</b> .....	17
ABSTRACT .....	18
RESUMO.....	18
1. Introduction .....	19
2. Materials and Methods .....	22
2.1. Study area.....	22
2.2. Sampling and analysis of samples.....	23
2.3. Data analysis .....	25
3. Results .....	26
3.1. Phytoplankton characterization .....	26
3.2. Limnological characterization.....	28
3.3. Data analysis .....	29
4. Discussion.....	31
5. Conclusion.....	37
6. Acknowledgment.....	38
7. References .....	38
<b>CAPÍTULO II: VARIAÇÃO ESPACIAL DOS GRUPOS FUNCIONAIS FITOPLANCTÔNICOS DE UM RESERVATÓRIO TROPICAL DE USOS MÚLTIPLOS (SÃO PAULO, BRASIL)</b> .....	44
RESUMO.....	45
ABSTRACT .....	45
1. Introdução.....	46
2. Metodologia.....	48
2.1. Área de estudo.....	48
2.2. Amostragem e análise laboratorial.....	50
2.3. Análise de dados.....	51

3. Resultados.....	52
3.1. Caracterização Limnológica.....	52
3.2. Caracterização Fitoplanctônica .....	53
3.3. Análise de Dados.....	56
4. Discussão .....	59
5. Conclusão .....	68
6. Referências bibliográficas .....	68
<b>CAPÍTULO III: BIODISPONIBILIDADE DE METAIS E NUTRIENTES EM ÁGUA E SEDIMENTO SUPERFICIAL DE UM RESERVATÓRIO DO ESTADO DE SÃO PAULO.....</b>	<b>75</b>
RESUMO .....	76
ABSTRACT.....	76
1. Introdução.....	77
2. Metodologia.....	79
2.1. Área de Estudo .....	79
2.2. Amostragem e análise laboratorial.....	81
2.3. Análise de dados.....	82
3. Resultados.....	87
3.1. Caracterização Limnológica da água .....	87
3.2. Caracterização dos sedimentos.....	88
3.3. Análise de metais em água e sedimentos .....	89
3.4. Índices para avaliar a qualidade dos sedimentos.....	91
3.5. Análise de Componentes Principais.....	91
4. Discussão .....	92
5. Conclusão .....	97
6. Referências Bibliográficas.....	98
CONCLUSÕES .....	104
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	106
APÊNDICE .....	111
ANEXO .....	114

## APRESENTAÇÃO

A partir do reconhecimento do valor econômico, social e ambiental de represas, a presente dissertação foi desenvolvida de maneira a contemplar o estudo da qualidade da água do reservatório Carlos Botelho sob perspectiva integrada, analisando conjuntamente parâmetros físicos e químicos nas matrizes água e sedimento, e biológico, a partir da análise da comunidade fitoplanctônica, a fim de caracterizar o reservatório, compreender a dinâmica existente e identificar as inter-relações entre as variáveis ao longo do eixo longitudinal. Sendo assim, o documento foi estruturado em formato de artigo e texto integrador, que envolve a introdução e o referencial teórico, assim como os manuscritos dispostos em capítulos.

Capítulo I: *Is it possible to evaluate the ecological status of a reservoir using the phytoplankton community?*. O capítulo objetivou avaliar o potencial ecológico do reservatório Broa através da aplicação de um índice ecológico a partir da comunidade fitoplanctônica (*Evenness E<sub>2</sub>*) e respectiva heterogeneidade de distribuição ao longo do eixo longitudinal. O potencial ecológico considera a definição aplicada pela Diretiva Quadro da Água, aplicada pela União Europeia, que classifica o ‘potencial ecológico’ (EC, 2000). O artigo foi publicado na revista *Acta Limnologica Brasiliensia*, periódico da área de Ciências Ambientais no extrato B1. As normas de formatação do período estão em anexo (Received: 14 December 2017; Accepted: 03 October 2018).

Capítulo II: Variação espacial dos grupos funcionais fitoplanctônicos de um reservatório tropical de usos múltiplos no estado de São Paulo (Brasil). Neste capítulo foi proposto avaliar a heterogeneidade espacial dos grupos funcionais fitoplanctônicos do reservatório de estudo, além de abordar as características ecológicas descritoras da comunidade (riqueza, densidade, biomassa e GFs) associadas ao gradiente trófico e inter-relações com o ecossistema existente.

Capítulo III: Biodisponibilidade de metais e nutrientes em água e sedimento superficial de um reservatório do estado de São Paulo. Este capítulo objetivou caracterizar o reservatório de estudo a partir da análise da disponibilidade de metais (Arsênio, Chumbo, Cobre, Crômio, Manganês, Níquel e Zinco) e nutrientes (fósforo e nitrogênio) em água e sedimento superficial e alguns elementos conservativos (alumínio e ferro) em sedimento e respectiva heterogeneidade de distribuição ao longo do eixo longitudinal.

---

# INTRODUÇÃO GERAL E REFERENCIAL TEÓRICO

---



A demanda populacional e sua tendência de aumento agravam a preocupação sobre critérios qualitativos e quantitativos a respeito da água, considerando crescente a degradação dos recursos hídricos, assim como a pressão exercida sobre os sistemas de reservatórios pela grande e contínua demanda por água em boa qualidade (POMPÊO, 2017). Um indicador do estado ecológico utilizado é o fitoplâncton, visto que o mesmo apresenta maior sensibilidade frente á interferências mínimas, podendo identificar variações ambientais em períodos de tempo reduzidos a partir de análise de ocorrência e distribuição da comunidade (NOGUEIRA; MATSUMURA – TUNDISI, 1996; GEMELGO et al., 2009; ESTEVES, 2011; CETESB, 2012). Esta comunidade está estritamente associada ao processo de eutrofização, sendo que sua ocorrência massiva pode indicar problemática sanitária, devido à produção de metabólitos secundários tóxicos (SANT'ANNA et. al., 2006).

Outra preocupação associada à poluição hídrica é a biodisponibilidade de metais, considerando sua respectiva estabilidade nos ecossistemas, com possível liberação à coluna d'água e conseqüente disponibilidade para as comunidades aquáticas ou contato primário humano (OUYANG et al., 2006). Considerando ainda que o sedimento pode concentrar altos teores de poluentes e os mesmos não estarem disponíveis, atuando como sumidouro, ou ainda, favorecer a disponibilidade dos mesmos na coluna d'água a partir de processos de remobilização, sendo fonte de contaminantes; podendo ainda indicar contaminações anteriores a partir do estudo de testemunhos nesta matriz (CHAPMAN et al. 1998; YU et al., 2008; FERNANDES; NAYAK, 2012; LEAL et al., 2018).

A principal diferença apontada em estudos de caracterização de reservatórios em ambientes tropicais e temperados é a capacidade de ocorrência de alterações significativas em um curto período de tempo, principalmente em ambientes tropicais rasos, considerando a dinâmica metabólica acelerada de corpos d'água rasos com altas temperaturas associadas, sendo o estudo destes ambientes menos frequentes (MARIANI; POMPÊO, 2008). Reforçando assim, a necessidade de avaliação constante da qualidade do recurso hídrico visando manter a boa qualidade do meio, a fim de evitar desequilíbrios ambientais, assim como não prejudicar os múltiplos usos associados ao reservatório.

O presente trabalho contemplou o estudo da qualidade da água do reservatório

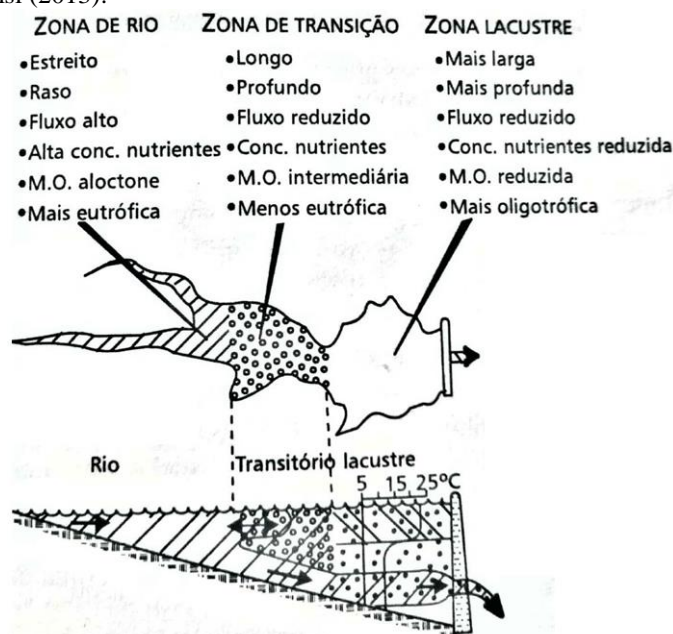
Carlos Botelho, considerando o potencial ecológico. Ambos incluídos na Diretiva Quadro da Água, que estabelece quadro de ação comunitária no domínio da política da água, aplicada pela União Europeia (EC, 2000). Sob perspectiva integrada, a análise foi realizada conjuntamente a parâmetros físicos, químicos e biológicos, sendo consideradas: análises físicas e químicas, concentração de metais em água e sedimento, e a análise da comunidade fitoplanctônica. O monitoramento do corpo d'água sob a ótica de análise dos diferentes compartimentos que o compõem e suas inter-relações foi realizado ao longo do eixo longitudinal, a fim de minimizar os impactos antrópicos já existentes, priorizando a saúde ecossistêmica. As Resoluções elaboradas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) foram utilizadas visando estabelecer critérios comparativos para o monitoramento, apesar da mesma não ser destinada à comparação de qualidade, mas sim ao enquadramento, definição de condições e padrões, além de outras providências.

## 2. Referencial Teórico

### 2.1. Sistemas de Reservatórios

Os reservatórios são sistemas artificiais formados a partir da construção de barramento bloqueando e alterando o fluxo natural do corpo d'água existente, conferindo aos mesmos características intermediárias entre ambientes lênticos e lóticos, devido à formação de área próxima a barragem com águas paradas (BEGHELLI et al., 2015). Porém, o comportamento deste sistema hídrico é diferente de sistemas de rios e lagos, considerando origem, idade, morfologia, formato, posição dentro da bacia e usos associados (STRAŠKRABA; TUNDISI, 2000). Desta maneira, pode-se definir de duas a três zonas capazes de descrever as características do corpo d'água resultante, sendo que a parcela correspondente à zona fluvial é caracterizada como um ambiente lótico pela atuação de forças advectivas que auxiliam na mistura da coluna d'água, como também no transporte de partículas localizado a montante; a jusante tem-se a barragem, apresentando similaridade com um ambiente lacustre; e, a zona localizada entre ambas as zonas, define-se como zona intermediária (THORNTON et al., 1990; POMPÊO et al., 1998; STRAŠKRABA; TUNDISI, 2000) (Figura 2).

**Figura 2:** Compartimentalização em um reservatório, composto por zonas de rio, transição e lacustre.  
 Fonte: Straškraba e Tundisi (2013).

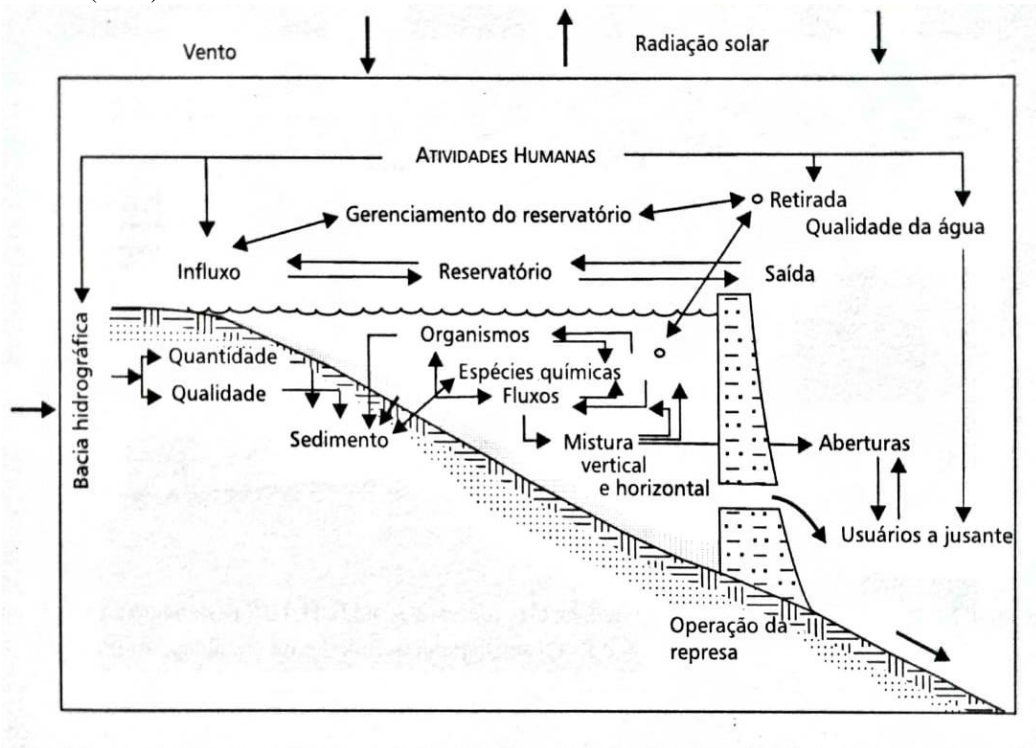


A construção de barramentos impacta drasticamente o ecossistema, visto que alteram as dinâmicas físicas, químicas, geológicas, hidrológicas e produtivas (matéria e energia) (MOTHEO, 2005; AGOSTINHO et al., 2008), com destaque para as comunidades aquáticas, que passam por alterações em sua estrutura, considerando composição e abundância de espécies frente à um novo ambiente formado (AGOSTINHO et al., 2009; SMITH et al., 2017). Tais interferências antrópicas contribuem com as alterações no ecossistema aquático, determinadas, comumente, pelas atividades de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica, com consequentes perdas em qualidade e quantidade de recurso (BEDNAREK, 2001). Por esta razão, a bacia hidrográfica é utilizada como unidade mínima de estudo de reservatórios, visto que o mesmo atua como “acumulador de informações” das atividades que estão em desenvolvimento no entorno (POMPÊO, 2017).

Reservatórios são construídos com o objetivo de atender às demandas hídricas, destinadas a múltiplos usos: setores doméstico, agrícolas, industriais, energético alimentício, transporte, recreativo, entre outros (HEINZ CENTER, 2002; AMERICAN RIVERS et al., 2002; ESTEVES, 2011). O estudo de corpos d’água artificiais é bastante frequente no Brasil, principalmente na região Sudeste (BICUDO; BICUDO, 2004), resultando em uma extensa produção de dados em regiões específicas devido à singularidade e complexidade de cada reservatório (THORNTON et al., 1990), assim como, a variabilidade das condições destes empreendimentos que incitam a manutenção

e conseqüente monitoramento de sua qualidade ambiental. A qualidade e a quantidade da água proveniente de reservatórios envolve o sistema em si, a bacia hidrográfrica no qual está inserido, as vazões afluentes e liberadas, e questões socioeconômicas e de gerenciamento, como definidos por Straškraba e Tundisi (2013) (Figura 3).

**Figura 3:** Sistema de reservatório com seus principais componentes ecossistêmicos. Fonte: Straškraba e Tundisi (2013).



Atualmente, as alterações nos reservatórios tem se tornado mais comuns e intensas, sendo as mesmas geradas ou aceleradas por atividades antrópicas, garantindo um maior número de formas de poluição hídrica (STRAŠKRABA; TUNDISI, 2013). Conseqüentemente, a qualidade da água responde a fatores interdependentes, no qual os sistemas de reservatórios sofrem influências de diferentes compartimentos ambientais, sendo eles: ar, água e sedimento, sendo necessária a avaliação constante da qualidade destas matrizes para compor a resposta qualitativa e quantitativa do recurso hídrico, visando manter a boa qualidade do meio e evitar desequilíbrios ambientais, assim como não prejudicar os múltiplos usos associados ao reservatório.

## 2.2. Disponibilidade de metais em água e sedimento

Agravado pelas atividades de uso e ocupação do solo e intenso processo

produtivo, o contínuo *input* de substâncias metálicas potencialmente poluidoras aos corpos hídricos tornam-se preocupantes, visto que a intensidade de geração do dano ambiental não é equivalente à avaliação do mesmo para o meio ambiente (MILLER et al., 2017). Em contrapartida, esta preocupação com a avaliação dos impactos biológicos negativos decorrentes da presença de metais em reservatórios já era tema de estudo desde o início dos anos 80, a partir do estudo do compartimento sedimento (CHAPMAN et al., 1998). Esta preocupação está baseada na não degradabilidade dos metais e metaloides, visto persistência e estabilidade destes potenciais contaminantes ambientais em sedimentos (YU et al., 2008; FERNANDES; NAYAK, 2012), sendo substâncias acumulativas, que podem desempenhar efeitos negativos para o ecossistema, além de permanecerem por longos períodos nas cadeias tróficas, aliados a processos de bioacumulação e/ou biomagnificação (ROCHA; DE AZEVEDO, 2017).

Os metais podem adentrar o corpo d'água a partir de distintas fontes, como por fontes pontuais ou difusas, naturais ou antrópicas (CHAPMAN et al., 1998; FERNANDES; NAYAK, 2012), como também a partir de deposição atmosférica, escoamento de minérios, descargas urbanas e industriais (MARIANI; POMPEO, 2008), porém este contato comumente se dá a partir de fontes difusas e antropogênicas, frequentemente em forma de solução (SHAFIE et al., 2013). Teores de metais podem ser encontrados dissolvidos em água ou ainda adsorvidos ao sedimento em suspensão e em partículas coloidais inorgânicas e orgânicas, seguida de sedimentação (FERNANDES; NAYAK, 2012), sendo que menores concentrações são esperadas na água em relação ao sedimento.

O sedimento pode concentrar altos teores de poluentes e os mesmos não estarem disponíveis, atuando como sumidouro, ou ainda, favorecer a disponibilidade dos mesmos na coluna d'água a partir de processos de remobilização, sendo fonte de contaminantes; podendo, ainda, indicar contaminações anteriores a partir do estudo de testemunhos nesta matriz (CHAPMAN et al. 1998; YU et al., 2008; FERNANDES; NAYAK, 2012; LEAL et al., 2018). Desta maneira, o sedimento atua como repositório, transportador e armazenador de metais em ecossistemas (YU et al., 2008), assim como para metaloides e outros contaminantes (CHAPMAN et al., 1999). A problemática associada às altas concentrações de substâncias e sua respectiva estabilidade, está relacionada à capacidade de liberação dos mesmos para a coluna d'água, tornando-os disponíveis para as comunidades aquáticas, e conseqüentemente, ao homem (OUYANG

et al., 2006).

De acordo com Nriago e Pacyna (1998), as principais entradas de metais para os corpos de água por atividades antrópicas são a partir de efluentes domésticos, centrais elétricas a carvão, fundições de metais não ferrosos, siderúrgicas, assim como, resíduos de lodo de esgoto, favorecendo o contato dos compartimentos com metais, como: antimônio (Sb), arsênio (As), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobre (Cu), cromo (Cr), manganês (Mn), mercúrio (Hg), molibdênio (Mo), níquel (Ni), selênio (Se) e zinco (Zn). Contudo, os teores de metais encontrados em corpos hídricos podem ser provenientes de diversas fontes naturais, como por exemplo, pelo processo de intemperismo de solos e rochas, assim como pela erosão de solos enriquecidos com metais, por atividades vulcânicas, por precipitação úmida e seca, entre outras (ESTEVEZ, 2011).

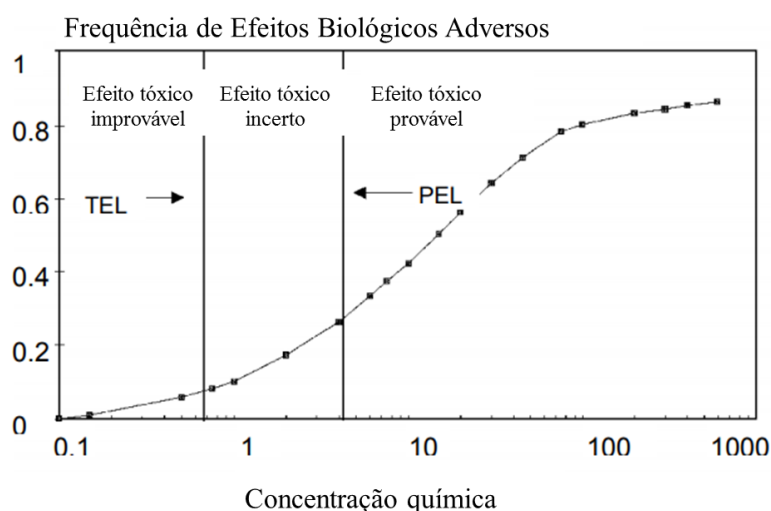
Em ambientes aquáticos as reações água-sedimento são importantes para ditar se haverá ou não a interação do poluente com um organismo vivo. A biodisponibilidade e toxicidade associada às espécies metálicas são diretamente moduladas pelas variáveis ambientais a partir dos parâmetros químicos, físicos, biológicos e ecotoxicológicos, visto reações entre compartimentos (MARIANI; POMPÊO, 2008), sendo tais reações extremamente complexas (CHAPMAN et al.,1999). A partir destas interações, a partição e/ou deposição de metais e metaloides é controlada, contribuindo para a menor disponibilidade dos mesmos, e conseqüentemente, para a redução da toxicidade para os organismos presentes (CHAPMAN et al., 1999).

A manutenção da qualidade ambiental associada às concentrações de metais, considerando controle de toxicidade, tanto para o ecossistema quanto para os organismos vivos, não encontra amparo nas resoluções. Visto que, as existentes, como por exemplo, a Resolução CONAMA 357/05, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências (BRASIL, 2005), é capaz de enquadrar os corpos d'água de acordo com suas condições atuais. Sendo assim, não incluem a manutenção das condições de acordo com os múltiplos usos específicos do corpo d'água. Porém, a mesma exemplificada foi utilizada visando estabelecer critérios comparativos para o monitoramento.

Assim como os Valores-Guia de Qualidade do Sedimento (VGQS) foram

utilizados como critério comparativo, no qual os mesmos estão baseados em valores definidos a partir da presença e ausência de efeitos tóxicos à biota amplamente aceitos pela comunidade científica (FRASCARELI, 2016). Valores de PEL/ISQG (*Probable Effect Level/Interim Sediment Quality Guidelines*) e TEL (*Threshold Effect Level*) foram estabelecidos pelo Conselho Canadense do Ministério do Meio Ambiente (CCME, 1999) a partir de uma série de testes que avaliavam as respostas da biota em relação à exposição a determinados componentes tóxicos, definindo faixas de concentração em relação às frequências de efeitos biológicos adversos observados (Figura 4).

**Figura 4:** Frequência de efeitos biológicos adversos segundo em relação a concentração química do elemento de interesse, estabelecendo faixas de PEL/ISQG (*Probable Effect Level/Interim Sediment Quality Guidelines*) e TEL (*Threshold Effect Level*) para os Valores Guia de Qualidade do Sedimento (VGQS). Fonte: CCME (1999).



Outras bases de comparabilidade foram os Valores médios de Referência Regional para metais na bacia do rio Tietê definidos por Nascimento e Mozeto (2008) a partir de trabalhos anteriores, assim como o Critério de Avaliação da Qualidade dos Sedimentos definido pela CETESB, a partir de valores de TEL/PEL (CETESB, 2017) (Figura 5), como também com os Valores médios de Referência Regional para metais pseudo-totais em sedimentos na bacia do rio Tietê (VRR) definidos por Cardoso-Silva e Soares-Silva (dados não publicados), visto a ausência de valores regulamentadores aplicados para regiões em específico. Há uma carência de diretrizes para os elementos metálicos em sedimento para ambientes tropicais (MARIANI; POMPÊO, 2008), sendo os mesmos, comumente, comparados a dados gerados de trabalhos anteriores ou ainda

de padrões internacionais, como exemplo, tem-se o VRR e, TEL e PEL, respectivamente.

**Figura 5:** Critério de Avaliação da Qualidade dos Sedimentos definido pela CETESB para contaminantes químicos em cinco faixas de qualidade a partir de valores de PEL/ISQG (*Probable Effect Level/Interim Sediment Quality Guidelines*) e TEL (*Threshold Effect Level*). Fonte: CETESB (2017).



### 2.2.1. Índices ecológicos como ferramentas do monitoramento

A partir de perspectiva ecológica e objetivando manter a qualidade do ecossistema, alguns índices ecológicos são utilizados para mensurar a toxicidade das respectivas concentrações de metais para as comunidades biológicas. O Fator de Enriquecimento (FE), Índice de Carga Poluidora (PLI) e índice de Risco Ecológico (RI) são três índices aplicados para avaliar o enriquecimento, a contaminação e a intensidade do risco ecológico associado às concentrações de metais em sedimento, respectivamente. Tais índices são aplicados como ferramentas que auxiliam no monitoramento, visto que indicam respostas biológicas a partir de dados físicos e químicos, podendo ser aplicados individualmente ou complementarmente a outros índices, a fim de tornar a análise mais robusta.

O FE é um índice que mensura a contaminação por metais, dando indícios sobre sua origem, seja ela antrópica ou natural (DEVESA-REY et al, 2011). Provem da razão entre a concentração do metal de interesse (Me) e a concentração do elemento conservativo (El) em relação à razão entre o valor de referência do metal de interesse (Mer) e o valor de referência do elemento conservativo (Elr), sendo:  $FE = [(Me/El)/(Mer/Elr)]$ . Derivando cinco classificações de acordo com o enriquecimento identificado: ausente/muito baixo, moderado, considerável, alto e muito alto (Tabela 1).

O índice de Carga poluidora (*Pollution Load Index - PLI*) avalia o grau de poluição do sedimento (TOMLINSON et al., 1980). É quantificado a partir do cálculo individual do fator de contaminação (Cf) de cada metal presente, que consiste na razão da concentração do metal de interesse (Me) e valor de referência do metal de interesse

(Mer), considerando  $Cf=(Me/Mer)$ . Sendo que os Cf serão multiplicados entre si elevados pela razão de 1 pelo número de elementos (n), sendo  $PLI= (Cf_1 \times Cf_2 \times \dots \times Cf_n)^{(1/n)}$ . A classificação da aplicação deste índice apresenta resposta simplificada, consistindo em ‘presente’ e ‘ausente’ quanto à contaminação (Tabela 1).

O Risco Ecológico (RI) avalia a intensidade do risco associado aos contaminantes (HAKANSON, 1980). A equação consiste no somatório do risco ecológico associado a determinado contaminante ( $E_i$ ), sendo que o cálculo do mesmo deve ser realizado individualmente para cada contaminante a partir da multiplicação do fator de contaminação (Cf) pelo fator de resposta tóxica da substância de interesse ( $T_i$ ), considerando  $T_i$  para Cu, Zn, Cr, Ni, Pb e Cd correspondentes a 5, 1, 2, 5, 5 e 30, respectivamente (HAKANSON, 1980). Resumidamente,  $E_i= Cf \times T_i$ ; e  $RI= \sum E_i$ , derivando diferentes intensidades de risco: baixo, moderado, considerável e muito alto.

**Tabela 1:** Valores e informações dos índices aplicados FE, PLI e RI para metais em sedimento. Fonte: Sutherland (2000) e Cardoso-Silva (2013)\*; Tomlinson et al. (1980); Hakanson (1980).

Fator de Enriquecimento			Carga Poluidora		Risco Ecológico	
<i>FE</i>	<i>Enriquecimento</i>	<i>Classificação*</i>	<i>PLI</i>	<i>Contaminação</i>	<i>RI</i>	<i>Intensidade</i>
< 2	Ausente/muito baixo	Bom	PLI > 1	Presente	<150	Baixo
$2 \leq FE < 5$	Moderado				$150 \leq RI < 300$	Moderado
$5 \leq FE < 20$	Considerável	Regular	PLI < 1	Ausente	$300 \leq RI < 600$	Considerável
$20 \leq FE < 40$	Alto	Ruim			> 600	Muito alto
> 40	Muito alto					

### 2.3. Comunidade Fitoplanctônica e a eutrofização

O termo “plâncton” foi inicialmente introduzido por Viktor Hensen em 1887 a fim de descrever o grupo de organismos que flutuavam livremente na coluna d’água, correspondendo às comunidades fitoplanctônicas, zooplanctônicas e ao bacterioplâncton (ESTEVES, 2011). Destacando-se a participação do fitoplâncton, que frente às condicionantes ambientais e vantagens individuais de cada família ou até mesmo de um organismo da comunidade, pode ter sua estrutura e distribuição rapidamente alterada devido à sensibilidade dos organismos, permitindo que o mesmo possa ser utilizado em estudos que objetivam identificar variações ambientais em períodos de tempo reduzidos, sendo, portanto, um indicador ecológico (NOGUEIRA; MATSUMURA – TUNDISI, 1996; GEMELGO et al., 2009; ESTEVES, 2011; CETESB, 2012).

A comunidade fitoplanctônica é composta por organismos microscópicos fotossintéticos, sendo os mesmos comumente agrupados de acordo com suas respectivas características taxonômicas (ESTEVES, 2011; CETESB, 2012), com destaque para os grupos de *Cyanophyceae*, *Chlorophyceae*, *Euglenophyceae*, *Trebouxiophyceae*, *Bacillariophyceae*, *Coccolodiscophyceae* e *Dinophyceae*. Constitui parte da biota de ecossistemas aquáticos e contribui ativamente com a produtividade primária, assim como, com os ciclos biogeoquímicos (MILLER et al., 2012), estando a mesma estritamente associada às condições de trofia do ecossistema, sendo mensurada a partir da concentração de clorofila-a ou biomassa dos organismos por análises microscópicas (STRAŠKRABA; TUNDISI, 2000).

A biodiversidade da comunidade fitoplanctônica é influenciada e tem a capacidade de influenciar os processos ecológicos do ecossistema a partir das características funcionais de cada espécie que compõe a comunidade (LANARI; COUTINHO, 2010), sendo a mesma responsável por ocorrências de florações intensas, contribuindo com o processo de eutrofização de corpos d'água. Um dos problemas mais documentados em ambientes aquáticos é o processo de eutrofização, a partir do enriquecimento gerado pelo excesso de nutrientes disponíveis na coluna de água, que sob condições ambientais favoráveis, impulsiona intensa produtividade primária (POMPÊO et al., 2015). Conseqüentemente, a qualidade do corpo hídrico pode ser prejudicada pela composição da comunidade, considerando a densidade de cianobactérias.

*Cyanophyceae* é a classe do fitoplâncton considerada cosmopolita, pelo potencial de habitar ambientes com condições adversas aos demais representantes da comunidade, como condições salinas ou baixas concentrações de nutrientes (BELLINGER; SIGEE, 2010), sendo este desempenho atribuído às vantagens adaptativas da comunidade associadas à capacidade de fixar nitrogênio atmosférico (heterócitos); de utilizar-se da flutuabilidade (vesículas de gás); resistir às condições ambientais desfavoráveis a partir do armazenamento de substâncias de reserva em célula específica (acinetos), entre outras. Mesmo com a ruptura do filamento estes organismos sedimentam e, após a melhoria das condições ambientais, voltam a passar por divisão. Outra característica da classe é a capacidade de geração de metabólitos secundários, que tornam sua concentração em águas de múltiplos usos uma preocupação para o gerenciamento (BELLINGER; SIGEE, 2010; CIRE'S; BALLOT, 2016).

Sendo assim, a presença de espécies potencialmente tóxicas compromete os múltiplos usos do reservatório, principalmente se o mesmo for destinado ao contato primário, assim como, contribui para o conteúdo de matéria orgânica do sistema, cuja contribuição excessiva confere à água qualidade organoléptica (STRAŠKRABA; TUNDISI, 2000). Visto isso, métricas associadas ao fitoplâncton são contempladas por condições e padrões de qualidade das águas estabelecidas pela Resolução CONAMA nº 357/05 (alterada pela Resolução 410/2009 e 430/2011), a partir da densidade de cianobactérias e concentração de clorofila-a (BRASIL, 2005). Reforçando assim, a importância desta comunidade para manter a boa qualidade ambiental, com a necessidade de avaliação constante da qualidade do recurso hídrico.

#### 2.4. Histórico de enriquecimento trófico

A Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacaré é a 13ª Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) do Estado de São Paulo, e integra três reservatórios em sua área, sendo eles: Bariri, Ibitinga e Lobo. Este último, também conhecido como Usina Hidrelétrica de Energia (UHE) Carlos Botelho ou Broa, é um dos corpos hídricos de múltiplos usos que integra a UGRHI, situado entre as cidades de Itirapina e Brotas (SP). O Reservatório Broa é considerado raso e polimítico (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2016), tendo seus afluentes enquadrados como classe 2 de acordo com Decreto nº 10.755/77 (SÃO PAULO, 1977). Apresenta circulação marcada pela ação do vento e pela radiação solar (ARGENTON, 2004), com períodos limitados de estratificação térmica e química, alta transparência, baixos valores de condutividade elétrica, como também, de nutrientes inorgânicos (CALIJURI; TUNDISI, 1990).

O reservatório Carlos Botelho é considerado um dos reservatórios mais estudados na Limnologia (PERIOTTO; TUNDISI, 2013), visto que os primeiros estudos realizados neste corpo d'água tiveram início em 1971 (TUNDISI et al., 1972) e perduram até a atualidade. Há indícios de que este reservatório tenha passado por alterações associadas às concentrações de nutrientes, repercutindo nas condições tróficas, assim como na estrutura da comunidade fitoplanctônica. A teoria de enriquecimento trófico aqui apresentado será respaldada por trabalhos anteriormente realizados, artigos, dissertações, teses e relatórios técnicos, assim como por informações de uso e ocupação da Bacia.

A demanda hídrica desta Bacia é atendida pelos três reservatórios anteriormente

citados e afluentes e atende 1.462.855 habitantes, assim como as demandas rurais, industriais, domésticas e outros usos (CBH-TJ, 2016). A Bacia é considerada uma região em processo de industrialização, visto expansão dos municípios, intensificação das atividades turísticas e crescimento industrial paralelo, evidenciando a falta de infraestrutura básica de saneamento (DOS SANTOS, 2003).

O Índice de Estado trófico (IET) é um índice ecológico proposto inicialmente por Carlson (1977) com modificações de Lamparelli (2004) e Cunha et al. (2013) para avaliar o grau de trofia do corpo d'água de interesse. Para reservatórios, o mesmo é determinado a partir da ponderação entre as concentrações de clorofila-a e fósforo total e classificado como: Ultraoligotrófico ( $\leq 51,1$ ), Oligotrófico ( $51,2 < \text{IET} < 53,1$ ), Mesotrófico ( $53,2 < \text{IET} < 55,7$ ), Eutrófico ( $55,8 < \text{IET} < 58,1$ ), Supereutrófico ( $58,2 < \text{IET} < 59$ ) e Hipereutrófico ( $\geq 59,1$ ).

A avaliação das flutuações nas classificações do Índice de estado trófico e variáveis associadas podem reforçar a principal característica do sistema, visto que o mesmo é artificial e intermediário entre ambientes lênticos e lóticos. A referência de cálculo utilizado do IET e a forma que o autor compila a resposta também influem na informação e podem tornar a comparação das respostas com maior faixa de erro associada. Muitos trabalhos desenvolvidos no reservatório segregavam, comumente, o reservatório em duas e/ou três regiões teóricas, podendo as mesmas ser parte superior e inferior, correspondentes às regiões de montante e jusante, respectivamente; ou ainda, como: rio, centro e barragem, de acordo com Thornton et al. (1990). As informações obtidas são apresentadas na tabela a seguir (Tabela 2).

**Tabela 2:** Revisão bibliográfica dos resultados dos Índices de Estado Trófico aplicados para o reservatório Broa de 1976 a 2015.

	Referências	ultra	oligo	meso	eutro	super	hiper
1970	Matsumura-Tundisi e Tundisi (1976)				↔		
	Tundisi (1977)		↔				
	Henry et al. (1978)			↔			
1980	Calijuri (1988 apud DOS SANTOS, 2003)		↔				
1990	Calijuri e Tundisi (1990)		↔				
	Barbieri e Esteves (1991)		↔				
	Souza (1993)			↔			
	Oliveira e Calijuri (1995)		↔				

	Rocha et al. (1997)	↔
2000	Dos Santos (2003)	← →
	Sebastien (2004)	↔ ↔
	Argenton (2004)	↔ ↔
	Motheo (2005)	↔
	Delello (2008)	← → ↔
	Luzia (2009)	← → ← →
2010	Medeiros (2011)	↔
	Tundisi et al. (2014)	↔
	Vicentin et al. (2018)	↔

A caracterização do estado trófico por região foi empregada por Matsumura-Tundisi e Tundisi (1976), no qual caracterizaram o reservatório Broa como ecossistema eutrófico em sua porção superior e oligotrófico em sua porção inferior, com indicações de tendência a eutrofia; assim como realizado por Souza (1993). Outros estudos são desenvolvidos a fim de avaliar a variação temporal, sendo que alguns autores apresentam valores de IET de acordo com o período amostrado, como Sebastien (2004) que registrou variações no IET nos anos de 1990 e 1991 nos meses de junho, outubro e janeiro apresentando estado de mesotrofia, oligotrofia e eutrofia, respectivamente.

Dos Santos (2003) comparou as concentrações de nutrientes registradas com trabalhos anteriormente realizados (OLIVEIRA; CALJURI, 1995; CHALAR; TUNDISI, 1999) e observou que os valores de fósforo total, fosfato inorgânico, fosfato total dissolvido e nitrato eram significativamente superiores, com destaque para este último elemento que apresentou aumento em suas concentrações em treze vezes. A distribuição de PT observada pelo autor foi muito semelhante nos quatro períodos de amostragem com gradiente em direção à barragem, sendo que a maior concentração média observada de  $46,2 \mu\text{g L}^{-1}$ , em outubro de 1999. Houve indicação de que as concentrações mais elevadas de PT e  $\text{NO}_3^-$  foram associadas à entrada do Rio Itaqueri, indicando possibilidade de enriquecimento a partir deste afluente.

Estudos apontaram que a eutrofização atualmente observada no reservatório Broa tem o rio Itaqueri como principal responsável, associado ao descarte de efluente da Estação de Tratamento de Esgotos de Itirapina e de duas penitenciárias do município no Córrego Água Branca (ARGENTON, 2004). Autores concordam que há tendência

intensificação da eutrofização do sistema, fazendo IET tender à eutrofia (MATSUMURA-TUNDISI E TUNDISI, 1976; ARGENTON, 2004; MOTHEO, 2005; LUZIA, 2009; DELELLO, 2008; MEDEIROS, 2011). Tal afirmação tem como premissa a realidade de falta de tratamento de efluentes domésticos derivado dos municípios componentes da Bacia, sendo que tal problema persiste até os dias atuais, documentado em Relatório de Situação dos Recursos Hídricos 2016 (ano base 2015) pelo próprio Comitê da Bacia Hidrográfica do Tietê- Jacaré (CBH-TJ, 2016).

Corroborando tal afirmação, o uso e ocupação do solo indicam atividades que incluem: extração de areia, supressão da vegetação ripária, descarga de esgoto doméstico, escoamento da agricultura e áreas de reflorestamento (ARGENTON, 2004). O mesmo autor registrou o IET de todos os tributários, como também na represa, classificando-os como oligotróficos em ambos os períodos (inverno e verão de 2002), excetuando o Córrego Água Branca (eutrófico), com indicação de que este último afluente apresentava alta concentração de nutrientes. Motheo (2005) atribui à ocorrência de condição de eutrofia a característica de ocasional, considerando resultados obtidos (set./2000 a jun./2001), afirmando que a condição mesotrófica do corpo hídrico era mantida. Em contrapartida, Medeiros (2011) registrou eutrofia ao centro do reservatório, com registro de hipereutrofia próximo ao rio Itaqueri e oligomesotrofia nas áreas alagadas formadas pelos Ribeirão do Lobo e Córrego das Perdizes.

A condição de mesotrofia foi bastante frequente nos trabalhos citados (TUNDISI, 1977; HENRY et al. (1978); ROCHA et al.,1997; SEBASTIEN, 2004; SOUZA, 1993; MOTHEO, 2005; DELELLO, 2008; TUNDISI et al., 2014), assim como no presente trabalho, no qual o IET médio resultou em mesotrofia do sistema, sendo que as regiões teóricas também apresentaram o mesmo grau de trofia. Sendo que o reservatório teve alguns registros de eutrofia (MATSUMURA-TUNDISI e TUNDISI, 1976; SEBASTIEN, 2004; ARGENTON, 2004; MEDEIROS, 2011). A partir dos dados coletados, pode-se observar que a tendência de eutrofia foi citada por diversos autores e é uma realidade para o reservatório, considerando as atividades potencialmente poluidoras que podem prejudicar a qualidade do reservatório.

## CONCLUSÕES

---

- As variáveis limnológicas em comparação com a Resolução CONAMA 357/05 indicaram que as concentrações de oxigênio dissolvido, nitrogênio total, concentração de clorofila-a, densidade de cianobactérias e concentração de cobre estão em não conformidade com as condições e padrões para corpos d'água enquadrados como classe 2;
- A tendência de eutrofia do reservatório foi considerada uma realidade, apesar do registro de mesotrofia, visto influência do rio Itaqueri, associado ao descarte de efluente provenientes de Itirapina e do Córrego Água Branca, assim como as demais atividades potencialmente poluidoras da bacia;
- O aporte de nutrientes é evidenciado pela alta produção primária, no qual há baixos teores de nutrientes em água (com exceção do NT), porém alta densidade fitoplanctônica. Demonstrando que o desenvolvimento da comunidade não foi limitado por nutrientes. Corroborado pelo alto teor de fósforo e nitrogênio em sedimento, confirmando a atuação desta matriz como sumidouro de poluentes;
- O enriquecimento do reservatório contribuiu com a ocorrência de *blooms* algais. As florações indicam aumento de densidade e biomassa algal, ocorrendo em um espaço de tempo curto, o que contribui para uma degradação e decomposição igualmente rápida, refletida nas variáveis limnológicas;
- A classificação da qualidade da água do reservatório Broa em relação à aplicação do *Evenness* E<sub>2</sub> resultou em qualidade “ruim” em todos os pontos amostrais, evidenciando comprometimento da qualidade da água do reservatório Broa;
- Constatou-se que as características ecológicas descritoras da comunidade (riqueza, densidade, biomassa e GFs) respondem ao estado de trofia, evidenciando um ambiente com problemas sanitários;
- A comunidade fitoplanctônica no reservatório Broa foi dominada em todos os pontos estudados por Cyanophyceae, principalmente *Aphanizomenon gracile*. Sendo que tal predomínio esteve relacionado à disponibilidade de luz e nutrientes, regido pela estrutura física do corpo d'água;
- Houve destaque das cianobactérias na estrutura da comunidade em relação à densidade, biomassa e espécies descritoras a partir dos grupos funcionais H1, K, Lm e Sn. O destaque do grupamento H1 e de espécies descritoras com potencial tóxico

reforça necessidade de monitoramento constante;

- As concentrações dos elementos conservativos e metais foram classificadas como “ausente/muito baixa” para a maioria dos elementos quantificados, como corroborado pelos valores de referência utilizados e aos índices de enriquecimento (FE), grau de poluição (PLI) e risco ecológico (RI) para metais em sedimento;
- As análises estatísticas derivadas dos três artigos indicaram que não há heterogeneidade significativa estatisticamente, considerando três zonas teóricas esperadas (rio, centro e barragem), mas que houve compartimentalização dos pontos amostrais com formação de duas zonas principais (rio e barragem), indicando supressão de zona intermediária;
- Tais resultados físicos, químicos e biológicos respaldam evidências de que o reservatório Carlos Botelho está passando por processo de enriquecimento, com potencial comprometimento dos múltiplos usos do ecossistema.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGOSTINHO, A.A.; PELICICE, F.M. e GOMES, L.C. Dams and the fish fauna of the Neotropical region: impacts and management related to diversity and fisheries, *Braz. J. Biol.*, 2008, 68(4), 1119-1132.
- AGOSTINHO, A.A.; BONECKER, C.C.; RODRIGUES, L.; GOMES, L.C. e THOMAZ, S.M. Biodiversity and conservation. *Brazilian Journal of Biology*, 2009, 69(2), 459-755.
- AMERICAN RIVERS; FRIENDS OF THE EARTH e TROUT UNLIMITED. *The Ecology of Dam removal – A summary of Benefits and impacts*. Washigton, DC – EUA – American Rivers, 2002.
- ARGENTON, E.C. *Limnologia, balneabilidade e impactos ambientais: uma análise temporal e espacial na represa do Lobo (Broa), Itirapina/Brotas – SP*. 2004. 146f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.
- BEGHELLI, F.G.S.; ROSA, A.H.; NISHIMURA, P.Y.; MEIRINHO, P.A.; LEONARDI, B.F.; GUIDUCE, F.S.; LOPEZ-DOVAL, J.C.; POMPÊO, M.; MOSCHINI-CARLOS, V. Aplicações de sulfato de cobre no reservatório Guarapiranga, SP: distribuição no meio e efeitos sobre a comunidade planctônica. In: POMPÊO, M.; MOSCHINI-CARLOS, V.; NISHIMURA, P. H.; CARDOSO-SILVA, S.; LÓPEZ-DOVAL, J. C. (Orgs.). *Ecologia de reservatórios e interfaces*. São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo (IB/USP), 2015. 460 p.
- BEDNAREK, A.T. Undamming rivers: a review of the ecological impacts of dam removal. *Environmental Management*, 2001, 27(6), 803–814.
- BELLINGER, E.G. e SIGEE, D.C. *Freshwater Algae: Identification and use as bioindicators*. 1 ed. Wiley-Blackwell, 2010, 164 p.
- BICUDO, C.E. M. & BICUDO, D. C. *Amostragem em Limnologia*. São Carlos: RiMa, 2004. 346 p.
- BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente, 2005. *Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005* [online]. [viewed 10 October 2017]. Available from: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>
- CALIJURI, M.C. *Respostas fisioecológicas da comunidade fitoplanctônica e fatores ecológicos em ecossistemas em diferentes estágios de eutrofização*. 1988. 293f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 1988.
- CALIJURI, M.C. & TUNDISI, J.G. (1990). Limnologia comparada das represas do Lobo (Broa) e Barra Bonita, Estado de São Paulo: mecanismos de funcionamento e bases para o gerenciamento. *Revista Brasileira de Biologia*, 50(4), 893-913.
- CBH-TJ. COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA DO TIETÊ-JACARÉ. Relatório de Situação 2016. Disponível em: < <http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents//CBH-TJ/11832/2016-12-12-relatorio-situacao-ugrhi13.pdf>>. Acesso em: 12, dez., 2018.
- CCME, Canadian Council of Ministers of the Environment. Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life—protocol for the derivation of Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life (CCME EPC-98E), 1999, 35 p.
- CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Norma Técnica L5. 303: *Fitoplâncton de água doce: métodos qualitativo e quantitativo*. São Paulo, 2012.

\_\_\_\_\_. Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo – 2017 [online]. [viewed 01 September 2017]. Available from: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>

CHALAR, G. e TUNDISI, J.G. Main processes in the water column determined by wind and rainfall at Lobo (Broa) reservoir. Implications for phosphorus cycling. In: TUNDISI, J.G. & STRAŠKRÁBA, M. (eds) Theoretical reservoir ecology and its applications. Backhuys Publishers, 53-65, 1999.

CHAPMAN, P., FAIRBROTHER, A., BROWN, D. A critical evaluation of safety (uncertainty) factors for ecological risk assessment. *Environ. Toxicol. Chem.*, 1998, 17(1), 99–108.

CIRÉS, S. e BALLOT, A. A review of the phylogeny, ecology and toxin production of bloom-forming *Aphanizomenon* spp. and related species within the Nostocales (cyanobacteria). *Harmful Algae*, 2016, 54, 21-43. <http://dx.doi.org/10.1016/j.hal.2015.09.007>.

DELELLO, D. *Composição e Distribuição (espacial e temporal) de Macrófitas Aquáticas no Reservatório do Lobo (Broa), Itirapina/Brotas, SP*. 2008. 160f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

DOS SANTOS, A.C.A. *Heterogeneidade espacial e variabilidade temporal de dois reservatórios com diferentes graus de trofia, no Estado de São Paulo*. 2003. 225f. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental. Departamento de Hidráulica e Saneamento. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.

ESCOBAR, M.T.L.; SOTTO, L.P.A; JACINTO, G.S.; BENICO; G.A.; DIEGO-McGLONE, M.L.S. e AZANZA, R.V. Eutrophic conditions during the 2010 fish kill in Bolinao and Anda, Pangasinan, Philippines. *Journal of Environmental Science and Management*, 2013, edição especial, 29-35.

ESTEVES, F. de A. *Fundamentos de Limnologia*, 3º ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 826 p.

EC- European Commission. *Directive 2000D 60D EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy*. Ofúcial Journal 22 December 2000 L 327D 1. European Commission, Brussels. 2000.

FERNANDES, L.L.; NAYAK, G.N. Geochemical Assessment in a Creek Environment in Mumbai, West Coast of India. *Environmental Forensics*, 2012, 13(1), 45-54.

FRASCARELI, D. Distribuição espacial, biodisponibilidade e toxicidade de metais em sedimentos superficiais de reservatórios do Estado de São Paulo. 2016, 146 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Estadual Paulista, 2016.

GEMELGO, M.C.P., MUCCI, J. L.N. e NAVAS-PEREIRA, D. Population dynamics: seasonal variation of phytoplankton functional groups in Brazilian reservoirs (Billings and Guarapiranga, São Paulo). *Braz. J. Biol.*, São Paulo, 69(4): 1001-1013, nov., 2009.

HEINZ CENTER. 2002. Dam removal: science and decision making. In: *The Heinz Center for Science, Economics, and the Environment*. Washington DC, 2002.

HENRY, R.; CARAMASCHI, E.M.P.; TUNDISI, J.G. Preliminary results of survey of ecological factors in shallow tropical reservoir. *Revista brasileira de biología*, 1978, 38(1), 171-175.

LANARI, M. de O.; COUTINHO, R. Biodiversidade e funcionamento de ecossistemas: síntese

de um paradigma e sua expansão em ambientes marinhos. *Oecologia Australis*, 2010, 14(4), 959-988.

LEAL, P.R.; MOSCHINI-CARLOS, V.; LÓPEZ-DOVAL, J.C.; CINTRA, J.P.; YAMAMOTO, J.K.; BITENCOURT, M.D.; SANTOS, R.F.; ABREU, G.C.; POMPÊO, M.L.M. Impact of copper sulfate application at an urban Brazilian reservoir: A geostatistical and ecotoxicological approach. *Science of the Total Environment*, 2018, 618, 621–634.

LEWIS, M. A. Use of freshwater plants for phytotoxicity testing: a review. *Environmental Pollution*, 1995, 87(3), 319-336.

LUZIA, A.P. *Estrutura organizacional do fitoplâncton nos sistemas lóticos e lênticos da bacia do Tietê-Jacaré (UGRHI Tietê-Jacaré) em relação à qualidade da água e estado trófico*. 2009. 169 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.

MARIANI, C.F.; POMPÊO, M.L.M. Potentially bioavailable metals in sediment from a tropical polymictic environment Rio Grande Reservoir, Brazil. *Journal of Soils and Sediments*, 2008, 8, 284-288.

MATSUMURA-TUNDISI, T.; TUNDISI, J.G. Plankton Studies in a Lacustrine Environment. I. Preliminary Data on Zooplankton Ecology of Broa Reservoir. *Oecologia*, 1976, 25(3), 265-270.

MEDEIROS, G.R. *Desenvolvimento e Distribuição de Espécies de Macrófitas Aquáticas em Áreas Alagadas da Represa do Lobo-Broa (UHE Carlos Botelho) em função do Estado Trófico*. 2011. 113f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

MILLER, R. J.; Bennett, S.; KELLER, A. A.; PEASE, S.; LENIHAN, H. S. TiO<sub>2</sub> Phototoxic to Marine Phytoplankton. *PLoS ONE*, 2012, 7(1).

MILLER, R. J.; MULLER, E. B.; COLE, B.; MARTIN, T.; NISBET, R.; BIELMYER-FRASER, G. K.; JARVIS, T. A.; KELLER, A. A.; CHERR, G.; LENIHAN, H. S. Photosynthetic efficiency predicts toxic effects of metal nanomaterials in phytoplankton. *Aquatic Toxicology*, 2017, 183, 85–93.

MOTHEO, D. F. *Estudo limnológico na represa Carlos Botelho (Itirapina/Brotas – SP): uma reavaliação comparativa do Sistema Lobo-Broa*. 2005. 114f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

NASCIMENTO, M.R.L.; MOZETO, A.A. Reference Values for Metals and Metalloids Concentrations in Bottom Sediments of Tietê River Basin, Southeast of Brazil. *Soil and Sediment Contamination*, 2008, 17(3), 269-278.

NRIAGO, J.O.; PACYNA, J.M. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. *Nature*, 1988, 333, 134–140.

NOGUEIRA, M. G.; MATSUMURA - TUNDISI, T. Limnologia de um sistema artificial raso (represa no Monjolinho – São Carlos, SP). Dinâmica das populações planctônicas. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 1996, 8(L49-I), 68-149.

OLIVEIRA, M.D.; CALIJURI, M.C. Structure of the phytoplankton community in the Lobo Reservoir (SP): a comparison among the different compartments of the reservoir: rivers, transition areas and reservoir. *An. Acad. Bras. Ci.* 1995, 67(5), 369-379.

OUYANG, T.P.; ZHU, Z.Y.; KUANG, Y.Q.; HUANG, N.S.; TAN, J.J.; GUO, G.Z.; GU, L.S. e

SUN, B. Dissolved trace elements in river water: spatial distribution and the influencing factor, a study for the Pearl River delta Economic zone, China. *Environ. Geol.*, 2006, 49, 733-742.

PERIOTTO, N.A.; TUNDISI, J.G. Ecosystem Services of UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa): a new approach for management and planning of dams multiple-uses. *Braz. J. Biol.*, 2013, 73(3), 471-482. <http://dx.doi.org/10.1590/S1519-69842013000300003>.

POMPÊO, M. L. M., et al. Heterogeneidade espacial do fitoplâncton no reservatório de Boa Esperança (Maranhão – Piauí, Brasil). *Acta Limnologica Brasiliensia*, 1998, 10(2), 101-103.

POMPÊO, M.; MOSCHINI-CARLOS, V.; NISHIMURA, P.Y.; SILVA, S.C. da, e LOPEZ-DOVAL, J.C. L. *Ecologia de Reservatórios e Interfaces*. São Paulo: Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, 2015.

POMPÊO, M. *Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas em reservatórios tropicais brasileiros*. São Paulo: Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, 2017.

ROCHA, O.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; SAMPAIO, E. V. Phytoplankton and zooplankton community structure and production as related to trophic state in some Brazilian lakes and reservoirs. *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen*, 1997, 26(2), 599-604.

ROCHA, C. H. B. e DE AZEVEDO, L. P. Avaliação da presença de metais pesados nas águas superficiais da Bacia do Córrego São Mateus, Juiz de Fora (MG), Brasil. *Revista Espinhaço | UFVJM*, 2017, 33-44.

SANT'ANNA, Célia L et al. *Manual ilustrado para identificação e contagem de cianobactérias planctônicas de águas continentais brasileiras*. Interciência; São Paulo: Sociedade Brasileira de Ficologia, 2006. 58 p.

SANT'ANNA, C.L.; AZEVEDO, M.T. de P.; WERNER, V.R.; DOGO, C.R.; RIOS, F.R. e CARVALHO, L.R. de. Review of toxic species of Cyanobacteria in Brazil. *Algol. Stud.*, 2008, 126(1), 251-265.

SÃO PAULO. *Decreto no 10.755 de 22 de novembro de 1977* [online]. [viewed 30 November 2017]. Available from: [http://www.sigrh.sp.gov.br/arquivos/enquadramento/Dec\\_Est\\_10755.pdf](http://www.sigrh.sp.gov.br/arquivos/enquadramento/Dec_Est_10755.pdf)

SEBASTIEN, N.Y. *Fenômenos Climatológicos e hidrológicos e sua repercussão sobre a limnologia dos reservatórios de Barra Bonita – SP, Carlos Botelho (Lobo-Broa) – SP e Tucuruí – PA- BRASIL*. 2004. 183f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

SHAFIE, N.A.; ARIS, A.Z.; ZAKARIA, M.P.; HARIS, H.; LIM, W.Y. e ISA, N.M. Application of geoaccumulation index and enrichment factors on the assessment of heavy metal pollution in the sediments. *Journal of Environmental Science and Health*, 2013, 48, 182–190.

SMITH, S. C. F.; MEINERS, S. J.; HASTINGS, R. P.; THOMAS, T.; COLOMBO, R. E. Low-Head Dam Impacts on Habitat and the Functional Composition of Fish Communities. *River Research and Applications*, 2017, 33(5), 680-689.

SOUZA, D. A. *Bacia do ribeirão do Lobo: bases ecológicas para o desenvolvimento regional, manejo e conservação*. 1993. 158 f. *Dissertação* (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.

STRAŠKRABA, M., TUNDISI, J.G. *Gerenciamento da qualidade da água de represas. Diretrizes para o gerenciamento de lagos*. São Carlos: ILEC/IEE; v.9. 2000.

STRAŠKRABA, M.; TUNDISI, J.G. *Gerenciamento da qualidade da água de represas*. São Carlos, ILEC / IEE., 2013, 183-193, 3 ed.

THORNTON, K.W.; KIMMEL, L.B. e FONEST, E.P. *Reservoir Limnology: ecological perspectives*. New York, John Wiley, 1990.

TUNDISI, J.G, TUNDISI, T.M., STRIXINO, G., MARINS, M.A. & MATTOS, E.P. 1972. Estudos ecológicos na reservatório do Broa.vol I e II. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. SP.

TUNDISI, J. G. Produção primária,“standing stock”, fracionamento do fitoplâncton e fatores ecológicos em ecossistema lacustre artificial (Represa do Broa, São Carlos). Ribeirão Preto, USP, 1977, 409p.

TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. The ecology of UHE Carlos Botelho (Lobo-Broa Reservoir) and its watershed, São Paulo, Brazil. *Freshw. Rev.*, 2014, 6(2), 75-91. <https://doi.org/10.1608/FRJ-6.2.727>.

\_\_\_\_\_. Integrating ecohydrology, water management, and watershed economy: case studies from Brazil. *Ecohydrol. Hydrobiol.*, 2016, 16(2), 83-91. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2016.03.006>.

TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; TUNDISI, J.E.M.; BLANCO, F.P.; ABE, D.S.; CONTRI CAMPANELLI, L.; SIDAGIS GALLI, G.; SILVA, V.T. and LIMA, C.P.P. A bloom of cyanobacteria (*Cylindrospermopsis raciborskii*) in UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa) reservoir: a consequence of global change?. *Braz. J. Biol.*, 2015, 75(2), 507-508. <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.24914>.

VICENTIN, A.M.; RODRIGUES, E.H.C.; MOSCHINI-CARLOS, V.; POMPÊO, M.L.M. Ecological status evaluation of Carlos Botelho (Lobo/Broa) reservoir, São Paulo, using Evenness Index to phytoplankton community. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 2018, 30.

YU, R; YUAN, X.; ZHAO, Y.; HU, G.; TU, X. Heavy metal pollution in intertidal sediments from Quanzhou Bay, China. *Journal of Environmental Sciences*, 2008, 20(6), 664–669.