

RESSALVA

Atendendo solicitação da autora, o texto completo desta tese será disponibilizado somente a partir de 12/07/2021.

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
(BIOLOGIA VEGETAL)**

**PREFERÊNCIAS ECOLÓGICAS E POTENCIAL BIOINDICADOR DAS
DIATOMÁCEAS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL DE REPRESAS
DO ESTADO DE SÃO PAULO, BRASIL**

ANGELA MARIA DA SILVA LEHMKUHL

**Tese apresentada ao Instituto de
Biociências do Câmpus de Rio Claro,
Universidade Estadual Paulista, como
parte dos requisitos para obtenção do
título de Doutor em Ciências
Biológicas (Biologia Vegetal).**

JULHO 2019

ANGELA MARIA DA SILVA LEHMKUHL

PREFERÊNCIAS ECOLÓGICAS E POTENCIAL BIOINDICADOR DAS
DIATOMÁCEAS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL DE
REPRESAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, BRASIL

Tese apresentada ao Instituto de
Biociências do Campus de Rio Claro,
Universidade Estadual Paulista, como
parte dos requisitos para obtenção do
título de Doutor em Ciências Biológicas
(Biologia Vegetal).

ORIENTADORA: DRA. DENISE DE CAMPOS BICUDO

L523p

Lehmkuhl, Angela Maria da Silva

Preferências ecológicas e potencial bioindicador das diatomáceas para avaliação da qualidade ambiental de represas do estado de São Paulo, Brasil / Angela Maria da Silva Lehmkuhl. -- Rio Claro, 2019
171 p. : il., tabs., mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Instituto de Biociências, Rio Claro
Orientadora: Denise de Campos Bicudo

1. Ecologia vegetal. 2. Fitoplâncton de água doce. 3. Sedimento superficial. 4. Paleolimnologia. 5. Biodiversidade. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Biociências, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Câmpus de Rio Claro



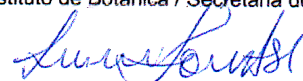
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

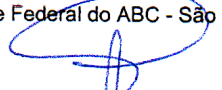
TÍTULO DA TESE: Preferências ecológicas e pontencial bioindicador das diatomáceas para avaliação da qualidade ambiental de represas do estado de São Paulo, Brasil

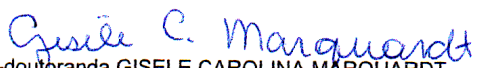
AUTORA: ANGELA MARIA DA SILVA LEHMKUHL
ORIENTADORA: DENISE DE CAMPOS BICUDO

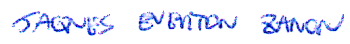
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em CIÊNCIAS BIOLÓGICAS (BIOLOGIA VEGETAL), pela Comissão Examinadora:


Prof.ª. Dr.ª. DENISE DE CAMPOS BICUDO
Instituto de Botânica / Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo


Pesquisadora Doutora Colaboradora LUCIANE FONTANA DA SILVA
Universidade Federal do ABC - São Paulo


Prof. Dr. EDUARDO ALEXIS LOBO ALCAYAGA
Ciências Biológicas / Universidade de Santa Cruz do Sul - Santa Cruz do Sul/RS


Pós-doutoranda GISELE CAROLINA MARQUARDT
Secretaria do Meio Ambiente / Instituto de Botânica - São Paulo


Prof. Dr. JAQUES EVERTON ZANON
Secretaria do Meio Ambiente / Instituto de Botânica - São Paulo

Rio Claro, 12 de julho de 2019

“Toda tarefa, por mais nobre que seja, está destinada a enfrentar problemas e obstáculos. É importante avaliar por completo a finalidade a que nos propomos e quais são os fatores que determinam a nossa conduta. É importante que a pessoa seja verdadeira, honesta e sensata. Suas ações devem ser tão boas para os outros quanto para si própria”

Dalai Lama

*À minha filha Alice e meu esposo Elton,
Aos meus pais Geraldo e Ana Alice,
Aos meus irmãos Izadora e Renato,
às minhas amadas sobrinhas Jaqueline, Rosa e Carolina
Por todo amor, companheirismo e paciência
Dedico.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer ao universo por me proporcionar condições aleatórias ou não para eu realizar o doutorado da melhor maneira que poderia ser. Agradeço aos Budas e Bodisatvas por me proporcionarem sabedoria e calma nos momentos de explosão.

Agradeço grandemente à Professora Dra. Denise de Campos Bicudo, por aceitar me orientar no doutorado. Agradeço à paciência, à convivência e a todos os ensinamentos passados durante as aulas, durante as conversas sobre a tese propriamente dita, até mesmo durante os breves momentos de descontração. Sou muito grata por todo aprendizado que tive nesses quatro anos e tenho um carinho muito grande pela pessoa que você é.

Ao Professor Dr. Carlos Bicudo, por todos os ensinamentos e histórias repassadas ao longo desses anos.

Ao Dr. Saúl Blanco da Universidad de León na Espanha, por dar a oportunidade de eu estagiar, mesmo que durante pouco tempo, e me auxiliar no desenvolvimento do índice de diatomáceas.

À professora Dra. Thelma Ludwig, “escuteeee” obrigada por disponibilizar acesso à vasta bibliografia sobre taxonomia de diatomáceas, por me receber no laboratório, e pela paciência taxonômica para escrita dos artigos. E seguimos!

Ao professor Dr. Bartolomeu Tavares, com quem comecei os estudos de diatomáceas, obrigada por todo ensinamento e amizade.

À professora Dra. Carla Ferragut, por todo o ensinamento transmitido nas aulas e no laboratório.

À Priscila Tremarin, por toda amizade e parceria taxonômica ao longo desses anos.

À Professora Dra. Norma Catarina Bueno, por acompanhar minha iniciação à vida acadêmica desde a graduação.

Ao meu esposo Elton Lehmkuhl, por todo amor, carinho, compreensão, apoio e amizade. Obrigada por sempre compartilhar a vontade de simplesmente ser. Obrigada por me ensinar tanto todos os dias, por me tirar da zona de conforto com manias desconhecidas, por me ensinar o ciclo das quartas e das quintas rsrs, obrigada por me incentivar em todos os meus objetivos, por cuidar tão bem da nossa filha Alice todos os dias e durante as minhas ausências. Obrigada por estar comigo todos os dias

quase que 24 horas por dia. Fazermos o doutorado junto foi um presente que o universo nos proporcionou. Amo-te infinito!

Agradecimento mais que especial à minha filha Alice, que às vezes sai do padrão só para me ensinar que nem tudo está sob nosso controle. Obrigada por me ensinar a ser paciente e por me tirar da frente do computador naquele momento que a ideia está fresca na cabeça. Obrigada por ser tão tão compreensiva quando estive fora. Por ser alegre e divertida e por chorar e me fazer chorar. Você me enche de orgulho todos os dias. Te Amo Filha!

A todos os amigos que fiz durante o doutorado por me receberem tão bem no Instituto de Botânica: Elaine Bartozek, Simone Oliveira “Mone”, Krysna Moraes, Simone Wengrat, Samantha Faustino, Mayara Casartelli, Gisele Marquardt, Livia Costa, Lucineide Santana, Camila Barbosa, Luyza Amaral, Priscilla Denise, Stéfano Zorzal, Thiago Rodrigues, Diego Tavares, Richard Lambrecht, Yukio Hayashi, Ruan Oliveira e Jaques Zanon. Obrigada a todos pelas conversas durante os intervalos criativos, cafezinhos, confraternizações, e a todas as trocas de ideias ao longo dos dias.

A todos os alunos e agora pesquisadores envolvidos no projeto AcquaSed, sem vocês esse trabalho não seria possível.

Agradeço a todos os alunos, alguns já doutores, e técnicos pelo enorme trabalho de campo, no laboratório e na construção do banco de dados. Realmente a união faz a diferença.

Às técnicas Dorinha, Amaryles e Marly por todo o apoio durante a execução do projeto AcquaSed. Dorinha, obrigada por contribuir com as análises de todos os integrantes do projeto AcquaSed, sem você com certeza as análises no laboratório não seriam realizadas com sucesso.

Quero agradecer especialmente à Elaine Bartozek, que desde o início me ajudou e me ensinou tantas coisas. Tenho um carinho muito grande por você.

Às minhas amigas irmãs que o doutorado me deu, Mone e Krysna. Obrigada pela convivência, pelas conversas e desabafos diários e necessários. Obrigada por serem as “BFFs” da Alice. Com certeza vocês contribuíram e muito para o término da tese com cara de férias nas Maldivas, com muita água termal LaRoche. Amo vocês migas!

Agradecimento especial à minha família e esse vai ser longo mesmo!. Não tenho palavras que expressem toda gratidão que tenho a cada um de vocês. À meu pai

Geraldo e minha mãe Ana Alice, por sempre me apoiarem e por me ajudarem a alcançar todos os meus objetivos. Obrigada por toda base, educação e amor, por me ensinarem a ser forte e persistente em meus sonhos. Sou imensamente grata por vocês cuidarem da Alice em todos os momentos que precisei. Obrigada à minha irmã Izadora que esteve presente em minha vida nesses quatro anos, que nos ajudou desde o início de nosso retorno à São Paulo, por ser minha amiga e confiar a mim tantas experiências. Por também cuidar da Alice como se fosse sua filha. Ao meu irmão Renato Izidoro, úuuu, que mesmo longe está pertinho, que está sempre pronto para sanar questionamentos dos mais diversos possíveis. Obrigada pelo ensinamento lógico e psicanalítico dentro da metafísica surrealista. E claro que não poderia deixar de agradecer às minhas sobrinhas Jaqueline Xavier, que com todo seu humor, amor e carinho me fez companhia e sempre deixa meus dias mais calmos, tenho certeza que você vai brilhar em suas escolhas. À Rosa Morena, que mesmo longe sempre me manda um Te Amo Tia, que derrete meu coração. À Carolina Xavier, a “irmã gêmea” um ano mais velha da Alice, que nesses quatro anos juntinhas me ensina a ter paciência e sabedoria para tentar te ajudar a entender seus quereres incompreendidos. Vocês são meu exemplo de amor, compaixão e respeito às diferenças. Amo todos vocês!

Aos meus sogros Adelino e Claudia Lehmkuhl por todo apoio ao longo desses anos, por torcer com nossas conquistas e por toda compreensão durante nossas ausências.

À toda minha família pelas reuniões no sítio e momentos de lazer e descontração. À minha prima Angélica por toda energia quântica transmitida. Amo vocês.

Agradecimento especial à Jane que me ajudou a ter uma vida mais tranquila e organizada, sem você não sei o que seria de nós! Obrigada por todo cuidado, carinho e respeito que tem por nós.

Obrigada à Marcela Chagas, graças à sua sabedoria e conhecimento estou terminando a tese forte e sem dores! À Jolie “teacher” a melhor professora de inglês que eu poderia ter.

Obrigada à Letícia Poli e à Patrícia Leite pelas estadias e momentos de muita risada em Rio Claro.

Ao Instituto de Botânica pela infraestrutura concedida para a realização de todas as etapas que antecederam a tese.

Ao Programa de Pós Graduação em Biologia Vegetal, à todos os técnicos da secretaria por toda atenção e dúvidas sanadas. À todos os professores que contribuíram para minha formação durante o doutorado.

À Universidade Federal do Amazonas, Instituto de Ciências Sociais, Educação e Zootecnia, e ao colegiado de Zootecnia pelo apoio e pela licença de quatro anos para que eu pudesse realizar o doutorado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas, pela bolsa de doutorado concedida (Edital N. 003/2015 RH-Interiorização).

À FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) pelo auxílio temático ao Projeto AcquaSed (Processo nº 2009/53898-9), imprescindível para a realização desta tese.

À banca examinadora pela disposição e disponibilidade em ler a tese e contribuir com valiosas sugestões.

À todos que contribuíram direta e indiretamente para o desenvolvimento dessa tese.

SUMÁRIO

RESUMO GERAL.....	11
SUMMARY	13
INTRODUÇÃO GERAL.....	15
ORGANIZAÇÃO DA TESE	22
ÁREA DE ESTUDO	23
MATERIAL E MÉTODOS GERAIS.....	27
Referências Bibliográficas.....	28
CAPÍTULO 1	38
Abstract.....	38
1. Introduction.....	39
2. Material and methods.....	41
2.1. Study Area	41
2.2. Field work and sampling.....	41
2.3. Ordination analysis and Trophic Diatom Index for Reservoirs models	42
2.4. Applicability of other diatom indices	44
3. Results.....	44
4. Discussion.....	57
5. Conclusions	61
Acknowledgements.....	61
References.....	62
CAPÍTULO 2	76
1. Introdução	77
2. Material e Métodos.....	80
2.1 Área de Estudo.....	80
2.2 Conjunto de Dados para Calibração e Reconstrução Quantitativa da Eutrofização	80
3. Resultados	82
3.1 Conjunto de dados para calibração.....	82
3.2 Modelo diatomácea-fósforo total e função de transferência.....	89
4. Discussão	92
5. Conclusões.....	96
6. Referências Bibliográficas	97
CAPÍTULO 3	103
1. Introdução	104
2. Material e Métodos.....	107
2.2 Área de estudo e amostragem	107
2.3 Traços funcionais das espécies de diatomáceas	107
2.4 Diversidade Funcional (FD) e Taxonômica (TD).....	108
3 Resultados	109
3.1 β -diversidade Taxonômica.....	109
3.2 β -diversidade Funcional	111
3.3 Análise RLQ e fourth corner	113
4. Discussão	127
5. Referências Bibliográficas	131
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	137

APÊNDICE 1	139
APÊNDICE 2	151
APÊNDICE 3	160
APÊNDICE 4	169

RESUMO GERAL

Este estudo baseou-se em um banco de dados limnológicos e biológicos (diatomáceas de sedimento superficial e da coluna da água) de 33 reservatórios com gradiente trófico (ultraoligotrófico a hipereutrófico) distribuídos na região sudeste do Estado de São Paulo. Visou, como primeira etapa, calcular os ótimos e as tolerâncias ecológicas (etapa de regressão) das espécies de diatomáceas com a finalidade de propor um índice de diatomáceas para avaliar o estado trófico de represas, bem como um modelo de função de transferência diatomácea-fósforo (etapa de calibração) para inferir níveis pretéritos de fósforo da água. Além disso, visou avaliar o efeito da eutrofização sobre a homogeneização taxonômica e funcional das comunidades de diatomáceas. As amostras do sedimento superficial ($n = 113$) e do plâncton (verão e inverno, $n = 226$) foram obtidas entre 2009 e 2014. O método da média ponderada (WA) foi utilizado para a etapa de regressão (ótimo e tolerância das espécies), e modelos de regressão clássica e inversa foram testados para a etapa de calibração para a proposição do índice trófico de diatomáceas e para o modelo de função de transferência diatomácea-fósforo. Foram calculados os ótimos e as tolerâncias de fósforo total para 58 (sedimento superficial) e 53 (plâncton) espécies de diatomáceas. O modelo proposto com base nas diatomáceas do sedimento superficial apresentou melhor habilidade ($r^2 = 0.71$, $p < 0.001$, RMSE $49.43 \mu\text{g L}^{-1}$) do que as planctônicas para proposição do índice de estado trófico de represas (TDIR). O modelo de função de transferência apresentou alta habilidade preditiva ($r^2 = 0.80$) e foi baseado em 63 espécies de diatomáceas (sedimento superficial). O modelo foi aplicado ao testemunho da represa Guarapiranga para a etapa de validação. O mesmo foi robusto para classificar e quantificar os níveis de fósforo da água de acordo com as fases paleoambientais da represa ao longo de 100 anos. Os resultados inferidos indicaram que a condição de referência da represa é em torno de $19 \mu\text{g PT L}^{-1}$ (oligotrófico) e o limiar de fósforo pré-eutrofização, em torno de $26 \mu\text{gPT L}^{-1}$ (mesotrófico). O processo de eutrofização contribuiu para a homogeneização taxonômica e funcional da comunidade de diatomáceas do sedimento superficial, enquanto que ambientes oligotróficos influenciaram na homogeneização biótica do plâncton. Este estudo fornece pioneiramente para regiões tropicais um índice de diatomáceas para avaliação da

trofia de represas, bem como um modelo inferencial diatomácea-fósforo para reconstrução quantitativa da eutrofização. Ainda, expande o conhecimento sobre as preferências ecológicas das espécies de diatomáceas tropicais. Tais informações contribuem para avaliação da qualidade da água de reservatórios e fornecem novas ferramentas para o gerenciamento de reservatórios no país e em regiões tropicais.

Palavras-chave: eutrofização, fósforo total, índice trófico de diatomáceas, modelo inferencial, homogeneização biótica, preferências ecológicas, represas tropicais

SUMMARY

This study was based on a limnological and biological database (surface sediment and water column diatoms) of 33 reservoirs with trophic gradient (ultraoligo- to hyperereutrophic) distributed in the southeastern region of São Paulo State. The first aim was to calculate the optimum and ecological tolerances (regression stage) of diatom species in order to propose a diatom index to evaluate the trophic state of reservoirs, as well as a model of diatom-phosphorus transfer function (calibration step) to infer past levels of water phosphorus. In addition, it aimed to evaluate the effect of eutrophication on the taxonomic and functional homogenization of diatom communities. Surface sediment ($n = 113$) and plankton (summer and winter, $n = 226$) samples were obtained between 2009 and 2014. The weighted average (WA) method was used for the regression step (optimal and species tolerance), and classical and inverse regression models were tested for the calibration step for the proposition of the trophic index of diatoms and for the diatom-phosphorus transfer function model. Optimum and tolerances for total phosphorus were calculated for 58 (surface sediment) and 53 (plankton) diatom species. The model based on the surface sediment diatoms presented better ability (r^2 0.71, $p < 0.001$, RMSE $49.43 \mu\text{g L}^{-1}$) than phytoplankton diatom to propose the trophic diatom index of reservoirs (TDIR). The transfer function model showed high predictive ability (r^2 0.80) and was based on 63 diatom species (surface sediment). The model was applied in a core from the Guarapiranga reservoir for the validation step. It was robust to classify and quantify the water phosphorus levels according to the paleoenvironmental phases of this reservoir over 100 years. The inferred results indicated that the reservoir reference condition is around $19 \mu\text{g PT L}^{-1}$ (oligotrophic) and the pre-eutrophication phosphorus threshold around 26 PT L^{-1} (mesotrophic). The eutrophication contributed to the taxonomic and functional homogenization of the surface sediment diatom communities, while oligotrophic environments influenced the biotic homogenization of plankton. This study is pioneer for tropical regions by providing the first trophic diatom index for reservoir, as well as the first diatom-phosphorus inferential model for quantitative reconstruction of eutrophication. It also expands knowledge about the ecological preferences of tropical diatom species. This research contributes to reservoir water quality assessment and provide new tools for reservoir management in the country and tropical regions.

Key words: eutrophication, total phosphorus, trophic diatom-index, inferential model, homogeneização biótica, ecological preferences, tropical reservoirs

INTRODUÇÃO GERAL

A preocupação e o interesse dos ecólogos de ecossistemas aquáticos sobre o processo de eutrofização datam das décadas de 1940 e 1950, quando as consequências da eutrofização cultural incorreram em severo decréscimo da qualidade da água em escala global (Dokulil & Teubner 2011). O processo de eutrofização, definido pelo aumento da produtividade primária devido ao aumento dos teores de fósforo e nitrogênio na água, tem efeitos multifacetados e traz graves consequências diretas e indiretas para a biodiversidade aquática, o funcionamento do ecossistema, saúde humana e usos múltiplos da água, problemas esses usualmente de difícil solução (Le Moal et al. 2019; Beusen et al. 2016; Dokulil & Teubner 2011; Smol 2008).

Dentre os métodos biológicos de monitoramento da qualidade da água, um grupo de algas representado pelas diatomáceas vem sendo amplamente utilizado principalmente na avaliação e reconstrução da eutrofização. As principais características que as tornam bons indicadores ambientais são: (1) ampla distribuição geográfica; (2) elevada riqueza de espécies com diferentes exigências ecológicas, de modo que alterações ambientais podem levar tanto ao desaparecimento de táxons sensíveis, como ao desenvolvimento daqueles que são favorecidos com a mudança, bem como à permanência de táxons tolerantes; (3) ciclo de vida curto e respostas rápidas frente a mudanças ambientais; (4) envoltório celular de sílica (SiO_2) que contribui com a preservação das valvas no sedimento, permitindo sua identificação mesmo quando depositadas por longos períodos e (5) disponibilidade de informações sobre a ecologia de diversas espécies, especialmente para regiões de clima temperado (Bennion et al. 2011, Smol & Stoermer 2010, Smol 2008, Pouličkova et al. 2004, Lobo et al. 2014, Sayer et al. 1999, Bennion 1995).

As diatomáceas despontam como um dos grupos de algas mais ricos em espécies, com cerca de 12.000 descritas e 8.000 ainda desconhecidas (Mann & Vanormelingen 2013). Basicamente, as espécies são reconhecidas pela frústula (parede celular impregnada por sílica) ricamente ornamentada com aréolas e estrias (agregados de poros) e presença de rafe (fenda longitudinal) que pode se estender ao longo do eixo apical, bem como ser rudimentar e até ausente em alguns gêneros (Round et al. 1990). Funcionalmente, estas e as demais estruturas particulares de cada gênero de diatomácea permitem que elas possam habitar os diferentes compartimentos dos ecossistemas aquáticos (planctônico, bentônico e subaéreos) e

colonizar uma ampla variedade de substratos (sedimento, rochas, macrófitas e animais) desde que exista umidade e luminosidade suficientes para sobrevivência da espécie (Julius & Theriot 2010; Wehr & Sheath 2003).

Precisamente não se conhece a data na qual as espécies de diatomáceas começaram a ser utilizadas como indicadoras ambientais (Smol & Stoermer 2010). No entanto, sua aplicação para avaliação ambiental vem sendo principalmente baseada em duas abordagens (Stevenson 2006): (1) inferência das condições de poluição dos ecossistemas aquáticos baseado inicialmente nos estudos de Kolkwitz & Marsson (1908), que possibilitou o desenvolvimento de índices autoecológicos através da composição e preferências ecológicas das espécies (van Dam et al. 2007, 1994; Lange-Bertalot 1979; Zelinka & Marvan 1966) e (2) abordagem com atributos ecológicos, incluindo avaliação sobre a biodiversidade, visando avaliar a integridade ecológica dos ecossistemas. Tal abordagem foi inicialmente baseada nos estudos de monitoramento (Patrick 1949; Patrick & Strawbridge 1963).

Os estudos que visam a avaliar a qualidade de água utilizando diatomáceas abrangem desde o monitoramento da comunidade de diatomáceas bentônicas pelo desenvolvimento de índices numéricos que possibilitam classificar os corpos d'água em categorias de interesse, até a abordagem paleolimnológica, que permite a reconstrução qualitativa e quantitativa da eutrofização. Ambas as abordagens requerem conhecimento sobre as preferências ecológicas das espécies de diatomáceas, representadas pelos ótimos e tolerâncias ambientais para a variável de interesse, ponderadas pela sua abundância (Birks 2010).

O modelo mais utilizado para se calcular o ótimo e a tolerância de cada espécie de diatomácea é o da média ponderada (WA, ter Braak & Looman 1986) que pressupõe que a maior abundância da espécie será atingida próximo ao seu ótimo ecológico e que menores abundâncias ocorrerão em condições menos favoráveis (Birks 2010). A escala numérica em que são dados os valores do ótimo ecológico para cada espécie pode ser expressa dentro de uma escala conveniente que funciona como pesos (Potapova et al. 2004). A maioria dos índices desenvolvidos de diatomáceas baseia-se na equação proposta por Zelinka & Marvan (1961), que utiliza a combinação da abundância das espécies, do índice de sensibilidade à variável de interesse e do valor indicativo das espécies, a qual é dada pela expressão numérica da curva de distribuição de uma dada espécie em relação à variável de interesse. Em âmbito global, a maioria dos índices de diatomáceas foram desenvolvidos com

espécies bentônicas de rios (TDI – Kelly et al. 2009; BDI – Coste et al. 2009; TSI – Lobo et al. 2004; EPI-D – Dell’Uomo 2004; DI-CH – Hürlimann & Niederhauser 2002; IDP – Gómez & Licursi 2001; TI – Rott et al. 1999; SI – Rott et al. 1997; IDAP – Prygiel et al. 1996; CEE – Descy & Coste 1991; SHE – Steinberg & Schiefele 1988; GDI – Rumeau & Coste 1988; IDSE – Leclercq & Maquet 1987; WAT – Watanabe et al. 1986; SI – Sládeček 1986; IPS – Cemagref 1982; DI – Descy 1979), havendo poucas contribuições para sistemas lacustres (Bennion et al. 2014; Stenger-Kovács et al. 2007). Todos estes índices e listas com informações ecológicas das espécies (van Dam et al. 1994; Hofmann 1994; Håkansson 1993; Denys 1991; Lange-Bertalot 1979) estão compilados e constantemente atualizados no software *Omnidia* (Lecointe et al. 1993), o qual permite a fácil consulta sobre a autoecologia das espécies por listas ecológicas e cálculo dos índices desenvolvidos (Passy & Bode 2004).

Embora a base de dados para o desenvolvimento dos índices supracitados não abranja âmbito global, os índices vem sendo amplamente aplicados em diversas regiões para avaliação da contaminação orgânica de rios, a exemplo dos trabalhos na Europa (Lenoir & Coste 1996; Lange-Bertalot 1979; Zelinka & Marvan 1961), África (Bate et al. 2004), Japão (Watanabe et al. 1986), Taiwan (Wu 1999), Canadá (Lavoie et al. 2006), Argentina (Gómez & Licursi 2001), sul do Brasil (Lobo et al. 1996, 2002, 2004, 2014, 2015) e sudeste do Brasil (Bere & Tundisi 2012; 2011a). Posteriormente, o desenvolvimento e a aplicação dos índices buscaram avaliar o estado trófico dos ecossistemas, destacando-se os trabalhos realizados em rios do Reino Unido (Kelly & Witthon 1995, Kelly (1998a,b), EUA (Stevenson et al. 2008a,b; Sgro et al. 2007; Wang et al. 2005), Austrália (Chessman et al. 2007) e sul do Brasil (Lobo et al. 2014). Embora a eutrofização seja um problema globalmente documentado em sistemas lacustres, índices desenvolvidos especificamente para lagos foi apenas proposto por Stenger-Kovács et al. (2007) para Hungria.

Apesar de todo o levantamento de informações apontar para o uso das espécies de diatomáceas em diferentes escalas geográficas, é importante ressaltar a importância do desenvolvimento de redes de calibração regionais para o sucesso do método. Álvarez-Blanco et al. (2011) ressaltam que índices de diatomáceas desenvolvidos em certas regiões geográficas (ex.: regiões temperadas) são frequentemente utilizados em outras regiões (ex.: tropicais) sem sofrer qualquer tipo de calibração, e que essa problemática tem sido pouco avaliada. Neste sentido, é imprescindível conhecer as exigências ecológicas das espécies em seu ambiente natural e regional, bem como

aprofundar o conhecimento taxonômico e harmonizar o banco de espécies regionais a fim de evitar sub ou superestimação das preferências ecológicas das espécies (Charles et al. 2006; Passy & Bode 2004; Rimet et al. 2004).

Os ótimos e as tolerâncias ecológicas das espécies estão relacionados com a adaptação da população às condições ambientais específicas (Taylor et al. 2007; Potapova & Charles 2005), de modo que espécies indicadoras (especialistas) geralmente apresentam distribuição restrita às condições específicas, ao passo que as espécies tolerantes (generalistas) apresentam maior distribuição e menor exigência ambiental, demonstrando ser ineficientes como indicadores (Birks 2010). É muito provável que as preferências e tolerâncias ecológicas das espécies variem entre regiões geográficas, diferentes habitats e até mesmo ao longo de escalas temporais e espaciais de um mesmo ambiente (Winter & Duthie 2000a). Distribuição, preferências e tolerâncias ecológicas de uma espécie podem ser delimitados pela variabilidade genética relacionada à coexistência de diferentes espécies crípticas (Álvarez-Blanco et al. 2011), ou ainda pela existência de outros grupos de espécies com diferentes exigências ecológicas (Nygaard 1996).

Em estudo recente, sugere-se que as espécies de diatomáceas apresentam maior conservação de nicho relacionado às variáveis limnológicas locais do que aos fatores climáticos (Soininen et al. 2019) e este aspecto fornece suporte para o uso deste grupo para o desenvolvimento de modelos de função de transferência para reconstrução de condições limnológicas pretéritas. O início dos trabalhos com abordagem paleoambiental datam das décadas de 1970 e 1980, a partir do avanço sobre as métricas para cálculos dos ótimos e das tolerâncias das espécies. Destacam-se as funções de transferência diatomácea-pH (Chen et al. 2008; Battarbee et al. 2008; ter Braak & Juggins 1993); diatomácea-fósforo (Tammelin et al. 2019; Chen et al. 2008; Bennion et al. 2005, Miettinen 2003); diatomácea-condutividade (Benito et al. 2015). Abordagens mais recentes envolvem reconstruções paleo-climáticas (Caballero et al. 2019; Lopes & Mix 2018; Gregory-Eaves et al. 1999). A única função de transferência para ambientes lacustres no Brasil foi desenvolvida para reconstrução dos níveis pretéritos da coluna d'água a partir das diatomáceas em um lago na região nordeste (Gomes et al. 2014).

Dentre as comunidades de diatomáceas utilizadas para avaliações ambientais, as bentônicas são as popularmente estudadas, por estarem mais relacionadas às condições ambientais que as espécies planctônicas (Philibert & Prairie 2002). No

entanto, a comunidade do sedimento superficial vem ganhando notoriedade por permitir verificar o efeito integrado das alterações dos ecossistemas, pela capacidade de integrar amostras em escalas espaciais e temporais dos eventos que se acumularam no passado recente, bem como conter táxons de organismos provenientes de todos os habitats do ecossistema (Bennion 1995). Uma rede de calibração inclui amostragens da comunidade de diatomáceas do sedimento superficial ao longo de um gradiente ambiental de interesse (ex. pH, grau trófico, condutividade). A partir de amostras modernas do sedimento (superficial) é possível conhecer as comunidades modernas de diatomáceas em cada ambiente e sua variação ao longo de um gradiente ambiental de interesse, e, então, calcular os ótimos e as tolerâncias ecológicas de cada espécie de diatomácea. Tais informações se constituem na base para a construção dos modelos inferenciais, a exemplo do modelo DI-PT (diatomáceas-fósforo), o qual apresenta grande interesse para o gerenciamento ambiental uma vez que fornece as condições basais dos ecossistemas lacustres, pré-impacto humano, subsidiando metas de recuperação (Bennion et al. 2004, Smol 2008, Bennion & Simpson 2011, Davidson & Jeppsen 2013) e programas de gerenciamento, a exemplo do WFD-*European Council Water Framework Directive* (European Union 2000).

É importante ainda mencionar uma abordagem recente para o biomonitoramento com espécies de diatomáceas (Rimet et al. 2016), que se baseia em ferramentas moleculares, como a técnica *barcoding*, que compara pequenas sequências de DNA para identificação das espécies de diatomáceas (Hamsher et al. 2011). Esta abordagem promete ser mais rápida que os métodos clássicos de contagem e identificação ao microscópio, ao diminuir o tempo em análises microscópicas e reduzir os erros de identificação das espécies (Zimmermann et al. 2014; Rimet et al. 2016). Embora seja uma técnica promissora, a identificação correta das espécies pela comparação das sequências de DNA depende da qualidade da biblioteca onde os códigos estão organizados para que a identificação inequívoca possa ser feita (Zimmermann et al. 2011).

No Brasil, após quatro décadas desde a publicação pioneira de Torgan & Aguiar (1974), os estudos sobre o uso das diatomáceas na bioindicação são ainda relativamente escassos e concentrados, principalmente, em ambientes lóticos subtropicais da região sul do país. Tais estudos abordaram o sistema de sapróbios (ex. Rodrigues & Lobo 2000, Lobo et al. 2002), avaliação do estado trófico com base em diatomáceas epilíticas (ex. Salomoni et al. 2006, Hermany et. al 2006, Düpont et al.

2007, Böhm et al. 2013, Lobo et al. 2010, 2014, 2015) e poucos abrangeram a comparação entre ecossistemas (ex. Hermany et al. 2006, Lobo et al. 2004). Particularmente para o Estado de São Paulo, o conhecimento ecológico das diatomáceas e de seu uso na avaliação da qualidade ecológica dos ecossistemas aquáticos é ainda mais recente e vem crescendo substancialmente após o ano 2000. Os primeiros estudos avaliaram a comunidade de diatomáceas e sua associação com as condições ambientais do rio Monjolinho e seus tributários (Souza 2002, Bere & Tundisi 2011a,b, 2012). Destaca-se a contribuição de Bere (2014) por sere a única que avalia as preferências ecológicas das espécies de diatomáceas em um rio em São Carlos. Nos últimos anos as contribuições para o Estado de São Paulo vem aumentando e abrangem estudos sobre ótimos para fósforo total e avaliação de atributos ecológicos de biodiversidade (Wengrat et al. 2018; Zorzal-Almeida et al. 2017a,b, Bicudo et al. 2016), distribuição espacial e ambiental (Bartozek et al. 2019; Marquardt 2018, 2017) e influência do uso e ocupação do solo (Zorzal-Almeida et al. 2018) sobre a comunidade de diatomáceas. Estudos paleolimnológicos utilizando as diatomáceas, junto a outros marcadores ambientais, para reconstrução qualitativa da eutrofização são ainda muito recentes e raros no Brasil e se iniciaram em represas urbanas da Região Metropolitana de São Paulo (Costa-Böddeker et al. 2012, Fontana et al. 2014).

Mesmo diante de toda informação disponível sobre o uso das diatomáceas como instrumento para avaliações da qualidade ecológica dos ambientes, há grande lacuna de informações para regiões tropicais/subtropicais o que traz limites para o uso desta comunidade para fins de gerenciamento ambiental. Assim sendo, este trabalho buscou preencher algumas lacunas com base em um banco de dados pré-existente (Projeto AquaSed), que inclui dados de diatomáceas e limnológicos de 33 represas com gradiente de trofia distribuídas em cinco bacias hidrográficas na região sudeste do estado de São Paulo. A primeira etapa objetivou caracterizar o ótimo e a tolerância ecológica de espécies de diatomáceas da coluna d'água (fitoplanctônicas) e do sedimento superficial. A partir deste conhecimento os demais objetivos foram a) desenvolver uma rede de calibração para elaboração de um índice de estado trófico de diatomáceas para ser aplicado aos reservatórios; b) avaliar o potencial indicador das comunidades de diatomáceas na qualidade ecológica de represas; c) desenvolver uma função de transferência diatomácea-fósforo a fim de reconstruir os valores pretéritos de fósforo da água da represa Guarapiranga e fornecer valores de referência pré-

eutrofização; e d) avaliar o efeito da eutrofização sobre a beta-diversidade taxonômica e funcional das espécies de diatomáceas. Os objetivos expostos estão pautados nas hipóteses de que 1) associações de espécies de diatomáceas serão indicadoras do gradiente de eutrofização nas represas; 2) as diatomáceas dos sedimentos superficiais fornecerão respostas mais sensíveis à eutrofização do que as planctônicas uma vez que as primeiras fornecem respostas integradas no espaço e tempo e são adequadas para sistemas lênticos; 3) os índices tróficos existentes de diatomáceas não serão adequados para avaliação das represas, uma vez que foram desenvolvidos para ambientes lóticos subtropicais com comunidades epilíticas (BIWQ), epipéllicas (IDP) e com comunidades epifítica de lagos de regiões temperadas (TDIL).

Este estudo fornece pioneiramente para o Brasil e regiões tropicais um índice de diatomáceas para avaliação da trofia de represas, bem como um modelo inferencial diatomácea-fósforo para reconstrução quantitativa de fósforo na água. Ainda, expande o conhecimento sobre as preferências ecológicas das espécies de diatomáceas tropicais e sobre o efeito da eutrofização na homogeneização biótica. Tais informações contribuem para avaliação da qualidade da água de reservatórios em regiões tropicais, bem como para o resgate e conhecimento dos limiares de fósforo antes do início da eutrofização, fornecendo novas ferramentas para o gerenciamento de reservatórios.

Esta proposta está inserida no projeto temático AcquaSed que teve apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de São Paulo (FAPESP) que teve como objetivo central reconstituir o histórico da evolução trófica e de outros impactos antropogênicos na Represa Guarapiranga, situando 33 represas da região sudeste do estado ao longo do gradiente trófico reconstituído. Tal abordagem teve como cerne a integração da paleolimnologia (reconstrução do passado) e neolimnologia (diagnóstico presente) bem como o uso de multitraçadores de impactos antropogênicos, com a finalidade de desenvolver um modelo de função de transferência diatomáceas-fósforo.

ORGANIZAÇÃO DA TESE

A presente tese está organizada em três capítulos que posteriormente serão estruturados para submissão em revistas especializadas de acordo com a temática abordada. Todos os capítulos estão baseados no banco de dados do Projeto AcquaSed que compreende dados biológicos (diatomáceas planctônicas e de sedimento superficial) e limnológicos de 33 represas e 113 unidades amostrais. O **capítulo 1** apresenta o cálculo dos valores de ótimos e tolerâncias ambientais para 58 espécies de diatomáceas de sedimento superficial e 53 do fitoplâncton, e propõe o índice trófico de diatomáceas para represas com base na comunidade que apresentou a melhor resposta. O **capítulo 2** desenvolve a função de transferência diatomácea-fósforo baseado na malha de calibração regional da comunidade de diatomáceas do sedimento superficial. Ainda, neste capítulo, o modelo inferencial reconstrói quantitativamente os níveis de fósforo pretéritos da água na represa de Guarapiranga (1919-2010). E finalmente, o **capítulo 3** contribui com o conhecimento do ótimo ecológico para pH e condutividade das espécies de diatomáceas do sedimento superficial e da coluna d'água, e tem como cerne avaliar o efeito da eutrofização sobre a homogeneização taxonômica e funcional da comunidade de diatomáceas.

Referências Bibliográficas

- Álvarez-Blanco, I.; Cejudo-Figueiras, C.; Bécares, E. & Blanco, S. 2011. Spatio temporal changes in diatom ecological profiles: implications for biomonitoring. *Limnology* 12: 157-168.
- APHA - American Public Health Association, (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association, Washington DC.
- Archibald, R.E.M. 1972. Diversity in some south african diatom associations and its relation to water quality. *Water Research Pergamon Press* 6: 1229-1238.
- Bartozek, E.C.R., Silva-Lehmkuhl, A.M., Gregory-Eaves, I. & Bicudo, D.C. 2019. Environmental and spatial drivers of surface sediment and water column diatom assemblages in tropical reservoirs. *J. Paleolimnology*: <https://doi.org/10.1007/s10933-019-00083-3>
- Bate, G.; Smailes, P. & Adams, J. 2004. A water quality index for use with diatoms in the assessment of rivers. *Water* 30(4): 493-498.
- Battarbee, R.W. 1986. Diatoms analysis. In: Berglund, B.E. (ed.) *Handbook of Holocene Palaeohydrology*. New York: John Wiley & Sons, p.527-570.
- Battarbee, R.W.; Jones, V.; Flower, R.J.; Cameron, N.; Bennion, H.; Carvalho, L. & Juggins, S. 2001. Diatoms. In: Smol, J.P.; Birks, H.J.B.; Last, W.M. (eds.). *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments*. London: Kluwer Academic Publishers. 3: 155-203.
- Battarbee, R.W., Monteith, D.T., Juggins, S., Simpson, G.L., Shilland, E.W., Flower, R.J. & Kreiser, A.M. 2008. Assessing the accuracy of diatom-based transfer functions in defining reference pH conditions for acidified lakes in the United Kingdom. *The Holocene* 18(1): 57-67. doi: 10.1177/0959683607085571
- Bellinger, B.J., Cocquyt, C. & O'Reilly, C.M. 2006. Benthic diatoms as indicators of eutrophication in tropical streams. *Hydrobiologia* 573: 75-87.
- Benito, X., Trobajo, R. & Ibáñez, C. 2015. Benthic diatoms in a Mediterranean delta: ecological indicators and conductivity transfer function for paleoenvironmental studies. *J. Paleolimnol* 54: 171-188.
- Bennion, H. 1995. Surface-sediment diatom assemblages in shallow, artificial, enriched ponds and implications for reconstructing trophic status. *Diatom Research* 10(1): 1-19.
- Bennion, H., Juggins, S. & Anderson, N.J. 1996. Predicting epilimnetic phosphorus concentrations using an improved diatom-based transfer function, and its application to lake eutrophication management. *Environ. Sci. Technol.* 30: 2004–2007.
- Bennion, H., Appleby, P.G. & Phillips, G.L. 2001. Reconstructing nutrient histories in the Norfolk Broads, UK: implications for the role of diatom-total phosphorus transfer functions in shallow lake management. *J. Paleolimnology* 26: 181-204.

- Bennion, H., Fluin, J. & Simpson, G.L. 2004. Assessing eutrophication and reference conditions for Scottish freshwater lochs using subfossil diatoms. *Journal of Applied Ecology* 41: 124-138.
- Bennion, H., Johnes, P., Ferrier, R., Phillips, G. & Haworth, E. 2005. A comparison of diatom phosphorus transfer functions and export coefficient models as tools for reconstructing lake nutrient histories. *Freshwater Biology* 50: 1651-1670. doi:10.1111/j.1365-2427.2005.01428.x
- Bennion, H. & Simpson, G.L. 2011. The use of diatom records to establish reference conditions for UK lakes subject to eutrophication. *J. Paleolimnol* 45: 469-488.
- Bere, T. 2014. Ecological preferences of benthic diatoms in a tropical river system in São Carlos – SP, Brazil. *Tropical Ecology* 55(1): 47-61.
- Bere, T. & Tundisi, J.G. 2011a. Applicability of borrowed diatom-based water quality assessment indices in streams around São Carlos-SP, Brazil. *Hydrobiologia* 673:179-192.
- Bere, T. & Tundisi, J.G. 2011b. The effects of substrate type on diatom-based multivariate water quality assessment in a Tropical river (Monjolinho), São Carlos, SP, Brazil. *Water, Air & Soil Pollution* 216 (2): 39-409.
- Bere, T. & Tundisi, J.G. 2012. Applicability of the Pampean Diatom Index (PDI) to streams around São Carlos-SP, Brazil. *Ecological Indicators* 13: 342-346.
- Beusen, A.H.W.; Bouwman, A.F.; Van Beek, L.P.H.; Mogollón, J.M. & Middelburg, J.J. 2016. Global riverine N and P transport to ocean increased during the 20th century despite increased retention along the aquatic continuum. *Biogeosciences* 13: 2441-2451. doi:10.5194/bg-13-2441-2016
- Beyene, A.; Addis, T.; Kifle, D.; Legesse, W.; Kloos, H. & Triest, L. 2009. Comparative study of diatoms and macroinvertebrates as indicators of severe water pollution: Case study of the Kebena and Akaki rivers in Addis Ababa, Ethiopia. *Ecological Indicators* 9: 381-392.
- Bicudo, C.E.M. & Menezes, M. 2017. Gêneros de algas continentais do Brasil. Chave para identificação e descrições. 3 ed. Editora RIMA, São Carlos. 552 p.
- Bicudo, D.C. 1990. Considerações sobre contagem de algas do perifiton. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 3:459-475.
- Bicudo, D.C., Tremarin, P.I., Almeida, P.D., Zorzal-Almeida, S., Wengrat, S., Faustino, S.B., Costa, L.F., Bartozek, E.C.R., Rocha, A.C.R., Bicudo, C.E.M., Morales, E.A. 2016. Ecology and distribution of *Aulacoseira* species (Bacillariophyta) in tropical reservoirs from Brazil. *Diat. Res.* 31(3), 199-215. <http://dx.doi.org/10.1080/0269249X.2016.1227376>
- Birks, H.J.B., Line, J.M., Juggins, S., Stevenson, A.C., Ter Braak, C.J.F. 1990. Diatoms and pH reconstruction. *Philos. Trans. of the Royal Soc. of London, Biol. Sc.* 327(1240), 263-278.
- Birks, H.J.B. 2010. Numerical methods for the analysis of diatom assemblage data. In: Smol, J.P. & Stoermer, E.F. (eds.) *The diatoms: applications for the environmental and Earth Sciences*. 2 ed. Cambridge: University Press. cap 3: 23-54.

- Böhm, J.S.; Schuch, M.; Düpont, A. & Lobo, E.A. 2013. Response of epilithic diatom communities to downstream nutrient increases in Castelhana stream, Venâncio Aires city, RS, Brazil. *Journal of Environmental Protection* 4: 20-26.
- Bukhtiyarova, L.N. 1999. Classification of diatoms algocoenoses as a useful tool in river biomonitoring. In: Prygiel, J.; Whitton, B.A. & Bukowska, J. (Eds.). *Use of algae for monitoring rivers III*. Agence de L'Eau Artois-Picardie. 114-121.
- Cemagref. 1982. *Etude des méthodes biologiques quantitatives d'appréciation de la qualité des eaux*. Rapport Q.E. Lyon - A.F.B. Rhône-Méditerranée-Corse : 218 p.
- Charles, D.F.; Acker, F.W.; Hart, D.D.; Reimer, C.W. & Cotter, P.B. 2006. Large-scale regional variation in diatom-water chemistry relationships: rivers of the eastern United States. *Hydrobiologia* 561:27-57.
- Chen, G., Dalton, C., Leira, M. & Taylor, D. 2008. Diatom-based total phosphorus (TP) and pH transfer functions for the Irish Ecoregion. *J. Paleolimnol* 40: 143-163. doi: 10.1007/s10933-007-9148-4
- Chessman, B.C., Bate, N., Gell, P.A. & Newall, P. 2007. A diatom species index for bioassessment of Australian rivers. *Marine and Freshwater Research* 58: 542-557.
- Costa-Böddeker, S., Bennion, H., Jesus, T.A., Albuquerque, A.L.S., Figueira, R.C.L & Bicudo, D.C. 2012. Paleolimnologically inferred eutrophication of a shallow tropical urban reservoir, southeast Brazil. *Journal Paleol.* 48: 751-766.
- Coste, M., Boutry, S., Tison-Rosebery, J. & Delmas, F. 2009. Improvements of Biological Diatom Index (BDI): description and efficiency of the new version (BDI-2006). *Ecological Indicators* 9: 621-650.
- Davidson, T.A. & Jeppsen, E. 2013. The role of paleolimnology in assessing eutrophication and its impact on lakes. *Journal of Paleolimnology* 49: 391-410.
- Dell'Uomo, A. 2004. *L'indice diatamico di eutrofizzazione/polluzione (EPI-D) nel monitoraggio delle acque correnti-Linee guida*. Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici, Roma, Firenze.
- Denys, L. 1991. A check-list of the diatoms in the Holocene deposits of the western Belgian coastal plain with a survey of their apparent ecological requirements, I: introduction, ecological code and complete list. *Service Geologique de Belgique, Professional Paper* 246: 1-41.
- Descy, J.-P. 1979. A new approach to water quality estimation using diatom. *Nova Hedwigia* 64: 305-323.
- Descy, J.-P & Coste, M. 1991. A test of methods for assessing water quality based on diatoms. *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen*, 24(4): 2112-2116. doi: 10.1080/03680770.1989.11899905
- Düpont, A., Lobo, E. A., Costa, A. B. & Schuch. M. 2007. Avaliação da qualidade da água do Arroio do Couto, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil. *Caderno de Pesquisa. Série Biologia (UNISC)* 9: 20-31.
- Dokulil, M.T. & Teubner, K. 2011. Eutrophication and climate change: presente situation and future scenarios. In: Ansari, A.A., Gill, S.S., Lanza, G.R. & Rast, W. (eds) *Eutrophication: causes, consequences and control*. New York: Springer. cap. 1: 1-16.

- European Union. 2000. Directive 2000/60/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. Official Journal of the European Communities 327: 1-73.
- Fontana, L., Bernardes, M.C., Cunha, T.S., Andrade, M.R.M., Albuquerque, A.L.S. & Bicudo, D.C. 2017. Marcadores geoquímicos como traçadores do processo de eutofização. In: Bicudo, C.E.M., Bicudo, D.C. (Eds.) 100 Anos da represa Guarapiranga: lições e desafios. Editora CRV, Curitiba-PR, Brasil. cap. 4: 115-161.
- Fontana, L., Albuquerque, A.L.S., Brenner, M., Bonotto, D.M., Sabaris, P.P., Pires, M.A.F., Cotrim, M.E.B. & Bicudo, D.C. 2014. The eutrophication history of a tropical water supply reservoir in Brazil. *Journal of Paleolimnology* 51: 29-43.
- Golterman, H.L.; Clymo, R.S. & Ohnstad, M.A.M. 1978. Methods for physical and chemical analysis of fresh waters. 2a ed. Oxford: Blackwell Scientific Publications. International Biological Program. 213p.
- Gomes, D.F.; Albuquerque, A.S.L.; Torgan, L.C.; Turcq, B. & Sifeddine, A. (2014). Assessment of a diatom-based transfer function for the reconstruction of lake-level changes in Boqueirão Lake, Brazilian Nordest. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 415: 105-116.
- Gómez, N. & Licursi, M. 2001. The Pampean Diatom Index (IDP) for assessment of rivers and streams in Argentina. *Aquatic Ecology* 35: 173-181.
- Gregory-Eaves, I., Smol, J.P., Finney, B.P. & Edwards, M.E. 1999. Diatom-based transfer functions for inferring past climatic and environmental changes in Alaska, U.S.A. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 31(4): 353-365.
- Håkansson, S. 1993. Numerical methods for the inference of pH variations in mesotrophic and eutrophic lakes in southern Sweden – a progress report. *Diatom Research* 8(2): 349-370.
- Hamsher, S.E.; Evans, K.M.; Mann, D.G.; Pouličková, A. & Saunders, G.W. 2011. Barcoding Diatoms: exploring alternatives to COI-5P. *Protist* 162: 405-422.
- Harding, W.R.; Archibald, C.G.M. & Taylor, J.C. 2005. The relevance of diatoms for water quality assessment in South Africa: A position paper. *Water SA* 31(1): 41-46.
- Heino J., Bini L.M., Karjalainen S.M., Mykka H., Soininen J., Vieira L.C.G. & Diniz-Filho J.A.F. 2010. Geographical patterns of micro-organismal community structure: are diatoms ubiquitously distributed across boreal streams? *Oikos* 119: 129-137.
- Hermany, G., Lobo, E.A., Schwarzbald, A. & Oliveira, M.A. 2006. Ecology of the epilithic diatom community in a low-order stream system of the Guaíba hydrographical region: subsidies to the environmental monitoring of Southern Brazilian aquatic system. *Acta Limnologica Brasiliensia* 18: 9-27.
- Hofmann, G. 1994. Aufwuchs-Diatomeen in Seen und ihre Eignung als Indikatoren der Trophie. *Bibliotheca Diatomologica*. Berlin – Stuttgart: J. Cramer. 30: 241p.

- Hürlimann, J., Niederhauser, P., 2002. Méthode d'analyse et d'appréciation des cours d'eau en Suisse, Diatomées, niveau R région. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage OFEFP, Berne, Version provisoire du 2.1.2002, p. 111.
- Julius, M.L. & Theriot, E.C. 2010. The diatoms: a primer. In: Smol, P. & Stoermer, E.F. (eds). The diatoms: applications for the environmental and earth sciences. 2 ed. Cambridge: University Press. cap 2: 8-22.
- Kelly, M.G. 1998a. Use of community-based indices to monitor eutrophication in European rivers. *Environmental Conservation* 25 (1): 22-29.
- Kelly, M.G. 1998b. Use of the trophic diatom index to monitor eutrophication in rivers. *Wat. Res.* 32 (1): 236-242.
- Kelly, M.G. & Whitton, B.A. 1995. The Trophic Diatom Index: a new index for monitoring eutrophication in rivers. *Journal of Applied Phycology* 7: 433-444.
- Kelly, M.G., Haigh, A., Colette, J. & Zgrundo, A. 2009. Effect of environmental improvements on the diatoms of the River Axe, Southern England. *Fottea* 9: 343–349.
- Kocielek, J.P. 2010. Microscopic in size: macroscopic in impact. Diatom-human interactions. In: Dubinsky, Z. & Seckbach, J. (eds) All flesh is grass, cellular origin, life in extreme habitats and astrobiology 16. Springer Science+Business Media B.V.
- Kolkwitz, R. & Marsson, M. 1908. Ökologie der pflanzliche Saprobien. *Berichte der Deutsche Botanische Gesellschaften* 26: 505–19.
- Lamparelli, M.C. 2004. Graus de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: Avaliação dos métodos de monitoramento. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo: São Paulo. 207p.
- Lange-Bertalot, H. 1979. Pollution tolerance of diatoms as a criterion for water quality estimation. *Nova Hedwigia Beiheft* 64: 285-304.
- Lavoie, I.; Campeau, S.; Grenier, M. & Dillon, P. J. 2006. A diatom-based index for water quality assessment in eastern Canada: an application of Canonical Analysis. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 8: 1793-1811.
- Leclercq, L. & Maquet, B. 1987. Deux nouveaux indices chimique et diatomique de qualité d'eau courante : application au Samson et à ses affluents (bassin de la Meuse belge); comparaison avec d'autres indices chimiques, biocénotiques et diatomiques. *Inst. Roy. Sci. Nat. Belg.* 38: 113p.
- Lecointe, C.; Coste, M. & Prygiel, J. 1993. "Omnidia": software for taxonomy, calculation of diatom indices and inventories management. *Hydrobiologia* 269/270: 509-513.
- Le Moal, M.; Gascuel-Oudoux, C.; Ménesguen, A.; Souchon, Y.; Étrillard, C.; Levain, A.; Moatar, F.; Pannard, A.; Philippe, S.; Lefebvre, A. & Pinay, G. 2019. Eutrophication: a new wine in an old bottle? *Science of Total Environment* 651: 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.139>
- Lenoir, A. & Coste, M. 1996. Development of a practical diatom index of overall water quality applicable to the French national water board network. In Whitton, B. & Rott, E. (eds), *Proceedings of Use of Algae for Monitoring Rivers II*. Institut für Botanik, Universität Innsbruck, Innsbruck: 29-43.

- Lobo, E.A.; Callegaro, V.L.M.; Oliveira, M.A.; Salomoni, S.E.; Schuler, S. & Asai, K. 1996. Pollution tolerant diatoms from lotic systems in the Jacuí basin, Rio Grande do Sul, Brazil. *Iheringia, Serie Botânica* 47: 45-72.
- Lobo, E.A.; Callegaro, V.L.M. & Bender, E.P. 2002. Utilização das algas diatomáceas epilíticas como indicadoras da qualidade da água em rios e arroios da Região Hidrográfica de Guaíba, RS, Brasil. 1 ed. Santa Cruz do Sul: Edunisc. 127 p.
- Lobo, E.A., Callegaro, V.L.M., Hermany, G., Bes, D., Wetzel, C.E. & Oliveira, M.A. 2004. Use of epilithic diatoms as bioindicators from lotic systems in southern Brazil, with special emphasis on eutrophication. *Acta Limnologica Brasiliensia* 16(1): 25-40.
- Lobo, E.A.; Wetzel, C.E.; Ector, L.; Katoh, K.; Blanco, S. & Mayama, S. 2010. Response of epilithic diatom communities to environmental gradients in subtropical temperate Brazilian rivers. *Limnetica* 29(2): 323-340.
- Lobo, E.A.; Wetzel, C.E.; Schuch, M. & Ector, L. 2014. Diatomáceas epilíticas como indicadores da qualidade da água em sistemas lóticos subtropicais e temperados brasileiros. Santa Cruz do Sul: Edunisc. 144p.
- Lobo, E.A.; Schuch, M.; Heinrich, C.D.; Costa, A.B.; Düpont, A.; Wetzel, C.E. & Ector, L. 2015. Development of the Trophic Water Quality Index (TWQI) for subtropical temperate Brazilian lotic systems. *Environmental Monitoring and Assessment* 187: 354-366. doi: [10.1007/s10661-015-4586-3](https://doi.org/10.1007/s10661-015-4586-3)
- Lopes, C. & Mix, A.C. 2018. North Pacific paleotemperature and paleoproductivity reconstructions based on diatom species. *Paleocenography and Paleoclimatology* 33:703-715. <https://doi.org/10.1029/2018PA003352>
- Lowe, R.L. 1974. Environmental requirements and pollution tolerance of freshwater diatoms. Ohio: U. S. Environmental Protection Agency Cincinnati. 334p.
- Mann D.G. & Vanormelingen P. 2013. An inordinate fondness? the number, distributions, and origins of diatom species. *J Eukaryot Microbiol* 60: 414-420.
- Marquardt, G.C., Padial, A.A. & Bicudo, C.E.M. 2018. Variance partitioning of deconstructed tropical diatom communities in reservoirs cascade. *Aquatic Science* 80:17.
- Marquardt, G.C., Blanco, S. & Bicudo, C.E.M. 2017. Distance decay as a descriptor of the diatom compositional variation in tropical reservoirs. *Marine & Freshwater Research* 69(1): 105-113.
- Medlin, L.K. & Kaczamarska, I. 2004. Evolution of the diatoms V. morphological and cytological support for the major clades and taxonomic revision. *Phycologia*, 43:245-270.
- Miettinen, J.O. 2003. A diatom-total phosphorus transfer function for freshwater lakes in southeastern Finland, including cross-validation with independent test lakes. *Boreal Environmental Research* 8: 215-228.
- Nygaard, G. 1996. Temporal and spatial development of individual species of plankton algae from European lakes. *Hydrobiologia* 332: 71-91.
- Pappas, J.L. & Stoermer, E.F. 1996. Quantitative method for determining a representative algal sample count. *Journal of Phycology* 32: 393-696.

- Passy, S.I. & Bode, R.W. 2004. Diatom model affinity (DMA), a new index for water quality assessment. *Hydrobiologia* 524: 241-251.
- Patrick, R. 1949. A proposed biological measure of stream conditions based on a survey of the Conestoga Basin, Lancaster County, Pennsylvania. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 101: 277-341.
- Patrick, R. & Strawbridge, D. 1963. Variation in the structure of natural diatom communities. *The American Naturalist*, 97: 51-7.
- Philibert, A. & Prairie, Y.T. 2002. Diatom-based transfer functions for western Quebec lakes (Abitibi and Haute Mauricie): the possible role of epilimnetic CO₂ concentration in influencing diatom assemblages. *Journal of Paleolimnology* 27: 465-480.
- Potapova, M.G.; Charles, D.F.; Ponader, K.C. & Winter, D.M. 2004. Quantifying species indicator values for trophic diatom indices: a comparison of approaches. *Hydrobiologia* 517: 25-41.
- Potapova, M.G. & Charles, D.F. 2005. Choice of substrate in algae-based water-quality assessment. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 24 (2): 415-427.
- Pouličková, A.; Duchoslav, M. & Dokulil, M. 2004. Littoral diatom assemblages as bioindicators of lake trophic status: A case study from perialpine lakes in Austria. *Eur. J. Phycol.* 39: 143-152.
- Prygiel, J., Leveque, L. & Iserentant, R. 1996. A new practical diatom index for the assessment of water quality in monitoring networks. *Rev. Sci. Eau.* 1: 97-113.
- R Development Core Team. 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Reed, J.M. 1998. A diatom-conductivity transfer function for Spanish salt lakes. *J. of Paleolimnol* 19: 399-416.
- Rimet, F.; Chaumeil, P.; Keck, F.; Kermarrec, L.; Vasselon, V.; Kahlert, M.; Franc, A. & Bouchez, A. 2016. R-Systm::diatom: an open-access and curated barcode database for diatoms and freshwater monitoring. *Database* 2016: 1-21. [doi: 10.1093/database/baw016](https://doi.org/10.1093/database/baw016)
- Rimet, F.; Ector, L.; Cauchie, H.M. & Hoffmann, L. 2004. Regional distribution of diatom assemblages in the headwater streams of Luxembourg. *Hydrobiologia* 520: 105-117.
- Rocha, M.P., Bini, L.M., Siqueira, T., Hjort, J., Grönroos, M., Lindholm, M., Karjalainen, S.-M. & Heino, J. 2018. Predicting occupancy and abundance by niche position, niche breadth and body size in stream organisms. *Oecologia* 186: 205-216. <https://doi.org/10.1007/s00442-017-3988-z>
- Rodrigues, L.M. & Lobo, E.A. 2000. Análise da estrutura de comunidades de diatomáceas epilíticas no arroio Sampaio, município de Mato Leitão, RS, Brasil. *Caderno de Pesquisas, Ser. Bot., Santa Cruz do Sul*, 12(2): 5-27.
- Rott, E., Hofmann, G., Pall, K., Pfister, P. & Pipp, E. 1997. Indikationslisten für Aufwuchsalgen in österreichischen Fließgewässern. Teil 1: Saprobienelle Indikation. *Wasserwirtschaftskataster, Bundesministerium f. Land- u. Forstwirtschaft, Wien*. 73p.

- Rott, E., Pipp, E., Pfister, P., Van Dam, H., Ortler, K., Binder, N. & Pall, K. 1999. Indikationslisten für Aufwuchsalgen in österreichischen Fließgewässern. Teil 2: Trophieindikation (sowie geochemische Präferenzen, taxonomische und toxikologische Anmerkungen). Wasserwirtschaftskataster herausgegeben vom Bundesministerium f. Land- u. Forstwirtschaft 248p.
- Round, F.E.; Crawford, R.M. & Mann, D.G. 1990. The diatoms. Biology & morphology of the genera. New York, Cambridge University Press. p. 1-129.
- Rumeau, A. & Coste, M. 1988. Initiation à la systématique des diatomées d'eau douce pour l'utilisation pratique d'un indice diatomique generique. Bull. Franç. Pêche Piscic. 309: 1-69.
- Salomoni, S.E., Rocha, O., Callegaro, V.L.M. & Lobo, E.A. 2006. Epilithic diatoms as indicators of water quality in the Gravataí river, Rio Grande do Sul, Brazil. *Hydrobiologia* 559: 233-246.
- Sartory, D.P. & Grobbelaar, J.E. 1984. Extraction of chlorophyll a from freshwater phytoplankton for spectrophotometric analysis. *Hydrobiologia* 114:177-187.
- Sayer C.; Roberts N.; Sadler J.; David C.; Wade P. 1999. Biodiversity changes in a shallow lake ecosystem: a multi-proxy palaeolimnological analysis. *J Biogeogr* 26: 97-114.
- Sgro, G.V.; Reavie, E.D.; Kingston, J.C.; Kireta, A.R.; Ferguson, M.J.; Danz, N.P. & Johansen, J.R. 2007. A diatom quality index from a diatom-based total phosphorus inference model. *Environmental Bioindicators* 2: 15-34.
- Sládeček, V. 1986. Diatoms as indicators of organic pollution. *Acta hydrochim. Hydrobiol.* 14(5): 555-566.
- Smol, J.P. 2008. Pollution of lakes and rivers: a paleoenvironmental perspective. 2 ed. Oxford: Blackwell Publishing. 383p.
- Smol, J.P. & Stoermer, E.F. 2010. The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences. 2 ed. Cambridge University Press, Cambridge. 686p.
- Soininen, J., Jamoneau, A., Rosebery, J., Leboucher, T., Wang, J., Kokociński, M. & Passy, S.I. 2019. Stream diatoms exhibit weak niche conservation along global environmental and climatic gradients. *Ecography* 41:1-8.
- Souza, M. G. M. 2002. Variação da comunidade de diatomáceas epilíticas ao longo de um rio impactado no município de São Carlos – SP e sua relação com variáveis físicas e químicas. Tese de Doutorado. São Carlos: Universidade de São Carlos. 168 p.
- Steinberg, C. & Schiefele, S. 1988. Biological indication of trophy and pollution of running waters. *Z. Wasser Abwasser Forsch* 21: 227-234.
- Stenger-Kóvacs, C.; Buczkó, K.; Hajnal, E. & Padišák, J. 2007. Epiphytic, littoral diatoms as bioindicators of shallow lake trophic status: Trophic Diatom Index for Lakes (TDIL) developed in Hungary. *Hydrobiologia* 589: 141-154.
- Stevenson, R.J. 2006. Refining diatom indicators for valued ecological attributes and development of water quality criteria. In: Ognjanova-Rumenova, N. & Manoylov, K. (eds) *Advances in Phycological Studies*, Moscow: Pensoft Publishers, pp. 365–83.

- Stevenson, R.J.; Pan, Y.; Manoylov, K.M.; Parker, C.A.; Larsen, D.P. & Herlihy, A.T. 2008a. Development of diatom indicators of ecological conditions for streams of the western US. *Journal of North American Benthological Society* 27(4): 1000-1016.
- Stevenson, R.J.; Hill, B.E.; Herlihy, A.T.; Yuan, L.L. & Norton, S.B. 2008b. Algae–P relationships, thresholds, and frequency distributions guide nutrient criterion development. *Journal of the North American Benthological Society* 27: 259-275.
- Tammelin, M.; Kauppila, T.; Miettinen, J. & Jokinen, S. 2019. Eutrophication histories of three contrasting lakes in a naturally nutrient-rich boreal watercourse. *J. Paleolimnology* 61: 165-183.
- Taylor, J.C.; Prygiel, J.; Vosloo, J.; De La Rey, P.A. & Van Rensburg, L. 2007. Can diatom-based pollution indices be used for biomonitoring in South Africa? A case study of the Crocodile West and Marico water management area. *Hydrobiologia* 592: 455-464.
- ter Braak, C.J.F. & Looman, C.W.N. 1986. Weighted averaging, logit regression and the Gaussian response model. *Vegetatio*, 65:3-11.
- ter Braak, C.J.F. & van Dam, H. 1989. Inferring pH from diatoms: a comparison of old and new calibration methods. *Hydrobiologia* 178: 209-223.
- ter Braak, C.J.F. & Juggins, S. 1993. Weighted averaging partial least squares regression (WA-PLS): an improved method for reconstructing environmental variables from species assemblages. *Hydrobiologia* 269/270: 485–502.
- Tibby, J. 2004. Development of a diatom-based model for inferring total phosphorus in southeastern Australian water storages. *J. of Paleolimnology* 31: 23-36.
- Tolloti, M. 2001. Phytoplankton and littoral epilithic diatoms in high mountain lakes of the Adamello-Brenta Regional Park (Trentino, Italy) and their relation to trophic status and acidification risk. *Journal Limnologia* 60(2):171-188.
- Torgan, L. C. & Aguiar, L. W. 1974. Nota preliminar sobre a flora diatomológica do Guaíba - RS. In: XXV Congresso Nacional de Botânica, Mossoró, Rio Grande do Norte. *Anais da Sociedade Botânica do Brasil*.
- van Dam, H. 1979. Diatoms and water quality in lowlands streams in the province of Northern Brabant (The Netherlands). *Hydrobiological Bulletin* 13 (1): 13-21.
- van Dam, H.; Mertens, A. & Sinkeldam, J. 1994. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology*, 28: 117-133.
- van Dam, H.; Stenger-Kovács, C.; Ács, É.; Borics, G.; Buczkó, K.; Hajnal, É.; Soróczki-Pinter, É.; Várbíró, G.; Tóthmérész, B. & Padisák, J. 2007. Implementation of the European Water Framework Directive: Development of a system for water quality assessment of Hungarian running waters with diatoms. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 161(3-4): 339-364.
- Wang, Y.K.; Stevenson, R.J. & Metzmeier, L. 2005. Development and evaluation of a diatom-based index of biotic integrity for the Interior Plateau Ecoregion. *Journal of the North American Benthological Society* 24: 990-1008.

- Watanabe, T., Asai, K. & Houki, A. 1986. Numerical estimation to organic pollution of flowing water by using the epilithic diatom assemblage: Diatom assemblage index – DAIPo. *The Science of the Total Environment* 55: 209-218.
- Wehr, J.D. & Sheath, R.G. 2003. *Freshwater Habitats of Algae*. pp. 11-57, In: *Freshwater Algae of North America: Ecology and Classification*. Academic Press, San Diego, CA.
- Wengrat, S. & Bicudo, D.C. 2011. Spatial evaluation of water quality in an urban reservoir (Billings Complex, southeastern Brazil). *Acta Limnologica Brasiliensia* 23: 200-216.
- Wetzel, R.G. & Likens, G.E. 1991. *Limnological analysis*. New York: Springer Verlag. 331p.
- Whately, M. & Cunha, P. 2007. Cantareira 2006: um olhar sobre o maior manancial de água da Região Metropolitana de São Paulo. Instituto Socioambiental, São Paulo
- Winter, J.G. & Duthie, H.C. 2000a. Epilithic diatoms as indicators of stream total N and total P concentration. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 19 (1): 32-49.
- Wu, J.-T. 1999. A generic index of diatom assemblages as bioindicator of pollution in the Keelung River of Taiwan. *Hydrobiologia* 397: 79-87.
- Zelinka, M. & Marvan, P. 1961. Zur Präzisierung der biologischen Klassifikation der Reinheit fließender Gewässer. *Archiv für Hydrobiologie* 57 (3): 389-407.
- Zimmermann, J.; Abarca, N.; Enk, N.; Skibbe, O.; Kusber, W.-H. & Jahn, R. 2014. Taxonomic reference libraries for environmental barcoding: a best practice example from diatom research. *Plos One* 9(9): e108793. [doi:10.1371/journal.pone.0108793](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0108793)
- Zorzal-Almeida, S., Bicudo, D.C., Lamparelli, M.C., Ferragut, C., Bicudo, C.E.M. (2017a). Avaliação do índice de estado trófico e sua aplicação na represa Guarapiranga em longa série temporal. In: Bicudo, C.E.M., Bicudo, D.C. (Eds.) 100 Anos da represa Guarapiranga: lições e desafios. Editora CRV, Curitiba-PR, Brasil. pp. 401-428.
- Zorzal-Almeida, S., Bini, L.M., Bicudo, D.C. 2017b. Beta diversity of diatoms is driven by environmental heterogeneity, spatial extent and productivity. *Hydrobiologia* 800, 7-16. doi:10.1007/s10750-017-3117-3
- Zorzal-Almeida, S., Soininen, J., Bini, L.M., Bicudo, D.C. 2017c. Local environment and connectivity are the main drivers of diatom species composition and trait variation in a set of tropical reservoirs. *Freshwater Biology* 62(9), 1551-1563. doi: 10.1111/fwb.12966
- Zorzal-Almeida, S., Salim, A., Andrade, M.R.M, Nascimento, M.N., Bini, L.M. & Bicudo, D.C. 2018. Effects of land use and spatial process in water and surface sediment of tropical reservoirs at local and regional scales. *Science of the Total Environment* 644: 237-246.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente tese foi organizada em três capítulos e, de maneira geral, tem como base as preferências ecológicas das espécies de diatomáceas do sedimento superficial e da coluna d'água a partir das quais foi possível o desenvolvimento das métricas para todos os capítulos. O estudo foi desenvolvido a partir de um banco de dados de diatomáceas e limnológicos de 33 reservatórios e 113 unidades amostrais da região sudeste do Estado de São Paulo (Projeto AcquaSed).

No **capítulo 1** foram calculados os ótimos e as tolerâncias ecológicas de concentrações de fósforo total para as espécies de diatomáceas do sedimento superficial e da coluna d'água. A partir dessas informações foi proposto o índice de diatomáceas para avaliação do estado trófico de reservatórios (TDIR). Foram desenvolvidos dois modelos para o índice, um calibrado com a comunidade de diatomáceas do sedimento superficial e outro com as espécies da coluna d'água. O índice tem como resultado valores numéricos que variam de 1 a 5, equivalente às seguintes classificações: 1 (ultra-oligotrófico), 2 (oligotrófico), 3 (mesotrófico), 4 (eutrófico) e 5 (supereutrófico). Como resultados, 26 novos registros de valores indicativos são apresentados para a região tropical. Algumas das espécies apresentaram valores de ótimo e tolerância diferentes quando comparados com outros estudos bem conhecidos. O índice com melhor resposta preditiva foi o calibrado com as diatomáceas do sedimento superficial. O TDIR é o primeiro índice de reservatórios proposto e contribui para o gerenciamento da qualidade da água de reservatórios no país e em regiões tropicais.

No **capítulo 2** foi proposto, pioneiramente para região tropical, um modelo de função de transferência diatomácea-fósforo que permite a reconstrução quantitativa da eutrofização a partir dos níveis pretéritos de fósforo da água. A fase de calibração baseou-se em um banco de dados de 33 represas (113 unidades amostrais) e as etapas de regressão e calibração foram realizadas com 63 espécies de diatomáceas de amostras modernas (sedimento superficial). A malha de calibração apresentou alta habilidade preditiva e o modelo que melhor respondeu foi o da média ponderada com o peso da tolerância. O modelo aplicado ao testemunho da represa Guarapiranga permitiu classificar e quantificar os níveis pretéritos de fósforo total da água de acordo com as fases paleoambientais da represa ao longo de 100 anos (1919-2010). Os resultados inferidos indicam que a condição de referência da represa Guarapiranga é em torno de $19 \mu\text{g PT L}^{-1}$ (oligotrófico) e os níveis seguros pré-eutrofização são em torno de $26 \mu\text{g PT L}^{-1}$.

(mesotrófico). É discutido o viés do modelo para a subestimativa das concentrações de fósforo. O modelo pode ser aplicado em outros reservatórios do país e se constitui em nova ferramenta para auxiliar medidas de gerenciamento e planejamento de recuperação e conservação da qualidade de água de represas de regiões tropicais.

No **capítulo 3** foi avaliado o efeito da eutrofização sobre a beta-diversidade taxonômica e funcional das comunidades de diatomáceas do sedimento superficial e da coluna da água (verão e inverno). Os resultados demonstraram maior diversidade beta taxonômica e funcional das diatomáceas do sedimento superficial nos ambientes mesotróficos e oligotróficos, e homogeneização nos ambientes eutróficos. Para a comunidade do fitoplâncton, maior diversidade beta taxonômica e funcional foi obtida nos reservatórios oligotróficos. Independente do gradiente, a relação entre diversidade beta taxonômica e funcional foi positiva e significativa. Os resultados também indicaram redundância funcional e taxonômica com maior influência das condições ambientais sobre a comunidade do sedimento superficial. Para o fitoplâncton (verão e inverno) evidenciaram homogeneização taxonômica com maior redundância funcional, sugerindo maior influência de fatores espaciais. Os resultados demonstraram que a eutrofização contribui com o processo de homogeneização taxonômica e funcional da comunidade de diatomáceas do sedimento superficial. Os locais oligotróficos e mesotróficos apresentaram maior contribuição de traços relacionados às guildas ecológicas enquanto que os locais eutróficos mostraram predominância de traços relacionados ao ótimo ecológico.

Em suma, este estudo fornece pioneiramente para regiões tropicais um índice de diatomáceas para avaliação da trofia de represas, bem como um modelo inferencial diatomácea-fósforo para reconstrução quantitativa de fósforo na água. Ainda, expande o conhecimento sobre as preferências ecológicas das espécies de diatomáceas tropicais e sobre o efeito da eutrofização na homogeneização biótica. Tais informações contribuem para avaliação da qualidade da água de reservatórios no país e em regiões tropicais, bem como para o resgate e conhecimento dos limiares de fósforo antes do início da eutrofização, fornecendo novas ferramentas para o gerenciamento de reservatórios.