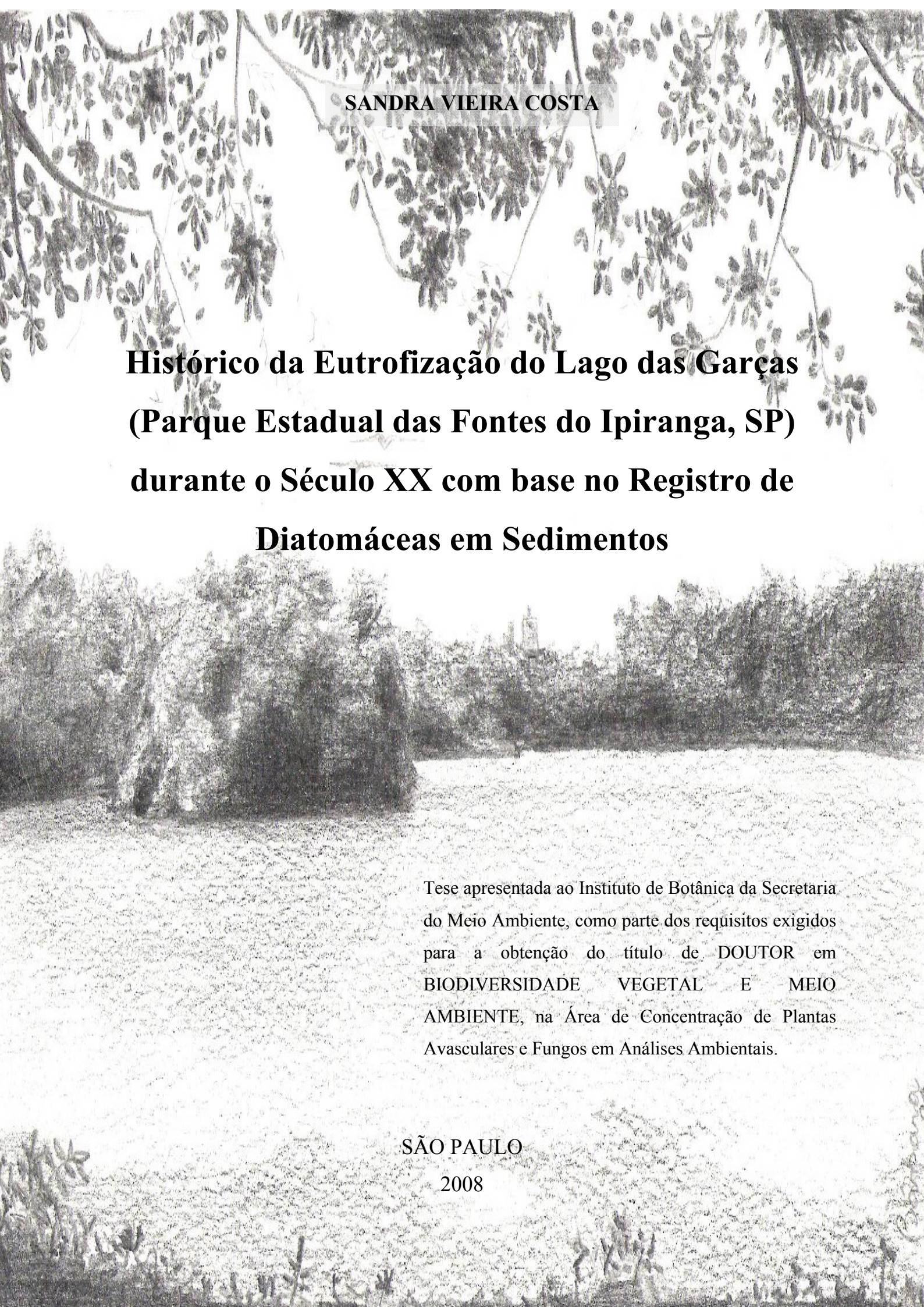


The background of the cover is a black and white photograph of a park. In the foreground, there are dense, leafy branches hanging down from the top. In the middle ground, there is a body of water, likely a lake, with a line of trees on the opposite shore. A small, distant building with a tower is visible through the trees. The overall scene is a peaceful park setting.

SANDRA VIEIRA COSTA

**Histórico da Eutrofização do Lago das Garças
(Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, SP)
durante o Século XX com base no Registro de
Diatomáceas em Sedimentos**

Tese apresentada ao Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de DOUTOR em BIODIVERSIDADE VEGETAL E MEIO AMBIENTE, na Área de Concentração de Plantas Avasculares e Fungos em Análises Ambientais.

SÃO PAULO

2008

SANDRA VIEIRA COSTA

Histórico da Eutrofização do Lago das Garças (Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, SP) durante o Século XX com base no Registro de Diatomáceas em Sedimentos

Tese apresentada ao Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de DOUTOR em BIODIVERSIDADE VEGETAL E MEIO AMBIENTE, na Área de Concentração de Plantas Avasculares e Fungos em Análises Ambientais.

ORIENTADORA: DRA. DENISE DE CAMPOS BICUDO

COORIENTADORA: DRA. ANA LUIZA SPADANO ALBUQUERQUE

Ficha Catalográfica elaborada pela Seção de Biblioteca do Instituto de Botânica

Costa, Sandra Vieira

C837h Histórico da eutrofização do Lago das Garças (Parque Estadual das Fontes do Ipiranga São Paulo) durante o século XX com base no registro das diatomáceas em sedimentos / Sandra Vieira Costa -- São Paulo, 2008.
139 p.il.

Tese (Doutorado) -- Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 2008

Bibliografia.

1. Algas. 2. Paleolimnologia. 3. Reservatório . I. Título

CDU : 582.26

"Es cierto que el hombre consigue ver en la naturaleza casi todo lo que pretende, o que previamente ha puesto en ella. Pero también es verdad que la interpretación es siempre incompleta y la naturaleza encierra mucho más información que la que se contiene en nuestras abstracciones, fórmulas y filosofía. Ningún conjunto de observaciones que se hubieran programado de intento iguala la información contenida en la realidad de los sedimentos. Sólo hay que aprender a descifrarla."

Ramón Margalef

Aos meus pais,
Osmar (*in memoriam*) e Maria Zélia,
À minha avó Laurinda e
À Maria da Mata,
por caminharem sempre comigo,
de um modo ou de outro,
na trajetória da vida.
Com amor, sempre.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, agradeço à Dr^a Denise de Campos Bicudo, primeiramente por ter me presenteado com a fantástica viagem no túnel do tempo de um lago mágico, comumente conhecido como Lago das Garças; pela orientação devotada, pela infinita paciência e confiança na “marinheira de primeira viagem”, mostrando nos momentos mais difíceis dessa jornada que, *“embora não possamos controlar a direção dos ventos, é certo que podemos alterar a posição das velas”*.

À Dr^a Ana Luiza Spadano Albuquerque (adorável “Analu”), do Departamento de Geoquímica (UFF/RJ), pela coorientação deste trabalho, auxílio nas coletas e nas análises granulométricas e pela alegria que contagia.

Ao Dr. Carlos Eduardo de Mattos Bicudo, o “Ori-mor” por toda a atenção e ajuda dispensadas, pelo uso da sua biblioteca particular, pelos “causos” nos momentos de descontração e o famoso “E aí Pitica?” sempre tão carinhosamente dirigido às “filhas e netas científicas”.

Ao Dr. Paulo Eduardo de Oliveira do Laboratório de Palinologia (UNG/SP) por sua inestimável contribuição nas coletas (“operação Jatobá”), aprendizado do TILIA e valiosas sugestões; dispondo do seu precioso (e tão apertado) tempo, sempre pronto a ajudar.

À Dr^a Helen Bennion do ECRC - University College of London, pela calorosa acolhida e supervisão do estágio em Londres, pela irrestrita colaboração e valiosa discussão dos dados de bioestratigrafia.

À doutoranda Tatiane Araújo de Jesus, integrante do projeto maior aonde se insere esta pesquisa. Companheira incansável nessa viagem no túnel do tempo e grande amiga do “fundão”.

Ao Sr. João Penna, administrador do Jardim Botânico (período 1959-1985), cujo amor e dedicação ao PEFI permitiram resgatar parte essencial de sua história, revelando fatos que as palavras escritas não documentaram.

À Corporação de Bombeiros do Jabaquara, na pessoa do tenente Fauzi S. Katibe pela permissão concedida à equipe para colaborar nas coletas. E, especialmente, aos sargentos Ariovaldo A. do Espírito Santo e Marcos A. Rodrigues pela obtenção tão árdua dos testemunhos.

Ao Dr. Antonio Aparecido Mozeto, do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental (UFSCar/SP), pela contribuição na coleta preliminar, por ter me recebido atenciosamente e pela colaboração tão preciosa nas análises geocronológicas.

Ao Dr. Marcos Nascimento (CNEN - Poços de Caldas) pela realização, juntamente com a doutoranda Tatiane, dos cálculos de geocronologia.

Aos doutores Cynthia P. Luz, do Instituto de Botânica, Rick Battarbee e Carl Sayer, ambos do ECRC, University College of London, pelas discussões dos dados, sugestões e literatura disponibilizada.

À Prof^ª Dr^a Raquel Glezer do Parque de Ciência e Tecnologia (CIENTEC/USP), pela orientação na busca de dados da datação indireta.

Ao Prof. Dr. Renato Campello, do Laboratório de Sedimentologia da Universidade Federal Fluminense, e ao Prof. Dr. Renato Carreira, da Universidade Estadual do Rio de Janeiro, por disponibilizarem seus laboratórios de análise granulométrica e de CHN, respectivamente.

Ao Departamento de Ciências Atmosféricas do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo pelo fornecimento dos dados climatológicos.

A todos os colegas que colaboraram intensivamente durante a coleta: Ilka Vercellino, Luisiana Carneiro, Carla Ferragut, Bárbara Fonseca, às carinhosamente nomeadas “Panteras”, Marli, Val, Dorinha e Amariles.

Ao técnico do laboratório de Biogeoquímica Ambiental (UFSCar/SP), Júlio Conceição, pelo auxílio prestado nas análises laboratoriais.

Aos técnicos do Laboratório de Sedimentologia da Universidade Federal Fluminense Ester e Gerson pelo auxílio nas análises granulométricas. Ainda, aos técnicos Maurício e Gustavo e à mestrande Débora Dezidério do Laboratório de Estudos Paleoambientais da UFF pela inestimável ajuda nas análises físicas. Ao doutorando Xuhui Dong (UCL) pelas referências bibliográficas e pelo apoio no exterior.

A todos que colaboraram nas diferentes etapas de elaboração do mapa batimétrico: Dr Luiz Miguel Casarini do Instituto de Pesca/Santos, pelo ecobatímetro, Dr. José Antonio Ferrari, Dr. Antonio Guedes e Dra. Célia R. Sousa do Instituto Geológico (SP), pela utilização do *software* e à engenheira Ana Sílvia Fialho por autorizar o uso da foto do satélite IKONOS.

À Fundação Parque Zoológico de São Paulo na pessoa do Dr. Paulo Bressan, Dr. Antonio Carlos de Carvalho, Dr. João Batista, à engenheira Rita de Cássia Polesi pela atenção dispensada, o uso da biblioteca e fornecimento de dados históricos. Ainda, ao Sr. Heleno, chefe da manutenção do Zoológico pela entrevista concedida.

Ao Dr. Luiz Mauro Barbosa e à Silmara do Instituto de Botânica, pelo acesso às informações de datação indireta pertencentes ao CONDEPEFI.

Às Chefias da Seção de Ecologia, nas pessoas das Dras. Denise de C. Bicudo e Marisa Domingos, pelo apoio irrestrito durante os anos de desenvolvimento desta pesquisa.

À Dra. Regina Moraes, pelo incentivo e ao Dr. Eduardo Gomes, pelas sugestões sobre a datação indireta, ambos da Seção de Ecologia do Instituto de Botânica de São Paulo.

Ao Programa de Pós-graduação em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente do Instituto de Botânica, pela oportunidade de aprimoramento científico. À querida Marcinha, da Secretaria da Pós-graduação, sempre tão simpática e pronta a ajudar.

À Fapesp (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) pela concessão da bolsa de doutorado (Processo n° 04/08675-8).

Aos queridos amigos do “Alojas” e do IBt, Patrícia Jungbluth, Luciana Cânez, Camila Malone, Berta Villagra, Adriano Spielmann, Kleber Renan (“Fineza”), Fernanda Karsted, Bárbara Melissa, Daniella da Silva, Silvia Melcher, Eduardo Gasparino, Denílson Peralta e, principalmente, às “meninas superpoderosas do quarto 7”: Juçara Bordin, Priscila da Silva e Fernanda Ferrari.

Aos amigos, companheiros de jornada, da seção de Ecologia, que tanto me ajudaram ao longo do caminho, ora incentivando, ora tendo paciência nos momentos de tensão e de tantas outras formas: Bárbara M. Fonseca, Luciane Morandi, Luisiana Carneiro, Bia Schumacher, Ariane R.Oda, Carlos Wetzel (“Cati”), Fernanda Ferrari, Karen Ferraz (Kika), Silvinha Faustino, Andréa Araújo, Luciane Crossetti, Danielle Escudeiro, Lú-mineira (“postiça” da seção), Yukio Hayashi, Alexandre Rodello, Murilo Borduqui, Maurício Lamano, Thiago Rodrigues e Bárbara Pellegrini.

Aos companheiros de “senzala” Ilka S. Vercelino, Lu-mãe, Angélica Righetti, Sidney Fernandes, Luciane Fontana e Elizabeth Lima. E ao amigo Massao, “presidente do G-8”, que nem imagina o quanto me ajudou.

Ao Jürgen Bøddeker pelo carinho, paciência e os inúmeros “eu sei que você vai conseguir”; agradeço com as poucas palavras que arrisco em alemão “Vielen Dank”.

Aos queridos João Penna e sua esposa dona Eunice, por terem me recebido tão carinhosamente em sua casa e pela torcida.

Aos queridos Denise e Carlos, que se lembrem sempre que “obter um título de doutor: quatro anos; amigos como vocês: não tem preço!”

À minha querida família, obrigada pela torcida, por compartilharem comigo essa conquista e principalmente pela compreensão nos momentos em que estive ausente.

À Isabel Casarini pelo carinho e dedicação e aos meus queridos Humberto e Zeza pelas orações.

Ao Luiz Miguel Casarini, pelo apoio incondicional ao longo do caminho, incentivo constante, principalmente, nas horas mais difíceis e por tantos momentos felizes. Talvez não haja palavras que expressem a minha mais sincera gratidão.

Finalmente, à querida Maria da Mata, por me acompanhar em cada passo e por tantas vezes ser fonte de inspiração.

A todos, muito obrigada!

ÍNDICE

	Pág.
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. HIPÓTESE.....	4
3. OBJETIVOS.....	4
4. ÁREA DE ESTUDO.....	5
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	11
5.1. Variáveis Climáticas.....	11
5.2. Datação Indireta.....	11
5.3. Amostragem.....	11
5.4. Datação Direta e Análises Físicas e Químicas do Sedimento.....	13
5.4.1. Litologia.....	13
5.4.2. Datação Direta –Geocronologia (^{210}Pb).....	13
5.4.2.1. Massa de sólidos – teor de umidade e densidade do sólido.....	14
5.4.2.2. Abertura química.....	15
5.4.2.3. Cálculos de idade das fatias sedimentares e taxa de acumulação de sedimento.....	15
5.4.3. Teor de Fósforo, Nitrogênio e Matéria Orgânica.....	16
5.4.4. Análise Granulométrica.....	16
5.5. Análises das Diatomáceas.....	17
5.5.1. Oxidação do material e preparação de lâminas permanentes.....	17
5.5.2. Análise taxonômica.....	17
5.5.3. Análise quantitativa.....	18
5.5.4. Informações ecológicas.....	19
5.6. Análise dos Dados.....	19
5.6.1. Índices biológicos.....	19
5.6.2. Análise estatística.....	20
6. RESULTADOS.....	22
6.1. Datação Indireta.....	22
6.2. Variáveis Climáticas.....	37
6.3. Datação e Caracterização Física e Química das Fatias Sedimentares.....	38
6.3.1. Litologia.....	38
6.3.2. Datação direta – geocronologia (^{210}Pb).....	39
6.3.3. Granulometria.....	43
6.3.4. Teor de fósforo, nitrogênio e matéria orgânica.....	44

6.4. Estrutura Qualitativa e Quantitativa das Diatomáceas.....	46
6.4.1. Composição taxonômica.....	46
6.4.2. Distribuição temporal da riqueza e diversidade das diatomáceas no Lago das Garças.....	50
6.4.3. Registro das diatomáceas e zoneamento estratigráfico.....	51
6.4.4. Análise de Componentes Principais.....	55
6.4.4. Análise de Correspondência Canônica.....	57
7. DISCUSSÃO.....	60
7.1. Uso e ocupação do entorno: histórico do PEFI e a sua importância para o processo de eutrofização do Lago das Garças.....	60
7.1.1. Origem do Lago das Garças.....	61
7.1.2. Principais Transformações do Lago das Garças.....	62
7.2. Considerações sobre a Datação Direta.....	65
7.3. Alterações Físicas e Químicas do Sedimento do Lago das Garças: ca.100 anos de informação.....	67
7.4. Registro Estratigráfico das diatomáceas no testemunho sedimentar (ca. 100 anos) do Lago das Garças.....	70
8. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	77
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79
ANEXOS 1- 8.....	90

LISTA DE TABELAS

	Pág.
01. Principais características morfométricas do Lago das Garças	7
02. Relação dos testemunhos com os respectivos comprimentos e destinação no presente estudo.....	13
03. Classificação dos grãos pelo tamanho.....	17
04. Cálculo da idade e data correspondente das 10 fatias previamente selecionadas do testemunho LG05-04.....	41
05. Idade de 17 fatias do testemunho LG05-04.....	42
06. Correlação dos táxons de diatomáceas com os componentes principais 1 e 2.....	56
07. Síntese dos resultados da ACC realizada a partir de duas variáveis ambientais e vinte e duas variáveis biológicas (densidade relativa das diatomáceas)	59
08. Correlação das variáveis biológicas (densidade relativa de diatomáceas) com os eixos 1 e 2 da ACC	59

LISTA DE FIGURAS

01. Localização do PEFI na região metropolitana de São Paulo	8
02. Mapa batimétrico do Lago das Garças (C. Bicudo <i>et al.</i> , 2002) e local de amostragem	9
03. Vista parcial do Lago das Garças (PEFI, São Paulo)	10
04. Vista de uma das margens do Lago das Garças, próxima à portaria 2 do Instituto de Botânica, São Paulo	10
05. Detalhe da plataforma utilizada na amostragem	12
06. (a) Tubo-guia em detalhe. (b) Exemplar de testemunho	12
07. Vedação da parte inferior (base) do testemunho.....	12
08. Fatiamento do testemunho em intervalos regulares de 1 cm	13
09. Planta da cidade de São Paulo, datada de 1900, com os terrenos desapropriados para fins de abastecimento	24
10. Detalhe de duas represas situadas próximas ao atual PEFI em mapa da cidade de São Paulo, datada de 1902	25
11. Planta do sítio Ypiranga, datada de 1893, com detalhe da relação de proprietários e respectivas áreas do sítio	25
12. Planta do sítio Ypiranga, com indicação dos tipos de vegetação da área em 1893	26
13. Planta indicativa de uma represa no córrego do Campanário datada de 1893.....	26
14. Perfil esquemático do serviço de água existente da cidade de São Paulo, em 1911	27
15. Evolução da população do município de São Paulo durante o século XX (1920-2000).....	28
16. Portão de acesso ao Lago das Garças em 1894, pertencente à Repartição de Águas e Esgotos de São Paulo (RAE), atualmente na área de visitação do Jardim Botânico de São Paulo	30
17. Vista aérea da área da Fundação Parque Zoológico de São Paulo, em 1957, com detalhe de um braço do Lago das Garças	34
18. Inauguração oficial do Zoológico em 1958	34
19. Foto aérea de 1972, mostrando a obra para o desvio da Avenida Miguel Estéfano, cortando o Lago das Garças	35
20. Linha do tempo – com indicação dos principais eventos ocorridos de 1893 a 2005 no Lago das Garças e em seu entorno	36
21. Médias anuais de temperaturas mínimas, médias e máximas para a área de estudo no período de 1933 a 2004.....	37
22. Precipitação total anual para a área de estudo no período de 1933 a 2004.....	38
23. Esquema e descrição litológica do testemunho LG05-03	38
24. Esquema e descrição litológica do testemunho LG05-04	39
25. Porcentagem do teor de umidade no perfil (cm) do testemunho LG05-04	39
26. Densidade do sólido (g cm^{-3}) no perfil (cm) do testemunho LG05-04	40
27. Atividade do $^{210}\text{Pb}_{\text{atm}}$ em relação à profundidade (cm) pela aplicação do modelo CIC para cinco fatias do testemunho LG05-04.....	41
28. Atividade do $^{210}\text{Pb}_{\text{atm}}$ <i>versus</i> profundidade corrigida (cm) para dezessete fatias do testemunho LG05-04.....	42
29. Taxa de acumulação de sedimento no Lago das Garças no período de 1919 a 2005.....	43

30. Granulometria do testemunho LG05-03	43
31. Teores de fósforo (mgP kgMS^{-1}) no perfil (cm) do testemunho LG05-03, compreendendo os anos de 1894 a 2005.....	44
32. Teores de nitrogênio (mgN kgMS^{-1}) no perfil (cm) do testemunho LG05-03, compreendendo os anos de 1894 a 2005. Na base do testemunho (1894 a 1912), os valores estiveram abaixo do limite de detecção do método ($100 \text{ mgN kgMS}^{-1}$).....	45
33. Teores de matéria orgânica no testemunho LG05-03 compreendendo os anos de 1894 a 2005.....	45
34. Evolução temporal dos índices de diversidade de Shannon-Wiener, riqueza, equitabilidade e dominância de Simpson no Lago das Garças.....	51
35. Diagrama da abundância relativa de diatomáceas ($\geq 5\%$) e dos teores de P e N ao longo do perfil estratigráfico (ca.110 anos) do Lago das Garças: subzona 1 (1919-1943), zona 1 (1944-1975), zona 2 (1976-1988), zona 3 (1989-1994), subzona 4 (1995-1999) e zona 4 (2000-2005).....	54
36. Ordenação pela ACP das unidades amostrais do perfil estratigráfico do Lago das Garças, com base na abundância das diatomáceas ($\geq 1 \%$ de contribuição para cada fatia).....	56
37. Ordenação pela ACC das unidades amostrais do perfil estratigráfico do Lago das Garças, com base na abundância das diatomáceas ($\geq 5 \%$ de contribuição para cada fatia).....	58

RESUMO

O estudo visou reconstruir o histórico da eutrofização de represa tropical rasa com base no registro de diatomáceas sedimentares em longa série temporal (ca. 100 anos). A represa (Lago das Garças) está localizada em uma unidade de conservação, Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI), em área urbana (São Paulo). Foram coletados 4 testemunhos no ponto mais profundo com coletor de Livingstone modificado. Dois testemunhos foram utilizados para as análises, sendo dois arquivados. As análises incluíram litologia, geocronologia por ^{210}Pb , granulometria, nitrogênio (N), fósforo (P) e diatomáceas. Informações documentais foram examinadas para traçar mudanças do uso e da ocupação na bacia. Baseado nesta informação, concluiu-se que o Lago das Garças resultou do represamento do Córrego Campanário em 1894, sendo utilizado para abastecimento de água de 1900, pelo menos, até 1928. A fase córrego também foi verificada pelas fatias arenosas na base do testemunho. Utilizando o modelo de datação *Constant Initial Concentration* (CIC), a sequência sedimentar foi calculada representando cerca de 110 anos, correspondente ao período de 1894 a 2005. Análises granulométricas sugeriram eventos erosivos no sistema em decorrência de desmatamentos e construções no PEFI. O fósforo e, em menor extensão, o nitrogênio, apresentaram concentrações que aumentaram gradualmente da base do testemunho até por volta de 1958 e a partir de 1990 atingiram seus valores mais elevados. As instalações do Zoológico (1958) e da Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (1975) na área do PEFI desencadearam o processo de eutrofização. Foram identificados 80 táxons de diatomáceas (32 gêneros, 76 espécies e 4 variedades), dos quais 47 (59%) foram listados pela primeira vez para a represa. Com base na densidade relativa das 22 espécies mais abundantes ($\geq 5\%$) e nos valores de N e P, foi possível inferir o histórico de trofia do reservatório. As espécies mais bem associadas com cada período foram: subzona 1 e zona 1 (1919 a 1975) - oligotrófica (*Diademsis contenta*); zona 2 (1976 a 1988) - mesotrófica (*Discostella stelligera*); zona 3 (1989 a 1999) - meso-eutrófica (*Achnanthes catenatum*); subzona 4 (1995-1999) - eutrófica (*Planothidium rostratum*) e zona 4 (2000 a 2005) - hipereutrófica (*Cyclotella meneghiniana*). *Aulacoseira granulata* var. *granulata* foi uma das espécies mais comuns e esteve associada a eventos de erosão. A análise de correspondência canônica demonstrou que o fósforo foi a variável que melhor explicou a variação das diatomáceas ao longo do tempo e duas associações bioindicadoras foram identificadas: (a) associação oligotrófica (*Diademsis contenta*, *Luticola mutica* e *Pinnularia dubitabilis*) e associação eutrófica/hipereutrófica (*Planothidium rostratum*, *Cyclotella meneghiniana*, *Achnanthes catenatum* e *Amphora libyca*). O estudo demonstrou o uso das diatomáceas de sedimentos para a quantificação dos processos de eutrofização em reservatório tropical, destacando o potencial desta ferramenta para o gerenciamento, a conservação e recuperação desses ecossistemas.

Palavras-chave: diatomáceas, eutrofização, paleolimnologia, fósforo, represa tropical, PEFI.

SUMMARY

This study aimed to reconstruct the eutrophication history of a tropical shallow reservoir based on the sedimentary diatom record over a long time period of approximately 100 years. The reservoir (Garças Pond) is located in a preservation area, the Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI), situated in a highly populated urban area within the city of São Paulo. Four cores were collected at the deepest point in the reservoir using a modified Livingstone sampler. Two cores were used for the analyses, the remaining two being archived. Analyses included description of the lithology, geochronology using ^{210}Pb , grain size, nitrogen (N), phosphorus (P) and both qualitative and quantitative diatom analyses. Documentary information was also collated to trace changes in land use in the catchment. Based on the information above, it was concluded that the Garças Pond resulted from the damming of the Campanário creek in 1894, and was used as a water reservoir from 1900 (at least) to 1928. The creek phase was reinforced by the sandy slices of the core base. Using the *Constant Initial Concentration* (CIC) dating model, the sediment sequence was calculated to represent approximately 110 years, corresponding to the period 1894 to 2005. Grain size analyses suggested erosive events in the system due to deforestation and constructions in the PEFI area. Phosphorus, and to a lesser extent nitrogen, concentrations gradually increased from the core base to 1958, and, from 1990 onwards they reached the highest values. Construction of the zoo (1958) and the São Paulo State Department of Agriculture and Provisioning headquarters (1975) in the PEFI area resulted in marked eutrophication. Eighty diatom taxa (32 genera, 76 species and 4 varieties) were identified, from which 47 (59%) were listed for the first time for the reservoir. Based on the 22 most abundant species ($\geq 5\%$) relative abundance throughout the core and on the N and P values, it was possible to infer the trophic history of the reservoir. Species best associated with each period were: subzone 1 and zone 1 (1919-1975) - oligotrophic (*Diadomesmia contenta*); zone 2 (1976-1988) - mesotrophic (*Discostella stelligera*); zone 3 (1989-1999) - meso-eutrophic (*Achnanthes catenatum*); subzone 4 (1995-1999) - eutrophic (*Planothidium rostratum*); and zone 4 (2000-2005) - hypertrophic (*Cyclotella meneghiniana*). *Aulacoseira granulata* var. *granulata* was one of the most common species and was associated with erosion events. Canonic Correspondence Analysis demonstrated that P was the variable that best explained the variation in the diatom assemblages over time, and two bioindicative associations were identified: (a) oligotrophic association (*Diadomesmia contenta*, *Luticola mutica* and *Pinnularia dubitabilis*) and (b) eutrophic/hypertrophic association (*Planothidium rostratum*, *Cyclotella meneghiniana*, *Achnanthes catenatum* and *Amphora libyca*). The study demonstrates the use of sediment diatoms for quantifying the eutrophication process in tropical reservoirs, and highlights the potential of the technique for the management, conservation and restoration of such ecosystems.

Key words: diatoms, eutrophication, paleolimnology, phosphorus, tropical reservoir, PEFI.

1. INTRODUÇÃO

A água doce é um recurso natural que vem sofrendo demasiada pressão, tanto pelo aumento demográfico exacerbado, quanto por ter sido a propulsora do desenvolvimento econômico de muitos países, sobretudo na agricultura, geração de energia, indústria e transporte (Smith 2003, Dong *et al.* 2007).

Um dos problemas ambientais mais bem documentado e que vem afetando drasticamente os ecossistemas aquáticos é a eutrofização (Harper 1992; Battarbee *et al.* 2005). Geralmente está associada com a atividade humana, conhecida como eutrofização artificial ou cultural, e resulta do aumento da concentração de nutrientes nos ecossistemas aquáticos, principalmente nitrogênio e fósforo, através de efluentes domésticos, agrícolas e/ou industriais, tendo sido abordada como um problema corrente global por décadas e, em alguns lagos, por séculos (Findlay *et al.* 1998).

Particularmente em lagos urbanos, as mudanças na qualidade da água podem ser rápidas e intensas devido à natureza do afluente, que pode variar em termos de qualidade, química, sazonalidade, localização e, também, como resultado da ocupação e do uso do entorno dos corpos d'água (Guzkowska & Gasse 1990; Johnes 1999). Assim, tais sistemas funcionam como “coletores de informações”, constituindo importantes pontos de convergência das diferentes atividades desenvolvidas na bacia hidrográfica, inclusive de seus usos, aspectos econômicos e sociais, de forma que a qualidade da água reflete as múltiplas atividades humanas e seus impactos (Räsänen 1986; Rebouças 1999).

Segundo Vilaclara *et al.* (1997), o conhecimento das condições naturais de um sistema aquático antes de qualquer distúrbio é fundamental para a implementação de estratégias de recuperação. Os requisitos principais para um gerenciamento efetivo de ecossistemas incluem o conhecimento das condições básicas, da variabilidade natural e de sua trajetória passada. Contudo, os estudos de séries temporais são raros, apesar de serem amplamente aceitos como essenciais para o entendimento das variações ambientais e para o manejo de ecossistemas, bem como por evitar uma visão reducionista da natureza, normalmente incapaz de perceber a complexidade dos problemas ambientais no tempo e espaço (Smol 1992; Battarbee *et al.* 2005).

Desse modo, o estudo dos sedimentos de ambientes aquáticos vem suprir essa lacuna, já que constituem verdadeiros arquivos de informações de natureza química, biológica e física, uma vez que as camadas de deposição são temporais e estão sequencialmente acumuladas (Mozeto 2004). Desta forma, os sedimentos lacustres acumulam informações históricas, que podem ser utilizadas para a reconstituição de mudanças tanto de ambientes aquáticos quanto dos ecossistemas terrestres

adjacentes (Ruggiu *et al.* 1998; Lotter & Birks 2003; Birks & Birks 2006). Ainda, o registro histórico oferece uma compreensão melhor da relação entre os impactos antrópicos e a limnologia, podendo, deste modo, auxiliar eficazmente na recuperação de lagos impactados (Bradbury *et al.* 2004).

As interpretações limnológicas feitas a partir de microorganismos preservados nos sedimentos de lagos proporcionam dados eficazes para a reconstituição de mudanças nos mesmos. Mudanças em assembléias paleoindicadoras refletem a resposta da biota à variabilidade climática natural e aos impactos antropogênicos (Alefs & Müller 1999). Neste sentido, as diatomáceas vêm sendo bastante utilizadas e consideradas o grupo mais adequado em estudos sobre eutrofização (Hall & Smol 1992; Anderson *et al.* 1993; Bennion 1994; Pan & Brugam 1997; Hall *et al.* 1997; Hammer & Stoemer 1997; Yu *et al.* 2007), especialmente porque se encontram bem preservadas nos sedimentos e são passíveis de identificação em nível específico e infra-específico, além de serem relativamente bem conhecidas em suas amplitudes ecológicas (Bennion 1995). Ao morrerem, suas paredes celulares impregnadas de sílica incorporam-se ao sedimento dos corpos d'água onde viviam, constituindo o grupo de microfósseis mais comum e abundante em depósitos lacustres (Bradbury 1988). Assim, uma amostra de sedimento apresenta as espécies constituintes no sistema aquático ao longo do tempo, que se acumularam sucessivamente no fundo, como também os táxons provenientes de todos os habitats deste sistema, propiciando uma análise com base temporal e espacial, inviável de ser obtida mediante uma amostra isolada de assembléias atuais (Bennion 1995).

A estratigrafia de diatomáceas indica que as comunidades bentônicas e planctônicas têm mudado em composição de espécies e, provavelmente, em produtividade como resultado da eutrofização cultural. De acordo com Hall & Smol (1992), uma avaliação baseada na comunidade de diatomáceas de sedimentos propicia respostas a várias questões ambientais como, por exemplo, se a eutrofização foi um processo natural, se os níveis de nutrientes aumentaram ao longo do tempo e quando aumentaram, quais as atividades antrópicas que interferiram no processo de eutrofização. Além disso, permite evidenciar, entre outras, a ocorrência de processos de acidificação associados à poluição dos lagos via deposição atmosférica de ácidos e metais pesados (Davis *et al.* 1983; Battarbee 1984; Cattaneo *et al.* 2004).

O uso de diatomáceas como componente auxiliar nas interpretações paleolimnológicas está centrado na comparação da composição das comunidades fósseis ou semifósseis com dados fornecidos por comunidades contemporâneas, cujas exigências ambientais sejam conhecidas (Kosugi 1988). Portanto, a análise dessas comunidades fornece informações diretas sobre uma extensa gama de interpretações das condições pretéritas de um corpo d'água, dentre as quais clima,

pH, composição química da água, salinidade, estado trófico, profundidade e temperatura, entre outras (Huttunen & Meriläinen 1983; Anderson 1995; Moro 1998).

Apesar dos paleolimnólogos terem começado a desenvolver relações quantitativas entre os táxons de diatomáceas e as condições ambientais para muitas áreas do mundo, tais estudos têm sido escassos em ambientes tropicais (Davis 1989; Brenner 1995; Haberyan *et al.* 1997). De acordo com Lewis (2000), os lagos tropicais poderão declinar gravemente em sua utilidade como fonte de abastecimento, produção comercial de espécies e recreação, caso não haja programas efetivos de proteção e manejo dos mesmos.

A maioria dos estudos paleolimnológicos foi realizada em regiões temperadas, como por exemplo, os de Stockner & Benson (1967) que avaliaram a sucessão de diatomáceas em sedimentos recentes do Lago Washington; Bradbury (1975) que realizou a estratigrafia de diatomáceas em um lago em Minnesota; Stoermer *et al* (1985), Agbeti & Dickman (1989), Anderson (1989), Anderson *et al* (1993), Bennion, H. (1994) e Bradbury & van Metre (1997) os quais inferiram sobre o estado trófico de lagos a partir da bioestratigrafia de diatomáceas em sedimentos recentes e, ainda, trabalhos mais recentes como os de Bennion *et al* (2001), Bradbury *et al* (2004), Reid (2005) e Reavie & Baratano (2007) com essa mesma abordagem.

Em regiões tropicais e subtropicais são conhecidos os trabalhos de Owen & Crossley (1992) realizado no Lago Malawi (região central da África), Stoermer *et al.* (1992), sobre os sedimentos recentes do Lago Okeechobee (Flórida), Lamb *et al.* (1995) em estudo realizado no Lago Tigalmamine (Marrocos); Haberyan *et al* (1997), que trabalharam em 25 lagos da Costa Rica utilizando diatomáceas de sedimentos superficiais para reconstrução da dureza, pH e temperatura da água; Barker *et al.* (2001) em lagos do Quênia; Davies *et al* (2002), os quais desenvolveram uma função de transferência para condutividade elétrica e alcalinidade a partir das diatomáceas nos sedimentos superficiais de 53 lagos no México; Waters *et al* (2005) sobre o Lago Apopka, Flórida. Na América do Sul, destacam-se os trabalhos de Piovano *et al.* (2002), que abordaram estudos sobre a salinidade na Lagoa Chiquita (Argentina); Cruces *et al* (2001) sobre a evolução trófica da Lagoa de São Pedro, no Chile, e, finalmente, Garcia-Rodriguez *et al* (2002) no Lago Blanca, Uruguai sobre o aporte de matéria orgânica.

No Brasil, trabalhos que incluem a avaliação da resposta das diatomáceas em sedimentos a supostas variações ambientais são extremamente escassos, sendo conhecidos os de Callegaro (1988), Dumont & Tundisi (1997), Moro (1998), Fürstenberger (2001); Gianini (2002), Souza *et al* (2007) e Gomes (2007) todos realizados fora do Estado de São Paulo. Tais contribuições visaram, principalmente, a reconstrução do clima pretérito, exceto às três últimas contribuições, que avaliaram, respectivamente, a mudança de pH, indicações de paleoambientes e do nível d'água.

Mais particularmente, dentre os estudos relevantes sobre a caracterização e os impactos antrópicos no Lago das Garças estão os trabalhos de Carmo *et al.* (2002) que fornecem uma síntese sobre a degradação da água do reservatório; Henry *et al.* (2004) sobre o aporte de nutrientes (N e P) e sua relação com os impactos antropogênicos; Bicudo *et al.* (2006) sobre a evolução temporal do estado trófico num período de 8 anos e Bicudo *et al.* (2007) que abordam os mecanismos de retroalimentação que levaram à mudança do sistema para o estado degradado de equilíbrio, também durante uma série temporal de 8 anos.

A presente proposta insere-se em projeto maior sobre a tipologia, o monitoramento e a recuperação das represas do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI), em desenvolvimento desde 1997. Uma caracterização pormenorizada desta unidade de conservação e dos múltiplos impactos antrópicos sobre esta área encontra-se em Bicudo *et al.* (2002a).

Com base na revisão bibliográfica, fica claro que inexiste qualquer informação florística ou ecológica pretérita sobre este reservatório, ou seja, anterior à fase de eutrofização.

A proposta é pioneira no país e incluirá registros desde a época pré-industrial até os dias atuais em um sistema lacustre de uma bacia hidrográfica urbana situada em uma das maiores megalópoles do mundo. Pretende contribuir com o uso das diatomáceas em sedimentos na bioindicação para reconstrução das condições tróficas de sistemas lacustres tropicais e, mais especificamente, com a reconstituição do histórico de impactos antrópicos no PEFI.

2. HIPÓTESE

“As alterações das assembléias pretéritas de diatomáceas, aliada à datação dos sedimentos, permitirá inferir sobre o histórico de eutrofização no Lago das Garças e sobre seus principais fatores desencadeadores”.

3. OBJETIVOS

- levantar a flórmula de diatomáceas em longa escala temporal (ca. 100 anos) no Lago das Garças;
- avaliar a alteração da riqueza e diversidade de diatomáceas em longa escala temporal;
- caracterizar quimicamente (N, P) as frações sedimentares dos depósitos lacustres do Lago das Garças;
- identificar e caracterizar as associações de espécies de diatomáceas indicadoras do processo de eutrofização;

- reconstruir o histórico da eutrofização no Lago das Garças.
- subsidiar a avaliação histórica do impacto ambiental no PEFI (Parque Estadual das Fontes do Ipiranga) desde a época pré-industrial.

4. ÁREA DE ESTUDO

4.1. Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI)

Localização - O Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI) situa-se na região sudeste do Município de São Paulo, entre as coordenadas 23° 38' 08''S e 23° 40' 18''S; 46° 36' 48''W e 46° 38' 00''W, apresenta altitude média de 798 m e área total de 526,4 ha (Fernandes *et al.* 2002). Parte integrante da zona urbana de São Paulo (figura 1), possui perfil paisagístico bastante variado, com mata natural associada a áreas desmatadas, em consequência da ocupação antrópica. Trata-se de uma unidade de conservação que abriga a terceira maior reserva de Mata Atlântica do Município de São Paulo (Barros *et al.* 2002).

Clima - Baseado em uma série de dados de 68 anos (1933-2000), a precipitação anual média é de 1368 mm; a temperatura média do ar do mês mais frio (julho) é de 15 °C e a dos meses mais quentes (janeiro-fevereiro) é de 21,4-21,6 °C (Santos & Funari, 2002). O clima na área é tropical de altitude de acordo com os critérios estabelecidos para o Estado de São Paulo, quais sejam: (1) altitude de cerca de 800 m; (2) amplitude térmica não excede a 6-8°C e (3) precipitação média mensal em 2 meses não excede 60 mm. Os ventos são geralmente de baixa intensidade ($< 2,5 \text{ m s}^{-1}$) com velocidade máxima em uma hora de $5,3 \pm 0,8 \text{ m s}^{-1}$ (Conti & Furlan 2003).

Contexto geológico, geomorfológico e hidrografia - A formação geológica é composta por depósitos quaternários (sedimentos aluviais e coluviais), depósitos terciários (Formação Resende) e, principalmente, rochas pré-cambrianas (gnaisses), com cinco afloramentos identificados e elevada quantidade de quartzo, biotita e muscovita-biotita gnaiss. Quanto ao aspecto geomorfológico, de modo geral, o PEFI está inserido na Zona do Planalto Paulistano, mais especificamente, na área do Domínio de Mares de Morros, caracterizado por formas onduladas, com topos convexos e topografia pouco movimentada. No PEFI localizam-se pelo menos 24 nascentes, distribuídas em 10 sub-bacias hidrográficas formando a cabeceira do Riacho Ipiranga, que abastecem nove lagos artificiais dentro dessa área. O Riacho do Ipiranga deságua no Rio Tamanduateí que, por sua vez, é afluente do Rio Tietê, fazendo parte da grande Bacia Hidrográfica do Alto Rio Tietê (Fernandes *et al.* 2002).

Solos – Os solos são em sua maioria escuros no horizonte superficial em função dos elevados teores de carbono orgânico associados com a vegetação de floresta e vermelho-amarelo nos horizontes subsuperficiais, com pH ácido ($< 4,3$ a $5,3$). Saturação por alumínio elevada (m

>50%) indicando condições de toxidez no solo. A capacidade de troca de cátions é alta ($> 27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) estando saturadas com ácidos, hidrogênio (H^+) e alumínio (Al^{3+}). Uma caracterização mais específica pode ser encontrada no referido plano (Barbosa *et al.* 2008).

Vegetação - Pertence ao grupo das florestas pluviais tropicais, sendo um dos poucos fragmentos da floresta Atlântica de planalto, apresentando cinco padrões florestais secundários, estando em diversos estádios de sucessão, com poucas espécies climáticas (Pivello & Peccinini, 2002). Embora seja uma vegetação secundária, Barros *et al.* (2002) destacam a sua importância, uma vez que vem sendo conservadas, provavelmente, desde um período anterior a 1893. Além disso, a vegetação remanescente é responsável pela adequação do ambiente para o retorno de florestas que representem, novamente, situações de clímax, servindo como fonte de propágulos para a regeneração de áreas desmatadas de seu entorno.

A caracterização pormenorizada do meio físico e biológico, bem como dos impactos antrópicos nesta unidade de conservação, encontram-se disponíveis em Bicudo *et al.* (2002a).

4.2. Lago das Garças

O reservatório apresenta área de 88.156 m^2 , profundidades média e máxima de 2,1 m e 4,7 m, respectivamente e tempo médio de residência de 71 dias (Bicudo *et al.* 2002; Bicudo *et al.* 2007). É considerado um sistema polimítico raso, ou seja, podem ocorrer diversas estratificações ao longo do dia, em função da profundidade (Bicudo *et al.* 2002b). Recebe as águas dos reservatórios situados à montante, localizados na Fundação Parque Zoológico e no Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade de São Paulo. É contornado, em sua margem direita, pela vegetação nativa do PEFI, caracterizada como floresta com dossel homogêneo, esparsa e, à esquerda, por área urbanizada, com formação vegetal de estrato herbáceo (Bicudo *et al.* 2002b; Pivello & Peccinini, 2002). Nessa área, há um intenso tráfego de veículos automotores devido à Avenida Miguel Stéfano, que permite o acesso aos municípios de São Bernardo do Campo e Diadema.

De acordo com a literatura existente, o lago foi construído para o abastecimento de água da região sul da cidade de São Paulo, aproximadamente em 1917. Há indícios de que em 1920, por terem sido realizadas obras mais adequadas para o abastecimento de água nessa região da cidade, cessou sua função como reservatório de abastecimento (Rocha & Cavalheiro 2001, Bicudo *et al.* 2002b).

Apesar de estar situado em área de conservação, o sistema tornou-se hipereutrófico em 1998, apresentando florações permanentes de cianobactérias (Bicudo *et al.* 2007). Conforme Carmo *et al.* (2002), o reservatório possui sete tributários, dos quais três são descargas com efluentes orgânicos, provenientes da Fundação Parque Zoológico de São Paulo (entradas 3 e 5) e da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (entrada 7), como pode ser

observado na figura 2. A tabela 1 apresenta as principais características morfométricas do Lago das Garças (Bicudo *et al.*, 2002b), sendo o tempo médio de residência conforme Bicudo *et al.* (2007). Nas figuras 3-4 estão apresentadas vistas parciais do reservatório.

O projeto maior, onde se insere este estudo, dispõe de um histórico de monitoramento mensal de dez anos completos (1997-2007), abordando variáveis físicas, químicas, biológicas e aportes de nutrientes. Sobre os sedimentos desse reservatório existe apenas a contribuição de Henry *et al.* (2004) em que foram quantificados os teores de nitrogênio e fósforo nos primeiros 15 cm de espessura (homogeneizados) em cinco pontos amostrais, porém, sem datação.

O Lago das Garças pode ser considerado, assim, um sistema bastante apropriado para estudos de qualidade ecológica da água e recuperação, bem como para a reconstrução do histórico do impacto ambiental em sua bacia de drenagem.

Tabela 1. Principais características morfométricas do Lago das Garças.

Parâmetros	
Comprimento máximo	512,0 m
Largura máxima	319,5 m
Perímetro	1.534,7 m
Área	88.156 m ²
Volume	188.785 m ³
Profundidade média (Z)	2,1 m
Profundidade máxima (Z _{max})	4,7 m
Tempo médio de residência	71 dias

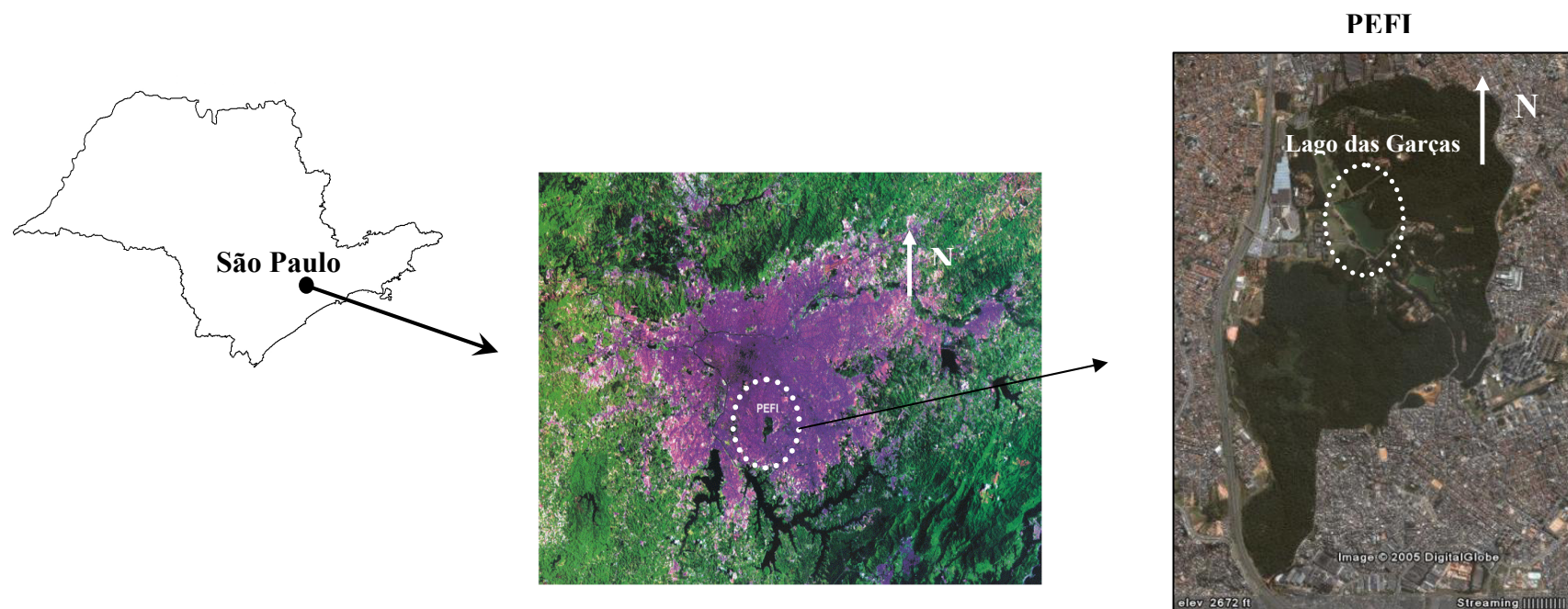


Figura 1. Localização do PEFI na região metropolitana de São Paulo. (Adaptado de www.pmf.sc.gov.br; //earth.google.com). Foto do satélite LANDSAT (fonte: Pereira-Filho *et al.* 2002).

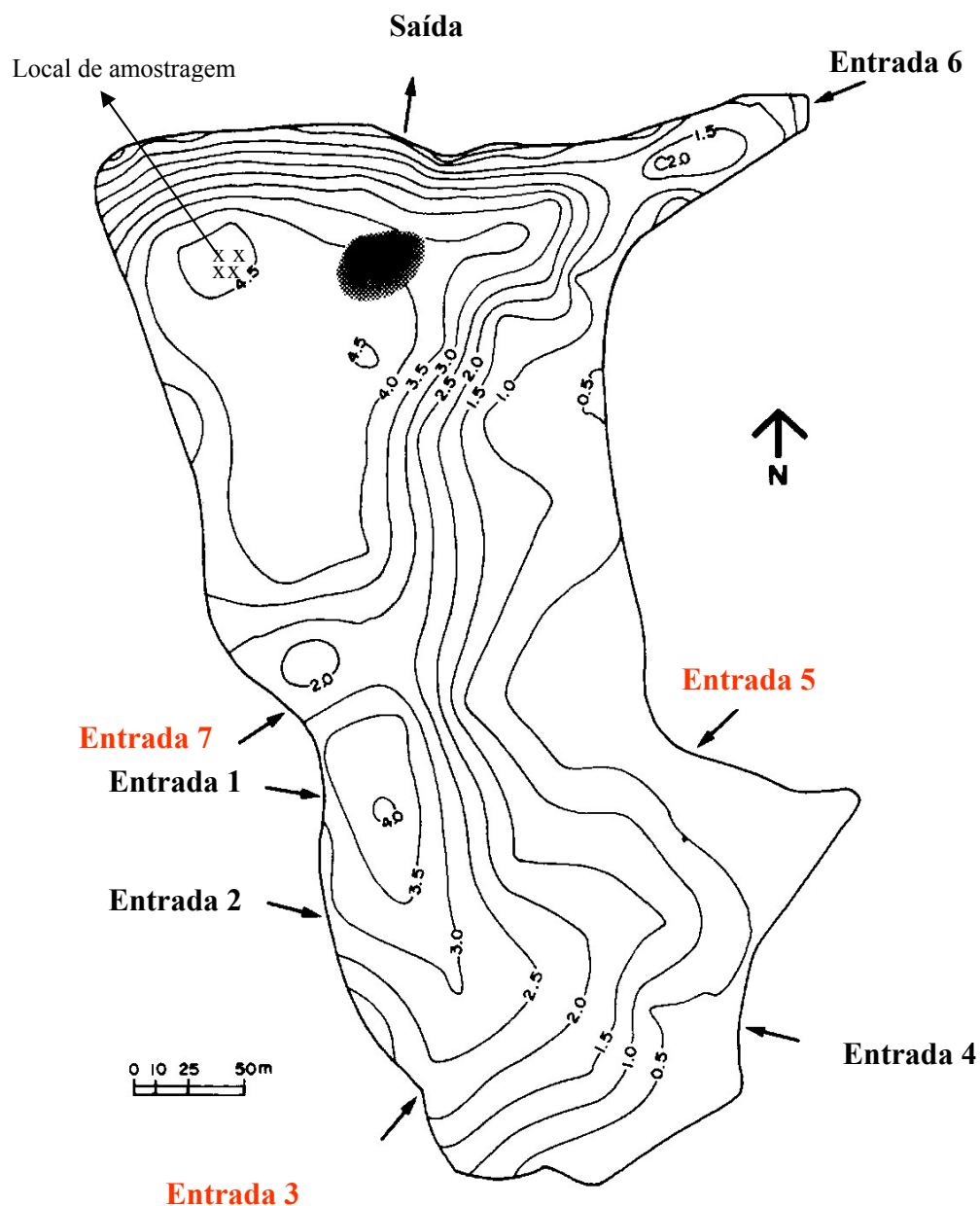


Figura 2. Mapa batimétrico do Lago das Garças (Bicudo *et al.*, 2002b) e local de amostragem. Em vermelho: entradas com elevadas cargas de nitrogênio e fósforo (E3 e E5: efluentes com esgoto e resíduos da Fundação Parque Zoológico, E7: efluente de esgoto da Secretaria de Agricultura e Abastecimento).



Figura 3. Vista parcial do Lago das Garças (PEFI, São Paulo).



Figura 4. Vista de uma das margens do Lago das Garças, próxima à portaria 2 do Instituto de Botânica, PEFI, São Paulo.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Variáveis Climáticas

Os dados de temperatura do ar (°C) e regime de precipitação pluviométrica anual (mm) da região para o período de 1933 a 2005 foram fornecidos pela Estação Meteorológica do Instituto Astronômico e Geofísico da USP (IAG-USP).

5.2. Datação Indireta

O levantamento histórico sobre a construção do reservatório e o uso e a ocupação de seu entorno foi fundamentalmente baseado em informações documentais como mapas, plantas, guias históricos, registros topográficos, bem como mediante realização de entrevistas com antigos funcionários e moradores da região, caracterizando, desse modo, a cronologia indireta dos sedimentos (Patrick, Timberlid & Stevenson 1990).

5.3. Amostragem

A coleta dos testemunhos foi realizada em julho de 2005 e teve como estratégia a adaptação do uso do testemunhador de Livingstone. O equipamento foi alocado sobre dois barcos de borracha em uma plataforma. Três âncoras foram utilizadas para fixar a plataforma juntamente com os barcos, de forma a permitir a introdução de um tubo “guia” em ângulo reto até o sedimento, para conduzir o mergulhador ao ponto a ser amostrado. A adaptação consistiu na utilização de tubos de acrílico com 8 cm de diâmetro, comprimento de 1 m e fatiador, ao invés de tubos de alumínio, em função da textura inconsolidada do sedimento. Ainda, o tubo de acrílico foi introduzido manualmente e perpendicularmente ao sedimento por um mergulhador (Corporação de Bombeiros do Jabaquara), tomando o cuidado de evitar qualquer tipo de perturbação. Posteriormente, a extremidade superior e inferior do tubo foram vedadas com tampa apropriada, assim que o mesmo fosse içado do sedimento. Em seguida, a vedação da parte inferior foi reforçada com fita adesiva resistente (figuras 5-7).

Foram realizadas, com sucesso, quatro perfurações na região mais profunda do lago. Desta forma, perfis verticais com diferentes propriedades biogeoquímicas foram obtidos. Os testemunhos foram descritos litologicamente e, em seguida, fatiados em campo a intervalos regulares de 1 cm de espessura, sendo acondicionados em recipientes de polietileno, previamente pesados e etiquetados, conforme a profundidade que representavam (figura 8). No laboratório, os mesmos foram imediatamente pesados para obtenção do peso úmido e, em seguida, mantidos em estufa a 40 °C, para processamento das demais etapas, exceto ao testemunho 3, que foi fatiado e imediatamente congelado. Foram totalizadas 140 fatias sedimentares.



Figura 5. Detalhe da plataforma sobre os dois barcos de borracha.



Figura 6. (a) Tubo-guia em detalhe. (b) Exemplar de um testemunho.



Figura 7. Vedação da parte inferior (base) do testemunho.



Figura 8. Fatiamento do testemunho em intervalos regulares de 1 cm.

O testemunho identificado como LG05-04 (Lago das Garças, ano de 2005, testemunho número 4) foi selecionado para a determinação da geocronologia, sendo, portanto, também utilizado para a análise das diatomáceas, enquanto as amostras para nutrientes (nitrogênio e fósforo), granulometria e mineralogia foram obtidas do testemunho LG05-03, os testemunhos LG05-01 e LG05-02 foram fatiados e secos em estufa a 40°C sendo armazenados no Laboratório de Ecologia Aquática do Instituto de Botânica, como arquivos de amostras para eventuais estudos no futuro. (tabela 2).

Tabela 2. Relação dos testemunhos com os respectivos comprimentos e destinações no presente estudo.

Testemunho	Comprimento (cm)	Destinação
LG05-01	45,0	Arquivo
LG05-02	50,5	Arquivo
LG05-03	70,0	Nutrientes (N e P) e granulometria
LG05-04	65,0	Geocronologia e diatomáceas

5.4. Datação Direta e Análises Físicas e Químicas do Sedimento

5.4.1. Litologia

A descrição litológica foi realizada imediatamente após o fatiamento do testemunho, como já mencionado, mediante descrição macroscópica conforme a textura, coloração dos sedimentos e conteúdo de restos vegetais como, por exemplo, presença de raízes (Schnurrenberger *et al.* 2003).

5.4.2. Datação direta – geocronologia (^{210}Pb)

A geocronologia dos sedimentos foi realizada a partir do decaimento do ^{210}Pb , conforme Häsanen (1997) e Cazotti (2003), no Laboratório de Geoquímica da Universidade Federal de São Carlos, sob responsabilidade da doutoranda Tatiane Araújo de Jesus. O método baseia-se na

contagem alfa/beta (contador proporcional gasoso) e foi escolhido por possibilitar a datação de sedimentos recentes (menos de 150 anos), considerado mais preciso que o método não-destrutivo da contagem gama (Mozeto, A.A., comunicação pessoal, em 2006).

Massa total de sólidos - teor de umidade e densidade do sólido - De acordo com Cazotti (2003), a massa total de sólidos, juntamente com a atividade do $^{210}\text{Pb}_{\text{atm}}$, permite calcular o inventário do mesmo. Para calculá-la foi necessária, inicialmente, a obtenção do teor de umidade (ou porosidade) e da densidade do sólido.

No presente estudo, o teor de umidade foi obtido mediante pesagem das amostras úmidas, logo após o fatiamento em campo, seguida pela secagem em estufa com temperatura até 40 °C. Após peso constante, o material foi desagregado, homogeneizado em almofariz e transferido para recipientes de polietileno.

A densidade do sólido foi calculada de acordo com a equação 1. Para tanto, utilizou-se um picnômetro, com capacidade de 25 mL. Inicialmente, o picnômetro foi pesado apenas com água (M1), posteriormente, água e uma massa definida da amostra seca (M2), obtendo-se M3.

$$Ds = \frac{M2}{(M1 + M2 - M3)} Dt \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

M1= massa do picnômetro com água (g)

M2 = massa seca de sedimento (pode ser 1 g ou 2 g, quanto maior, menor o erro).

M3= M1+M2

Ds = densidade do sólido (g cm^{-3}).

Dt = densidade da água (1g cm^{-3}).

Finalmente, a massa total de sólidos (Ms) foi calculada a partir da equação 2, dada seguir:

$$Ms = \frac{Ds(1-U)V_{am}}{U(Ds-1)+1} \quad (\text{equação 2})$$

Onde:

Ms = massa total de sólidos (g)

Ds = densidade do sólido (g cm^{-3})

V_{am} = volume da amostra (fatia do testemunho) obtido através das medidas geométricas (diâmetro do tubo e espessura da fatia) (cm^3)

U = teor de umidade (%), obtido de acordo com a equação 3:

$$U = \text{peso da água} / \text{peso úmido} * 100 \quad (\text{equação 3})$$

Onde:

Peso da água = (amostra úmida – amostra seca) (g)

Peso úmido = (amostra úmida – peso do pote vazio) (g)

Abertura química (ou digestão) – Consiste, basicamente, na digestão total da amostra, subsequente precipitação e separação do ^{226}Ra e do ^{210}Pb por meio de colunas poliméricas. Tal procedimento foi composto de diversas etapas. A liberação destes radionuclídeos foi efetuada mediante ataques multi-ácidos, seguido da separação através da percolação do material digerido em resina aniônica forte. Após a precipitação do Ba(Ra)SO_4 , a amostra foi filtrada após um dia em membrana de éster de celulose de $0,45 \mu\text{m}$ de poro (Millipore®). A contagem isotópica foi realizada após 20 dias, o que corresponde à somatória das atividades do ^{226}Ra e dos seus descendentes, emissores alfa, ou seja, ^{222}Rn , ^{218}Po , ^{214}Po e ^{210}Po . Quanto à precipitação do PbCrO_4 , etapa paralela dessa análise, a atividade beta foi determinada em contador beta Camberra®, após 10 dias, devido à radiação beta do ^{210}Bi , que corresponde a uma medida indireta do ^{210}Pb .

As etapas para a determinação da geocronologia de testemunhos lacustres podem ser encontradas detalhadamente nos trabalhos de Cazotti *et al.* (2006) e Cazotti (2003) bem como, os cálculos a seguir:

Cálculos da idade das fatias sedimentares e da taxa de acumulação de sedimento - Os cálculos da idade das fatias e da taxa de acumulação de sedimento foram obtidos pela aplicação das equações 4 e 5, respectivamente, utilizadas no modelo CIC (constante inicial de concentração).

$$t = \lambda^{-1} (\ln A_0 - \ln A_x) \quad (\text{equação 4})$$

Onde:

A_0 = atividade radiológica ou concentração do $^{210}\text{Pb}_{\text{atm}}$ no topo do testemunho

λ = constante de decaimento do ^{210}Pb ($0,031 \text{ ano}^{-1}$)

A_x = atividade ou concentração do $^{210}\text{Pb}_{\text{atm}}$ na base do testemunho

$$T = \frac{Ms}{S} \cdot \Delta t \quad (\text{equação 5})$$

Onde:

T = taxa de acumulação ($\text{g cm}^{-2} \text{ ano}^{-1}$)

Ms = massa do sólido (g)

S = área do testemunho, neste caso = 22.06 cm^2

Δt = intervalo de idade (anos)

5.4.3. Teor de fósforo, nitrogênio e matéria orgânica

Os teores de fósforo das fatias sedimentares foram obtidos conforme Andersen (1976). Em seguida, foi utilizado o método colorimétrico de Valderrama (1981) para a formação de complexo colorido para posterior leitura de absorbâncias em espectrofotômetro. Os teores de matéria orgânica e inorgânica foram determinados mediante diferença de peso seco e peso calcinado (Bengtsson & Enell 1986).

As concentrações de nitrogênio foram determinadas em analisador CHN automático Carlo Erba EA 1110[®], no Laboratório de Oceanografia Química da Universidade Estadual do Rio de Janeiro. A preparação prévia das amostras foi realizada no Laboratório de Ecologia Aquática do Instituto de Botânica e consistiu na pesagem de 1g do material e posterior secagem em estufa com temperatura máxima de 40 °C, para evitar a perda do analito de interesse (Mozeto, A.A., comunicação pessoal, em 2006). Após esta etapa, a descarbonatação das amostras foi realizada mediante adição de HCl (1%) e secagem em estufa. Posteriormente, o material foi macerado e pesado (0,1g) em cápsulas de estanho (Hedges & Stern 1984). Para a quantificação foram utilizadas curvas de calibração ($r > 0,999$) e cistina como padrão. A precisão foi de $\pm 7,4 \%$ para o nitrogênio, baseada no coeficiente de variação da réplica ($n = 10$) de um material de referência (PACS-2/NRCC). O limite de quantificação calculado foi de 0,01%.

5.4.4. Análise Granulométrica

A determinação granulométrica foi obtida por espalhamento de feixe a laser (analisador automático CILAS 1064L) no Laboratório de Sedimentologia da Universidade Federal Fluminense. Nesse aparelho as frações sedimentares são classificadas quanto ao tamanho da partícula.

Previamente, 1 g do material foi oxidado com peróxido de hidrogênio (H_2O_2 P.A.) para a eliminação da matéria orgânica. A fim de evitar a perda de partículas finas que poderiam comprometer os resultados, as amostras foram lavadas com água ultrapura e secas em estufa. Após transferência para tubos de ensaio, foram adicionadas 30 mL de solução dispersante (40g L^{-1} de pirofostato de sódio em água) e o material foi mantido em agitador por 24 horas. Após esta etapa, as amostras foram peneiradas em malha com abertura de 0,5 mm para evitar o entupimento da célula de leitura.

Pelo fato do analisador automático (também conhecido como sedígrafo) conjugar a velocidade terminal de sedimentação de partículas com a absorção de raios X pela suspensão, o método é vantajoso em função do tempo de análise gasto ser muito menor do que o utilizado pelas técnicas com béquer de sedimentação e pipeta de Andreasen (Lima & Luz 2007).

Os resultados finais foram calculados utilizando o programa Gradistat[®], versão 10.0. A escala de classificação de tamanho é apresentada na tabela 3 (Blott & Pye 2001).

Tabela 3. Classificação dos grãos pelo tamanho (μm) (Blott & Pye 2001).

Tipo de Grão	Tamanho (μm)
Areia grossa	500
Areia média	250
Areia fina	125
Areia muito fina	63
Silte muito grosso	31
Silte grosso	16
Silte médio	8
Silte fino	4
Silte muito fino	2
Argila	< 2

5.5. Análises das Diatomáceas

5.5.1. Oxidação do material e preparação de lâminas permanentes

Uma etapa fundamental para a análise das diatomáceas nos sedimentos consiste na eliminação da matéria orgânica por meio da adição de peróxido de hidrogênio (H_2O_2 P.A.) uma vez que a identificação dos táxons é baseada na morfologia da parede celular. A metodologia usualmente empregada para o estudo dessas algas em sedimentos e adotada no presente estudo está descrita em Battarbee (1986), que consiste na pesagem de 1 g de sedimento em béquer, adição de 50 mL de peróxido de hidrogênio e aquecimento sobre placa aquecedora. A oxidação do material foi repetida 3 vezes para assegurar a ausência de matéria orgânica. Posteriormente, as amostras foram lavadas com água ultrapura e secas em estufa, ao invés da separação das diatomáceas por meio de centrifugação. Este procedimento foi escolhido a fim de evitar eventual perda de material, bem como danos às valvas, uma vez que, presentes nos sedimentos, as mesmas estão mais susceptíveis à fragmentação.

Para a montagem de lâminas permanentes, foram utilizadas lamínulas de 20 x 20 mm, diluindo 1 g de sedimento em 10 mL de água e, posteriormente, adicionando-se 0,2 mL em cada lamínula com pipeta automática. Para assegurar a distribuição homogênea da amostra em toda a lamínula, foram utilizadas lâmpadas para a secagem do material ao invés de placa aquecedora, já que este procedimento poderia concentrar a distribuição na região central da lamínula (Battarbee 1986). As lamínulas foram seladas com a resina Zrax (índice de refração = 1,7) e para cada fração sedimentar foram preparadas de 3 a 5 lâminas.

5.5.2. Análise taxonômica

Os táxons foram, sempre que possível, identificados em níveis específicos e infra-específicos com auxílio de obras clássicas (e.g. Patrick & Reimer 1966, 1975; Germain 1981; Metzeltin & Lange-Bertalot (1998, 2007); Rumrich *et al.* (2000); Metzeltin & García-

Rodriguez(2003); Round *et al.*1990), das floras ficológicas do Estado de São Paulo originadas pelo programa Biota/Fapesp Paulo (Ludwig 1996, Tavares 2001, Morandi 2002, Carneiro 2003 e 2007, Rocha 2008). Os táxons foram ilustrados por fotomicrografias. A análise foi feita por meio de microscópio óptico binocular Zeiss®, Axioskop 2 *plus*, equipado com contraste-de-fase, câmara-clara e com sistema de captura de imagem. A atualização da nomenclatura foi, principalmente, feita mediante consulta ao catálogo dos nomes de diatomáceas, da Academia de Ciências de Filadélfia (<http://research.calacademy.org/research/diatoms/names>). Finalmente, sempre que possível, adotou-se o sistema de classificação de Round *et al.* (1990) para o enquadramento sistemático dos táxons identificados.

5.5.3. Análise quantitativa

Os dados quantitativos das diatomáceas basearam-se, principalmente, nas 41 fatias do testemunho LG05-04. A fim de complementar a sequência de aproximadamente 110 anos, foram incluídas as seis fatias finais da base do testemunho LG05-03 em função deste último obter comprimento maior.

A unidade básica de contagem considerada foi a valva, ou seja, frústulas completas foram consideradas como duas. Os fragmentos foram incluídos na contagem desde que fosse possível identificar a espécie por meio da área central ou das extremidades (no caso de algumas espécies de arrafídeas) e que se visualizasse, pelo menos, 50% da valva (Battarbee *et al.* 2001).

A análise quantitativa foi realizada pela contagem de indivíduos em transecções transversais nas lâminas, sendo adotados como critérios a contagem mínima de 500 valvas, sempre que possível, e a visualização da curva de rarefação de espécies. Para algumas fatias em direção à base do testemunho e, mais especificamente, no testemunho 3, nem sempre foi possível atingir este critério. Assim, apesar do esforço amostral empreendido (contagem de 2 a 4 lâminas inteiras, ou seja, sem interrupção de campos e/ou transecções, totalizando, em alguns casos, mais de 1400 campos contados), foi possível atingir apenas 200 valvas.

A contagem foi realizada utilizando-se microscópio óptico binocular Zeiss®, Axioskop 2 *plus*, equipado com contraste-de-fase e sistema de captura de imagem e aumento de 1000X.

O cálculo da abundância absoluta foi feito de acordo com Battarbee (1986), como segue:

$$N = \frac{(n \times Al)}{(Nc \times Ac) \times M} \times F$$

Onde:

N = valvas gMS⁻¹ (MS = massa seca de sedimento)

n = número total de valvas contadas

Al = área da lamínula (mm²)

Nc = número de campos contados

Ac = área do campo (mm²)

M = massa de sedimento (gMS)

F = fator de diluição da amostra

A porcentagem de contribuição de cada táxon foi obtida pela contagem de 500 valvas no mínimo, quando possível, como segue:

$$Fr_i = \left(\frac{n_i}{N} \right) \times 100$$

Onde:

Fr_i = frequência relativa

n_i = número de indivíduos (valvas) da amostra

N = número total de indivíduos (valvas) da amostra

5.5.4. Informações Ecológicas

Foi realizada uma revisão de literatura sobre a ecologia dos táxons encontrados (Lowe 1974; Wolf 1982; van Dam *et al.* 1994; Lobo *et al.* 1995; Lobo *et al.* 1996; Moro & Fürstenberger 1997; Schönfelder *et al.* 2002, Houk 2003), entre outros, bem como busca pelo “site” específico de diatomáceas (EDDI - <http://craticula.ncl.ac.uk>) e o programa OMNIDIA, versão 4.2 (Lecointe *et al.* 1993).

5.6. Análise dos Dados

5.6.1. Índices biológicos

Os cálculos abaixo se baseiam nas densidades valvares dos táxons identificados no testemunho LG05-04.

► **Índice de dominância de Simpson** (Simpson 1949) - Mede a probabilidade de dois indivíduos retirados ao acaso de uma comunidade pertencerem a espécies diferentes, variando de 0 (dominância mínima) a 1 (dominância máxima):

$$D = \sum (p_i)^2$$

Onde:

D = índice de dominância

p_i = n_i/N

n_i = abundância relativa de cada táxon na amostra

N = número total de indivíduos (valvas) na amostra

► **Índice de diversidade de Shannon-Wiener** (Shannon & Weaver 1963):

$$H' = -\sum p_i \log_2 p_i$$

Onde:

H' = índice de diversidade (bits ind⁻¹)

$p_i = n_i/N$

n_i = abundância relativa de cada táxon na amostra

N = número total de indivíduos (valvas) na amostra

► **Índice de equitabilidade** (Lloyd & Ghelardi 1964):

$$E = \frac{H'}{\log_2 S}$$

Onde:

E = índice de equitabilidade (bits ind⁻¹)

H' = índice de diversidade

S = número total de táxons contados na amostra

► **Espécies dominantes e abundantes**

Foram consideradas espécies dominantes aquelas cujas densidades valvares são superiores a 50% da densidade total da comunidade e espécies abundantes aquelas cujas densidades valvares superam a densidade média das populações de cada amostra (Lobo & Leighton 1986).

5.6.2. Análise Estatística

As associações de diatomáceas presentes na seqüência estratigráfica foram avaliadas mediante análises estatísticas multivariadas, tais como ordenação e classificação (Digby & Kempton 1987; Pielou 1966, 1984), bem como pelo cálculo de índices de similaridade e distância.

Para análise isolada da matriz biológica (abundância de diatomáceas) das frações sedimentares foi utilizada análise de componentes principais (ACP) com dados transformados ($\log x+1$) e matriz de covariância. A análise de correspondência canônica (ACC) foi aplicada para explorar as relações entre a matriz biológica e a matriz de dados ambientais (Ter-Braak 1986), bem como para avaliar quais variáveis pesaram mais para a distribuição das espécies de diatomáceas, utilizando-se o teste de Monte Carlo (99 permutações; $p \leq 0,05$). Para tanto foi utilizado o programa estatístico PC-ORD, versão 3 para Windows (McCune & Mefford 1997) e FITOPAC (Shepherd 1996).

A zanação ecológica das diatomáceas foi elaborada, inicialmente, pela análise de agrupamento CONISS (*Constrained incremental sum of squares cluster analysis*), que utiliza o método da soma dos quadrados. Essa análise é usualmente empregada a fim de detectar padrões para auxiliar a identificação das principais zonas na composição de espécies. A distância Euclidiana foi utilizada como coeficiente de dissimilaridade. Para tanto, foram utilizadas as espécies de diatomáceas com densidade relativa $\geq 1\%$. Tais análises foram implementadas pelos programas TILIA e TILIAGRAPH (Grimm 1987; 1991). Para a elaboração do diagrama final, foram plotadas as espécies de diatomáceas com abundância relativa maior ou igual a 5% em cada fatia sedimentar, bem como os teores de fósforo e nitrogênio, com o uso do programa C2, versão 1.5 (Juggins 2003).

6. RESULTADOS

6.1. Datação Indireta

O levantamento de dados para a datação indireta dos sedimentos do atual Lago das Garças contou com a colaboração da Prof^a Dr^a Raquel Glezer, Vice-diretora do CIENTEC (Parque de Ciência e Tecnologia da USP) e Professora de História da USP, orientando sobre os locais a serem visitados prioritariamente e a forma de busca das informações para obtenção de dados pertinentes à presente pesquisa.

Seguem abaixo os resultados obtidos:

► **Biblioteca do Instituto de Botânica** - Foram consultados os relatórios anuais do Instituto de Botânica para os anos de 1948 a 1951, elaborados pelo diretor em exercício, Dr. Frederico Carlos Hoehne e, ainda, de mesma autoria, o relatório sobre o Jardim Botânico. Trata-se de informações sobre o histórico dessas instituições, bem como sobre a desapropriação dos terrenos do até então chamado “Parque do Estado”, “Parque da Água Funda” ou “Mata do Estado”. Ainda, foram analisados alguns mapas, mas sem relevância para o presente estudo.

► Instituto de Terras de São Paulo (ITESP)

Na Diretoria Geral do Instituto de Botânica foram consultadas as pastas contendo os processos relacionados à área do PEFI. Dentre estes, o processo PPI (Procuradoria do Patrimônio Imobiliário) sob o número 415/97, referente à regularização de área ocupada pelo PEFI, mais especificamente, da área limítrofe com a Siderúrgica Aliperti, contém diversas informações interessantes. Esses documentos foram analisados no Instituto de Terras do Estado de São Paulo.

Neste processo consta a aquisição pela Fazenda do Estado, em 23/03/1895, dos primeiros terrenos desapropriados, com respectivas áreas e proprietários, bem como as plantas. Ainda, há uma cópia (doc.II, fls 94 – PPI 415/97) do “Mapa dos Terrenos do Parque do Estado”, sem data de origem, mas confronta a situação atual com os terrenos desapropriados a partir de 1893. Nesse documento foi possível verificar a extensão do Manancial Campanário ao longo de, praticamente, toda a área do PEFI, indicando que o atual Lago das Garças tenha sido originado do manancial citado.

Às fls. 207, documento datado de 06/12/1966, há um parecer dos engenheiros responsáveis pela averiguação dos limites da área invadida, destacando-se: “(...) *as ponderações acima relatadas, tem por princípio a planta do levantamento topográfico do sítio Ipiranga, trabalhos executados pela Repartição de Águas e Esgotos (RAE), na data de setembro de 1924. (...) não obstante às*

inúmeras buscas realizadas não podemos obter outros elementos para maior elucidação deste. Por informações verbais, junto ao DAE, as cadernetas técnicas foram incineradas em meados de 1935.”

► **Biblioteca da Fundação Parque Zoológico de São Paulo**

Da pesquisa realizada, foi obtida uma fotografia aérea, datada de 1972, mostrando o desvio da Avenida Miguel Stéfano e o corte de um dos braços do Lago das Garças. Também foram obtidas informações sobre a origem do Zoológico, fases de construção, dentre outras.

► **Biblioteca do Instituto Geológico**

A biblioteca possui mapas da cidade de São Paulo desde o século XIX, além da “Coleção de Leis e Decretos do Estado de São Paulo”, desde 1900.

Dentre os mapas analisados, uma planta da cidade de São Paulo datada de 1900 mostra a relação dos terrenos desapropriados para o abastecimento de água da cidade, tendo a demarcação do atual Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI), conforme figura 9. Também foi verificado um mapa do Município de São Paulo, contendo o registro de duas represas na área do PEFI, o que poderia indicar que uma delas fosse o atual Lago das Garças. O mapa ora citado não possui uma data específica, entretanto, há a indicação da data de 1902, feita à mão (figura 10).

Considerando que a literatura existente sobre a construção do atual Lago das Garças e o encerramento de sua função como reservatório de abastecimento sugere o período de 1917 a 1920, foi consultada a Coleção de Leis e Decretos do Estado de São Paulo para o período de 1907 a 1933. Foi possível encontrar alguns decretos de desapropriações, datados de 1920, para a construção do canal e a abertura da avenida ao longo do córrego “Ypiranga”.

► **Arquivo do Estado de São Paulo**

Iconografia - Na Seção de Iconografia do Arquivo do Estado de São Paulo foram visualizadas as plantas dos terrenos que compõem o atual PEFI, até então pertencentes ao “Sitio Ypiranga” (datado de 1893), contendo também os nomes de seus respectivos proprietários, o que está de acordo com o documento elaborado por Penna (1992) (figura 11). A planta traz, ainda, indicações dos tipos de vegetação existentes na área do PEFI para a época (figura 12).

A “Planta Geral do Encanamento do Ypiranga” (figura 13) contém indicação da linha de tubos existentes e de serviços feitos pela Repartição de Águas e Esgotos (RAE) durante o ano de 1893, com detalhe para a localização de uma represa no córrego do Campanário.

A planta intitulada “Perfil Schematico do Serviço de Água existente na Cidade de São Paulo” contém os planos de reforço para o abastecimento da cidade datado de 1911, apresentando o Tanque do Ypiranga, localizado entre as Represas do Borba, Represa do Simão, e o Manancial do Campanário, tendo sido estes utilizados para tal finalidade (figura 14).

Documentos textuais - Foram consultados documentos datados de 1892 e 1898, relativos à prestação de contas e aos orçamentos do Estado e outros assuntos gerais, a fim de verificar o registro da construção da represa. Tais documentos, no entanto, não apresentaram informações relevantes à pesquisa.

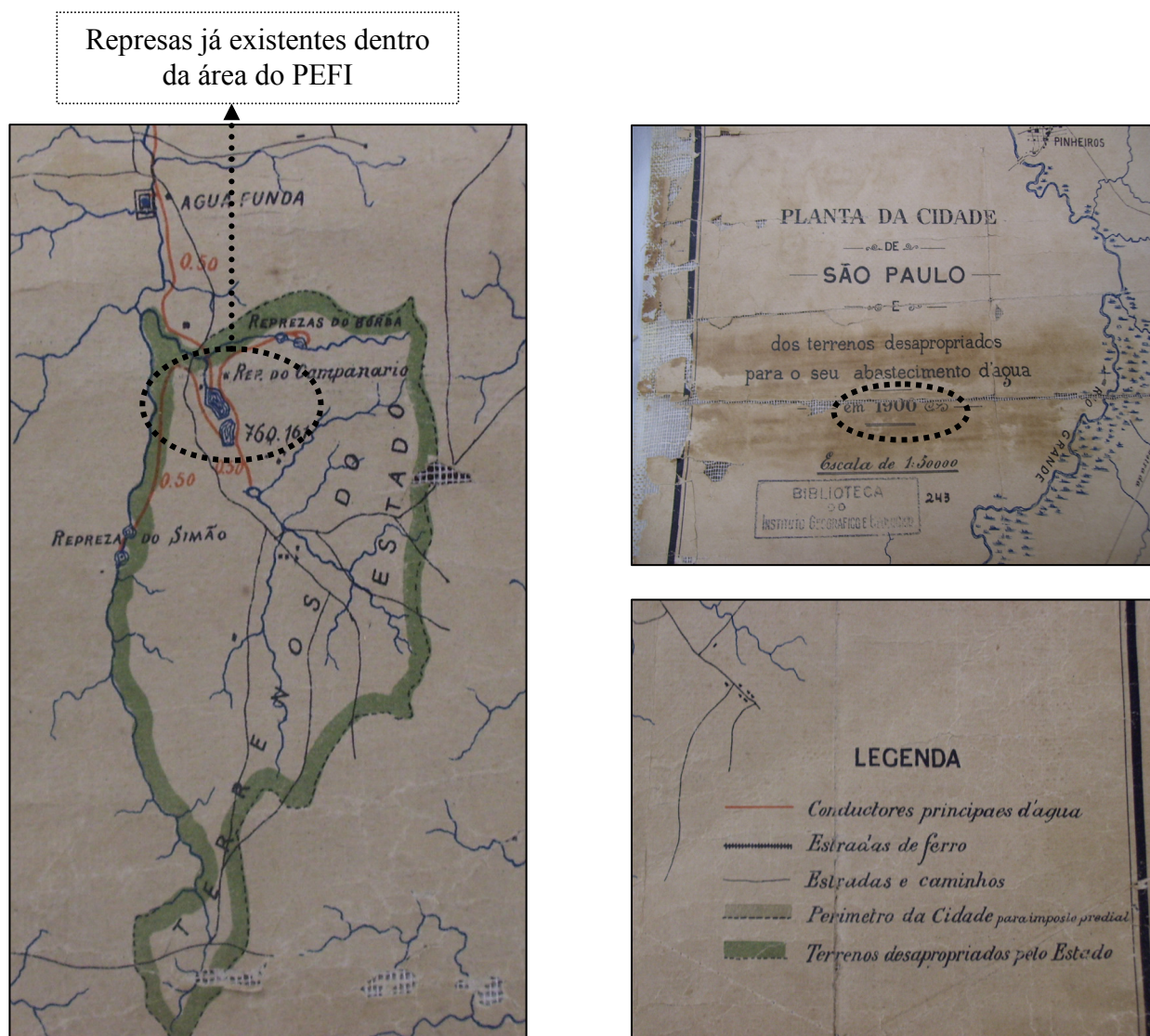


Figura 9. Planta da cidade de São Paulo, datada de 1900, com os terrenos desapropriados para fins de abastecimento. Em verde a demarcação do atual Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI). Fonte: Biblioteca do Instituto Geológico de São Paulo.

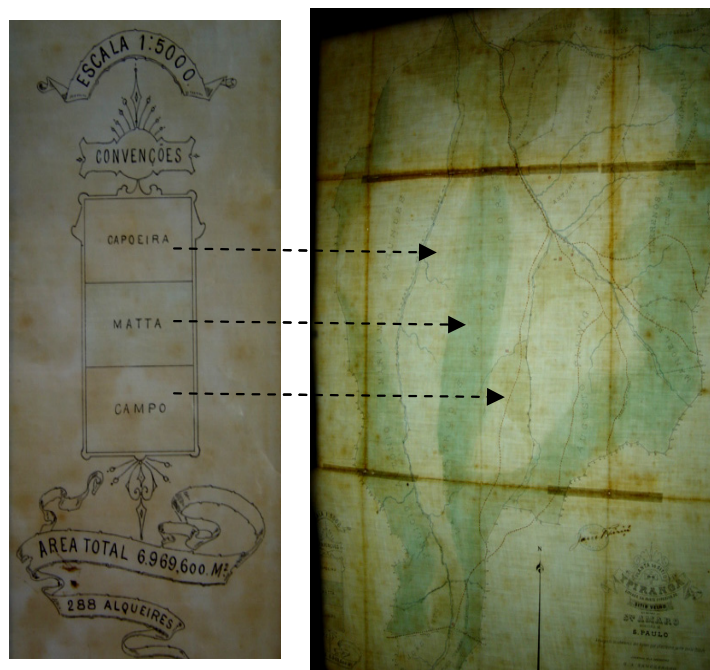


Figura 12. Planta do sítio “Ypiranga” com indicação dos tipos de vegetação da área em 1893. Fonte: Arquivo do Estado (seção de Iconografia).

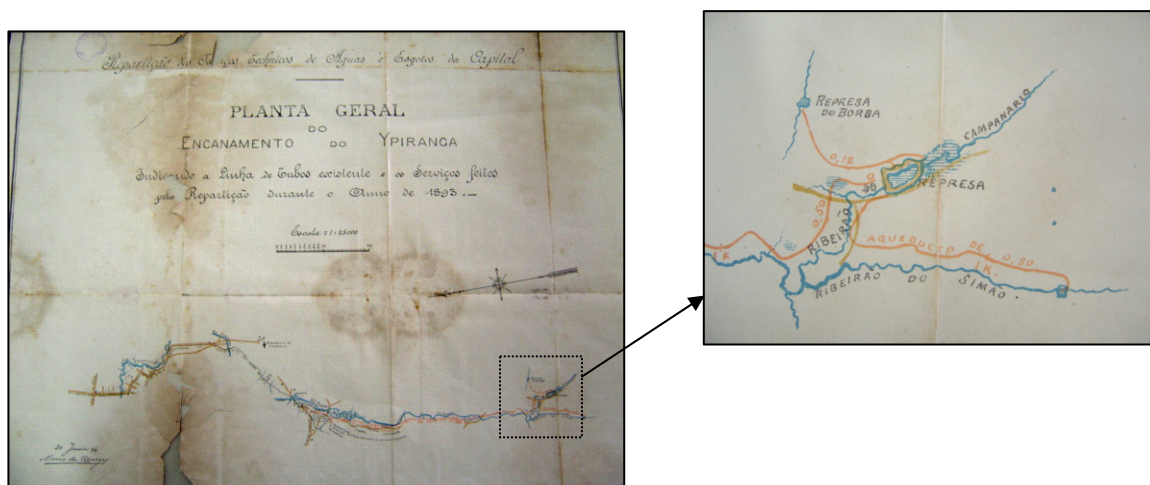


Figura 13. Planta indicativa de uma represa no córrego do Campanário datada de 1893. Fonte: Arquivo do Estado (seção de Iconografia).

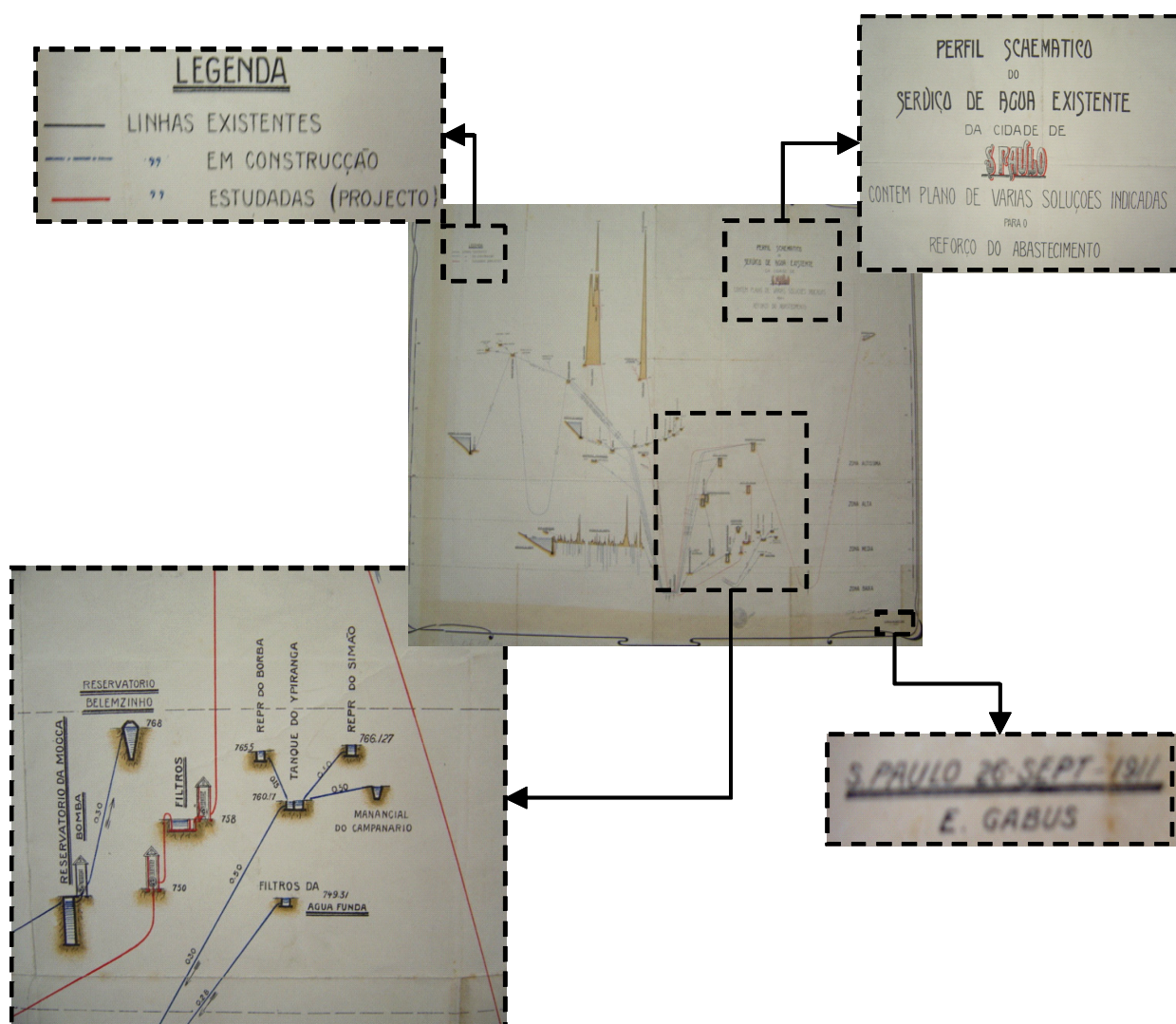


Figura 14. Perfil esquemático do serviço de água existente da cidade de São Paulo (1911). Fonte: Arquivo do Estado (seção de Iconografia).

► Museu Paulista

Na Seção de Documentação e Iconografia do Museu Paulista foram consultados diversos documentos, destacando-se:

- Álbum da Companhia Cantareira, intitulado “Abastecimento d’água da cidade de São Paulo de 1893 a 1895”. A Companhia, responsável pelos serviços de Águas e Esgotos da época, traz informações sobre as principais obras realizadas no período, dentre elas a canalização do Ipiranga, citando as represas do Borba e Simão supracitadas.

- Anais do Museu Paulista: dentre as diversas informações contidas no livro, ressalta-se o Arquivo Aguirra, elaborado pelo advogado João Baptista de Campos Aguirra (1871-1962), que organiza um fichário como “arquivo de terras e colonização” desde 1870, contendo mapas, documentos e fotografias.

- Arquivo Aguirra: 150 fotografias foram analisadas, mas não apresentaram relevância para o presente estudo.

- Coleção de Leis e Decretos do Estado de São Paulo (1893): consta a desapropriação dos terrenos da Bacia do Ribeirão do Ypiranga para abastecimento.

► **Companhia Paulista de Obras (CPOS)**

O objetivo foi verificar a existência de registros da construção do reservatório, já que a instituição possui documentos relacionados à Secretaria de Superintendência de Obras Públicas. No entanto, nenhuma informação relevante relacionada ao PEFI foi encontrada, apenas plantas datadas de 1990 referentes à reforma de banheiros e recuperação de passarela entre os prédios 1 e 2; construção de galpões em 1958; rede telefônica interna em 1994; planta e cortes de lago seco em maio de 1990 (provavelmente Lago das Ninféias).

► **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)**

Foi realizado o levantamento de dados de crescimento demográfico para a região da área de estudo. Os dados encontrados são para o Município de São Paulo, inexistindo informações mais regionais. A figura 15 mostra o crescimento da população do Município de São Paulo desde 1920 até o ano 2000, referentes aos censos demográficos.

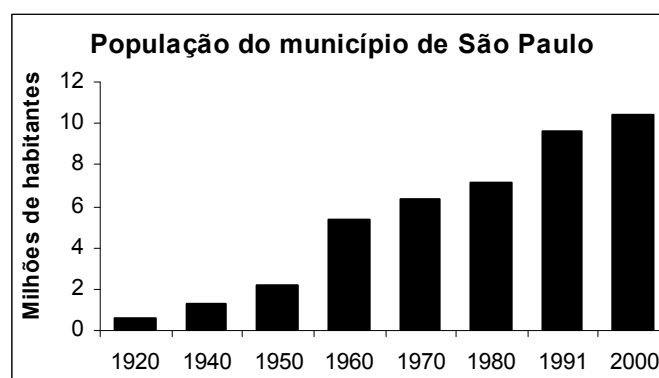


Figura 15. Evolução da população do Município de São Paulo durante século XX (1920-2000).
Fonte: IBGE.

► **CLA – Comunicações – relações públicas**

Empresa de relações públicas da Siderúrgica J.L. Aliperti, em cuja página na internet foi extraída a informação da data de instalação da mesma na área do atual PEFI, correspondente ao ano de 1937.

► **Biblioteca Mário de Andrade**

Foi realizada a pesquisa de jornais antigos microfilmados. No entanto, trata-se de processo que requer uma quantidade de tempo exorbitante, considerando-se a necessidade de agendamento

para a busca e o reduzido tempo máximo de permanência (2 horas no período de férias escolares, sendo reduzido durante o ano letivo). Sendo assim, a busca foi relativamente curta, sem informações relevantes.

► **Assembléia Legislativa do Estado de São Paulo (ALESP)**

Foi consultado o acervo histórico contendo os Anais da ALESP, documentos das Comissões e a “Coleção de Leis e Decretos de São Paulo” com as leis de regulamento, por exemplo, dos serviços sanitários desde 1893 a 1947, sem informações relevantes, além das obtidas anteriormente.

► **BASE – Aerofotogrametria**

O objetivo foi realizar a busca de fotos aéreas antigas da região do PEFI. Contudo, as fotos verificadas correspondiam a anos mais recentes, não condizendo com o objetivo desse estudo.

► **Entrevista: “história falada”**

Tendo sido esgotadas as fontes de informação impressa para a conclusão da datação indireta, tornou-se necessário buscar a “história falada” do PEFI. Após grande busca sobre a existência e o local de moradia de um dos funcionários mais antigos do Jardim Botânico de São Paulo, foi possível realizar uma entrevista com o Sr. João Penna, que cumpriu a função de administrador do Jardim Botânico entre os anos de 1959-1985. A entrevista foi realizada em 13 de junho de 2007, no Município de Bebedouro a 453 km da cidade de São Paulo, onde o Sr. Penna reside atualmente. A seguir, as principais informações obtidas.

Em 1965, devido ao processo de desapropriação movido pelo Instituto de Botânica contra a Aliperti, o Sr. Penna realizou um levantamento de documentos acerca da área total do PEFI (inicialmente chamado de Parque do Estado) quando teve acesso às plantas dos terrenos desapropriados a partir de 1892, conforme lei nº 62 de 17/08/1892 e para cumprimento do Decreto nº 204, de 12/09/1893, que visava o uso da área para abastecimento da região. Tal levantamento permitiu a posterior montagem do desenvolvimento na área do PEFI no período de 1892 a 1981 (anexo 1), além das informações abaixo descritas e, o mais importante, a confirmação de que o Lago das Garças surgiu do represamento do “Córrego Campanário” (anexo 2). Este juntamente com os demais lagos da região (lagos do Zoológico e do IAG, antigo Instituto Astronômico e Geofísico da USP) formava, conjuntamente, um único lago (anexo 3).

De acordo com o Sr. Penna, a inscrição no portão utilizado pela RAE como entrada de acesso para o Lago das Garças (atualmente portaria 2 do IBt), durante o período de uso da represa, confirma que a captação de água foi iniciada com o represamento do Córrego do Campanário a

partir de 1894 se estendendo até 1928, sendo tal função encerrada em virtude do aumento da população do entorno. O portão utilizado pela RAE (Repartição de Águas e Esgotos de São Paulo) foi removido para o seu depósito nesse mesmo ano (1928), sendo doado ao Jardim Botânico em 1960, desde então, exposto na área de visitação (figura 16).

Segundo o Sr. Penna, foram realizados aterramentos para a construção de travessias, inclusive a estrada para Diadema, transformando o “Lago Campanário” em cinco lagos, em 1917. O primeiro e o maior dos lagos (Lago das Garças) ficou sob a jurisdição do Instituto de Botânica, o segundo sob a do atual Fundação Ciência e Tecnologia - CIENTEC - (Lago do IAG) e os três restantes, sob a jurisdição do Parque Zoológico (anexo 04). Posteriormente, um braço do lago foi aterrado para a construção da portaria 2 do Zoológico em 1957.



Figura 16. Portão de acesso ao Lago das Garças em 1894, pertencente à Repartição de Águas e Esgotos de São Paulo (RAE), atualmente na área de visitação do Jardim Botânico de São Paulo.

► SÍNTESE DA DATAÇÃO INDIRETA

Segue abaixo a síntese das informações encontradas durante o levantamento para realização da datação indireta. Após esta listagem, será apresentado um diagrama de blocos sobre a linha do tempo resumindo os acontecimentos mais relevantes encontrados para a Bacia de Drenagem do Lago das Garças (figura 20).

- **1892** – Lei 62 de 17/08/1892, autorizando a reforçar o abastecimento de água da capital (1);

- **1893** – Desapropriação de 12 lotes pertencentes a sitiantes com o objetivo principal de preservar as nascentes situadas na área (2);
 - ♦ Desapropriação dos terrenos pertencentes a Gertrudes Maria das Dores, necessária para as obras de canalização do Ypiranga (3);
 - ♦ Desapropriação de terrenos da bacia do Ribeirão Ypiranga, necessária para o serviço de desenvolvimento do abastecimento de água da capital (4);
- **1894** – Represamento do Córrego do Campanário para a formação da Represa do Campanário.
- **1900**- Represa do Campanário em funcionamento, de acordo com a Planta dos terrenos desapropriados para fins de abastecimento.
- **1901** – Continuação das desapropriações dos terrenos pertencentes aos herdeiros de Felício Mariano Fagundes, destinados à captação e preservação das águas da bacia do Ypiranga (5);
- **1911** – Linha de captação das águas em construção, conforme planta do sítio Ypiranga vista no Arquivo do Estado novamente mostrando que já existia a represa do Campanário(7);
- **1928** – Início das obras para tornar o PEFI um parque público (2);
 - ♦ Transferência do Jardim Botânico do Parque da Luz para o Parque do Estado (8);
 - ♦ Ano em que foi cessada a captação de águas para abastecimento nesta região pela ameaça de poluição e pelo volume baixo de água (8);
- **1930** – Abertura da Alameda Fernando Costa e drenagem de terrenos (8);
- **1932** – Construção das instalações do IAG, atual Parque de Ciência e Tecnologia da USP - CIENTEC (2);
- **1934** – Doação de um trecho do parque ao sul à Liga das Senhoras Católicas (2);
- **1937** – Instalação da Siderúrgica Aliperti (12);
- **1938** – Criação do Departamento de Botânica, pavimentação das ruas do Jardim, abertura da Avenida das Palmeiras Reais (Alameda von Martius) (8);
- **1938-1942** – Demarcação do jardim Botânico, IAG (atual CIENTEC), Departamento de Produção Animal e Liga das Senhoras Católicas (2);
- **1940** – Início da construção dos prédios para sediar o Departamento de Botânica, construção do prédio do Museu Botânico e de três pavilhões existentes na área de visitação (8);
- **1942-1953** – Transferência do Departamento de Produção Animal para a Secretaria de Agricultura e Abastecimento e Instalação da Escola de Horticultura;
- **1957** – Instalação da Fundação Estadual do Bem-estar do Menor (FEBEM). Outubro: foram asfaltadas e equipadas com canalizações para águas pluviais todas as atuais ruas do Zoológico, bem como construídos os primeiros recintos de animais (8);

- **1957-1963** – Transferência de parte das áreas do Instituto Astronômico e Geofísico para o Zoológico, conforme figura 17 (2) e (9);
- **1958** – Inauguração oficial do Zoológico, figura 18 (9);
- **1962** – Construção do prédio conhecido como “redondo”, portaria de visitantes e estacionamento (fora da área do Jardim) (8);
- **1966** – Desapropriação de área da Siderúrgica Aliperte para ampliação do Jardim Botânico (1);
- **1968** – Desapropriação de imóveis situados no Município e Comarca da Capital (bairro da Água Funda - Parque do Estado) necessários à ampliação do Jardim Botânico (5);
- **1969** – Autorização para obras da Rodovia dos Imigrantes (1); denominação do parque como Área de Preservação Permanente (2);
- **1970** – Iniciadas as obras de construção da Rodovia dos Imigrantes cujo traçado cortou uma área considerável do PEFI (2); início da construção dos lagos contíguos à Alameda Martius (8); início das obras de instalação da sede da Secretaria de Agricultura e Abastecimento;
- **1972** – Desvio da Avenida Miguel Stéfano “cortando um dos braços do Lago das Garças”, conforme figura 19 (8); Instalação do Simba-Safári (10);
- **1975** – Início do funcionamento da sede da Secretaria de Agricultura e Abastecimento;
- **1976** – Transferência de parte da área do Instituto de Botânica para a Fundação Parque Zoológico (1);
- **1984** – instalação de filtros na Siderúrgica Aliperti (11);
- **1991** – desativação da Siderúrgica Aliperti (11);
- **1997** – Início do monitoramento da qualidade da água do Lago das Garças e das cargas de nitrogênio e fósforo dos afluentes (12);
- **1998** – Proliferação exacerbada de aguapés, cobrindo cerca de 70% da superfície do reservatório (12);
- **1999** – Remoção abrupta (3 meses) dos aguapés, totalizando 1,3 toneladas (12);
- **2005** – Coleta dos testemunhos do presente estudo.

Referências bibliográficas do item “Datação Direta – Síntese”

1. Penna, J. 1992. **Histórico Administrativo do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (de 1892 a 1992)**. Dados não publicados. 3 p.
2. Barbosa, L.M.; Potomati, A. & Peccinini, A.A. 2002. O PEFI: Histórico e Legislação. In: Bicudo, D.C.; Forti, M.C. & Bicudo, C.E.M. (orgs.). Parque Estadual das Fontes do Ipiranga: unidade de conservação ameaçada pela urbanização de São Paulo. São Paulo: Editora Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. P. 17-28.

3. São Paulo (Estado). 1893. Decreto n. 180, de 9 de junho de 1893. Declara de utilidade pública, para desapropriação, os terrenos pertencentes a d. Gertrudes Maria das Dores, que se tornam necessários para as obras de canalização do ribeirão Ypiranga. **Coleção de Leis e Decretos do Estado de São Paulo (CLDSP)**, p. 130.
4. São Paulo (Estado). 1893. Decreto n. 204-A, de 12 de setembro de 1893. Declara de utilidade pública, para desapropriação, os terrenos da bacia do Ypiranga, necessários para o serviço de desenvolvimento do abastecimento de água da capital. **Coleção de Leis e Decretos do Estado de São Paulo (CLDSP)**, p. 168.
5. São Paulo (Estado). 1901. Decreto n. 878, de 23 de fevereiro de 1901. Declara sem efeito o decreto n. 204 A, de 12 de setembro de 1893, na parte em que desapropriou, na bacia do Ypiranga, 1.612.000 metros quadrados de terrenos pertencentes ao finado Felício Antonio Mariano Fagundes, e declara de utilidade pública, para serem desapropriados, 232.041 metros quadrados de terrenos, pertencentes aos herdeiros do mesmo finado, na bacia referida. **Coleção de Leis e Decretos do Estado de São Paulo (CLDSP)**, p. 28.
6. São Paulo (Estado). 1968. Decreto n. 50.620, de 31 de outubro de 1968. Dispõe sobre a desapropriação de imóveis situados no Município e Comarca da Capital – Bairro da Água Funda – Parque do Estado, necessários à ampliação do Jardim Botânico. **Coleção de Leis e Decretos do Estado de São Paulo (CLDSP)**, p. 510.
7. Arquivo do Estado. Seção de Iconografia. **Perfil Schematico do Serviço de Água Existente da Cidade de São Paulo – contém plano de várias soluções indicadas para o reforço do abastecimento**. São Paulo. 1911. Escala: 1:25000.
8. Rocha, Y.T. & Cavaleiro, F. 2001. Aspectos históricos do Jardim Botânico de São Paulo. **Revista Brasileira de Botânica**. 24 (4): 577-586.
9. **Plano Diretor Fundação Parque Zoológico de São Paulo**. 1977. Capítulo 3 – Histórico do Zoológico. p. 19-43.
10. Barbosa, L.M.; Matheus, D.R. & Neto Leal, A.C. (coords.) 2008. Parque Estadual das Fontes do Ipiranga – diagnóstico: estudos sócio-econômico, ecológico e legislativo para a caracterização, zoneamento e implantação do Plano de Manejo do PEFI e do seu programa de eco-desenvolvimento. São Paulo.vol. 1.
11. Barros, F.; Mamede, M.C.H.; Melo, M.M.R.F.; Lopes, E.A.; Jung-Mendaçolli, S.L.; Kirizawa, M.; Muniz, C.F.S.; Makino-Watanabe, H.; Chiea, S.A.C. & Melhem, T.S. 2002. A Flora Fanerogâmica do PEFI. In: Bicudo, D.C.; Forti, M.C. & Bicudo, C.E.M. (orgs.). **Parque Estadual das Fontes do Ipiranga: unidade de conservação ameaçada pela urbanização de São Paulo**. São Paulo: Editora Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. p. 95-110.

12. Bicudo, D.C.; Fonseca, B.M.; Bini, L.M.; Crossetti, L.O.; Bicudo, C.E.M. & Araujo-Jesus, T. 2007. Undesirable side-effects of hyacinth control in a shallow tropical reservoir. **Freshwater Biology** 52: 1120-1133.
13. CLA – Comunicações. Cases – Siderúrgica Aliperti. Disponível em: www.cl-a.com/case-01.htm. Acessado em 05 de setembro de 2006.

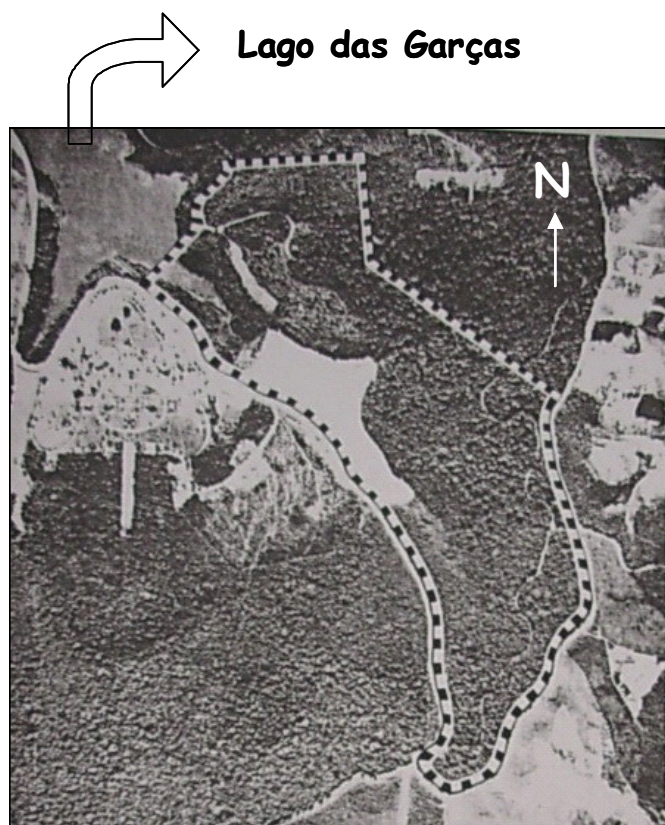


Figura 17. Vista aérea da área da Fundação Parque Zoológico de São Paulo em 1957, com detalhe de um braço do Lago das Garças. Fonte: Plano Diretor Fundação Parque Zoológico de São Paulo (1977).

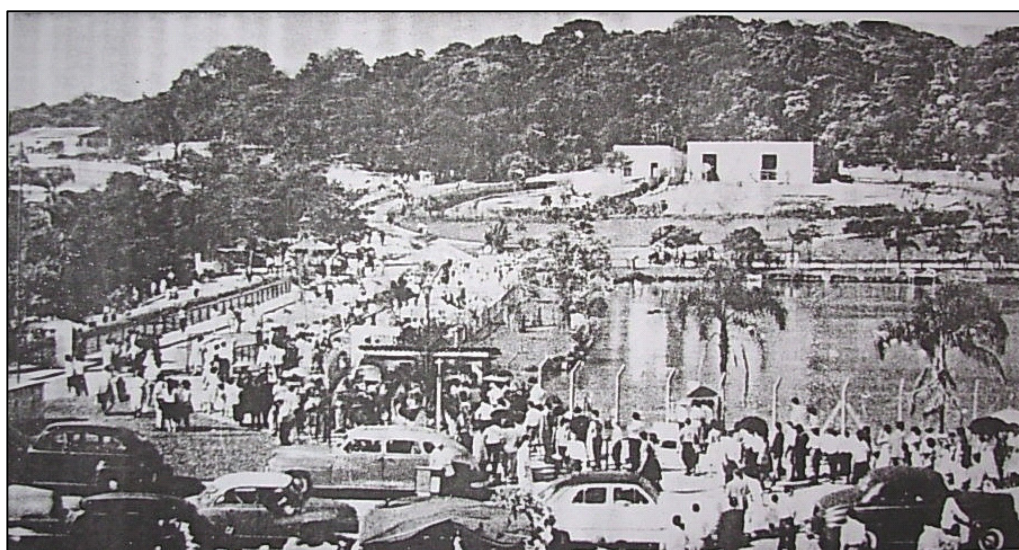


Figura 18. Inauguração oficial do Zoológico em 1958. Plano Diretor da Fundação Parque Zoológico de São Paulo (1977).

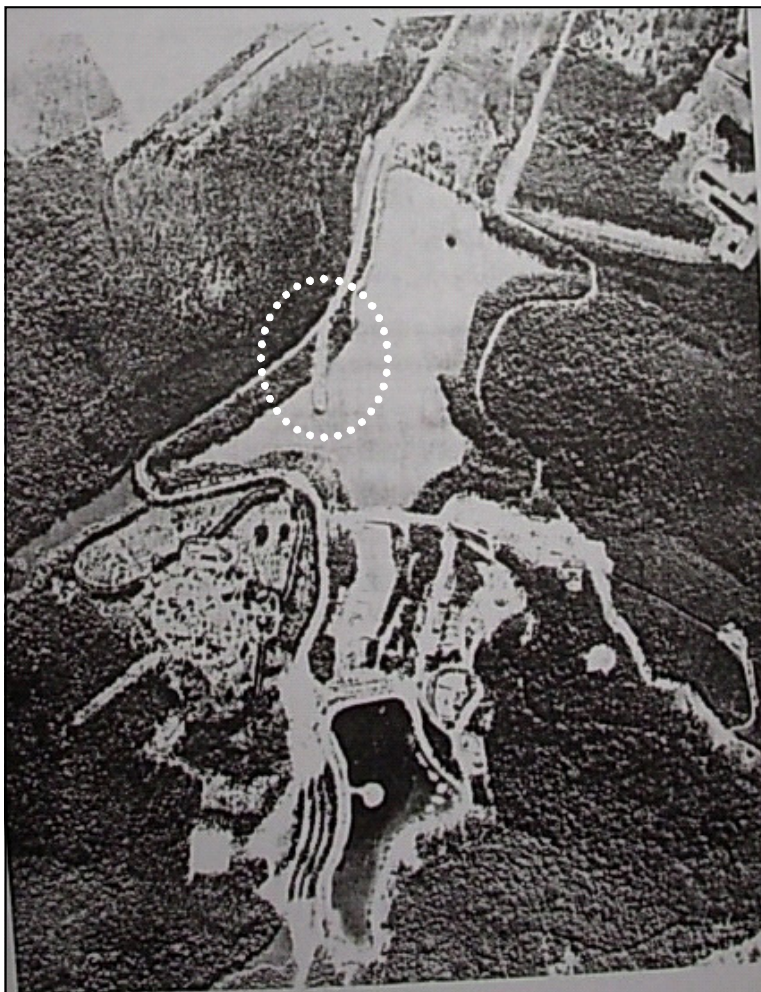


Figura 19. Foto aérea de 1972, mostrando a obra do desvio da Avenida Miguel Estéfano cortando o Lago das Garças. Plano Diretor da Fundação Parque Zoológico de São Paulo (1977).

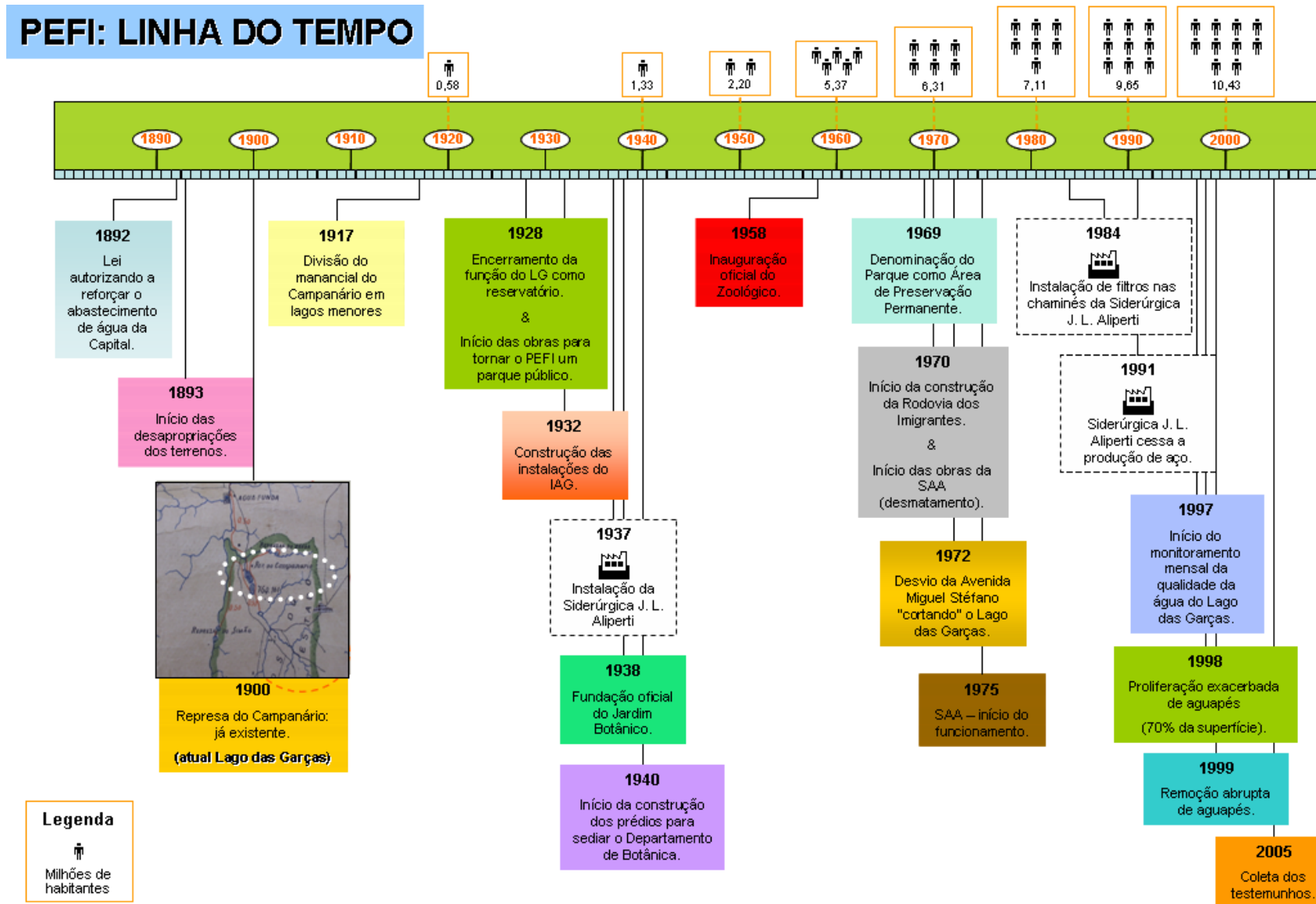


Figura 20. Linha do tempo - com a indicação dos principais eventos ocorridos de 1893 a 2005 no Lago das Garças e em seu entorno.

6.2. Variáveis Climáticas

A fim de verificar possíveis influências do clima na sedimentação e na comunidade de diatomáceas do reservatório foram solicitados à Estação Meteorológica do Instituto Astronômico e Geofísico da USP (IAG-USP) os dados de temperatura do ar e regime de precipitação disponível para a área, ou seja, período de 1933 a 2004.

A figura 21 apresenta a amplitude de variação de temperatura do ar (°C). Os valores de temperatura mínima variaram de -1,2 (1942 e 1955) a 8,3 °C (1995), aumentando a partir de 1949, com média de $3,0 \pm 2,3$ °C. As temperaturas médias foram de 16,8 a 20,4 °C, com média de $18,5 \pm 0,8$ °C e, finalmente, as temperaturas máximas variaram de 32,1 (em 1952) a 35,6 °C (1940), com média de $34,0 \pm 0,9$ °C.

Em relação à precipitação total anual, a amplitude de variação dos dados foi de 850 (1933) a 2236 mm (1983), com valor médio de 1366 ± 263 mm. Observa-se, ainda, aumento da precipitação total a partir de meados da década de 50 (figura 22).

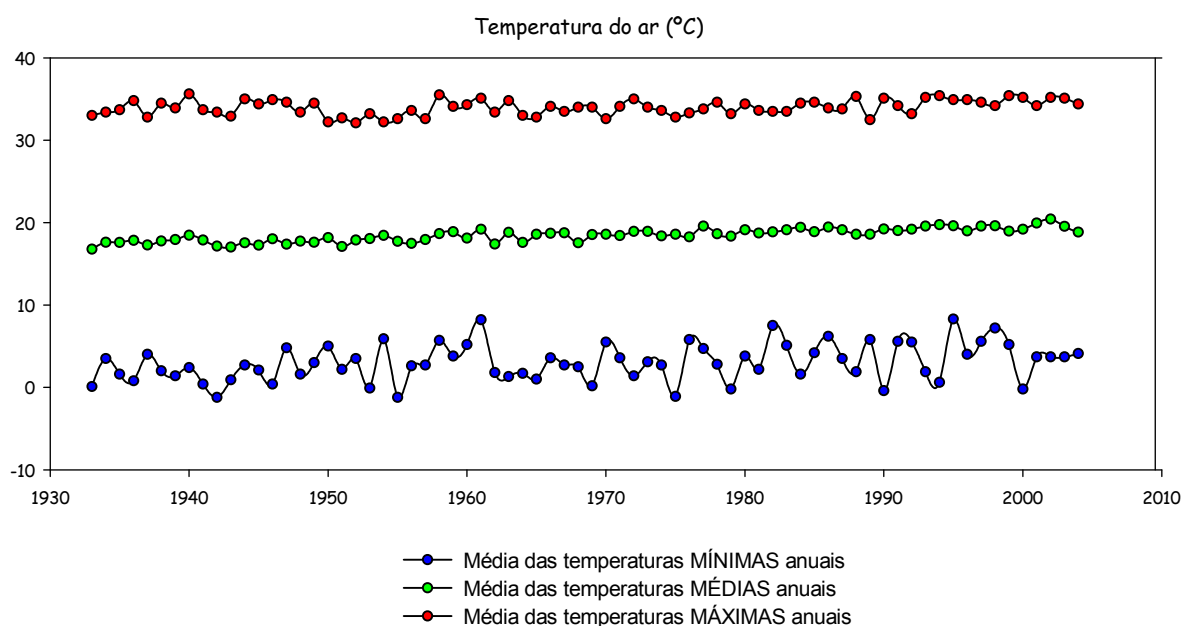


Figura 21. Médias anuais das temperaturas mínimas, médias e máximas para a área de estudo no período de 1933 a 2004 (Dados: IAG/USP).

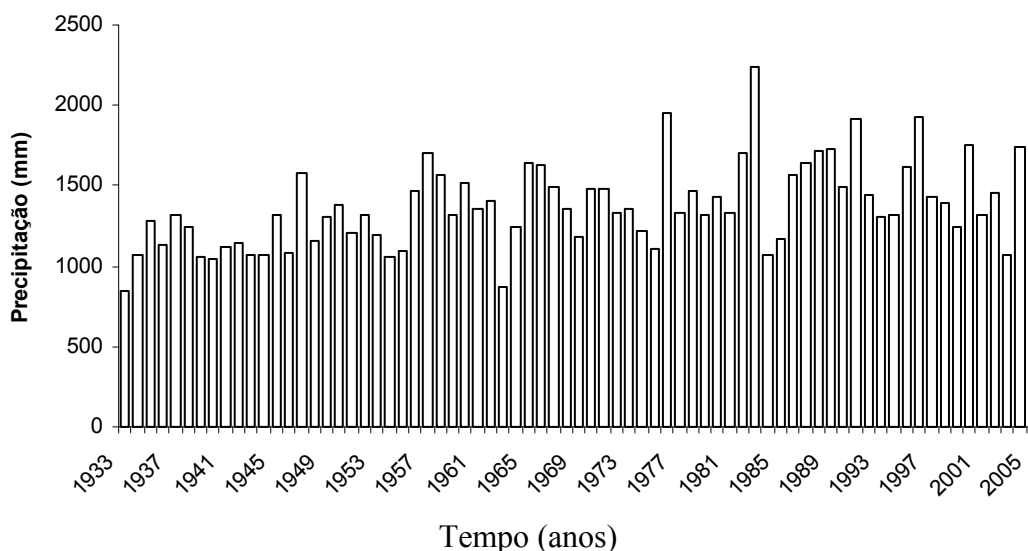


Figura 22. Precipitação total anual para a área de estudo no período de 1933 a 2005 (Dados: IAG/USP).

6.3. Datação e Caracterização Física e Química das Fatias Sedimentares

6.3.1. Litologia

Os testemunhos 3 e 4 apresentaram comprimento máximo de 70 e 65 cm, respectivamente. O topo de ambos foi constituído de argila fluida preta, apresentando aspecto arenoso a partir da profundidade de 53 cm no testemunho 3 e de 49 cm no testemunho 4. A descrição litológica é detalhada pelas figuras 23 e 24.

TESTEMUNHO LG05-03 (comprimento total: 70 cm)

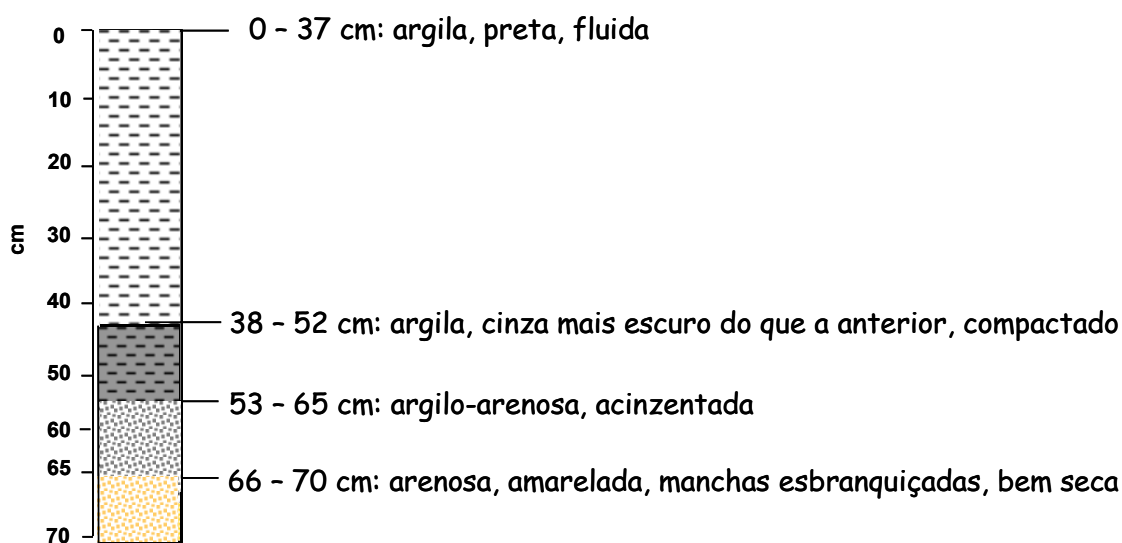


Figura 23. Esquema e descrição litológica do testemunho LG05-03.

TESTEMUNHO LG05-04 (comprimento total: 65 cm)

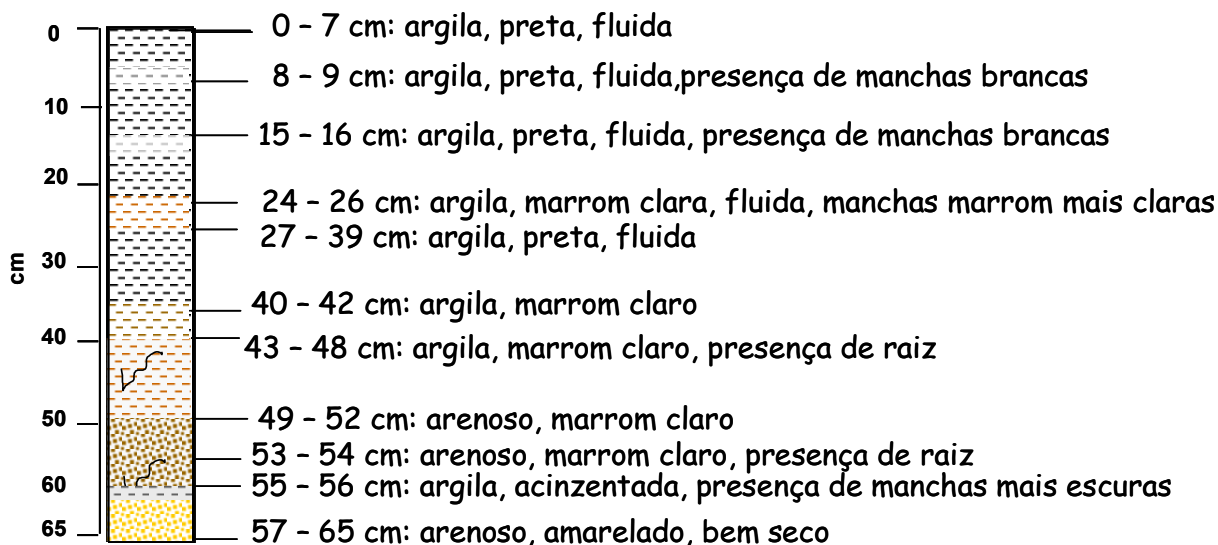


Figura 24. Esquema e descrição litológica do testemunho LG05-04.

6.3.2. Datação Direta – Geocronologia (^{210}Pb)

Teor de umidade e densidade do sólido - O decréscimo no teor de umidade em relação à profundidade do testemunho se deve à compactação. Verifica-se na figura 25 que a variação desse teor, no testemunho 4, foi de 93,7% na profundidade de 1 cm a 21,7% na última fatia, correspondente a 55 cm. De forma inversa, observa-se o aumento da densidade do sólido em direção da base do testemunho (figura 26).

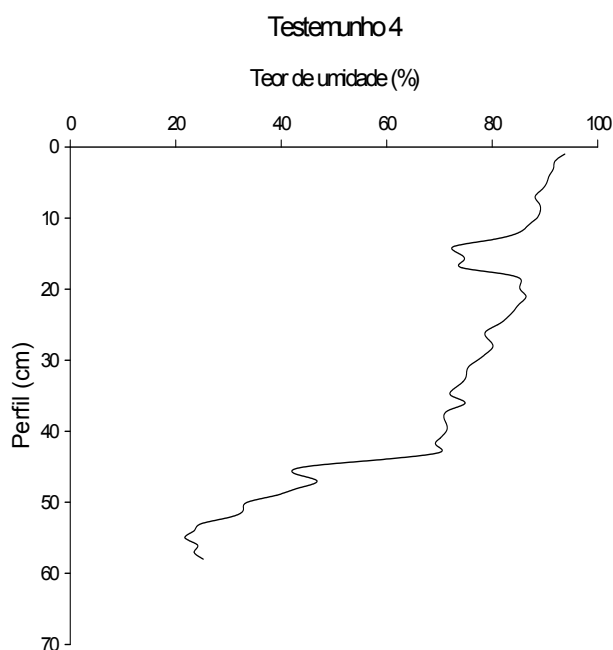


Figura 25. Porcentagem do teor de umidade no perfil (cm) do testemunho LG05-04.

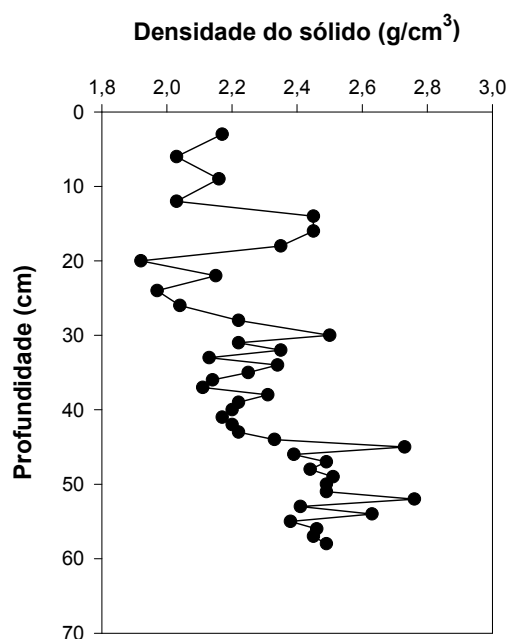


Figura 26. Densidade do sólido (g cm^{-3}) no perfil (cm) do testemunho LG05-04.

Abertura química, cálculos de idade e taxa de acumulação de sedimento - Inicialmente foram utilizadas 10 amostras selecionadas ao longo do testemunho, compreendendo topo, meio e base, a fim de verificar a integridade do material, ou seja, se houve ou não bioturbação ou qualquer outro processo que pudesse perturbar a camada sedimentar afetando sua geocronologia. Após a etapa de abertura química foram calculadas as idades para as fatias mencionadas utilizando-se o modelo CIC (*Constant initial concentration*). Este modelo tem como princípio que a concentração ou a atividade do $^{210}\text{Pb}_{\text{atm}}$ que recai sobre o sedimento seja constante e, para que isso ocorra, o fluxo de sólidos sobre o sedimento deve ser constante (Robbins 1978, Appleby *et al.* 1979 *apud* Cazotti, 2003). Nesse modelo é levada em consideração a atividade do $^{210}\text{Pb}_{\text{atm}}$ em cada fatia do testemunho. Outra condição para a aplicação do modelo CIC é a linearidade do logaritmo da atividade do $^{210}\text{Pb}_{\text{atm}}$ com a massa acumulada.

No presente, alta correlação ($r^2 = 0,91$) foi obtida entre a atividade do Pb e a profundidade corrigida. A profundidade corrigida consiste na correção da profundidade real (cm) considerando o grau de compactação. Essa linearidade entre os parâmetros representa uma condição confiável para a utilização do modelo CIC, embora poucos pontos tenham sido, preliminarmente, utilizados (figura 27, tabela 4).

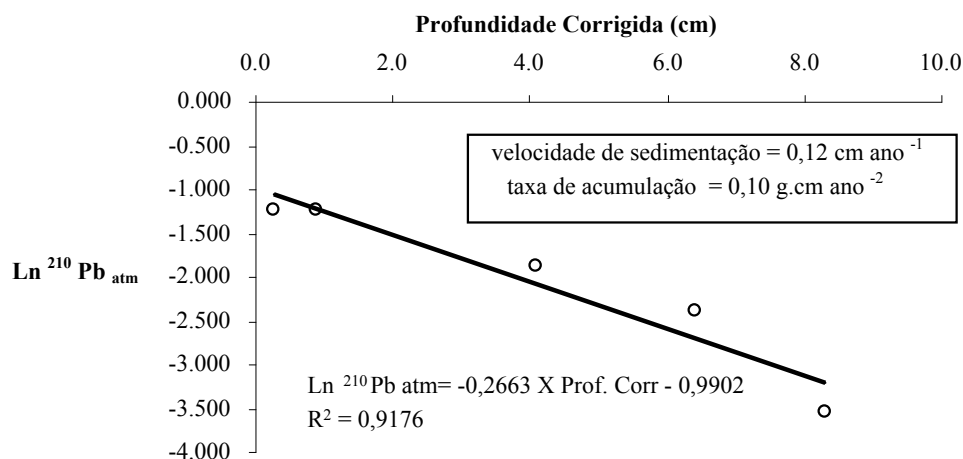


Figura 27. Atividade do $^{210}\text{Pb}_{\text{atm}}$ em relação à profundidade (cm) pela aplicação do modelo CIC para cinco fatias do testemunho LG05-04.

Tabela 04. Cálculo da idade e data correspondente das 10 fatias previamente selecionadas do testemunho LG05-04.

Profundidade real (cm)	Profundidade corrigida (cm)	Idade (anos)	Data
3	0,27	2,3	2003
9	0,87	7,4	1998
18	2,8	24	1981
26	4,1	35	1970
30	4,9	42	1963
35	6,4	55	1950
41	8,3	71	1934
46	11,2	96	1909
51	16,0	137	1868
58	25,7	220	1785

Na figura 28 observa-se a plotagem do $\ln^{210}\text{Pb}_{\text{atm}}$ versus a profundidade corrigida das fatias restantes, incluindo a reanálise da profundidade de 58 cm. Por se tratar de camada mais antiga, o cálculo da idade poderia estar incorreto, em virtude da quantidade de amostra utilizada (2 g), que pode ter sido pouca para a obtenção de picos nas contagens radiométricas e conseqüente diminuição de sua idade.

Embora a correlação obtida ($r^2 = 0,82$) tenha sido menor do que a anterior ($r^2 = 0,91$), o valor é considerado aceitável e com a obtenção de mais pontos, melhorou a relevância estatística da determinação. Em relação à fatia 58 cm, foi possível verificar uma datação mais real, que outrora fora de 1785, sendo agora de 1919 (tabela 5).

A figura 29 apresenta as taxas de sedimentação calculadas para o Lago das Garças no período de 1919 a 2005. Percebe-se nítido aumento a partir da década de 80.

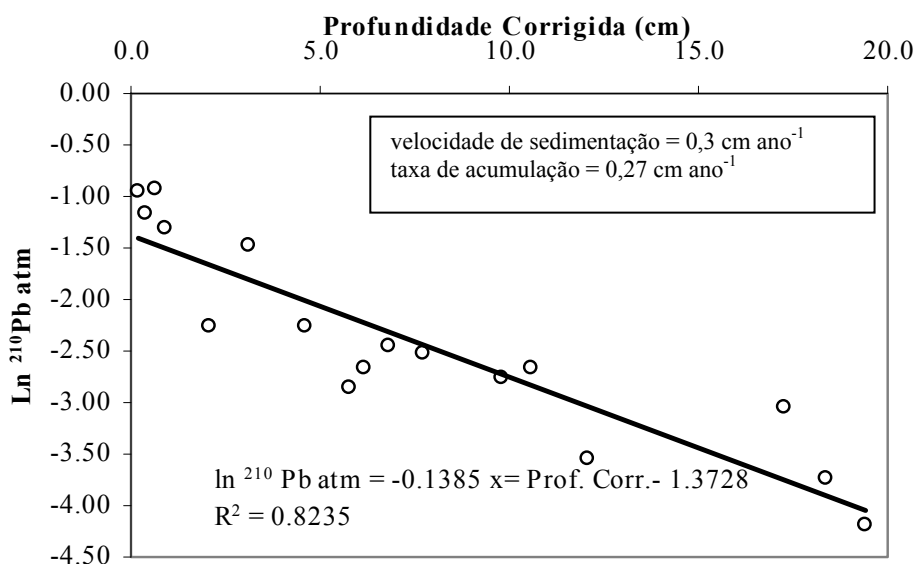


Figura 28. Atividade do ^{210}Pb atmosférico *versus* profundidade corrigida (cm) para 17 fatias do testemunho LG05-04.

Tabela 05. Idades de 17 fatias do testemunho LG05-04.

Profundidade real (cm)	Profundidade corrigida (cm)	Idade (anos)	Data de sedimentação
3	0,27	0,9	2004
6	0,55	1,8	2003
9	0,87	2,9	2002
12	1,24	4,2	2001
18	2,77	9,3	1996
26	4,11	13,8	1991
34	6,08	20,4	1985
38	7,41	24,8	1980
41	8,29	27,8	1977
43	9,00	30,1	1975
45	10,27	34,4	1971
48	12,94	43,3	1962
49	14,05	47,1	1958
51	16,05	53,8	1951
56	22,90	76,7	1928
57	24,41	81,8	1923
58	25,74	86,1	1919

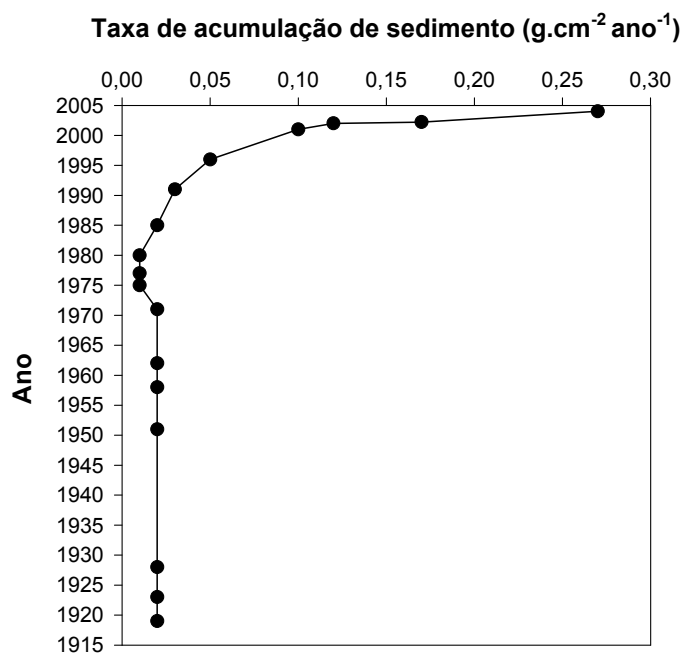


Figura 29. Taxa de acumulação de sedimento no Lago das Garças no período de 1919 a 2005.

6.3.3. Granulometria

A medida do tamanho das partículas constituintes de um solo é feita por meio da granulometria e a representação se dá usualmente pela curva de distribuição granulométrica.

De acordo com a análise realizada, verifica-se que os grãos predominantes no testemunho foram o silte grosso (16 μm) e o silte muito grosso (30 μm) (figura 30). As amostras das frações correspondentes aos anos de 1912, 1916, 1947 e 1993 foram constituídas apenas de areia muito fina (63 μm). A fatia correspondente ao ano de 1932 obteve 100% de areia média (250 μm) e as amostras correspondentes à base do testemunho (1894, 1903, 1907 e 1938) foram compostas de areia fina (125 μm) (100%).

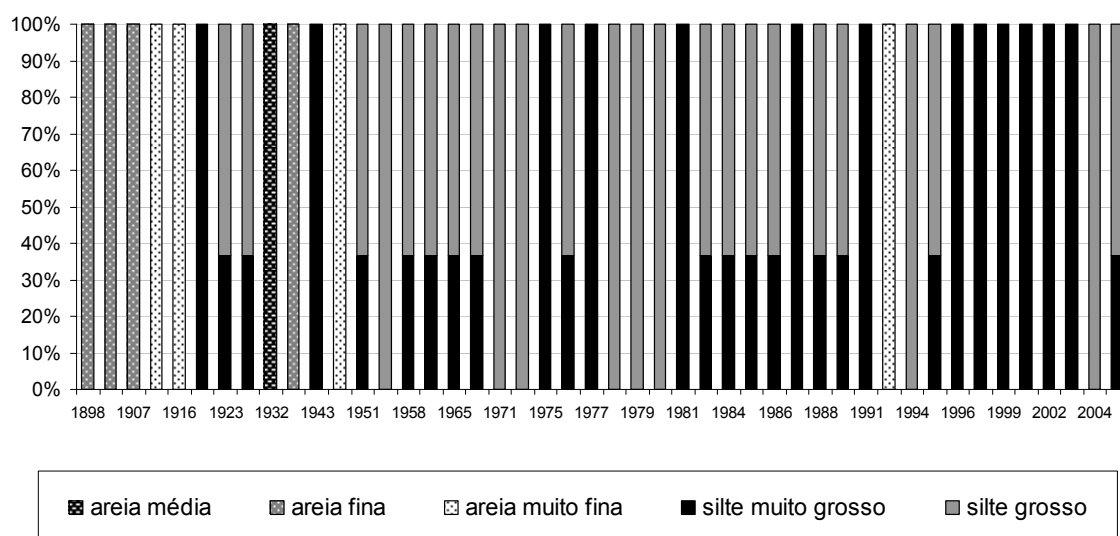


Figura 30. Granulometria do testemunho LG05-03.

6.3.4. Teor de fósforo (P), nitrogênio (N) e de matéria orgânica (MO)

As concentrações de fósforo (P) ao longo do testemunho LG05-03 variaram de 317 a 5849 mgP kg⁻¹ de massa seca de sedimento, com média de 2285 ± 1534 mgP kgMS⁻¹. A figura 31 demonstra o incremento de fósforo em direção às camadas mais recentes.

Tendência similar foi observada para os teores de nitrogênio (N). Assim, foi observado um pico em 2005, de 13506 mgN kgMS⁻¹, enquanto que na base, nos anos de 1894 a 1907, os teores estiveram abaixo do limite detectável para o método (figura 32).

A matéria orgânica (MO) variou de 4 a 32%, com média de $16 \pm 6\%$ (figura 33). Observou-se tendência de aumento de seu teor com a evolução temporal, havendo pico de 32% em 1979.

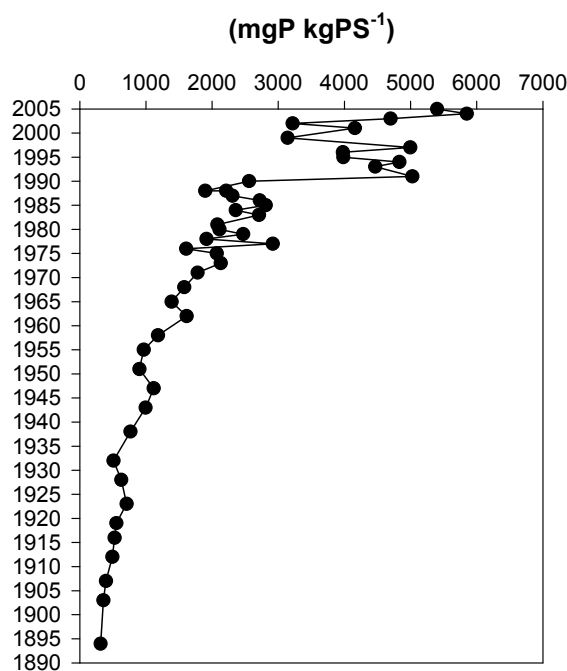


Figura 31. Teores de fósforo (mgP kgMS⁻¹) no perfil do testemunho LG05-03, compreendendo os anos de 1894 a 2005.

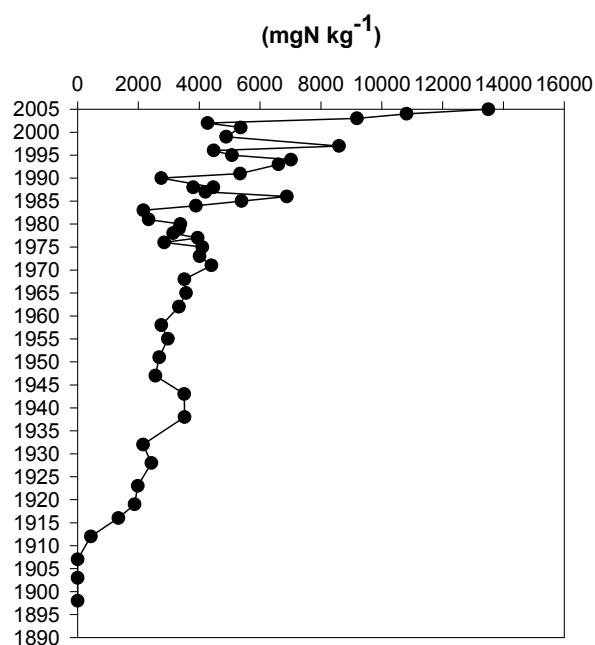


Figura 32. Teores de N (mgN kgMS^{-1}) no perfil do testemunho LG05-03, compreendendo os anos de 1894 a 2005. Na base do testemunho (1894 a 1912), os valores estiveram abaixo do limite de detecção do método ($100 \text{ mgN kgMS}^{-1}$).

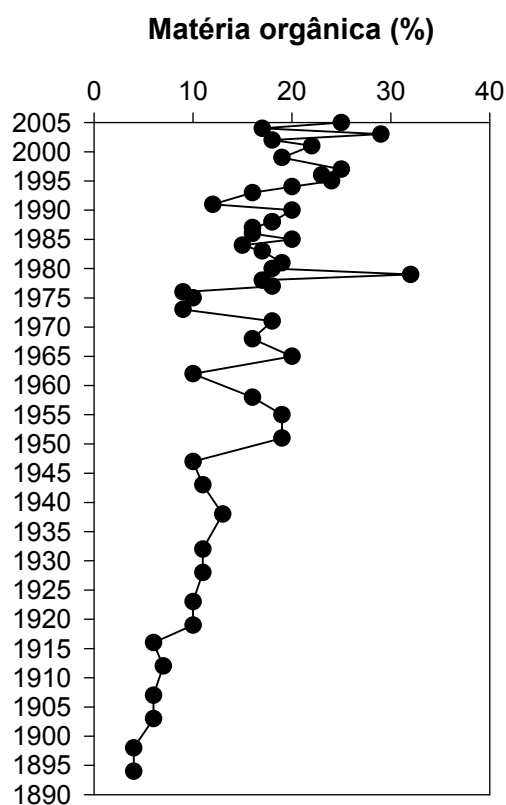


Figura 33. Teores de matéria orgânica no testemunho LG05-03 compreendendo os anos de 1894 a 2005.

6.4. Estrutura Qualitativa e Quantitativa das Diatomáceas

6.4.1. Composição taxonômica

Resultou na identificação de 80 táxons (76 espécies e 4 variedades), dos quais 47 (59%) foram registrados pela primeira vez para o Lago das Garças, considerando tanto os trabalhos taxonômicos quanto os ecológicos, nos quais aparecem em listas taxonômicas.

No anexo 5 são fornecidas medidas e ilustrações dos táxons inventariados nos testemunhos LG05-04 e 03, bem como a distribuição temporal dos mesmos no Lago das Garças. A numeração das figuras é seqüencial para as pranchas de fotografias e abrange as espécies mais comuns, com densidade valvar relativa maior ou igual a 5%.

Segue abaixo o enquadramento sistemático dos táxons identificados. Os que aparecem seguidos de (*) são novas citações para o Lago das Garças.

CLASSE COSCINODISCOPHYCEAE

Ordem Thalassiosirales

Família Stephanodiscaceae

Gênero *Cyclotella*

Cyclotella meneghiniana Kützing var. *meneghiniana*

Gênero *Discostella*

Discostella pseudostelligera (Husted) Houk & Klee (*)

D. stelligera (Cleve & Grunow) Houk & Klee

Ordem Aulacoseirales

Família Aulacoseiraceae

Gênero *Aulacoseira*

Aulacoseira alpigena (Grunow) Krammer (*)

A. ambigua (Grunow) Simonsen (*)

A. granulata (Ehrenberg) Simonsen var. *angustissima* (O. Muller)

A. granulata (Ehrenberg) Simonsen var. *granulata*

Ordem Orthoseirales

Família Orthoseiraceae

Gênero *Orthoseira*

Orthoseira roeseana (Rabenhorst) O' Meara (*)

CLASSE FRAGILARIOPHYCEAE

Ordem Fragilariales

Família Fragilariaceae

Gênero *Fragilaria*

Fragilaria capucina Dèsmazieres (*)

Fragilaria sp₁ (*)

Fragilaria sp₂ (*)

Staurosirella sp. (*)

Staurosira sp. (*)

Gênero *Ulnaria*

Ulnaria ulna (Nitzsch) Ehrenberg

CLASSE BACILLARIOPHYCEAE

Ordem Eunotiales

Família Eunotiaceae

Gênero *Eunotia*

Eunotia bilunaris Ehrenberg (*)

E. maior Wm. Smith (*)

E. monodon Ehrenberg

E. nymanniana (Grunow) Van Heurck (*)

Eunotia cf. *quaternaria* Ehrenberg (*)

E. rabenhorstii Cleve & Grunow (*)

E. sudetica O.F. Muller

E. tenella (Grunow) A. Cleve

Eunotia cf. *zygodon* Ehrenberg (*)

Ordem Cymbellales

Família Cymbellaceae

Gênero *Cymbella*

Cymbella affinis Kützing (*)

C. turgidula Grunow (*)

Gênero *Encyonema*

Encyonema mesianum (Cholnoky) Mann (*)

E. silesiacum (Bleisch in Rabenhorst) Mann

Gênero *Placoneis*

Placoneis elginensis (Gregory) Cox (*)

P. gastrum (Ehrenberg) Mereschowsky (*)

Placoneis sp. (*)

Gênero *Encyonopsis*

Encyonopsis microcephala (Grunow) Krammer (*)

Família Gomphonemataceae

Gênero *Gomphonema*

Gomphonema brasiliensis Grunow (*)

G. clavatum Ehrenberg

G. clevei Fricke (*)

G. gracile Ehrenberg

G. parvulum (Kützing) Kützing

G. truncatum Ehrenberg

Ordem Achnanthales

Família Achnanthaceae

Gênero *Achnanthes*

Achnanthes coarctata (Brébisson) Grunow (*)

A. exigua (Grunow) Czamecki var. *constricta* (Grunow) Hustedt

A. minutissima Kützing

Família Achnanthidiaceae

Gênero *Achnanthidium*

Achnanthidium cf. *biasolettianum* (Maillard) Lange-Bertalot (*)

A. catenatum (Bily & Marvan) Lange-Bertalot

A. exiguum (Grunow) Czamecki var. *exiguum*

A. minutissimum (Kützing) Czamecki

Gênero *Planothidium*

Planothidium rostratum (Östrup) Lange-Bertalot

Gênero *Lemnicola*

Lemnicola hungarica (Grunow) Round & Basson

Ordem Naviculales

Família Diadesmiaceae

Gênero *Diadesmis*

Diadesmis contenta (Grunow ex Van Heurck) Mann (*)

Gênero *Luticola*

Luticola goeppertiana (Bleisch) Mann

L. mutica (Kützing) Mann (*)

L. muticoides (Hustedt) Mann (*)

L. cf. undulata (Hilse) Andersen (*)

Família Amphipleuraceae

Gênero *Frustulia*

Frustulia crassinervia (Breb.) Lange-Bertalot (*)

Família Brachysiraceae

Gênero *Brachysira**Brachysira brebissonii* Ross*B. serians* Ross (*)*B. cf. subrostrata* Lange-Bertalot.*B. vitrea* (Grunow) Ross (*)

Subordem Sellaphorineae

Família Sellaphoraceae

Gênero *Sellaphora**Sellaphora pupula* (Kützinger) Mereschkowsky

Família Pinnulariaceae

Gênero *Pinnularia**Pinnularia acrosphaeria* W. Smith*P. brauniana* (Grunow) Mills*P. cf. dubitabilis* Husted*P. gibba* Ehrenberg*P. subcapitata* Gregory*Pinnularia divergens* (*)

Subordem Diploneidinae

Família Diploneidaceae

Gênero *Diploneis**Diploneis subovalis* Cleve (*)

Família Naviculaceae

Gênero *Navicula**Navicula cryptocephala* Kützinger*N. cryptotenella* Lange-Bertalot*N. cf. hambergii* Husted (*)*N. veneta* KützingerGênero *Nupela**Nupela praecipua* (Reichardt) Reichardt*Nupela* sp. (*)

Ordem Thalassiophysales

Família Catenulaceae

Gênero *Amphora**Amphora libyca* Ehrenberg (*)

Ordem Bacillariales

Família Bacillariaceae

Gênero *Hantzschia*

Hantzschia amphioxys (Ehrenberg) Grunow (*)

Gênero *Nitzschia*

Nitzschia amphibia Grunow (*)

N. palea (Kützinger) W. Smith

N. terrestris (Petersen) Husted (*)

Ordem Rhopalodiales

Família Rhopalodiaceae

Gênero *Rhopalodia*

Rhopalodia sp₁ (*)

Rhopalodia sp₂ (*)

Rhopalodia sp₃ (*)

Ordem Surirellales

Família Surirellaceae

Gênero *Stenopterobia*

Stenopterobia delicatissima (Lewis) Van Heurck (*)

Stenopterobia sp. (*)

6.4.2. Distribuição temporal da riqueza e diversidade das diatomáceas no Lago das Garças

Na figura 34 pode-se observar a variação dos índices biológicos relativos à diversidade durante a série temporal de aproximadamente 110 anos do Lago das Garças.

O índice de diversidade de Shannon-Wiener foi mais elevado na base do testemunho (4,2 bits ind⁻¹), correspondente ao ano de 1919. Ainda na base, variou de 2,1 a 3,1 bits ind⁻¹ durante os anos de 1923 a 1947, diminuindo abruptamente em 1951 (1,7 bits ind⁻¹). Em 1955, a diversidade torna-se novamente mais elevada, chegando a 3,4 bits ind⁻¹, seguindo tendência de aumento até 1975. Novo decréscimo foi observado nos anos de 1977 e 1978, com os valores mais baixos registrados ao longo do testemunho, 0,5 e 0,6 bits ind⁻¹, respectivamente. Novamente a diversidade tende a aumentar a partir de 1979 (2,0 bits ind⁻¹) até 1988 (3,2 bits ind⁻¹), diminuindo em 1993 (1,3 bits ind⁻¹) e, finalmente, tornando a aumentar no topo do testemunho, quando variou de 2,6 bits ind⁻¹ (1995) a 2,7 bits ind⁻¹ (2005).

A riqueza apresentou tendência de variação semelhante à diversidade. Os anos de 2003 e 2005 apresentaram o maior número de táxons (28), seguido pelos anos de 1919 e 1999, ambos com

27 táxons. A riqueza foi menor no ano de 1951, com apenas 4 táxons, variando de 6 a 23 ao longo do testemunho.

Observa-se um leve aumento gradual da equitabilidade a partir do ano de 1923 até 1975, variando de 0,6 a 0,7, sendo que o maior valor ocorreu em 1919 (0,9). Houve diminuição abrupta nos anos de 1977 e 1978 (0,2), seguida de aumento de 1979 (0,5) a 1988 (0,7), diminuindo novamente em 1993 (0,3). No topo do testemunho os valores variaram entre 0,4 a 0,6.

Ocorreram quatro picos marcados de dominância nos anos de 1951 (0,3), 1977 e 1978 (0,8) e, ainda, em 1993 (0,6). De modo geral, ao longo do testemunho a dominância manteve-se relativamente baixa, variando de 0,1 a 0,3.

Como tendência geral, os picos marcados de queda da diversidade (1951, 1977, 1978 e 1993) foram claramente acompanhados pela brusca diminuição de riqueza e aumento de dominância (figura 34).

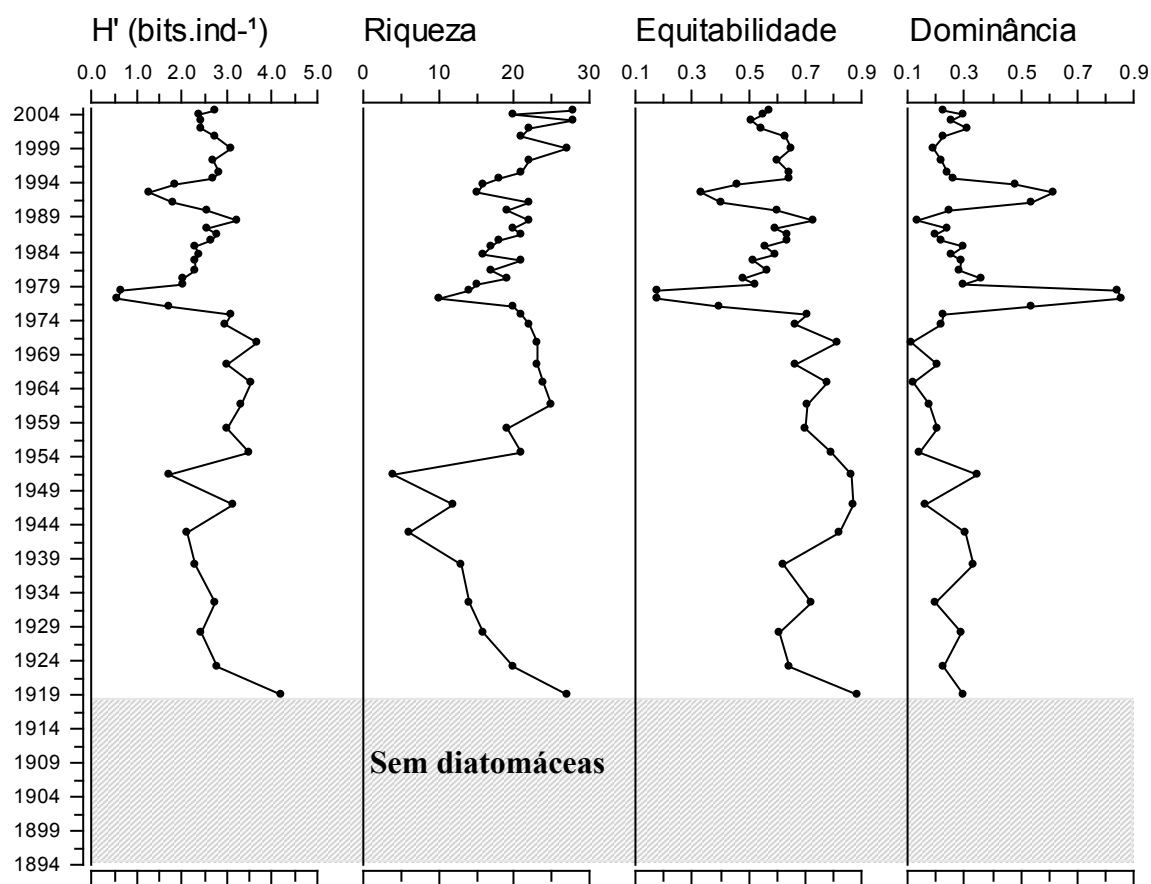


Figura 34. Evolução temporal dos índices de diversidade de Shannon-Wiener, riqueza, equitabilidade e dominância de Simpson no Lago das Garças.

6.4.3. Registro das diatomáceas e zoneamento estratigráfico

Dos 80 táxons identificados ao longo do testemunho, foram selecionadas as espécies com densidade relativa igual ou maior do que 5% da densidade total de cada fatia, nível de corte usualmente adotado em trabalhos paleolimnológicos, totalizando 22 espécies.

Embora o testemunho tenha alcançado uma profundidade máxima de 64 cm (ca. 1894), as diatomáceas estiveram presentes a partir da profundidade de 58 cm (1919). Desta forma, inicia-se a partir desta data a avaliação das mudanças na estrutura de espécies de diatomáceas.

A partir do programa C2, foi elaborado o diagrama final que apresenta a estratigrafia com base nas espécies que estiveram presentes em pelo menos uma fatia ao longo do testemunho com contribuição ($\geq 5\%$), totalizando 22 táxons (figura 35):

SUBZONA 1 (58-53 cm; 1919 a 1943)

O início do período foi marcado pelo aparecimento das espécies *Brachysira brebissonii*, *Eunotia rabenhorstii*, com 4% cada; ainda, das espécies *Luticola mutica*, *Frustulia crassinervia*, *Nitzschia terrestris* e *Eunotia sudetica* com densidade de 13% e destacando-se *Diademesmis contenta* com abundância de 18%.

Essa subzona foi dominada por *Aulacoseira granulata* var. *granulata*, com abundância de 54,5% em 1938 e de 50% em 1943. *Fragilaria capucina* esteve presente praticamente ao longo de toda a zona, com abundâncias baixas a moderadas (24% em 1923, 8% em 1928), seguida por *Discostella stelligera* (21% em 1932), *Aulacoseira ambigua* (19% em 1928), *Achnanthisdium catenatum* (13% em 1932) e *Cyclotella meneghiniana* (8%, 1943).

ZONA 1 (53–43 cm; 1944 a 1975)

A fase foi marcada pelo aparecimento e desaparecimento de *Brachysira vitrea*, *Eunotia quaternaria*, *Encyonopsis microcephala*, *Planothidium rostratum* e *Pinnularia dubitabilis*. Ainda, desapareceram *Stenopterobia* sp. e *A. granulata* var. *granulata*, a qual reaparece no final do período. Da mesma forma, ocorreu diminuição brusca nas densidades de *Achnanthisdium catenatum*, chegando a menos de 1%.

Diademesmis contenta foi dominante (50% em 1951) com maiores abundâncias nessa zona (37 a 40%), seguida por *Fragilaria capucina* (30% em 1955). Simultaneamente, as abundâncias de *Luticola mutica*, *Frustulia crassinervia*, *Nitzschia terrestris*, *Eunotia rabenhorstii*, *Hantzschia amphioxys* e *Brachysira brebissonii* foram mais elevadas, enquanto ocorreu uma diminuição das densidades de *Eunotia sudetica* ao longo do período outrora com cerca de 4% de densidade.

ZONA 2 (43-30 cm; 1976 a 1988)

Nesse período, ocorreu o desaparecimento das espécies que se destacaram na zona 1 (*Diademesmis contenta*, *Luticola mutica*, *Frustulia crassinervia*, *Nitzschia terrestris*, *Eunotia rabenhorstii*, *Eunotia quaternaria* e *Hantzschia amphioxys*), com exceção de *Fragilaria capucina*. Ainda, *Discostella stelligera* destacou-se como dominante, contribuindo com 92% em 1977 e 91%

em 1978. As espécies *Fragilaria capucina*, *Aulacoseira ambigua* e *A. granulata* var. *granulata* também apresentaram densidades mais elevadas, seguidas por *Nitzschia* sp., *Achnanthydium catenatum* e *Aulacoseira alpigena*.

ZONA 3 (30-22 cm ; 1989 a 1994)

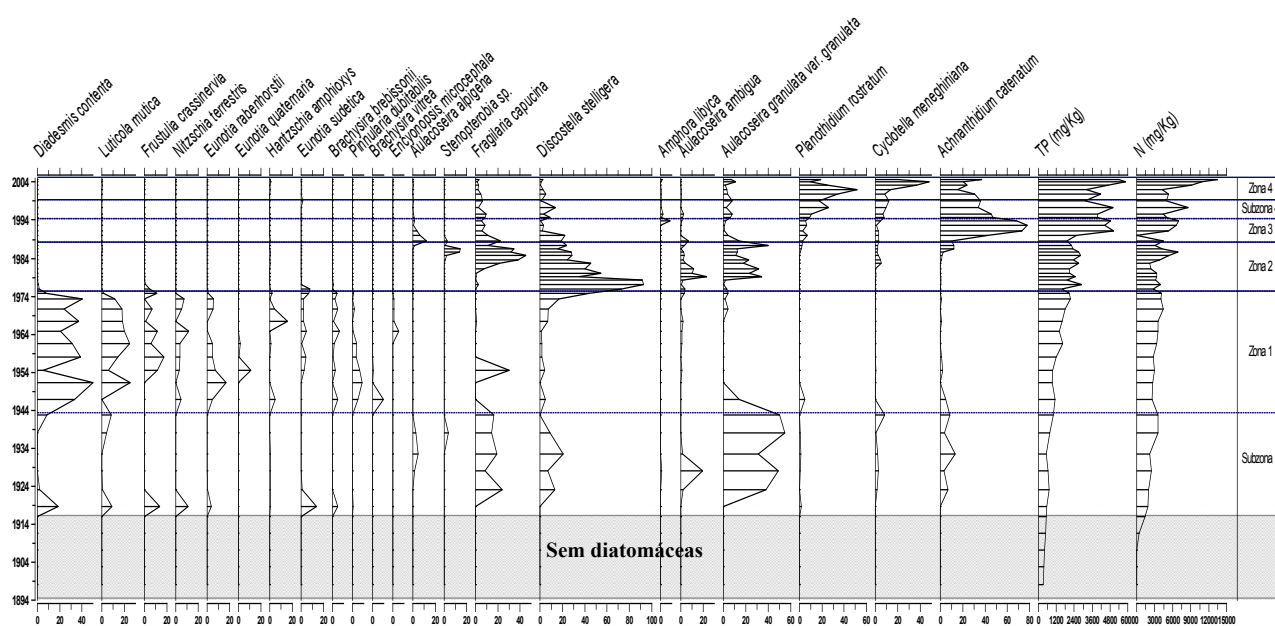
Neste período destaca-se *Achnanthydium catenatum*, que foi mais abundante em todo o período, sendo dominante em 1993 (77% de contribuição). Ainda, *Amphora libyca* apresentou sua maior densidade nessa zona (8% em 1994). Três espécies apresentaram considerável diminuição de abundância. Assim, as abundâncias de *Fragilaria capucina* (22% em 1988), *Discostella stelligera* (22%, 1990) e *A. granulata* var. *granulata* (14%, 1988) decresceram para 5%, 2% e 1% (1991), respectivamente, coincidindo com o aumento abrupto dos teores de P (de 1.896 mg kg⁻¹ em 1988 para 5.027 mg kg⁻¹, em 1991), enquanto as concentrações de N aumentaram gradualmente. Finalmente, nessa fase, ocorreu o desaparecimento de *Stenopterobia* sp.

SUBZONA 4 (22-14 cm; 1995 a 1999)

Não houve dominância nesse período. *Achnanthydium catenatum* continua sendo a espécie mais abundante (36%, 1999), seguida por *Planothydium rostratum* (26%, 1997) e *Cyclotella meneghiniana* (12%, 1999). *Aulacoseira alpigena* desaparece nessa fase. Os teores de P e N continuaram aumentando, com picos elevados em 1997, com valores de 4.996 mg kg⁻¹ e 8.596 mg kg⁻¹, respectivamente.

ZONA 4 (14–0 cm; 2000 a 2005)

Esse período foi dominado por *Planothydium rostratum* em 2002 (51%) e pela elevada abundância de *Cyclotella meneghiniana* (48%, 2004). *A. catenatum* continua com densidade elevada (cerca de 30% em 2004). Ocorreu uma diminuição considerável das abundâncias de *Fragilaria capucina* e *Discostella stelligera*, que chegaram a 1% de contribuição no final do período, bem como o desaparecimento de *Aulacoseira ambigua*. Os teores de P e N foram mais elevados nesse período, atingindo valores em 2005 de 5.402 mg kg⁻¹ e 13.506 mg kg⁻¹, respectivamente.



6.4.4. Análise de componentes principais

A análise de componentes principais (ACP), realizada a partir da abundância das espécies de diatomáceas com densidade relativa igual ou maior a 1% (total de 43 táxons), resumiu 40% da variabilidade conjunta dos dados em seus dois primeiros eixos de ordenação (figura 36). Observa-se a nítida separação entre as unidades amostrais em função da série temporal do sistema, de forma que os anos relativos ao período da zona 1, principalmente, e parte da subzona 1 (até 1975) ordenaram-se à esquerda do eixo, enquanto que os demais (zonas 2 a 4) ordenaram-se à direita do eixo.

Por um lado, 17 táxons apresentaram elevada correlação ($r \geq 0,5$) com o lado negativo do eixo 1 e, assim, com o período anterior a 1975 (tabela 6). As espécies, pela ordem decrescente de correlação, foram: *Diademesis contenta* ($r = -0,91$), *Brachysira brebissonii* ($r = -0,87$), *Luticola mutica* ($r = -0,84$), *Nitzschia terrestris* ($r = -0,83$), *Frustulia crassinervia* ($r = -0,82$), *Luticola muticoides* ($r = -0,80$), *Pinnularia sp.* e *Eunotia rabenhorstii* ($r = -0,77$), *E. sudetica* ($r = -0,73$), *Pinnularia dubitabilis* e *P. subcapitata* ($r = -0,65$), *Gomphonema parvulum* ($r = -0,62$), *Rhopalodia sp.1* ($r = -0,59$), *Encyonopsis microcephala* ($r = -0,58$), *Eunotia tenella* ($r = -0,54$) e *Luticola goeppertiana* ($r = -0,50$). Por outro lado, sete táxons apresentaram elevada correlação ($r \geq 0,5$) com o lado positivo do eixo 1, ou seja, com o período posterior a 1975 (1976-2005). Pela ordem crescente de correlação com o eixo, os táxons foram: *Cyclotella meneghiniana* ($r = 0,67$), *Achnanthes catenatum* ($r = 0,65$), *Fragilaria capucina* ($r = 0,63$), *Achnanthes minutissimum* ($r = 0,60$), *Aulacoseira granulata* var. *granulata* ($r = 0,56$), *A. granulata* var. *angustissima* ($r = 0,52$) e *Ulnaria ulna* ($r = 0,50$).

No eixo 2 também ocorreu separação temporal das unidades amostrais, de forma que do lado positivo ordenou-se, principalmente, o período relativo à zona 2 (1976-1988) e, em seu lado negativo, as zonas subsequentes, ou seja, abrangendo o período 1989-2005. Duas espécies apresentaram maior associação com a zona 2, *Discostella stelligera* ($r = 0,58$) e *Aulacoseira ambigua* ($r = 0,45$), enquanto que *Planothidium rostratum* ($r = 0,60$) e *Achnanthes exiguum* var. *exiguum* ($r = 0,48$) associaram-se com as zonas 3-4, principalmente a partir da zona 4 (2000-2005).

Em síntese, análise conjunta da estrutura das diatomáceas ao longo da estratigrafia do Lago das Garças apontou maior alteração da comunidade a partir de 1975, período a partir do qual também se observou aumento mais nítido na série temporal de fósforo, mas não de nitrogênio. Ainda, no eixo 2, notou-se a segunda maior mudança temporal, que ocorreu a partir de 1991, principalmente quando novamente se verificou elevação mais pronunciada dos teores de fósforo e, agora, também do nitrogênio. Finalmente, observou-se um agrupamento das unidades amostrais a partir de 2001 (no extremo negativo do eixo 2), coincidente com outro salto nos teores de fósforo e de nitrogênio (figura 36).

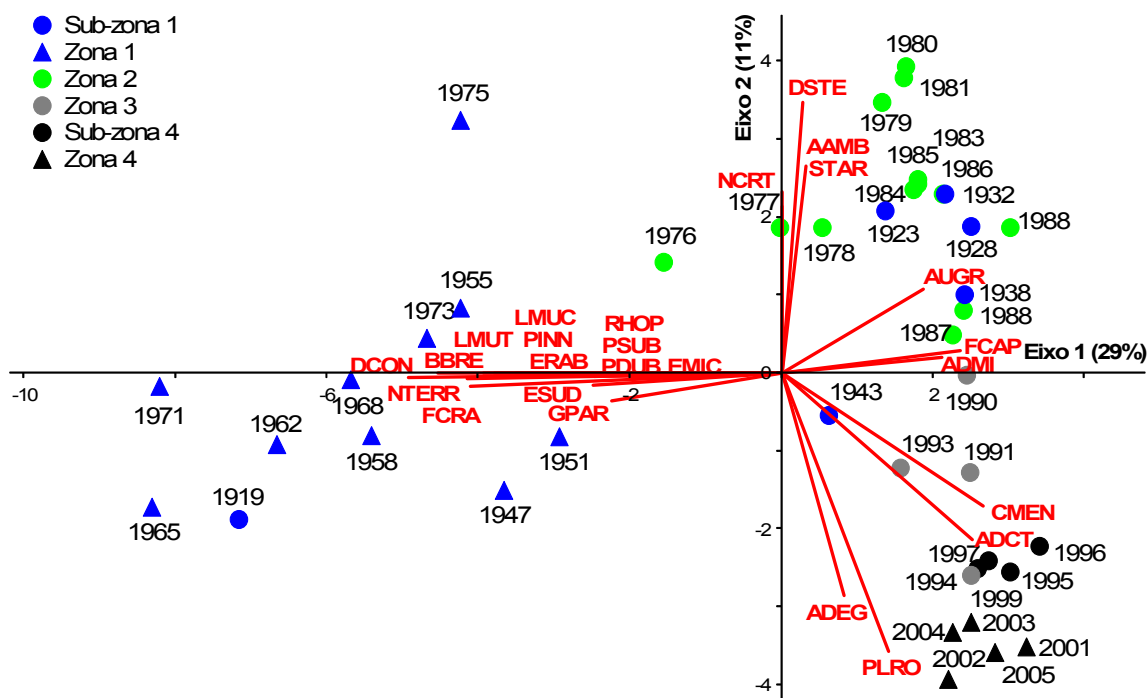


Figura 36. Ordenação pela ACP das unidades amostrais do perfil estratigráfico do Lago das Garças, com base na abundância das diatomáceas (> 1% de contribuição para cada fatia). Legenda: subzona 1 (1919-1943), zona 1 (1944-1975), zona 2 (1976-1988), zona 3 (1989-1994), subzona 4 (1995-1999) e zona 4 (2000-2005). Abreviação dos vetores (táxons), conforme tabela 6.

Tabela 6. Correlação dos táxons de diatomáceas com os componentes principais 1 e 2.

Espécies	Abreviações	Componentes Principais	
		1	2
<i>Achnantheidium catenatum</i>	ADCT	0,649	-0,361
<i>A. exiguum</i> var. <i>exiguum</i>	ADEG	0,374	-0,482
<i>Achnantheidium minutissimum</i>	ADMI	0,596	0,035
<i>Amphora libyca</i>	ALIB	0,359	0,168
<i>Aulacoseira alpigena</i>	AUAL	0,402	0,001
<i>Aulacoseira ambigua</i>	AAMB	0,229	0,447
<i>A. granulata</i> var. <i>angustissima</i>	AUGA	0,515	0,071
<i>A. granulata</i> var. <i>granulata</i>	AUGR	0,560	0,182
<i>Brachysira brebissonii</i>	BBRE	-0,874	0,002
<i>B. vitrea</i>	BVIT	-0,182	0,006
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	CMEN	0,669	-0,287
<i>Diadesmis contenta</i>	DCON	-0,911	0,010
<i>Discostella stelligera</i>	DSTE	0,218	0,583
<i>Encyonopsis microcephala</i>	EMIC	-0,580	0,010
<i>Encyonema silesiacum</i>	ESIL	-0,027	0,028
<i>Eunotia tenella</i>	ETEN	-0,545	0,026
<i>E. cf. quaternaria</i>	EQUA	-0,317	0,001
<i>E. rabenhorstii</i>	ERAB	-0,769	0,005
<i>E. sudetica</i>	ESUD	-0,729	-0,005

Tabela 6. Continuação.

		Componentes Principais	
Espécies	Abreviações	1	2
<i>Fragilaria capucina</i>	FCAP	0,631	0,049
<i>Frustulia crassinervia</i>	FCRA	-0,815	-0,000
<i>Gomphonema gracile</i>	GGRA	-0,447	0,005
<i>G. parvulum</i>	GPAR	-0,615	-0,062
<i>G. truncatum</i>	GTRU	0,241	0,148
<i>Hantzschia amphioxys</i>	HAMP	-0,481	0,000
<i>Luticola goeppertiana</i>	LGOP	-0,500	0,005
<i>L. mutica</i>	LMUT	-0,837	0,011
<i>L. muticoides</i>	LMUC	-0,799	0,000
<i>Navicula cryptocephala</i>	NCRC	0,133	0,006
<i>N. cryptotenella</i>	NCRT	0,043	0,391
<i>Nitzschia palea</i>	NPAL	0,320	0,272
<i>N. amphibia</i>	NAMP	0,103	0,018
<i>N. terrestris</i>	NTERR	-0,832	-0,030
<i>Stenopterobia sp.</i>	NTZS	0,249	0,071
<i>Pinnularia dubitabilis</i>	PDUB	-0,647	0,008
<i>Pinnularia sp.</i>	PINN	-0,769	0,001
<i>P. subcapitata</i>	PSUB	-0,647	0,030
<i>Planothidium rostratum</i>	PLRO	0,487	-0,603
<i>Rhopalodia sp.</i>	RHOP	-0,589	0,002
<i>Sellaphora pupula</i>	SPUP	-0,101	0,101
<i>Staurosira sp.</i>	STAU	0,196	0,003
<i>Staurosirella sp.</i>	STAR	0,040	0,361
<i>Ulnaria ulna</i>	UULN	0,499	0,111
Varição explicada		29,1%	11,6%

6.4.4. Análise de correspondência canônica

A análise de correspondência canônica (ACC) foi realizada a partir dos táxons de diatomáceas utilizados para a construção do diagrama estratigráfico (figura 37), ou seja, as que contribuíram com pelo menos 5% da densidade total de cada fatia sedimentar (22 táxons).

Os autovalores para os eixos 1 ($\lambda_1 = 0,227$) e 2 ($\lambda_2 = 0,052$) foram estatisticamente significativos ($P = 0,02$) pelo teste de Monte Carlo (figura 37, tabela 7). As correlações espécie-ambiente foram elevadas para ambos os eixos (eixo 1, $r = 0,6$ e eixo 2, $r = 0,5$), entretanto, só foi significativa para o primeiro componente, razão pela qual a interpretação será baseada exclusivamente neste eixo de ordenação (tabela 7).

Assim, no eixo 1, ocorreu a separação das unidades amostrais correspondentes à base do testemunho (subzona 1 e zona 1: 1919-1975), posicionando-se, no extremo esquerdo do eixo, a subzona 1 (1919-1943). Do lado positivo, ordenaram-se as unidades amostrais a partir da zona 3 (1989-2005). Posição intermediária foi verificada para a zona 2 (1976-1988).

As correlações “intra-set”, as quais consideram a relação espécie-ambiente, indicaram que o fósforo ($r = 0,997$) foi a variável que mais pesou na ordenação do eixo 1, seguido pelo nitrogênio ($r = 0,832$).

As espécies mais correlacionadas com o lado negativo do eixo, ou seja, associadas com o período até 1975 e com os valores mais baixos de nutrientes (subzona 1 e zona 1), foram pela ordem: *Diademesmis contenta* ($r = -0,47$), *Luticola mutica* ($r = -0,46$) e *Pinnularia dubitabilis* ($r = -0,40$). Quatro espécies se associaram com o período mais enriquecido da série temporal, de 1989-2005 (zona 3 e 4), que pela ordem de maior correlação com o eixo 1 foram: *Planothidium rostratum* ($r = 0,62$), *Cyclotella meneghiniana* ($r = 0,60$), *Achnanthes catenatum* ($r = 0,55$) e *Amphora libyca* ($r = 0,41$) (tabela 8).

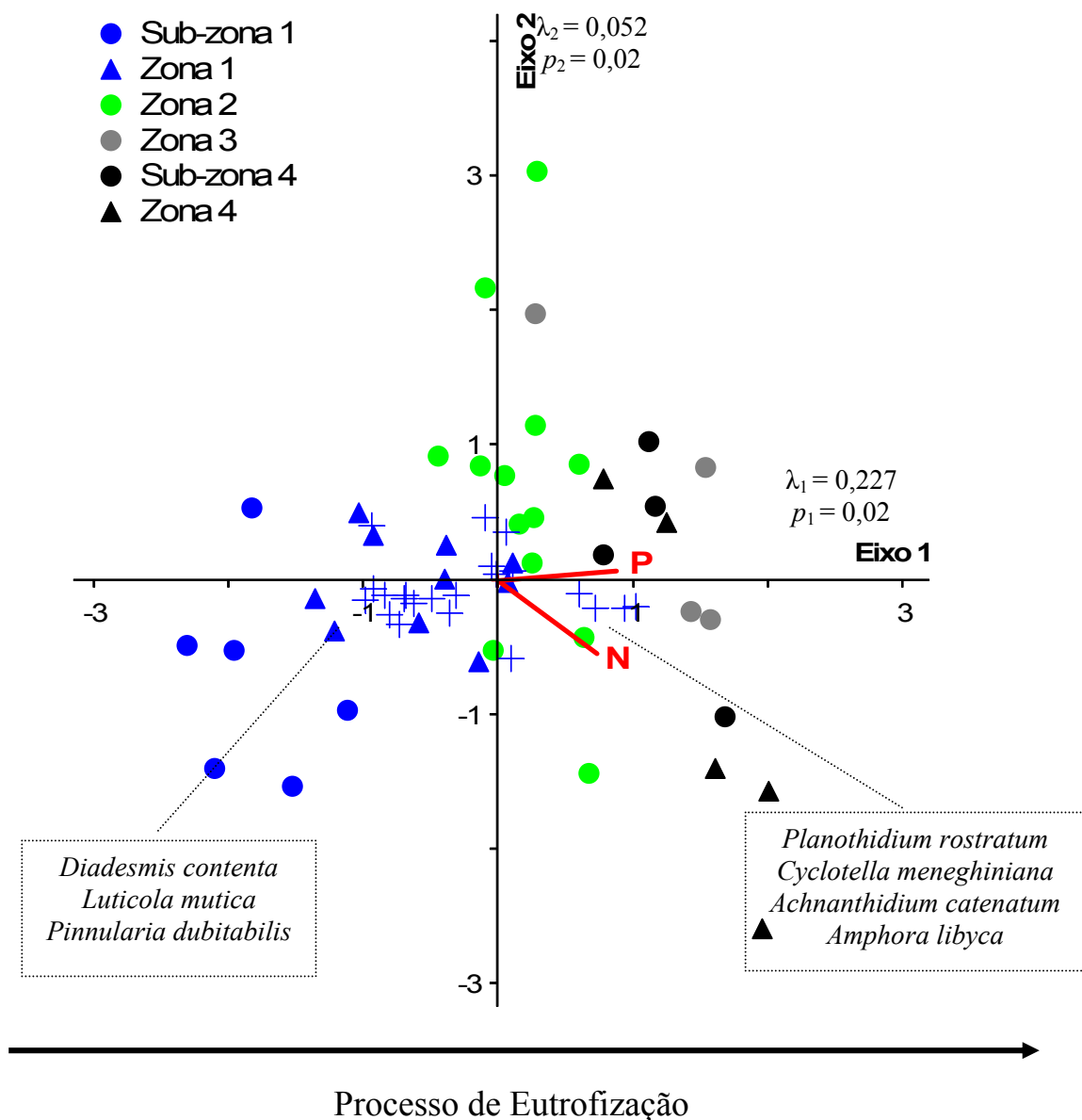


Figura 37. Ordenação pela ACC das unidades amostrais do perfil estratigráfico do Lago das Garças, com base na abundância das diatomáceas (> 5% de contribuição para cada fatia). Legenda: subzona 1 (1919-1943), zona 1 (1944-1975), zona 2 (1976-1988), zona 3 (1989-1994), subzona 4 (1995-1999) e zona 4 (2000-2005). A abreviação dos vetores (táxons de diatomáceas), conforme tabela 8.

Tabela 7. Síntese dos resultados da ACC realizada a partir de duas variáveis ambientais e vinte e duas biológicas (densidade relativa de espécies de algas).

	Eixo 1	Eixo 2
Autovalores (λ)	0,227	0,052
Porcentagem de variância explicada (%)	13,7	3,1
Porcentagem de variância acumulada (%)	13,7	16,8
Correlação de Pearson (espécie-ambiente)	0,641	0,501
Teste Monte Carlo (p)		
Autovalores	0,02	0,02
Correlação espécie-ambiente	0,04	0,26

Tabela 8. Correlação das variáveis biológicas (densidade relativa de diatomáceas) com os eixos 1 e 2 de ordenação da ACC.

<i>Componentes Principais</i>			
Espécies	Abreviações	1	2
<i>Achnanthidium catenatum</i>	ADCT	0,553	-0,185
<i>Amphora libyca</i>	ALIB	0,408	-0,115
<i>Aulacoseira alpigena</i>	AUAL	-0,042	-0,008
<i>Aulacoseira ambigua</i>	AAMB	-0,136	0,371
<i>A. granulata</i> var. <i>granulata</i>	AUGR	-0,149	0,062
<i>Brachysira brebissonii</i>	BBRE	-0,335	-0,121
<i>B. vitrea</i>	BVIT	-0,183	0,066
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	CMEN	0,599	-0,261
<i>Diadesmis contenta</i>	DCON	-0,465	-0,115
<i>Discostella stelligera</i>	DSTE	-0,014	0,466
<i>Encyonopsis microcephala</i>	EMIC	-0,107	-0,082
<i>E. cf. quaternaria</i>	EQUA	-0,210	-0,043
<i>E. rabenhorstii</i>	ERAB	-0,444	-0,088
<i>E. sudetica</i>	ESUD	-0,320	-0,117
<i>Fragilaria capucina</i>	FCAP	0,051	0,012
<i>Frustulia crassinervia</i>	FCRA	-0,355	-0,098
<i>Hantzschia amphioxys</i>	HAMP	-0,192	-0,093
<i>L. mutica</i>	LMUT	-0,459	-0,240
<i>N. terrestris</i>	NTER	-0,366	-0,140
<i>Stenopterobia</i> sp.	NTZS	0,010	-0,239
<i>Pinnularia dubitabilis</i>	PDUB	-0,402	-0,056
<i>Planothidium rostratum</i>	PLRO	0,625	-0,202

7. DISCUSSÃO

7.1. Uso e Ocupação do Entorno: Histórico do PEFI e a sua Importância para o Processo de Eutrofização do Lago das Garças.

A grande maioria dos estudos paleolimnológicos enfoca a importância da obtenção de dados históricos referentes ao uso e ocupação do entorno, já que tais dados permitem uma compreensão mais acurada do histórico de informações biogeoquímicas fornecidas pelo testemunho sedimentar.

As atividades humanas podem alterar profundamente o curso do desenvolvimento de um lago, diretamente através dos afluentes ou, indiretamente, pela modificação na vegetação e no solo da bacia onde o lago está localizado (Baier *et al.* 2004).

No passado, a ocupação da bacia pelo homem foi realizada com pouco planejamento, tendo como objetivos o mínimo custo e o máximo benefício de seus usuários, sem maior preocupação com a preservação do meio ambiente. Com o crescimento demográfico e da exploração da água, os recursos naturais têm se deteriorado (Tucci 2001).

Bradbury *et al.* (2004) afirmam que o conflito potencial sobre o uso da água torna o gerenciamento da qualidade ecológica de lagos um assunto de considerável discussão. Os autores destacam, ainda, que o registro histórico oferece um caminho para avançar o entendimento da relação entre o uso da terra e a limnologia, podendo fornecer linhas de base para os esforços de restauração de lagos degradados. Conforme Johnes (1999), a compreensão da história do entorno é fundamental para o desenvolvimento de estratégias de gerenciamento sustentável em lagos enriquecidos nutricionalmente.

Alterações nas cargas de nutrientes e sedimentos podem resultar de distúrbios antropogênicos, tais como o desenvolvimento urbano, construção de rodovias, agricultura, entre outros (Zalat 2000). Os dados limnológicos raramente registram, de forma mais completa, os efeitos dessas atividades, já que geralmente são coletados em curto intervalo de tempo, o que dificulta o registro das condições pré-distúrbio (Smoak & Swarzenski 2004). Neste sentido, os sedimentos lacustres podem preservar a história ambiental da bacia de drenagem e fornecer informações valiosas sobre a resposta do lago às influências externas, podendo, desta forma, ser úteis em predições acerca de como as mudanças futuras poderiam alterar o sistema (Brenner *et al.* 1993).

No presente estudo, a datação indireta permitiu traçar os principais eventos ocorridos no entorno do PEFI e, mais particularmente, no Lago das Garças.

Uma das grandes contribuições para a compreensão da dinâmica dos ecossistemas presentes no PEFI está compilada em Bicudo *et al.* (2002a), englobando, inclusive, parte considerável do histórico do Parque. Contudo, tornou-se necessário uma busca mais apurada sobre sua história, especialmente, em relação à origem do Lago das Garças. Desse modo, como descrito anteriormente,

foram consultados diversos documentos, dentre outros materiais, em diferentes instituições (item 6.1, página 21).

As informações mais relevantes pertinentes ao objetivo desse estudo são discutidas a seguir. Entretanto, dentre essas, destaca-se o processo 594094/65, movido pelo Instituto de Botânica (IBt) contra a Siderúrgica Aliperti, desapropriando áreas da referida empresa para edificação da portaria número 1 - acesso ao Jardim Botânico e instalação do estacionamento para visitantes. Ainda, o processo 216/76, excluindo área do IBt a favor dos herdeiros de Salomão Bumaruff, este fato não apenas motivou o levantamento de informações relevantes outrora dispersas, como também, em 1997, trouxe elementos para se instalar outro processo (processo PPI 415/97), desta vez do IBt contra a Aliperti. Tais processos possibilitaram a obtenção de mapas e plantas valiosos para a história do Parque, bem como a elaboração, pelo Sr. João Penna, do documento que contém toda a evolução da área em termos de divisões entre as diferentes instituições (anexo 1).

7.1.1. Origem do Lago das Garças

O reforço no abastecimento de água da capital paulistana foi solicitado e promulgado em 1892 mediante Lei de número 62 do mesmo ano (CLDSP 1892). Desde 1893, a área da qual o PEFI é constituído teve sua importância reconhecida como “unidade de conservação”, quando o governo na época determinou a desapropriação de 12 lotes pertencentes a sitiantes, correspondendo a uma área total de 696,96 ha, visando tanto ao abastecimento de água quanto à preservação das nascentes localizadas no Parque (Barbosa *et al.* 2002). O atual Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI) era conhecido como “Matta do Estado” ou “Parque do Estado”, ou, ainda, “Parque da Água Funda”, de acordo com mapas e plantas da época. Em 1901, alguns terrenos continuaram a ser desapropriados pelo Estado a fim de preservar suas nascentes (CLDSP 1901), denotando o reconhecimento de sua importância. A última desapropriação ocorreu em 1914 no limite ao norte do Parque.

Em 1893, o Município de São Paulo possuía apenas duas adutoras: Cantareira (na região norte) e Ypiranga (região sul), que juntas forneciam o total de 6 milhões de litros de água por dia. A adutora Ypiranga era constituída de uma pequena represa na Água Funda, que abastecia um total de 250 mil habitantes, servindo as zonas do além Tamanduateí.

Embora não tenha sido possível encontrar quaisquer documentos que registrem uma data exata sobre a construção do Lago das Garças, o levantamento a partir de 1893 de plantas e mapas da região do atual PEFI permitiu reconhecer a presença de represas desde então. E, mais ainda, do uso das mesmas para abastecimento, já em 1900 (figura 9). Tais informações foram fundamentadas no estudo realizado por Penna em ocasião do levantamento do tamanho da área do atual PEFI, em processo movido pelo IBt contra a Aliperti em 1965 (com. pessoal em 2007). Este levantamento permitiu a reconstrução do desenvolvimento na área do PEFI para o período 1892-1981 (anexo 1).

Este documento foi posteriormente detalhado, pessoalmente, pelo Sr. Penna, que inclusive confirmou e indicou, por meio da cópia do mapa original dos terrenos desapropriados datado de 1893, que o Lago das Garças surgiu do represamento do “Córrego Campanário”. Tal fato encontra-se comprovado na planta de sobreposição da área atual do PEFI com o referido mapa original dos terrenos desapropriados (processo PPI 415/97, nº 78 doc. 5, fls. 95, anexo 2). Ainda, pela planta de 1893 (figura 13) e pelos anexos 3 e 4, é possível observar que o Lago das Garças, juntamente com outros atuais da região do PEFI (lagos do Zoológico e do IAG, antigo Instituto Astronômico e Geofísico da USP), formava um único reservatório, que seria conhecido como Represa do Campanário.

De acordo com o Sr. Penna, a inscrição no portão utilizado pela RAE (Repartição de Águas e Esgotos), como entrada de acesso para o antigo manancial do Campanário (Lago das Garças) durante o período de uso da represa, confirma que a captação de água foi iniciada a partir de 1894 se estendendo até 1928. Nesta data, tal função foi encerrada em virtude do aumento da população do entorno. Na época, esse portão foi instalado no local onde atualmente está a portaria 2 do Instituto de Botânica (IBt), ao lado do lago, sendo doado e transferido ao Jardim Botânico em meados de 1960 (figura 16).

Assim sendo, a existência do Lago das Garças é certamente anterior à data de 1917, a qual está documentada na literatura até então existente (Rocha & Cavaleiro 2001; Barbosa *et al.* 2002; Bicudo *et al.* 2002). Após revisão da informação documentada e da história falada, conclui-se que o Lago das Garças resultou do represamento do Córrego Campanário em 1894, sendo comprovadamente utilizado como reservatório de abastecimento a partir de, pelo menos, 1900 até 1928 (figura 20).

Finalmente, o nome “Lago das Garças” foi introduzido, de acordo com Penna (com. pessoal, em 2008), ao redor dos anos 60, em virtude do surgimento das garças que, durante o verão, migravam para a pequena ilha situada na represa. Desde então, o nome passou a ser adotado. O trabalho de Sant’Anna *et al.* (1989) foi um dos primeiros registros desta denominação. A publicação do livro que abrange a história do PEFI em contexto científico e também social (Bicudo *et al.* 2002) marcou definitivamente a adoção deste nome, bem como a proposta da demarcação da sub-bacia das Garças, conforme Fernandes *et al.* (2002).

Presentemente, algumas garças isoladas são encontradas no Lago das Garças. A maioria passou a ocupar outras ilhas e margens florestadas de lagos situados próximos ao Lago das Garças, possivelmente em virtude do avançado estado de degradação em que se encontra a represa (Bicudo *et al.* 2007).

7.1.2. Principais transformações do Lago das Garças

Após decreto de 1892, que autorizou as desapropriações na área do PEFI, o mesmo teve seus limites demarcados em 1893. A diminuição da área original de 696,96 ha para 526,38 ha, comentada por Barbosa *et. al.* (2002), pode estar relacionada tanto às medições rústicas realizadas na época, quanto às invasões no entorno (Penna, com. pessoal em 2007).

A história da ocupação do PEFI abrange transferências de áreas territoriais para diversas instituições, acarretando, inevitavelmente, no desmatamento de áreas para a instalação das mesmas. De acordo com Peccinini & Pivello (2002), o PEFI é um dos únicos fragmentos remanescentes de floresta Atlântica dentro da metrópole paulista, entretanto, a urbanização em seu entorno, além das instituições de pesquisa, serviços e lazer nele inseridas vem causando a degradação de sua vegetação nativa ao longo de décadas.

Assim, a partir de 1928, com a transferência do Jardim Botânico do Parque da Luz para o Parque do Estado, foram iniciadas as obras para tornar o PEFI um parque público, conhecido, na época, como Orquidário do Estado, sob a direção do Dr. Frederico Carlos Hoehne (Rocha & Cavalheiro 2001).

Em 1932 ocorreu a construção do Instituto Astronômico e Geofísico (IAG). A realização de obras nesse período pode ter alterado tanto a vegetação, quanto a qualidade ecológica do Lago das Garças, propiciando o aumento de areia depositada no mesmo. Tal informação é muito provavelmente confirmada pelos dados obtidos através da análise granulométrica do presente estudo, constituída apenas de areia média nesse ano (figura 30). No período de 1938 a 1943, destacam-se a pavimentação das ruas do Jardim Botânico, a abertura da Avenida das Palmeiras-real (próxima ao lago) e, ainda, a construção dos prédios para sediar o Departamento de Botânica (Rocha & Cavalheiro 2001). Nesse mesmo período, verifica-se, novamente, uma alteração da granulometria do Lago das Garças, passando de uma fase na qual foi constituída basicamente de silte grosso para areia fina.

Segundo o Sr. Penna, foram realizados aterramentos para a construção de travessias, inclusive a estrada para Diadema, transformando o “Lago do Campanário” em cinco lagos menores, em 1917 (anexo 04). O primeiro e o maior deles (Lago das Garças) ficou sob a jurisdição do Instituto de Botânica, o segundo sob o atual Parque de Ciência e Tecnologia da USP - CIENTEC (Lago do IAG) e os três restantes, sob a jurisdição do Parque Zoológico. Posteriormente, em 1957, um braço do lago do Lago das Garças foi aterrado para a construção da portaria 2 do Zoológico.

Em 1972, a atual Avenida Miguel Stéfano (antiga Estrada da Água Funda) teve seu trajeto modificado, conforme consta em fotografia aérea do mesmo ano, intensificando o tráfego da região. Esta alteração visou facilitar o acesso ao Zoológico e aos municípios do grande ABC que, devido a montadoras automobilísticas, promoveu o aumento do número de moradores da região, principalmente, funcionários destas. Além disso, conforme Penna (com. pessoal), o grande número de mortes causadas por acidentes nessa curva de certa forma motivou as instituições presentes na

região a se mobilizarem para essa alteração. Contudo, nenhum planejamento foi elaborado, sendo tomadas atitudes expressas que acabou aterrando um dos braços do Lago das Garças (figura 19).

De acordo com informações obtidas no estudo realizado pelo Grupo de Trabalho do PEFI (decreto n. 37.080 de 21/07/1993) em processo encaminhado ao DAEE (SMA 20.783/90), em 1990 ocorreram problemas de erosão e de grande desmoronamento nas margens do Lago das Garças. Provavelmente tais problemas decorreram do tráfego intenso; da existência de um ponto de ônibus em frente ao local da erosão; das bocas-de-lobo entupidas e das águas pluviais que corriam a céu aberto na avenida. O escoamento dessas águas atingia a quota mais baixa da bacia junto ao lago, acarretando na erosão de suas margens. Novamente a análise granulométrica do testemunho sedimentar apontou a ocorrência de algum tipo alteração marcada, já que seus constituintes mudaram de silte grosso e muito grosso para areia média (figura 30).

Segundo Reis (2002), a área que abrange o entorno do Lago das Garças, definida como de *instabilidade emergente*, ou seja, áreas de elevada intensificação das ações antrópicas, com solo exposto, uma vez desmatada, pode desencadear processos erosivos com intensificação de escoamento superficial e lixiviação do solo, comprometendo a qualidade ecológica da represa.

Outro fator antrópico marcante na história do Parque está relacionado à siderúrgica Aliperti, instalada na região em 1937, responsável pelo lançamento no ar de gases e material particulado. Apenas em 1984 foram instalados filtros nas chaminés, que retiam o material particulado, porém não os gases. Somente a partir de 1991, a mesma foi desativada passando a remanufaturar ferro adquirido (Barros *et al.* 2002). A siderúrgica certamente intensificou a poluição atmosférica do local, assunto que será tratado por Araújo-Jesus (tese em andamento). Vale mencionar a utilização dos restos de material de fundição para retenção das margens e aterramentos realizados na atual portaria 2 do Zoológico e durante o desvio da Avenida Miguel Stéfano (Penna, com. pessoal).

O enriquecimento das represas na área do PEFI deve ter sido paulatino. Desde a década de 20, a população do Município de São Paulo teve um aumento vertiginoso, bem como a população do entorno do PEFI, já que em 1928 foi encerrada a função da Represa do Campanário para abastecimento devido ao aumento populacional, baixo volume de água e indícios de poluição (Rocha & Cavaleiro 2001).

Conforme informações contidas no estudo realizado pelo Grupo de Trabalho do PEFI (decreto n. 37.080 de 21/07/1993) em 1993, a SABESP assume as condições degradadas do atual Lago das Garças. Assim, neste ano, a SABESP encaminha um ofício à Secretaria de Recursos Hídricos informando que o Lago das Garças seria contemplado pelo Programa de Despoluição do Rio Tietê, citando o seguinte: “as obras do coletor de esgoto serão iniciadas ainda neste exercício. Empreendimento que solucionará a questão do lançamento de esgotos no referido lago”. Conclui, dizendo que a erosão e o desmoronamento das margens do Lago das Garças escapam das atribuições da empresa.

Vale destacar que a inauguração da Fundação Parque Zoológico de São Paulo, em 1958, e da Secretaria de Agricultura e Abastecimento (SAA), em 1975, representaram um momento decisivo para o agravamento do processo da eutrofização do Lago das Garças. Este fato é claramente visível quando se observa a tendência de incremento marcado de nutrientes no testemunho sedimentar a partir desse período e, particularmente, de fósforo (figuras 31-32, 36). Ainda, a partir de estudo sobre a qualidade ecológica dos três principais reservatórios do PEFI (lagos das Ninfêias, do IAG e das Garças) e mediante avaliação do aporte de nutrientes (P, N), Carmo *et al.* (2002) atestaram que o Lago das Garças é o sistema mais impactado, principalmente, em função dos afluentes oriundos do Zoológico e da SAA.

Em síntese, o histórico do uso e da ocupação do PEFI permitiu traçar dois processos relevantes para as transformações ocorridas nos últimos 107 anos do Lago das Garças. O primeiro foi relativo à eutrofização, que teve seu processo acelerado a partir de 1958, com o estabelecimento da Fundação Parque Zoológico de São Paulo (1958) e da Secretaria de Agricultura e Abastecimento (1975). O segundo foi associado a processos erosivos em decorrência de desmatamentos, principalmente, para construção de instituições inseridas no PEFI. Tais eventos foram particularmente retratados no perfil estratigráfico em 1928, 1932, 1938, 1943, 1957, 1975. Tais alterações, bem como aumento do trânsito no entorno culminaram com a erosão de grande porte de uma das margens do Lago das Garças, ocorrida em 1990.

O conjunto destas transformações será avaliado, a seguir, à luz da reconstrução da biogeoquímica do testemunho sedimentar.

7.2. Considerações sobre a Datação Direta

A geocronologia pelo ^{210}Pb é uma ferramenta padrão em estudos paleolimnológicos, tendo como objetivo a datação dos registros sedimentares que abrangem um período de 100 a 150 anos (Appleby *et al* 1998). Essa análise pode ser utilizada tanto para fornecer a geocronologia dos sedimentos depositados, quanto para construir históricos de poluição. Os dados também podem fornecer medida para avaliação de eutrofização acelerada, histórico recente de poluição por metais pesados, taxas de influxo para contaminantes e taxas de erosão regionais (Bonotto & Lima 2006).

Desde 1963, com os trabalhos de Goldberg, as técnicas de contagem alfa e gama têm sido empregadas para estimar a distribuição estratigráfica da atividade do ^{210}Pb em sedimentos de lagos recentes e, desde então, diversos modelos de datação passaram a ser amplamente utilizados (Brenner *et al.* 2004).

O método pela contagem alfa, aplicado no presente estudo, apresenta diversas vantagens. De acordo com Brenner *et al* (2004), a alta sensibilidade dos detectores torna possível a contagem das amostras com baixa atividade, de forma que quantidades pequenas de sedimento podem ser utilizadas, permitindo alta resolução de contagem, ou seja, em pequenos intervalos de tempo.

A datação através do ^{210}Pb não fornece idades absolutas, mas sim, as taxas de sedimentação. Por meio destas, é possível determinar as idades de forma indireta, com base no cálculo do tempo de sedimentação decorrido entre as amostras de diferentes profundidades (Augustinus *et al.* 2006). Ainda segundo estes autores, o método assume que a idade das amostras do topo na seqüência do testemunho seja conhecida, baseada na suposição de que o topo foi depositado no ano em que o testemunho foi coletado.

De acordo com Cazotti *et al.* (2006), o modelo CIC (*Constant Initial Concentration*) pode ser aplicado quando o fluxo de $^{210}\text{Pb}_{\text{atm}}$ e a taxa de sedimentação são constantes, enquanto que no modelo CRS (*Constant Rate of Supply*) apenas o fluxo do $^{210}\text{Pb}_{\text{atm}}$ deve ser constante. No primeiro caso, é avaliada a linearidade da reta entre os valores da atividade do $^{210}\text{Pb}_{\text{atm}}$ e da profundidade corrigida (Appleby *et al.* 1998).

Em relação ao Lago das Garças, em função da linearidade obtida, o modelo CIC se aplicaria. Contudo, pelos aumentos observados na taxa de sedimentação, principalmente a partir da década de 80 (figura 29), a aplicação do modelo CRS seria mais recomendada. Sendo assim, ambos foram utilizados e diferenças consideráveis de até 60 anos entre as idades obtidas foram observadas. De maneira geral, as idades derivadas do modelo CRS foram mais antigas do que as obtidas pelo modelo CIC (anexo 6). Observações similares têm sido registradas em muitos lagos norte-americanos (Binford *et al.* 1993; Blais *et al.* 1995; Pan & Brugam 1997). Ainda, conforme Pan & Brugam (1997), como o modelo CIC assume taxas de sedimentação constante, a discrepância entre os modelos é esperada, especialmente se as taxas aumentam, como por exemplo, após desmatamentos.

No Lago das Garças, o aumento observado nas taxas de sedimentação, de 3 a 14 vezes após a década de 80 (figura 29) pode estar relacionado a processos erosivos oriundos das diversas obras realizadas no interior do PEFI desde a década de 70 (Reis 2002). De acordo com Barbosa *et al.* (2008) o avanço do desmatamento na área do PEFI foi mais acelerado entre as décadas de 60 e 70 quando a cobertura florestal passou de 70% (1966) para 63% (1972). No referido estudo encontra-se, detalhadamente a evolução da vegetação do Parque para o período de 1966 a 2005. E, mais especificamente após 1990, quando uma das margens do lago sofreu grande desmoronamento, segundo consta no processo SMA 20.783/90. Em estudo comparativo em oito áreas de delta no Lago Tanganika, McKee *et al.* (2005) observaram que as taxas de sedimentação nas bacias de drenagem não-impactadas foram constantes ou declinaram, enquanto que as relativas aos locais impactados tiveram aumento abrupto no mesmo período de tempo, notadamente, após desmatamento.

Outro fator que pode ter contribuído para as mudanças nas taxas de sedimentação no Lago das Garças foi a elevada precipitação anual registrada em 1983 e a tendência de aumento do regime de precipitação a partir de 1988 (figura 22). McKee *et al.* (2005) observaram que a elevação das

taxas de sedimentação no Lago Tanganika foi consistente com a hipótese de que tenha sido desencadeada por um mecanismo de curta duração, possivelmente, a precipitação extremamente alta e o aumento do nível do lago, correspondentes aos eventos documentados para essa região. Da mesma forma, a combinação entre o uso da terra e o excesso de precipitação contribuiu para a entrada de grandes volumes de sedimento no Crystal Lake (Murray & Gottgens 1997).

No presente estudo, apesar da taxa de sedimentação não ter sido constante, adotou-se o modelo CIC, considerando que a geocronologia obtida pelo mesmo foi mais coerente com os principais eventos ocorridos na longa série temporal e registrados pela datação indireta.

7.3. Alterações Físicas e Químicas do Sedimento do Lago das Garças: (ca.)100 anos de informação

As características físicas e químicas dos sedimentos lacustres são controladas por processos que incluem a produtividade, o transporte de materiais para o lago e a diagênese pós-deposicional (Curtis *et al.* 1998).

A classificação dos sedimentos está baseada no reconhecimento de que os sedimentos lacustres são diagenicamente diversos, com componentes derivados de uma variedade de fontes, as quais podem fornecer importante informação paleolimnológica (Schnurrenberger *et al.* 2003).

Considerando que diferentes tipos de sedimentos afetam a distribuição de elementos-traço, componentes orgânicos e nutrientes, a compreensão da distribuição dos mesmos é essencial em estudos geoquímicos (Abraham *et al.* 1999). Ainda, a distribuição comparada aos lagos naturais, há grande potencial para transporte de sedimento e cargas para os reservatórios, já que a razão área de drenagem para a área de superfície é geralmente muito maior do que em lagos. Desse modo, os reservatórios têm múltiplas fontes de entrada de sedimento (Smol 2008).

A seguir, são discutidos os aspectos mais relevantes para o entendimento das transformações ocorridas no Lago das Garças durante o período de 1894 a 2005.

Litologia e granulometria - No presente, tanto a litologia quanto a granulometria estiveram associadas às principais alterações físicas ocorridas no Lago das Garças.

A base do testemunho (subzona 1) foi formada apenas por areia que, segundo Håkanson (1981) e Abraham *et al.*(1999), indica maior fluxo de água e energia. Pode-se inferir, assim, a origem do lago a partir de um sistema lótico. A partir de 1919, a presença de silte passa a caracterizar a condição mais lântica do sistema, ou seja, de ambiente represado.

Nas fatias correspondentes aos anos de 1938 a 1943 nessa mesma subzona, nota-se a presença de raiz na unidade litológica, talvez em função do desmatamento realizado próximo ao lago nesta época para construção do antigo IAG (atual CIENTEC). Da mesma forma, para os anos

1932 e 1938, a granulometria foi constituída de areia média, fina e muito fina, respectivamente, possivelmente associadas às obras no PEFI.

Após o período de 1979 a 2005 (zonas 2 a 4), o testemunho passa basicamente a apresentar argila fluida preta, indicando elevada quantidade de matéria orgânica a partir dessa fase. Possivelmente, essa mudança esteja relacionada ao aumento das cargas de nutrientes na represa, associadas aos eventos de desmatamento na área.

Após longo período, em 1993 (zona 3), a granulometria passou de silte grosso a muito grosso para areia muito fina, muito provavelmente em função do desmoronamento de uma das margens da represa em 1990, conforme já discutido na datação indireta.

De modo geral, os dados litológicos, mas, principalmente, os granulométricos responderam a diversas alterações de natureza física (especialmente a processos erosivos) ocorridas no Lago das Garças e em seu entorno.

Teores de fósforo (P) e nitrogênio (N) – Na maioria das vezes, as concentrações de fósforo na fase anterior à eutrofização são desconhecidas em lagos que estiveram sujeitos à perturbação durante um longo período de tempo (Anderson *et al.* 1993). Contudo, tal informação é fundamental para o desenvolvimento de estratégias de recuperação desses ecossistemas. As reconstruções quantitativas do estado trófico no passado não fornecem apenas informações sobre a história do lago em longo prazo, mas, também, informações importantes sobre a magnitude da eutrofização (Hall & Smol 1999).

Embora os perfis de P e N tenham sido utilizados para reconstruir mudanças nas cargas históricas desses elementos, Engstrom & Wright (1984) enfatizam os diversos problemas associados a esta abordagem. Dentre esses, a retenção de P nos sedimentos é fortemente controlada pela adsorção aos óxidos de ferro (Fe), de forma que as variações no conteúdo de Fe e nas condições redox podem mudar a acumulação de P nos sedimentos, independente das mudanças nas cargas. Como exemplo, Schelske (1999) verificaram que, empiricamente, os perfis de P nos Laurentian Great Lakes subestimaram as taxas de entrada desse elemento. Ainda, Anderson *et al.* (1993) mostraram que os perfis dos teores de P não retrataram efetivamente as mudanças conhecidas nas cargas de P em dois pequenos lagos no nordeste irlandês.

Os teores de P encontrados na base do testemunho do Lago das Garças, principalmente correspondentes ao período 1894-1938, variaram entre 0,3 a 0,8 mg gMS⁻¹, sendo similares aos valores registrados por Silva (2007) no reservatório de Jurumirim (Rio Paranapanema) de 0,11 a 0,68 mg gMS⁻¹, considerados oligotróficos e, ainda, por Ferreira (1993) (0,6 mg gMS⁻¹).

No Lago das Garças, a partir de 1932 o perfil do P apresentou aumento levemente mais pronunciado do que nos anos anteriores, embora ainda em concentrações relativamente baixas (figuras 31, 36). Tal período coincide com as primeiras obras para ocupação do PEFI, iniciadas pelo

antigo Instituto Astronômico e Geofísico da USP (1932) e, depois, pelo Departamento de Botânica (1938). Em seguida, um salto mais proeminente na tendência de incremento de P foi observado a partir de 1958, época de instalação da Fundação Parque Zoológico na área.

Entretanto, principalmente, a partir de 1975 o perfil de incremento mudou para um patamar mais elevado (zona 2), com um pico (1977) de até 10 vezes maior do que o valor encontrado na base. O ano de 1975 foi marcado pelo início do funcionamento da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, que certamente acresceu as cargas dos efluentes lançados no Lago das Garças desde 1958, principalmente. Este período (1958-1975) foi decisivo para a aceleração do processo da eutrofização no Lago das Garças.

A partir de 1991 (zona 3), outro salto abrupto levou os níveis de P para patamares ainda mais elevados na série temporal, ao redor de 15 vezes maiores do que os teores da base do testemunho. Este aumento marcado também foi registrado para a taxa de sedimentação (figura 29).

Em 1997 (subzona 4), foi iniciado o monitoramento das cargas de P e N para o Lago das Garças e da qualidade ecológica desta represa. Conforme Bicudo *et al.* (2007), não houve incremento significativo dos aportes de P, pelo menos até 2004. Nessa série de 8 anos, Bicudo *et al.* (2006) caracterizaram o ambiente em três fases. A fase 1, anterior ao crescimento das macrófitas (1997), foi classificada de eutrófica; a fase 2, durante a grande proliferação de aguapés, que cobriu até 70% da superfície d'água (1998 e metade de 1999), foi classificada como meso-eutrófica e, finalmente, a fase 3, período pós-remoção das macrófitas (metade de 1999 a 2000), a represa tornou-se hipereutrófica (zona 4). A partir da mudança para o estado hipereutrófico, estabeleceram-se mecanismos de retroalimentação, com aporte interno de P e florações permanentes de cianobactérias (Bicudo *et al.* 2007). Nesta fase, ocorreu o maior pico de concentração de P, que foi 18 vezes mais elevado do que o valor de referência da base do testemunho.

Em relação ao perfil de N, as tendências foram semelhantes às do P. Entretanto, a partir de 1912, ou seja, período anterior à ocupação do PEFI, já se observou aumento mais pronunciado de seus teores, muito provavelmente associado à construção e fase inicial de operação da represa, ou seja, à possível inundação e decomposição da vegetação submersa. De forma similar ao P, apesar do aumento no perfil não ter sido tão pronunciado, outras mudanças coincidiram com a época de estabelecimento das instituições no PEFI (IAG - 1932; Zoológico - 1958 e SAA - 1975). Diferentemente do P, a partir da fase pós-remoção das macrófitas (1999), Bicudo *et al.* (2007) reportaram aumento significativo das cargas de N para a represa. Próximo ao topo do testemunho os picos de N foram 30 vezes maiores do que os valores da base do testemunho.

As concentrações de matéria orgânica total apresentaram tendência de aumento, principalmente após a década de 50. A partir de 1979 ocorre um pico de 32%, sendo 8 vezes mais elevado do que os valores da base (4%), coincidindo com os eventos que mais marcaram o processo de eutrofização no lago, como já mencionados.

O perfil dos teores de nutrientes do sedimento do Lago das Garças, particularmente de fósforo, seguiu a história dos impactos antrópicos decorrentes do uso e da ocupação do entorno, bem como as mudanças internas na represa, a partir de 1998.

7.3. Registro Estratigráfico das Diatomáceas no Testemunho Sedimentar (ca.) 100 anos do Lago das Garças.

A eutrofização artificial em lagos é um dos problemas ambientais mais preocupantes. O aumento da urbanização, disposição de esgotos, agricultura intensiva entre outros fatores, têm afetado de forma global o estado trófico de lagos e a sua ecologia (Smol 2008).

A perturbação da área do entorno e a disposição de rejeitos podem alterar profundamente o ambiente sedimentar. Assim, processos de erosão e elevada produção orgânica alteram a taxa de sedimentação e novas espécies de algas passam a dominar o sistema lacustre (Bradbury & Winter 1976).

Conforme Ekdhal *et al* (2007), particularmente as diatomáceas podem ser mais sensíveis do que os *proxies* geoquímicos no que concerne a mudanças nutricionais.

A concentração das diatomáceas depende da produtividade, preservação das valvas, processos de sedimentação e a proporção de outros componentes sedimentares (Barker *et al.* 2001).

Bradbury & van Metre (1997) comentam que a preservação das valvas em sedimentos lacustres reflete a diferença entre a produção de diatomáceas e a destruição das valvas por quebra ou dissolução. A sílica opalina dessas algas é susceptível à dissolução (Schelske 1985), especialmente em águas aquecidas e alcalinas (Lawson *et al* 1978).

Em estudo realizado no reservatório de White Rock Lake, em Dallas, Bradbury & van Metre (1997) não encontraram diatomáceas a partir de 15 cm de profundidade, em testemunho de 156 cm, refletindo a corrosão das valvas pela ação das águas turbulentas, aquecidas e alcalinas. Ainda, Wessels *et al.*(1999) observaram valvas danificadas em testemunho do lago Arendsee, na Alemanha, abaixo da profundidade de 20 cm, aumentando a porcentagem de corrosão com a profundidade, com variação de 50 a 80% de valvas com evidência de dano. Segundo estes autores, tal fato poderia estar relacionado a valvas mais ou menos silicificadas, embora tenham encontrado espécies do mesmo gênero com danos variáveis em uma mesma amostra. Stoermer *et al* (1992) avaliaram amostras do Lago Okeechobee na Flórida, obtendo graus de fragmentação e preservação altamente variáveis em uma mesma amostra e associaram ao tipo de sedimento, já que amostras contendo areia em sua composição e baixa porosidade apresentaram abundâncias mais baixas.

No Lago das Garças, as diatomáceas foram representadas por 80 táxons para um período de ca. de 110 anos. Entretanto, durante os anos de 1894 a 1916, correspondente às profundidades de 64 cm até 43 cm, respectivamente, as mesmas estiveram ausentes ou pobremente preservadas. Tal fato ocorreu, muito provavelmente, em função deste período ser de fluxo mais rápido de água (córrego)

o que foi confirmado pela granulometria do sistema, composta basicamente de areia nessas profundidades. Deste modo, as diatomáceas poderiam ter sido transportadas para fora do sistema, sem tempo hábil de sedimentação (Battarbee, com. pessoal em 2007).

7.3.1. Reconstrução das mudanças do estado trófico inferidas a partir do registro das diatomáceas nos sedimentos.

Alterações nas comunidades de diatomáceas são amplamente utilizadas para rastrear mudanças passadas no estado trófico (Miettinen *et al* 2005).

A análise estratigráfica das diatomáceas nos sedimentos do Lago das Garças revelou que, em sua maioria, os táxons apresentaram abundância menor do que 1%, de forma que para a reconstrução do estado trófico foi utilizado o registro histórico de 22 táxons (abundância $\geq 5\%$). Tal procedimento assegura que espécies não-características, devido ao transporte horizontal na coluna d'água por exemplo, não causem ruído no registro sedimentar de espécies autóctones (Wessel *et al.* 1999).

A substituição de espécies de diatomáceas ao longo de gradiente trófico tem sido bem registrada a partir de testemunhos lacustres (Anderson, 1998; Bennion *et al.* 2001; Zalat & Vildary 2007).

No presente, foi possível observar uma mudança gradual das espécies dominantes de diatomáceas ao longo do tempo. De modo geral, a sucessão foi inicialmente dominada por *Aulacoseira granulata* var. *granulata*, seguida por *Diademsis contenta*, na base do testemunho. Em direção ao topo do perfil foi dominada por *Discostella stelligera*, *Achnanthisdium catenatum*, *Cyclotella meneghiniana* e *Planothidium rostratum* em direção ao topo do perfil:

SUBZONA 1 (64 -53 cm; 1894 a 1943)

Nessa fase, a litologia e a granulometria (areia fina a muito fina) do sistema indicaram um ambiente de fluxo elevado e de alta energia, abrangendo, muito provavelmente, a fase “córrego” do sistema. Tal fase também poderia estar relacionada ao período de construção da represa.

A partir de 1919, a granulometria, constituída principalmente por silte grosso a muito grosso, indica um sistema de águas mais tranquilas e de menor energia. No entanto, posteriormente, a composição predominante foi alterada para areia média e areia fina em 1928 e 1938, coincidindo com as obras iniciadas no PEFI nesse período.

Os teores de P e N foram relativamente baixos, aumentando ligeiramente ao final da subzona 1, provavelmente, em função das mudanças ocorridas no entorno, como a ocupação do PEFI, iniciando pelo Instituto Astronômico e Geofísico da USP, que ocasionou o desmatamento de áreas para a construção de prédios e ruas. Tal fato pode ter contribuído, em particular, com o aumento de N oriundo da vegetação submersa em decomposição.

Em relação às diatomáceas, as espécies *Brachysira brebissonii*, *Eunotia rabenhorstii*, *Luticola mutica*, *Frustulia crassinervia*, *Nitzschia terrestris*, *Eunotia sudetica* e *Diademesmis contenta* foram os primeiros representantes do registro sedimentar a partir de 1919 (profundidade de 58 cm), indicando que o ambiente tenha sido oligotrófico. Tais espécies são principalmente aerófilas e, em sua maioria, acidófilas com requerimento elevado de oxigênio (Ominidia, EDDI 2007). Ainda, a maioria das espécies aerófilas é indicativa de baixa disponibilidade de nutrientes (Van Dam *et al* 1994; Poulíková *et al.* 2004, Poulíková & Hasle, 2007).

Aulacoseira granulata var. *granulata* também foi registrada na base do testemunho, a partir de 1923, como espécie dominante, permanecendo até o final da subzona 1 (1943). Este táxon é usualmente reportado em literatura como tolerante a águas mais turbulentas e enriquecidas (Caballero *et al* 2006), sendo considerado bom indicador de águas eutróficas (Zalat 2000). Ainda, este último autor verificou a associação da abundância deste táxon com alterações físicas do ambiente, tais como variação na profundidade, turbulência e estrutura térmica. Conforme Cruces *et al.* (2001), este táxon não é bom indicador de trofia, já que vem sendo reportado em ambientes de alta produtividade e como dominantes em lagos oligotróficos do sul do Chile. No presente, *A. granulata* var. *granulata* distribuiu-se até o topo do testemunho, independentemente do grau de trofia. Esteve mais associada a eventos de erosão, principalmente durante o início da formação do reservatório (1923), início das obras no PEFI (1928), instalação do IAG e pavimentação de ruas do PEFI (1932-1943) e ao desmoronamento de umas das margens do Lago das Garças (1990).

ZONA 1 (53–43 cm; 1944 a 1975)

A granulometria e a litologia revelaram um ambiente com águas mais tranquilas, de menor energia, indicando a fase de represa, com exceção a 1947, quando foi constituída por areia muito fina, cuja origem não foi possível rastrear.

A partir de 1958, época de instalação da Fundação Parque Zoológico na área, os teores de P e N começaram a aumentar de forma mais pronunciada, sem ainda alterar a estrutura das diatomáceas. As espécies predominantes nessa zona (*Diademesmis contenta*, *Luticola mutica*, *Frustulia crassinervia*, *Nitzschia terrestris* e *Eunotia rabenhorstii*) são consideradas como indicadoras de ambientes com baixos níveis de nutrientes (Van Dam *et al* 1994; Moro & Fürstenberger 1997; Poulíková *et al.* 2004; EDDI 2007).

Nessa mesma zona ocorreu diminuição e/ou desaparecimento das espécies mais abundantes da subzona 1 (*Discostella stelligera*, *Aulacoseira ambigua* e *Aulacoseira granulata* var. *granulata*) com exceção de *Fragilaria capucina*, considerada, em alguns estudos, como uma espécie que prefere águas com baixo a moderado níveis de nutrientes (EDDI 2007). O aparecimento de outras espécies indicadoras de oligotrofia, com abundância relativamente elevadas, também ocorreu nessa fase (*Brachysira vitrea*, *Encyonopsis microcephala* e *Pinnularia dubitabilis*). Uma provável

explicação seria a sedimentação dos sólidos em suspensão, após o represamento, permitindo a diminuição da turbidez e o aumento dos níveis de O₂.

ZONA 2 (43-30 cm; 1976 a 1988)

A dominância de *Discostella stelligera* (91-92%) em 1977 e 1978 pode estar associada ao desmatamento da área para construção da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (SAA). Köster *et al.* (2005) sugeriram que o aumento de abundância de *D. stelligera* esteve associado à remoção da vegetação na bacia de Walden Pond, Massachusetts, após a colonização européia, bem como ao desmatamento para a construção de casas, ferrovias, etc. Outros estudos também confirmaram esta condição tais como os de Fritz *et al.* (1993), em lagos do Michigan e Lotter (2001), em lagos Suíços. Ainda, conforme Augustinus *et al.* (2006), esta espécie está tipicamente associada a condições oligotróficas. Contudo, no Lago das Garças, foi mais associada ao início do aumento de P, mas ainda em uma condição mesotrófica, o que está de acordo com Baier *et al.* (2004) e Köster & Pienitz (2006).

O aumento nas abundâncias de *Fragilaria capucina*, *Aulacoseira ambigua* e *A. granulata* var. *granulata*, nesta fase, pode estar associado ao incremento dos teores de P e N, já que a represa passa a receber mais cargas de esgoto, agora também oriundas da SAA, a partir de 1975.

Bradbury *et al.* (2004) relacionam florações de *A. ambigua* com águas continuamente misturadas. Já, segundo Caballero *et al.* (2006), esta espécie está presente, geralmente, em ambientes meso a eutróficos, sendo menos exigente em relação ao requerimento por P do que *A. granulata* e *F. capucina*. Ainda, Köster & Pienitz (2006) associaram o aumento das abundâncias de *A. ambigua* com as atividades agrícolas no Bates Pond (Ontário). No presente estudo, esta espécie também parece estar associada a condições mesotróficas nessa zona, já que foi menos abundante do que *F. capucina*, concordando com Caballero *et al.* (2006).

Quanto à *A. granulata* var. *granulata*, por ser uma espécie fortemente silicificada, requer altas concentrações de sílica e de nutrientes, principalmente quando comparadas a outras espécies do gênero, como, por exemplo, *A. ambigua*. E como tolera elevada turbidez, requer baixa disponibilidade de luz (Bennion, 1994). Mais uma vez no presente, *A. granulata* var. *granulata* parece estar associada a situações de desmatamento e construções que acarretam maior quantidade de materiais para coluna d'água e conseqüente turbidez.

ZONA 3 (30-22 cm; 1989 a 1994)

Essa fase foi caracterizada por outra elevação abrupta do nível de P, que na década de 90 atingiu patamares dos mais elevados na série temporal, bem como pela dominância de *Achnanthes catenatum*. Conforme Hoffman (1994), esta espécie foi principalmente encontrada em ambientes mesotróficos. Lange-Bertalot & Steindorf (1996) já registraram o táxon como típico

de condições meso a eutróficas. Desse modo, a elevada abundância desta espécie associada aos níveis de P permite inferir uma condição meso a eutrófica da represa, considerando que os táxons indicadores de ambientes eutróficos a hipereutróficos (*Planothidium rostratum* e *Cyclotella meneghiniana*) foram menos abundantes nesse período, como será discutido a seguir.

SUBZONA 4 (22-14 cm; 1995 a 1999)

A partir de 1997, foi dado início ao monitoramento mensal das características limnológicas e dos aportes de nutrientes para o Lago das Garças, o que contribuiu para a interpretação da história mais recente do Lago das Garças. Durante este período a represa passou por profundas modificações, conforme já discutido (Bicudo *et al.* 2006, 2007). Assim, até 1998, esta foi classificada como eutrófica, quando ocorreu a proliferação exacerbada de macrófitas aquáticas (aguapés), que cobriram 70% da superfície do Lago das Garças (período meso-eutrófico). Depois da retirada dos aguapés (em três meses no ano de 1999), a represa tornou-se hipereutrófica, mudando para um estado de equilíbrio degradado (zona 4).

Na subzona 4, a abundância de *A. catenatum* começou a diminuir enquanto ocorreu ligeiro aumento de *Planothidium rostratum*, não sendo registrada dominância de espécies nesse período. A abundância mais elevada da última espécie pode estar relacionada às macrófitas presentes nesse período, já que *P. rostratum* é principalmente uma espécie epifítica (EDDI, 2007), além de ser apontada como típica de ambientes eutrofizados (Pan & Brugam 1997, Omnidia).

ZONA 4 (14–0 cm; 2000 a 2005)

A partir da mudança para o estado de equilíbrio degradado (hipereutrófico), estabeleceram-se mecanismos de retroalimentação mantidos pelas florações permanentes de cianobactérias, que aumentaram a estabilidade da coluna da água, levando à depleção de oxigênio e, assim, ao aporte interno de P (Bicudo *et al.* 2007). Conforme estes autores, nesta fase, o pico de biomassa de cianobactérias foi 30 vezes maior ($4229 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$) do que a fase anterior e as florações freqüentemente atingiram 2 m de profundidade e, algumas vezes, o fundo da represa, contrastando com o período pré-remoção, no qual as florações atingiam, no máximo, 1 m de profundidade.

As espécies mais abundantes nessa fase (zona 4) foram *Planothidium rostratum* e *Cyclotella meneghiniana*, apontadas pela literatura como típicas de ambientes eutróficos (Pan & Brugam 1997, Omnidia). Segundo King *et al.* (2006), *P. rostratum* pode sobreviver por um período maior do que 30 dias em estado heterotrófico o que seria uma vantagem em relação a outras espécies, principalmente, em condições de luminosidade restrita abaixo das intensas florações de cianobactérias.

A partir de 2002, ocorreu outro salto de incremento de nutrientes no perfil estratigráfico, quando os nutrientes (P e N) atingiram seus valores máximos (figura 36). Justamente nesta fase,

Cyclotella meneghiniana passou a dominar, indicando alteração mais pronunciada nas condições limnológicas da represa. Esta espécie é amplamente estudada e vem sendo registrada como tolerante a elevados níveis de poluição (Van Dam *et al.* 2004), sendo encontrada em diversos locais que recebem dejetos urbanos e industriais (Sabater & Sabater, 1988). Tal mudança no registro sedimentar reforça a queda abrupta da biodiversidade fitoplanctônica (37%, 70 espécies) ocorrida no Lago das Garças a partir de 2002 (Crossetti *et al.*, aceito para publicação). Apesar do fósforo ter sido incluído no melhor modelo para explicar a perda da biodiversidade na série de oito anos, os autores verificaram a influência de um conjunto de fatores (ex. luz) que covariou em consequência dos elevados níveis de biomassa fitoplanctônica atingida no reservatório.

Finalmente, a análise integrada dos dados (ACC) demonstrou que o fósforo foi a variável que melhor explicou a variação das diatomáceas ao longo do tempo, sendo que duas associações bioindicadoras foram identificadas: (a) associação oligotrófica (*Diademesis contenta*, *Luticola mutica* e *Pinnularia dubitabilis*), encontrada na subzona 1, mas principalmente na zona 1 (até 1975); e (b) associação eutrófica/hipereutrófica (*Planothidium rostratum*, *Cyclotella meneghiniana*, *Achnanthes catenatum* e *Amphora libyca*), encontrada a partir da zona 3 (1989-2005).

7.3.2. Perfil temporal da diversidade específica das diatomáceas no testemunho sedimentar

Smol (1981) argumentou que a aplicação dos índices de diversidade deve ser cautelosa em estudos paleolimnológicos. Segundo o autor, as variações nas taxas de sedimentação, especialmente em sedimentos recentes, são elevadas, além de poderem agrupar décadas em 1 cm de intervalo, por exemplo, mascarando, assim, as variações da diversidade da base para o topo do testemunho. Como as taxas de sedimentação do Lago das Graças foram corrigidas pela geocronologia (idades das fatias), foi possível a utilização deste índice.

De modo geral, a diversidade de espécies foi elevada, particularmente, na base do testemunho (subzona 1), atingindo valores próximos a 5 bits ind⁻¹. Os picos marcados de queda (1923, 1951, 1977, 1978 e 1993) foram claramente acompanhados pela brusca diminuição de riqueza e aumento de dominância.

Na zona 1, a diminuição da diversidade e riqueza a partir de 1923 foi associada à dominância de *Aulacoseira granulata* var. *granulata*, que é uma espécie comumente encontrada em ambientes mais turbidos e com maiores fluxos de água (Vélez *et al.* 2003). Em 1951, também ocorreu outro declínio, quando a riqueza decresceu de 12 (1947) para 4 táxons. Tal mudança correspondeu à fase de dominância de *Diademesis contenta*, espécie associada, principalmente, a condições oligotróficas (Van Dam *et al.* 1994; Moro & Fürstenberger 1997; Poulíková *et al.* 2004; EDDI 2007).

Na zona 2, ocorreu outro declínio abrupto em 1977-1978, período em que *Discostella stelligera* foi dominante (quase 100%). As considerações já feitas acerca dessa espécie permitem inferir que processos erosivos associados a desmatamentos (Köster *et al.* 2005) no PEFI afetaram pontualmente a dominância desta espécie e, assim, a queda da diversidade neste período.

Em 1993 (zona 3), outra queda abrupta de diversidade foi observada quando ocorreu dominância de *Achnanthydium catenatum*, espécie registrada principalmente em ambientes meso a eutróficos, conforme já discutido.

Pode-se considerar que as mudanças na diversidade específica responderam às transformações ocorridas no sistema, porém mais associadas a processos erosivos do que ao de eutrofização, uma vez que só foram observados declínios pontuais e não ao longo do gradiente de eutrofização no perfil estratigráfico.

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise do testemunho sedimentar e do uso e da ocupação na bacia do Lago das Garças permitiu as seguintes conclusões:

- O Lago das Garças resultou do represamento do Córrego Campanário em 1894, sendo utilizado para abastecimento de água, pelo menos, a partir de 1900 até 1928.
- A seqüência sedimentar abrangeu ca. 110 anos, correspondente ao período de 1894 a 2005.
- As diferenças na composição granulométrica e litológica coincidiram com diferentes fases hidrológicas. De modo geral, os dados litológicos, mas, principalmente, os granulométricos responderam a diversas alterações de natureza física (especialmente a processos erosivos) ocorridas no Lago das Garças e em seu entorno.
- Os teores de nitrogênio (N) e, particularmente, de fósforo (P) apresentaram aumento gradual até por volta de 1958 e, a partir de 1990, atingiram seus valores mais elevados (30 e 18 vezes), respectivamente, quando comparados à base, traçando a história dos impactos antrópicos decorrentes do uso e da ocupação da bacia.
- As assembléias de diatomáceas foram representadas por 80 táxons (32 gêneros, 76 espécies e 4 variedades), dos quais 47 (59%) foram registrados pela primeira vez para o Lago das Garças. Destes, apenas 22 espécies contribuíram com abundância maior ou igual a 5% nas fatias sedimentares.
- De modo geral, a diversidade de espécies foi elevada, particularmente, na base do testemunho (1919), atingindo valores próximos a 5 bits ind⁻¹. Os picos marcados de queda foram acompanhados pela brusca diminuição de riqueza e aumento de dominância; 1951: dominância de *Diademesis contenta*; 1977-1978: de *Discostella stelligera* e 1993: dominância de *Achnantheidium catenatum*). Desta forma, as mudanças na diversidade responderam às transformações ocorridas no Lago das Garças, estando, porém, mais associadas a processos erosivos do que ao de eutrofização, uma vez que só foram observados declínios pontuais e não ao longo do gradiente de eutrofização no perfil estratigráfico.
- *Aulacoseira granulata* var. *granulata* foi uma das espécies mais comuns no perfil estratigráfico. Esteve associada a ambientes com maior fluxo e a eventos de erosão, decorrentes de desmatamentos e da ocupação do PEFI. Assim sendo, não se confirma sua usual associação a ambientes eutróficos.
- Com base nas análises de geocronologia, de nitrogênio e fósforo, bem como na distribuição da abundância das 22 espécies mais abundantes ($\geq 5\%$) foi possível reconstruir o histórico de eutrofização do Lago das Garças. As espécies mais associadas com cada período foram: subzona 1 e zona 1 (1919 a 1975) - oligotrófica (*Diademesis contenta*); zona 2 (1976 a 1988) - mesotrófica (*Discostella stelligera*); zona 3 (1989 a 1994) - meso-eutrófica (*Achnantheidium*

catenatum); subzona 4 (1995-1999) - eutrófica (*Planothidium rostratum*) e zona 4 (2000 a 2005) - hipereutrófica (*Cyclotella meneghiniana*).

➤ A análise de correspondência canônica demonstrou que o fósforo foi a variável que melhor explicou a variação das diatomáceas ao longo do tempo e duas associações bioindicadoras foram identificadas: (a) associação oligotrófica, representada por *Diademesis contenta*, *Luticola mutica* e *Pinnularia dubitabilis*; e associação eutrófica/hipereutrófica, constituída por *Planothidium rostratum*, *Cyclotella meneghiniana*, *Achnanthes catenatum* e *Amphora libyca*.

➤ O histórico do uso e da ocupação do PEFI, associado aos registros do testemunho, permitiu traçar dois processos relevantes para as transformações ocorridas no Lago das Garças. O primeiro foi relativo ao processo da eutrofização, que foi desencadeado pelas instalações do Zoológico (1958) e da Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (1975). O segundo foi associado a processos erosivos em decorrência de desmatamentos, principalmente para construção de instituições inseridas no PEFI.

Com base nas considerações supracitadas, a **hipótese** levantada neste estudo - “as alterações das assembléias pretéritas de diatomáceas, aliada à datação dos sedimentos, permitirá inferir sobre o histórico de eutrofização no Lago das Garças e sobre seus principais fatores desencadeadores” - **foi confirmada**.

Considerando que os *proxies* biológicos são mais sensíveis às respostas de distúrbios ambientais, a tendência dos perfis de P e N foi confirmada pelo registro histórico das diatomáceas ao longo de 110 anos no Lago das Garças. Ainda, as informações documentais, que visaram traçar as mudanças do uso e da ocupação na bacia, foram primordiais para a interpretação do diagrama estratigráfico das diatomáceas e, portanto, para a compreensão dos principais impactos antrópicos e, principalmente, dos eventos desencadeadores do histórico de eutrofização neste ecossistema.

Este trabalho demonstrou o uso das diatomáceas de sedimentos para quantificação dos processos de eutrofização em reservatório tropical, destacando o potencial desta ferramenta para o gerenciamento, conservação e recuperação desses ecossistemas. Considerando que os teores de fósforo nos sedimentos não correspondem à sua disponibilidade na coluna d’água, as associações de diatomáceas de sedimentos podem ser utilizadas para estabelecer valores-referência ou fases pré-distúrbio e, assim, para traçar metas de recuperação de ecossistemas.

Desse modo, estudos que visem à criação de bancos de dados para sistemas tropicais, incluindo o ótimo ecológico das espécies de diatomáceas ao longo de gradientes de trofia, tornam-se promissores. A partir destes, pode-se avançar na construção de modelos preditivos de função de transferência de fósforo a partir das diatomáceas, que permita inferir sobre a evolução do processo da eutrofização em reservatórios tropicais.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abraham, J.; Allen, P.M.; Dunbar, J.A.; Dworkin, S.I. 1999. Sediment type distribution in reservoirs: sediment source versus morphometry. **Env. Geology** 38 (2): 101-110.
- Academy of Natural Sciences of Philadelphia. 2007. Catalogue of diatom names. Disponível em: <http://research.calacademy.org/research/diatoms/names>.
- Agberti, M. & Dickman, M. 1989. Use of lake fossil diatom assemblages to determine historical changes in trophic status. **Can. J. Fish. Aquat. Sci.** 46: 1013-1021.
- Alefs, J. & Müller, J. 1999. Differences in the eutrophication dynamics of Ammersee and Starnberger See (Southern Germany), reflected by the diatom succession in varve-dated sediments. **J. Paleolimnology** 21:395-407.
- Andersen, J.M. 1976. An ignition method for determination of total phosphorus in lake sediments. **Water Research**. 10:329-331.
- Anderson, N.J. 1989. A whole-basin diatom accumulation rate for a small eutrophic lake in Northern Ireland and its paleoecological implications. **J. Ecol.** 77: 926-946.
- Anderson, N.J.; Rippey, B. & Gibson, C.E. 1993. A comparison of sedimentary and diatom inferred phosphorus profiles: implications for defining pre-disturbance nutrient conditions. **Hydrobiologia** 253: 357-366.
- Anderson, N.J. 1995. Using the past to predict the future: lake sediments and the modeling of limnological disturbance. **Ecological Modelling** 78:149-172.
- Anderson, N.J. 1998. Variability of diatom-inferred phosphorus profiles in a small lake basin and its implications for histories of lake eutrophication. **J. Paleolimnol.** 20: 47-55.
- Appleby, P.G.; Flower, R. J.; Mackay, A. W. & Rose, N.L. 1998. Paleolimnological assessment of recent environmental change in Lake Baikal: sediment chronology. **J. Paleolimnol.** 20: 119-133.
- Arquivo do Estado. Seção de Iconografia. **Planta do Sítio Ypiranga**. São Paulo. 1893. Escala: 1:5000.
- Arquivo do Estado. Seção de Iconografia. **Planta Geral do Encanamento do Ypiranga – indicando a linha de tubo existente e os serviços feitos pela Repartição de Águas e Esgotos durante o anno de 1893**. São Paulo. 1893. Escala: 1:25000.
- Arquivo do Estado. Seção de Iconografia. **Perfil Schematico do Serviço de Água Existente da Cidade de São Paulo – contém plano de várias soluções indicadas para o reforço do abastecimento**. São Paulo. 1911. Escala: 1:25000.
- Augustinus, P.; Reid, M.; Andersson, S.; Deng, Y. & Horrocks, M. 2006. Biological and geochemical record of anthropogenic impacts in recent sediments from Lake Pupuke, Auckland City, New Zealand. **J. Paleolimnol.** 35: 789-805.
- Baier, J.; Lücke, A.; Negendank, J.F.W.; Schleser, G.H. & Zolitschka, B. 2004. Diatom and geochemical evidence of mid-to late Holocene climatic changes at Lake Holzmaar, West Eifel (Germany). **Quat. Int.** 113:81-96.
- Barbosa, L.M.; Potomati, A. & Peccinini, A.A. 2002. O PEFI: Histórico e Legislação. In: Bicudo, D.C.; Forti, M.C. & Bicudo, C.E.M. (orgs.). **Parque Estadual das Fontes do Ipiranga: unidade de conservação ameaçada pela urbanização de São Paulo**. São Paulo: Editora Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. p. 17-28.
- Barbosa, L.M.; Matheus, D.R. & Neto Leal, A.C. (coords.) 2008. **Parque Estadual das Fontes do Ipiranga – diagnóstico: estudos sócio-econômico, ecológico e legislativo para a**

caracterização, zoneamento e implantação do Plano de Manejo do PEFI e do seu programa de eco-desenvolvimento. Relatório Técnico-científico. vol. 1.

- Barker, P.A.; Street-Perrott, F.A.; Leng, M.J.; Greenwood, P.B.; Swain, D.L.; Perrott, R.A.; Telford, R.J. & Ficken, K.J. 2001. A 14,000-year oxygen isotope record from diatom silica in two alpine lakes on Mt. Kenya. **Science** 292 (22):2307-2310.
- Barros, F.; Mamede, M.C.H.; Melo, M.M.R.F.; Lopes, E.A.; Jung-Mendaçolli, S.L.; Kirizawa, M.; Muniz, C.F.S., Makino-Watanabe, H.; Chiea, S.A.C. & Melhem, T.S. 2002. A flora fanerogâmica do PEFI: composição, afinidades e conservação. In: Bicudo, D.C.; Forti, M.C. & Bicudo, C.E.M. (orgs.). **Parque Estadual das Fontes do Ipiranga: unidade de conservação ameaçada pela urbanização de São Paulo**. São Paulo: Editora Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. p. 93-110.
- Battarbee, R. W. 1984. Diatom analysis and the acidification of lakes. **Phil. Trans. R. Soc. Lond.** 305: 451-477.
- 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. (ed.). **Tracking Environmental Change Using Lake Sediments**. London: Kluwer Academic Publishers.v.3. p.155-203.
- Battarbee, R.W.; Anderson, N.J.; Jeppensen, E. & Leavitt, P.R. 2005. Combining paleolimnological and limnological approaches in assessing lake ecosystem response to nutrient reduction. **Freshwater Biology** 50 (10):1772-1780.
- Bengtsson, L.; Enell, M. 1986. Chemical Analysis. In. Berglund, B.E. (ed.) **Handbook of Holocene Palaeohydrology**. New York: John Wiley & Sons. p.423-451.
- Bennion, H. 1994. A diatom-phosphorus transfer-function for shallow, eutrophic ponds in southeast England. **Hydrobiologia** 275/276:391-410.
- 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.; 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. Paleolimnol.** 26: 181-204.
- Bicudo, C.E.M.; Carmo, C.F.; Bicudo, D.C.; Henry, R.; Pião, A.C.S.; Santos, C.M. & Lopes, M.R.M. 2002. Morfologia e morfometria de três reservatórios do PEFI. In: Bicudo, D.C.; Forti, M.C. & Bicudo, C.E.M. (orgs.). **Parque Estadual das Fontes do Ipiranga: unidade de conservação ameaçada pela urbanização de São Paulo**. São Paulo: Editora Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. p. 141-158.
- Bicudo, D.C., Forti, M.C. & Bicudo, C.E.M. 2002a (orgs.) **Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI): unidade de conservação que resiste à urbanização de São Paulo**. São Paulo: Editora Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. 351p.
- Bicudo, D.C.; Forti, M.C.; Carmo, C.F.; Bourote, C.; Bicudo, C.E.M.; Melfi, A.J. & Lucas, Y. 2002b. A atmosfera, as águas superficiais e os reservatórios no PEFI: caracterização química. In: Bicudo, D.C.; Forti, M.C. & Bicudo, C.E.M. (orgs.). **Parque Estadual das Fontes do Ipiranga: unidade de conservação ameaçada pela urbanização de São Paulo**. São Paulo: Secretaria Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. p. 158-198.
- Bicudo D.C., Fonseca B.M., Bicudo C.E.M., Bini L.M. & Jesus T.A. 2006. Remoção de Eichhornia crassipes em um reservatório tropical raso e suas implicações na classificação trófica do sistema: estudo de longa duração no Lago das Garças, São Paulo, Brasil. In: **Eutrofização na América**

- do Sul: causas, consequências e tecnologias de gerenciamento e controle.** (Eds. J.G. Tundisi, T. Matsumura-Tundisi & C.V. Sidagis-Galli). São Carlos : Instituto Internacional de Ecologia. pp. 413-438.
- Bicudo, D.C., Fonseca, B.M., Bini, L.M., Crossetti, L.O., Bicudo, C.E.M. & Araújo-Jeus, T. 2007. Undesirable side-effects of water hyacinth control in a shallow tropical reservoir. **Freshwater Biology** 52:1120-1133.
- Bigler, C. & Hall, R.I. 2002. Diatoms as indicators of climatic and limnological change in Swedish Lapland: a 100-calibration set and its validation for paleoecological reconstructions. **J. Paleolimnol.** 27:97-115.
- Binford, M. W., Kahl, J. S. & Norton, S. A. 1993. Interpretation of ^{210}Pb profiles and verification of the CRS dating model in PIRLA project lake sediment cores. **J. Paleolimnol.** 9: 275–96.
- Birks, H.H. & Birks, H.J.B. 2006. Multi-proxy studies in paleolimnology. **Veget. Hist. Archaeobot.** 15: 235-251.
- Blais, J. M.; Kalff, J.R.; Cornett, J. & Evans, R.D. 1995. Evaluation of ^{210}Pb dating in lake sediments using stable Pb, Ambrosia pollen and ^{137}Cs . **J. Paleolimnol.** 13: 169–78.
- Blott, S.J. & Pye, K. 2001. Gradstat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. **Earth Surf. Process. Landforms** 26: 1237-1248.
- Bonotto, D.M. & Lima, J.L.N. 2006. ^{210}Pb -derived chronology in sediment cores evidencing the anthropogenic occupation history at Corumbataí River basin, Brazil. **Env. Geol.** 50: 595-611.
- Bradbury, J.P. 1975. Diatom stratigraphy and human settlement in Minnesota. **Geol. Soc. Am. Special Paper** 171: 74p.
- Bradbury, J.P. 1988. Fossil diatoms and neogene **Paleolimnology. Palaeog., Palaeocl., Palaeocol.** 62:299-316.
- Bradbury, J.P. & van Metre, P.C. 1997. A land-use and water-quality history of White Rock Lake reservoir, Dallas, Texas, based on paleolimnological analyses. **J. Paleolimnology** 17:227-237.
- Bradbury, J.P.; Colman, S.M. & Reynolds, R.L. 2004. The history of recent limnological changes and human impact on Upper Klamath Lake, Oregon. **J. Paleolimnology** 31:151-165.
- Brenner, M., T. J. Whitmore, M. S. Flannery & M. W. Binford. 1993. Paleolimnological methods for defining target conditions in lake restoration: Florida case studies. **Lake and Reserv. Manage.** 7: 209–217.
- Brenner, M. 1995. A call for paleolimnology studies in the tropics. **J. Paleolimnol.** 13:89-92.
- Brenner, M., Schelske, C. L. & Kenney, W.F. 2004. Inputs of dissolved and particulate ^{226}Ra to lakes and implications for ^{210}Pb dating recent sediments. **J. Paleolimnol.** 32:53-66.
- Caballero, M.; Vasquez, G.; Lozano-García, S; Rodríguez, A.; Sosa- Nájera, S.; Ruiz-Fernandez, A.C. & Ortega, B. 2006. Present limnological conditions and recent (ca. 340 yr) paleolimnological of a tropical lake in the Sierra de Los Tuxtlas, eastern Mexico. **J. Paleolimnol.** 35:83-97.
- Callegaro, V.L.M. 1988. **Diatomáceas da turfeira de Águas Claras, lanície costeira do Rio Grande do Sul: taxonomia, aspectos ecológicos e subsídios à Paleolimnologia.** Tese de doutoramento, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 299 p.
- Carmo, C.F., Henry, R., Bicudo, D.C. & Bicudo, C.E.M. 2002. A degradação da água nos reservatórios do PEFI. *In*: Bicudo, D.C., Forti, M.C. & Bicudo, C.E.M. (orgs.) **Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI): unidade de conservação que resiste à urbanização de São Paulo.** São Paulo: Editora Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. p. 269-294.
- Carneiro, L. A. 2003. **Ordem Achnanthales (Bacillariophyceae) de águas doces do estado de São Paulo: Levantamento florístico.** Dissertação de Mestrado. UNESP, Rio Claro, SP. 225p.

- Carneiro, L.A. 2007. **Fragilariophyceae (Bacillariophyta) de águas doces do estado de São Paulo: levantamento florístico**. Tese de Doutorado. Instituto de Botânica, São Paulo, SP. 187 p.
- Cattaneo, A.; Couillard, Y.; Wunsam, S. & Courcelles, M. 2004. Diatom taxonomic and morphological changes as indicators of metal pollution and recovery in Lac Dufault (Québec, Canada). **J. Paleolimnol.** 32:163-175.
- Cazotti, R.I. 2003. **Geocronologia de Sedimentos Recentes com ^{210}Pb : metodologia e critérios para sua aplicação em lagos e represas**. Tese de Doutorado. UFSCar, São Carlos, SP. 131p.
- Cazotti, R. I.; Gomes, A.C.F.; Nascimento, M.R.L. & Mozeto, A.A. 2006. Geocronologia isotópica (^{210}Pb e ^{226}Ra) de sedimentos límnicos: determinação de velocidades e taxas de sedimentação e, de idades. In: Mozeto, A.A.; Umbuzeiro, G.A. & Jardim, W.F. (orgs.) **Métodos de coleta, análises físico-químicas e ensaios biológicos e ecotoxicológicos de sedimentos de água doce**. São Carlos: Cubo Editora. p. 37-39.
- CLA – Comunicações. Cases – Siderúrgica Aliperti. Disponível em: www.cl-a.com/case-01.htm. Acessado em 05 de setembro de 2006.
- Conti, J.B. & Furlan, S.A. 2003. Geoecologia: o clima, os solos e a biota. In: **Geografia do Brasil**. (Ed. J.L. Ross). São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo. pp 67-207.
- Crossetti, L.O.; Bicudo, D.C.; Bicudo, C.E.M. & Bini, L.M. 2007. Phytoplankton biodiversity in a shallow tropical reservoir during the hypertrophication process. (submetido à publicação).
- Cruces, F. Urrutia; R. Araneda, A.; Torres, L.; Cisternas, M. & Vyverman, W. 2001. Evolución trófica de Laguna Grande de San Pedro (VII región, Chile) durante el último siglo, mediante el análisis de registros sedimentários. **Rev. Chil. His. Nat.** 74 (2).
- Curtis, J. H.; Brenner, M.; Hodell, D.; Balser, R.A.; Islebe, G.A. & Hooghiemstra, H. 1998. A multi-proxy study of Holocene enviromental change in the Maya Lowlands of Peten, Guatemala. **J. Paleolimnol.** 19: 139-159.
- Davies, S.J.; Metcalfe, S.E.; Caballero, M.E. & Juggins, S. 2002. Developing diatom based transfer functions for Central Mexican lakes. **Hydrobiologia** 467:199-213.
- Davis, R.B.; Norton, S.A.; Hess, C.T. & Brakke, D.F. 1983. Paleolimnological reconstruction of the effects of atmospheric depositioin of acids and heavy metals on the chemistry and biology of lakes in New England and Norway. **Hydrobiologia** 103:113-123.
- Davis, R.B. 1989. The scope of Quaternary paleolimnology. **J. Paleolimnol.** 2: 263-283.
- 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.
- Digby, P.G. N. & Kempton, R.A. 1987. **Multivariate analysis of ecological communities**. London and New York: Chapman and Hall, 206p.
- Dong, X.; Bennion, H; Battarbee, R.; Yang, X.; Yang, H. & Liu, E. 2007. Tracking eutrophication in Taihu Lake using the diatom record: potential and problems. **J. Paleolimnol.** original paper.
- Dumond, H.J. & Tundisi, J.G. 1997. Preliminary data on the paleolimnology of four lakes. In: Tundisi, J.G.; Saijo, Y. (eds.). **Limnological studies on the Rio Doce valley lakes, Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências & USP, 528 p.
- EDDI (European Diatom Database). 2007. Newcastle University. Disponível em: <http://craticula.ncl.ac.uk>.
- Ekdhal, E. J.; Teranes, J.L.; Wittkop, C.A.; Stoermer, E.; Reavie, E.D. & Smol, J.P. 2007. Diatom assemblage response to Iroquoian and Euro-Canadian eutrophication of Crawford Lake, Ontario, Canada. **J. Paleolimnol.** 37:233-246.

- Esteves, F.A. & Camargo, A.F.M. 1982. Caracterização de sedimentos de 17 reservatórios do estado de São Paulo com base no teor de feopigmentos, carbono orgânico e nitrogênio orgânico. **Ciência e Cultura** 34: 669-674.
- Fernandes, A.J.; Reis, L.A.M. & Carvalho, A. 2002. Caracterização do meio físico. In: Bicudo, D.C., Forti, M.C., Bicudo, C.E.M. (orgs.) Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI): unidade de conservação que resiste à urbanização de São Paulo. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo.
- Findlay, D. L.; Kling, H.J.; Röncke, H. & Findlay, W.J. 1998. A paleolimnological study of eutrophied Lake Arendsee (Germany). **J. Paleolimnol.** 19:41-54.
- Fritz, S. C.; Kingston, J.C. & Engstrom, D.R. 1993. Quantitative trophic reconstruction from sedimentary diatom assemblages: a cautionary tale. **Freshwater Biol.** 30: 1–23.
- Fürstenberger, C.B. 2001. **Interpretações paleolimnológicas do quaternário recente a partir da análise da comunidade de diatomáceas (Bacillariophyceae) no sedimento do Rio Icatu, Município de Xique-Xique, Estado da Bahia, Brasil.** Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 128p.
- García-Rodríguez, F.; Mazzeo, N. Sprechmann, P. Metzeltin, D.; Sosa, F. Treutler, H.C.; Renom, M.; Scharf, B. & Gaucher, C. 2002. Paleolimnological assessment of human impacts in Lake Blanca, SE, Uruguay. **J. Paleolimnol.** 28:457-468.
- Germain, H. 1981. **Flore des Diatomées.** Paris: Société Nouvelle des Éditions Boubée. 444 p.
- Gianini, C.E. 2002. **Diatomáceas como indicadores de acidificação em lagos da Amazônia Central. Tese de doutorado.** Programa de Pós-graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais, INPA. 63 p.
- Gomes, D.F. 2007. **Elaboração de funções de transferência para a reconstituição de paleoprofundidade na Lagoa do Boqueirão - RN - com base em diatomáceas.** Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Geoquímica Ambiental. Universidade Federal Fluminense.
- Grimm E. C. 1987. CONISS: A Fortran 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. **Comp. Geosci.** 13: 13–35.
- Grimm E. C. 1991. TILIA version 1.11. **TILIAGRAPH version 1.18.** In Gear, A. (ed.), A Users Notebook. Illinois State Museum, Springfield, USA.
- Guzkowska, M.A.J. & Gasse, F. 1990. Diatoms as indicators of water quality in some English urban lakes. **Freshwater Biology** 23:233-250.
- Haberyan, K. A., Horn, S.P. & Cumming, B.F. 1997. Diatom assemblages from Costa Rica lakes: an initial ecological assessment. **J. Paleolimnology** 17:263-274.
- Hall, R.I. & Smol, J.P. 1992. A weighted-averaging regression and calibration model for inferring total phosphorus concentration from diatoms in British Columbia (Canada) lakes. **Freshwater Biology** 27:417-434.
- Hall, R.I., Leavitt, P.R., Smol, J. & Zirnelt, N. 1997. Comparison of diatoms, fossil pigments and historical records as measures of lake eutrophication. **Freshwater Biology** 38:401-417.
- Hall, R. I. & Smol, J.P. 1999. Diatoms as indicators of lake eutrophication. *In*: Stoermer, E. F. & Smol, J.P. (eds). **The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences.** Cambridge University Press, Cambridge, 128–168.
- Harper, D. 1992. **Eutrophication of freshwater.** London. Ed. Chapman Hall. 327 p.
- Hammer, B.K. & Stoermer, E. 1997. Diatom-based interpretation of sediment banding in an urbanized lake. **J. Paleolimnology** 17:437-449.

- Hakanson L. 1981. Determination of characteristic values for physical and chemical lake sediment parameters. **Water Resour. Res** 17 : 1625–1640.
- Häsanen, E. 1997. Dating of sediments, based on ^{210}Pb measurements. **Radiochemical and Radioanalytical Letters** 31: 207-214.
- Hedges, J.I. & Stern, J.H., 1984. Carbon and nitrogen determinations of carbonate-containing solids. **Limnology and Oceanography**, 29(3): 657-663.
- Henry, R.; Carmo, C.F. & Bicudo, D.C. 2004. Trophic status of a Brazilian urban reservoir and prognosis about the recovery of water quality. **Acta Limnol. Bras.** 16 (3):251-262.
- Hoffmann, G. 1994. Aufwuch-Diatomees in Seen und ihre Eignung als Indikatoren der Trophie. **Bibliotheca Diatomologica** 30. 241p.
- Houk, V. 2003. Atlas of freshwater centric diatoms with a brief key and descriptions Part I. Melosira, Orthoseiraceae, Paraliaceae and Aulacoseiraceae. **Czech Phycology Supplement**. v. I. 27p. and 41 plates.
- Huttunen, P. & Meriläinen, J. 1983. Interpretation of lake quality from contemporary diatom assemblages. **Hydrobiologia** 103:91-97.
- Instituto Geológico de São Paulo. Biblioteca. **Planta da Cidade de São Paulo e dos terrenos desapropriados para o seu abastecimento d'água em 1900**. São Paulo. 1900. Escala: 1:50000.
- Instituto Geológico de São Paulo. Biblioteca. **Mappa do Município da Capital do Estado de São Paulo**. São Paulo. 1901. Escala: 1:200.000.
- Johnes, P.J. 1999. Understanding lake and catchment history as a tool for integrated lake management. **Hydrobiologia**, 395/396: 41-60.
- Juggins S. 2003. **C2 User Guide. Software for Ecological and Palaeoecological Data Analysis and Visualisation**. University of Newcastle, Newcastle upon Tyne, UK, 69 p.
- King, L.; Clarke, G.; Bennion, H.; Kelly, M. & Yallop, M. 2006. Recommendations for sampling littoral diatoms in lakes for ecological status assessments. **J. Applied Phycology** 18:15-25.
- Köster, D.; Pienitz R.; Wolfe B.B.; Barry S.; Foster D.R. & Dixit S.S. 2005. Paleolimnological assessment of human-induced impacts on Walden Pond (Massachusetts, USA) using diatoms and stable isotopes. **Aquat. Ecosyst. Health Manage.** 8: 117–131.
- Köster, D. & Pienitz R. 2006. Seasonal diatom variability and paleolimnological inferences – a case study. **J. Paleolimnol.** 35: 395-416.
- Kosugi, M. 1988. Classification of living diatom assemblages as the indicator of environments and its application to reconstruction of paleoenvironments. **Quat. Res.** 27 (1):1-20.
- Lamb, H.F.; Gasse, F.; Benkaddour, A.; Hamouti, N. El; van der Kaars, S.; Perkins, W.T., Pearce, N.J. & Roberts, C.N. 1995. Relation between century-scale Holocene arid intervals in tropical and temperate zones. **Nature** 373 (12):134-137.
- Lange-Bertalot H.; Steindorf, A. 1996. **Rote Liste der limnischen Kieselalgen (Bacillariophyceae) Deutschlands**. Schriftenreihe für Vegetationskunde 28: 633-677.
- Lawson, D. S.; Hurd, D. C. & Pankratz, H. S. 1978. Silica dissolution rates of decomposing phytoplankton assemblages at various temperatures. **Am. J. Sci.** 278: 1373–1393.
- Lecointe, C.; Coste, M. & Prygiel, J. 1993. “Omnidia”: software for taxonomy, calculation of diatom indices and inventories management. **Hydrobiologia** 269/270: 509-513.
- Lewis, W.M. 2000. Basis for the protection and management of tropical lakes. **Lakes & Reservoirs: Research and Management** 5 (1):35.
- Lima, R. M. F. & Luz, J. A. 2007. Análise Granulométrica por Pipeta de Andreasen. In: Sampaio, J. A., França, S. C. A., Braga, P. F. A.. (Org.). **Tratamento de Minérios Práticas Laboratoriais**. I ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT. p. 124-135.

- Lobo, E.; Leighton, G. 1986. Estruturas de las fitocenosis planctónicas de los sistemas de desembocaduras de rios y esteros de la zona central de Chile. **Rev. Biol.Mar.**, 22 (1), p.143-170.
- Lobo, E.A.; Kirst, A.; Costa, A.B. & Oliveira, M.A.1995. Estudo na qualidade da água do Arroio Boa Vista, Município de Carlos Barbosa, Rio Grande do Sul. **Biociências**, Porto Alegre 3 (1): 43-63.
- Lobo, E.A.; Callegaro, V.L.M.; Schullers, S. Oliveira, M.A.; Salomoni, S. & Asai, K. 1996. Pollution tolerant diatoms from rivers located in the Jacuí Basin, Rio Grande do Sul, Brazil. **Iheringia Sér. Bot.** 47:43-70.
- Lobo, I. 1997. **Uso de traçadores químicos e isotópicos no estudo paleoambiental da Lagoa do Infernã: uma lagoa marginal do Rio Moji-Guaçu, Estação Ecológica de Jataí, Luiz Antonio (SP)**. Tese de Doutorado, UFSCar, São Carlos. 114p.
- Lotter, A.F. 2001. The palaeolimnology of Soppensee (Central Switzerland) as evidenced by diatom, pollen and fossil –pigment analyses. **J. Paleolimnol.** 25: 65-79.
- Lotter, A.F. & Birks, H.J.B. 2003. The Holocene paleolimnology of Sägistalsee and its environmental history – a synthesis. **J. Paleolimnol.** 30: 333-342.
- Loyd, M. & Ghelardi, R.J. 1964. A table for calculating the equitability component of species diversity. **J.An. Ecol.** 33:217-225.
- Lowe, R.L. 1974. **Environmental Requirements and Pollution Tolerance of Freshwater Diatoms**. National Environmental Research Center, Cincinnati, Ohio. 333p.
- Ludwig, T.A. 1996. **Levantamento florístico das diatomáceas (Bacillariophyceae) dos gêneros Cymbella e Gomphonema do Estado de São Paulo**. Tese de doutorado. Instituto de Biociências do Campus de Rio Claro, UNESP.235p.
- McCune, B.M.J. & Mefford, M.J. 1997. **PC-ORD Multivariate analysis of ecological data**. Version 3.0. MJM. Software design, Oregon, 47p.
- McKee, B.A.; Cohen, A. S.; Dettman, D.L.; Palacios-Fest, M.R.; Alin, S.R. & Ntungumburanye, G. 2005. Paleolimnological investigations of anthropogenic environmental change in Lake Tanganika: II. Geochronologies and mass sedimentation rates based on ^{14}C and ^{210}Pb data. **J. Paleolimnol.** 34: 19-29.
- Metzeltin, D. & García-Rodríguez, F.2003. Las diatomeas uruguayas, 1. *In*: Lange-Bertalot H. (ed.) **Iconographia Diatomologica**, annotated diatom micrographs. Stuttgart: Koeltz Scientific Books,v.5, 695p.
- Metzeltin, D. & Lange-Bertalot, H. 1998. Tropical diatoms of South America, 1. *In*: Lange-Bertalot H. (ed.) **Iconographia Diatomologica**, annotated diatom micrographs. Stuttgart: Koeltz Scientific Books,v.5, 695p.
- Metzeltin, D. & Lange-Bertalot, H. 2007. Tropical diatoms of South America, 2. *In*: Lange-Bertalot H. (ed.) **Iconographia Diatomologica**, annotated diatom micrographs.Stuttgart:Koeltz Scientific Books, v.15, 736p.
- Miettinen, J.O.; Heikki, S.; Grönlund, E.; Lahtinen, J. & Niinioja, R. 2005. Limnological effects og growth and cessation of agricultural land use in Ladoga Karelia: sedimentary pollen and diatom analyses. **J. Paleolimnol.** 34:229- 243.
- Morandi, L.L. 2002. **Eunotiales (Bacillariophyceae) de águas continentais do estado de São Paulo: levantamento florístico**. Dissertação de Mestrado. Ribeirão Preto. USP. 156p.
- Moro, R.S. 1998. **Interpretações paleolimnológicas do quartenário a partir da análise da comunidade de diatomáceas (Bacillariophyceae) nos sedimentos da Lagoa Dourada, Ponta Grossa, Paraná**. Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 330 p.
- Moro, R.S. & Fürstenbeger, C.B. 1997. **Catálogo dos principais parâmetros ecológicos de diatomáceas não-marinhas**. Ponta Grossa: Editora da Universidade Estadual de Ponta Grossa, 282 p.

- Mozeto, A.A. 2004. Sedimentos e particulados lacustres: amostragem e análises biogeoquímicas. In: Bicudo, C.E.M. & Bicudo, D.C. (orgs.) **Amostragem em Limnologia**. São Carlos: RIMA Editora. p. 295-341.
- Murray, T.E. & Gottgens, J.F. 1997. Historical changes in phosphorus accumulation in a small lake. **Hydrobiologia** 345: 39-44.
- Owen, R.B. & Crossley, R. 1992. Spatial and temporal distribution of diatoms in sediments of Lake Malawi, Central Africa, and ecological implications. **J. Paleolimnol.**, 7:55-71.
- Pan, Y. & Brugam, R. 1997. Human disturbances and trophic status changes in Crystal Lake, McHenry County, Illinois, USA. **J. Paleolimnology** 17:369-376.
- Patrick, R. & Reimer, C.W. 1966. **The diatoms of the United States, exclusive of Alaska and Hawaii**. Philadelphia: Livingstgon Company. Vol. 1, 688p.
- Patrick, R. & Reimer, C.W. 1975. The diatoms of the United States, exclusive of Alaska and Hawaii. Philadelphia: Livingstgon Company. Vol. 2, 213p.
- Patrick, R.; Timberlid, J.A. & Stevenson, A.C. 1990. The signicante of land –use and land-management change in the acidification of lakes in Scotland and Norway: an assesment utilizing documentary sources and pollen analysis. **Phil. Trans. R.Soc. Lond.** 327:363-367.
- Pereira-Filho, A.J., Massambani, O. Lobo, G.A. & Castilhano, L.L. 2002. Balanço hídrico da bacia hidrográfica do IAG. In: Bicudo, D.C.; Forti, M.C.; Bicudo, C.E.M. (orgs.) **Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI): unidade de conservação ameaçada pela urbanização de São Paulo**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. p. 201-212.
- Pielou, E.C. 1966. The use of information theory in the study of the diversity of biological populations. **Proceedings of the fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability**. p. 169-177.
- Pielou, E.C. 1984. **The Interpretation of Ecological Data**. New York: John Willey and Sons. 263 p.
- Pivello, V. R. & Peccinini, A.A. 2002. A vegetação do PEFI. In: Bicudo, D.C.; Forti, M.C.; Bicudo, C.E.M. (orgs.) **Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI): unidade de conservação ameaçada pela urbanização de São Paulo**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. p. 201-212.
- Piovano, E.; Ariztegui, D. & Moreira, S.D. 2002. Recent environmental changes in Laguna Mar Chiquita (central Argentina): a sedimentary model for a highly variable saline lake. **Sedimentology**, 49:1371.
- Pouličková A., Hájková P., Křenková P. & Hájek M. 2004. Distribution of diatoms and bryophytes on linear transects through spring fens. **Nova Hedwigia** 78: 411–424.
- Pouličková A. & Hasle, P. 2007. Aerophytic diatoms from caves in central Moravia (Czech Republic). **Preslia** 79: 185-204.
- Räsänen, M. 1986. Recent sedimentation in a freshwater reservoir in SW-Finland: the diatomological and chemical evidence of sediments on the development of the water body. **Hydrobiologia** 143:361-369.
- Reavie, E.D. & Baratano, N. G. 2007. Multi-core investigation of a lotic bay of Lake of the Woods (Minnesota, USA) impacted by cultural development. **J. Paleolimnol.** 38:137-156.
- Rebouças, A.C. 1999. Água doce no mundo e no Brasil. In: Rebouças, A.C., Braga, B. & Tundisi, J.G. (orgs.). **Águas doces do Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Escrituras Editora. p. 1-37.
- Reid, M. 2005. Diatom-based models for reconstructing past water quality and productivity in New Zealand lakes. **J. Paleolimnol.** 33: 13-38.

- Reis, L.A.M. 2002. Resíduos sólidos e líquidos encontrados no PEFI. In: Bicudo, D.C.; Forti, M.C.; Bicudo, C.E.M. (orgs.) **Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI): unidade de conservação ameaçada pela urbanização de São Paulo**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. p. 260-270.
- Rocha, Y.T. & Cavalheiro, F. 2001. Aspectos históricos do Jardim Botânico de São Paulo. **Revista Brasileira de Botânica**. 24 (4): 577-586.
- Rocha, A.C.R. 2008. **A família Pinnulariaceae (Bacillariophyceae) no Estado de São Paulo: levantamento florístico**. Dissertação de Mestrado. Rio Claro: Universidade Estadual Paulista. 168 p.
- Round, F.E.; Crawford, R.M. & Mann, D.G. 1990. **The Diatoms – biology and morphology of the genera**. Cambridge: University Press. 747 p.
- Ruggiu, D., Lugliè, A., Cattaneo, A. & Panzani, P. 1998. Paleoecological evidence for diatom response to metal pollution in Lake Orta (N. Italy). **J. Paleolimnol** 20:333-345.
- Rumrich, U. Lange-Bertalot, H. & Rumrich, M. 2000. Diatoms of Andes. In: Lange-Bertalot, H. (ed.). **Iconographia Diatomologica**, annotated diatom micrographs. Stuttgart: Koeltz Scientific Books, v.9, 672p.
- Sabater, S. & Sabater, F. 1988. Diatom assemblages in the River Ter. *Archiv für Hydrobiologie*, 111: 397–408.
- Sant’Anna, C.L.; Azevedo, M.T.P. & Sormus, L. 1989. Fitoplâncton do Lago das Garças, Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, SP. Brasil: estudo taxonômico e aspectos ecológicos. **Hoehnea** 16:89-131.
- Santos, P.M. & Funari, F.L. 2002. Clima local. In: Bicudo, D.C.; Forti, M.C. & Bicudo, C.E.M. (orgs.). **Parque Estadual das Fontes do Ipiranga: unidade de conservação ameaçada pela urbanização de São Paulo**. São Paulo: Editora Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. p. 141-158.
- Schelske, C. L. 1985. Biogeochemical silica mass balances in Lake Michigan and Lake Superior. **Biogeochem.** 1: 197–218.
- Schelske C.L. 1999. Diatoms as mediators of biogeochemical silica depletion in the Laurentian Great Lakes. In: Stoermer E.F. and Smol J.P (eds), **The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences**. Cambridge University Press, pp. 73–84.
- Schönfelder, I., Gelbrecht, J., Schönfelder, J. & Steinberg, C.E.W. 2002. Relationship between littoral diatoms and their chemical environment in northeastern German lakes and rivers. **J. Phycol.** 38:66-82.
- Schnunrenberger, D.; Russell, J. & Kelts, K. 2003. Classification of lacustrine sediments based on sedimentary components. **J. Paleolimnol.** 29:141-154.
- Shannon, C.E.; Weaver, W. 1963. **The mathematical theory of communication**. Urbana: Illinois University Press. 177p.
- Shepherd, G.J. 1996. **Fitopac 1: manual do usuário**. Departamento de Botânica, UNICAMP. 95p.
- Silva, L.F. 2007. **Distribuição Longitudinal da Comunidade de Diatomáceas de Sedimentos Superficiais nos Reservatórios em cascata do Rio Paranapanema**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Botânica. 137 p.
- Simpson, E.H. 1949. Measurement of diversity. **Nature**, 163. p.688.
- Smith, V.H. 2003. Eutrophication of freshwater and coastal marine ecosystems – a global problem. **Environ. Sci. Pollut. Res. Int.** 10:126-139.
- Smoak, J.M. & Swarzenski, P.W. 2004. Recent increases in sediment and nutrient accumulation in Bear Lake, Utah, Idaho, USA. **Hydrobiologia** 525: 175-184.

- Smol, J.P. 1981. Problems associated with the use of “species diversity” in paleolimnological studies. **Quat. Res.** 15:209-212.
- Smol, J.P. 1992. Paleolimnology: an important tool for effective ecosystem management. **J. Aquatic Ecosystems Health** 1: 49-58.
- Smol, J.P. 2008. **Pollution of lakes and rivers – a paleoenvironmental perspective**. 2nd. Oxford: Blackwell Publishing. 362 p.
- Smol, J.P. & Cumming, B.F. 2000. Tracking long term changes in climate using algal indicators in lake sediments. **J. Phycology** 36 (6):986.
- Souza, G. S.; Koenig, M.L.; Leça, E.E. & Coelho, M.P.C.A. 2007. Diatomáceas indicadoras de paleoambientes do Quaternário de Dois Irmãos, Recife, PE, Brasil. **Acta Botânica Brasílica** 21 (3):521-529.
- Stockner, J.G. & Benson, W.W. 1967. The succession of diatom assemblages in the recent sediments of Lake Washington. **Limnol. Oceanogr.** 12: 513-532.
- Stoermer, E.F.; Wolin, J.A.; Schelske, C.L. & Conley, D.J. 1985. An assessment of ecological changes during the recent history of lake Ontario based on siliceous algal microfossils preserved in the sediments. **J. Phycol.** 21:257-276.
- Stoermer, E.F., Andresen, N.A. & Schelske, C.L. 1992. Diatom succession in the recent sediments of lake Okeechobee, Florida, USA. **Diatom Res.** 7:367-386.
- Tavares, B. 2001. **Levantamento florístico das naviculales (Bacillariophyceae) de águas continentais do estado de São Paulo**. Tese de doutorado. Instituto de Biociências do Campus de Rio Claro, UNESP. 235p.
- Ter-Braak, C.J.F. 1986. Canonical Correspondence Analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. **Ecology**, 67 (5). P.1167-1179.
- Tucci, C.E.M. 2001. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre. Ed. da Universidade do Rio Grande do Sul.
- Valderrama, G.C. 1981. The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorus in natural waters. **Mar. Chem.** 10:109-122.
- 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 (1):117-133.
- Velez, M.I.; Wille, M.; Hooghiemstra, H. & Metcalfe, S. 2003. Integrated diatom-pollen based Holocene environmental reconstruction of lake Las Margaritas, eastern savannas of Colombia. **The Holocene**, 15(8): 1184-1198.
- Vilaclara, G.; Rico, R. & Miranda, J. 1997. Effects of perturbations on diatom assemblages in Tlaxcala Paleolake, Mexico. **Verh. Internat. Verein. Limnol.** 26: 846-851.
- Waters, M.N.; Schelske, C.L.; Kenney, W.F. & Chapmann, A.D. 2005. The use of sedimentary algal pigments to infer historic algal communities in Lake Apopka, Florida. **J Paleolimnol.** 33:53-71.
- Wessels, M.; Mohaupt, K.; Kümmerlin, R. & Lenhard, A. 1999. Reconstructing past eutrophication trends from diatoms and biogenic silica in the sediment and the pelagic zone of Lake Constance, Germany. **J. Paleolimnol.** 21:171-192.
- Wolf, H. 1982. Method of coding of ecological data from diatoms for computer utilization. **Meded. Rijks. Geol. Dienst.** 36 (2):95-98.
- Xue, B.; Yao, S. & Xia, W. 2007. Environmental Changes in Lake Taihu during the past century as recorded in sediment cores. **Hydrobiologia** (581) :117-123.

- Zalat, A.A. 2000. Distribution and paleoecological significance of fossil diatom assemblages from the Holocene sediments of Lake Manzala. Egypt. **Diatom Res.** 15: 167–190.
- Zalat, A.A. & Vildary, S.S. 2007. Environmenal change in Northern Egyptian Delta lakes during the late Holocene, based on diatom analyses. **J. Paleolimnol.** 37: 273-299.

ANEXO 1

Evolução da área do PEFI e instalações das instituições nele inseridas (1892 a 1981).

Histórico do PARQUE ESTADUAL DAS FONTES DO IPIRANGA São Paulo

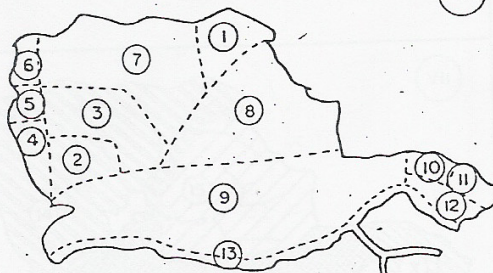
1892

- Lei 62, de 17/8/1892 autorizando reforçar o abastecimento d'água da Capital.
- Decreto 204-A de 12/9/93, alterado pelo 878 de 23/2/901, considerando de utilidade pública, para desapropriação, as nascentes do Ipiranga, incluindo entre elas os mananciais que denominou-se nº 1, nº 2, nº 3 e nº 4.
- Primeiro delineamento do território que mais tarde constituiu este Parque.



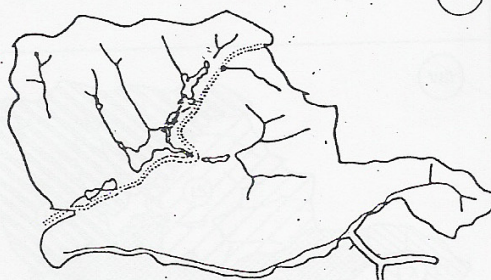
1894

- DESAPROPRIAÇÕES: (1) Manoel Paes; (2) Manoel Ant. Cruz Borba; (3) Antonio P. Sobrinho; (4) Inácio de Andrade; (5) João A. Moraes; (6) Samuel Mesquita; (7) Henrique A. Araujo; (8) Jorge Fucks; (9) Gertrudes das Doreas; (10) José A. Borba; (11) Joaquim A. Correa; (12) João Bento; (13) Felício Antonio Mariano Fagundes.



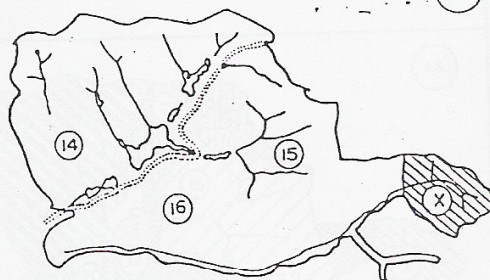
1917

- Bairro do Ipiranga passa a ser abastecido também através das 5 (cinco) represas aqui construídas pelo Sector da Superintendência de Obras Públicas.
- Iniciações para as instalações do Orquidário, do Observatório Astronômico e da Estação Experimental do Departamento da Indústria Animal.



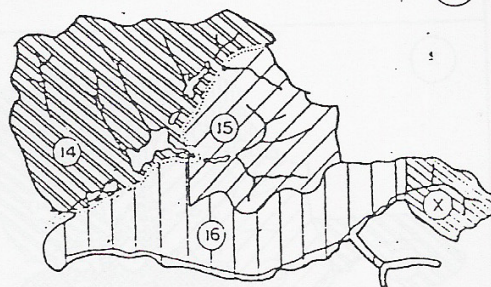
1930

- Desativado o abastecimento d'água que se fazia pelos mananciais deste Parque.
- Advento de novo interesse público, pela área, ensejando: (14) Orquidário do Estado; (15) Instituto Astronômico e Geofísico; (16) Estação Experimental.
- Criação do Departamento de Botânica (Dec. 9.715 - 9/11/38).
- (X) Área doada a Liga das Senhoras Católicas (Decreto 6.505 - 19/6/34).



1938

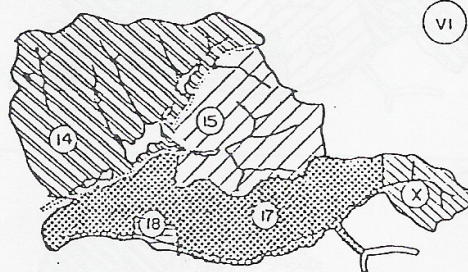
- Estabelecimento dos limites entre (14) Dep. Botânica (mais tarde IBT); (15) I.A.G., da Secretaria da Educação; (16) Estação Experimental do D.I.A., incluindo-se nesta os mananciais nº 1, nº 2, nº 3 e nº 4 (ato do Secretário da Agricultura - D.O. 7/2/39).
- Criação e organização do IBT (Decreto lei 12.499 - 7/1/42).
- Criação e organização do D.P.A. (Decreto lei 12.504 - 10/1/42).



1942

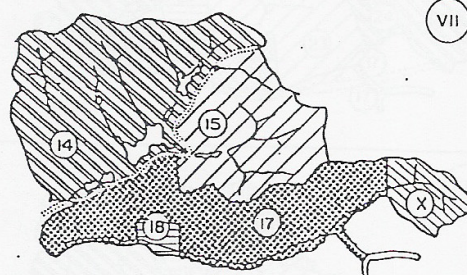
1942

- (17) transferida do D.P.A. para a Diretoria do Ensino Agrícola (ato do Secretário da Agricultura - D.O. 5/7/46); (13) Iniciação da Escola de Horticultura (ato do Secretário da Agricultura - D.O. 31/12/46).
- Incorporação do I.A.G. à USP (Decreto 16.622 - 30/12/46).



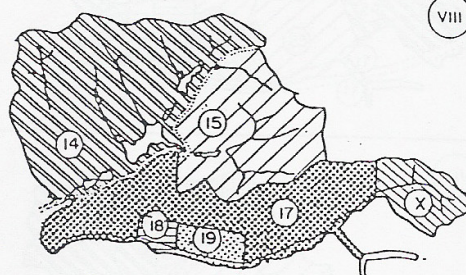
1946

- (17) transferida da Diretoria do Ensino Agrícola para o D.P.A. (ato do Secretário da Agricultura de 15/3/53).
- (18) instalações da Escola de Horticultura cedidas ao Serviço Social do Estado, até 1971 quando pelo Decreto 30/11/71 foi transferida para o Centro Estadual da Agricultura - CEA.



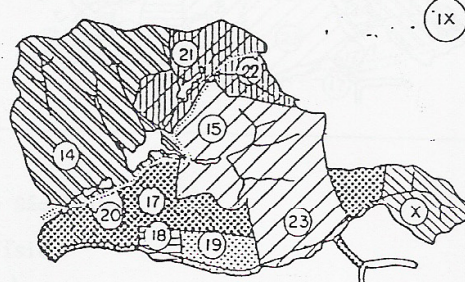
1953

- (19) transferida do D.P.A. para a Secretaria de Justiça e Negócios do Interior a fim de instalar-se uma granja para menores débeis mentais (Decreto 30.487 - 24/12/57).



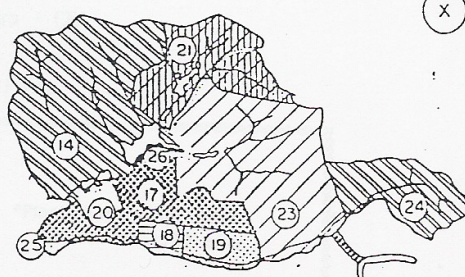
1957

- (20) transferida do D.P.A., para a Secretaria da Saúde Pública, destinada ao Departamento de Assistência aos Psicopatas (Decreto 30.487 - 24/12/57); (21) transferida do IBt para o Parque Zoológico de São Paulo (Lei 5.116 - 31/12/58); (22) transferida do I.A.G. para o Zoológico (Lei 7.721 - 22/01/63); (23) transferida do D.P.A. para o I.A.G. (Lei 7.721 - 22/01/63).



1963

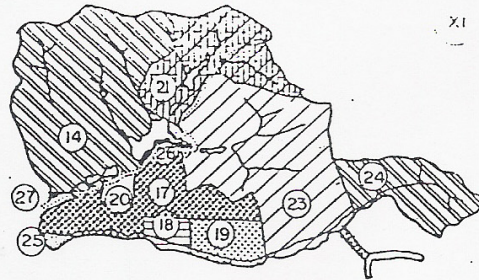
- (21) transferida do D.P.A. para o IBt - Reserva Biológica da Vila Fachini (Decreto 45.305 - 28/12/65).
- (23) transferida do D.P.A. para a Escola Superior de Educação Física (Decreto 46.991 - 31/11/66); (26) transferida do I.A.G. para o IBt (Decreto 46.223 - 30/4/66).
- (19) da Secretaria de Justiça e Negócios do Interior acrescida, pelo D.P.A., com área para a Seção feminina (Decreto 43.750 - 10/9/64).



1966

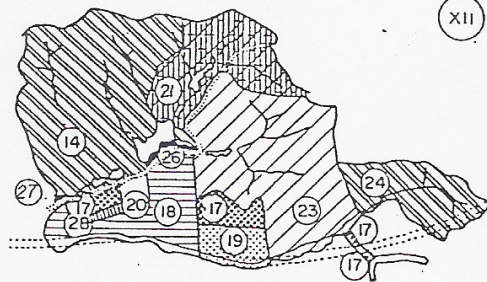
1966

- denominação "Parque Estadual das Fontes do Ipiranga" estabelecendo normas de uso (Decreto 52.281 - 12/8/69, alterado pelo Decreto de 5/3/71 - Lei 10.353 - 17/1/69).
- 21 desapropriada da Siderúrgica Alperli para ampliação do Jardim Botânico (Decreto 50.620 - 31/10/68).



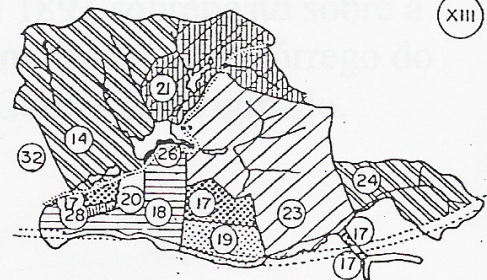
1969

- D.P.A. com seus bens transformado em Instituto de Zootecnia (Decreto 52.305 - 19/01/70).
- Autorização para obras da Rodovia dos Imigrantes (Decreto 5/3/71).
- 18 com toda a área livre do ex-D.P.A., transferida para o CEA e sede da Secretaria da Agricultura (Decreto 50/11/71).
- 23 transferida do ex-D.P.A. para o Instituto de Pesos e Medidas (Dec. 1034-29/5/73).



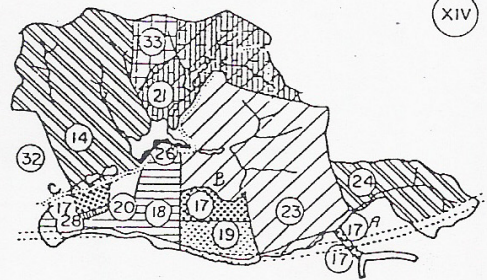
1975

- 32 excluída do IBt a favor de herdeiros de Salomão Bumaruff por força demandado de emissão de posse (processo 216/56 - 12/4/76 - 1.ª Vara da Fazenda Estadual).
- 31 + 25 + 17 + 28 + 27; até Av. Miguel Estefno, constituindo o lado denominado Centro Estadual da Agricultura (Decreto 5.809 - 6/5/75).



1976

- 33 em transferência, do IBt para a Fundação Parque Zoológico de São Paulo (processo S.A. 71.555/75) Fundação esta legalmente assegurada até 31/12/2008.



1981

- Instituto de Botânica
- Fundação Parque Zoológico de São Paulo
- Instituto Astronômico e Geofísico.
- Remanescentes do ex-D.P.A.
- Abrigo de menores
- Centro Estadual da Agricultura - CEA
- Hospital Psiquiátrico
- Instituto de Pesos e Medidas

Histórico
PARQUE ESTADUAL DAS
FONTES DO IPIRANGA

São Paulo

João Penna
Téc. em Agrimensura
CREA-2126td go

ANEXOS:

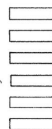
- *Planta e memorial -1893
- *Planta de 1970 e/ou

ANEXO 2

Mapa dos terrenos desapropriados em 1893 sobreposto sobre a atual configuração da área do PEFI. Em destaque, o Córrego do Campanário do qual o Lago das Garças foi originado.

TERRENOS NA BACIA DO IPIRANGA				
Nome	M ²	Alqs.	1919 do	Preço
MANOEL PAES	164.046	678	15.6.1896	1.998.000
MANOEL ANT. CRUZ BORBA	192.448	795	20.3.1895	5.675.750
ANTONIO P. SOBRINHO	645.256	2666	20.3.1895	9.998.150
INACIO DE ANDRADE	214.678	887	20.3.1895	5.527.950
JOÃO BENTO	199.384	824	20.3.1895	5.348.400
GERTRUDES M. DORES	1.926.188	7959	20.3.1895	24.775.950
SAMUEL MESQUITA	76.000	314	1.8.1896	879.200
FELICIO FAGUNDES	232.041	958	22.3.1901	6.011.230
JORGE FUCHS	889.598	3676	20.3.1895	13.276.000
JOAQUIM A. CORREA	91.392	336	31.8.1896	2.000.000
JOSE A. BORBA	75.226	310	15.9.1896	3.610.000
HENRIQUE A. ARAUJO	912.625	3771	3.2.1904	10.000.000
THEOPHILLO S. GOMES	66.319	274	4.10.1902	14.000.000
JOÃO A. MORAES			1.7.1914	3.500.000
TOTAL	5.675.211	23448		101.152.180

"LEGENDA"



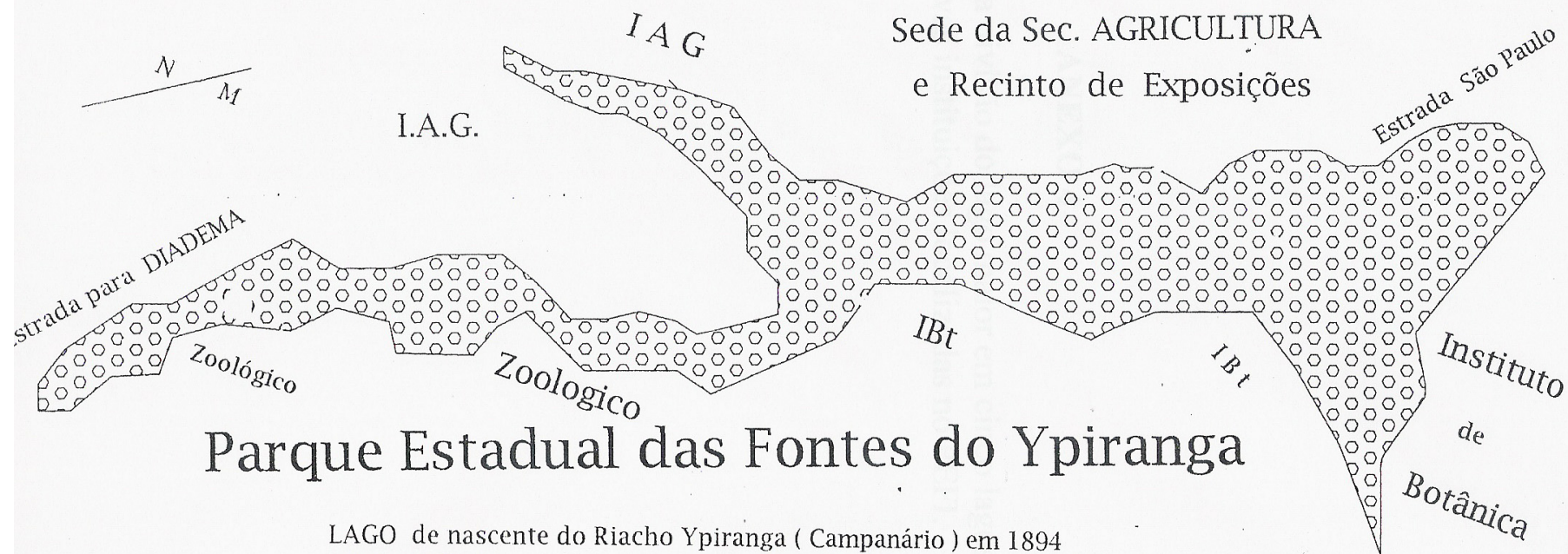
MAPA DOS TERRENOS
DO

PARQUE DO ESTADO

ESCALA 1:5000

ANEXO 3

Croqui apresentando a configuração do grande lago formado pelo represamento do Córrego do Campanário em 1894.



Parque Estadual das Fontes do Ypiranga

LAGO de nascente do Riacho Ypiranga (Campanário) em 1894

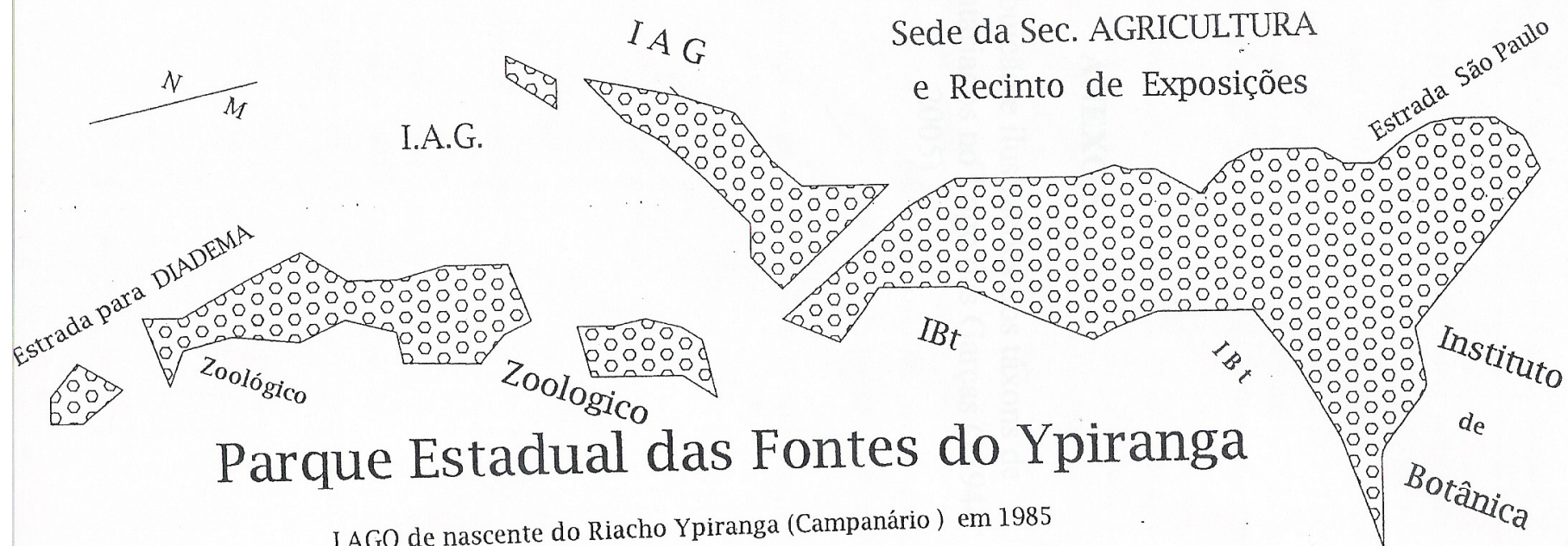
ESTIMATIVAS : área = 11 Ha. vazão = 15 l/s. volume = 405 M³

Croqui sem escala

João Penna - Tec. em Agrimensura
CREA 2126-TD

ANEXO 4

Croqui apresentando a divisão do lago maior em cinco lagos menores e respectivas instituições localizadas no PEFI.



Parque Estadual das Fontes do Ypiranga

LAGO de nascente do Riacho Ypiranga (Campanário) em 1985

ESTIMATIVAS : área = 11 Ha. vazão = 15 l/s. volume = 405 M³

Croqui sem escala

João Penna - Téc. em Agrimensura
CREA 2126-TD

ANEXO 5

**Medidas, distribuição e ilustrações dos táxons de diatomáceas
inventariados no Lago das Garças (1894-2005)**

Os trabalhos taxonômicos relacionados ao Lago das Garças somam oito e incluem grupos específicos de diatomáceas avaliados em nível do Estado de São Paulo (Ludwig 1996, Tavares 2001, Morandi 2002, Carneiro 2003, 2007, Rocha 2008), ou vários grupos de algas citados para o Lago das Garças (Sant’Anna *et al.* 1989, Bicudo 1997, Tucci *et al.* 2006, entre outros). Dentre os trabalhos que envolvem aspectos ecológicos e que apenas fazem a citação de espécies destacam-se os de Vercellino (2001), Crossetti (2002) e Barcelos (2003).

Os táxons inventariados nos testemunhos LG05-04 e 03 são brevemente descritos (medidas), ilustrados, bem como é fornecida a distribuição temporal dos mesmos no Lago das Garças. A numeração das figuras é seqüencial para as pranchas de fotografias e abrange as espécies mais comuns, ou seja, com densidade valvar relativa maior ou igual a 5%.

O levantamento resultou na identificação de 80 táxons (76 espécies e 4 variedades), dos quais 47 (59%) foram registrados pela primeira vez para o Lago das Garças, considerando tanto os trabalhos taxonômicos quanto os ecológicos, nos quais aparecem em listas taxonômicas.

A relação dos táxons, conforme o sistema de classificação de Round, Crawford & Mann (1990), é dada a seguir.

COSCINODISCOPHYCEAE

THALASSIOSIRALES

STEPHANODISCACEAE

Cyclotella meneghiniana Kützinger var. *meneghiniana*

Figuras 1-3

Medidas: 5,6-20,9 µm diâmetro; 7-15 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1923 a 1943, 1955, 1978 a 2005.

A espécie já foi documentada no fitoplâncton por Sant’Anna *et al.* (1989) e citada no perifíton por Vercellino (2001).

Discostella pseudostelligera (Husted) Houk & Klee

Medidas: 6,8 a 8,3 µm diam.; 11 -14 estrias em 5 µm; 4-6 processos em 5 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1971, 1978, 1981, 1990, 1993, 1997, 2003 e 2005.

Primeira citação para o Lago das Garças.

D. stelligera (Cleve & Grunow) Houk & Klee

Figuras 4-6

Medidas: 3,7-18 µm diam.; 5 -10 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1923 a 1938, 1947, 1955 a 2005.

A espécie foi documentada no Lago das Garças, como *Cyclotella stelligera* Cleve & Grunow, no fitoplâncton (Sant'Anna *et al.* 1989; Crossetti 2002) e no perifiton (Vercellino 2001; Barcelos 2003).

AULACOSEIRALES

AULACOSEIRACEAE

Aulacoseira alpigena (Grunow) Krammer

Figuras 7-8

Medidas: 5,2-6,2 µm diam.; 2,0-2,3 µm de altura da semicélula; 14-17 estrias em 5 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1923 a 1938, 1987 a 1999, 2003 e 2005.

Primeira citação para o sistema.

A. ambigua (Grunow) Simonsen

Figuras 9-10

Medidas: 4,8-8,1 µm diam.; 7,9-10,9 µm de altura do manto; 12-17 estrias em 10 µm.

Distribuição no Lago das Garças: 1923 a 1932, 1955, 1962 a 1968, 1975 a 1986, 1988 a 1991, 1994 a 2003 e 2005.

Primeira citação para o sistema.

A. granulata (Ehr.) Simonsen var. *angustissima* (O. Müller)

Medidas: 2,8-5,0 µm diam.; 11,0-19,8 µm de altura do manto; 6-12 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1923 a 1938, 1976, 1980, 1983, 1986, 1988 a 1991, 1994 a 2005.

Primeira citação da variedade para o sistema.

A. granulata (Ehrenberg) Simonsen var. *granulata*

Figuras 11-14

Medidas: 3,4-7,1 µm diam.; 10,4-15,3 µm de altura do manto; 4-9 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1923 a 1947, 1965, 1971 a 1976, 1978 a 2005.

A espécie foi documentada no Lago das Garças no fitoplâncton (Sant'Anna *et al.* 1989; Crossetti 2002) e no perifiton (Vercellino 2001; Barcelos 2003).

ORTHOSEIRALES

ORTHOSEIRACEAE

Orthoseira roeseana (Rabenhorst) O' Meara

Medidas: 22-48,5 µm compr.; 2,8-6,9 µm larg.; 12-20 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1923 a 1943, 1955, 1968, 1976, 1977, 1979 a 2005.

Primeira citação para o Lago das Garças.

FRAGILARIOPHYCEAE

FRAGILARIALES

FRAGILARIACEAE

Fragilaria capucina Dèsmazieres

Figuras 26-30

Medidas: 22-48,5 µm compr.; 2,8-6,9 µm larg.; 12-20 estrias em 10 µm.

Distribuição no Lago das Garças: 1923 a 1943, 1955, 1968, 1976, 1977, 1979 a 2005.

Primeira citação para o Lago das Garças.

Fragilaria sp₁

Medidas: 16,5 µm compr.; 2,6 µm larg.; 20 estrias em 10 µm.

Distribuição no Lago das Garças: 1991.

Primeira citação para o Lago das Garças.

Fragilaria sp₂

Medidas: 18,7 µm compr.; 2,3 µm larg.; 25 estrias em 10 µm.

Distribuição no Lago das Garças: 1991

Primeira citação para o Lago das Garças.

Staurosirella sp.

Medidas: 17,2-20,1 µm compr.; 4,8-6,6 µm larg.; 8-12 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1923 a 1932, 1955, 1968 a 1980, 1983 a 1986, 1988 a 1990, 1993, 1996 e 2003.

Primeira ocorrência no Lago das Garças.

Staurosira sp.

Medidas: 13,8-15,2 µm compr.; 5,1-6,3 µm larg.; 10 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1973, 1981, 1984 a 1988, 1990, 1991, 1997 e 1999.

Primeira ocorrência no Lago das Garças.

Ulnaria ulna (Nitzsch) Ehrenberg

Medidas: 55,6-73,8 µm compr.; 5-6 µm larg.; 9-12 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1923, 1938, 1981 a 1988, 1991 a 2005.

A espécie foi citada no Lago das Garças por Carneiro (2007).

BACILLARIOPHYCEAE

EUNOTIALES

EUNOTIACEAE

Eunotia bilunaris Ehrenberg

Medidas: 33,04-35,2 µm compr.; 3,87-3,91 µm larg.; 29 estrias em 10 µm.

Distribuição no Lago das Garças: 1923, 1958, 1994, 1996, 1999, 2002 a 2005.

A espécie foi citada no Lago das Garças para o perifiton por Vercellino (2001).

E. maior Wm. Smith

Medidas: 36,1-63,8 µm compr.; 5,3-8,7 µm larg.; 8-14 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 2003 e 2005.

Primeira ocorrência no Lago das Garças.

E. monodon Ehrenberg

Medidas: 13,8-15,2 µm de compr.; 7,2- 8,4 µm de larg.; 11-14 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1965, 1999 a 2002, 2004.

A espécie foi citada para o Lago das Garças, sendo descrita e ilustrada por Morandi (2002).

E. nymanniana (Grunow) Van Heurck

Medidas: 13,9 µm de compr.; 2,2 µm de larg.; 14 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1958

Primeira ocorrência da espécie para o Lago das Garças.

Eunotia cf. *quaternaria* Ehrenberg

Figuras 24-25

Medidas: 25,9-27,2 µm compr.; 6,4-7,1 µm larg.; 20-26 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1955 a 1962.

Primeira ocorrência da espécie para o Lago das Garças.

E. rabenhorstii Cleve & Grunow

Figuras 15-18

Medidas: 17,4-18,2 µm compr.; 6,1-6,6 µm larg.; 14 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1923, 1947 a 1976, 1980.

Primeira ocorrência da espécie para o Lago das Garças.

Eunotia sudetica O.F. Muller

Figuras 19-23

Medidas: 8,8-21,3 µm compr.; 5,1-8,3 µm de larg.; 8-12 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1923, 1955 a 1976, 1978, 1995 a 2005.

Espécie já foi documentada para o Lago das Garças por Morandi (2002).

E. tenella (Grunow) A. Cleve

Medidas: 12,3-15,1 µm compr.; 4,8-5,2 µm larg.; 10 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1965 a 1971, 1997, 2002 e 2003.

Espécie já foi documentada para o sistema por Morandi (2002).

Eunotia cf. *zygodon* (Grunow) A. Cleve

Medidas: 12,3-15,1 µm compr.; 4,8-5,2 µm larg.; 10 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1965 a 1971, 1997, 2002 e 2003.

Espécie já foi documentada para o sistema por Morandi (2002).

CYMBELLALES

CYMBELLACEAE

Cymbella affinis Kützting

Medidas: 34–35 µm compr.; 9-10 µm larg.; 11-12 estrias em 10 µm.

Distribuição no Lago das Garças: 1978.

Primeira citação da espécie para o Lago das Garças.

C. turgidula Grunow

Medidas: 37,4 µm compr.; 10,4 µm larg.; 9 estrias em 10 µm; 16 aréolas em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1978.

Primeira ocorrência no Lago das Garças.

Encyonema mesianum (Cholnoky) Mann

Medidas: 26,67 µm compr.; 6,7 µm larg.; 10 estrias em 10 µm.

Distribuição no Lago das Garças: 1978.

Primeira ocorrência no Lago das Garças.

E. silesiacum (Bleisch *in* Rabenhorst) Mann

Figuras 31-33

Medidas: 28-37,6 µm compr.; 5,1-10,0 µm larg.; 8-15 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1928, 1965 a 1975, 1978 a 1984, 1990, 1991, 1994, 1996 a 2001, 2003 e 2004.

Espécie já descrita e ilustrada para o Lago das Garças por Ludwig (1996), como *Cymbella silesiaca* Bleisch *in* Rabenhorst.

Placoneis elginensis (Gregory) Cox

Medidas: 32,3 µm compr.; 10,8 µm larg.; 12 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 2005.

Primeira ocorrência no Lago das Garças.

P. gastrum (Ehrenberg) Mereschkowsky

Medidas: 30,1-32,4 µm compr.; 10,5-12,2 µm larg.; 10-12 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1986, 1995 e 2003.

Primeira ocorrência no Lago das Garças.

Placoneis sp.

Medidas: 28 -32,2 µm compr.; 10,9-11,2 µm larg.; 10-12 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1928, 1962 e 1965.

Primeira ocorrência no Lago das Garças.

Encyonopsis microcephala (Grunow) Krammer

Figuras 34-35

Medidas: 14,9-16,1 µm compr.; 3,2-3,3 µm larg.; 10-12 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1965 a 1973.

Primeira ocorrência no Lago das Garças.

GOMPHONEMATACEAE

Gomphonema brasiliense Grunow

Medidas: 46,3 µm compr.; 10,5 µm larg.; 11 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1996.

Primeira ocorrência no Lago das Garças.

G. clavatum Ehrenberg

Medidas: 43-47,4 µm compr.; 9-10,7 µm larg.; 12-13 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1997 e 2003.

Primeira ocorrência no Lago das Garças.

G. clevei Fricke

Medidas: 26,9 µm compr.; 5,7 µm larg.; 16 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 2003.

Primeira ocorrência no Lago das Garças.

G. gracile Ehrenberg

Medidas: 21,2-57,8 µm compr.; 6,8-9,6 µm larg.; 5-14 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1932, 1958, 1962, 1968, 1973 a 1976, 1981 a 1985, 1991, 1995, 1996, 1999, 2004 e 2005.

A espécie já foi documentada para o Lago das Garças por Ludwig (1996).

G. parvulum (Kützing) Kützing

Medidas: 19,8 µm compr.; 6,0 µm larg.; 14 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1947, 1955, 1962 a 1971, 1979, 1976, 1979, 1983 a 1985, 1994, 1995, 2002 a 2005.

A espécie já foi documentada para o Lago das Garças por Ludwig (1996).

G. truncatum Ehrenberg

Medidas: 36,2-37,8 µm compr.; 10,3-12,2 µm larg.; 14-16 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1923, 1928, 1938, 1979 a 1983, 1988, 2002 e 2005.

A espécie foi descrita e ilustrada para o Lago das Garças por Ludwig (1996).

ACHNANTHALES

ACHNANTHACEAE

Achnanthes coarctata (Brébisson) Grunow

Medidas: 40,8 µm compr.; 10,0 µm larg.; valva rafídea: 13 estrias em 10 µm; valva arrafídea: 10 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1971.

Primeira ocorrência da espécie para o Lago das Garças.

A. exigua (Grunow) Czamecki var. *constricta* (Grunow) Hustedt

Medidas: compr.: 12,8-13,6 µm; 5,4-5,5 µm larg.; valva rafídea: 23 estrias em 10 µm; valva arrafídea: 20 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1987, 1991 e 2005.

A ocorrência desta espécie para o Lago das Garças já foi documentada por Carneiro (2003).

A. minutissima Kützing

Medidas: 7,3 µm compr.; 2,8 µm larg.; valva rafídea: 18 estrias em 10 µm, valva arrafídea: 20 em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1991.

Espécie descrita e ilustrada para o Lago das Garças por Carneiro (2003).

ACHNANTIDIACEAE

Achnanthidium biasolettianum (Maillard) Lange-Bertalot

Medidas: 8,7-9,1 µm compr.; 3,6 a 3,8 µm larg.; valva arrafídea: 18-20 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 2001 e 2004.

A espécie foi descrita e ilustrada por Carneiro (2003) para o Lago das Garças.

A. catenatum (Bily & Marvan) Lange-Bertalot

Figuras 40-43

Medidas: 11,3-17,6 µm compr.; 3,6 a 4,1 µm larg.; valva rafídea 21-29 estrias em 10 µm e valva arrafídea 20-31 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1923 a 1947, 1955, 1958, 1968, 1973, 1976 a 1980, 1983 a 2005.

A espécie foi descrita e ilustrada por Carneiro (2003) e apenas citada por Barcelos (2003) para o Lago das Garças.

A. exiguum (Grunow) Czamecki var. *exiguum*

Medidas: 7,1-10,3 µm compr.; 4,5-6,2 µm larg.; valva rafídea 18 estrias em 10 µm; valva arrafídea: 21-24 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1965, 1976, 1980, 1987, 1988 a 2005.

Espécie já documentada no sistema por Carneiro (2003).

A. minutissimum (Kützing) Czamecki

Medidas: 9,2-12,2 μm compr.; 3,0-3,5 μm larg.; valva rafídea: 26-28 estrias em 10 μm ; valva arrafídea: 22-31 estrias em 10 μm .

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1923, 1928, 1938, 1943, 1955, 1968, 1973 a 1976, 1978 a 1986, 1988 a 2005.

Espécie já descrita e ilustrada em Carneiro (2003) para o Lago das Garças.

Planothidium rostratum (Östrup) Lange-Bertalot

Figuras 44-45

Medidas: 12,7-15,8 μm compr.; 5,0-6,5 μm larg.; valva rafídea: 13-16 estrias em 10 μm ; valva arrafídea: 11-15 estrias em 10 μm .

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1928 a 1943, 1947, 1985 a 2005.

Espécie já documentada para o Lago das Garças por Carneiro (2003).

Lemnicola hungarica (Grunow) Round & Basson

Medidas: 15,5 μm compr.; 6 μm larg.; 24 estrias em 10 μm .

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1932, 1999 e 2003.

Espécie já descrita e ilustrada para o Lago das Garças em Carneiro (2003).

NAVICULALES

DIASDESMIACEAE

Diademesis contenta (Grunow ex Van Heurck) Mann

Figuras 53-55

Medidas: 9,1-10,1 μm compr.; 2,1-2,6 μm larg..

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1923, 1943 a 1978, 1980, 1991, 1997, 2003 e 2005.

O gênero foi citado por Vercellino (2001) para o Lago das Garças, não sendo passível de identificação específica por falta de descrição e ilustração.

Luticola goeppertiana (Bleisch) Mann

Medidas: 12,4-18,2 μm compr.; 4,3-6,1 μm larg.; 10-20 estrias em 10 μm .

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1923, 1955, 1958, 1968, 1971, 1975, 1987, 1988, 1990, 1996 a 1999, 2003 e 2005.

A espécie foi descrita e ilustrada para o Lago das Garças por Tavares (2002).

L. mutica (Kützinger) Mann

Figuras 36-37

Medidas: 12,4-18,2 µm compr.; 4,3-6,1 µm larg.; 10-20 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1955, 1958, 1968, 1971, 1975, 1987, 1988, 1990, 1990, 1996 e 1999.

A espécie foi descrita e ilustrada para o Lago das Garças por Tavares (2002).

L. muticoides (Hustedt) Mann

Medidas: 10-11,2 µm compr.; 5,3-7,2 µm larg.; 11-18 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1962 a 1975.

A espécie foi descrita e ilustrada para o Lago das Garças por Tavares (2002).

AMPHIPLEURACEAE

Frustulia crassinervia (Breb.) Lange-Bertalot

Figuras 49-50

Medidas: 67,4-68,1 µm compr.; 12,7-12,8 µm larg.; 25-36 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1955 a 1971, 1975 a 1977 e 1979.

Primeira ocorrência no Lago das Garças.

BRACHYSIRACEAE

Brachysira brebissonii Ross

Medidas: 21,7-27,5 µm compr. ; 5-5,6 µm larg.; 26-30 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1947, 1955 a 1978.

A espécie já documentada para o Lago das Garças por Tavares (2002).

B. serians Ross

Medidas: 21,7-27,5 µm compr.; 5-5,6 µm larg.; 26-30 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1947, 1955 a 1978.

A espécie já documentada para o Lago das Garças por Tavares (2002).

Brachysira cf. *subrostrata* Lange-Bertalot

Medidas: 37 µm compr.; 9 µm larg.; 22 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1978.

B. vitrea (Grunow) Ross

Figuras 38-39

Medidas: 21,7-27,5 µm compr.; 5-5,6 µm larg.; 26-30 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1947, 1955 a 1978.

A espécie já documentada para o Lago das Garças por Tavares (2002).

SELLAPHORACEAE

Sellaphora pupula (Kützinger) Mereschkowsky

Medidas: 13,2-17,6 µm compr.; 5,5-8,2 µm larg.; 12-15 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1923, 1965, 1973, 1975, 1983 a 1990, 1999 e 2004.

A espécie já foi documentada para o Lago das Garças por Tavares (2002).

PINNULARIACEAE

Pinnularia acrosphaeria W. Smith

Medidas: 49,2 µm compr.; 11,5 µm larg.; 14 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1971.

Espécie já foi documentada para o Lago das Garças por Rocha (2008).

P. brauniana (Grunow) Mills

Medidas: 23,3-28,3 µm compr.; 4,2-5,8 µm larg.; 34-36 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1958, 1962 e 1965.

Espécie já foi documentada para o Lago das Garças por Rocha (2008).

P. divergens W. Smith

Medidas: 48-116,4 µm compr.; 12,5-20,5 µm larg.; 9-13 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1971 e 1978.

Espécie já foi documentada para o Lago das Garças por Rocha (2008).

P. dubitabilis Husted

Figura 48

Medidas: 32,4 µm compr.; 6 µm larg.; 5 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1947 a 1965, 1971 e 1975.

Espécie já foi documentada para o Lago das Garças por Rocha (2008).

P. gibba Ehrenberg

Medidas: 48-116,4 µm compr.; 12,5-20,5 µm larg.; 9-13 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1968.

Espécie já foi documentada para o Lago das Garças por Rocha (2008).

P. subcapitata Gregory

Medidas: 48-116,4 µm compr.; 12,5-20,5 µm larg.; 9-13 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1971 e 1978.

Espécie já foi documentada para o Lago das Garças por Rocha (2008).

DIPLONEIDACEAE

Diploneis subovalis Cleve

Medidas: 23 µm compr.; 11,8 µm larg.; 12 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1962, 1965 e 2005.

Primeira ocorrência no Lago das Garças.

NAVICULACEAE

Navicula cryptocephala Kützing

Medidas: 22,3 µm compr.; 4,5 µm larg.; 15 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1973, 1981, 1988 a 1993, 1997 e 2005.

A espécie foi descrita e ilustrada para o Lago das Garças por Tavares (2002).

Navicula cryptotenella Lange-Bertalot

Medidas: 21,6 µm compr.; 4,8 µm larg.; 12 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1932, 1955, 1971, 1975, 1977 a 1985, 1987, 1988, 1990, 1993, 2003 e 2005.

Espécie já documentada para o Lago das Garças por Tavares (2002).

Navicula cf. *hambergii* Husted

Medidas: 22,6 µm compr.; 8,7 µm larg.; 12 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 2003.

Primeira ocorrência para o Lago das Garças.

Navicula veneta Kützing

Medidas: 18,1-20,1 µm compr.; 4,5-4,8 µm larg.; 16-18 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1923, 1979 a 1983, 1999.

Espécie já documentada para o Lago das Garças por Tavares (2002).

Nupela praecipua (Reichardt) Reichardt

Medidas: 11,5 µm compr.; 3,3 µm larg.; valva rafídea: 32 estrias em 10 µm; valva arrafídea: 29 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 2003.

A espécie já foi descrita para o Lago das Garças por Carneiro (2003), como *Achnanthes praecipua* Reichardt.

Nupela sp.

Medidas: 15,6 µm compr.; 6 µm larg.; 22 estrias em 10 µm.

Distribuição Reichardt no Lago das Garças: 1997 a 1999.

Primeira ocorrência no Lago das Garças.

THALASSIOPHYSALES

CATENULACEAE

Amphora libyca Ehrenberg

Medidas: 26,3-31,7 µm compr.; 6,3-12,4 µm larg.; 16-20 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1928, 1978, 1983, 1985, 1986, 1988, 1991 a 2002 e 2005.

Primeira ocorrência no Lago das Garças.

BACILLARIALES

BACILLARIACEAE

Hantzschia amphioxys Ehrenberg Grunow

Figuras 56-57

Medidas: 37,7 µm compr.; 9,7 µm larg.; 13 fibulas em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1923 a 1932, 1947, 1962, 1968, 1971, 1975, 1976, 1983, 1985 a 1988, 1993, 1997, 2001 a 2005.

Primeira citação para o Lago das Garças.

Nitzschia amphibia Grunow

Medidas: 15,8-23,5 µm compr.; 3,6-5,3 µm larg.; 6-8 fibulas em 10 µm; 18-20 estrias em 10 µm;

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1976 a 1978, 1980, 1981, 1996 a 2001.

Primeira citação para o Lago das Garças.

Nitzschia palea (Kützinger) Wm. Smith

Medidas: 14,2-19,2 µm compr.; 3,3-4,5 µm larg.; 10-17 fibulas em 10 µm; 20 estrias em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1978, 1983, 1988, 1995, 2001 a 2005.

A espécie foi citada por Vercellino (2001) para o Lago das Garças, no hábito perifítico.

Nitzschia terrestris (Petersen) Husted

Figuras 51-52

Medidas: 36,2-42,3 µm compr.; 3,8-4,1 µm larg.; 6-10 fibulas em 10 µm; 18-20 estrias em 10 µm;

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1947, 1955 a 1965, 1971 e 1973.

Primeira citação para o Lago das Garças.

RHOPALODIALES

RHOPALODIACEAE

Rhopalodia cf. *gibberula* Ehrenberg (O.Müller)

Medidas: 20,5 µm compr.; 5,4 µm larg.; 20 estrias em 10 µm; 4 costelas em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1988.

Primeira ocorrência no Lago das Garças.

Rhopalodia sp₁

Medidas: 23 µm compr.; 7,4 µm larg.; 14 estrias em 10 µm; 4 costelas em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1971.

Primeira ocorrência no Lago das Garças.

Rhopalodia sp₂

Medidas: 36,2 µm compr.; 7,6 µm larg.; 25 estrias em 10 µm; 4 costelas em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1962 a 1973.

Primeira ocorrência no Lago das Garças.

Rhopalodia sp₃.

Medidas: 22,5 µm compr.; 5,8 µm larg.; 23 estrias em 10 µm; 4 costelas em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1973.

Primeira ocorrência no Lago das Garças.

SURIPELLALES

SURIPELLACEAE

Stenopterobia delicatissima (Lewis) Van Heurck

Medidas: 32,6-42,8 µm compr.; 4,5-4,9 µm larg.; 20-21 estrias em 10 µm; 7 projeções aliformes em 10 µm.

Distribuição temporal no Lago das Garças: 1987, 1993, 2003 e 2005.

Primeira citação para o Lago das Garças.

Stenopterobia sp.

Medidas: 14,8-16,2 μm compr.; 2,6-2,9 μm larg.; 6 f bulas em 10 μm ; 16-18 estrias em 10 μm .

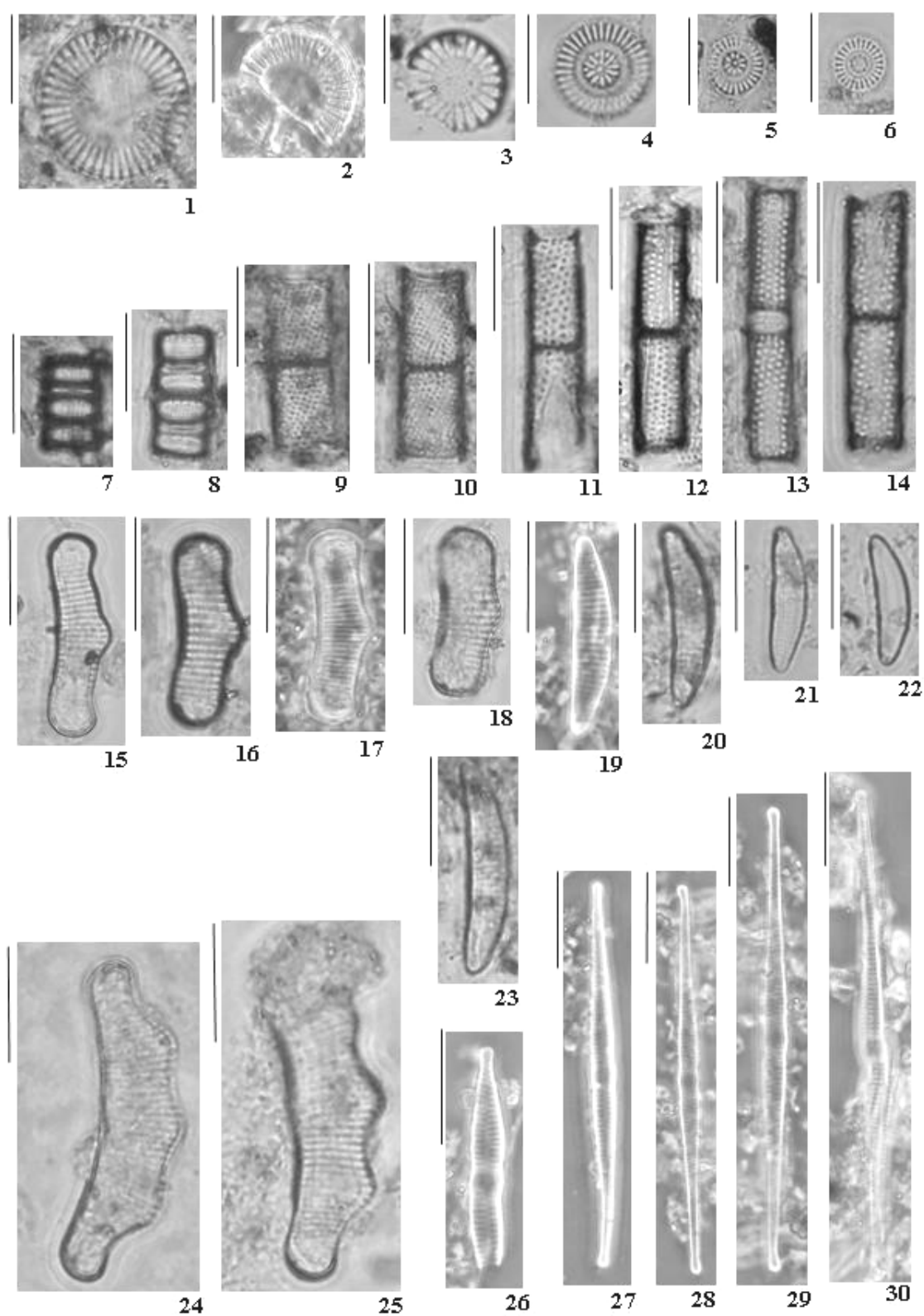
Distribuição temporal no Lago das Garças: 1938, 1984 a 1988.

Primeira citação para o Lago das Garças.

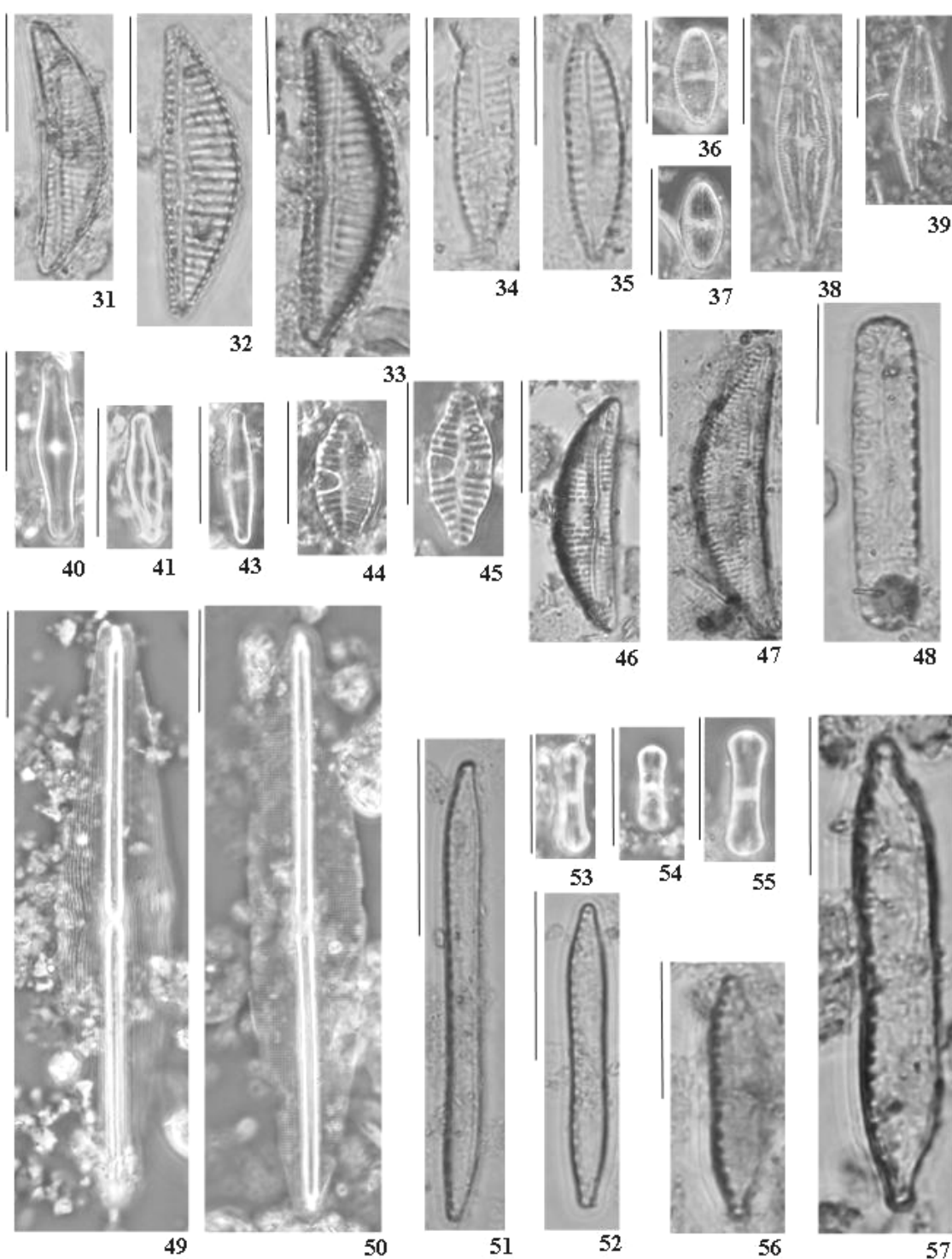
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barcelos, E.M.** 2003. Avaliação do perifiton como sensor da oligotrofização experimental em reservatório eutrófico (Lago das Garças, São Paulo). Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 118 p.
- Bicudo, C.E.M.; Morandi, L.P. & Ludwig, T.M.A.** 1997. Criptógamos do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, SP. Algas 13: Bacillariophyceae (Eunotiales). Hoehnea, 26(2): 173-184.
- Carneiro, L. A.** 2003. Ordem Achnanthales (Bacillariophyceae) de águas doces do estado de São Paulo: Levantamento florístico. Dissertação de Mestrado. UNESP, Rio Claro, SP. 225p.
- Carneiro, L.A.** 2007. Fragilariophyceae (Bacillariophyta) de águas doces do estado de São Paulo: levantamento florístico. Tese de Doutorado. Instituto de Botânica, São Paulo, SP. 187 p.
- Crossetti, L. O.** 2002. Efeitos do empobrecimento experimental de nutrientes sobre a comunidade fitoplanctônica em reservatório eutrófico raso, Lago das Garças, São Paulo. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 119 p.
- Ludwig, T.A.** 1996. Levantamento florístico das diatomáceas (Bacillariophyceae) dos gêneros *Cymbella* e *Gomphonema* do Estado de São Paulo. Tese de doutorado. Instituto de Biociências do Campus de Rio Claro, UNESP. 235p.
- Morandi, L.L.** 2002. Eunotiales (Bacillariophyceae) de águas continentais do estado de São Paulo: levantamento florístico. Dissertação de Mestrado. Ribeirão Preto. USP. 156p.
- Tavares, B.** 2001. Levantamento florístico das naviculales (Bacillariophyceae) de águas continentais do estado de São Paulo. Tese de doutorado. Instituto de Biociências do Campus de Rio Claro, UNESP. 235p.
- Rocha, A.C.R.** 2008. A família Pinnulariaceae (Bacillariophyceae) no Estado de São Paulo: levantamento florístico. Dissertação de Mestrado. Rio Claro: Universidade Estadual Paulista. 168 p.
- Round, F.E.; Crawford, R.M. & Mann, D.G.** 1990. The Diatoms – biology and morphology of the genera. Cambridge: University Press. 747 p.
- Sant’Anna, C.L.; Azevedo, M.T.P. & Sormus, L.** 1989. Fitoplâncton do Lago das Garças, Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, SP. Brasil: estudo taxonômico e aspectos ecológicos. Hoehnea 16:89-131.
- Tucci, A.; Sant’Anna, C.L.; Gentil, R.C. & Azevedo, M.T.P.** 2006. Fitoplâncton do Lago das Garças, São Paulo, Brasil: um reservatório urbano eutrófico. Hoehnea 33:147-175.

Vercellino, I.S. 2001. Sucessão da comunidade de algas perifíticas em dois reservatórios do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo: influência do estado trófico e período climatológico. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 176 p.



Figuras 1-3. *Cyclotella meneghiniana* var. *meneghiniana*. Figuras 4-6. *Discostella stelligera*. Figuras 7-8. *Aulacoseira alpigena*. Figuras 9-10. *A. ambigua*. Figuras 11-14. *A. granulata* var. *granulata*. Figuras 15-18 *Eunotia rabenhorstii*. Figuras 19-23. *E. sudetica*. Figuras 24-25. *Eunotia quaternaria*. Figuras 26-30. *Fragilaria capucina*. Escalas valem 10 μ m.



Figuras 31-33. *Encyonema silesiacum*. Figuras 34-35. *Encyonopsis microcephala*. Figuras 36-37. *Luticola mutica*. Figuras 38-39. *Brachysira vitrea*. Figuras 41-43. *Achnanthyidium catenatum*. Figuras 44-45. *Planothidium rostratum*. Figuras 46-47. *Amphora libyca*. Figura 48. *Pinnularia dubitabilis*. Figuras 49-50. *Frustulia crassinervia*. Figuras 51-52. *Nitzschia terrestris*. Figuras 53-55. *Diadesmis contenta*. Figuras 56-57. *Hantzchia amphioxys*. Escalas valem 10 μ m.

ANEXO 6

Comparação das idades calculadas pelo modelo CIC e modelo CRS no testemunho LG05-04.

Anexo 6. Comparação entre as idades obtidas pelo modelo CIC (*Constant Initial Concentration*) e modelo CRS (*Constant Rate Supply*) no perfil sedimentar do Lago das Garças.

Profundidade (cm)	CIC	CRS
1	2005	2003
3	2004	2001
6	2003	1998
9	2002	1996
12	2001	1995
14	1999	1994
16	1997	1992
18	1996	1992
20	1995	1989
22	1994	1988
24	1993	1985
26	1991	1982
28	1990	1980
30	1988	1979
31	1988	1979
32	1987	1978
33	1986	1977
34	1985	1975
35	1984	1974
36	1983	1970
37	1981	1969
38	1980	1971
39	1979	1970
40	1978	1968
41	1977	1966
42	1976	1964
43	1975	1963
44	1973	1958
45	1971	1955
46	1968	1955
47	1965	1950
48	1962	1942
49	1958	1941
50	1955	1936
51	1951	1939
52	1947	1939
53	1943	1919
54	1938	1919
55	1932	1893
56	1928	1862
57	1923	-
58	1919	-
59	1916	-
60	1912	-
61	1907	-
62	1903	-
63	1898	-
64	1894	-

ANEXO 7

Informações ecológicas das espécies de diatomáceas com
densidade relativa $\geq 5\%$
ao longo do perfil sedimentar (1894-2005).

Anexo 7. Informações ecológicas gerais das espécies de diatomáceas com densidade relativa ($\geq 5\%$) ao longo do perfil estratigráfico do Lago das Garças (1919-2005).

Espécie	Estado Trófico	pH	Habitat	Refer.
<i>Diademesmis contenta</i>	oligotrófica	alcaliófila	perifítica, muscícola, aerófila	(5) (11) (12)
<i>Luticola mutica</i>	oligotrófica	circumneutral	aerófila	(5) (11)
<i>Frustulia crassinervia</i>	oligotrófica	acidófila	epipélica, epilítica	(5) (11)
<i>Nitzschia terrestris</i>	oligotrófica		aerófila	(11)
<i>Eunotia rabenhorstii</i>	oligotrófica	acidófila	perifítica, muscícola, aerófila	(11) (12)
<i>Eunotia quaternaria</i>	—	—	—	
<i>Hantzschia amphioxys</i>	eutrófica	circumneutral	epipélica, epifítica e aerófila	(5) (11) (12)
<i>Eunotia sudetica</i>	oligo-mesotrófica	acidófila	aerófila	(11) (12)
<i>Brachysira brebissonii</i>	oligotrófica	acidófila	aerófila	(11)
<i>Pinnularia dubitabilis</i>	oligo-mesotrófica	circumneutral	epipélica, epilítica	(5)
<i>Brachysira vitrea</i>	oligotrófica	alcaliófila	epipélica, epilítica	(5)
<i>Encyonopsis microcephala</i>	meso-eutrófica	alcaliófila	aerófila	(5)
<i>Aulacoseira alpigena</i>	oligotrófica	acidófila		(11) (12)
<i>Stenopterobia</i> sp.	—	—	—	
<i>Fragilaria capucina</i>	mesotrófica	circumneutral	ticoplanctônica	(5) (11) (12)
<i>Discostella stelligera</i>	mesotrófica		euplanctônica	(11) (12)
<i>Amphora libyca</i>	eutrófica	alcaliófila	epipélica	(5) (12)
<i>Aulacoseira ambigua</i>	meso-eutrófica	alcaliófila	euplanctônica	(12)
<i>A. granulata</i> var. <i>granulata</i>	meso-eutrófica	alcaliófila	euplanctônica	(5) (8) (12) (14)
<i>Planothidium rostratum</i>	eutrófica	alcaliófila	epifítica	(16)
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	eutrófica	alcaliófila	planctônica	(5) (11)
<i>Achnanthes catenatum</i>	meso-eutrófica		planctônica	(1) (4) (5) (6) (10)
				(12) (13) (15)
				(2) (3) (7)(9)

Referências Bibliográficas:

- (1) **Beszteri B., John, U. & Medlin L.** 2007. An assessment of cryptic genetic diversity within the *Cyclotella meneghiniana* species complex (Bacillariophyta) based on nuclear and plastid genes, and amplified fragment length polymorphisms. *Eur. J. Phycol.*, 42(1): 47-60.
- (2) **Bílý, J. & Marvan, P.** 1959. *Achnanthes catenata* sp. n. *Preslia* 31 : 34-35.
- (3) **Coste, M. & Ector, L.** 2000. Diatomées invasives exotiques ou rares en France: Principales observations effectuées au cours des dernières décennies. *Systematic and Geography of Plants*. n. 70, p. 373-400.
- (4) **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. *Professional Papers of the Geological Survey of Belgium*, 246: 1-41.
- (5) **EDDI – European Diatom Database.** 2007. Disponível em: <http://craticula.ncl.ac.uk>
- (6) **Fore, L.S. & Grafe, C.** 2002. Using diatoms to assess the biological condition of large rivers in Idaho (U.S.A.) *Freshwater Biology*, 47: 2015–2037.
- (7) **Hofmann, G.** 1994. Aufwuch-Diatomees in Seen und ihre Eignung als Indikatoren der Trophie. *Bibliotheca Diatomologica*, v. 30, 241p.
- (8) **Houk, V.** 2003. Atlas of freshwater centric diatoms with a brief key and descriptions Part I. Melosira, Orthoseiraceae, Paraliaceae and Aulacoseiraceae. *Czech Phycology Supplement*. Vol I. 27p. and 41 plates.

- (9) **Lange-Bertalot H. & Steindorf, A.** 1996. Rote Liste der limnischen Kieselalgen (Bacillariophyceae) Deutschlands. *Schriftenreihe für Vegetationskunde*, v. 28, p. 633-677. 1996.
- (10) **Lobo, E. A., Callegaro, V. L., Wetzel, C. E., Hermany, G. & Bes, D.** 2004. Water quality study of Condor and Capivara streams, Porto Alegre municipal district, RS, Brazil, using epilithic diatoms biocenoses as bioindicatos. *Oceanological and Hydrobiological Studies*, Poland, v. 33, n. 2: 77-93.
- (11) **Moro, R.S. & Fürstenbeger, C.B.** 1997. Catálogo dos principais parâmetros ecológicos de diatomáceas não-marinhas. Ponta Grossa: Editora da Universidade Estadual de Ponta Grossa, 282 p.
- (12) **OMNIDIA** versão 4. 2004. Software for taxonomy, calculation of diatom indices and inventories management.
- (13) **Sabater, S. & F. Sabater,** 1988. Diatom assemblages in the River Ter. *Archiv für Hydrobiologie*, 111: 397-408.
- (14) **Sala, S., Duque, S., Nunez-Avellaneda, M. & Lamaro, A.** 1999: Nuevos registros de diatomeas (Bacillariophyceae) de la Amazonia Colombiana. *Caldasia* 21, 26_ 37.
- (15) **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 (1):117-133.
- (16) **Velez, M.I., Wille, M., Hooghiemstra, H. & Metcalfe, S.** 2003: Integrated diatom-pollen based Holocene environmental reconstruction of lake Las Margaritas, eastern savannas of Colombia. *The Holocene*, 15(8): 1184-1198.
- (17) **Torgan, L. & Biancamano, M.** 1991: Catálogo das Diatomáceas (Bacillariophyceae) referidas para o estado do Rio Grande do Sul, Brasil, no período de 1973 a 1990. *Facultades Integradas de Santa Cruz do Sul. Caderno de Pesquisa Serie Botanica* 3, 5_ 196.

ANEXO 8

Densidade absoluta dos 80 táxons identificados no Lago das Garças (1894-2005).

ANEXO 8a. Tabela de densidade absoluta (valvas gMS⁻¹) dos táxons de diatomáceas identificados no Lago das Garças no período de 1919 a 1958.

[illegible]

ANEXO 8a. Densidade absoluta (valvas gMS⁻¹) dos táxons de diatomáceas identificados no Lago das Garças no período de 1919 a 1958.

	1919	1923	1928	1932	1938	1943	1947	1951	1955	1958
<i>Eunotia cf. zygodon</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Eunotia exigua</i>	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Eunotia georgii</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Eunotia minor</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
<i>Eunotia monodon</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Eunotia rabenhorstii</i>	4	6	0	0	0	0	12	22	50	49
<i>Eunotia sudetica</i>	14	13	0	0	0	0	0	0	17	43
<i>Fragilaria capucina</i>	0	314	347	497	127	13	0	0	202	0
<i>Fragilaria sp.1</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Fragilaria sp.2</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Frustulia crassinervia</i>	14	0	0	0	0	0	0	0	77	184
<i>Gomphonema brasiliensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Gomphonema gracile</i>	2	0	0	12	0	0	0	0	0	16
<i>Gomphonema parvulum</i>	1	0	0	0	0	0	12	0	3	0
<i>Gomphonema truncatum</i>	0	32	23	0	4	0	0	0	0	0
<i>Hantzschia amphioxys</i>	1	6	23	12	0	0	12	0	0	0
<i>Lemnicola hungarica</i>	2	0	0	23	0	0	0	0	0	0
<i>Luticola goeppertiana</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	13	16
<i>Luticola mutica</i>	9	6	0	0	37	6	0	34	37	151
<i>Luticola muticoides</i>	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Navicula cf. hambergii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Navicula cryptocephala</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Navicula cryptotenella</i>	0	0	0	23	0	0	0	0	7	0
<i>Nitzschia palea</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Navicula veneta</i>	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Nitzschia amphibia</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Nitzschia terrestris</i>	11	0	0	0	0	0	12	0	20	38

ANEXO 8a. Densidade absoluta (valvas gMS⁻¹) dos táxons de diatomáceas identificados no Lago das Garças no período de 1919 a 1958.

	1919	1923	1928	1932	1938	1943	1947	1951	1955	1958
<i>Nupela praecipua</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Nupela</i> sp.	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Orthoseira roseana</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pinnularia brauniana</i>	2	0	0	0	0	0	0	0	0	16
<i>Pinnularia acrosphaeria</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pinnularia</i> cf. <i>braunii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pinnularia dubitabilis</i>	1	0	0	0	0	0	12	11	40	32
<i>Pinnularia gibba</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pinnularia</i> sp.	1	13	0	0	0	0	0	0	0	22
<i>Pinnularia subcapitata</i>	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Placoneis</i> cf. <i>elginensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Placoneis gastrum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Placoneis</i> sp.	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0
<i>Planothidium rostratum</i>	2	0	12	23	4	0	12	0	0	0
<i>Psammothidium subatomoides</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Rhopalodia gibberula</i>	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Rhopalodia</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Rhopalodia</i> sp1.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Sellaphora pupula</i>	0	19	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Staurosira</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Staurosirella</i> sp.	0	6	58	58	0	0	0	0	3	0
<i>Stenopterobia delicatissima</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Stenoterobia</i> sp.	0	0	0	0	33	0	0	0	0	0
<i>Ulnaria ulna</i>	0	13	0	0	4	0	0	0	0	0

ANEXO 8b. Densidade absoluta (valvas gMS⁻¹) dos táxons de diatomáceas identificados no Lago das Garças no período de 1962 a 1979.

[illegible]

ANEXO 8b. Densidade absoluta (valvas gMS⁻¹) dos táxons de diatomáceas identificados no Lago das Garças no período de 1962 a 1979.

	1962	1965	1968	1971	1973	1975	1976	1977	1978	1979
<i>Eunotia cf. zygodon</i>	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Eunotia exigua</i>	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Eunotia georgii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Eunotia minor</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Eunotia monodon</i>	0	44	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Eunotia rabenhorstii</i>	87	15	8	240	312	48	17	0	0	0
<i>Eunotia sudetica</i>	10	147	38	96	120	311	711	0	6	0
<i>Fragilaria capucina</i>	0	0	23	0	0	0	17	18	0	120
<i>Fragilaria sp.1</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Fragilaria sp.2</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Frustulia crassinervia</i>	107	352	15	312	0	502	416	6	0	80
<i>Gomphonema brasiliensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Gomphonema gracile</i>	68	0	15	0	24	48	87	0	0	0
<i>Gomphonema parvulum</i>	19	73	15	120	0	0	69	0	0	40
<i>Gomphonema truncatum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80
<i>Hantzschia amphioxys</i>	19	0	279	192	0	96	52	0	0	0
<i>Lemnicola hungarica</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Luticola goeppertiana</i>	0	0	8	24	0	96	0	0	0	0
<i>Luticola mutica</i>	456	601	332	793	625	72	0	0	3	0
<i>Luticola muticoides</i>	19	59	23	72	72	72	0	0	0	0
<i>Navicula cf. hambergii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Navicula cryptocephala</i>	0	0	0	0	24	0	0	0	0	0
<i>Navicula cryptotenella</i>	0	0	0	24	0	24	0	3	9	200
<i>Nitzschia palea</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Navicula veneta</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80
<i>Nitzschia amphibia</i>	0	0	0	0	0	0	139	3	0	0
<i>Nitzschia terrestris</i>	68	352	0	240	385	0	0	0	0	0

ANEXO 8b. Densidade absoluta (valvas gMS⁻¹) dos táxons de diatomáceas identificados no Lago das Garças no período de 1962 a 1979.

[illegible]

ANEXO 8c. Densidade absoluta (valvas gMS⁻¹) dos táxons de diatomáceas identificados no Lago das Garças no período de 1980 a 1990.

[illegible]

ANEXO 8c. Densidade absoluta (valvas gMS⁻¹) dos táxons de diatomáceas identificados no Lago das Garças no período de 1980 a 1990.

[illegible]

ANEXO 8c. Densidade absoluta (valvas gMS⁻¹) dos táxons de diatomáceas identificados no Lago das Garças no período de 1980 a 1990.

	1980	1981	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1988	1990
<i>Nupela praecipua</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Nupela</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Orthoseira roseana</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pinnularia brauniana</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pinnularia acrosphaeria</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pinnularia</i> cf. <i>braunii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pinnularia dubitabilis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pinnularia gibba</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pinnularia</i> sp.	0	8	52	0	0	20	0	0	0	0
<i>Pinnularia subcapitata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Placoneis</i> cf. <i>elginensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Placoneis gastrum</i>	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0
<i>Placoneis</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Planothidium rostratum</i>	0	0	0	0	50	60	219	30	80	212
<i>Psammothidium subatomoides</i>	0	0	0	0	0	0	24	3	0	20
<i>Rhopalodia gibberula</i>	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0
<i>Rhopalodia</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Rhopalodia</i> sp1.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Sellaphora pupula</i>	0	0	52	517	150	40	73	7	13	5
<i>Staurosira</i> sp.	0	4	0	74	50	40	122	7	0	5
<i>Staurosirella</i> sp.	3	0	311	443	848	201	0	3	40	15
<i>Stenopterobia delicatissima</i>	0	0	0	0	0	0	24	0	0	0
<i>Stenopterobia</i> sp.	0	0	0	591	648	1444	1922	17	87	0
<i>Ulnaria ulna</i>	0	12	155	222	150	60	268	3	0	0

ANEXO 8d. Densidade absoluta (valvas gMS⁻¹) dos táxons de diatomáceas identificados no Lago das Garças no período de 1991 a 2003.

[illegible]

ANEXO 8d. Densidade absoluta (valvas gMS⁻¹) dos táxons de diatomáceas identificados no Lago das Garças no período de 1991 a 2003.

[illegible]

ANEXO 8d. Densidade absoluta (valvas gMS⁻¹) dos táxons de diatomáceas identificados no Lago das Garças no período de 1991 a 2003.

	1991	1993	1994	1995	1996	1997	1999	2001	2002	2003
<i>Nupela praecipua</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
<i>Nupela</i> sp.	0	0	0	0	0	4	43	0	0	0
<i>Orthoseira roseana</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pinnularia brauniana</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pinnularia acrosphaeria</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pinnularia</i> cf. <i>braunii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pinnularia dubitabilis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pinnularia gibba</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pinnularia</i> sp.	0	0	0	0	0	0	21	0	6	0
<i>Pinnularia subcapitata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Placoneis</i> cf. <i>elginensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Placoneis gastrum</i>	0	0	0	50	0	0	0	0	0	7
<i>Placoneis</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Planothidium rostratum</i>	173	38	1516	2244	3292	526	1878	222	735	638
<i>Psammothidium subatomoides</i>	0	0	0	0	0	11	0	1	0	0
<i>Rhopalodia gibberula</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Rhopalodia</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Rhopalodia</i> sp1.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Sellaphora pupula</i>	0	0	0	0	0	0	43	0	0	0
<i>Staurosira</i> sp.	87	0	0	0	0	0	43	0	0	0
<i>Staurosirella</i> sp.	0	1	0	0	50	0	0	0	0	2
<i>Stenopterobia delicatissima</i>	0	4	0	0	0	0	0	0	0	2
<i>Stenopterobia</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ulnaria ulna</i>	19	1	54	549	1397	4	192	6	14	7

ANEXO 8e. Densidade absoluta (valvas gMS⁻¹) dos táxons de diatomáceas identificados no Lago das Garças nos anos de 2004 e 2005.

	2004	2005
<i>Achnanthes inflata</i>	0	0
<i>Achnanthes</i> cf. <i>minutissima</i>	0	0
<i>Achnanthidium biasolettianum</i>	70	0
<i>Achnanthidium catenatum</i>	8540	127
<i>Achnanthidium exiguum exiguum</i>	420	6
<i>Achnanthidium minutissimum</i>	350	6
<i>Amphora libyca</i>	0	6
<i>Aulacoseira alpigena</i>	0	0
<i>Aulacoseira ambigua</i>	0	1
<i>Achnanthes exigua constricta</i>	0	0
<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>angustissima</i>	840	1
<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>granulata</i>	4550	24
<i>Brachysira brebissonii</i>	0	0
<i>Brachysira serians</i>	0	0
<i>Brachysira vitrea</i>	0	0
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	20090	69
<i>Diadesmis contenta</i>	0	1
<i>Diploneis subovalis</i>	0	0
<i>Discostella pseudostelligera</i>	0	0
<i>Discostella stelligera</i>	350	9
<i>Encyonopsis microcephala</i>	0	0
<i>Encyonema silesiacum</i>	140	0
<i>Eolimna minima</i>	0	0
<i>Eunotia tenella</i>	0	0
<i>Eunotia bilunaris</i>	70	0
<i>Eunotia nymanniana</i>	0	0
<i>Eunotia quaternaria</i>	0	0

ANEXO 8e. Densidade absoluta (valvas gMS⁻¹) dos táxons de diatomáceas identificados no Lago das Garças nos anos de 2004 e 2005.

	2004	2005
<i>Eunotia</i> cf. <i>zygodon</i>	0	0
<i>Eunotia exigua</i>	0	0
<i>Eunotia georgii</i>	0	0
<i>Eunotia minor</i>	0	0
<i>Eunotia monodon</i>	70	0
<i>Eunotia rabenhorstii</i>	0	0
<i>Eunotia sudetica</i>	70	1
<i>Fragilaria capucina</i>	630	10
<i>Fragilaria</i> sp.1	0	0
<i>Fragilaria</i> sp.2	0	0
<i>Frustulia crassinervia</i>	0	0
<i>Gomphonema brasiliensis</i>	0	0
<i>Gomphonema gracile</i>	210	2
<i>Gomphonema parvulum</i>	280	1
<i>Gomphonema truncatum</i>	0	1
<i>Hantzschia amphioxys</i>	350	0
<i>Lemnicola hungarica</i>	0	0
<i>Luticola goeppertiana</i>	0	0
<i>Luticola mutica</i>	0	1
<i>Luticola muticoides</i>	0	0
<i>Navicula</i> cf. <i>hambergii</i>	0	0
<i>Navicula cryptocephala</i>	0	0
<i>Navicula cryptotenella</i>	0	0
<i>Nitzschia palea</i>	350	3
<i>Navicula veneta</i>	0	0
<i>Nitzschia amphibia</i>	0	0
<i>Nitzschia terrestris</i>	0	0

ANEXO 8e. Densidade absoluta (valvas gMS⁻¹) dos táxons de diatomáceas identificados no Lago das Garças nos anos de 2004 e 2005.

	2004	2005
<i>Nupela praecipua</i>	0	0
<i>Nupela</i> sp.	0	0
<i>Orthoseira roseana</i>	0	0
<i>Pinnularia brauniana</i>	0	0
<i>Pinnularia acrosphaeria</i>	0	0
<i>Pinnularia</i> cf. <i>braunii</i>	0	0
<i>Pinnularia dubitabilis</i>	0	0
<i>Pinnularia gibba</i>	0	0
<i>Pinnularia</i> sp.	0	0
<i>Pinnularia subcapitata</i>	0	0
<i>Placoneis</i> cf. <i>elginensis</i>	0	0
<i>Placoneis gastrum</i>	0	0
<i>Placoneis</i> sp.	0	0
<i>Planothidium rostratum</i>	4060	66
<i>Psammothidium subatomoides</i>	0	0
<i>Rhopalodia gibberula</i>	0	0
<i>Rhopalodia</i> sp.	0	0
<i>Rhopalodia</i> sp1.	0	0
<i>Sellaphora pupula</i>	70	0
<i>Staurosira</i> sp.	0	0
<i>Staurosirella</i> sp.	0	0
<i>Stenopterobia delicatissima</i>	0	0
<i>Stenopterobia</i> sp.	0	0
<i>Ulnaria ulna</i>	210	3