Campus de São Carlos

APORTE DE NUTRIENTES, NITROGÊNIO E
FÓSFORO, E SUA RELAÇÃO COM OS IMPACTOS
ANTROPOGÊNICOS EM UM LAGO URBANO, SÃO
PAULO, SP, BRASIL

CLOVIS FERREIRA DO CARMO

ORIENTADOR: Prof. Dr. RAOUL HENRY

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

APORTE DE NUTRIENTES, NITROGÊNIO E
FÓSFORO, E SUA RELAÇÃO COM OS IMPACTOS
ANTROPOGÊNICOS EM UM LAGO URBANO
SÃO PAULO, SP, BRASIL.

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP
EXEMPLAR REVISADO
Data de entrada no Serviço: 16 / 6 / 2000
Ass.: Clovis

CLOVIS FERREIRA DO CARMO

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de
São Carlos como parte dos requisitos para obtenção do
título de Mestre em Ciências da Engenharia Ambiental

ORIENTADOR: Dr. RAOUL HENRY

Class.	TESE
Cutt.	1164
Tombo	0133/00

S/S 1084 565

C287a Carmo, Clovis Ferreira
Aporte de nutrientes, nitrogênio e fósforo, e sua relação com os impactos antropogênicos em um lago urbano São Paulo, SP, Brasil / Clovis Ferreira do Carmo. -- São Carlos, 2000.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo, 2000.

Área: Ciências da Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Raoul Henry.

1. Fósforo. 2. Nitrogênio. 3. Eutrofização.
4. Carga. 5. Lago urbano. 6. Simulação ecológica.
- I. Título.

Dedico este trabalho aos meus filhos Rafael e Maíra
meu sobrinho José Cláudio, meu irmão Cláudio,
minha cunhada Inês. A minha mãe Esmavete, pela
confiança incondicional. A meu pai José, a quem
admiro pela sua honradez.

“Ninguém ignora tudo.
Ninguém sabe tudo.
Todos nós sabemos alguma coisa.
Todos nós ignoramos alguma coisa.
Por isso, aprendemos sempre”

Paulo Freire

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é o resultado do auxílio e colaboração de inúmeras pessoas e instituições. Alguns nomes podem não aparecer nas próximas linhas, o esquecimento em nada irá reduzir a importância de suas colaborações.

Ao Prof. Dr. Raoul Henry, pela orientação, confiança, incentivo irrestrito e valiosas críticas que foram fundamentais no desenvolvimento deste trabalho. A quem demonstro admiração por seu exemplo como profissional.

Ao Instituto de Botânica, Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, pela oportunidade e apoio.

À Dr^a Denise de Campos Bicudo pelo auxílio incondicional, pelos ensinamentos sobre limnologia e pelo constante incentivo.

Ao Dr. Carlos Eduardo de Mattos Bicudo pelo incentivo e confiança que foram fundamentais em todas as etapas deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Antonio Carlos Simões Pião e ao Prof. Dr. Bohdan Matvienko Sikar pelas correções e sugestões propostas no exame de qualificação que contribuíram muito no aprimoramento do trabalho.

Ao meu compadre Carlos José Julião, pelo grande auxílio nos trabalhos de campo; sua amizade e companheirismo ajudaram a manter agradáveis os dias de coleta, mesmo nas intempéries.

Aos Pesquisadores Científicos da Seção de Ficologia do Instituto de Botânica de São Paulo: Dr^a Célia Leite Sant'Anna, Dr^a Luciana Retz de Carvalho, Dr^a Maria Teresa de Paiva Azevedo, Dr^a Mutue Toyota Fujii, Dr^a Nair S. Yokoya, Dr^a Diclá Pupo, Dr^a Silvia Pita B. Guimarães, pelo carinho e profissionalismo.

À Dr^a Míriam Borges Xavier, pela amizade e pelas palavras de confiança escritas no primeiro parecer sobre a proposta deste trabalho.

Aos Professores Frederico Luiz Funari e Artemio Plana Fatori, e demais funcionários do Departamento de Ciências Atmosféricas do Instituto Astronômico e Geofísico – USP, pela gentileza e atenção com que sempre me atenderam.

À Dr^a Lenita Jacob de Oliveira, -EMBRAPA – Londrina, pela amizade, pelo auxílio e incentivo em toda a fase inicial deste trabalho.

À Dr^a Maria Cristina Neves de Oliveira, EMBRAPA – Londrina, pelo auxílio no delineamento estatístico inicial do trabalho.

Aos técnicos e funcionários do CRHEA: Luci, Amândio, Regina, Claudete, América, Catarina, Valdomiro, José Roberto, pela amizade e valiosa ajuda.

Aos amigos da Seção de Ficologia: Rosa, Dorinha, Manuel, Zé Domingos, Elizete, pela amizade e agradáveis momentos de descontração.

Ao meu amigo Carlos César Landim, pelo incansável auxílio no controle da “rebeldia” do meu computador.

À minha amiga Cynthia, pela amizade sincera e incondicional ajuda em todos os momentos, principalmente, nos mais difíceis.

À Ilka, Dorinha e Ana Paula, pelos momentos de trabalho intenso que se tornaram agradáveis na companhia de vocês.

À Thais J. Mercante, pela amizade, incentivo e sugestões muito úteis no desenvolvimento do trabalho.

À Rosélia e Carla, por compartilharem do meu aprendizado e a constante ajuda na superação das dificuldades.

Aos amigos e estagiários da Seção de Ficologia: Ilka, Ana Paula, Rosélia, Vivian, Luciane, Marcina, Flávia, Priscila, Andrea, Chacal, Sidnei, Carla, Norma, Núbia, Lilian, Susi, Ariane, Eduardo, Luciana, Bartolomeu, pela compreensão.

Aos amigos do curso de pós-graduação: Patricia, Erica, Rosana, Eva, Rosa, Fabiano, Fernanda, Eneida, Naisa, Toni, Valdirene, Reginaldo, Diana, Cae, Silvio, Adeildo, Nagila, Mara, Marlon, Ricardo, Bittar, Alessandra, Miller, Paulino, Fernando, Victor, Celina, Andreia, Dirlane, Zero, por partilharem das dificuldades e alegrias.

Ao amigo Reginaldo, com quem aprendi que os limites podem ser superados, basta acreditar na nossa capacidade.

Aos amigos Sergio, Adilson, Wanderson, Brito, Hélio, Guilherme, Jês, Ananias, Itamar, Joel, Claudia, Rose, Edna, Baptista, pela amizade e incentivo.

Aos amigos Carlos e Denise, sem vocês o sonho não se tornaria realidade. O destino foi muito gentil ao aproximar nossos caminhos.

E finalmente, à Eva, cuja compreensão e companheirismo foram fundamentais na conclusão deste trabalho.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	i
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE ABREVIATURAS	xiv
RESUMO	xv
ABSTRACT	xvi
1. INTRODUÇÃO	01
2. OBJETIVOS	10
3. MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1 Área de estudo	11
3.1.1 Morfometria do reservatório	14
3.2 Periodicidade de coleta	14
3.3 Precipitação	18
3.4 Variáveis climatológicas	19
3.5 Variáveis físicas e químicas da água e do sedimento	19
3.5.1 Temperatura da água	19
3.5.2 Transparência	19
3.5.3 Condutividade	20
3.5.4 Turbidez	20
3.5.5 pH	20
3.5.6 Oxigênio dissolvido	20
3.5.7 Alcalinidade	20
3.5.8 Nutrientes	20
3.5.8.1 Nitrogênio total e fósforo total	20
3.5.8.2 Nutrientes dissolvidos	21
3.5.9 Clorofila a	21
3.5.10 Sedimento	22
3.5.11 Taxa de sedimentação	23

3.5.12	Material em suspensão	24
3.5.13	Hidrometria	24
3.5.13.1	Velocidade da água	24
3.5.13.2	Vazão	26
3.5.14	Cargas	29
3.5.15	Balanço de massa	30
3.5.16	Estimativas da concentração de fósforo total na água	31
4.	RESULTADOS	34
4.1	Variáveis climatológicas	34
4.1.2	Precipitação (mm), temperatura do ar (°C), velocidade do vento (m.s^{-1}), direção predominante.	34
4.2	Variáveis morfométricas e hidrológicas	37
4.2.1	Morfometria do Lago das Garças	37
4.2.2	Morfometria dos compartimentos	40
4.2.3	Vazão de entrada, vazão de saída, volume e tempo de residência	40
4.3	Variáveis físicas e químicas da água	42
4.3.1	Temperatura	42
4.3.2	Transparência	44
4.3.3	Turbidez	46
4.3.4	Condutividade elétrica	48
4.3.5	pH	49
4.3.6	Oxigênio dissolvido	51
4.3.7	Nitrogênio Total	53
4.3.8	Amônio	55
4.3.9	Fósforo Total	57
4.3.10	Fosfato total dissolvido	59
4.3.11	Material em suspensão total	61

4.4 Variável biológica -----	63
4.4.1 Clorofila <i>a</i> -----	63
4.5 Cargas de nitrogênio total e fósforo total -----	65
4.5.1 Aporte de nitrogênio total e fósforo total via entradas pontuais -----	- 65
4.5.2 Aporte de nitrogênio total e fósforo total via precipitação úmida -----	76
4.5.3 Aporte de nitrogênio total e fósforo total via entrada não pontual -----	78
4.6 Concentração de nitrogênio e fósforo no sedimento -----	79
4.7 Taxa de sedimentação de nitrogênio e fósforo -----	80
4.8 Balanço de massa do nitrogênio total e fósforo total -----	81
4.9 Estimativa da concentração de fósforo -----	83
5. DISCUSSÃO -----	89
6. CONCLUSÕES -----	118
7. RECOMENDAÇÕES -----	121
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	122
9. ANEXOS -----	132

LISTA DE FIGURAS

FIGURA - 01: Mapa do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, com a localização do Lago das Garças (elaborado pela seção de Urbanização e Paisagismo do Instituto de Botânica)-----	13
FIGURA - 02: Lago das Garças (São Paulo - S. P.) com a divisão dos compartimentos e localização dos pontos de amostragem de sedimento.-----	15
FIGURA - 03: Lago das Garças (São Paulo - S.P.), localização das duas estações de coleta, das sete entradas pontuais do entorno do reservatório e da saída.-----	17
FIGURA - 04: Valores mensais de pluviosidade (mm) e número de dias com precipitação para o Lago das Garças – SP.-----	35
FIGURA - 05: Dados mensais de temperatura média (°C) e amplitude (°C) para o Lago das Garças – SP-----	35
FIGURA - 06: Dados de temperatura média (°C) e amplitude (°C) para os dias de coleta para o Lago das Garças – SP-----	36
FIGURA - 07: Curvas hipsográficas: A - área (m ²) x profundidade B - área (%) x profundidade, C – volume (m ³) x profundidade D - volume (%) x profundidade.-----	39
FIGURA - 08: Diagrama de profundidade x tempo da temperatura da água (°C) na estação P, no período de janeiro/97 a junho/98.-----	44
FIGURA - 09: Diagrama de profundidade x tempo da temperatura da água (°C) na estação L, no período de janeiro/97 a junho/98.-----	43
FIGURA - 10: Gráfico da variação temporal do desaparecimento visual do disco de Secchi (m) na estação P, no período de janeiro/97 a junho/98. -----	44
FIGURA - 11: Gráfico da variação temporal do desaparecimento visual do disco de Secchi (m) na estação L, no período de janeiro/97 a junho/98. -----	45
FIGURA -12 – Diagrama de profundidade x tempo da turbidez (UTN) na coluna de água, estação P no Lago das Garças – SP, no período de janeiro/97 a junho/98.-----	45

FIGURA -13 – Diagrama de profundidade x tempo da turbidez (UTN) na coluna de água, estação L no Lago das Garças – SP, no período de janeiro/97 a junho/98.-----	46
FIGURA – 14 – Diagrama de profundidade x tempo da condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) na coluna de água, estação P no Lago das Garças – SP no período de janeiro/97 a junho/98.-----	47
FIGURA - 15 – Diagrama de profundidade x tempo da condutividade Elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) na coluna de água, estação L no Lago das Garças – SPno período de janeiro/97 a junho/98.-----	47
FIGURA - 16 – Diagrama de profundidade x tempo do pH na coluna de água, estação P no Lago das Garças – SP, no período de janeiro/97 a junho/98.-----	48
FIGURA - 17 – Diagrama de profundidade x tempo do pH na coluna de água, estação L no Lago das Garças – SP, no período de janeiro/97 a junho/98.-----	49
FIGURA - 18 – Diagrama de profundidade x tempo do oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}) na coluna de água, estação P no Lago das Garças – SP, no período de janeiro/97 a junho/98.-----	50
FIGURA - 19 – Diagrama de profundidade x tempo do oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}) na coluna de água, estação L no Lago das Garças – SP, no período de janeiro/97 a junho/98.-----	51
FIGURA – 20: Diagrama de profundidade x tempo de nitrogênio total ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na coluna de água, estação P do Lago das Garças – SP, no período de janeiro/97 a junho/98.-----	53
FIGURA – 21: Diagrama de profundidade x tempo de nitrogênio total ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na coluna de água, estação L do Lago das Garças – SP, no período de janeiro/97 a junho/98.-----	53
FIGURA – 22: Diagrama de profundidade x tempo de amônio ($\text{N-NH}_4^+ \mu\text{g.L}^{-1}$) na coluna de água, estação P do Lago das Garças - SP, no período de janeiro/97 a junho/98.-----	55
FIGURA – 23: Diagrama de profundidade x tempo de amônio ($\text{N-NH}_4^+ \mu\text{g.L}^{-1}$) na coluna de água, estação L do Lago das Garças - SP, no período de janeiro/97 a junho/98.-----	55

FIGURA - 24 : Diagrama de profundidade x tempo de fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na coluna de água, estação P do Lago das Garças – SP, no período de janeiro/97 a junho/98.-----	56
FIGURA - 25 : Diagrama de profundidade x tempo de fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na coluna de água, estação L do Lago das Garças – SP, no período de janeiro/97 a junho/98.-----	57
FIGURA – 26: Diagrama de profundidade x tempo de fosfato total dissolvido ($\text{P-PO}_4^{-3} \mu\text{g.L}^{-1}$) na coluna de água, estação P no Lago das Garças - SP, no período de janeiro/97 a junho/98.---	58
FIGURA – 27: Diagrama de profundidade x tempo de fosfato total dissolvido($\text{P-PO}_4^{-3} \mu\text{g.L}^{-1}$) na coluna de água, estação L no Lago das Garças-SP, no período de janeiro/97 a junho/98.----	58
FIGURA – 28: Diagrama de profundidade x tempo de material em suspensão total (mg.L^{-1}) na coluna de água, estação P no Lago das Garças – SP no período de janeiro/97 a junho/98.-----	60
FIGURA – 29: Diagrama de profundidade x tempo de material em suspensão total (mg.L^{-1}) na coluna de água, estação L no Lago das Garças – SP no período de janeiro/97 a junho/98.-----	60
FIGURA – 30: Diagrama de profundidade x tempo de clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na coluna de água, estação P no Lago das Garças – SP, no período de janeiro/97 a junho/98.-----	62
FIGURA – 31: Diagrama de profundidade x tempo de clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na coluna de água, estação L no Lago das Garças – SP, no período de janeiro/97 a junho/98.-----	62
FIGURA – 32: Variação temporal da carga de fósforo total (kg /dia) para a entrada 01 no Lago das Garças – SP, no período de 01/97 a 06/98.-----	64
FIGURA – 33: Variação temporal da carga de fósforo total (kg /dia) para a entrada 02 no Lago das Garças – SP, no período de 01/97 a 06/98.-----	64
FIGURA – 34: Variação temporal da carga de fósforo total (kg /dia) para a entrada 03 no Lago das Garças – SP, no período de 01/97 a 06/98.-----	65

FIGURA – 35: Variação temporal da carga de fósforo total (kg /dia) para a entrada 04 no Lago das Garças – SP, no período de 01/97 a 06/98.-----	65
FIGURA – 36: Variação temporal da carga de fósforo total (kg /dia) para a entrada 05 no Lago das Garças – SP, no período de 01/97 a 06/98.-----	66
FIGURA – 37: Variação temporal da carga de fósforo total (kg /dia) para a entrada 06 no Lago das Garças – SP, no período de 01/97 a 06/98.-----	66
FIGURA – 38: Variação temporal da carga de fósforo total (kg /dia) para a entrada 07 no Lago das Garças – SP, no período de 01/97 a 06/98.-----	67
FIGURA – 39: Variação temporal da carga de nitrogênio total (kg /dia) para a entrada 01 no Lago das Garças – SP, no período de 01/97 a 06/98.-----	67
FIGURA – 40: Variação temporal da carga de nitrogênio total (kg /dia) para a entrada 02 no Lago das Garças – SP, no período de 01/97 a 06/98.-----	68
FIGURA – 41: Variação temporal da carga de nitrogênio total (kg /dia) para a entrada 03 no Lago das Garças – SP, no período de 01/97 a 06/98.-----	68
FIGURA – 42: Variação temporal da carga de nitrogênio total (kg /dia) para a entrada 04 no Lago das Garças – SP, no período de 01/97 a 06/98.-----	68
FIGURA – 43: Variação temporal da carga de nitrogênio total (kg /dia) para a entrada 05 no Lago das Garças – SP, no período de 01/97 a 06/98.-----	69
FIGURA – 44: Variação temporal da carga de nitrogênio total (kg /dia) para a entrada 06 no Lago das Garças – SP, no período de 01/97 a 06/98.-----	70
FIGURA – 45: Variação temporal da carga de nitrogênio total (kg /dia) para a entrada 07 no Lago das Garças – SP, no período de 01/97 a 06/98.-----	70

FIGURA – 46: Contribuição do aporte de nitrogênio, em porcentagem, das sete entradas pontuais, entrada não pontual e precipitação para o Lago das Garças, durante o período de janeiro/97 a junho/98.-----	73
FIGURA – 47: Contribuição do aporte de fósforo, em porcentagem, das sete entradas pontuais, entrada não pontual e precipitação para o Lago das Garças, durante o período de janeiro/97 a junho/98.-----	74
FIGURA - 48: Gráfico da contribuição de nitrogênio e fósforo (kg e porcentagem) das diferentes fontes de aporte para o Lago das Garças no período de janeiro/97 a junho/98.-----	80
FIGURA - 49: Gráfico dos valores mensais da concentração de fósforo ($\mu\text{g.L}^{-1}$) observados e estimados pelas equações 01 proposta por Salas (1983) e 02 (modificada) para o Lago das Garças, no período de janeiro/97 a fevereiro/98.-----	82
FIGURA - 50: Gráfico da correlação linear entre valores da concentração de fósforo($\mu\text{g.L}^{-1}$) observados e estimados pela equação 01 para o Lago das Garças - SP, no período de janeiro/97 a junho/98.-----	86
FIGURA - 51: Gráfico da correlação linear entre valores da concentração de fósforo($\mu\text{g.L}^{-1}$) observados e estimados pela equações 02 para o Lago das Garças -SP, no período de janeiro/97 a fevereiro/98.--	86

LISTA DE TABELAS

TABELA – 01: Dados de velocidade média (m.s^{-1}) e direção dominante nos meses e dias de coleta para o Lago das Garças – SP.-----	36
TABELA – 02: Valores morfométricos do Lago das Garças – SP.-----	37
TABELA – 03: Valores morfométricos do Lago das Garças – SP.-----	38
TABELA – 04: Dados mensais estimados de vazão ($\text{m}^3.\text{dia}^{-1}$) de entrada e saída, volume (m^3) e tempo de residência (dias) para o Lago das Garças – SP no período de 01/97 a 06/98.-----	41
TABELA – 05: Dados mensais estimados de volume (m^3) e tempo de residência (dias) para o Lago das Garças – SP no período de 01/97 a 06/98.-----	42
TABELA – 06: Valor máximo, mínimo, tendência central e dispersão dos dados de profundidade do disco de Secchi no período de 01/97 a 06/98 para o Lago das Garças – SP.-----	43
TABELA -07: Valor máximo, mínimo, tendência central e dispersão dos dados de turbidez (UTN) no período de 01/97 a 06/98 para o Lago das Garças – SP.-----	45
TABELA -08: Valor máximo, mínimo, tendência central e dispersão dos dados de condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) no período de 01/97 a 06/98 para o Lago das Garças – SP.-----	46
TABELA -09: Valor máximo, mínimo, tendência central e dispersão dos dados de pH no período de 01/97 a 06/98 para o Lago das Garças – SP.-----	48
TABELA -10: Valor máximo, mínimo, tendência central e dispersão dos dados de oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}) no período de 01/97 a 06/98 para o Lago das Garças – SP.-----	50
TABELA -11: Valor máximo, mínimo, tendência central e dispersão dos dados de nitrogênio total ($\mu\text{g.L}^{-1}$) no período de 01/97 a 06/98 para o Lago das Garças – SP.-----	52

TABELA -12: Valor máximo, mínimo, tendência central e dispersão dos dados de amônio(N-NH_4^+ $\mu\text{g.L}^{-1}$) no período de 01/97 a 06/98 para o Lago das Garças – SP.-----	54
TABELA -13: Valor máximo, mínimo, tendência central e dispersão dos dados de fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$) no período de 01/97 a 06/98 para o Lago das Garças – SP.-----	56
TABELA -14: Valor máximo, mínimo, tendência central e dispersão dos dados de fosfato total dissolvido (P-PO_4^{-3} $\mu\text{g.L}^{-1}$) no período de 01/97 a 06/98 para o Lago das Garças – SP.-----	57
TABELA -15: Valor máximo, mínimo, tendência central e dispersão dos dados de material em suspensão total (mg.L^{-1}) no período de 01/97 a 06/98 para o Lago das Garças – SP.-----	59
TABELA -16: Valor máximo, mínimo, tendência central e dispersão dos dados de concentração de clorofila a ($\mu\text{g.L}^{-1}$) no período de 01/97 a 06/98 para o Lago das Garças – SP.-----	61
TABELA -17: Valor máximo, mínimo, tendência central e dispersão dos dados de carga de nitrogênio total (kg) para as sete entradas pontuais no Lago das Garças – SP, no período de 01/97 a 06/98.-----	72
TABELA -18: Valor máximo, mínimo, tendência central e dispersão dos dados de carga de fósforo total (kg) para as sete entradas pontuais no Lago das Garças – SP, no período de 01/97 a 06/98.-----	73
TABELA – 19: Valores estimados das cargas de nitrogênio total e fósforo total, em kg, via precipitação úmida para o Lago das Garças – SP, no período de 01/97 a 06/98.-----	76
TABELA – 20: Concentração de fósforo ($\mu\text{g.g}^{-1}$) e nitrogênio (mg.g^{-1}) no sedimento e a variação (%) no intervalo de amostragem em 05 pontos distribuídos nos 2 compartimentos estudados no Lago das Garças - São Paulo.-----	78
TABELA – 21: Taxa de sedimentação para fósforo e nitrogênio($\text{mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) a 30 e 70 % da profundidade da coluna d'água na região pelágica do Lago das Garças - São Paulo - S.P.-----	79
TABELA – 22: Balanço de massa do nitrogênio total e fósforo total (kg), no Lago das Garças - SP e seus compartimentos no período de janeiro/97 a junho/98.-----	80

TABELA - 23: Simulação da concentração de fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na água, baseada na carga desse elemento ($\text{mg.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$), através das equações 01 propostas por Salas (1983) e 02 (modificada) para o Lago das Garças.-----	83
TABELA – 24: Tabela de dados observados, calculados, valores do Teste de correlação de Pearson e o teste t-Student para os dados obtidos no período entre janeiro/97 a junho/98 para o Lago das Garças – SP.-----	85

LISTA DE ABREVIATURAS

A – área do lago

a_c – área da abertura da câmara de sedimentação

C – concentração de nutrientes na câmara de sedimentação

E – espaço percorrido (m)

$L_{(P)}$ – carga de fósforo ($\text{mg.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$)

$P\lambda$ - concentração de fósforo ($\mu\text{g.L}^{-1}$)

Q – vazão (L.s^{-1})

r^2 - coeficiente de determinação

Se – erro padrão da estimativa

t – tempo (s)

T_w – Tempo de residência (anos)

T_s – taxa de sedimentação bruta

V – volume (L)

v_c - volume da câmara de sedimentação

v – velocidade da corrente (m.s^{-1})

z – profundidade média (m)

$Z_{\text{máx}}$ – profundidade máxima do lago.

RESUMO

CARMO, C.F. (2000). Aporte de nutrientes, nitrogênio e fósforo, e sua relação com os impactos antropogênicos em um lago urbano, São Paulo, SP, Brasil. São Carlos, 2000. 138p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

O Lago das Garças (23° 39'S, 46° 37'W) está situado dentro da área do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, cidade de São Paulo (S.P.). Com o objetivo de identificar as principais fontes de aporte de nutrientes (nitrogênio e fósforo) e a quantificação das cargas do entorno do corpo d'água, o lago foi dividido em dois compartimentos. Foram realizadas amostragens mensais de janeiro de 1997 a junho de 1998, em dez estações de coleta. Foram feitas medidas de temperatura, pH, condutividade elétrica e concentrações de fósforo total, nitrogênio total, amônio, clorofila *a*, material em suspensão total, oxigênio dissolvido, em cinco profundidades no lago. Nos afluentes foram determinadas as concentrações de nitrogênio total e fósforo total. Os perfis obtidos na coluna d'água em conjunto com os dados climatológicos e morfométricos do lago, indicaram que o aquecimento térmico pela radiação solar e a profundidade do sistema foram as principais funções de força nos processos de estratificação térmica e química. No período de estudo, as cargas de entrada no reservatório, foram de 6.519 Kg de fósforo e 37.156 Kg de nitrogênio, sendo que os afluentes representaram 99% e 34% da carga total de fósforo e nitrogênio, respectivamente. A eficiência de retenção do Lago das Garças foi de 61 % para o fósforo total e 85 % para o nitrogênio total. Em relação a trofia o lago foi classificado como eutrófico em todo o período de estudo. Através de equação matemática baseada na carga anual de fósforo, tempo de residência e profundidade média, foi possível estimar as concentrações de fósforo no reservatório, além de fazer simulações na redução das cargas. Considerando que a carga média de fósforo total foi de $4.891 \text{ mg.m}^{-2}\text{.ano}^{-1}$, a simulação matemática indicou que reduções superiores a 90 % da carga (valores máximos de $300 \text{ mg.m}^{-2}\text{.ano}^{-1}$) alterariam o nível de trofia no sistema para oligotrófico/mesotrófico.

Palavras-chave: fósforo, nitrogênio, carga, eutrofização, lago urbano, simulação ecológica.

ABSTRACT

CARMO, C. F. (2000). Load of nutrients, nitrogen and phosphorus, and its relationship with the impacts anthropogenic in an urban lake, São Paulo, SP, Brazil. São Carlos, 2000. 138 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

The Lago das Garças (23° 39'S, 46° 37'W) is located in Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo city (S.P.). In order to identify the main sources of nutrients (nitrogen and phosphorus) and to quantify of the nutrient loads of its tributaries, the lake was divided in two compartments. Water sample were collected monthly from January 1997 to June 1998, in ten sampling station. Measurements of temperature, pH and electric conductivity and concentrations of total phosphorus, total nitrogen, ammonium, chlorophyll *a*, suspended solids, dissolved oxygen, were done in five depth of in the lake. In each tributarys it was established only one sampling station where it was measured the concentration of total phosphorus and nitrogen. The profiles obtained in the water column, associated with the climatological data and morphological features of the lake, showed that the thermal heating by the solar irradiation and depth of the system were the main force functions in the processes of thermal and chemical stratification. In the period study, the entrance loads into the lake were of 6,519 Kg of phosphorus and 37,156 Kg of nitrogen. The tributaries represented 99% and 34% of the total load of phosphorus and nitrogen, respectively. The retention efficiency of the Lago das Garças was 61% for total phosphorus and 85% for total nitrogen. In relation to the trophic status, this lake was classified as eutrophic all over the studied time. Using a mathematical equation based on the annual load of phosphorus, residence time and medium depth, it was possible to evaluate the phosphorus concentration in the lake and also to verify the effect of the redution of the loads. Considering that average load of total phosphorus was of 4.891 mg.m⁻².year⁻¹, the mathematical model indicated there more than 90% of the load (maximum 300 mg.m⁻².year⁻¹) should be reduced, to alter the trophic status in the system for oligotrophic/mesotrophic.

Word-key: phosphorus, nitrogen, load, eutrophication, urban lake, ecological simulation.

INTRODUÇÃO

1.1 – A eutrofização, suas causas e consequências:

O rápido crescimento populacional humano tem aumentado muito a demanda por água, quer seja para as suas necessidades básicas (abastecimento), quer seja para outros fins, como atividades industriais, agrícolas, lazer, etc. Em contrapartida, o aumento da população associada ao desenvolvimento urbano e da agricultura tem gerado em grande escala, resíduos que são despejados nos ambientes aquáticos (Havens et al, 1996).

Segundo Moss (1998), existe um consenso de que lagos tornam-se mais produtivos quando acumulam nutrientes no decorrer do tempo. Este processo é chamado "eutrofização natural" e provavelmente acontece muito raramente de forma lenta e gradual.

Embora exista controvérsia na definição de eutrofização dos lagos, baseada numa série de condições sinérgicas relacionadas com a produtividade crescente, o consenso entre os limnologistas é a que a eutrofização é consequência de aumento nas taxas de crescimento da biota dos lagos. O aumento da produtividade é acelerado em relação a intensidade que poderia ocorrer se o sistema não tivesse sido perturbado (Wetzel, 1993).

A introdução de material particulado, nutrientes e outros contaminantes tem acelerado o processo de eutrofização em diversos corpos d'água. O desenvolvimento do processo natural pode levar milhares de anos. Contudo, em algumas décadas o processo artificial, ou seja, provocado pela ação antrópica manifesta-se.

A “eutrofização artificial” dos lagos criou alguns problemas de difícil compatibilização em áreas próximas a regiões metropolitanas. Fertilizantes inorgânicos, provenientes do despejo das cidades após introdução nos lagos, levam a um aumento da produção primária e talvez também da produção de peixes. Porém a composição da biota pode alterar-se de maneira imprevisível, por exemplo através da liberação de toxinas por algumas espécies de algas e geração de alguns problemas para a população humana (Odum, 1983).

A principal causa da eutrofização em ecossistemas aquáticos é o aporte e a acumulação de nitrogênio e fósforo, resultando no aumento da produtividade e em alterações significativas na estrutura e funcionamento do sistema. Parte desses nutrientes ficam imobilizados no sedimento e podem assegurar altas taxas de produção em muitos lagos, mesmo após a adoção de programas de redução das cargas desses elementos no ambiente .

Segundo Van Huet (1992), o fósforo pode ser considerado o nutriente limitante em ecossistemas aquáticos. É importante na determinação do nível trófico do ambiente e a principal variável a ser considerada em qualquer programa de recuperação ambiental.

Embora necessário em pequenas quantidades, o fósforo é considerado nutriente limitante para crescimento do fitoplâncton. Esse elemento apresenta reduzida abundância geoquímica em muitas bacias de drenagem e como não

apresenta fase gasosa nem tem origem biológica, como na fixação do nitrogênio, é limitante nos ambientes aquáticos e em uma grande maioria de solos (Goldman & Horne, 1993).

Segundo Santos (1996), o aporte de fósforo para os rios, lagos e represas vem aumentando consideravelmente nos últimos tempos, em consequência do uso freqüente de produtos fosforados pelo homem, da recuperação ineficaz do fósforo nos insumos (agrícolas e industriais) e em produtos de uso doméstico e no lançamento de esgotos no meio aquático.

Em um corpo d'água, o aporte de fósforo segue três caminhos: uma parte é assimilada, outra abandona o sistema pelos emissários e o restante pode ser precipitado no sedimento. Segundo Wetzel (1993), para estudos de produtividade, é mais relevante trabalhar com concentrações de fósforo total, devido à assimilação em excesso da forma dissolvida do elemento por algumas algas, conhecido como "consumo em excesso", que torna suficiente a manutenção do desenvolvimento do fitoplâncton em períodos de baixa concentração de fósforo dissolvido no corpo d'água.

O nitrogênio é fundamental nos processos de síntese de proteínas, o que já justifica a importância de sua avaliação. Seu ciclo consiste num balanço entre entradas e saídas do elemento nos sistema aquático, que envolve a precipitação, a deposição seca, a fixação (biológica e industrial) e a drenagem superficial e subterrânea (formas de entrada); os efluentes, a desnitrificação com liberação de N para a atmosfera e a sedimentação de compostos nitrogenados constituem as perdas.

O elemento nitrogênio é um dos contaminantes mais comuns em águas subterrâneas e corpos d'água, originando-se principalmente da agricultura e da

deposição de dejetos humanos e de animais (Heaton, 1986 apud De Simone & Howes, 1998).

Os impactos ambientais pelo enriquecimento e contaminação através de compostos nitrogenados, principalmente em corpos d'água, relacionam-se a um incremento na produtividade da vegetação aquática, fitoplâncton e macroalgas.

Segundo Margalef (1983), a distribuição do nitrogênio em um lago é muito dinâmica. A partir do momento em que os lagos se tornam mais produtivos devido à sobrecarga de nutrientes, a assimilação pode reduzir as concentrações dos compostos nitrogenados na zona trofогênica ou até esgotá-los. Nesse momento, organismos com capacidade de fixação do nitrogênio podem tornar-se dominantes.

Henry et al. (1993) realizaram um levantamento do transporte específico de material particulado e dissolvido em tributários formadores da Represa de Jurumirim, caracterizando a represa com relação a retenção ou exportação dos mesmos. Enfatizaram, na época, a ausência de trabalhos nacionais sobre o balanço de material particulado, N e P total para reservatórios, envolvendo sua introdução (via tributário) e remoção à jusante da barragem.

Barbosa et al. (1998), em estudo sobre o balanço de nitrogênio e fósforo no Reservatório da Pampulha (Minas Gerais), quantificaram a carga de nutrientes dos principais tributários e sugeriram que o controle das emissões destes elementos nos afluentes, levaria a uma redução significativa na concentração desses nutrientes no corpo d'água, sendo prioridade em programas de recuperação do ambiente em estudo.

A urbanização e o desenvolvimento tecnológico têm aumentado os impactos no meio ambiente. Uma grande quantidade de energia e poluentes são lançados nos

ecossistemas aquáticos, provocando uma aceleração no processo de eutrofização alterando a estrutura da comunidade do ambiente.

Segundo Barica (1990), a eutrofização de lagos da Europa e América do Norte têm crescido rapidamente nas últimas décadas, devido a crescente urbanização e conseqüente aumento dos despejos de nutrientes. O processo de eutrofização está diretamente relacionado com a “adição” antrópica de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, nos corpos d’água.

Para Jørgensen (1986), os ecossistemas são extremamente complexos, sendo que devemos tentar entender e prever os efeitos ambientais que a introdução de contaminantes pode causar. Nesse contexto, o desenvolvimento de modelos ecológicos, como ferramenta para esse tipo de análise, é necessário.

Os esforços para modelagem de sistemas aquáticos se iniciaram, há algumas décadas atrás, sendo reconhecida a contribuição do modelo de aporte de carga proposto por Vollenweider (1975, 1976). Inicialmente, a proposta de avaliar o nível de trofia do lago considerou o aporte de fósforo e a profundidade média.

Posteriormente, Vollenweider (1982) apud Salas (1983) acrescentou o tempo de retenção da água do lago, resultando em um melhor ajuste para seu modelo. Nessa proposta considerou-se que as concentrações de fósforo na água são indicadoras da condição de trofia do ambiente e que o estado trófico modifica-se em função do tempo de residência, profundidade média e da carga de fósforo que é introduzida no reservatório.

Modelos ecológicos são usados em testes de hipóteses científicas, simulando reações dos sistemas, que podem ser comparadas às observações.

Jørgensen (1986) considera que o requisito básico na elaboração de um modelo de eutrofização é a determinação do balanço de nutrientes.

A elaboração de modelos de simulação é feita através de processamento em computador, baseados em dados empíricos e observações, com a finalidade de diminuir sua complexidade sem comprometer sua capacidade de previsão. Atualmente, com o recurso dos computadores, surgiram os modelos que simulam diversas variáveis ao mesmo tempo, chamados estruturais. Descrevem a resposta do lago às cargas internas e externas de nutrientes, incluindo a hidrodinâmica do ambiente.

No Brasil, Toledo Jr. et al (1983) propuseram adaptações nos índices de estado trófico para lagos e reservatórios da região tropical levando em consideração os coeficientes de sedimentação e a introdução de ponderação no índice, em função do comportamento das variáveis.

Salas (1983) utilizou dados de 09 corpos d'água dos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e do Distrito Federal, além de outros sistemas da América Latina para adaptação das metodologias de avaliação dos processos de eutrofização.

De acordo com Salas & Martino (1990), o emprego de modelos matemáticos permite prever os impactos na qualidade da água devidos as alterações das atividades na bacia e desta forma estabelecer as prioridades de manejo em função do uso desejado dos recursos hídricos.

Segundo Tundisi (1990), nos esforços de modelagem de reservatórios tropicais e subtropicais é necessário levar em consideração as seguintes características: morfometria e compartimentos, tempo de retenção, ciclo hidrológico, estratificação térmica, biomassa das plantas aquáticas e sua decomposição , funções

de força (velocidade e direção da corrente), transporte de material suspenso, áreas alagadas e o efeito operacional (regulagem do vazão).

Kao et al (1998) testaram um modelo estrutural através do programa computacional WASP5 (Water-quality Analysis Simulation Program) elaborado pela EPA-US (Environmental Protection Agency – United States) e concluíram que agrega a variação espacial e temporal, com resultados que auxiliam nas propostas de ações estratégicas do controle da qualidade de água.

Jin et al (1998) examinaram a possível aceleração do processo de eutrofização do Lago Okeechobee – Florida – USA, através de modelos baseados no aporte de cargas de nutrientes. Os autores consideram que as simulações de eutrofização podem conduzir à determinação do tempo de resposta do lago a uma eventual redução da carga de nutrientes.

Pião (1995), adaptou o modelo de carga de nutrientes para o fósforo proposto por Vollenweider (1968) e modificado por Chapra (1979) para o Braço do Ribeirão dos Carrapatos dentro do reservatório de Jurumirim, obtendo um bom ajuste para três dos cinco compartimentos estudados. Na simulação de duas situações distintas: 1) aumento de 100% na concentração de nutrientes (N e P) e 2) diminuição de 100% nas suas concentrações. Nesse estudo, na primeira simulação identificaram-se os compartimentos mais afetados e, através da segunda, avaliou-se o impacto no reservatório, em função da estimativa da concentração desses nutrientes.

Na proposição de ações mitigadoras de processos de eutrofização, diversos fatores devem ser levados em consideração de forma a garantir o sucesso do trabalho. Entre elas, pode-se destacar os nutrientes potencialmente estocados no

sedimento, que podem suprir teores de nutrientes na coluna d'água por longos períodos.

Kleeberg & Kozerski (1997) avaliaram que executado um programa de redução na carga de nutrientes, a ressuspensão de fósforo do sedimento no Lago Grober Muggelsee (Alemanha) seria um obstáculo decisivo na recuperação do mesmo. Para esses pesquisadores considerando-se o investimento elevado na execução de ações mitigadoras, uma decisão deveria ser tomada, ou se promovia uma dragagem ou aguardava-se entre 11 a 16 anos para que as condições limnológicas melhorassem em função da redução da concentração de fósforo na água.

Makarewicz & Bertram (1991) notaram evidências do processo de recuperação do Lago Erie nos Estados Unidos. Na década de 70, o processo de eutrofização era considerado em estágio irreversível. A proposta de ação para restauração baseou-se na redução do aporte de fósforo e após alguns anos, concluíram que a qualidade da água no ecossistema pelágico teve recuperação satisfatória. Entretanto, a diversidade do fitoplâncton, zooplâncton e da ictiofauna sofreram modificações significativas.

Pelo exposto, estudos quantitativos de aporte de nutrientes associados às características morfométricas em ecossistemas aquáticos são pré-requisitos na elaboração de modelos ecológicos. Tais estudo auxiliam na avaliação de impactos antropogênicos; na seleção de tecnologia para solução de problemas específicos (presença de toxinas liberadas por algas, odores fétidos entre outros), na eliminação de fontes de poluição, servindo como ferramenta na elaboração de propostas para o manejo do sistema.

O presente estudo visa responder, dentro das limitações da metodologia e pela obtenção de dados exclusivamente de campo, às seguintes hipóteses de referência:

- (1) O aporte de nutrientes no lago apresenta um gradiente de concentração em função de variações sazonais;
- (2) Corpos d'água em processo de eutrofização funcionam como importadores de nutrientes, armazenando uma carga potencial interna.

OBJETIVOS

2.1– Geral

Adaptação de modelo matemático que descreve os processos de eutrofização, baseado no aporte e concentração de fósforo em corpos d'água, para uso em simulações.

2.2– Específicos

- Avaliar a carga de nutrientes introduzida por fontes pontuais.
- Determinar os aportes totais de nutrientes, nitrogênio e fósforo, e as respectivas cargas do entorno do reservatório.
- Identificar e quantificar as principais fontes poluidoras do sistema.
- Determinar o balanço de massa de fósforo e nitrogênio, através de estimativas de exportação e ou importação desses nutrientes,
- Simular a redução das cargas e recuperação do sistema em estudo.
- Propor ações mitigadoras para recuperação do ambiente.

MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - Área de estudo

O Lago das Garças localiza-se dentro do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, que constitui uma das últimas áreas remanescentes de Mata Atlântica no município de São Paulo (FIGURA - 01).

Em termos de América Latina, o parque com altitudes de 770 a 850 m constitui a maior área de preservação ambiental em perímetro urbano com 549,31 ha de área total (Sant'Anna et al, 1989; Moura, 1996).

O clima da região onde o lago se encontra é do tipo Cwb do Sistema Internacional de Koppen, isto é, mesotérmico de inverno seco, com temperatura média anual de 19 °C, com precipitação anual de 1400 mm e ventos predominantes no sentido SE.

O solo da região classifica-se como latossolo vermelho- amarelo fase rasa (Struffaldi-De-Vuono, 1985; Ramirez, 1996). O lago apresenta, na margem direita, remanescentes da floresta tropical pluvial em estágio de sucessão da formação florestal climáxima da encosta atlântica, na qual não há predomínio de qualquer família. Cada espécie tem importância reduzida e, conseqüentemente, com alto índice de diversidade (Struffaldi-De-Vuono, 1985).

Nas demais margens, ocorrem estreitas faixas com gramíneas separando estradas e edificações públicas. Sant'Anna et al. (1989,1993) avaliaram as condições limnológicas do Lago das Garças, entre outubro de 1982 a dezembro de 1983 e maio de 1991 a maio de 1992, e concluíram que: (1) as condições físicas (pH, condutividade) e químicas (concentração de nutrientes) do lago indicavam, no período em estudo, ser um ambiente “perturbado”; (2) a dominância da ordem Chlorococcales e a presença de *Microcystis* eram indicativas do estado eutrófico do lago.

Segundo Ramirez (1996), a *Eichhornia crassipes* (Mort.) Solms e *Pistia* sp são as principais espécies de macrófitas flutuantes presentes no lago, sendo a sua dispersão na superfície do reservatório, função da velocidade, duração e intensidade do vento.

FIGURA - 01: Mapa do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, com a localização do Lago das Garças (elaborado pela seção de Urbanização e Paisagismo do Instituto de Botânica).

3.1.1 – Morfometria do reservatório

Primeiramente um mapa batimétrico do reservatório foi elaborado, através de medições da profundidade de 5 em 5 metros em transectos equidistantes de 40 metros no sentido do comprimento máximo do reservatório, no período de 02 a 18/04/97, permitindo caracterizar a topografia do fundo do lago. Os dados foram analisados através sistema computacional Surfer 6,0.

A seguir, as variações na profundidade (máxima e média), área e volume do corpo d'água foram calculadas.

3.2 - Periodicidade de coleta

As coletas de amostras de água foram realizadas mensalmente, durante o período de dezoito meses (janeiro/97 - junho/98).

Um estudo prévio realizado através da análise das concentrações de fósforo total na sub-superfície da água em 10 pontos distribuídos no reservatório, mostrou que o lago apresenta dois compartimentos que podem ser considerados diferentes (FIGURA - 02).

Para caracterização do lago, foram selecionadas duas estações de coleta para análise do perfil vertical, sendo uma no compartimento I, denominada como estação P – local correspondente a $Z_{máx.}$ (com amostragens na sub-superfície, a 1 metro, 2 metros, 3 metros e no fundo) e outra no compartimento II, denominada estação L (com amostragens na sub-superfície e no fundo) (FIGURA – 03).

As amostras de água foram coletadas em cada uma das profundidade com trélicas para a análise dos nutrientes totais (N e P) e com réplicas para as formas

FIGURA - 02: Lago das Garças (São Paulo - S. P.) com a divisão dos compartimentos e localização dos pontos de amostragem de sedimento

dissolvidas, através de um amostrador do tipo Kemmerer de diâmetro 13 cm e capacidade para 1 litro. Foram armazenadas em garrafas plásticas e congeladas, até o momento da análise.

Para estimativa do balanço de nitrogênio e fósforo total, foram estudadas todas as fontes pontuais do entorno do reservatório num total de sete pontos que passarão a ser identificados como entradas e numeradas de 01 até 07 e um ponto de remoção que será identificado como saída (FIGURA - 03).

As amostras nos pontos de entrada e saída foram coletadas diretamente em garrafas plásticas em réplicas e congeladas até o momento da análise. Nesses mesmos pontos, foram executadas as medidas de vazão para cálculo das cargas.

FIGURA - 03: Lago das Garças (São Paulo - S.P.), localização das duas estações de coleta, das sete entradas pontuais do entorno do reservatório e da saída.

3.3 – Precipitação

No período entre janeiro/97 a junho/98 foram coletadas amostras de água da chuva, utilizando-se um funil, com 30 cm de diâmetro, acoplado a uma garrafa plástica e envolto em uma tela grossa para proteção contra insetos e detritos vegetais.

A amostragem ficou limitada à captação de um volume mínimo de 100 ml necessários para realização das análises químicas e físicas.

O equipamento foi instalado próximo ao reservatório antes do início da chuva e retirado ao término. As análises de pH, condutividade e alcalinidade foram executadas em laboratório imediatamente após a coleta e, uma alíquota foi congelada para posterior análise de nutrientes (nitrogênio e fósforo).

Segundo Lewis & Grant (1978), pode-se considerar, para estudos de balanço de massa, que a precipitação pode apresentar três frações:

- (1) o material dissolvido na água da chuva;
- (2) o material solúvel pela deposição seca e
- (3) material particulado da precipitação e deposição seca.

Neste trabalho, considerou-se apenas a fração 1, não tendo sido efetuadas medidas de deposição seca.

A carga de nitrogênio (kg N-NT) e fósforo (kg P-PT) através da precipitação úmida foi estimada de duas formas: calculando-se o volume mensal de água captada segundo Tubelis & Nascimento (1987) multiplicando-se pela concentração de nutrientes na água da chuva e, uma estimativa anual segundo Jørgensen (1986).

3.4 - Variáveis climatológicas

Os dados de precipitação (mm), direção e velocidade (km/h) vento e temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$) foram fornecidos pela Estação Meteorológica do Observatório "Alexander Postoiiev", do Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo situado a aproximadamente 200 m do local de estudo.

3.5 – Variáveis físicas e químicas da água e do sedimento

As determinações das variáveis selecionadas seguiram as metodologias apresentadas no Standard Methods (APHA, 1985).

3.5.1 - Temperatura da água

O perfil térmico da coluna d'água ($^{\circ}\text{C}$), nas estações P e L, foi obtido após medidas de temperatura a cada 10 cm, utilizando-se termistor digital portátil da marca FAC - modelo 400.

3.5.2 – Transparência

A transparência (m) foi estimada através da leitura do desaparecimento visual de disco de Secchi com 20 cm de diâmetro. (Poole & Atkins, 1929).

3.5.3 – Condutividade elétrica

A condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) foi determinada através do método eletrométrico, por meio de um condutivímetro digital marca Digimed - modelo CD-21P, corrigida para uma temperatura de 25 °C (Golterman et al, 1978).

3.5.4 - Turbidez

As determinações de turbidez foram efetuadas através do método nefelométrico (UTN), utilizando-se turbidímetro marca Micronal - modelo B250.

3.5.5 - pH.

Foi obtido através de potenciômetro digital, marca Micronal modelo B-378.

3.5.6 – Oxigênio dissolvido

As concentrações de oxigênio dissolvido foram determinadas através do método de Winkler modificado, segundo Golterman et al. (1978).

3.5.8 – Nutrientes

3.5.8.1 - Nitrogênio total e fósforo total

As amostras para determinação de nutrientes totais foram congeladas logo após a coleta para posterior análise, em período sempre inferior a 90 dias.

Foram determinadas as concentrações de nitrogênio total e fósforo total nas amostras de água do reservatório e precipitação, segundo o método de Valderrama (1981). Este método consiste na adição de um reagente de oxidação (persulfato de potássio + hidróxido de sódio + ácido bórico) e posterior digestão em autoclave (120 - 130 °C) durante 45 minutos. Os produtos da oxidação (nitrato, nitrito e ortofosfatos) foram determinados por processos colorimétricos segundo Mackereth et al (1978), para os íons nitrogenados, e Strickland & Parsons (1960), para fosfatados.

3.5.8.2 - Nutrientes dissolvidos

Para determinação dos nutrientes dissolvidos, as amostras foram filtradas em filtros Whatman GF/F (malha de 0,7 µm e 47 mm de diâmetro) .

As análises para nutrientes dissolvidos foram realizadas no mesmo dia de coleta, sendo que para determinação das concentrações foram utilizados os seguinte métodos espectrofotométricos:

- Amônio: segundo Solorzano (1969),
- fosfato total dissolvido: segundo Strickland & Parsons (1960)

3.5.9 - Clorofila *a*

A concentração de clorofila *a* foi determinada através da filtração de um volume conhecido em filtro Whatman GF/F, e acondicionamento desse filtro

envolvido em papel alumínio para proteção da luminosidade em freezer (-20 °C) para posterior extração.

Para o processo de extração, utilizou-se etanol (90 %), aquecido a 75 °C durante cinco minutos, e resfriado imediatamente em água e gelo, completando-se o processo em repouso na geladeira por até 24 horas, segundo metodologia de Marker (1980) e Nush (1980).

3.5.10 - Sedimento.

As amostras de sedimento foram coletadas, através de amostrador tipo testemunho, em dois períodos do ano: estação seca (julho/97) e chuvosa (fevereiro/98).

A amostragem foi executada com réplicas em cinco pontos distribuídos no reservatório (FIGURA – 02), recolhendo-se apenas os primeiros 15 cm do corte do cilindro na coleta do sedimento.

Uma alíquota das amostras foi seca em estufa a 60 °C, para determinação das concentrações de nitrogênio e fósforo.

Para análise da concentração de nitrogênio, o método empregado baseia-se na digestão ácida de Kjeldhal, através do equipamento analítico Buchi, que degrada a matéria orgânica em meio fortemente ácido e temperatura elevada, formando o íon amônio (Golterman, 1969).

O teor de fósforo foi determinado segundo Andersen (1976) e Strickland & Parsons (1960). O método consiste na mineralização da amostra através da mistura de 0,2g de sedimento seco em 0,5 g de carbonato de sódio anidro e calcinação a 550 °C por uma hora. O resíduo passa por um processo de digestão em HCl (1,0 N) -

aquecido em chapa por 15 minutos ou até a solução tornar-se amarela. Após o resfriamento o volume é completado para 100 ml e uma alíquota é utilizada para determinação do ortofosfato pelo método do molibdato.

3.5.11 - Taxa de sedimentação

A taxa de sedimentação de fósforo e nitrogênio foi estimada através do uso de câmaras de sedimentação cilíndricas, de razão altura – diâmetro (H:D) de 3:1, sendo de 10 cm o diâmetro.

A instalação foi feita segundo a metodologia de ancoragem em duas épocas do ano: seca (julho/97) e chuva (fevereiro/98) a 30 e 70 % da profundidade na estação P. Após incubação por um período de 24 horas, o material das câmaras foi recolhido em frascos de polietileno e conservados em freezer até o momento da análise.

Os procedimentos analíticos seguiram a mesma metodologia para as análises de nitrogênio total e fósforo total, já descritas anteriormente.

A taxa de sedimentação foi estimada segundo Edmondson & Winberg (1971), considerando-se o intervalo de tempo igual a um dia (24 horas):

$$T_s = \frac{C \times v \times A}{a_c}$$

onde:

T_s - taxa de sedimentação bruta

C - concentração de N ou P na câmara de sedimentação

v - volume da câmara de sedimentação

A - área do Lago

a_c - área da abertura da câmara de sedimentação

3.5.12 – Material em suspensão

O Material em suspensão total (MST) foi determinado, segundo técnica gravimétrica descrita por Teixeira et al. (1965), em amostras brutas retidas em filtros Whatman GF/F previamente calcinados e de massas conhecidas. O filtro contendo o material particulado foi seco em estufa, resfriado e pesado. As diferenças de massa entre as pesagens representa a massa de material em suspensão total.

3.5.13 – Hidrometria

Os dados de vazão e de velocidade da corrente foram determinados segundo Marques et al. (1988) para todas as entradas pontuais e para a saída.

Considera-se vazão o volume líquido que atravessa uma determinada secção por unidade de tempo, sua unidade apresenta a relação volume por tempo.

3.5.13.1 – Velocidade da água

Para os pontos em estudo, foi utilizado o seguinte método para determinação da velocidade da água:

- Flutuador ou molinete

Através do método do molinete ou do flutuador, pode-se determinar a velocidade da corrente e através da área da secção transversal do curso de água estimar a vazão.

A determinação da área da secção transversal se fez por meio de medições diretas, isto é, determinou-se a profundidade do curso d'água em vários pontos da secção escolhida. Desta forma, realizou-se um levantamento da topografia da secção de escoamento e calculou-se sua área. Esse procedimento foi feito em duas secções nos extremos de uma área de escoamento.

A velocidade da corrente determinada através de molinete (aparelho calibrado para a determinação da velocidade da corrente) ou com o auxílio de flutuadores (objetos que, quando colocados em contato com a água, adquirem a velocidade de escoamento da mesma).

O método do flutuador foi utilizado no Lago das Garças, visto a pequena profundidade dos cursos de água estudados que limitam a utilização do molinete.

Escolheu-se um trecho onde o curso de água foi o mais reto e uniforme possível, quanto a sua largura e profundidade, de modo que se tenha um fluxo normalizado. No trecho escolhido, lançou-se o flutuador registrando-se o tempo gasto no percurso. Repetiu-se a operação dez vezes e utilizou-se a média das observações.

A velocidade foi obtida pela equação:

$$v = \frac{E}{t}$$

onde:

v - velocidade da corrente (m.s^{-1})

E - espaço percorrido (m)

t - tempo (s)

De modo geral, a distribuição da velocidade é função da profundidade.

Para se determinar a velocidade média da água, deve-se corrigir a velocidade medida pelo flutuador multiplicando-se por fatores de correção, que levam em consideração a natureza do fundo e paredes laterais do leito de escoamento, de acordo com a tabela abaixo:

FATOR DE CORREÇÃO	NATUREZA DO LEITO
0.83	Com revestimento de cimento
0.70	Empedrado (pedras assentadas)
0.92	Com revestimento de madeira
0.82	Com revestimentos de tijolos
0.83	Leito argiloso
0.65	Leito arenoso
0.77	Cascalho fino
0.65 – 0.70	Paredes irregulares e vegetação
0.40 – 0.50	Rochoso

Fonte: Marques et al. (1988)

3.5.13.2 – VAZÃO

A vazão foi determinada de duas formas: multiplicando-se a velocidade da corrente, obtida pelo método do flutuador, pelo valor médio da área de escoamento ou, através do método volumétrico.

O método volumétrico baseia-se no tempo gasto para que um determinado fluxo de água ocupe um recipiente de volume conhecido:

$$Q = \frac{V}{t}$$

onde:

Q – vazão (L.s^{-1})

V – volume (L)

t - tempo (s)

A vazão é definida por:

$$Q = A \times v$$

onde:

Q = vazão ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)

A = área média da secção de escoamento (m^2)

v = velocidade média do fluxo (m/s)

As vazões (m^3/s) foram calculadas para todas as entradas pontuais identificadas e numeradas de 01 a 07 e um ponto de saída (FIGURA - 03). Os métodos para determinação da velocidade da corrente e vazão foram definidos de acordo com as características de cada um dos tributários, conforme descrição abaixo:

- Entrada 01:

Tubo de captação de águas pluviais e dispersão de córregos represados pela estrada e edificações, infra-estrutura ligada a Secretaria de Agricultura e

Abastecimento do Estado de São Paulo . Método utilizado no cálculo da vazão: volumétrico

- Entrada 02:

Córrego com leito rochoso, serve de escoamento e ligação ao Lago interno a área pertencente ao Instituto Astronômico e Geofísico da USP . Método utilizado no cálculo da vazão: velocidade média da água multiplicada pela área média de escoamento.

- Entrada 03:

Tubo de descarga de esgotos provenientes da Fundação Zoológico de São Paulo. Método utilizado no cálculo da vazão: velocidade média da água multiplicada pela área média de escoamento.

- Entrada 04:

Canaleta de descarga de esgotos provenientes da Fundação Zoológico de São Paulo. Método utilizado no cálculo da vazão: volumétrico.

- Entrada 05:

Córrego de leito argiloso, recebe carga de esgoto proveniente da Fundação Zoológico de São Paulo e de algumas residências internas a área do Instituto de Botânica - Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Método utilizado

no cálculo da vazão: velocidade média da água multiplicada pela área média de escoamento.

- Entrada 06:

Córrego de leito argiloso. Método utilizado no cálculo da vazão: velocidade média da água multiplicada pela área média de escoamento.

- Entrada 07:

Córrego com leito argiloso, recebe descargas de esgoto provenientes da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo. Método utilizado no cálculo da vazão : velocidade média da água multiplicada pela área média de escoamento.

- Saída:

Escoadouro com leito empedrado. Método utilizado no cálculo da vazão: velocidade média da água multiplicada pela área média de escoamento.

3.5.14 - Cargas

As cargas instantâneas de nitrogênio e fósforo que chegam ao corpo d'água, via entradas pontuais, foram obtidas através do produto entre os valores de vazão ($L.s^{-1}$) e a concentração ($\mu g.L^{-1}$) do nutriente obtida através da análise química.

Os valores obtidos foram extrapolados para o período de um dia e a carga total mensal foi calculada por planimetria, através da área do gráfico formada pela

carga diária e o intervalo de tempo (em dias) entre as coletas em dois meses sucessivos.

A carga de nitrogênio e fósforo no Lago das Garças via fontes não pontuais foi estimada segundo os coeficientes propostos por Jørgensen (1986) em função da classificação geológica, do uso e ocupação do solo e a área de influência da bacia hidrográfica.

3.5.15 – Balanço de massa

Os balanços de massa de nitrogênio e fósforo foram calculados, considerando-se a diferença dos valores de carga estimados de entrada e de saída para cada nutriente.

Para o compartimento II, a retenção foi estimada considerando-se a massa do nutriente contida na água somada à massa do mesmo elemento sedimentada; no compartimento I levou-se em consideração os valores de massa de entrada subtraindo-se dos valores de saída pelo efluente.

Os valores de fixação para o nitrogênio foram estimados considerando-se a diferença entre carga total de entrada e a soma dos valores de saída, retenção no sedimento e a massa contida na água do reservatório.

3.5.16 – Estimativas da concentração de fósforo total na água.

Para simulação da concentração de fósforo no corpo d'água foram utilizadas dois modelos baseados na função:

$$P_{\lambda} = f(L_{(p)}, T_w, z)$$

onde:

P_{λ} = concentração de fósforo ($\mu\text{g.L}^{-1}$)

$L_{(p)}$ = carga de fósforo ($\text{mg.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$)

T_w = Tempo de residência (anos)

z = profundidade média (m)

O primeiro, obtido por Salas (1990) através da regressão múltipla dos dados empíricos de vinte e seis reservatórios tropicais, foi:

MODELO 01:

$$P_{\lambda} = 0,29 \times L_{(p)}^{0,891} \times \frac{T_w^{0,676}}{z^{0,934}}$$

O segundo modelo foi obtido acrescentando-se os resultados do Lago das Garças, obtidos no presente trabalho, no conjunto de valores utilizados por Salas (1990), totalizando 27 reservatórios. Os dados foram transformados através de função logarítmica para análise estatística de regressão múltipla, os cálculos foram desenvolvidos pelo Departamento de Matemática da Fundação Santo André. Para obtenção de um melhor ajuste, foram utilizados os dados dos estudos mais recentes

dos 26 reservatórios, desprezando-se as réplicas de estudo em anos anteriores para um mesmo ambiente.

MODELO 02:

$$P_{\lambda} = 0,378 \times L_{(p)}^{0,910} \times \frac{T_w^{0,634}}{Z^{0,993}}$$

A TABELA – 03A (anexos) apresenta os reservatórios e os dados das variáveis utilizados no modelo 01 e para adaptação do modelo 02.

Para classificação trófica do lago em função da concentração estimada de fósforo total, utilizou-se os valores propostos por Vollenweider (1983) apud Salas (1983) para lagos tropicais:

Parâmetro	Classificação trófica		
	Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico
Fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	< 10	10 – 35	> 35

Para análise do modelo foi utilizado o teste de correlação de Pearson entre os valores observados e calculados, para as concentrações de fósforo total. Para testar a significância das correlações, foi aplicado o teste t-Student a um nível de 5% de

significância, analisando se (r) combinado com o tamanho dos valores observados (n), permiti concluir a existência de correlação linear entre as variáveis. A hipótese H_0 : não existe correlação entre o valor observado e o valor estimado pelo modelo. O teste foi realizado através da fórmula :

$$t_{obs} = r \sqrt{\frac{n-1}{1-r^2}}$$

RESULTADOS

4.1 – Variáveis climatológicas

4.1.2 - Precipitação (mm), temperatura do ar (°C), velocidade do vento (m.s⁻¹) direção predominante.

Para o período estudado, os maiores índices de precipitação ocorreram nos meses de janeiro/97 e março/98; os menores valores foram registrados em julho/97 e junho/98.

A precipitação total anual para o ano de 1997 foi de 1430,20 mm e para o período de janeiro/98 a junho/98 obteve-se um total acumulado de 864,40 mm. A FIGURA - 04 apresenta os valores de precipitação para o período de estudo.

Com relação aos meses, os maiores valores da temperatura média do ar ocorreram em novembro/97 e setembro/97 e os menores valores em junho/97 e agosto/97. Considerando-se os meses em estudo, a maior amplitude foi obtida em setembro/97 (22,8 °C) e a menor amplitude em maio/98 (11,3 °C) (FIGURA - 05).

Nas datas de coleta, foram registradas as maiores temperaturas médias do ar nos meses de fevereiro/97 e abril/98. Os menores valores foram obtidos nos meses de maio/97 e maio/98. A maior amplitude de variação da temperatura do ar ocorreu no mês de abril/97 (17,8 °C) e a menor variação foi registrada no mês de outubro/97 (3,2 °C) (FIGURA 06).

FIGURA – 04: Valores mensais de pluviosidade (mm) e número de dias com precipitação para o Lago das Garças – SP.

FIGURA – 05: Dados mensais de temperatura média (°C) e amplitude (°C) para o Lago das Garças - SP

FIGURA – 06: Dados de temperatura média (°C) e amplitude (°C) para os dias de coleta para o Lago das Garças - SP

Em relação ao vento, a maior velocidade média para os dias de coleta foi encontrada no mês de junho/98 ($9,3 \text{ m.s}^{-1}$) e a menor, no mês de maio/98 ($1,2 \text{ m.s}^{-1}$). Em contrapartida, a maior velocidade média do vento para os meses em estudo foi de $7,0 \text{ m.s}^{-1}$ (outubro/97) e a menor $4,7 \text{ m.s}^{-1}$ (julho/97).

Os valores de velocidade média do vento para os dias de coleta, foram superiores à média do período, registraram-se nos meses de janeiro, fevereiro, abril, agosto, outubro e novembro em 1.997 e janeiro, fevereiro, março e junho em 1998. Neste último mês, ocorreu o maior valor ($9,30 \text{ m.s}^{-1}$). Para a velocidade média do vento mensal, nos seguintes meses: janeiro, junho e outubro a dezembro para 1.997 e janeiro, abril e junho para o ano de 1.998 foram observados valores maiores que a média anual. No mês de outubro/97, o maior valor ($7,0 \text{ m.s}^{-1}$) foi registrado.

A TABELA - 01 apresenta os valores de velocidade média dos ventos e direção dominante para os meses e para os dias de coleta.

TABELA – 01: Dados de velocidade média (m.s^{-1}) e direção dominante nos meses e dias de coleta para o Lago das Garças – SP.

	Dias de coleta		Meses	
	Velocidade média	Direção dominante	Velocidade média	Direção dominante
Jan/97	6,3	NW	6,0	NW
Fev/97	5,5	SE	5,7	SSE
Mar/97	4,7	NNE	5,3	ESE
Abr/97	6,1	E	5,3	WNW
Mai/97	3,7	ENE	5,3	SSE
Jun/97	4,6	WNW	6,5	WNW
Jul/97	4,5	NNE	4,7	ESE
Ago/97	5,4	ESE	4,8	SSE
Set/97	3,7	C	5,6	SSE
Out/97	6,6	SE	7,0	SSE
Nov/97	6,6	ESE	5,9	SSE
Dez/97	4,4	C	6,1	SSE
Jan/98	6,8	NW	6,0	ENE
Fev/98	7,7	SSE	5,5	WNW
Mar/98	6,4	SSE	5,5	SSE
Abr/98	2,7	C	6,3	SSE
Mai/98	1,2	C	4,8	C
Jun/98	9,3	WNW	5,9	ENE

Fonte: Estação Meteorológica - Instituto Astronômico e Geofísico – Universidade de São Paulo

4.2 - Variáveis morfométricas e hidrológicas

4.2.1 - Morfometria do Lago das Garças

O mapa batimétrico (FIGURA - 03) do Lago das Garças foi realizado no período 02/04/97 a 18/04/97. Concluído o levantamento, a altura máxima das isóbatas passou a corresponder o nível zero da régua hidrológica instalada no lago.

Os valores dos parâmetros morfométricos obtidos a partir da análise do mapa batimétrico estão relacionados na TABELA – 02.

A FIGURA - 07 apresenta as curvas hipsográficas de profundidade x área e profundidade x volume. Os dados foram calculados pelo sistema computacional SURFER.

Com base nas isóbatas e na diferença de profundidade entre elas, calculou-se o grau de inclinação do fundo do lago. Os resultados estão apresentados na TABELA – 03.

TABELA – 02: Valores morfométricos do Lago das Garças - SP

Parâmetro	Magnitude
Comprimento máximo	512,00 m
Largura máxima	319,50 m
Perímetro	1.534,70 m
Área	87.791,00 m ²
Volume	178.808,00 m ³
Profundidade máxima	4,69 m
Profundidade média	2,04 m
Inclinação média	2,80 %
Profundidade relativa	0,96 %
Desenvolvimento do perímetro	1,46
Desenvolvimento do volume	1,30

TABELA – 03: Valores morfométricos do Lago das Garças - SP

Contornos (m)	Inclinação (%)
0,0 ----- 1,0	4,4
1,0 ----- 2,0	3,9
2,0 ----- 3,0	3,6
3,0 ----- 4,0	2,7
4,0 ----- 4,5	1,1
Inclinação média	2,8

FIGURA – 07: Curvas hipsográficas: **A** - área (m^2) x profundidade, **B** - área (%) x profundidade, **C** - volume (m^3) x profundidade, **D** - volume (%) x profundidade.

4.2.2 – Morfometria dos compartimentos

Em cada um dos compartimentos no Lago das Garças, selecionou-se uma estação de coleta: compartimento I (estação P) e o compartimento II (estação L) (FIGURA – 02).

Os valores referentes a área, volume e profundidade média do compartimento I foram $44.003,50 \text{ m}^2$, $106.284,00 \text{ m}^3$, $2,76 \text{ m}$, respectivamente.

Para o compartimento II, obteve-se uma área de $43.787,50 \text{ m}^2$, um volume de $72.524,00 \text{ m}^3$, com uma profundidade média de $1,90 \text{ m}$.

Em relação a área ocupada o compartimento I correspondeu a 50,12% e o compartimento II a 49,88% de todo o lago. Em contrapartida, na avaliação dos volumes o compartimento I armazenou 59,44% do volume total e o compartimento II 40,56%.

4.2.3 - Vazão de entrada, vazão de saída, volume e tempo de residência.

Na TABELA - 04 apresentou-se os dados de vazão referente às sete entradas pontuais e um ponto de saída.

Os maiores valores de vazão de entrada e saída ocorreram em dezembro/97 e os menores valores em julho/97 para vazão de entrada e setembro/97 para vazão de saída.

O lago apresentou maior volume de água no mês de maio/98 e no mês de janeiro, o menor volume foi encontrado.

O tempo de residência da água do reservatório variou de 19,83 dias, em dezembro/97, a 115,54 dias em setembro/97; com um tempo médio teórico de residência de 54,15 dias para o período de estudo.

Para os compartimentos o tempo de residência variou de 12,79 a 74,45 dias para o compartimento I e de 7,04 a 41,10 dias para o compartimento II.

Os dados mensais de volume e tempo de residência para os compartimentos são apresentados na TABELA - 05.

TABELA – 04: Dados mensais estimados de vazão ($\text{m}^3.\text{dia}^{-1}$) de entrada e saída, volume (m^3) e tempo de residência (dias) para o Lago das Garças – SP no período de 01/97 a 06/98.

Mês	Vazão – entrada $\text{m}^3.\text{dia}^{-1}$	Vazão – saída $\text{m}^3.\text{dia}^{-1}$	Volume – lago m^3	Tempo residência Dias
Jan/97	7900,029	5196,36	184.107,00	35,43
Fev/97	8442,318	5365,65	179.684,00	33,49
Mar/97	9305,905	6254,14	178.808,00	28,59
Abr/97	3674,498	2499,82	174.467,00	69,79
Mai/97	4460,962	2869,55	184.107,00	64,16
Jun/97	3862,386	3054,08	189.531,00	62,06
Jul/97	2361,208	2070,51	181.445,00	87,63
Ago/97	2976,814	2999,72	175.330,00	58,45
Set/97	2365,900	1581,84	182.772,00	115,54
Out/97	3728,339	3960,48	181.003,00	45,70
Nov/97	2246,504	2000,93	174.898,00	87,41
Dez/97	7911,191	9105,72	180.563,00	19,83
Jan/98	4233,891	3338,68	173.349,00	51,92
Fev/98	5801,292	4204,26	182.329,00	43,37
Mar/98	9354,502	7851,95	186.798,00	23,79
Abr/98	8780,900	7759,75	183.483,00	23,65
Mai/98	5385,643	3030,32	200.405,00	66,13
Jun/98	3700,116	3000,18	173.521,00	57,84

TABELA – 05: Dados mensais estimados de volume (m³) e tempo de residência (dias) para o Lago das Garças – SP no período de 01/97 a 06/98.

Mês	Compartimento 01		Compartimento 02	
	Volume (m ³)	TR (dias)	Volume (m ³)	TR (dias)
Jan/97	118.554,00	22,81	65.553,00	12,62
Fev/97	115.922,00	21,60	63.762,00	11,88
Mar/97	115.399,00	18,45	63.409,00	10,14
Abr/97	112.810,00	45,13	61.657,00	24,66
Mai/97	118.554,00	41,31	65.553,00	22,84
Jun/97	121.758,00	39,87	67.773,00	22,19
Jul/97	116.971,00	56,49	64.474,00	31,14
Ago/97	113.325,00	37,78	62.005,00	20,67
Set/97	117.761,00	74,45	65.011,00	41,10
Out/97	116.708,00	29,47	64.295,00	16,23
Nov/97	113.067,00	56,51	61.831,00	30,90
Dez/97	116.445,00	12,79	64.118,00	7,04
Jan/98	112.143,00	33,59	61.206,00	18,33
Fev/98	117.497,00	27,95	64.832,00	15,42
Mar/98	120.149,00	15,30	66.649,00	8,49
Abr/98	118.183,00	15,23	65.300,00	8,42
Mai/98	127.803,00	42,17	72.602,00	23,96
Jun/98	112.245,00	37,41	61.276,00	20,42

4.3 - VARIÁVEIS FÍSICAS E QUÍMICAS DA ÁGUA

4.3.1- Temperatura

A variação, no período de estudo, da temperatura da água foi de 12 °C na estação P, sendo o maior valor encontrado em fevereiro/98 (27,2 °C) e o menor valor em junho/98 (15,2 °C). Para a estação L a variação foi de 11,7 °C, com o valor máximo em abril/98 (27,5 °C) e o valor mínimo junho/98 (15,8 °C).

Na estação P, a coluna d'água permaneceu estratificada nos períodos de janeiro a março/97 e setembro/97 a junho/98. No mês de julho/97, apresentou

estratificação pouco acentuada ($0,3 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^{-1}$). A desestratificação foi observada no período de abril a junho/97 e agosto/97 (FIGURA - 08).

Na estação L, estratificação foi registrada no período de janeiro a maio/97, setembro/97, dezembro/97 a fevereiro/98, abril/98 e maio/98. No mês de julho/97, estratificação pouco acentuada ($0,21 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^{-1}$) foi observada. Os meses sem estratificação foram junho/97, agosto/97, outubro/97, novembro/97 e junho/98 (FIGURA - 09).

FIGURA – 08: Diagrama de profundidade x tempo da temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) na estação P, no período de janeiro/97 a junho/98.

FIGURA – 09: Diagrama de profundidade x tempo da temperatura da água (°C) na estação L, no período de janeiro/97 a junho/98.

- Os dados do mês de março/98 estão ausentes.

4.3.2- Transparência

O valor máximo para transparência, estimado pela profundidade de desaparecimento do disco de Secchi, na estação P foi de 1,50 m observado em abril/98 e, o menor valor foi 0,10 m em setembro/97. Na estação L, os valores oscilaram de 1,20 m no período de março a junho/98 a 0,20 m em setembro/97 (TABELA – 06 e FIGURAS 10 e 11).

TABELA – 06: Valor máximo, mínimo, tendência central e dispersão dos dados de Profundidade (m) do disco de Secchi no período de 01/97 a 06/98 para o Lago das Garças – SP.

Estação	P	L
Máximo	1,50	1,20
Mínimo	0,10	0,20
Média	0,68	0,75
Desvio padrão	0,31	0,30
Coefficiente de variação (%)	45,25	39,94

FIGURA – 10: Gráfico da variação temporal do desaparecimento visual do disco de Secchi (m) na estação P, no período de janeiro/97 a junho/98.

FIGURA – 11: Gráfico da variação temporal do desaparecimento visual do disco de Secchi (m) na estação L, no período de janeiro/97 a junho/98.

4.3.3 - Turbidez

A turbidez, na estação P, variou entre 2,1 UTN (maio/98 - superfície) a 42,5 UTN (setembro/97 - superfície). Na estação L, a variação foi de 1,90 UTN (maio/98 - superfície) a 34,5 UTN (setembro/97 - superfície) (TABELA 07 e FIGURAS 12 e 13).

TABELA -07: Valor máximo, mínimo, tendência central e dispersão dos dados de turbidez (UTN) no período de 01/97 a 06/98 para o Lago das Garças – SP.

Estação	P	L
Máximo	42,50	34,50
Mínimo	2,10	1,90
Média	15,38	14,32
Desvio padrão	7,62	7,46
Coeficiente de variação (%)	49,57	52,06

FIGURA -12 – Diagrama de profundidade x tempo da turbidez (UTN) na coluna de água, estação P no Lago das Garças – SP, no período de janeiro/97 a junho/98.

FIGURA -13 – Diagrama de profundidade x tempo da turbidez (UTN) na coluna de água, estação L no Lago das Garças – SP, no período de janeiro/97 a junho/98.

4.3.4 - Condutividade elétrica

Para a estação P, os valores de máximo e mínimo para condutividade elétrica foram obtidos em fevereiro/97, fundo do reservatório e superfície respectivamente. Na estação L, o maior valor foi encontrado em março/97 - superfície e o menor valor em junho/98 – fundo (FIGURAS 14 e 15).

TABELA -08: Valor máximo, mínimo, tendência central e dispersão dos dados de condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) no período de 01/97 a 06/98 para o Lago das Garças – SP.

Estação	P	L
Máximo	259,00	215,28
Mínimo	110,35	116,98
Média	145,39	145,92
Desvio padrão	26,18	21,95
Coeficiente de variação (%)	18,01	15,05

FIGURA - 14 – Diagrama de profundidade x tempo da condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) na coluna de água, estação P no Lago das Garças – SP no período de janeiro/97 a junho/98.

FIGURA - 15 – Diagrama de profundidade x tempo da condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) na coluna de água, estação L no Lago das Garças – SP no período de janeiro/97 a junho/98.

4.3.5 - pH

Para a estação P, o valor máximo de pH foi detectado em setembro/97 na superfície do reservatório. O valor mínimo de pH foi obtido em março/98 a 1 metro de profundidade (TABELA 09 e FIGURA 16). Na estação L obtive-se o maior valor em setembro/97 na superfície do reservatório e o menor em março/98 no fundo (TABELA 09 e FIGURA 17).

TABELA -09: Valor máximo, mínimo, tendência central e dispersão dos dados de pH no período de 01/97 a 06/98 para o Lago das Garças – SP.

Estação	P	L
Máximo	8,84	7,77
Mínimo	5,70	5,75
Média	6,80	6,84
Desvio padrão	0,48	0,41
Coefficiente de variação (%)	6,99	6,01

FIGURA - 16 – Diagrama de profundidade x tempo do pH na coluna de água, estação P no Lago das Garças – SP, no período de janeiro/97 a junho/98.

FIGURA - 17 – Diagrama de profundidade x tempo do pH na coluna de água, estação L no Lago das Garças – SP, no período de janeiro/97 a junho/98.

4.3.6 - Oxigênio dissolvido

A maior concentração de oxigênio (mg.L^{-1}), na estação P, foi encontrada em setembro/97 – superfície. Ocorreram quedas acentuadas das concentrações de oxigênio chegando à anoxia no fundo, nos meses de fevereiro/97, março/97, setembro/97, novembro/97, dezembro/97, janeiro/98, fevereiro/98, março/98 e abril/98 (TABELA 10 e FIGURA 18).

Na estação L, o valor mais elevado foi encontrado em janeiro/97 e o menor valor em fevereiro/98. No mês de outubro/97, todos os valores encontrados de concentração de oxigênio estavam abaixo de $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$, nas duas estações estudadas em toda a coluna d'água (TABELA 10 e FIGURA 19).

TABELA -10: Valor máximo, mínimo, tendência central e dispersão dos dados de oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}) no período de 01/97 a 06/98 para o Lago das Garças – SP.

Estação	P	L
Máximo	10,57	9,64
Mínimo	0,00	0,02
Média	3,81	4,98
Desvio padrão	2,56	2,47
Coefficiente de variação (%)	67,24	49,65

FIGURA - 18 – Diagrama de profundidade x tempo do oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}) na coluna de água, estação P no Lago das Garças – SP, no período de janeiro/97 a junho/98.

FIGURA - 19 – Diagrama de profundidade x tempo do oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}) na coluna de água, estação L no Lago das Garças – SP, no período de janeiro/97 a junho/98.

4.3.7 - Nitrogênio Total

A variação temporal da concentração de nitrogênio total na coluna de água, na estação P, mostrou uma redução seqüencial até o término do trabalho junho/98. A maior concentração foi observada em janeiro/97 - fundo ($5.546,16 \mu\text{g.L}^{-1}$) e a menor em março/98 - superfície ($22,44 \mu\text{g.L}^{-1}$) (TABELA 11 e FIGURA 20).

Nos meses de maio e junho/98, uma pequena elevação dos valores de concentração de nitrogênio total e uma coluna sem variação significativa dos teores entre as profundidades foram encontradas.

Na estação L não houve tendência à variação vertical, apresentando variação temporal com redução das concentrações entre novembro/97 a junho/98. O menor valor foi obtido março/98 superfície ($62,25 \mu\text{g.L}^{-1}$) e o maior em outubro/97 - superfície ($1.722,77 \mu\text{g.L}^{-1}$) (TABELA 11 e FIGURA 21).

TABELA -11: Valor máximo, mínimo, tendência central e dispersão dos dados de nitrogênio total ($\mu\text{g.L}^{-1}$) no período de 01/97 a 06/98 para o Lago das Garças – SP.

Estação	P	L
Máximo	5546,16	1722,77
Mínimo	22,44	62,25
Média	668,13	520,84
Desvio Padrão	805,74	431,60
Coeficiente de variação (%)	120,60	82,86

FIGURA – 20: Diagrama de profundidade x tempo de nitrogênio total ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na coluna de água, estação P do Lago das Garças – SP, no período de janeiro/97 a junho/98.

FIGURA – 21: Diagrama de profundidade x tempo de nitrogênio total ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na coluna de água, estação L do Lago das Garças – SP, no período de janeiro/97 a junho/98.

4.3.8 - Amônio

Para a estação P, o maior valor de concentração de amônio foi encontrado em fevereiro/97 (9.226,95 $\mu\text{g.L}^{-1}$ N-NH₄⁺) no fundo e o menor valor em setembro/97 (1,14 $\mu\text{g.L}^{-1}$ N-NH₄⁺) a 1 metro de profundidade (TABELA 12 e FIGURA 22). Na estação L o maior valor foi observado em outubro/97(1.283,08 $\mu\text{g.L}^{-1}$ N-NH₄⁺), na superfície e o menor em setembro/97 (4,63 $\mu\text{g.L}^{-1}$ N-NH₄⁺) também na superfície (TABELA 12 e FIGURA 23).

TABELA -12: Valor máximo, mínimo, tendência central e dispersão dos dados de amônio(N-NH₄⁺ $\mu\text{g.L}^{-1}$) no período de 01/97 a 06/98 para o Lago das Garças – SP.

Estação	P	L
Máximo	9.226,95	1.283,08
Mínimo	1,14	4,63
Média	954,34	372,24
Desvio Padrão	1.700,15	315,83
Coeficiente de variação (%)	138,58	66,00

FIGURA – 22: Diagrama de profundidade x tempo de amônio (N-NH₄⁺ µg.L⁻¹) na coluna de água, estação P do Lago das Garças - SP, no período de janeiro/97 a junho/98.

FIGURA – 23: Diagrama de profundidade x tempo de amônio (N-NH₄⁺ µg.L⁻¹) na coluna de água, estação L do Lago das Garças - SP, no período de janeiro/97 a junho/98.

4.3.11 - Fósforo Total

O maior valor de concentração de fósforo total ($247,09 \mu\text{g.L}^{-1}$), para estação P, foi detectado em fevereiro/98 (fundo) e o menor ($58,07 \mu\text{g.L}^{-1}$) em abril/98 (superfície) (TABELA 13 e FIGURA 24). Para a estação L, o maior valor ($466,89 \mu\text{g.L}^{-1}$) foi encontrado em outubro/97 (superfície) e o menor ($149,51 \mu\text{g.L}^{-1}$) em maio/98 (superfície) (TABELA 13 e FIGURA 25).

TABELA -13: Valor máximo, mínimo, tendência central e dispersão dos dados de fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$) no período de 01/97 a 06/98 para o Lago das Garças – SP.

Estação	P	L
Máximo	247,09	466,89
Mínimo	58,07	45,65
Média	116,31	149,51
Desvio Padrão	45,49	81,47
Coeficiente de variação (%)	39,11	54,49

FIGURA - 24 : Diagrama de profundidade x tempo de fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na coluna de água, estação P do Lago das Garças – SP, no período de janeiro/97 a junho/98.

FIGURA - 25 : Diagrama de profundidade x tempo de fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na coluna de água, estação L do Lago das Garças – SP, no período de janeiro/97 a junho/98.

4.3.12 - Fosfato total dissolvido.

As maiores concentrações de fosfato total dissolvido foram observadas nos meses de novembro/97 no fundo para a estação P (55,38 $\mu\text{g.L}^{-1}$) e outubro/97 - superfície para estação L (40,82 $\mu\text{g.L}^{-1}$). Os menores valores foram encontrados no mês de março/98, sendo que para estação P (5,99 $\mu\text{g.L}^{-1}$) ocorreu no fundo e na estação L (6,18 $\mu\text{g.L}^{-1}$) na superfície da coluna d'água (TABELA 14 e FIGURAS 26 e 27).

TABELA -14: Valor máximo, mínimo, tendência central e dispersão dos dados de fosfato total dissolvido (P-PO_4^{3-} $\mu\text{g.L}^{-1}$) no período de 01/97 a 06/98 para o Lago das Garças – SP.

Estação	P	L
Máximo	55,38	40,82
Mínimo	5,99	6,18
Média	15,54	17,06
Desvio Padrão	8,59	7,06
Coeficiente de variação (%)	55,29	41,39

FIGURA – 26: Diagrama de profundidade x tempo de fosfato total dissolvido ($P-PO_4^{3-} \mu g.L^{-1}$) na coluna de água, estação P no Lago das Garças SP, no período de janeiro/97 a junho/98.

FIGURA – 27: Diagrama de profundidade x tempo de fosfato total dissolvido ($P-PO_4^{3-} \mu g.L^{-1}$) na coluna de água, estação L no Lago das Garças SP, no período de janeiro/97 a junho/98.

4.3.13 - Material em suspensão total.

Os maiores valores da concentração de material em suspensão para a estação P foram encontrados no período entre fevereiro/97 (36,5 mg.L⁻¹) e março/97 (28,25 mg.L⁻¹) e dezembro/97 (44,5 mg.L⁻¹) a março/98 (31 mg.L⁻¹), sempre nas maiores profundidades (3 metros e fundo) da coluna d'água. Para a estação L o maior valor (23,75 mg.L⁻¹) de concentração foi encontrado em março/97 na superfície do reservatório e o menor valor (2,60 mg.L⁻¹) em maio/98 na superfície (TABELA 15 E FIGURAS 28 e 29).

TABELA -15: Valor máximo, mínimo, tendência central e dispersão dos dados de material em suspensão total (mg.L⁻¹) no período de 01/97 a 06/98 para o Lago das Garças – SP.

Estação	P	L
Máximo	44,50	23,75
Mínimo	3,00	2,60
Média	14,20	12,36
Dêsvio Padrão	7,78	5,88
Coeficiente de variação (%)	54,81	47,5

FIGURA – 28: Diagrama de profundidade x tempo de material em suspensão total (mg.L^{-1}) na coluna de água, estação P no Lago das Garças – SP no período de janeiro/97 a junho/98.

FIGURA – 29: Diagrama de profundidade x tempo de material em suspensão total (mg.L^{-1}) na coluna de água, estação L no Lago das Garças – SP no período de janeiro/97 a junho/98.

4.4 - VARIÁVEL BIOLÓGICA

- Clorofila *a*

Para a estação P, o maior valor ($218,32 \mu\text{g.L}^{-1}$) de clorofila *a* foi encontrado em setembro/97 na superfície e o menor valor ($8,24 \mu\text{g.L}^{-1}$) em outubro/97 a 3 metros de profundidade (TABELA 16 e FIGURA 30).

Na estação L, o maior valor ($172,32 \mu\text{g.L}^{-1}$) foi observado em dezembro/97 e o menor valor ($12,08 \mu\text{g.L}^{-1}$) em maio/98, ambos os valores foram encontrados na superfície da coluna d'água (TABELA 16 e FIGURA 31).

TABELA -16: Valor máximo, mínimo, tendência central e dispersão dos dados de concentração de clorofila *a* ($\mu\text{g.L}^{-1}$) no período de 01/97 a 06/98 para o Lago das Garças – SP.

Estação	P	L
Máximo	218,32	172,32
Mínimo	8,24	12,08
Média	55,58	54,75
Desvio Padrão	39,05	39,61
Coefficiente de variação (%)	70,25	72,35

FIGURA – 30: Diagrama de profundidade x tempo de clorofila *a* ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na coluna de água, estação P no Lago das Garças – SP, no período de janeiro/97 a junho/98.

FIGURA – 31: Diagrama de profundidade x tempo de clorofila *a* ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na coluna de água, estação L no Lago das Garças – SP, no período de janeiro/97 a junho/98.

4.5 - Cargas de nitrogênio total e fósforo total

4.5.1 - Aporte de nitrogênio total e fósforo total via entradas pontuais.

As cargas de nitrogênio e fósforo foram estimadas para as sete entradas pontuais e estão apresentadas no conjunto de FIGURAS: 32 a 45.

Na entrada 01, foram verificados o maior valor de aporte de nitrogênio no mês de outubro/97 ($0,89 \text{ kg.dia}^{-1}$) e o menor valor em dezembro/97 ($0,04 \text{ kg.dia}^{-1}$). A carga de fósforo foi mais elevada em março/98 ($0,20 \text{ kg.dia}^{-1}$) sendo que o menor valor foi obtido em janeiro/98 ($0,02 \text{ kg.dia}^{-1}$).

Para a entrada 02, o maior valor de carga de nitrogênio foi encontrado em março/98 ($14,09 \text{ kg.dia}^{-1}$). Para carga de fósforo, no mês de dezembro/97 ocorreu o maior valor ($2,09 \text{ kg.dia}^{-1}$). O menor valor foi encontrado em junho/97 ($0,16 \text{ kg.dia}^{-1}$) para nitrogênio e julho/97 ($0,25 \text{ kg.dia}^{-1}$), para fósforo.

FIGURA – 32: Variação temporal da carga de fósforo total (kg /dia) para a entrada 01 no Lago das Garças – SP, no período de 01/97 a 06/98.

FIGURA – 33: Variação temporal da carga de fósforo total (kg /dia) para a entrada 02 no Lago das Garças – SP, no período de 01/97 a 06/98.

FIGURA – 34: Variação temporal da carga de fósforo total (kg /dia) para a entrada 03 no Lago das Garças – SP, no período de 01/97 a 06/98.

FIGURA – 35: Variação temporal da carga de fósforo total (kg /dia) para a entrada 04 no Lago das Garças – SP, no período de 01/97 a 06/98.

FIGURA – 36: Variação temporal da carga de fósforo total (kg /dia) para a entrada 05 no Lago das Garças – SP, no período de 01/97 a 06/98.

FIGURA – 37: Variação temporal da carga de fósforo total (kg /dia) para a entrada 06 no Lago das Garças – SP, no período de 01/97 a 06/98.

FIGURA – 38: Variação temporal da carga de fósforo total (kg /dia) para a entrada 07 no Lago das Garças – SP, no período de 01/97 a 06/98.

FIGURA – 39: Variação temporal da carga de nitrogênio total (kg /dia) para a entrada 01 no Lago das Garças – SP, no período de 01/97 a 06/98.

FIGURA – 40: Variação temporal da carga de nitrogênio total (kg /dia) para a entrada 02 no Lago das Garças – SP, no período de 01/97 a 06/98.

FIGURA – 41: Variação temporal da carga de nitrogênio total (kg /dia) para a entrada 03 no Lago das Garças – SP, no período de 01/97 a 06/98.

FIGURA – 42: Variação temporal da carga de nitrogênio total (kg /dia) para a entrada 04 no Lago das Garças – SP, no período de 01/97 a 06/98.

FIGURA – 43: Variação temporal da carga de nitrogênio total (kg /dia) para a entrada 05 no Lago das Garças – SP, no período de 01/97 a 06/98.

FIGURA – 44: Variação temporal da carga de nitrogênio total (kg /dia) para a entrada 06 no Lago das Garças – SP, no período de 01/97 a 06/98.

FIGURA – 45: Variação temporal da carga de nitrogênio total (kg /dia) para a entrada 07 no Lago das Garças – SP, no período de 01/97 a 06/98.

Na entrada 03, os maiores valores de carga para nitrogênio total oscilaram de 0,57 kg.dia⁻¹ (setembro/97) a 82,36 kg.dia⁻¹ (outubro/97).

Para o aporte de fósforo, a variação também foi elevada sendo o menor valor 0,20 kg.dia⁻¹, em setembro/97, chegando a 17,36 kg.dia⁻¹ em outubro/97.

Para a entrada 04, o maior valor de aporte para nitrogênio ocorreu no mês de junho/98 (0,57 kg.dia⁻¹) e os menores valores em junho/97, janeiro e março/98 (0,01 kg.dia⁻¹). Para fósforo o maior aporte ocorreu em junho/98 (1,56 kg.dia⁻¹) e o menor em novembro e julho/97 (0,02 kg.dia⁻¹).

A carga de nitrogênio total na entrada 05 oscilou entre 0,21 kg.dia⁻¹ (janeiro/98) a 15,95 kg.dia⁻¹ (agosto/97). Com relação ao fósforo, a variação foi de 0,07 a 5,97 kg.dia⁻¹, referentes a julho/97 e agosto/97 respectivamente.

Na entrada 06, o maior valor de carga de nitrogênio foi encontrado no mês de março/97 (16,67 kg.dia⁻¹) e o menor valor em junho/97 e março/98 (0,10 kg.dia⁻¹). O menor aporte de fósforo ocorreu em abril/98 (0,01 kg.dia⁻¹) sendo que o maior foi em agosto/97 (0,24 kg.dia⁻¹).

Na entrada 07, o maior valor de carga de nitrogênio ocorreu no mês de dezembro/97 (7,80 kg.dia⁻¹) e o menor valor em agosto/97 (0,10 kg.dia⁻¹). Para o fósforo, o mais elevado valor de carga foi encontrado em setembro/97 (12,14 kg.dia⁻¹) e o menor em abril/97 (0,08 kg.dia⁻¹).

As TABELAS - 17 e 18 apresentam uma análise da tendência central e dispersão dos valores de aporte de nitrogênio total e fósforo total, respectivamente, para as 07 entradas.

TABELA -17: Valor máximo, mínimo, tendência central e dispersão dos dados de carga de nitrogênio total (kg) para as sete entradas pontuais no Lago das Garças – SP, no período de 01/97 a 06/98.

	Máximo	Mínimo	média	Desvio padrão	coeficiente de variação (%)
Entrada 01	35,54	1,87	11,56	8,80	76,17
Entrada 02	291,97	4,94	101,03	79,72	78,91
Entrada 03	1451,26	32,88	347,98	382,23	109,84
Entrada 04	11,07	0,59	2,49	3,02	121,24
Entrada 05	262,30	20,18	121,45	75,17	61,90
Entrada 06	380,95	6,42	78,64	116,95	148,71
Entrada 07	164,87	7,55	48,76	42,36	86,88

TABELA -18: Valor máximo, mínimo, tendência central e dispersão dos dados de carga de fósforo total (kg) para as sete entradas pontuais no Lago das Garças – SP, no período de 01/97 a 06/98.

	Máximo	Mínimo	média	desvio padrão	Coeficiente de variação (%)
Entrada 01	5,55	1,08	2,03	1,14	56,35
Entrada 02	55,66	5,84	22,21	14,10	63,50
Entrada 03	352,53	25,51	155,29	99,15	63,85
Entrada 04	24,34	1,36	9,42	5,97	63,33
Entrada 05	90,96	17,06	42,08	19,83	47,11
Entrada 06	5,84	0,60	2,99	1,51	50,46
Entrada 07	269,01	42,87	131,61	63,90	48,55

Somando-se as estimativas de cargas mensais para todas as entradas pontuais, obteve-se o maior valor para nitrogênio no mês de setembro/97 (1.890,21 kg) e o menor, em maio/97 (145,64 kg). Para a carga total de fósforo o mês de setembro/97 correspondeu ao de maior aporte (592,47 kg) e o mês de junho/98 correspondeu a menor carga de fósforo (154,03 kg)(TABELA – 01A E 02A ANEXOS).

Durante o período de estudo estimou-se um aporte acumulado via entradas pontuais de 12.814,22 kg de NT, o ano de 1997 contribui com 9.090,86 kg e o período de janeiro a junho de 1998 com 3.723,35 kg.

Para o fósforo total, o aporte acumulado no período de estudo foi de 6.581,46 kg; o ano de 1997 contribui com 4.573,12 kg e o período de janeiro a junho de 1998 com 2.088,34 kg.

As entradas 03 e 05 apresentam as maiores contribuições de nitrogênio, 46 % e 16 % do aporte total respectivamente foram encontradas (FIGURA 46).

Para o fósforo, 42 % e 36 % do aporte total foram registrados nas entradas 03 e 07 do Lago das Garças, respectivamente (FIGURA 47).

FIGURA – 46: Contribuição do aporte de nitrogênio, em porcentagem, das sete entradas pontuais, entrada não pontual e precipitação para o Lago das Garças, durante o período de janeiro/97 a junho/98.

FIGURA – 47: Contribuição do aporte de fósforo, em porcentagem, das sete entradas pontuais, entrada não pontual e precipitação para o Lago das Garças, durante o período de janeiro/97 a junho/98.

4.5.2 - Aporte de nitrogênio total e fósforo total via precipitação úmida.

No período de estudo, janeiro/97 a junho/98, verificou-se uma precipitação total de 2.294,60 mm; sendo janeiro/97, o mês com maior índice pluviométrico (341,40 mm) e julho/97 o de menor (9,40 mm). A precipitação no ano de 1997 foi de 1430,20 mm e no período de janeiro a junho/98 o valor acumulado foi de 864,40 mm e a anual foi de 1387,02 mm.

A TABELA 19 mostra os valores mensais estimados das cargas de nitrogênio total e fósforo total via precipitação úmida. No mês de março/98, os maiores valores de aporte para nitrogênio (63,50 kg) e fósforo (1,98 kg) foram registrados e no mês de julho/97, foram encontrados os menores valores de carga (1,75 kg para nitrogênio e 0,02 kg para

TABELA – 19: Valores estimados das cargas de nitrogênio total (kg N-NO₃) e fósforo total (kg P-P₄) via precipitação úmida para o Lago das Garças – SP, no período de 01/97 a 06/98.

Mês	Precipitação (mm)	Concentração média (µg N-NO ₃ /L ⁻¹)	Carga de nitrogênio (kg N-NO ₃)	Concentração média (µg P-P ₄ /L ⁻¹)	Carga de fósforo (kg P-P ₄)
Jan/97	341,4	1392,64	42,40	51,81	1,58
Fev/97	108,9	1458,10	13,93	72,12	0,69
Mar/97	67,1	2019,16	11,85	94,53	0,55
Abr/97	47,8	2120,30	8,73	46,23	0,19
Mai/97	80,7	795,17	5,72	6,94	0,05
Jun/97	108,7	1024,02	10,00	5,83	0,06
Jul/97	9,4	2110,70	1,75	19,41	0,02
Ago/97	38,7	2468,28	8,25	56,97	0,19
Set/97	130,6	3055,17	35,40	36,84	0,43
Out/97	126,4	1653,73	18,43	11,20	0,12
Nov/97	164	1773,60	25,10	11,04	0,16
Dez/97	206,5	1847,09	33,58	20,56	0,37
Jan/98	217	1583,60	29,49	13,57	0,25
Fev/98	239,5	1513,74	32,12	62,96	1,34
Mar/98	241	2923,12	63,50	91,06	1,98
Abr/98	52,3	1954,19	9,10	7,10	0,03
Mai/98	93,8	1094,89	10,71	31,72	0,31
Jun/98	20,8	1277,97	2,28	102,73	0,18

fósforo). Nos 18 meses de estudo, obtivemos uma carga total de 362,35 kg para nitrogênio e 8,50 kg para fósforo.

4.5.3 - Aporte de nitrogênio total e fósforo total via entrada não pontual.

Baseado nos valores médios propostos por Jørgensen (1986) para o aporte natural de nitrogênio e fósforo (entradas não pontuais) e considerando-se uma área de influência da bacia da ordem de 160 ha com cobertura florestal e formação geológica tipo ígnea, obtivemos uma estimativa de carga igual a 527,06 kg para o nitrogênio e 19,74 kg para fósforo (TABELA 01A e 02A – anexos).

4.6 - Concentração de nitrogênio e fósforo no sedimento.

A TABELA - 20 apresenta os valores de concentração de nitrogênio e fósforo, nos cinco pontos estudados em duas épocas.

As concentrações de fósforo e nitrogênio no sedimento apresentaram variação entre os dois compartimentos. O maior valor de concentração de nitrogênio foi encontrado em janeiro/98, ponto 05 no compartimento II ($13,81 \text{ mg.g}^{-1}$) e o menor valor em janeiro/98 no ponto 03 do compartimento I ($3,88 \text{ mg.g}^{-1}$). Para as concentrações de fósforo, o maior valor foi encontrado em janeiro/98 no ponto 05 do compartimento II ($1.672,62 \text{ } \mu\text{g.g}^{-1}$) e o menor valor em julho/97, no ponto 03 do compartimento I ($224,94 \text{ } \mu\text{g.g}^{-1}$).

Para a concentração de nitrogênio, os valores obtidos não sofreram alterações acentuadas entre os dois períodos estudados, exceto o ponto 02. Uma variação estimada da ordem $0,64 \text{ mg.g}^{-1}.\text{mês}^{-1}$, que corresponde a um aumento de 52,98 % foi observada na concentração de nitrogênio no período entre julho/97 a janeiro/98, neste ponto.

As estimativas das concentrações de fósforo no sedimento, nos pontos localizados no compartimento II, dobraram no período entre julho/97 e janeiro/98. No ponto 04 e 05 apresentaram um aumento de 124,93 % e 95,58 % respectivamente.

TABELA – 20: Concentração de fósforo ($\mu\text{g.g}^{-1}$) e nitrogênio (mg.g^{-1}) no sedimento no intervalo de amostragem, em 05 pontos distribuídos nos dois compartimentos estudados no Lago das Garças - São Paulo.

	ponto	Nitrogênio total (mg.g^{-1})		Fósforo total ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	
		Jul/97	Jan/98	Jul/97	Jan/98
Compartimento I	01	11,23	10,28	765,49	1.116,30
	02	7,21	11,03	698,37	1.234,05
	03	4,25	3,88	224,94	252,25
Compartimento II	04	10,25	12,23	692,52	1.557,72
	05	12,33	13,81	855,21	1.672,62

4.7 - Taxa de sedimentação de nitrogênio e fósforo.

Para a taxa de sedimentação de fósforo, não foi obtida variação entre as profundidades (30 % e 70 %) e as épocas (julho/97 e fevereiro/98) (TABELA – 21).

Para o nitrogênio, a taxa de sedimentação mais baixa ocorreu em fevereiro/98 a 30 % da profundidade da coluna e a maior foi obtida em julho/97 a 70 % de profundidade. Os dados apresentam efeitos de profundidade e sazonalidade para as taxas de sedimentação.

TABELA – 21: Taxa de sedimentação para fósforo e nitrogênio ($\text{mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) a 30 e 70 % da profundidade da coluna d'água na região pelágica do Lago das Garças - São Paulo - S.P.

Mês	Nitrogênio ($\text{mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$)		Fósforo ($\text{mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$)	
	30 %	70 %	30 %	70 %
Julho/97	578,37	737,65	0,83	0,87
Fevereiro/98	503,02	646,82	0,85	0,88

4.8 - Balanço de massa do nitrogênio total e fósforo total

A TABELA 22 apresenta a estimativa dos valores de entrada, saída e retenção de fósforo total e nitrogênio total para o Lago das Garças e para os dois compartimentos, no período de janeiro/97 a junho/98.

No período de estudo, o Lago das Garças apresentou uma retenção de 3.958,23 kg de fósforo total e 31.633,49 kg de nitrogênio total.

Para o compartimento 01, a estimativa de retenção de fósforo é de 3.778,95 kg. Esse valor incorpora a biomassa das macrófitas aquáticas, com predominância da *Eichhornia crassipes*, que estão distribuídos em todo o reservatório.

Maior aporte de fósforo total para o Lago das Garças, no período de estudo, foi proveniente das entradas pontuais. As fontes difusas e a precipitação contribuíram com menos de 1 % da carga total de fósforo (FIGURA – 48).

Para a carga de nitrogênio total, os valores estimados entre janeiro/97 e junho/98 indicam que a fixação foi a fonte mais importante, contribuindo com aproximadamente 63 % da carga total. As fontes difusas e a precipitação representaram 2,4 % da carga total de nitrogênio (FIGURA – 48).

TABELA – 22: Balanço de massa do nitrogênio total e fósforo total (kg), no Lago das Garças - SP e seus compartimentos no período de janeiro/97 a junho/98.

		Nitrogênio total (kg)	Fósforo total (kg)
Reservatório	Entrada	37.156,76	6.519,04
	Saída	5.523,27	2.560,81
	Retenção	31.633,49	3.958,23
Compartimento I	Entrada	22.644,11	6.339,77
	Saída	5.523,27	2.560,81
	Retenção	17.120,85	3.778,95
Compartimento II	Entrada	32.685,40	6.460,48
	Saída	18.172,76	6.281,48
	Retenção	14.512,64	179,00

FIGURA - 48: Gráfico da contribuição de nitrogênio e fósforo (kg e porcentagem) das diferentes fontes de aporte para o Lago das Garças no período de janeiro/97 a junho/98.

4.9 – Estimativa da concentração de fósforo

Os dados do aporte de fósforo utilizados nas equações consideram as entradas pontuais, difusas e a precipitação úmida.

A FIGURA 49 apresenta a distribuição dos valores de concentração do fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$) observados e estimados através das equações 1 e 2.

Na TABELA 23, encontram-se os valores estimados, através da equação 01 e 02, da concentração de fósforo ($\mu\text{g.L}^{-1}$), bem como os valores das simulações, na redução da carga de fósforo e no controle das entradas pontuais de nutrientes.

Considerando-se a estimativa de aporte médio de fósforo ($4.891,54 \text{ mg.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$) no Lago das Garças, obtivemos uma expectativa de concentração da ordem de $90,59 \mu\text{g.L}^{-1}$ para a equação 01 e $142,98 \mu\text{g.L}^{-1}$ para a equação 02 e um valor médio obtido, em campo, de $123,34 \mu\text{g.L}^{-1}$, sendo o lago classificado como eutrófico.

Com relação aos compartimentos I e II, os resultados obtidos para ambos mantêm a classificação de eutrófico. Os valores estimados da concentração de fósforo total na água para o compartimento I foram de $72,70$ e $114,21 \mu\text{g.L}^{-1}$ e para o compartimento 02 foram de $86,07$ e $135,70 \mu\text{g.L}^{-1}$, nas equações 01 e 02 respectivamente.

Para alteração da classificação trófica do lago (eutrófico para mesotrófico), seria necessária uma redução de 70 a 80 % do aporte de fósforo total, com estimativa de valores de carga entre 1.400 e $930 \text{ mg.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ para a equação 01 e aportes não superiores a uma carga de $1.000 \text{ mg.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ para a equação 02.

Reduções superiores a 90 %, com valores máximos de $500 \text{ mg.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$, levariam à concentração estimada em $11,64 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$ pela equação 01 e a $17,59 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$ pela equação 02, sendo o lago classificado como oligotrófico.

FIGURA - 49: Gráfico dos valores mensais da concentração de fósforo ($\mu\text{g.L}^{-1}$) obtidos no campo (observados) e estimados pelas equações 01 proposta por Salas (1983) e 02 (modificada) para o Lago das Garças, no período de janeiro/97 a junho/98.

TABELA - 23: Simulação da concentração de fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na água, baseada na carga desse elemento ($\text{mg.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$), através das equações 01 propostas por Salas (1983) e 02 (modificada) para o Lago das Garças.

Estratégia	Carga de fósforo ($\text{mg.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$)	Estimativa equação 01 P ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Estimativa equação 02 P ($\mu\text{g.L}^{-1}$)
Lago (média do período)	4891,54	90,59	142,98
Jan/97	4393,46	82,32	129,67
Fev/97	3964,96	75,13	118,11
Mar/97	2892,98	56,73	88,65
Abr/97	3609,97	69,10	108,44
Mai/97	5324,09	97,69	154,44
Jun/97	3572,29	68,46	107,41
Jul/97	2610,51	51,77	80,74
Ago/97	4771,94	88,61	139,79
Set/97	8042,31	141,08	224,79
Out/97	6053,40	109,53	173,58
Nov/97	5028,59	92,84	146,62
Dez/97	6938,68	123,69	196,53
Jan/98	4094,94	77,32	121,62
Fev/98	5876,01	106,66	168,94
Mar/98	6534,84	117,26	186,10
Abr/98	4734,44	87,99	138,79
Mai/98	3392,20	65,38	102,47
Jun/98	2161,56	43,76	68,00
Compartimento I	3821,60	72,70	114,21
Compartimento II	4618,69	86,07	135,70
Redução de 10 %	4402,38	82,47	129,91
Redução de 20 %	3913,23	74,25	116,70
Redução de 30 %	3424,08	65,92	103,35
Redução de 40 %	2934,92	57,46	89,82
Redução de 50 %	2445,77	48,85	76,09
Redução de 60 %	1956,62	40,04	62,11
Redução de 70 %	1467,46	30,99	47,80
Redução de 80 %	978,31	21,59	33,05
Redução de 90%	489,15	11,64	17,59
Eliminar entrada 01	4864,13	90,13	142,25
Eliminar entrada 02	4591,63	85,62	134,98
Eliminar entrada 03	2794,16	55,00	85,89
Eliminar entrada 04	4764,30	88,48	139,59
Eliminar entrada 05	4323,13	81,15	127,78
Eliminar entrada 06	4851,13	89,92	141,90
Eliminar entrada 07	3181,97	61,75	96,68
Eliminar E-03 e 07	1084,58	23,67	36,30

A eliminação do aporte de fósforo proveniente das entradas 03 e 07, principais fontes pontuais, que correspondem a 42% e 36%, respectivamente, do aporte total, levaria a uma concentração de fósforo na água estimada em $23,67 \mu\text{g.L}^{-1}$ (equação 01) e $36,30 \mu\text{g.L}^{-1}$ (equação 02), classificando o lago como mesotrófico para a equação 01 e eutrófico para a equação 02.

A correlação de Pearson entre os valores observados e calculados, utilizando-se os dados de janeiro/97 a junho/98, foram de 0,831 e 0,811 para as equações 01 e 02 respectivamente.

Aplicando-se o teste t-Student a um nível de 5% de significância, conclui-se que são significativas, portanto, há associação significativa entre os valores estimados e observados (TABELA – 24).

Através da regressão linear baseada nos dados observados e estimados de fósforo total, transformados através de função logarítmica, obtivemos valores de $r^2=0,6912$ e $Se = 0,086$ para a equação 01 e $r^2 = 0,7771$ e $Se = 0,084$ para a equação 02 (FIGURAS 50 e 51).

Na análise das linhas de tendência (FIGURA 49) em conjunto com a regressão linear (FIGURAS 50 e 51) pode-se observar que o comportamento dos dados estimados diferiu entre as equações, apresentando tendência a subestimar os valores na equação 01 e a superestimar os valores na equação 02. Sendo que a equação 02 apresentou na análise dos resíduos um melhor ajuste observado pela redução nos valores de Se.

TABELA – 24: Tabela de dados observados, calculados, valores do Teste de correlação de Pearson e o teste t-Student para os dados obtidos no período entre janeiro/97 a junho/98 para o Lago das Garças – SP.

observado	estimado 1	Equação 2	observado	estimado 1	equação 2
115,79	82,32	129,67	204,98	109,53	173,58
79,91	75,13	118,11	160,26	92,84	146,62
92,09	56,73	88,65	175,03	123,69	196,53
90,44	69,10	108,44	151,47	77,32	121,62
82,36	97,69	154,44	162,64	106,66	168,94
80,89	68,46	107,41	156,36	117,26	186,10
95,94	51,77	80,74	116,39	87,99	138,79
132,39	88,61	139,79	74,63	65,38	102,47
181,79	141,08	224,79	66,91	43,76	68,00

WED 10/01/00 08:06:19 C:\SYSTATW5\EQUAÇÃO.SYS

MATRIZ DE CORRELAÇÃO PEARSON

	OBSERVADO	EQUAÇÃO01	EQUAÇÃO02
OBSERVADO	1.000		
EQUAÇÃO 01	0.831	1.000	
EQUAÇÃO 02	0.881	1.000	1.000

Teste t-STUDENT (95%, $\alpha = 0,05$)

Fórmula usada: $t_{obs} = r \sqrt{\frac{n-1}{1-r^2}}$ H_0 : não existe correlação entre o valor observado e o valor estimado.

$t_c (17, 0.05)$ 1,74

t (equação 01) 6,16 $t > t_c$

t (equação 02) 7,68 rejeito H_0

FIGURA - 50: Correlação entre valores da concentração de fósforo (função logarítmica) observados e estimados pela equação 01 para o Lago das Garças - SP, no período de janeiro/97 a junho/98.

FIGURA - 51: Correlação entre valores da concentração de fósforo (função logarítmica) observados e estimados pela equação 01 para o Lago das Garças - SP, no período de janeiro/97 a junho/98.

DISCUSSÃO

O Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, localiza-se, em área aproximadamente a 40 km abaixo do Trópico de Capricórnio. Nesse aspecto, o clima da região sofre influência tanto dos sistemas subtropicais quanto dos sistemas tropicais, ficando exposto, quando analisado em uma macroescala, às zonas frontais que são fronteiras entre massas de ar com propriedades diferentes (Nimer, 1979).

Santos & Funari (1976) estudaram o balanço hídrico da região no período entre 1933 a 1973, e consideraram que a precipitação normal é da ordem de 1.318 mm, com o período de seca, predominante, entre maio e setembro. Os valores obtidos (1430 e 1387 mm em 1997 e 1998, respectivamente) correspondem a valores de anos “típicos” com relação a precipitação total. Entretanto, a distribuição temporal das precipitações, no período em questão, não permitiu uma distinção nítida entre épocas de chuva e seca, que se caracterizam por apresentar altos e baixos valores de precipitação e temperatura, respectivamente.

Segundo Struffaldi-De-Vuono (1985), a temperatura média do mês mais frio no Parque Estadual é inferior a 18 °C e a do mês mais quente superior a 22 °C. Pode-se considerar o período compreendido entre maio/97 e agosto/97 como o mais frio, com menor temperatura. Entretanto, no mês de junho/97 ocorreram chuvas que totalizaram um volume cerca de 10 mm abaixo da média anual (119,20 mm) em 11 dias de precipitação.

As precipitações de fevereiro/97 (108,90 mm) e junho/97 (108,70 mm), foram similares apesar desses meses representarem estações climáticas diferentes, do ponto de vista térmico.

Bicudo et al. (1999) consideraram que o período de 1996 – 98, na região em que está inserido o Lago das Garças, a separação entre as estações seca/chuvosa foi menos nítida, observando-se precipitações bem mais elevadas em dezembro-janeiro/96, junho, setembro-dezembro/97 e bem mais baixas em fevereiro a março/97.

Rios (1999), trabalhando no período de agosto/96 a julho/97 na Represa de Salto Grande em Americana – SP, atribuiu as mudanças na distribuição da precipitação do ano de 1997, ao fenômeno conhecido com “El Niño”, responsável pela elevação da temperatura das águas do Oceano Pacífico próximo a costa do Chile e que interferiu nas condições climáticas de todo o planeta, provocando alterações no regime hídrico no sul do Brasil e seca, nas regiões norte e nordeste.

Dentre os fatores climáticos, o vento é um importante agente que atua nos processos de estratificação térmica e química dos corpos d’água. Sua influência depende diretamente de sua velocidade e direção. Quanto maior o comprimento da “pista” (superfície laminar da água), maior será o efeito de força do vento.

Segundo Wetzel (1993), os movimentos da água dão-se em resposta a forças, especialmente o vento que transfere energia para a água. Movimentos rítmicos verificam-se tanto à superfície da água como internamente, que terminam em turbulência arrítmica. O resultado final é a dispersão da água juntamente com os nutrientes e os organismos nela contidos.

Para o Lago das Garças, ventos no vetor norte - sul atuam em paralelo ao eixo longitudinal do reservatório.

Durante o período de estudo, as direções predominante não foram no sentido longitudinal do Lago das Garças, mas em algumas variantes (SSE, SSW, NNE, NNW). Assim mesmo, os ventos agiram numa extensão significativa em relação ao tamanho do reservatório.

Ramirez (1996) concluiu em seu trabalho que o Lago das Garças é um ambiente cinético, turbulento e altamente influenciado pela ação do vento e identificou o lago como polimítico descontínuo.

Neste trabalho não ficou evidenciada uma relação direta entre ação do vento e a estrutura térmica do lago. A observação dos perfis térmicos indica que os períodos sem estratificação ficaram restritos à estação de seca (abril a setembro). Em julho e setembro, constatou-se uma ligeira estratificação com uma diferença térmica ao longo do eixo da coluna d'água de 1,40 °C e 1,50 °C, respectivamente.

Para Bicudo et al. (1999) ocorreu no Lago das Garças uma recorrência em relação a estabilidade térmica no período de 1994-98, sendo a primavera e início do verão, a época de maior estabilidade no sistema e, tipicamente no fim do inverno (agosto - setembro), o reservatório inicia um processo de grande mudança em sua estrutura térmica.

Moura (1996) encontrou em estudo anterior que os perfis de temperatura para o Lago das Garças enquadram-se em dois tipos: estratificações mais acentuadas e, provavelmente, mais duradouras no período de chuva e, no período de seca isotermias com maior frequência. Os dados obtidos no presente trabalho confirmam a identificação proposta.

Esta classificação do regime térmico foi descrita para o local com $z_{\max}$ (estação P). Entretanto, no local mais raso (estação L) o regime térmico é de difícil descrição pois, a presença constante de camalotes (dominados por *Eichhornia crassipes*) contribui para limitar a ação de forças (vento e radiação térmica) que atuam na instabilidade do sistema. As entradas de água (fontes pontuais) mais frias interferem também no regime térmico do lago, sendo que seis entre as sete entradas estudadas se localizam no compartimento II, representado pela estação L.

Os dados obtidos no período entre janeiro/97 e junho/98, para o Lago das Garças, indicam que a temperatura média do ar (aquecimento térmico) e a profundidade do sistema foram os principais fatores que influenciaram as estratificações térmicas da coluna d'água. Bicudo et al (1999) também consideram que no fim do inverno, o início da elevação da temperatura, associado a um período de baixa precipitação e ventos usualmente mais fracos do que no verão e primavera (Ramirez, 1996), foram os fatores que, muito provavelmente, desencadearam o início da mudança da estabilidade térmica do Lago das Garças.

Devido a pouca profundidade, a variação térmica no Lago das Garças é caracterizada por dois períodos evidentes: estratificação térmica no período entre outubro a fevereiro enquanto as isotermias ocorrem entre março a setembro (Henry, 1999).

Para o Lago das Garças, Bicudo et al (1999) concluíram que a flutuação espacial e temporal das características limnológicas abióticas no reservatório foi, basicamente, determinada pela alternância do ciclo mistura/estabilidade térmica e da ocorrência de florações de *Microcystis*. Assim, o padrão recorrente de flutuação das

variáveis limnológicas foi inicialmente ditado por fatores físicos (estabilidade térmica), seguido pelo biológico.

Inúmeros fatores controlam os processos de estratificação térmica e química nos reservatórios. Segundo Tundisi (1990), o aquecimento térmico pela radiação solar, o vento, a profundidade do sistema, a vazão e o tempo de residência são os mais importantes.

Nos processos de eutrofização, os fatores citados (profundidade do sistema, vazão e tempo de residência) são fundamentais na distribuição e na disponibilidade dos nutrientes, influenciando diretamente a produtividade do sistema.

Segundo Golterman (1995), a importância do conhecimento dos ciclos do carbono, nitrogênio e fósforo é entender como os nutrientes tornam-se disponíveis para a manutenção da produção primária, processo pelo qual resulta energia para todo o metabolismo dos sistemas aquáticos.

As alterações de um sistema aquático podem ser descritas através de variáveis físicas e químicas. O Lago das Garças apresentou, no período de estudo, características de um sistema instável com altos coeficientes de variação nas variáveis químicas e físicas.

A transparência da água (z_{ds}) é determinada pela sua cor e turbidez, consequência da presença de material orgânico e de minerais em suspensão. Para o Lago das Garças a transparência apresentou um coeficiente de variação da ordem de 45,25 % no compartimento I (estação P) e 39,94 % no compartimento II (estação L), indicativo de uma alta variabilidade temporal. Moura (1996), apresenta em seu trabalho (ano: 1994) valores máximos de z_{ds} iguais a 0,50m. Este valor é entretanto três vezes menor que o valor máximo (1,50 m) encontrado para os anos de 97/98.

Segundo Wetzel (1993), é muito utilizada de forma generalizada para lagos muito produtivos (eutrofizados) a relação entre a transparência do disco de Secchi e a estimativa da densidade das populações fitoplanctônica. Para o Lago das Garças, as alterações observadas na transparência da água (z_{ds}) no período de três anos, podem estar relacionadas à redução na densidade das populações (fitoplâncton) em função da competição por nutrientes provocada pela elevada propagação de *Eichhornia crassipes* observada no período e, o efeito de retenção do material em suspensão total (MST) na região litoral pelos bancos de macrófitas com conseqüente diminuição da concentração na coluna d'água.

Uma relação negativa entre a profundidade de desaparecimento do disco de Secchi (m) e a concentração média de material em suspensão total (MST) nos primeiros dois metros de profundidade da coluna d'água no lago foi encontrada.

A água do Lago das Garças pode ser considerada como semiturva (10 a 50 UTN) segundo Bruton (1985) apud Ramirez (1996), pois os dados oscilaram de 2,10 a 42,50 UTN na estação P (compartimento I) e de 1,90 a 34,50 UTN na estação L (compartimento II).

Valores médios semelhantes de condutividade elétrica ($145,39 \mu\text{S.cm}^{-1}$ para a estação P e $145,92 \mu\text{S.cm}^{-1}$ para a estação L) foram obtidos por Ramirez (1996), Moura (1996) e Nogueira (1997) entre 1994/1995, no mesmo ponto de amostragem (estação P).

Valores mais elevados de condutividade elétrica, foram encontrados em dezembro, janeiro e fevereiro sempre na região mais profunda da coluna d'água para a estação P e na superfície para a estação L (área de macrófitas aquáticas).

Valores elevados de condutividade podem estar associados à redução dos níveis de concentração de oxigênio dissolvido envolvido na degradação da matéria orgânica e conseqüente liberação de íons. O período de elevação dos valores de condutividade ocorreu na época de chuvas intensas, aumentando a lavagem e transporte para o reservatório, de íons presentes na atmosfera e na bacia hidrográfica.

O pH no Lago das Garças tanto nas estações P (A.V. = 5,70 - 8,84) como L (A.V. = 5,74 - 7,76) enquadra-se em valores encontrados em águas superficiais (5,0 - 8,6) não impactadas (Marques, 1995). Em um único evento (setembro/97 na superfície da coluna d'água) o valor medido (8,84) provavelmente deva ser diretamente associado à elevada demanda fotossintética de CO₂.

A distribuição do oxigênio no Lago das Garças apresentou um gradiente caracterizado por anoxia no fundo (>4m de profundidade) nos meses de fevereiro/97, março/97 e setembro/97 a abril/98, típico de perfil clinogrado. Coincide com o desenvolvimento de estratificações térmicas sendo que o déficit de oxigênio nesta região da coluna d'água pode decorrer das altas taxas de decomposição de matéria orgânica no hipolimnion, tanto na água como, especialmente, na interface sedimento - água. Segundo Henry (1999) a variação das concentrações de oxigênio em ecossistemas aquáticos ocorre em função de alterações no suprimento (produção de matéria orgânica, difusão ar-água e introdução via tributários) e nos processos de consumo (respiração pela biota e DBO) e, a duração do período de estratificação térmica é um fator decisivo na ocorrência de déficit de oxigênio no hipolímnio.

As maiores concentrações de nitrogênio total, no Lago das Garças, ocorrem a 3 metros e no fundo, em período de ocorrência de estratificação térmica e maior incidência de chuvas (janeiro a abril/97 e setembro/97 a abril/98). Este padrão de

distribuição é similar para a forma amoniacal (N-NH_4^+). Concentrações elevadas de nitrogênio, em períodos de estratificação na zona mais profunda, podem estar associadas à degradação microbiana da matéria orgânica no sedimento, corroborando na hipótese do déficit de oxigênio no hipolimnion.

Esteves (1998) considera que, na maioria dos lagos de regiões tropicais, não se consegue estabelecer uma relação direta entre a concentração de nitrogênio amoniacal e a produtividade do sistema. Possivelmente, está mais associada à duração do período de estratificação. Wetzel (1993), afirma que quanto maior a concentração de oxigênio menor a concentração de nitrogênio amoniacal. No período, de estudo observamos associação entre os teores elevados de N-NH_4^+ aos períodos de anoxia, no hipolímnio. Na coluna d'água, as concentrações de nitrogênio total no Lago das Garças sofreram uma redução significativa em relação aos valores encontrados por Moura (1996), Ramirez (1996) e Nogueira (1997).

A diminuição de N total na água do lago não está associada à redução das cargas introduzidas no reservatório, mas sim à proliferação descontrolada de macrófitas aquáticas (*Eichhornia crassipes*) que competem com o fitoplâncton, reduzindo a capacidade de assimilação do nitrogênio. Estimativas, baseadas em observações de campo (entre 94/95), mostravam que as macrófitas aquáticas ocupavam menos de 10% da área total do reservatório. Em novembro/98, um levantamento avaliou em 48 % a área do reservatório colonizada pelas macrófitas.

Segundo Junk & Mello (1987) apud Bitar (1998), algumas características necessárias para o crescimento maciço de macrófitas aquáticas são: a sua alta capacidade reprodutiva, elevadas quantidades de nutrientes na água, condições climáticas favoráveis, falta de espécies competidoras, falta de animais herbívoros,

pragas e doenças. Segundo Beyruth (1992), a importância das macrófitas em lagos reside no seu papel quanto ao estoque e ciclagem dos nutrientes, na sua interferência na redução da penetração de luz na água e na competição por nutrientes com a comunidade de fitoplâncton. Mercante & Carmo (trabalho em fase de redação), em um estudo da assimilação de nitrogênio amoniacal por *Eichhornia crassipes*, no Lago das Garças, observaram que, com a presença desse tipo de macrófita, a constante de assimilação do nitrogênio amoniacal em relação ao anabolismo do fitoplâncton na água aumentou em 77 %. O coeficiente de assimilação da macrófita/comunidade aderida + fitoplâncton no lago foi da ordem de $K = 0,5386 \text{ h}^{-1}$, cerca de 1,8 vezes maior que o coeficiente de assimilação do fitoplâncton ($K = 0,304 \text{ h}^{-1}$).

Segundo Wetzel (1993), a concentração de fósforo total da maior parte das águas de superfície não contaminadas varia entre 10 e 50 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$. A concentração de fósforo total no Lago das Garças oscilou entre 58,07 a 247,09 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ com valor médio de 116,31 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ para a estação P (compartimento I) e 45,65 a 466,89 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ com valor médio de 149,51 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ para a estação L (compartimento II). A magnitude dos resultados indica que o ambiente é perturbado e recebe uma sobrecarga de fósforo, provavelmente, de origem antrópica. O aporte de fósforo para o Lago das Garças proveio, principalmente, das entradas pontuais que recebem descargas de esgotos.

Salas (1990) encontrou, entre 16 ambientes eutrofizados de região tropical, a concentração de fósforo apresentou valor médio de 118,7 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$. Os valores médios obtidos para o sistema, no presente estudo, podem enquadrá-lo entre os ambientes impactados.

A distribuição do P, com valores mais elevados de concentração, na coluna de água pode estar relacionada à produtividade do sistema (densidade do fitoplâncton). Os picos de clorofila *a*, indicador de produtividade, ocorreram nos mesmos períodos ou ligeiramente anteriores a elevados teores de fósforo, indicando que o elemento detectado pode estar associado à biota ou à senescência do fitoplâncton (via decomposição).

Pode ocorrer a liberação de grande quantidade de fósforo dos detritos ainda no epilânio, antes mesmo de seu depósito no fundo do lago. Este padrão de circulação do fósforo, sem a participação do sedimento foi denominado como circulação em “curto-circuito”. Como consequência deste fenômeno, parte da matéria orgânica produzida na zona eufótica deste lago é nessa mesma região decomposta (Esteves, 1988, 1998).

O valor médio da concentração de fósforo total ($116 \mu\text{g.L}^{-1}$) encontrado foi cerca de 30% inferior à concentração média encontrada no trabalho de Ramirez (1996), aproximadamente $160 \mu\text{g.L}^{-1}$. Este fato, em comparação ao ocorrido com o nitrogênio (9 vezes inferior), pode indicar que a principal fonte de fósforo é alóctone e tem suprido a crescente demanda por fósforo para manutenção da produtividade do sistema, visto a propagação das macrófitas aquáticas.

As concentrações de fosfato total dissolvido (AV. de 5,99 a $55,38 \mu\text{g.L}^{-1}$ P-PO_4^{3-} na estação P e de 6,18 a $40,68 \mu\text{g/L}$ P-PO_4^{3-} na estação L), mostraram padrão de variação similar ao fósforo.

Segundo Wetzel (1993), a maior parte do fósforo nos lagos está na forma particulada e pode chegar a representar até 95 % do fósforo total do sistema. A concentração do fósforo total particulado, no Lago das Garças, variou de $29,85 \mu\text{g/L}$

P-PO₄³⁻ (em fevereiro/97 – fundo) que correspondeu a 41,47 % da concentração de fósforo total, alcançando 234 µg/L P-PO₄³⁻ (em fevereiro/98 – fundo) que correspondeu a 96,38 % da concentração de fósforo total.

As concentrações de fósforo total particulado estiveram associadas a biomassa fitoplanctônica. Uma análise de regressão mostrou ser significativa a correlação (positiva) entre os valores de PP e as concentrações de clorofila *a*.

Baseado nas concentrações de clorofila *a*, a biomassa do sistema apresentou alta variação temporal, com coeficientes de variação de 70,25 e 72,35 % para as estações P e L, respectivamente.

Segundo Calijuri (1999), a comparação entre os resultados de biomassa expressos em clorofila nos ambientes aquáticos brasileiros é um problema sério, pois há deficiência de um método comprovadamente eficiente na extração desse pigmento e na padronização das unidades utilizadas.

Com relação ao material em suspensão total (MST), observou-se principalmente na estação P, que as menores concentrações foram determinadas na estação seca (abril a setembro) e os valores mais altos detectados na estação chuvosa (outubro a março). Isto evidencia que o Lago das Garças, no período de chuva, sofre uma elevação na carga de material particulado (orgânico e inorgânico) via precipitação e escoamento superficial. Rios (1999) também encontrou, no Reservatório de Salto Grande (Americana – SP), as maiores concentrações de M.S.T. e inorgânico no verão (período chuvoso) e as menores concentrações no inverno (período seco), não observando variação espacial significativa no corpo d'água. Em contrapartida, Henry (1990) verificou que o material em suspensão na zona da barragem do reservatório de Jurumirim, São Paulo, apresentou pouca variabilidade

ao longo do eixo temporal, sendo pequena a sua participação como agente de atenuação da radiação solar.

O uso e manejo na bacia hidrográfica e os parâmetros morfométricos são os principais fatores de influência na concentração de material em suspensão nos corpos d'água. Henry & Curi (1983) estudando a Represa de Rio Pardo, São Paulo, observaram que reservatórios com menor tempo de residência são mais susceptíveis à introdução de material alóctone, interferindo significativamente na transparência da água.

As concentrações mais elevadas de M.S.T. foram encontradas sempre nas maiores profundidades. A distribuição em função da profundidade estaria associada a ressuspensão de material do sedimento. A tendência à isotermias na coluna de água mais freqüente no período de abril/97 a agosto/97, e a circulação vertical decorrente podem ser responsáveis pela homogeneidade das concentrações de MST.

As taxas de sedimentação no Lago das Garças, na estação P, apresentaram valores que variaram de 503,02 a 737,65 $\text{mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ para o nitrogênio e para o fósforo a variação foi de 0,83 a 0,88 $\text{mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$.

Os valores das taxas de sedimentação do fósforo total encontrados por Rios (1999), para a Represa de Salto Grande (Americana – SP), foram menores aos obtidos neste trabalho, oscilando entre 0,07 $\text{mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ (jusante da represa) a 0,48 $\text{mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ (montante da represa). Para o fósforo, os valores mais altos de sedimentação foram obtidos no período das chuvas em ambos os ambientes (Lago das Garças e Represa de Salto Grande), evidenciando que essas taxas correspondem à entrada alóctone de fósforo em função da maior incidência de chuvas e transporte de material para o corpo d'água.

Leite (1998) obteve, no Reservatório de Salto Grande, taxas de sedimentação para o nitrogênio entre 700 a 3.300 $\text{mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ em fevereiro/97 e 100 a 500 $\text{mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ em julho/97. O autor considerou a influência do escoamento superficial, que no período chuvoso eleva o transporte de material para o corpo d'água, um importante fator na variação sazonal das taxas de sedimentação. Os valores obtidos por Leite (1998) em fevereiro/97 (período chuvoso) foram muito superiores aos obtidos no Lago das Garças na estação das chuvas (fevereiro/98) e, o ambiente não apresentou uma variação acentuada entre as estações de seca/chuva, este fato corrobora a hipótese que o sistema (que insere o lago em estudo) recebe uma principalmente nutrientes de origem antrópica, apresentando pouca influência do regime hídrico.

Para o nitrogênio, os maiores valores das taxas de sedimentação foram obtidos na maior profundidade (70 %) e com relação aos meses amostrados, em julho/97 as taxas foram mais elevadas que fevereiro/98. O fato das câmaras de sedimentação instaladas a 70 % da profundidade da coluna d'água apresentarem maiores concentrações é justificado pela ressuspensão e o “efeito funil” da topografia de fundo, visto que o lago apresenta uma constrição com a profundidade, acarretando uma elevação da concentração de nitrogênio por unidade de área.

No período de chuva (representado por fevereiro), esperava-se encontrar as taxas mais elevadas em virtude da elevação do carregamento de material particulado para o lago, mas no mês de julho (período de seca), houve os valores mais altos. Neste caso, a taxa de sedimentação para o nitrogênio provavelmente esteve associada ao tempo de residência da água no reservatório (maior o tempo de residência = menor renovação da água). Em julho/97, foi de 87,63 dias e 43,37 dias

para fevereiro/98, além disso, em lagos com maior tempo de residência, a produção autóctone de nitrogênio aumenta.

Para o fósforo, a taxa de sedimentação não apresentou variação entre as profundidades ou entre os períodos, indicando que as taxas estão associadas à carga alóctone de fósforo, ressuspensão de material e a disponibilidade na coluna d'água, visto que o aporte de fósforo no lago em fevereiro/98 foi maior que o de julho/97, mas a sua disponibilização na água deve ter sido similar.

Na maioria dos ecossistemas aquáticos continentais, o sedimento é o compartimento que apresenta maior concentração de nutrientes, funcionando neste caso, como reservatório de nutrientes para os demais compartimentos (Esteves, 1998).

Para o nitrogênio, no período entre julho/97 a janeiro/98, o compartimento I apresentou variação negativa, da sua quantidade no sedimento, nos pontos 01 e 03, visto que nos dois pontos, houve uma redução de aproximadamente 8% na concentração do elemento. Em contrapartida, no ponto 02 ocorreu um aumento na concentração de 52,98 %. Wetzel (1993) afirma que a dinâmica do nitrogênio no sedimento não é bem conhecida mas, a capacidade de circulação desse elemento ocorre nos 10 cm superficiais.

Rees et al. (1991), apresentaram dados da concentração de nitrogênio no sedimento em lagos com diferentes estados tróficos:

Lago	Estado trófico	Profundidade (cm)	[N] (mg/g)
Lake East Arm	Hipereutrófico	0 – 30	4,7 - 10,2
Central Lake	Eutrófico	0 – 15	7,2 - 9,2
Central Arm	Mesotrófico	0 -10	2,9 - 3,4
Lago das Garças	eutrófico	0 - 10	3,88 – 13,81

Os dados apresentados na tabela indicam que a magnitude dos valores encontrados para o Lago das Garças, um ambiente eutrofizado, é superior aos apresentados por Rees et al. (1991).

Os valores obtidos neste trabalho para a concentração de nitrogênio no sedimento são, comparativamente, similares aos apresentados para o Lake East Arm. Em contrapartida a classificação trófica dos ambientes é diferente, eutrófico para o Lago das Garças e hipereutrófico para o Lake East Arm.

Segundo Rees et al (1991), as cargas elevadas de nutrientes e conseqüente concentrações máximas para o fósforo total de $0,76 \text{ mg.L}^{-1}$ e clorofila da ordem de $301 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$, estabeleceram a classificação de hipereutrófico para Lake East Arm. Para o Lago das Garças obtive-se concentrações máximas de $0,466 \text{ mg.L}^{-1}$ para fósforo total e $218 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ para clorofila, valores 30 e 40 % inferiores, respectivamente, aos obtidos no ambiente hipereutrófico. Baseado nestes dados supõe-se que o sedimento do Lago das Garças seja um compartimento do sistema com elevada capacidade de armazenamento de compostos nitrogenados, visto que ambientes em regiões tropicais a dinâmica do ciclo dos nutrientes (retenção e liberação) ocorre muito mais rapidamente que em ambientes de regiões temperadas, como é o caso do Lake East Arm.

Segundo Moss (1998), as concentrações de nutrientes em sedimentos estão relacionadas com a erosão de solo na área da bacia hidrográfica, em função de mudanças climáticas ou atividades humanas, como desmatamento e agricultura. Os resultados deste trabalho indicam que a carga de nutrientes que o Lago das Garças

recebe são de origem antrópica através do despejo de dejetos nos principais afluentes do sistema.

Esteves (1998) afirma que a reciclagem da matéria orgânica processa-se muito mais rapidamente em lagos de regiões tropicais, em comparação aos de região temperadas.

As concentrações de fósforo total no sedimento mostraram uma distribuição espacial heterogênea. No ponto 05 (compartimento II), foi encontrado o maior valor médio ($1.672,62 \mu\text{g.g}^{-1}$). Isto é decorrência do fato dos bancos de macrófitas aquáticas permanecerem, preferencialmente, no compartimento II. A redução da concentração do fósforo total no sedimento, no compartimento I, pode estar relacionada à maior estabilidade física desse compartimento, visto que apresenta maior profundidade média e sofre influencia direta de apenas uma das sete entradas pontuais estudadas.

Rios (1999) encontrou valores ligeiramente superiores na concentração de fósforo no sedimento para a represa de Salto Grande (ambiente eutrofizado) visto que os valores médios para os 10 cm superficiais variaram entre 1.100,10 a 2.195,79 $\mu\text{g.g}^{-1}$ em 04 estações coletadas.

As concentrações de fósforo nos sedimentos variam muito entre os corpos d'água. Segundo Wetzel (1993), os fatores mais importantes que influenciam nessas variações são: 1) a capacidade de retenção pelo sedimento, 2) as condições da água suprajacente e 3) a biota que habita o sedimento e altera o equilíbrio de troca e portanto a reciclagem deste elemento para a água.

A liberação do fósforo do sedimento para a água ocorre em condições de anoxia no hipolímnio (Stum & Morgan, 1970). Santos (1996), concluiu que uma

redução das concentrações de oxigênio a partir de $3,35 \text{ mg.L}^{-1}$ já seria suficiente para iniciar a liberação desse elemento. Detectou também um aumento de 60% nas concentrações de fósforo na água intersticial quando o oxigênio dissolvido alcançou esta concentração.

O Lago das Garças apresentou longos períodos (janeiro a março/97 e setembro/97 a abril/98) com concentrações de oxigênio dissolvido abaixo do $2,0 \text{ mg.L}^{-1}$ no hipolímnio. Este fato indica que a ressuspensão do fósforo interfere diretamente na concentração desse elemento no sedimento. Ostrofsky & McGee (1991) consideram que a carga interna de fósforo pode ser calculada em função da somatória dos produtos entre a ressuspensão do fósforo ($\text{mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$), a área (m^2) e a duração da anoxia (dias). Wetzel (1993) relata que em sedimentos não perturbados com hipolímnio anóxico, em 2 a 3 meses o fósforo se desloca sem dificuldades de uma profundidade de pelo menos 10 cm para a água suprajacente, independente da origem do sedimento.

Na dinâmica do processo produtivo de lagos e reservatórios, um dos seus fatores importantes controladores é a ciclagem de seus principais nutrientes. Segundo Barbosa et al (1998), a avaliação do balanço de massa de nitrogênio e fósforo, considerando que as estimativas de aporte, saída e principalmente a retenção, são uma das principais estratégias para elaboração de propostas de recuperação, manejo e conservação de Reservatório da Pampulha.

Para o Lago das Garças, no período de janeiro/97 a junho/98, obtivemos entradas estimadas em 6.519,04 kg para o fósforo total e 37.156,76 kg para o nitrogênio total e saídas estimadas em 2.560,81 kg e 5.523,27 kg respectivamente para fósforo e nitrogênio. A retenção no sistema correspondeu a aproximadamente

61 % (3.958,23 kg) para o fósforo total e 85 % (31.633,49 kg) para o nitrogênio total. Rios (1999) encontrou uma taxa de 76 % de retenção de fósforo total na Represa de Salto Grande em Americana e conclui que a eficiência de retenção na represa é superior aos sistemas de lagoas de estabilização e semelhante aos sistemas de tratamentos de efluentes (com a adição de cloreto férrico).

Rocha et al (1996) estudaram o aporte anual de nutrientes para a Represa de Barra Bonita e encontraram que a carga via tributários era de 53.805 ton. para o nitrogênio e de 1.545 ton. para o fósforo. A remoção via efluente era de 28.740 ton. de nitrogênio e de 865 ton. de fósforo. Concluíram que da carga retida na represa, 62,38 % do N e 71,39 % de P referia-se à sedimentação; 23,09 % do N e 18,31 % do P era armazenado na biomassa e 14,50 % do N e 10,30 % do P permanecia em solução na água.

No Lago das Garças, os seguintes valores foram estimados: 11,0 % do P e 5,5 % do N estão na água; 1,1 % do P e 94,5 % do N refere-se a sedimentação. Entretanto, os percentuais de nitrogênio estão possivelmente superestimados em função do cálculo não considerar a massa de N nas macrófitas aquáticas presentes no ambiente. Essas variações nos induzem a concluir que o ciclo desses nutrientes deve estar fundamentalmente associado aos processos de estratificação e desestratificação térmica, à morfometria e à entrada de material alóctone no sistema.

Segundo Wetzel (1993), a quantidade de nitrogênio que chega aos lagos provenientes das fontes atmosféricas é geralmente de pequena importância em comparação com a quantidade vinda de outras fontes (escoamento superficial). Embora em alguns lagos alpinos, a entrada pela precipitação seja considerada uma das principais fontes de nitrogênio na bacia de drenagem. A contribuição da chuva

na carga de nutrientes que foram introduzidos no Lago das Garças no período de janeiro/97 a junho/98 foi de 8,50 kg de fósforo e 362,35 kg de nitrogênio.

Para o Lago das Garças, o aporte de fósforo via precipitação úmida correspondeu 0,14 % da carga total, variando a concentração na água da chuva de 6,0 a 102 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Esteves (1998) considera que a concentração média da água da chuva pode variar entre 10 a 680 $\mu\text{g.L}^{-1}$, sendo que em regiões industriais pode apresentar valores médios elevados (100 $\mu\text{g.L}^{-1}$).

Cordeiro Netto & Dutra Filho (1981) apud Esteves (1998), calcularam o aporte de fósforo através da precipitação direta no Lago Paranoá (Brasília) obtendo uma estimativa de 0,8 t.ano^{-1} que corresponde a 0,7 % do aporte total do lago.

Para o nitrogênio, a entrada via chuva representou 1,0 % da carga total sendo superior a soma das cargas das entradas pontuais 01 e 04 que correspondem a 252,83 kg (0,7 % da carga total) ou em termos de unidade de área, a 27,51 $\text{kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Moss (1998), estimou que as contribuições atmosféricas de nitrogênio alcança taxas de aproximadamente 14 $\text{kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

Segundo Wetzel (1993) multiplicando-se a contribuição da precipitação úmida por um fator 3 ou 4 pode-se encontrar os valores aproximados da contribuição da precipitação seca e úmida. Assim, obtivemos para o Lago das Garças uma taxa de estimada entre 82,53 a 100,04 $\text{kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para a precipitação total de nitrogênio. Os valores elevados encontrados eram previsíveis visto que o lago está inserido em um grande centro urbano, no qual a grande população tende aumentar a poluição do ar através do lançamento dos resíduos (ex: compostos nitrogenados).

Um efeito negativo da precipitação, em função da localização do lago em zona urbana, é a chuva “ácida” que consiste na lavagem da atmosfera e arraste de

óxidos de enxofre e de nitrogênio, alterando a acidez da água pela formação de ácidos (sulfuroso, sulfúrico, nitroso e nítrico) com conseqüências indesejáveis (alteração do pH) para a biota aquática.

É considerada chuva ácida quando o pH da água da chuva tem valor menor que 5,6. Nos dados de precipitação medidos para o Lago das Garças, os valores de pH variaram de 4,41 a 5,38. Apesar de ser caracterizada como ácida, a chuva não provocou alterações no pH da água do reservatório. Segundo Assunção (1995), o impacto da chuva ácida em relação aos sistemas aquáticos tem sido verificado, principalmente em regiões temperadas, quando o pH da água de lagos recentes torna-se menor que 4,0.

Com relação às cargas no Lago das Garças, aproximadamente 99% do fósforo e 34 % do nitrogênio são provenientes dos tributários. Os resultados dos balanços nitrogênio para o período de janeiro/97 a junho/98 sugerem que a fixação do nitrogênio molecular foi expressiva.

Esteves (1998) considera que, quando a fonte de nutrientes é constituída pelos esgotos domésticos e industriais não tratados, o processo de deterioração da água é muito mais rápido quando comparado com aquele causado por nutrientes provenientes de efluentes tratados. Dos sete tributários do Lago das Garças, quatro correspondem à carga de esgoto não tratado, sendo que as entradas 03, 04 e 05 recebem dejetos dos animais confinados no Zoológico de São Paulo e a entrada 07 recebe dejetos humanos provenientes da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo. Os excrementos humanos podem causar, em ecossistemas aquáticos, além de problemas sanitários diretos, um incremento nos processos de

eutrofização em função das elevadas concentrações de fósforo e nitrogênio em sua composição.

A entrada 01 contribuiu com 1 % e da carga total de fósforo e 2 % da carga total nitrogênio para o Lago das Garças, no período entre janeiro/97 a junho/98. Os valores de carga de nitrogênio total superiores à média do período observados nos meses de março/97, setembro/97, outubro/97, março/98, abril/98 e junho/98 indicam que essa carga é decorrente de impactos antrópicos. Não estão associadas a efeitos de concentração e diluição através da precipitação, visto que em março/97 e março/98 a precipitação foi de 67,1 mm e 241,0 mm, respectivamente. Para o fósforo, nos meses de fevereiro, março e junho/98, as cargas foram mais expressivas. Em junho/98, com 20,8 mm em 03 dias de precipitação, o segundo menor índice pluviométrico do período foi encontrado.

A entrada 02 contribuiu com 13 % da carga total de nitrogênio e com 6 % para o fósforo. Nos meses de fevereiro/97, março/97, fevereiro/98, março/98 e abril/98, a carga de N foi mais elevada enquanto que em janeiro/97, fevereiro/97, março/97, novembro/97, dezembro de 1997, janeiro/98, fevereiro/98 e março/98 a carga de fósforo foi mais alta em relação ao restante do período estudado.

A entrada em questão corresponde à conexão de outros pequenos lagos situados na área pertencente ao Instituto Astronômico e Geofísico da USP com o Lago das Garças. Portanto, a carga que aporta no reservatório depende da dinâmica de transporte desses pequenos corpos d'água.

Para essa entrada, as cargas de P foram maiores na estação chuvosa (outubro a março), que se caracteriza também por elevadas temperaturas, umidade relativa do ar e radiação solar. Além disso, o aumento da introdução de P no entorno desses

pequenos lagos, pelo escoamento superficial, influencia diretamente a produtividade desses corpos d'água e consequentemente a carga do efluente despejada no Lago das Garças.

Com relação ao nitrogênio, os maiores valores estão distribuídos por toda a estação chuvosa. Para esse nutriente, outros fatores afetam as suas concentrações como por exemplo, a biota relacionada à capacidade de fixação do nitrogênio.

A entrada 03 contribui com maior carga de nitrogênio total (46 %) e fósforo total (42 %), recebendo dejetos de animais que estão confinados na Fundação Parque Zoológico de São Paulo. Por se tratar de esgoto sem tratamento, esperava-se encontrar quantidades de fósforo mais expressivas em relação ao nitrogênio. Castagnino (1982) apud Salas & Martino (1990), apresenta alguns valores de nitrogênio e fósforo na excreção de alguns animais. Verifica-se que os valores de fósforo total são mais elevados quando comparados ao nitrogênio total, com exceção para as aves que apresentam dejetos ricos em nitrogênio (tabela). Os valores discrepantes na carga de nitrogênio e fósforo proveniente da entrada 03 são resultados dos restos de alimentos (rações, forragens) que se misturam às fezes e acabam enriquecendo o efluente com compostos nitrogenados. Além disso, o elevado número de aves (inclusive migratórias) presentes no zoológico seguramente age como responsável pela grande quantidade de N introduzida no Lago das Garças. A variabilidade da concentração dos nutrientes para a entrada 03 é dependente do manejo dos animais e do movimento das aves em rota migratória que utilizam a área do zoológico como refúgio.

	Fósforo total	Nitrogênio total
Homens	1.000 g.hab ⁻¹ .ano ⁻¹	---- x ----
Bovinos	7.000 g.animal ⁻¹ .ano ⁻¹	54,75 g.animal ⁻¹ .ano ⁻¹
Suínos , carneiros	3.000 g.animal ⁻¹ .ano ⁻¹	14,60 g.animal ⁻¹ .ano ⁻¹
Eqüinos	4.500 g.animal ⁻¹ .ano ⁻¹	18,25 g.animal ⁻¹ .ano ⁻¹
Aves	300 g.animal ⁻¹ .ano ⁻¹	474,50 g.animal ⁻¹ .ano ⁻¹
Entrada 03 Lago das Garças	613,37 kg.ano ⁻¹	1.420,31 kg.ano ⁻¹

Modificado de Castagnino (1982) apud Salas & Martino (1990).

A entrada 04 também é constituída por esgoto sem tratamento, mas é pouca expressiva em termos de carga. Contribui com menos de 1 % do aporte total de fósforo para o lago e para o nitrogênio, o valor é praticamente desprezível. Cargas de fósforo superiores ao valor médio (no período de estudo) foram observadas nos meses de março/97, maio/97, janeiro/98, fevereiro/98, maio/98 e junho/98. Entre esses, em março/97, maio/97 e junho/98 houve baixa precipitação e portanto esse efluente é diretamente influenciado por impactos de origem antrópica.

A entrada 05 que contribuiu com 16 % da carga de nitrogênio total e 12 % para o fósforo total, recebe descarga de esgoto sem tratamento proveniente da Fundação Parque Zoológico de São Paulo. Para essa entrada, também ocorreu a associação entre a maior carga de fósforo (262, kg) e o baixo índice pluviométrico (38,7 mm) observados em agosto/97.

As entradas 03, 04 e 05 são peculiares, pois recebem uma carga de dejetos de animais e restos de alimentação (ração, forragens) sem um tratamento prévio. Essas fontes adicionais de nutrientes na água não são afetadas pela ação dos fatores climáticos. Desta forma, o regime hídrico não interfere nos processos de

concentração ou diluição na quantidade de nutrientes; a carga dos elementos está na dependência do manejo dos animais e das instalações do Jardim Zoológico.

Não foram identificados impactos antrópicos resultantes no enriquecimento de nutrientes na entrada 06, a nascente do córrego localiza-se em área pertencente ao Instituto de Botânica da Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo e flui entre a vegetação e áreas alagadas até encontrar o reservatório. Contribui, para o Lago das Garças, com 10 e 1 % do aporte total de N e P, respectivamente.

Para entrada 06, nos 03 primeiros meses de estudo, foram observados valores discrepantes na carga de N. A carga média mensal para o período de estudo foi de 78,64 kg/mês. Desconsiderando os três primeiros valores, a carga média reduz para 32,07 kg/mês. Este fato sugere a ocorrência de eventos esporádicos não identificados, não refletindo no comportamento “normal” do efluente, mas significativo quantitativamente para o período estudado.

Valente et al. (1997) encontraram valores médios de 0,05 mg.L⁻¹ de fósforo total e 0,65 mg.L⁻¹ para nitrogênio total na nascente do Ribeirão Lavapés e 0,07 mg.L⁻¹ de fósforo total e 0,46 mg.L⁻¹ para nitrogênio na nascente do Rio Capivara, os dois corpos d'água tem suas nascentes no “alto da cuesta”, região de Botucatu. Considerando-se as nascentes como locais não impactados, e comparando-se com os valores obtidos na entrada 06 no Lago das Garças (0,25 mg.L⁻¹ para nitrogênio e 0,02 mg.L⁻¹ para fósforo), observa-se que são menores e conseqüentemente podem indicar tratar-se de fontes não impactadas, cujos teores variam em função da cobertura vegetal (floresta) e do tipo de solo do entorno.

A entrada 07 é um canal de esgoto sem tratamento, e pela sua localização no lago pressupõe-se que receba descargas provenientes da Secretaria de Agricultura e

Abastecimento do Estado de São Paulo. Desta forma, contribui com 6% e 36% do aporte total de N e P total, respectivamente, para o Lago das Garças.

Além do grave problema sanitário por se tratar de excrementos humanos, esse tipo de efluente é, geralmente, rico em material orgânico que ao ser despejado no corpo d'água entra rapidamente em decomposição, provocando a redução na concentração de oxigênio.

Segundo Esteves (1998), uma consequência da entrada de esgotos ricos em matéria orgânica pode ser a redução da profundidade média do corpo d'água em função do acúmulo do material não decomposto no sedimento e pelo aumento da taxa de sedimentação de detritos.

As cargas constantes e elevadas de nutrientes introduzidas, a alta condutividade elétrica em todo o período de estudo, os perfis clinogrados de oxigênio dissolvido, as altas concentrações de clorofila, fósforo total, nitrogênio total levam a enquadrar o Lago das Garças como um ambiente eutrofizado. Através dos trabalhos de Moura (1996), Nogueira & Ramirez (1998), usando Índices de Carlson, Índices Carlson modificado e dos critério da OECD, o Lago das Garças foi classificado como eutrófico.

Um programa de redução da carga de fósforo foi uma das primeiras etapas para a recuperação do Lago Erie – Estados Unidos (Makarewicz & Bertram, 1991). Em contrapartida no programa de recuperação do Lago Grober Muggelsee – Alemanha, a carga interna de fósforo limitou o efeito da redução da carga externa (Kleeberg & Kozerski, 1997).

Uma simulação, baseada nas equações propostas por Salas (1983) e Salas & Martino, permitiu estimar a concentração de fósforo no Lago das Garças, em função da implantação de programas de redução da carga desse elemento.

Considerando-se a situação atual (carga média anual de fósforo), concentrações da ordem de $90,59 \mu\text{g.L}^{-1}$ (equação 01) e $142,98 \mu\text{g.L}^{-1}$ (equação 02), foram prognosticadas para o Lago das Garças, e em função dos teores foi inserido na categoria de eutrófico.

Para mudar o “status” trófico de eutrófico para mesotrófico, estima-se que sejam necessárias reduções de 70 % (equação 01) a 80 % (equação 02) da carga de fósforo. Uma melhoria significativa do sistema (oligotrofização) poderia ocorrer com reduções superiores a 90 % (para ambas as equações) da carga de fósforo que o sistema recebe.

Segundo Salas & Martino (1990), a longo prazo o controle de nutrientes em lagos e reservatórios requer o uso de boas práticas de manejo e uso dos solos da bacia e a redução da carga com tratamento terciário (químico) dos afluentes industriais e domésticos.

Em relação aos compartimentos no Lago das Garças, a situação atual é que o compartimento I apresenta concentração de fósforo da ordem de $72,70 \mu\text{g.L}^{-1}$ (equação 01) e $114,21 \mu\text{g.L}^{-1}$ (equação 02); no compartimento 02 as concentrações variam de $86,07 \mu\text{g.L}^{-1}$ (equação 01) a $135,70 \mu\text{g.L}^{-1}$ (equação 02). Ambos são classificados como eutróficos segundo a equação 01 e 02. O compartimento I apresenta menores concentrações, fato confirmado nos dados de campo. É esperado que o compartimento 01 apresente melhores condições em relação ao 02, visto que o

compartimento 02 recebe seis dos sete afluentes (entradas pontuais) que introduzem nutrientes para o Lago das Garças.

A simulação permitiu fazer um prognóstico do comportamento trófico do reservatório para cada um dos meses de estudo.

Baseando-se na equação 01, a simulação indica que em todos os meses estudados o Lago das Garças estaria classificado como eutrófico. O mês de junho/98 foi o período com a tendência de ocorrer as menores concentrações, com valores estimados de $43,76 \mu\text{g.L}^{-1}$ (equação 01) e $68,00 \mu\text{g.L}^{-1}$ (equação 02).

De acordo com Esteves (1998), somente a eliminação de todas as fontes externas de nutrientes não é o suficiente para que ecossistemas lacustres, em adiantado estágio de eutrofização, retornem através de mecanismos próprios, à estabilidade ecológica original. A característica de um lago eutrofizado é o excesso de energia acumulada no sistema. Para o Lago das Garças, o excesso de energia é proveniente da carga de nutrientes e compostos orgânicos que são lançados no reservatório. Sendo assim, a primeira e indispensável medida para controle e recuperação do ambiente é a redução ou eliminação das fontes dessas cargas na bacia de drenagem e, posteriormente a aplicação de outros métodos visando garantir a eficácia do programa de recuperação.

Segundo Sellers & Markland (1987), existem vários métodos para controle, redução ou reversão do processo de eutrofização em lagos e reservatórios:

1. Redução ou controle do aporte de cargas de nutrientes.
2. Remoção de nutrientes (em especial o fósforo) da água.
3. Redução do tempo de residência.
4. Processos de mistura e aeração da coluna de água.

Com base nos trabalhos de Esteves (1998), Pereira & Cavalcanti (1996) e Harry (1992) acrescenta-se:

1. retirada do sedimento, de macrófitas e biomassa planctônica
2. oxidação química do sedimento.
3. biomanipulação.

Os resultados obtidos neste trabalho para o Lago das Garças mostraram que o ambiente está degradado, apresentando um estágio avançado de eutrofização, incluindo-se ainda problemas sanitários em virtude da descarga de esgoto sem tratamento.

O controle do aporte de nutrientes deverá ser uma das primeiras estratégias implantadas para controle do processo de eutrofização no Lago das Garças. Em conjunto com a redução das cargas, a redução do tempo de residência auxilia na remoção dos nutrientes do corpo d'água.

A utilização de macrófitas aquáticas para assimilação dos nutrientes disponíveis na água e posterior remoção da biomassa vegetal produzida é um processo eficiente na reabilitação de sistemas aquáticos (Sellers & Markland, 1987). As dimensões do reservatório em estudo e a acessibilidade das suas margens permitem a implantação de um programa de recuperação do ambiente através do manejo de plantas aquáticas.

Os resultados obtidos indicam que o Lago das Garças foi eficiente na retenção de nutrientes (nitrogênio total e fósforo total); sendo o sedimento um dos compartimentos com elevada concentração e capacidade de estocagem desses nutrientes. Em contrapartida, pode atuar como fonte de nutrientes principalmente em

condições de anoxia, como já foi discutido anteriormente. A utilização de bombas de aeração ou que produzam movimento da coluna d'água pode eliminar a formação das estratificações aumentando a concentração de oxigênio no hipolímnio e por consequência reduzindo a ressuspensão de nutrientes do sedimento para a água.

O lago se localiza dentro de uma reserva biológica, sendo abastecido por nascentes presentes na área. A jusante, despeja suas águas no Riacho do Ipiranga desembocando no rio Tamanduateí. A legislação ambiental protege e estabelece critérios de uso e ocupação da área em que o lago está inserido. Mas, a recuperação desse ambiente seria viabilizada, se os órgãos públicos que integram e utilizam a área, e são os principais responsáveis pela deterioração do corpo d'água, se mobilizassem para reduzir e ou eliminar as cargas de material orgânico que são lançados nos efluentes do Lago das Garças. A sociedade civil também poderia ser conscientizada da necessidade da preservação de uma das maiores áreas verdes metropolitanas e importante área de lazer para a maior cidade do nosso país.

As fotos 01 e 02 (anexo pag.137) mostram uma visão parcial do reservatório e dos camalotes de *Eichhornia crassipes*. É nítida a beleza do local, sendo que a recuperação do ambiente com relação a trofia e aspectos sanitários, permitiria o aproveitamento da área com a finalidade de lazer. Sendo um bom local para implantação de programas de educação ambiental, visto o iminente problema na disponibilidade de água potável em função da deterioração dos mananciais (principalmente na região metropolitana de São Paulo), buscando a premissa: “É preciso primeiro conhecer, para poder preservar”.

CONCLUSÕES

O estudo da variação sazonal das cargas de nitrogênio e fósforo que são introduzidas pelos afluentes do Lago das Garças e sua relação com algumas variáveis físicas e químicas do ambiente, nos permitiu concluir que:

1. As sete entradas pontuais, identificadas no entorno do reservatório, não apresentam um gradiente de concentração em função de variações sazonais; embora apresentem flutuação anual. Esse fato indica que os aportes de nutrientes para o lago refletem atividades antrópicas que ocorrem em sua bacia hidrográfica.
2. O Lago das Garças, ambiente em avançado estágio de eutrofização, foi eficiente na retenção de nutrientes, estimada em 61 % do aporte total para o fósforo total e 85 % para o nitrogênio total.
3. Com base nas estimativas realizadas as entradas pontuais são responsáveis por 99 % da carga de fósforo que é introduzida no reservatório; 1 % restante provem da precipitação e de fontes difusas.

4. Para o nitrogênio, 34 % do aporte total são provenientes dos tributários; o restante é introduzido no reservatório pelas fontes difusas. Os balanços efetuados indicam que a fixação do nitrogênio molecular é intensa, podendo ser superior à carga das entradas pontuais.
5. A entrada 03 é o maior contribuinte de nutrientes; responde por 46 % da carga de nitrogênio total e 42 % da carga de fósforo total. Essa entrada foi identificada como aquela que recebe despejos orgânicos (excrementos de animais) sem tratamento da Fundação Parque Zoológico de São Paulo.
6. A entrada 07 é a única entrada que apresenta maior contribuição de fósforo em relação a do nitrogênio; contribui com 36 % da carga de fósforo total contra 6 % da carga de nitrogênio total (fonte de esgotos domésticos sem tratamento). Não foi identificada a origem dos despejos, mas há indícios que a Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo seja a responsável pelos despejos de esgoto deste afluente.
7. A simulação baseada nas equações propostas por Salas (1983), indica que para melhorar as condições tróficas do sistema (oligotrofização), seria necessária uma redução nas cargas de fósforo total superior a 90 %.
8. Com o controle da carga de nutrientes dos principais afluentes, entradas 03 e 07, haveria uma redução de aproximadamente 80 % na carga total de fósforo, podendo alterar a classificação do sistema para oligotrófico/mesotrófico.

9. Os valores de pH do Lago das Garças durante o período de estudo, não são característicos do efeito de acidificação comum em lagos urbanos devido a incidência da “chuva ácida” provocada pelo acúmulo de contaminantes na atmosfera.
10. Os valores de concentração de nitrogênio total e fósforo total, em 1997 e 1998, na água do lago apresentaram uma redução quando comparado com anos anteriores (Ramirez, 1996; Moura, 1996 e Nogueira, 1997). Observações de campo indicam que a expansão dos camalotes dominados por *Eichhornia crassipes* foram os principais responsáveis por essa alteração, visto que no presente trabalho não constatou-se uma tendência de redução das cargas de nutrientes.
11. A temperatura do ar (aquecimento térmico) e a profundidade do sistema foram, no período estudado, os principais fatores que influenciaram os processos de estratificação e desestratificação da coluna d’água no Lago das Garças.

RECOMENDAÇÕES

1. É necessária a implementação de trabalhos visando uma avaliação da dinâmica dos nutrientes, especialmente o fósforo, no sedimento. O estoque de nutrientes no sedimento e suas taxas de liberação podem comprometer a recuperação do lago após a eliminação das fontes pontuais. As cinco estações amostrais utilizadas neste trabalho demonstraram ser representativas do ambiente. Portanto, sugere-se que esses pontos sejam mantidos em futuros trabalhos.
2. É necessária a implementação de trabalhos visando a avaliação da influência das macrófitas aquáticas no balanço de nutrientes no Lago das Garças.
3. É primordial a eliminação dos despejos orgânicos nos afluentes identificados como entrada 03, 04, 05 e 07 para início de qualquer medida de recuperação desse corpo d'água.
4. Sugere-se que seja implementado um programa de manejo das macrófitas aquáticas com a finalidade de retenção e remoção de nutrientes e contaminantes do sistema.
5. Para minimizar os efeitos da carga de fósforo potencialmente estocada no sedimento, poderiam ser instaladas bombas de aeração ou sucção para que mantenham a coluna d'água com oxigênio e ou em movimento; impedindo a anoxia do hipolímnio e conseqüente ressuspensão do fósforo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMBROSE, R. B.; Jr., T. A. WOOL; MARTIN, J. L. (1993). The Water Quality Analysis Simulation Program, WASP5; Part A: Model Documentation. U. S. Environmental Protection Agency, Environmental Research Laboratory, Athens, Georgia, 202 p..

APHA (1985). Standard Methods for Examinations of Water and Wastewater. 13^a ed. New York, 874 p.

BARBOSA, F.; GARCIA, F.C.; MARQUES, M.M.G.S.M.; NASCIMENTO, F.A. (1998). Nitrogen and phosphorus balance in a eutrophic reservoir in Minas Gerais: a first approach. *Revista Brasileira de Biologia*, 58 (2): 233-239.

BARICA, J. (1990). Seasonal variability of N:P ratios in eutrophic lakes. *Hydrobiologia*. 191: 97-103.

BEYRUTH, Z. (1992). Macrófitas aquáticas de um lago marginal ao rio Embú-Mirim, São Paulo, Brasil. *Revista Saúde Pública*, 26 (4):272-282.

BICUDO, D.C.; TUCCI, A. S.; RAMIREZ, J. J. R.; CARMO, C.F.; NOGUEIRA, N. C. & BICUDO, C.E.M. (1999). Escala de amostragem e variabilidade de fatores limnológicos em um reservatório eutrofizado (Lago das Garças, São Paulo). In: Raoul Henry (ed). *Ecologia de Reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais*, Ed. FAPESP / FUNDIBIO, Botucatu. pag.409-48.

- BITAR, A.L. (1998). Fluxo de nitrogênio e seu uso por duas macrófitas aquáticas (*Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes*), no Reservatório de Salto Grande (Americana – SP). São Carlos, 114p.. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo.
- BRUTON, M.N. 1985. The effects of suspensoids on fish. *Hydrobiologia*, 125: 221-242.
- CALIJURI, M.C. (1999). A comunidade fitoplanctônica em um reservatório tropical (Barra Bonita – SP). Tese de Livre Docência, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 211p..
- CALIJURI, M.C.; TUNDISI, J.G. (1990). Limnologia comparada das represas do Lobo (Broa) e Barra Bonita – Estado de São Paulo: mecanismos de funcionamento e bases para gerenciamento. *Revista Brasileira de Biologia*, 50 (4): 893-913.
- CASTRO, A. A. J.; BICUDO, C.E.M. & BICUDO, D. C. (1991). Criptógamas do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, SP. *Algas*, 2: Cryptophyceae. *Hoehnea*, 18(1): 87-106.
- CHAPRA, S. C. (1979). Applying phosphorus loading models to embayments. *Limnol. Oceanog.* 24 (1): 163-168.
- DeSIMONE, L. A.; HOWES, B. L. (1998). Nitrogen transport and transformations in a shallow aquifer receiving wastewater discharge: A mass balance approach. *Water Resources Research*, 34 (2): 271-285.
- ESTEVES, F.A.(1998). Fundamentos de Limnologia. Rio de Janeiro. Interciência, 602 p.

- ESTEVES, F. A. (1988). Considerações sobre a aplicação da tipologia de lagos temperados a lagos tropicais. *Acta Limnol. Brasil*. v. II, p. 3-28.
- GOLDMAN, C. R. & HORNE, A. (1993). *Limnology*. MacGraw-Hill Book Company, 464 p..
- GOLTERMAN, H.L. (1995). Preface to the symposium "Nutrient cycles, a joy forever". *Hydrobiologia*, 35(1):7-8.
- GOLTEMAN, H. L.; CLYMO, R. S.; OHSTAD, M. A. M. (1978). *Methods for physical and chemical analysis of freshwater*. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 213 p..
- GOLTERMAN, H. L.; CLYMO, R. S. (1969). *Methods for chemical analysis of freshwaters*. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 171 p..
- HAVENS, K. E.; AUMEM, N. G.; JAMES, R.T.; SMITH, V. H. (1996). Rapid ecological changes in a large subtropical lake undergoing cultural eutrophication. *Ambio* 25: 150-155.
- HENRY, R. (1999). Heat budgets, thermal structure and dissolved oxygen in Brazilian reservoirs. In: Tundisi, J.G. & Straskraba (eds). *Theoretical Reservoir Ecology and its Applications*. Ed. International Institute of Ecology/Brazilian Academy of Sciences and Backhuys Publishers. pag. 125 – 151.
- HENRY, R.; MARICATO, F.E. (1996). Sedimentation rates of tripton in Jurumirim Reservoir (São Paulo, Brazil). *Limnologica* 26:15-25.

HENRY, R.; CARVALHO, E.D.; NOGUEIRA, M.G.; POMPEO, M.L.M.; MOSCHINI-CARLOS, V.; SANTOS, C.M.; LUCIANO, S.C.; FUJIHARA, C.Y. (1995). The Jurumirim Reservoir. In HENRY, R. & P.A.C. SENNA (Eds.). Mid = Congress Excursions, XXVI SIL CONGRESS (July 23-29, 1995). P. 4-13-4-33.

HENRY, R.; GOUVEIA, L. (1993). Os fluxos de nutrientes e seston em cursos de água do alto Paranapanema (São Paulo) – sua relação com usos do solo e morfometria das bacias de drenagem. An. Acad. Bras. Ciência, 65 (4): 439-451.

HENRY, R. & CURI, P.R. (1981). Influência de parâmetros climatológicos sobre alguns fatores físicos e químicos da água na Represa de Rio Pardo (Botucatu – SP). Rev. Brasil. Biol., 41(2):299-306.

INMET (1999). O que é “El Niño” . <http://www.inmet.gov.br>, (agosto/1999).

JAMES, R. T. (1998). Lake Okeechobee Water Quality Model (LOWQM) – description, calibration, validation, and assumptions. U.S. Environmental Prot. Agency. www.slwmd.gov/org/erd/projects/lowqmweb/assumption.html, (02/03/1.999).

JIN, K.; JAMES, R. T.; LUNG, W.; LOUCKS, D. P.; PARK, R. A.; TISDALE, T. S. (1998). Assessing Lake Okeechobee eutrophication with water-quality models. Journal Wat. Res. Plan. Manag. 22-30.

JØRGENSEN, S. E. (1986). Fundamentals of Ecological Modelling. Elsevier Science Publishing Company Inc., New York – USA, 389 p..

KAO, J. J.; LIN, W. L.; TSAI, C. H. (1998). Dynamic spatial modelling approach for estimation of internal phosphorus load. Wat. Res., 32: 47-56.

- KLEEGER, A.; KOZERSKI, H. P. (1997). Phosphorus release in Lake Grober Muggelsee and its implications for lake restoration. *Hydrobiologia*, 342/343: 9-26.
- LEITE, C. R. (1974). Contribuição ao conhecimento das Chlorococcales (Chlorophyceae) planctônicas do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, Brasil. São Paulo, 108p.. Dissertação (Mestrado) Universidade de São Paulo.
- LEITE, M.A. (1998). Variação espacial e temporal da taxa de sedimentação no reservatório de Salto Grande (Americana – SP) e sua influência sobre as características limnológicas do sistema. São Carlos, 167 p.. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.
- MACKERETH, F. J. H.; HERON, J.; TALLING, J. F. (1978). Water analysis: some revised methods for limnologists. Freshwater Biological Association. Scientific Publication, nº 36. Titus Wilson & Son Ltd., Kendall, 117p..
- MAKAREWICZ, J. C.; BERTRAM, P. (1991). Evidence for the restoration of Lake Erie Ecosystem. *BioScience*, 41: 216-223.
- MARQUES, J. S. & ARGENTO, M. S. F. (1988). O uso de flutuadores para avaliação da vazão de canais fluviais. *Geociências*, 7: 173-186.
- MARGALEF, R..(1983). *Limnologia*. Editora Omega , S.A. Barcelona, 1010p.
- MARKER, F.H.; NUSH, E.A.; RAI, H. & RIEMANN, B. (1980). The measurement of photosynthetic pigments in freshwaters and standartization of methods: conclusions and recommendations. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.* 14:91 – 106.

MOSS, B. (1998). Ecology of fresh waters. Blackwell Science, 3^a edition – Londres – Inglaterra, 557p.

MOURA, A. T. N. (1996). Estrutura e dinâmica da comunidade fitoplanctônica numa lagoa eutrófica, São Paulo, SP, Brasil, a curtos intervalos de tempo: comparação entre épocas de chuva e seca. Rio Claro, 172 p.. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual Paulista.

NIMER, E. (1979). Climatologia do Brasil. Superintendência de Recursos Naturais e Meio Ambiente, SUPREN, IBGE, Rio de Janeiro, 421p.

NOGUEIRA, N. M. C. (1997). Dinâmica populacional de *Microcystis aeruginosa* Kutzing (Cyanophyceae / Cyanobacteria) ao longo de um ano no Lago da Garças, São Paulo, SP, Brasil. Rio Claro, 109 p.. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual Paulista.

NOGUEIRA, N.M.C. & RAMIREZ R., J.J. (1998). Variação mensal da condição trófica do Lago das Garças (São Paulo, SP, Brasil). Acta Limnológica Brasiliense, 10(2): 21-34.

PEREIRA, C.E.B.; CAVALCANTI, C.G.B. Lago Paranoá a caminho da recuperação. /Apresentado ao XXIII Encontro dos Serviços Municipais de Águas e Esgotos, Brasília, 1996/.

ODUM, E. P. (1983). Ecologia. Editora Guanabara. Rio de Janeiro – Brasil, 434p..

OSTROFSKY, M.L.; MCGEE, G.G. (1991). Spatial variation in the distribution of phosphorus species in the surficial sediments of Canadohta Lake, Pennsylvania: Implications for internal phosphorus loading estimates. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 48: 233-237.

- PIÃO, A. C. S. (1995). Transporte de nitrogênio, fósforo e sedimentos pelo Ribeirão dos Carrapatos (município de Itai, SP), sua relação com usos do solo e outros impactos antropogênicos e sua deposição no braço do Taquari (Represa de Jurumirim). São Carlos, 192 p.. Tese (Doutorado) Universidade de São Paulo.
- RAMIREZ, J. J. R. (1996). Variação espacial vertical e nictemeral da estrutura da comunidade fitoplanctônica e variáveis ambientais em quatro dias de amostragem de diferentes épocas do ano no Lago das Garças, São Paulo. São Paulo, 283 p.. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo.
- REES, A.W.G.; HINTON, G.C.F.; JOHNSON, F.G.; O'SULLIVAN, P.E. (1991). The sediment column as a record of trophic status: examples from Bosherton Lakes, SW Wales. *Hydrobiologia*, 214: 171-180.
- RIOS, L..(1991). Distribuição espaço temporal e balanço de massa de fósforo na represa de Salto Grande – Americana (S.P.). São Carlos, 159 p.. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo.
- SALAS, H. J. (1983). Desarrollo de metodologias simplificadas para la evaluacion de eutrofication en lagos calidos. In: Segundo Encuentro del Proyecto Regional. Brasília, Brasil, 23 a 27 de maio de 1983. Resumo. Brasilia, CEPIS. 42 p..
- SALAS, H.J. & MARTINO, P. (1990). Metodologias simplificadas para la evaluacion de eutrofication en lagos calidos tropicales. Relatório técnico Programa Regional CEPIS / HPE / OPS. 65 p..
- SANT'ANNA, C. L.; AZEVEDO, M. T. P. & SORMUS, L. (1993). Estudos qualitativo e quantitativo do fitoplâncton do Lago das Garças, Instituto de Botânica, São Paulo, SP. *Hoehnea*, 12: 45-78.

- SANT'ANNA, C. L.; AZEVEDO, M. T. P. & SORMUS, L. (1989). Fitoplâncton do Lago das Garças, Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, SP, Brasil: estudo taxonômico e aspectos ecológicos. *Hoehnea*, 16: 89-131.
- SANT'ANNA, C. L.; PEREIRA, H. A. S. L.; & BICUDO, R. M. T. (1978). Contribuição ao conhecimento das Cyanophyceae do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, Brasil. *Rev. Brasil. Biol.*, 38(2): 321-337.
- SANTOS, S. C. D. (1996). Alguns aspectos do ciclo do fósforo e eutrofização na represa de Barra Bonita, SP. São Carlos, 100 p.. Dissertação (Mestre). Universidade de São Paulo.
- SANTOS, P.M. & FUNARI, F.L. (1976). Evapotranspiração potencial e balanço hídrico no Parque do Estado, São Paulo, S.P.. *Ciência e Cultura*, 28 (11): 1.325 – 1.330.
- SELLERS, B.H. & MARKLAND, H.R. (1987). *Decaying Lakes: The origins and control of cultural eutrophication.* John Wiley & Sons, New York, 254 p..
- STRICKLAND, J. D.; PARSONS, T. R. (1960). *A manual of sea water analysis.* Bull. Fish. Res. Bd. Can., 125: 1-185.
- STRUFFALDI-DE-VUONO, Y. (1985). Fitossociologia do estrato arbóreo da floresta da Reserva Biológica do Instituto de Botânica (São Paulo, SP). São Paulo, 213 p.. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo.
- TAKAMURA, N.; OTSUKI, A.; AIZAKI, M. and YUKIHIRO, N. (1992). Phytoplankton species shift accompanied by a transition from nitrogen dependence to phosphorus dependence of primary production in Lake Kasumigaura, Japan. *Arch. Hydrobiol*, 124: 129-148.

- TOLEDO Jr.,A.P.; TALARICO, M.; CHINEZ, J.S.; AGUDO, E.G. (1983). A aplicação de modelos simplificados para a avaliação de processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In 12^o Congresso brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Camboriú, 1983. Resumo, Camboriú. 34 p..
- TRAUTH, R.; XANTHOPOULOS, C. (1997). Non-point pollution of groundwater in urban areas. *Wat. Res.*, 31: 2711-2718.
- TUBELIS, A. & NASCIMENTO (1987). *Meteorologia Descritiva. Fundamentos e Aplicações Brasileiras*. Nobel, São Paulo. 374 p.
- TUNDISI, J. G. (1990a). Perspectives for ecological modelling of tropical and subtropical reservoirs in South America. *Ecological Modelling*, 52: 7-20.
- TUNDISI, J. G. (1990b). Distribuição espacial, seqüência temporal e ciclo sazonal do fitoplâncton em represas: fatores limitantes e controladores. *Revista Brasileira de Biologia*, 50(4):937-955.
- TUNDISI, J. G. (1985). Represas artificiais: perspectivas para o controle e manejo da qualidade da água para usos múltiplos. *Anais do VI Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos*. Vol. 4, São Paulo: 38-59.
- VALDERRAMA, J. C. (1981). The simultaneous analysis of nitrogen and total phosphorus in natural waters. *Marine Chemistry, Amsterdam*, v.10: 109-122.
- VALENTE, J.P.S.; PADILHA, P.M.; SILVA, A.M.M. (1997). Contribuição da cidade de Botucatu – SP com nutrientes (fósforo e nitrogênio) na eutrofização da Represa de Barra Bonita. *Eclética Química*, 22: 31-48.

- VAN HUET, H. J. W. J. (1992). Phosphorus eutrophication in the SW Frisian Lake District - phosphorus balance and simulation of reduction scenarios. *Hydrobiologia*, 233: 271-281.
- VOLLENWEIDER, R. A. (1979). Eutrophication of waters: nutrient load, loading tolerance and methodologies for rehabilitating eutrophied lakes and impoundments. Acta of Congress on Artificial Lake basins (Sassari, October, 1977): 2-42.
- VOLLENWEIDER, R. A. (1976). Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.* 33: 53-83.
- VOLLENWEIDER, R. A. (1975). Input-output models, with special reference to the phosphorus loading concept in limnology. *Schweiz. Z. Hydrol.*, 37: 53-84.
- VOLLENWEIDER, R. A. and DILLON, P. J. (1974). The application of the phosphorus loading concept to eutrophication research. Report. National Research Council of Canada. Burlington, Ontario, Canada.
- WETZEL, R. G. (1993). *Limnologia*. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa, 919 p.

FIGURA – 01A: Relação entre as variações da concentração média de MST (mg/L) nos primeiros dois metros da coluna d'água e os valores de desaparecimento do disco de Secchi (m).

FIGURA – 02A: Relação entre as variações da concentração média de Fósforo particulado – PP - ($\mu\text{g/L P-PO}_4^3$) e a concentração de clorofila a ($\mu\text{g/L}$).

TABELA – 01A – Valores mensais de entrada, saída, sedimentação e concentração na água de fósforo, em kg ($P - PO_4^{-3}$).

Mês	Ent. 01	Ent. 02	Ent. 03	Ent. 04	Ent. 05	Ent. 06	Ent. 07	Precipitação	Não pontual	Entrada total	Saída	[P] na água	Sedimentação
Jan/97	2,08	24,75	239,89	7,50	46,23	3,48	119,85	1,58	1,37	446,73	146,37	21,32	2,14
Fev/97	1,35	29,23	192,05	8,69	52,08	5,00	106,71	0,69	1,26	397,05	119,97	14,36	2,10
Mar/97	1,76	23,52	114,47	10,44	54,99	4,54	77,60	0,55	1,03	288,89	112,69	16,47	2,62
Abr/97	1,61	13,47	53,20	9,09	37,03	2,29	141,51	0,19	0,78	259,17	83,26	15,78	2,07
Mai/97	1,50	12,63	74,43	11,67	31,95	1,68	260,54	0,05	1,18	395,64	89,16	15,16	2,14
Jun/97	1,69	10,98	61,43	7,85	20,97	3,50	160,04	0,06	0,80	267,33	81,74	15,33	2,69
Jul/97	1,27	9,92	45,65	1,36	84,61	5,84	42,87	0,02	0,57	192,10	85,45	17,41	2,12
Ago/97	1,12	10,28	25,51	4,59	90,96	5,03	204,93	0,19	1,03	343,64	103,07	23,21	2,07
Set/97	1,65	11,41	263,32	6,12	37,70	3,28	269,01	0,43	1,78	594,68	167,42	33,23	2,66
Out/97	1,08	11,82	287,42	5,67	41,00	1,95	94,37	0,12	1,33	444,76	119,00	37,10	2,11
Nov/97	1,55	35,84	213,91	6,50	34,07	2,40	66,07	0,16	1,08	361,57	219,98	28,03	2,07
Dez/97	2,02	55,66	352,53	8,01	26,73	2,95	59,20	0,37	1,52	509,00	375,73	31,60	3,01
Jan/98	1,83	34,74	117,78	12,62	36,92	3,13	84,70	0,25	0,88	292,84	157,19	26,26	2,13
Fev/98	4,31	44,73	190,69	13,47	55,04	4,04	118,87	1,34	1,30	433,79	237,31	29,65	2,12
Mar/98	5,55	35,05	266,14	6,89	34,49	2,27	137,03	1,98	1,47	490,86	268,96	29,21	2,70
Abr/98	2,22	15,95	154,50	2,50	17,06	0,60	157,56	0,03	1,05	351,47	97,45	21,36	2,14
Mai/98	1,34	13,90	100,58	24,34	31,22	1,16	121,11	0,31	0,88	294,84	67,19	14,96	2,59
Jun/98	2,60	5,84	41,71	22,26	24,47	0,72	56,41	0,18	0,46	154,67	28,87	11,61	2,06

TABELA – 02 A – Valores mensais de entrada, saída, sedimentação, fixação e concentração na água de nitrogênio total (kg).

Mês	Ent. 01	Ent. 02	Ent. 03	Ent. 04	Ent. 05	Ent. 06	Ent. 07	Precipi- tação	Não pontual	Entrada total	Saída	[N] na água	Sedimen- tação	Fixação
Jan/97	9,72	110,17	325,87	6,50	64,67	244,59	60,92	42,40	34,59	899,43	325,59	186,55	1539,22	1521,84
Fev/97	11,23	247,74	313,86	2,04	141,15	380,95	87,76	13,93	47,95	1246,62	254,49	133,18	1514,73	2109,28
Mar/97	25,43	291,97	319,93	2,64	175,28	344,82	92,81	11,85	50,59	1315,32	201,66	206,75	1887,54	2225,53
Abr/97	12,05	38,98	91,94	1,50	46,64	47,54	17,73	8,73	10,60	275,72	78,65	94,74	1487,09	466,52
Mai/97	1,87	4,94	90,29	0,60	20,18	6,42	21,33	5,72	6,05	157,41	39,59	144,13	1539,22	266,34
Jun/97	9,02	27,43	114,79	0,78	58,06	22,53	15,92	10,00	10,34	268,86	179,73	145,77	1937,58	454,91
Jul/97	9,54	52,13	92,51	0,79	262,30	54,50	7,55	1,75	19,24	500,33	464,82	105,37	1524,26	846,55
Ago/97	8,45	49,22	32,88	0,78	260,94	74,90	62,89	8,25	19,93	518,24	444,89	106,12	1491,61	876,86
Set/97	22,00	88,79	1451,26	1,13	156,23	67,95	102,85	35,40	77,02	2002,63	828,87	41,27	1914,52	3388,46
Out/97	15,07	70,42	1190,22	1,65	110,28	28,22	29,55	18,43	58,55	1522,41	669,52	226,75	1521,85	2575,91
Nov/97	3,18	31,12	170,31	2,13	82,06	18,04	117,98	25,10	18,00	467,93	378,53	119,61	1489,35	791,74
Dez/97	2,47	45,62	228,94	1,52	88,72	13,48	164,87	33,58	23,17	602,37	425,13	37,98	2170,66	1019,20
Jan/98	3,16	76,64	107,81	0,97	72,49	11,75	11,87	29,49	12,57	326,75	98,51	25,52	1534,15	552,87
Fev/98	3,54	134,22	155,61	0,93	119,45	10,54	13,98	32,12	18,81	489,19	75,27	35,89	1529,14	827,71
Mar/98	10,42	220,01	343,80	0,59	102,56	12,45	50,96	63,50	32,17	836,47	245,14	20,57	1944,83	1415,30
Abr/98	9,55	136,06	259,79	0,65	45,87	14,09	64,62	9,10	21,59	561,32	259,32	46,54	1537,66	949,75
Mai/98	15,77	85,57	394,83	8,51	123,76	25,13	35,93	10,71	28,01	728,22	219,58	29,57	1864,62	1232,15
Jun/98	35,54	107,52	578,99	11,07	255,44	37,59	13,33	2,28	41,67	1083,44	333,99	16,36	1482,15	1833,18

TABELA – 03 A – Valores mensais de vazão (m³) para as sete entradas e saída no período entre jan/97 a jun/98.

Mês	Entrada 01	Entrada 02	Entrada 03	Entrada 04	Entrada 05	Entrada 06	Entrada 07	Saída
Jan/97	4.739,55	97.901,50	52.918,33	73,02	24.416,33	41.152,10	-o-	145.498,09
Fev/97	5.029,52	124.382,43	45.634,91	80,40	33.953,66	27.384,39	-o-	150.238,29
Mar/97	5.924,43	119.858,67	61.824,75	87,79	50.130,67	87.880,37	-o-	218.895,02
Abr/97	4.186,15	49.931,09	3.235,97	81,49	16.191,40	26.221,72	2.730,93	69.994,93
Mai/97	3.767,85	48.495,87	32.575,97	88,83	12.342,62	18.606,04	8.373,34	80.347,50
Jun/97	5.628,29	63.503,01	19.792,01	138,44	25.702,54	10.551,88	9.611,93	106.892,76
Jul/97	4.427,42	26.291,55	10.532,58	88,40	16.060,39	6.626,86	1.386,51	57.974,38
Ago/97	2.170,26	38.571,85	5.100,34	38,37	17.452,05	23.141,71	7.838,08	83.992,26
Set/97	5.103,40	25.842,09	951,61	59,77	9.730,66	16.842,13	8.974,05	55.364,57
Out/97	4.051,62	30.860,57	40.040,08	16,45	11.770,45	10.855,62	3.636,52	110.893,53
Nov/97	3.718,18	29.553,69	3.548,29	74,68	7.557,49	12.212,22	3.463,37	56.025,99
Dez/97	6.521,75	137.726,13	111.187,60	113,91	31.599,45	19.692,97	5.940,27	364.228,95
Jan/98	4.100,82	63.140,07	20.690,14	56,10	15.801,73	11.299,07	4.626,06	96.821,66
Fev/98	5.131,64	84.544,74	26.038,95	155,94	26.777,89	14.980,64	3.642,48	117.719,41
Mar/98	6.292,51	170.507,17	73.736,13	222,25	38.765,98	27.549,91	10.333,63	274.818,38
Abr/98	5.117,68	143.664,63	61.888,44	28,51	17.146,67	7.971,22	10.048,06	217.273,09
Mai/98	4.943,40	77.289,68	40.157,78	40,21	16.409,12	10.517,34	6.826,11	87.879,21
Jun/98	4.670,27	52.011,74	21.711,95	334,25	15.345,68	8.849,90	679,45	84.005,05

TABELA 04-A: Dados de 26 corpos d'água utilizados por Salas(1990) na regressão múltipla + dados do Lago das Garças.

Lagos	Ano	Z _{máx} (m)	As (km ²)	TR (anos)	L (P) (g.m ⁻² .ano ⁻¹)	Pλ (mg.L ⁻¹)
Salto Grande	1982	7,8	757	0,097	12,6	0,082
Salto Grande	1981-1983	8,4	757	0,032	14,50	0,046
Descoberto	1980	6,9	14,9	0,280	0,65	0,016
Paranoá	1980	14,3	39,5	0,731	2,93	0,040
Funil	1978-1979	22,8	38,4	0,151	9,19	0,041
Funil	1987	22,8	38,4	0,131	18,60	0,048
Funil	1988-1989	21,0	33,3	0,081	29,3	0,066
Santana	1988-1989	2,5	4,75	0,002	151,6	0,10
Vigario	1988-1989	9,8	3,85	0,008	142,9	0,084
Lajes	1988-1989	13,6	26,0	0,760	0,795	0,018
Americana	1982	9,2	11,5	0,047	37,7	0,081
Americana	1986	7,8	12,7	0,084	31,62	0,098
Atibainha	1986	12,5	20,8	0,388	1,29	0,023
Barra Bonita	1978-1980	8,3	239,3	0,269	3,43	0,058
Barra Bonita	1983	9,2	260	0,073	23,0	0,115
Barra Bonita	1982-1984	9,3	268	0,211	7,45	0,094
Barra Bonita	1986	8,6	250	0,221	6,96	0,059
Cachoeira	1986	10,7	7,1	0,130	4,14	0,032
Guarapiranga	1982-1983	4,9	27,8	0,238	1,40	0,052
Guarapiranga	1986	4,9	23,6	0,331	1,70	0,044
Ituparanga	1986	7,8	20,9	0,660	2,11	0,029
Jaguari	1986	16,8	35,0	1,225	3,28	0,036
Paiva Castro	1982-1983	5,7	6,7	0,059	7,30	0,040
Paiva Castro	1986	5,4	4,1	0,028	5,48	0,023
Paraibuna	1986	26,4	168	1,923	0,79	0,016
Ponte Nova	1982-1983	8,9	21,1	0,615	0,55	0,027
Ponte Nova	1986	8,3	20,5	0,806	0,47	0,025
Taiapuê	1986	2,2	8,8	0,135	0,64	0,031
Laguna de Sonso	1988	1,0	10,0	0,041	6,58	0,210
Poza Honda	1981	20,0	2,6	4,845	5,06	0,40
Poza Honda	1982	20,14	3,8	1,574	15,10	0,20
Livington	1975	6,30	334,2	0,243	14,6	0,20
Chapala	1983-1984	4,20	1061	11,05	0,932	0,426
Chapala	1986-1987	4,43	1078,5	15,94	1,508	0,680
Tequesquitengo	1986	16,00	8,0	98,5	0,046	0,023
Requena	1986-1987	5,0	4,82	0,26	13,229	0,383
La plata	1981-1982	10,0	3,07	0,09	34,90	0,220
Loiza	1973-1974	6,14	2,425	0,054	52,91	0,330
Garças	1997-1998	4,69	0,088	0,18	0,087	0,123

TABELA – 05A: Valor máximo, mínimo e médio para os valores de temperatura do ar (°C) para os dias de coleta e os meses de estudo, para o Lago das Garças – SP.

Mês	Máxima mês	Mínima mês	Média mês	Máxima dia	Mínima Dia	Média dia
Jan/97	32,2	15,8	22,1	29,0	19,6	22,9
Fev/97	31,4	17,6	22,6	31,4	19,5	24,2
Mar/97	31,0	14,2	20,8	27,5	18,3	21,9
Abr/97	28,1	12,4	19,4	22,0	15,0	7,0
Mai/97	29,2	11,0	17,2	22,6	11,8	17,2
Jun/97	27,2	6,4	15,9	19,9	12,9	15,7
Jul/97	27,3	9,4	17,1	24,6	13,6	17,7
Ago/97	29,1	7,1	17,1	23,1	13,4	17,3
Set/97	33,9	11,1	18,4	28,8	12,9	20,1
Out/97	33,8	12,8	19,6	19,0	15,8	17,3
Nov/97	34,1	14,1	21,5	24,4	19,2	20,9
Dez/97	33,4	16,6	23,1	27,8	17,4	22,3
Jan/98	33,5	16,2	23,9	29,7	21,1	25,1
Fev/98	33,0	16,8	23,6	24,1	18,3	20,8
Mar/98	32,4	15,9	22,5	27,3	20,5	23,2
Abr/98	31,2	12,1	20,6	31,2	19,4	24,1
Mai/98	21,9	10,6	17,1	26,2	12,5	18,1
Jun/98	26,6	7,9	15,6	24,9	14,7	19,3

Fonte: Estação Meteorológica - Instituto Astronômico e Geofísico – Universidade de São Paulo

FOTO – 01: Lago das Garças – Parque Estadual das Fontes do Ipiranga
(São Paulo – SP)

FOTO – 02: Camalote (*Eichhornia crassipes*) deslocado pela ação dos ventos