

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO
AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA DOS AGRONEGÓCIOS
INSTITUTO DE PESCA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA E PESCA

**CARACTERIZAÇÃO LIMNOLÓGICA E BALANÇO DE
MASSA DE NUTRIENTES, DURANTE O ENCHIMENTO
DAS REPRESAS PARAITINGA E BIRITIBA
(ALTO TIETÊ)**

Valéria Cope

**Orientadora: Cacilda Thais Janson Mercante
Co-orientador: Clovis Ferreira do Carmo**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Aqüicultura e Pesca do Instituto de Pesca – APTA – SAA, como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Aqüicultura e Pesca.

São Paulo

Novembro - 2008

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO
AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA DOS AGRONEGÓCIOS
INSTITUTO DE PESCA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA E PESCA

**CARACTERIZAÇÃO LIMNOLÓGICA E BALANÇO DE
MASSA DE NUTRIENTES, DURANTE O ENCHIMENTO
DAS REPRESAS PARAITINGA E BIRITIBA
(ALTO TIETÊ)**

Valéria Cope

**Orientadora: Cacilda Thais Janson Mercante
Co-orientador: Clovis Ferreira do Carmo**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Aqüicultura e Pesca do Instituto de Pesca – APTA – SAA, como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Aqüicultura e Pesca.

São Paulo

Novembro – 2008

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Elaborada pelo Núcleo de Informação e Documentação. Instituto de Pesca, São Paulo

C782c

Cope, Valéria

Caracterização limnológica e balanço de massa de nutrientes,
durante o enchimento das represas Paraitinga e Biritiba (Alto Tietê) /
Valéria Cope. – São Paulo, 2008.
xiv, 137f. ; il. ; graf. ; tab.

Dissertação (mestrado) apresentada ao Programa de Pós-graduação em
Aqüicultura e Pesca do Instituto de Pesca – APTA – Secretaria de Agricultura e
Abastecimento.

Orientadora: Cacilda Thais Janson Mercante.

Co-orientador: Clóvis Ferreira do Carmo.

1. Reservatórios. 2. Alto Tietê Cabeceiras. 3. Balanço de massa.
4. Nitrogênio. 5. Fósforo. I. Mercante, Cacilda Thais Janson. II.
Título.

CDD 551.48

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO
AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA DOS AGRONEGÓCIOS
INSTITUTO DE PESCA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA E PESCA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

“CARACTERIZAÇÃO LIMNOLÓGICA E BALANÇO DE MASSA DE
NUTRIENTES, DURANTE O ENCHIMENTO DAS REPRESAS PARAITINGA
E BIRITIBA (ALTO TIETÊ)”

AUTOR: VALÉRIA COPE

ORIENTADOR: Cacilda Thais Janson Mercante
CO-ORIENTADOR: Clóvis Ferreira do Carmo

Aprovado como parte das exigências para obtenção do título de
MESTRE EM AQUICULTURA E PESCA, Área de Concentração em
Pesca, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dra. Cacilda Thais Janson Mercante

Prof. Dra. Suzana Sendacz

Prof. Dra. Patrícia Bortoletto de Falco

Data da realização: 06 de novembro de 2008

Presidente da Comissão Examinadora
Prof. Dr. Helcio Luis de Almeida Marques

*Ao meu “pai científico”,
Clovis Ferreira do Carmo.*

AGRADECIMENTOS

À Profa. Dra. Cacilda Thais Janson Mercante, pela orientação, pela confiança depositada em mim durante o desenvolvimento desse trabalho e pelos ensinamentos.

Ao Dr. Clovis Ferreira do Carmo pelos conselhos e colaboração desde a graduação e em especial ao longo do desenvolvimento e execução de todo esse trabalho, com auxílio nos cálculos de vazão e carga e na revisão.

Ao Instituto de Pesca - APTA - SAA - SP, pelo apoio institucional e financeiro durante o desenvolvimento desse trabalho.

Ao Internacional Cooperation with Developing Countries (INCO-EDV) ICA4-2002-10061 FAPESP 02/098, pelo auxílio financeiro parcial desse trabalho.

À Dra. Suzana Sendacz pela oportunidade de trabalho junto ao projeto de pesquisa “Aspectos do enchimento das represas Paraitinga e Biritiba, sistema produtor Alto Tietê: cargas de nutrientes, qualidade da água e comunidades bióticas”. Pelas valiosas sugestões para o aprimoramento do trabalho, principalmente durante a qualificação, e revisão do abstract.

Ao Dr. Adalberto José Monteiro Junior pelas valiosas sugestões para o aprimoramento do trabalho durante a qualificação.

Ao analista químico Luis Cláudio dos Santos Evangelista pelo auxílio nas coletas e realização das análises.

Aos engenheiros Luiz Carlos da Silva da barragem de Biritiba e Ernesto Nobuo Mory da barragem de Paraitinga pelo fornecimento de dados referentes a vazão e pluviosidade da região dos reservatórios.

À Gustavo Lopes Lorca, analista de sistema de saneamento da Sabesp, e à Domingos Antonio Camargo Correia, encarregado do posto operacional de Salesópolis, por fornecerem informações a respeito do funcionamento do sistema produtor Alto Tietê.

À todos os professores da Pós-Graduação, que contribuíram não somente com a transmissão de seus conhecimentos, mas também para o meu crescimento pessoal.

À todos os alunos de Pós-Graduação e estagiários do Instituto de Pesca, pelo companheirismo, em especial ao João Saviolo Osti e à Jennifer Sati Pereira pelo auxílio ao longo do desenvolvimento desse trabalho.

À meus pais, Angela Maria Cope e Dorival Cope, e minha irmã, Vanessa Cope, por terem me dado muita força.

À meu namorado, Vanderlei Lopes de Lima (Deco), pela força, paciência, compreensão e motivação. Um dos principais responsáveis pela minha chegada até aqui.

À todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito obrigada!

SUMÁRIO

Agradecimentos	i
Lista de abreviaturas e símbolos	vii
Lista de figuras	viii
Lista de tabelas	xii
Resumo	xiii
Abstract	xiv
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	4
1.1.1 Geral	4
1.1.2 Específicos	4
1.2 Revisão da literatura	5
1.2.1 Reservatórios	5
1.2.2 Formação de um reservatório	8
1.2.3 Nitrogênio e fósforo	10
1.2.4 Fontes pontuais e não pontuais	12
1.2.5 Balanço de massa	17
2 MATERIAIS E MÉTODOS	19
2.1 Área de Estudo	19
2.1.1 Reservatório de Paraitinga	25
2.1.2 Reservatório de Biritiba	27
2.2 Amostragem	29
2.3 Variáveis físicas, químicas e biológicas	31
2.3.1 Temperatura do ar	31
2.3.2 Temperatura da água, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido e pH	31
2.3.3 Determinações de nutrientes e clorofila <i>a</i>	31
2.3.3.1 Determinação dos nutrientes totais	31
2.3.3.1.1 Determinação simultânea de nitrogênio total e fósforo total	31
2.3.3.2 Determinação dos nutrientes dissolvidos	32
2.3.3.3 Determinação da clorofila <i>a</i>	32
2.4 Avaliação da trofia do ambiente	33
2.5 Variáveis hidrológicas	34

2.5.1	Profundidade da coluna d'água	34
2.5.2	Precipitação	34
2.5.3	Velocidade da água	35
2.5.4	Vazão	36
2.6	Carga	37
2.6.1	Carga pontual	37
2.6.2	Carga não pontual	38
2.7	Balanço de massa	40
2.7.1	Balanço de massa para cargas pontuais	40
2.7.2	Balanço de massa total (cargas pontual e não pontual)	41
2.8	Coeficiente de exportação do reservatório	41
3	RESULTADOS	42
3.1	Variáveis físicas, químicas e biológicas	42
3.1.1	Temperatura do ar	42
3.1.2	Temperatura da água	42
3.1.3	Condutividade elétrica	44
3.1.4	Oxigênio dissolvido	45
3.1.5	pH	46
3.1.6	Nutrientes	47
3.1.6.1	Nitrogênio total	47
3.1.6.2	Fósforo total	48
3.1.6.3	Amônia total	49
3.1.6.4	Nitrito	51
3.1.6.5	Nitrato	52
3.1.6.6	Ortofosfato	53
3.1.7	Clorofila <i>a</i>	54
3.2	Índice de Estado Trófico (IET)	55
3.2.1	Fósforo total	55
3.2.2	Clorofila <i>a</i>	56
3.3	Variáveis hidrológicas	57
3.3.1	Precipitação	57
3.3.2	Vazão	58
3.4	Carga	59
3.4.1	Carga pontual diária	59

3.4.1.1 Nitrogênio total	59
3.4.1.2 Fósforo total	60
3.4.2 Carga pontual mensal no período de estudo	61
3.4.2.1 Nitrogênio total	61
3.4.2.2 Fósforo total	62
3.4.3 Carga pontual período seco e período chuvoso	63
3.4.3.1 Nitrogênio total	63
3.4.3.2 Fósforo total	64
3.4.4 Carga pontual anual	64
3.4.4.1 Nitrogênio total	64
3.4.4.2 Fósforo total	65
3.4.5 Carga não pontual	66
3.4.5.1 Nitrogênio total	66
3.4.5.2 Fósforo total	67
3.4.6 Carga pontual e não pontual	68
3.4.6.1 Nitrogênio total	68
3.4.6.2 Fósforo total	69
3.5 Balanço de massa	70
3.5.1 Pontual – mensal	70
3.5.1.1 Nitrogênio total	70
3.5.1.2 Fósforo total	72
3.5.2 Pontual – Período seco e chuvoso	73
3.5.2.1 Nitrogênio total	73
3.5.2.2 Fósforo total	74
3.5.3 Pontual e não pontual – anual	75
3.5.3.1 Nitrogênio total	75
3.5.3.2 Fósforo total	76
3.6 Coeficiente de exportação	76
4 DISCUSSÃO	77
4.1 Variáveis físicas, químicas e biológicas	77
4.2 Variáveis hidrológicas	93
4.3 Carga	95
4.4 Balanço de massa	98
5 CONCLUSÕES	103

6 RECOMENDAÇÕES	104
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105
8 ANEXOS	116

Lista de siglas e abreviaturas

APHA - American Public Health Association

CEPAGRI - Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

DAEE - Departamento de Água e Energia Elétrica

FUSP - Fundação de apoio à Universidade de São Paulo

IET - Índice de Estado Trófico

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

JBIC - Japan Bank for International Cooperation

NT - Nitrogênio total

PT - Fósforo total

RMSP - Região Metropolitana de São Paulo

SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SAM - Sistema Metropolitano de Abastecimento

SIGRH - Sistema de Informações para o Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo

SP - São Paulo

SPAT - Sistema Produtor Alto Tietê

UHE - Usina Hidrelétrica

WCD - World Commission on Dam

Lista de Figuras

Figura 1.	Zonação longitudinal do reservatório (COOKE <i>et al.</i> , 2005).	6
Figura 2.	Bacia hidrográfica do Alto Tietê. Fonte: FUSP, 2007.	20
Figura 3.	Bacia hidrográfica Tietê-Cabeceiras (Modificado de SENDACZ <i>et al.</i> , 2005).	21
Figura 4.	Esquema demonstrando os componentes do SPAT (Modificado de SCHARDONG, 2006).	22
Figura 5.	Tomada de água, interligação Tietê-Biritiba. Fonte: DAEE, 1999.	23
Figura 6.	Canal de interligação Biritiba-Jundiaí, ao fundo reservatório de Jundiaí. Fonte: DAEE, 1999.	24
Figura 7.	Vista aérea da barragem do reservatório Paraitinga. Fonte: DAEE, 2007.	25
Figura 8.	Vista aérea da barragem do reservatório Biritiba. Fonte: DAEE, 2008a.	26
Figura 9.	Ilustração das estações de amostragem na bacia.	30
Figura 10.	Temperatura do ar (°C) no momento da coleta, para a região dos reservatórios Paraitinga e Biritiba, no período de agosto/2005 a maio/2006.	42
Figura 11.	Variação da temperatura da água (°C), nas estações PM e PJ na região do reservatório Paraitinga e BM e BJ na região do reservatório Biritiba, no período de agosto/2005 a maio/2006.	43
Figura 12.	Variação da condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), nas estações PM e PJ na região do reservatório Paraitinga e BM e BJ na região do reservatório Biritiba, no período de agosto/2005 a maio/2006.	45
Figura 13.	Variação da concentração de oxigênio dissolvido ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), nas estações PM e PJ na região do reservatório Paraitinga e BM e BJ na região do reservatório Biritiba, no período de agosto/2005 a maio/2006.	46

Figura 14.	Varição do pH, nas estações PM e PJ na região do reservatório Paraitinga e BM e BJ na região do reservatório Biritiba, no período de agosto/2005 a maio/2006.	47
Figura 15.	Varição da concentração de nitrogênio total (mg.L^{-1}), nas estações PM e PJ na região do reservatório Paraitinga e BM e BJ na região do reservatório Biritiba, no período de agosto/2005 a maio/2006.	48
Figura 16.	Varição da concentração de fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$), nas estações PM e PJ na região do reservatório Paraitinga e BM e BJ na região do reservatório Biritiba, no período de agosto/2005 a maio/2006.	49
Figura 17.	Varição da concentração de amônia total (mg.L^{-1}), nas estações PM e PJ na região do reservatório Paraitinga e BM e BJ na região do reservatório Biritiba, no período de agosto/2005 a maio/2006.	50
Figura 18.	Varição da concentração de nitrito ($\mu\text{g.L}^{-1}$), nas estações PM e PJ na região do reservatório Paraitinga e BM e BJ na região do reservatório Biritiba, no período de agosto/2005 a maio/2006.	51
Figura 19.	Varição da concentração de nitrato (mg.L^{-1}), nas estações PM e PJ na região do reservatório Paraitinga e BM e BJ na região do reservatório Biritiba, no período de agosto/2005 a maio/2006.	52
Figura 20.	Varição da concentração de ortofosfato ($\mu\text{g.L}^{-1}$), nas estações PM e PJ na região do reservatório Paraitinga e BM e BJ na região do reservatório Biritiba, no período de agosto/2005 a maio/2006.	53
Figura 21.	Varição da concentração de clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g.L}^{-1}$), nas estações PM e PJ na região do reservatório Paraitinga e BM e BJ na região do reservatório Biritiba, no período de agosto/2005 a maio/2006.	54
Figura 22.	Varição do índice de estado trófico para fósforo total, $\text{IET}_{(\text{PT})}$, nas estações PM e PJ na região do reservatório Paraitinga e BM e BJ na região do reservatório Biritiba, no período de agosto/2005 a maio/2006.	55

Figura 23.	Variação do índice de estado trófico para clorofila <i>a</i> , IET _(CHL) , nas estações PM e PJ na região do reservatório Paraitinga e BM e BJ na região do reservatório Biritiba, no período de agosto/2005 a maio/2006.	56
Figura 24.	Valores mensais de pluviosidade (mm) e número de dias com precipitação para a região dos reservatórios Paraitinga e Biritiba.	57
Figura 25.	Vazão, nas estações PM e PJ na região do reservatório Paraitinga e BM e BJ na região do reservatório Biritiba, no período de agosto/2005 a maio/2006.	58
Figura 26.	Estimativa da carga diária de nitrogênio total (kg), nas estações PM e PJ na região do reservatório Paraitinga e BM e BJ na região do reservatório de Biritiba, no período de agosto/2005 a maio/2006.	59
Figura 27.	Estimativa da carga diária de fósforo total (kg), nas estações PM e PJ na região do reservatório Paraitinga e BM e BJ na região do reservatório de Biritiba, no período de agosto/2005 a maio/2006.	60
Figura 28.	Estimativa da carga de nitrogênio total (kg) no período seco e chuvoso nas estações PM e PJ na região do reservatório Paraitinga e BM e BJ na região do reservatório de Biritiba.	61
Figura 29.	Estimativa da carga de fósforo total (kg) no período seco e chuvoso nas estações PM e PJ na região do reservatório Paraitinga e BM e BJ na região do reservatório de Biritiba.	62
Figura 30.	Estimativa da carga de nitrogênio total (kg) mensal nas estações PM e PJ na região do reservatório Paraitinga e BM e BJ na região do reservatório de Biritiba.	63
Figura 31.	Estimativa da carga de fósforo total (kg) mensal nas estações PM e PJ na região do reservatório Paraitinga e BM e BJ na região do reservatório de Biritiba.	64
Figura 32.	Estimativa da carga de nitrogênio total (kg) anual nas estações PM e PJ na região do reservatório Paraitinga e BM e BJ na região do reservatório de Biritiba.	65

Figura 33.	Estimativa da carga de fósforo total (kg) anual nas estações PM e PJ na região do reservatório Paraitinga e BM e BJ na região do reservatório de Biritiba.	66
Figura 34.	Estimativa das cargas não pontuais de nitrogênio total (kg) anuais na região dos reservatórios Paraitinga e Biritiba.	67
Figura 35.	Estimativa das cargas não pontuais de fósforo total (kg) anuais na região dos reservatórios Paraitinga e Biritiba.	68
Figura 36.	Somatória das cargas pontuais e não pontuais de nitrogênio total (kg) estimadas para os reservatórios Paraitinga e Biritiba.	69
Figura 37.	Somatória das cargas pontuais e não pontuais de fósforo total (kg) estimadas para os reservatórios Paraitinga e Biritiba.	70
Figura 38.	Balanço de nitrogênio total (kg) nos reservatórios Paraitinga e Biritiba no período de agosto/2005 a maio/2006. Valores negativos indicam exportação e valores positivos retenção.	71
Figura 39.	Balanço de nitrogênio total (kg) nos reservatórios Paraitinga e Biritiba no período de agosto/2005 a maio/2006. Valores negativos indicam exportação e valores positivos retenção.	72
Figura 40.	Balanço de nitrogênio total (kg) nos reservatórios Paraitinga e Biritiba no período seco e período chuvoso. Valores negativos indicam exportação e valores positivos retenção	73
Figura 41.	Balanço de fósforo total (kg) nos reservatórios Paraitinga e Biritiba no período seco e período chuvoso. Valores negativos indicam exportação e valores positivos retenção	74
Figura 42.	Balanço de nitrogênio total (kg.ano ⁻¹) via fonte: a) pontual, e b) somatória de pontual e não pontual, nos reservatórios Paraitinga e Biritiba.	75
Figura 43.	Balanço de fósforo total (kg.ano ⁻¹) via fonte: a) pontual, e b) somatória de pontual e não pontual, nos reservatórios Paraitinga e Biritiba. Valores negativos indicam exportação e valores positivos retenção	76

Lista de Tabelas

Tabela 1.	Comparação entre rios, lagos naturais e reservatórios	7
Tabela 2.	Características gerais do reservatório Paraitinga	26
Tabela 3.	Características gerais do reservatório Biritiba.	28
Tabela 4.	Localização das estações de amostragem.	30
Tabela 5.	Relação dos nutrientes dissolvidos analisados e respectivas referências.	32
Tabela 6.	Estados tróficos e valores correspondentes.	34
Tabela 7:	Fatores de correção para a velocidade da água.	36
Tabela 8.	Coeficientes de exportação de fósforo, E_P , e nitrogênio, E_n , ($\text{mg.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$).	39
Tabela 9.	Coeficientes urbanos de exportação de fósforo, E_P , e nitrogênio, E_n , ($\text{mg.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$).	40
Tabela 10.	Concentração dos nutrientes fósforo e nitrogênio na água da chuva (mg.L^{-1}).	40

RESUMO

Caracterização limnológica e balanço de massa de nutrientes, durante o enchimento das represas Paraitinga e Biritiba (Alto Tietê). Os reservatórios Paraitinga e Biritiba estão inseridos no Sistema Produtor Alto Tietê, com elevada importância para o abastecimento público. O objetivo do presente estudo foi avaliar características físicas, químicas e biológicas da água e o balanço de massa de nitrogênio total e fósforo total durante a fase de enchimento dos reservatórios Paraitinga e Biritiba (montante e jusante dos sistemas). Foram realizadas coletas de água trimestrais no período de um ano, agosto/2005 a maio/2006. Foram determinados os valores de temperatura da água, pH, condutividade elétrica, concentração de oxigênio dissolvido, nutrientes totais (nitrogênio total e fósforo total), nutrientes dissolvidos (amônia total, nitrito, nitrato e ortofosfato) e clorofila *a*. Foram determinadas as condições tróficas dos ambientes estudados (IET). As cargas dos tributários (fontes pontuais) foram obtidas pelo produto entre os valores de vazão e as concentrações dos nutrientes. Os balanços de massa foram calculados a partir da diferença dos valores de carga estimados de entrada e saída para os nutrientes. Os coeficientes de exportação de nitrogênio total e fósforo total dos reservatórios ($\text{kg.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$) foram calculados a partir da divisão da carga efluente do reservatório por sua respectiva área. Nos tributários, rio Paraitinga e rio Biritiba-Mirim, os resultados das concentrações de oxigênio dissolvido, nitrato, nitrito, amônia e clorofila *a* permaneceram dentro dos padrões estabelecidos pela resolução CONAMA 357, para a classe 1. Os teores de fósforo total e o pH não atenderam ao limite estabelecido por esta resolução. Nos efluentes dos reservatórios Paraitinga e Biritiba as concentrações de oxigênio dissolvido, pH, fósforo total, nitrato, nitrito, amônia e clorofila *a*, permaneceram dentro dos padrões estabelecidos pela resolução CONAMA 357 para ambientes lóticos classe 2. Todas as estações foram classificadas como mesotróficas de acordo com o IET_(PT). No período chuvoso foram verificadas maiores cargas de nitrogênio total e fósforo total, indicando que o material de origem não pontual oriundo via escoamento superficial tem influência direta nesses aportes. Durante a fase de enchimento dos reservatórios foi observada a retenção de nutrientes (nitrogênio total e fósforo total) e, através do balanço de massa foi observado que a sazonalidade e as regras operativas dos sistemas tiveram grande influência nas alterações dessas variáveis. Como estratégias para mitigação da degradação da água recomenda-se a recomposição da mata ciliar e redução da carga interna de nitrogênio e fósforo. Propostas de manejo e recuperação desses ambientes estarão condicionadas às demandas de uso da água e a tomada de decisão do órgão gestor dos sistemas.

Palavras chaves: reservatórios, Alto Tietê Cabeceiras, balanço de massa, nitrogênio, fósforo

ABSTRACT

Limnological characterization and nutrients mass balance during the Paraitinga and Biritiba reservoirs filling (Alto Tietê). Paraitinga and Biritiba Reservoirs are part of the Sistema Produtor Alto Tietê, being highly important for the public water supply. The purpose of the present study was the evaluation of the physical, chemical and biological water characteristics and the total nitrogen and total phosphorus mass balance during the Paraitinga and Biritiba Reservoirs filling phase (upstream and downstream of the systems). Water samples were collected at quarterly intervals during one year, from August/2005 to May/2006. Water temperature, pH, electrical conductivity, dissolved oxygen concentration, nutrients (total nitrogen and total phosphorus), dissolved nutrients (total ammonia, nitrite, nitrate and orthophosphate) and chlorophyll *a* were determined. The trophic condition of the studied environments was also evaluated (TSI). The nutrient load from the tributaries (point sources) were obtained through the product of the nutrient concentration and flow. The mass balance was calculated from the difference of the estimated input and output of nutrients. The export coefficients of total nitrogen and total phosphorus of the reservoirs ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$) were calculated from the division of effluent load of the reservoir by its respective area. Dissolved oxygen, nitrate, nitrite, total ammonia and chlorophyll *a* concentrations remained within the limits established for CONAMA 357 resolution for class 1. Total phosphorus concentration and pH did not reach the established limit for this resolution. For Paraitinga and Biritiba reservoirs effluents, dissolved oxygen, pH, total phosphorus, nitrate, nitrite, ammonia and chlorophyll *a* concentrations remained within the pattern established for CONAMA 357 resolution to class 2, for lotic environments. All the studied stations were classified as mesotrophic after the $\text{TSI}_{(\text{PT})}$. Higher loads of total nitrogen and total phosphorus were observed during the rainy season, indicating that the material of non point origin derived by superficial draining have a direct influence upon these introductions. Nutrient retention (total nitrogen and total phosphorus) was observed for the reservoirs during the filling phase. Through the nitrogen and phosphorus mass balance of the reservoirs, it was observed that the seasonality and the operative rules of the systems highly influenced nutrient changes. As strategies to mitigate the water degradation, the restoration of riparian vegetation and reduction of total nitrogen and total phosphorus internal loads are recommended. Management and recovery proposals for these environments will be conditioned by the water use demands and by the strategy adopted by managers and decision makers.

Keywords: reservoirs, Alto Tietê Cabeceiras, mass balance, nitrogen, phosphorus

1. INTRODUÇÃO

A rápida elevação da densidade demográfica em várias regiões do Brasil tem exigido aumento constante na geração de energia elétrica e abastecimento de água de centros urbanos. Tal demanda pode ser suprida através da construção de barragens, que podem possibilitar ainda a produção de biomassa (cultivo de peixes e pesca intensiva), a irrigação, o transporte (hidrovias), o controle de inundações, além da recreação e turismo (CHAPMAN, 1992; WCD, 2000; CAVENAGHI *et al.*, 2003; TUNDISI *et al.*, 2006a).

Segundo TUNDISI e MATSUMURA-TUNDISI (1995), o número, e com isso a área abrangida pelos reservatórios construídos nas regiões tropicais e subtropicais estão continuamente sofrendo incremento.

Muitos destes ecossistemas artificiais estão em pleno funcionamento, produzindo inúmeros benefícios locais e regionais. Segundo TUNDISI (1999), vários grandes rios do território brasileiro foram completamente aproveitados, inclusive para a construção de barragens em cascata.

Na região metropolitana de São Paulo (RMSP), no ano de 2005, foram fechadas as comportas das barragens do rio Biritiba-Mirim, barragem de Biritiba, e do rio Paraitinga, barragem de Paraitinga. Estas são as duas últimas barragens que o Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) implantou na região das cabeceiras do rio Tietê.

Segundo o DAEE (2008), o sistema de abastecimento que está sendo implantado atualmente na RMSP deve garantir o fornecimento de água para essa região nos próximos anos, pois os sistemas produtores já são insuficientes para atender a demanda atual estimada em $70 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, sendo que o Sistema Produtor Alto Tietê (SPAT) visa a disponibilização de até $15 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ de água beneficiando mais de 4 milhões de pessoas. Este sistema, a curto

prazo, deverá, mesmo com a sazonalidade das chuvas, eliminar a descontinuidade no abastecimento, conseqüência do aumento acelerado da demanda, provocado pelo crescimento demográfico desordenado da região.

Segundo BRANCO (1986), além da preocupação com a disponibilidade de água, os riscos com a contaminação dos mananciais existentes é outro problema a ser considerado. Portanto, não basta aumentar a oferta de água; também é necessário garantir a proteção aos mananciais existentes, pois ações corretivas são sempre mais dispendiosas que as preventivas.

Ainda segundo BRANCO (2002), as regiões de maior demanda de água potável são também as que menos dispõem de mananciais caracterizados por qualidade compatível com o abastecimento.

O Estado de São Paulo é o Estado mais populoso e industrializado do país, onde quase todos os rios, lagos e represas estão sob severo estado de degradação (HENRY e NOGUEIRA, 1999). Entre as principais causas do decréscimo da qualidade da água, encontra-se a eutrofização (XAVIER, 2005).

O artigo 205 da Constituição do Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2008) visa o uso racional das águas superficiais e subterrâneas e assegura como prioridade o abastecimento de água às populações, seu aproveitamento múltiplo e sua proteção contra ações que possam comprometer seu uso atual ou futuro.

Os reservatórios são parte de uma bacia hidrográfica e, como tal, detectam todos os efeitos das atividades antropogênicas nessas bacias (TUNDISI, 1999).

Considerando-se a estreita relação que mantém o sistema aquático com a respectiva bacia hidrográfica, a identificação do uso e ocupação dos solos no entorno de lagos e reservatórios e a avaliação das cargas afluentes de nitrogênio e fósforo são ferramentas importantes para o controle da

eutrofização e gerenciamento da qualidade da água para usos múltiplos (RIBEIRO *et al.*, 2005).

Compreender o balanço de massa de elementos químicos que influenciam o processo de eutrofização em reservatórios durante o enchimento, em especial nos destinados para abastecimento, torna-se uma importante ferramenta para implantação de mecanismos de gerenciamento da qualidade de água.

É neste contexto que o presente trabalho está inserido. Sendo parte integrante do projeto “Aspectos do enchimento das represas Paraitinga e Biritiba, sistema produtor Alto Tietê: cargas de nutrientes, qualidade da água e comunidades bióticas”, cuja proposta englobou o estudo das cargas de nutrientes, das comunidades fitoplanctônica e zooplanctônica e dos aspectos limnológicos durante o enchimento das represas Paraitinga e Biritiba, componentes do Sistema Produtor Alto Tietê e utilizadas no abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo.

1.1. Objetivos

1.1.1 Geral

Avaliar características físicas, químicas e biológicas da água e o balanço de massa de nitrogênio total e fósforo total durante a fase de enchimento dos reservatórios Paraitinga e Biritiba (montante e jusante dos sistemas).

1.1.2 Específicos

Verificar variação sazonal, nos períodos seco e chuvoso, das variáveis estudadas através da precipitação mensal.

Estimar as cargas difusas de nitrogênio total e fósforo total oriundas do entorno, associadas ao uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica, dos reservatórios Paraitinga e Biritiba.

Estimar as cargas pontuais de nitrogênio total e fósforo total oriundas do entorno, associadas aos principais tributários, dos reservatórios Paraitinga e Biritiba.

Estimar o coeficiente de exportação de fósforo total e nitrogênio total dos reservatórios Paraitinga e Biritiba.

Subsidiar propostas de manejo aos órgãos gestores das bacias do Alto Tietê.

1.2 Revisão da literatura

1.2.1 Reservatórios

Segundo a WCD (2000), no século passado, mais de 45.000 vezes foi tomada a decisão de construir uma barragem, em especial grandes barragens. A Comissão Internacional de Grandes Barragens (ICOLD), criada em 1928, define como grandes barragens as que possuem altura de 15 metros ou mais a partir da base. Se as barragens têm entre 5 e 15 m de altura e volume de reservatório de mais de 3 milhões de m³ também são classificadas como grandes barragens.

As duas principais categorias de grandes barragens são os projetos de barragens com reservatório de armazenamento e barragens no curso do rio que não têm reservatório de armazenamento e podem ter acúmulo diário. Dentro desta classificação geral existe uma grande diversidade em termos de escala, concepção, exploração e potencial para impactos adversos. As grandes barragens têm fragmentado e transformado os rios do mundo (WCD, 2000).

No sistema hídrico, os reservatórios normalmente estão fisicamente interligados ou agem como componentes de um sistema integrado (SCHARDONG, 2006). Em contrapartida, a proliferação de reservatórios em diferentes regiões do país tem gerado problemas de manejo associados com demandas de usos múltiplos (TUNDISI, 1999).

Represas são ecossistemas em permanente perturbação e descontinuidade vertical e horizontal (TUNDISI, 1999). Segundo HENRY *et al.* (1998), os reservatórios com tempo de residência (volume/vazão) da água muito baixo assumem características ecológicas próximas aos ecossistemas lóticos, enquanto os reservatórios com tempo de residência elevado apresentam características similares a ambientes lênticos. Em função deste parâmetro e da distribuição advectiva dos sedimentos e nutrientes introduzidos pelos tributários, a extensão de cada uma das três zonas, normalmente encontradas nas represas (zona de influência dos rios – próxima à

desembocadura dos tributários; zona lacustre – próxima à barragem; e zona intermediária) pode ampliar-se ou reduzir-se muito (Figura 1).

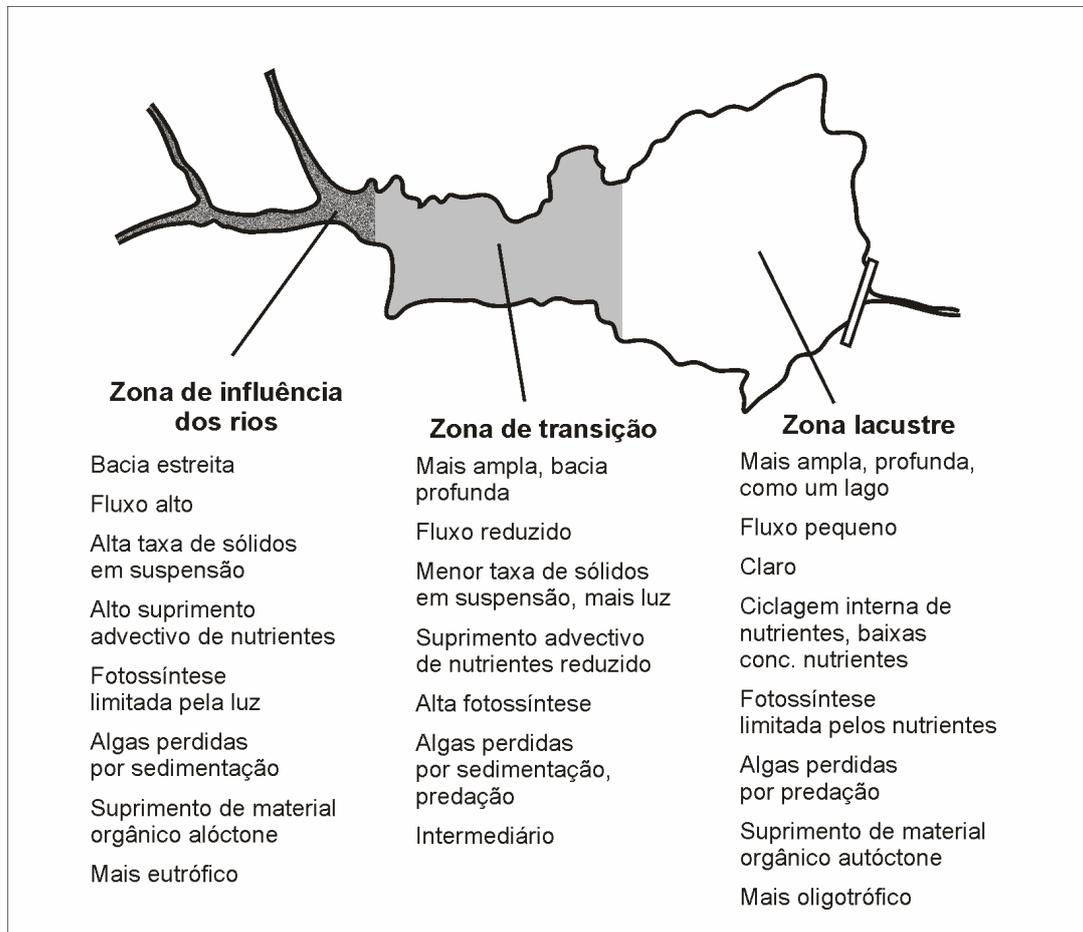


Figura 1. Zonação longitudinal do reservatório (COOKE *et al.*, 2005).

Os reservatórios ocupam posição intermediária entre rios e lagos naturais. Esta peculiaridade é decorrente de características típicas que estes ambientes apresentam: a) forte influência externa (carga de nutrientes e sedimentos); b) morfologia e hidrologia distinta de lagos e rios; c) fontes externas e internas de matéria orgânica (KIMMEL *et al.*, 1990).

Segundo COOKE *et al.* (2005), lagos naturais estão normalmente localizados centralmente em área de drenagem bastante simétrica, enquanto que os reservatórios são alongados e dendríticos, e usualmente posicionados no limite à jusante da bacia. Eles diferem também quanto à profundidade, nos

lagos podem existir vários pontos profundos, enquanto que no reservatório normalmente a área mais profunda está localizada próxima da barragem.

Os rios, lagos naturais e reservatórios apresentam características distintas. A tabela 1 apresenta a comparação entre algumas das propriedades desses ambientes aquáticos continentais.

Tabela 1. Comparação entre rios, lagos naturais e reservatórios.

Propriedade	Rio	Lago	Reservatórios
Flutuação do nível da água	Grande, irregular depende de condições climáticas.	Pequena, estável.	Grande, irregular depende de regras operativas.
Entrada de água	Depende do clima e da geomorfologia da bacia.	Depende de pequenos tributários e fontes difusas superficiais ou subterrâneas.	Depende de tributários superficiais e derivações.
Saída de água	Normalmente fluxo contínuo.	Relativamente estável. Superficial.	Irregular, depende de regras operativas, pode ocorrer em várias profundidades da coluna d'água.
Tempo de residência	Algumas horas a poucas semanas.	Longo, de um a vários anos.	Variável de dias a anos.
Carga externa de nutrientes	Entradas laterais, dependente da geologia e uso do solo.	Cargas moderadas por influência biogeoquímica de ecótonos.	Mais alta que em lagos, em função dos tributários e tipo de solo.
Dinâmica de nutrientes	Associada ao fluxo e vazão.	Predominam gradientes verticais, pequena carga interna em lagos não eutrofizados pela ação antrópica.	Predominam gradientes horizontais, dependem da taxa de sedimentação, tempo de residência e regime hidráulico.

(FRIEDL e WÜEST, 2002; XAVIER, 2005; TUNDISI *et al.*, 2006; 2006a).

Segundo TUNDISI (1999), características específicas dos reservatórios incluem tamanho (área de inundação e volume), profundidade, tempo de retenção, altura das descargas, e estas afetam o comportamento do sistema e as características da água. Superposta está a manipulação deste ecossistema artificial pelo homem e a estratégia operacional que define o seu mecanismo de funcionamento. Morfologia e funcionamento das represas, portanto, estão relacionados.

As represas funcionam, ao interceptar o fluxo de água de um rio, como “coletores de eventos”, proporcionando informações fundamentais sobre as bacias hidrográficas. Constituem importantes centros de convergência das várias atividades desenvolvidas na bacia hidrográfica, inclusive de seus usos e aspectos econômicos e sociais. Além disso, as informações introduzidas no reservatório (aporte de material em suspensão, nutrientes inorgânicos e orgânicos, poluentes, etc.) interferem nos processos de organização das comunidades planctônicas, perifíticas e de peixes, bem como na composição química da água e do sedimento. Portanto, a qualidade das águas reflete, em grande parte, as atividades humanas no ar, no solo e na própria água de drenagem (BICUDO *et al.*, 1999). Os reservatórios são detectores sensíveis dos impactos antropogênicos, pois são ecossistemas artificiais que integram as conseqüências do uso e ocupação do solo dentro dos limites de sua bacia de drenagem (TUNDISI, 1996).

1.2.2 Formação de um reservatório

Quando comparada com as condições existentes no ecossistema lótico, a formação de um reservatório leva a mudanças nas variáveis bióticas e abióticas, que marcam um período de instabilidade limnológica. Este período pode ser entendido como uma fase de transição (RIBEIRO *et al.*, 2005).

Para ESPÍNDOLA *et al.* (2004a), nos reservatórios, o fluxo de água é controlado, o padrão de funcionamento é modificado, verificando-se alterações significativas antes e após sua construção, com mecanismo de substituição e perda de espécies.

Quando se transforma um trecho de um rio em um reservatório, a desaceleração do fluxo regularizado retém partículas, a turbidez diminui e a transmissividade de luz aumenta, aumentando a produção primária *in-situ*. Assim, a partir da montante do reservatório para a barragem, o rio muda de um sistema predominantemente alóctone para um sistema lacustre, onde a produção autóctone de matéria orgânica predomina. A mudança do regime

alóctone para um autóctone altera os ciclos biogeoquímicos de carbono (C), fósforo (P), nitrogênio (N) e silício (Si). Como cada ciclo de nutriente reage de maneira diferente, as suas taxas estão igualmente sujeitas a alterações. O aumento do tempo de residência afeta as concentrações de sais devido à evaporação, temperatura e concentração de oxigênio. Ambos, o aumento do tempo de residência e a produção autóctone da biomassa irão alterar a condição redox, e posteriormente o efeito da ciclagem de nutrientes e metais pesados com potencial de liberação dos sedimentos (FRIEDL e WÜEST, 2002).

Segundo DIONNE e THÉRIEN (1997), nos processos de enchimento de reservatórios, áreas significativas de vegetação e grandes áreas de solos são inundadas, com isso, vários materiais orgânicos e inorgânicos, dissolvidos e particulados são liberados para a coluna d'água durante este tempo através da lixiviação, decomposição e atrito mecânico. A concentração máxima desses materiais é alcançada no momento do término do enchimento. Com baixa vazão, a concentração pode permanecer elevada por longo período de tempo. A vazão desempenha papel importante na redução da concentração dos materiais liberados na coluna d'água através dos processos de diluição e transporte. Com o término do enchimento, a taxa de liberação para a água diminui, já que não há mais terras a serem inundadas, e esta se torna decrescente em condições de temperatura constantes, estabilizando o sistema.

Uma outra consequência potencial da transição de um rio para um lago é a depleção de oxigênio. Dentro do reservatório, a depleção de oxigênio desencadeia redução de nitrato, (hidr)óxidos de manganês, (hidr)óxidos de ferro e sulfato. Produtos reduzidos, tais como Mn(II), Fe(II), NH_4^+ e H_2S podem se acumular nas águas profundas. Além de serem tóxicos para peixes e organismos maiores, estes compostos reduzidos mantêm a interface sedimento/água anóxica, evitando assim, a acumulação de camadas de hidróxido de ferro. Com a perda de ferro para a água sobrejacente, a capacidade de retenção de fósforo do sedimento diminui. Como resultado, a produtividade do sistema é acentuada. Sob condições anóxicas metanogênese microbiana e desnitrificação levam à produção e potencial emissão de gases

com efeito estufa, metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) (FRIEDL e WÜEST, 2002).

De acordo com JUNK e MELLO (1990), ambientes lênticos possuem em geral hipoxia ou anoxia nas camadas profundas. A solubilidade de oxigênio na água diminui com o aumento da temperatura, enquanto que os processos de decomposição, que consomem oxigênio, aceleram. Em reservatórios tropicais este padrão é verificado durante os primeiros anos após o represamento, porque têm à disposição, nas áreas recentemente inundadas, grandes quantidades de matéria orgânica facilmente degradável. A demanda bioquímica de oxigênio é muito alta durante e pouco depois do represamento, diminuindo nos anos seguintes com a diminuição do material de fácil decomposição. Folhas, plantas herbáceas e capins decompõem-se em poucas semanas ou meses; madeira leve em alguns anos e madeira dura e pesada pode resistir de décadas até centenas de anos.

Uma das características fundamentais dos processos de gênese dos reservatórios é que nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, são liberados para a água (RIBEIRO *et al.*, 2005). O nitrogênio inorgânico e os compostos de fósforo resultantes da lixiviação do solo pelas inundações e decomposição da vegetação submersa são nutrientes que podem estimular a produtividade primária (DIONNE e THÉRIEN, 1997; RIBEIRO *et al.*, 2005; MORAIS *et al.*, 2007).

1.2.3 Nitrogênio e fósforo

O nitrogênio é essencial para a vida dos organismos, é um importante constituinte das proteínas, inclusive material genético. Plantas e microrganismos convertem o nitrogênio inorgânico em formas orgânicas. No ambiente, formas inorgânicas de nitrogênio ocorrem em variados estados de oxidação que são nitrato (NO₃⁻), nitrito (NO₂⁻), íon amônio (NH₄⁺) e nitrogênio molecular (N₂). Fazem parte do ciclo do nitrogênio no ambiente transformações biológicas e não biológicas (CHAPMAN, 1992).

De acordo com WETZEL (2001), a origem do nitrogênio em um ecossistema aquático pode ser devido à precipitação diretamente sobre a superfície da água, fixação do nitrogênio na água e nos sedimentos e aportes em razão da drenagem superficial e subterrânea.

O fósforo é um elemento abundante, porém nunca é encontrado em estado livre na natureza. Ele ocorre principalmente sob a forma de fosfatos, PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- , ligados a um cátion em compostos inorgânicos insolúveis como, fosfato de cálcio simples $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, fosfato de alumínio AlPO_4 , fosfato férrico FePO_4 , e o fosfato misto, $\text{CaF}_2 \cdot 3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ou como componente de moléculas orgânicas (SAWYER *et al.*, 2003).

O fósforo é um nutriente essencial para a vida dos organismos aquáticos e existe nos corpos d'água sobre a forma dissolvida e particulada. É geralmente o nutriente limitante para o crescimento da biomassa algal e controla a produtividade primária em muitos sistemas de água doce. Em águas naturais e águas residuais ocorre principalmente como ortofosfatos dissolvidos e polifosfatos, e fosfatos organicamente ligados (CHAPMAN, 1992; WINTER e DUTHIE, 2000).

De forma geral, os ambientes aquáticos continentais são mais sensíveis às entradas de fósforo enquanto que o nitrogênio freqüentemente limita a produção primária em sistemas estuarinos e marinhos (WETZEL, 2001).

O incremento de biomassa resulta em um número de efeitos que individualmente e coletivamente resultam em prejuízo ao uso da água. Altas concentrações de fosfatos podem indicar a presença de poluição e são largamente responsáveis pelas condições eutróficas (CHAPMAN, 1992).

1.2.4 Fontes pontuais e não pontuais

Segundo NOVOTNY (1995), três são as maiores fontes de poluição da água: esgotos domésticos, efluentes industriais e enxurradas. As fontes de poluição são divididas em duas categorias, pontuais e não pontuais (também chamadas de fontes difusas).

Segundo THOMANN e MUELLER (1987), as fontes pontuais são aquelas nas quais os pontos de descarga e/ou produção de detritos possuem localização definida, e na maioria das vezes, possuem regime contínuo de produção, por exemplo: estação municipal de tratamento de esgotos e descargas industriais. As fontes difusas são aquelas nas quais não há pontos de descarga e/ou produção definidas, localizam-se em diferentes regiões, e tendem a ser, em termos quantitativos e qualitativos, transientes no tempo, embora não sempre.

As principais fontes difusas de nutrientes são:

- (i) agricultura;
- (ii) silvicultura;
- (iii) atmosfera;
- (iv) enxurradas urbanas; e
- (v) águas subterrâneas.

As fontes pontuais têm grande impacto sobre as concentrações de nutrientes quando os locais de amostragem de água estão próximos das áreas de despejo. Quando estão distanciadas da zona de coleta, o material dissolvido tem efeito pequeno sobre as variações dos teores de nutrientes, pois precipita-se, adsorvendo-se às partículas de sedimento ou dilui-se durante o trajeto. As fontes não pontuais de nutrientes são mais difíceis de serem quantificadas. Estão intimamente associadas à geologia, uso do solo (práticas agrícolas, pastagens e, presença e tipo de floresta) e à morfologia da bacia de drenagem (THOMANN e MUELLER, 1987; HENRY, 1992).

Segundo EIGER *et al.* (1999), as cargas não pontuais possuem dinâmica complexa, com as seguintes particularidades:

- grande variabilidade, de uma sub-bacia para outra, e numa mesma sub-bacia em momentos diferentes, resultado da multiplicidade de fatores e fontes de poluição que agem de forma pouco previsível;
- afluem aos cursos de água tanto em tempo seco quanto na ocorrência de eventos de chuva;
- dependem das características das precipitações (intensidade e distribuição das chuvas), concentrando-se na fase inicial do evento de chuva em razão de efeito de lavagem (*first flux*) da bacia e das calhas de drenagem.

O fósforo é fortemente retido pelos colóides do solo. A liberação de fósforo em uma bacia hidrográfica depende de maneira geral: do tipo de solo, da declividade do terreno e do cultivo e da estrutura das chuvas. A mobilidade do fósforo está freqüentemente ligada aos processos de erosão superficial, que carregam partículas sólidas e nutrientes naturais ou provenientes de fertilizantes, empobrecendo ou mesmo destruindo o solo e degradando os corpos de água (VITOUSEK, 1983; SHARPLEY, 1993; OLIVEIRA *et al.*, 2007).

Dependendo da cobertura vegetal na bacia, o impacto da precipitação, via escoamento superficial, apresentará diferentes intensidades na remoção de nutrientes e sedimentos dos ecossistemas terrestres para os rios (HENRY *et al.*, 1999).

O uso do solo da bacia hidrográfica é um bom modo de prever a produtividade do reservatório ou lago (COOKE *et al.*, 2005). Datam do início do século passado os primeiros estudos que, tendo a microbacia como unidade experimental, buscavam compreender as relações existentes entre a cobertura florestal, a quantidade e a qualidade da água (CÂMARA, 2004).

De um modo geral, a ocupação por matas e florestas representa uma baixa carga de fósforo para os corpos d'água, baixa concentração de algas e pouco assoreamento no lago ou reservatório (OLIVEIRA *et al.*, 2007).

Segundo OLIVEIRA *et al.* (2007) a substituição das matas e florestas por vegetais agricultáveis, associados, também, a tipos de manejo resulta na redução da capacidade de infiltração do solo, e conseqüentemente no aumento do escoamento superficial. Esse processo produz aumento da erosão hídrica, mobilizando e transportando os nutrientes adicionados em excesso nas culturas para os corpos de água.

Segundo YAN *et al.* (2005), o nitrogênio é um elemento limitante para a produção terrestre, em especial nos sistemas agrícolas intensivos. Normalmente, todos os fertilizantes são susceptíveis de serem perdidos de campos agrícolas por escoamento superficial e erosão.

Segundo WINTER e DUTHIE (2000), com o conhecimento dos coeficientes de exportação de nutrientes, obtidos através do uso e ocupação das terras em uma bacia hidrográfica e das quantidades de nutrientes exportados por unidade de área dessas utilizações, é possível estimar as cargas de nitrogênio e fósforo exportadas para um corpo d'água por fontes não-pontuais.

De um modo geral, a exportação de nutrientes por bacias hidrográficas aumenta com o tamanho da bacia, o declive e o escoamento superficial; ainda, é afetada pela geologia superficial (estrutura do solo) e pelo uso e ocupação do solo (MANSOR, 2005).

Fósforo e nitrogênio oriundos principalmente de descargas de esgotos domésticos e industriais, assim como escoamento superficial urbano e agrícola, são agentes eutrofizantes, especialmente em lagos e reservatórios, e podem representar impactos quanti e qualitativos significativos e importantes para estes ambientes aquáticos (RIBEIRO *et al.*, 2005a).

Segundo RECKHOW *et al.* (1980), a eutrofização é um fenômeno tanto natural, quanto culturalmente induzido. A eutrofização natural é lenta, um processo em grande parte irreversível associado com a gradual acumulação de matéria orgânica e sedimento no corpo d'água. A eutrofização cultural é muitas vezes mais rápida, com processo possivelmente reversível de enriquecimento de nutrientes e alta produção de biomassa estimulada por atividades culturais, ocasionando transporte de nutrientes para o corpo d'água. A eutrofização é um processo complexo, e dessa maneira há a necessidade do conhecimento sobre as características químicas e limnológicas para correta gestão do corpo d'água.

A eutrofização dos corpos d'água depende principalmente das suas cargas de nutrientes. O conceito de limitação de nutrientes pode ser considerado a chave da pesquisa da eutrofização (RIVERA, 2003). Carga excessiva de nutrientes cria potencial para condições eutróficas, mas não garantem incremento na produtividade (COOKE *et al.*, 2005).

Segundo COOKE *et al.* (2005), lagos e reservatórios que são naturalmente eutróficos, ou se tornarão, tem características diferentes dos corpos d'água pouco enriquecidos ou oligotróficos. Lagos eutróficos têm “blooms” de algas, muitas vezes de cianobactérias. Alguns, além disso, possuem grande presença de macrófitas, água colorida (verde/marrom), e nível baixo ou zero de oxigênio dissolvido nas áreas mais profundas. Lagos e reservatórios oligotróficos possuem baixa concentração de nutrientes e baixa produtividade porque as cargas de nutrientes e matéria orgânica são baixas ou a bacia possui grandes volumes de água que provocam a diluição e curto tempo de residência que fazem o material passar através do lago. Além disso, a alta dureza da água pode favorecer a co-precipitação de carbonato de cálcio e nutrientes essenciais, tornando-os indisponíveis para as algas. Lagos oligotróficos são profundos e muitas vezes com direção unilateral, com sedimento pobre em nutrientes, poucas macrófitas, usualmente não possui florações de cianobactérias potencialmente tóxicas, e apresenta grandes concentrações de oxigênio dissolvido nas águas profundas. A transparência da água é alta, como a diversidade fitoplanctônica, mas a biomassa algal total é baixa.

Para BRANCO (2002), em princípio, qualquer água pode ser potabilizada mediante tratamento adequado. O problema principal se relaciona com o custo de obtenção dessa água potável, uma vez que na medida em que aumenta o grau de contaminação e a diversidade de substâncias contaminantes presentes, o custo de sua remoção cresce em escala geométrica.

Por suas características, lagos e reservatórios possuem capacidade de amortecimento, ou seja, eles podem resistir a certos níveis de poluição. Contudo, esta capacidade de assimilação é limitada e o surgimento de problemas pode ocorrer durante um período relativamente curto, como consequência de uma entrada de poluentes, que pode durar por muito tempo em função do uso e ocupação do solo na bacia de contribuição (JØRGENSEN e VOLLENWEIDER, 1989; XAVIER, 2005).

Para ROBSON *et al.* (2008), o destino dos nutrientes antropogênicos em reservatórios é determinado por complexas interações entre os processos hidrodinâmicos e biológicos que determinam a retenção (armazenamento) ou a exportação desse nutriente. Segundo FRIEDL e WÜEST (2002), a capacidade de retenção, no entanto, pode variar de ano para ano, dependendo das condições hidrológicas e de entrada.

As substâncias que adentram o corpo d'água sofrem transformações químicas e físicas. Quando a corrente de água diminui de velocidade, o material em suspensão é gradualmente depositado sendo os sedimentos o destino final dessas substâncias (MARIANI, 2006).

A contribuição da bacia hidrográfica com nutrientes para o lago é denominada carga externa (XAVIER, 2005). À liberação de nutrientes do sedimento dá-se o nome de carga interna (JØRGENSEN e VOLLENWEIDER, 1989).

Os contaminantes que são incorporados à fase sólida (sedimentos) se tornam menos biodisponíveis, já que a fase aquosa (na coluna d'água) é a

mais passível de ser seqüestrada por organismos. No entanto, o sedimento é um compartimento ativo que não somente acumula material oriundo da coluna d'água como também reprocessa esse material, podendo torná-lo novamente disponível em solução. Os contaminantes podem, então, ser liberados de maneira gradual a partir do sedimento. Sendo assim, o sedimento pode agir como fonte difusora de contaminantes, mesmo após a desativação da fonte primária de poluição (MARIANI, 2006).

Uma significativa redução na carga externa é um passo essencial, mas não necessariamente suficiente, para reduzir a concentração de fósforo no lago. Cargas internas de sedimentos aeróbicos e anaeróbicos, infiltração subterrânea, decomposição de macrófitas, ressuspensão de sedimentos, e atividades de organismos poderiam acrescentar mais nutrientes ao lago que a carga externa durante alguns períodos do ano (COOKE *et al.*, 2005).

1.2.5 Balanço de massa

O balanço de massa (ou balanço de material) é uma descrição quantitativa de todos os materiais que entram, saem e se acumulam em um sistema com fronteiras definidas (SALAH *et al.*, 2005), tornando-se dessa forma uma ferramenta importante na gestão de regras operativas em reservatórios, além de avaliar a influência da bacia hidrográfica na qualidade da água.

Para SALAH *et al.* (2005), os balanços de massa são de fundamental importância no campo da engenharia civil e ambiental. O balanço de massa tem sido utilizado em modelos em diversos trabalhos para quantificar a entrada, retenção e exportação de nutrientes, avaliando o potencial de eutrofização do reservatório (JOSSETTE *et al.*, 1999; BRIGault e RUBAN, 2000; RIBEIRO *et al.*, 2005; MATZINGER *et al.*, 2007) ou ainda fazer previsões (NÜRNBERG, 1984), auxiliando no manejo desses ecossistemas.

Segundo RECKHOW *et al.* (1980), os modelos que descrevem a carga de fósforo e a resposta trófica lacustre podem ser bastante úteis a fim de plano de gestão na bacia hidrográfica. O modelo mais prático para a gestão é o modelo empírico chamado de input/output ou “caixa preta”. Este tipo de modelo contém termos para a entrada, a saída, e o que se estabelece (ao fundo do lago) de fósforo mas não inclui explicitamente quaisquer reações químicas ou biológicas. O termo “caixa preta” é empregado porque o modelo trata o ambiente como a caixa preta de um mágico, uma caixa onde os conteúdos e processos internos continuam a ser um mistério.

O objetivo principal da modelagem não é produzir uma cópia exata do ecossistema, mas sim tentar reproduzir as características relevantes para o tratamento de uma determinada questão, podendo o ecossistema ser modelado de diferentes maneiras, de acordo com as informações disponíveis e os propósitos do projeto (SILVA e PORTO, 2003).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

A Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (Figura 2), localizada no Estado de São Paulo, corresponde à área drenada pelo rio Tietê da montante da cidade de Pirapora até as suas nascentes na cidade de Salesópolis, numa extensão de 133 km. Compreende 5.868 km² em extensão de superfície em área composta por 34 municípios. Abriga quase a metade da população do Estado e compreende, em seu território, parte da Região Metropolitana de São Paulo - RMSP. Caracteriza-se por apresentar regime hidráulico e hidrológico extremamente complexo, devido às profundas alterações introduzidas por obras hidráulicas e efeitos da ação humana dos mais diversos níveis (BIRITIBA-MIRIM, 2006; CETESB, 2007).

A Bacia Hidrográfica do Alto Tietê está subdividida em 6 sub-bacias (Cabeceiras, com área de drenagem de 1.694 km²; Cotia-Guarapiranga, 965 km²; Billings, 1.025 km²; Juqueri-Cantareira, 713 km²; Pinheiros-Pirapora, 569 km² e Penha-Pinheiros, 1.019 km²) (CARVALHO *et al.*, 2007). A sub-bacia estudada é a de Cabeceiras, constituída pelos municípios de Arujá, Biritiba-Mirim, Ferraz de Vasconcelos, Guarulhos, Itaquaquecetuba, Mogi das Cruzes, Poá, Salesópolis, Suzano e parte do município de São Paulo (BIRITIBA-MIRIM, 2006; FUSP, 2000).

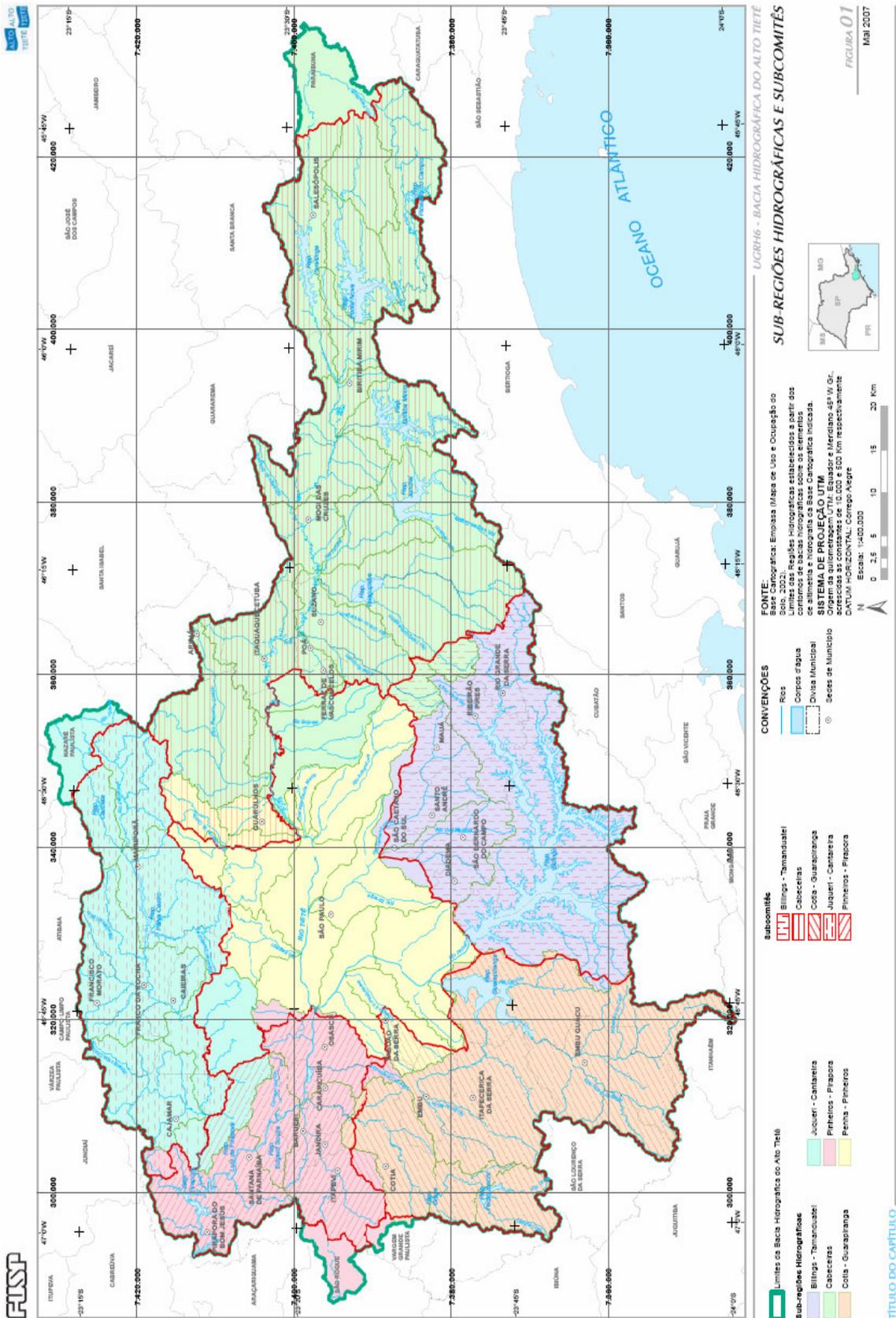


Figura 2. Bacia hidrográfica do Alto Tietê. Fonte: FUSP, 2007.

Na sub-bacia Cabeceiras está situado o Sistema Produtor Alto Tietê – SPAT (Figura 3), um dos seis grandes sistemas produtores de água que abastecem a Região Metropolitana de São Paulo – RMSP e é integrado ao Sistema Metropolitano de Abastecimento – SAM, operado pela Sabesp e DAEE-SP (SCHARDONG, 2006).

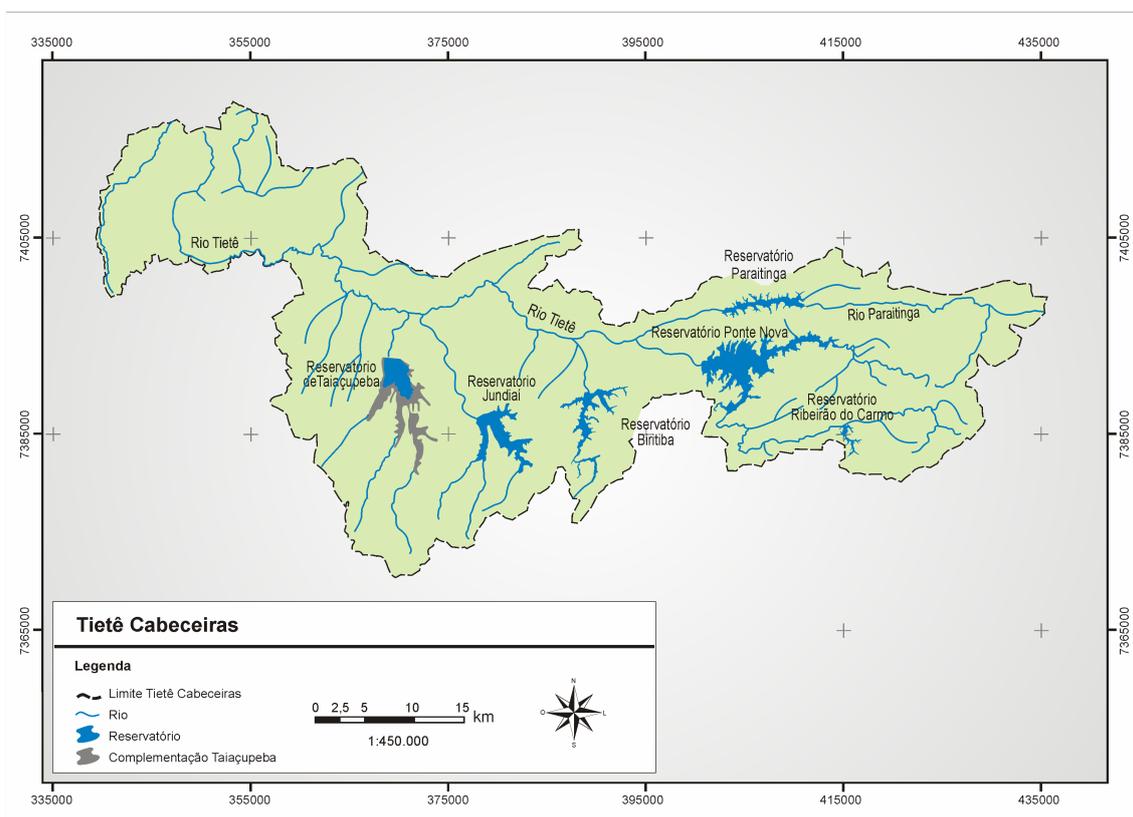


Figura 3. Bacia hidrográfica Tietê Cabeceiras (Modificado de SENDACZ *et al.*, 2005).

O SPAT (Figura 4) é formado por um conjunto de 5 reservatórios (Ponte Nova, Paraitinga, Biritiba, Jundiá e Taiapuêba) localizados entre Salesópolis e Suzano, que tem como objetivo o aproveitamento múltiplo de recursos hídricos para o abastecimento público, controle de enchentes e prevenção de inundações, regularização dos cursos d’água, recuperação e saneamento de várzeas para agricultura, irrigação do cinturão verde da região metropolitana de São Paulo, aumento das vazões para diluição de esgotos urbanos e industriais, fornecimento de água para atividades industriais e lazer (CCN, 1997; DAEE, 2006d; FUSP, 2000).

As barragens do rio Biritiba e do rio Paraitinga são as duas últimas que o DAEE implantou na região das cabeceiras do Tietê, para as quais foi utilizado o financiamento do Governo Japonês através do JBIC (DAEE, 2006d).

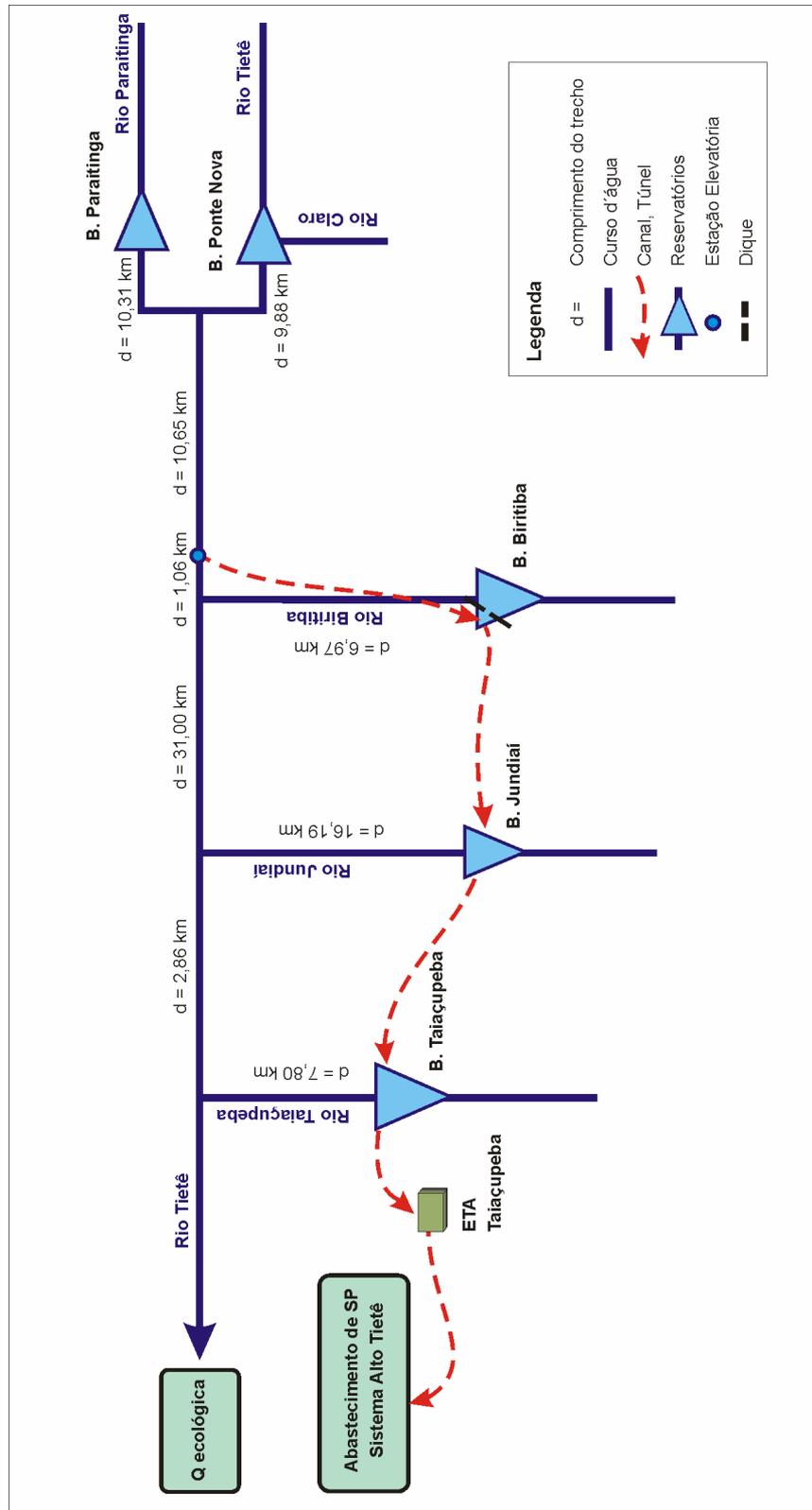


Figura 4. Esquema demonstrando os componentes do SPAT (Modificado de SCHARDONG, 2006).

A Estação Elevatória do Biritiba (Figura 5) transfere as águas captadas do rio Tietê para um braço do reservatório Biritiba. Esse braço é isolado do corpo central do reservatório por um dique (inicialmente construído em caráter temporário, e posteriormente, com previsão de permanência indeterminada). Seu funcionamento é intermitente, com vazão variando conforme as regras operativas do sistema, com capacidade de acumular o volume máximo de 130.000 m³ de água (GARCIA *et al.*, 2007; LORCA, comunicação pessoal¹).



Figura 5. Tomada de água, interligação Tietê-Biritiba. Fonte: DAEE, 1999.

As águas do reservatório Biritiba podem ser derivadas para o braço isolado através da abertura do dique, mas não o contrário (LORCA, comunicação pessoal¹). Sendo que, o reservatório Biritiba deve manter vazão mínima à jusante de 0,15 m³.s⁻¹. As águas do braço do reservatório Biritiba são transpostas para a bacia do rio Jundiaí através de um sistema de canal-túnel-canais (Figura 6) (GARCIA *et al.*, 2007).

¹ Gustavo Lopes Lorca - Analista de sistema de saneamento da Sabesp.



Figura 6. Canal de interligação Biritiba-Jundiá, ao fundo reservatório de Jundiá.
Fonte: DAEE, 1999.

Segundo GARCIA *et al.* (2007), a operação do SPAT deve garantir uma vazão mínima ecológica de $4,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ no rio Tietê a jusante da confluência com o rio Taiaçupeba. A principal variável de decisão no sistema é o recalque para a estação elevatória Biritiba que retira uma parcela da afluência do rio Tietê e transfere para o braço do reservatório Biritiba, a disponibilidade de água no rio Tietê depende das vazões efluentes dos reservatórios Paraitinga e Ponte Nova.

O clima predominante na região é do tipo Cwb, segundo a classificação de Köppen, clima úmido, temperado, com inverno seco, apresentando temperaturas máximas abaixo de $22 \text{ }^\circ\text{C}$ e mínimas abaixo de $18 \text{ }^\circ\text{C}$ e no mês mais seco precipitação abaixo de 30 mm (CCN, 1997).

Segundo CEPAGRI (2007), o valor médio anual das precipitações para a região do reservatório de Paraitinga está em torno de $1.256,3 \text{ mm}$ e para a região de Biritiba cerca de $1.364,2 \text{ mm}$.

2.1.1 Reservatório de Paraitinga

O reservatório de Paraitinga (Figura 7) está situado entre as coordenadas UTM aproximadas de 7.400.000 N, 7.397.000 N e 402.500 E, e 412.000 E, logo abaixo do trópico de capricórnio, no município de Salesópolis, no rio Paraitinga, principal afluente da margem direita do rio Tietê (CCN, 1997; DAEE, 2006b). Segundo CCN (1997), o rio Paraitinga nasce na divisa das bacias do rio Paraíba do sul e Alto Tietê em Paraibuna, e percorre direção em geral leste-oeste por cerca de 26 km até desaguar no rio Tietê, a jusante do município de Biritiba-Mirim.



Figura 7. Vista aérea da barragem do reservatório Paraitinga. Fonte: DAEE, 2007.

O reservatório Paraitinga tem finalidades múltiplas: abastecimento público de água, controle de enchentes, irrigação, diluição de esgotos e lazer (DAEE, 2006c).

A tabela 2 resume as principais características do reservatório Paraitinga.

Tabela 2. Características gerais do reservatório Paraitinga.

Características	Dados
Área	6,43 km ²
Área da bacia de drenagem	184 km ²
Formato	alongado
Volume acumulado	37 milhões de m ³
Volume operacional	35 milhões de m ³
Tempo de detenção	0,48 ano
Vazão	2,00 m ³ .s ⁻¹
Vazão máxima vertida para jusante	41,00 m ³ .s ⁻¹
Cota máximo operacional	756,00 m
Cota máximo normal	769,80 m
Cota máximo maximorum	771,00 m
Cota da crista	773,00 m
Comprimento da barragem	440 m
Altura máxima da barragem	15,5 m

Fonte: CCN, 1997; DAEE, 2006b; DAEE, 2006c; DAEE, 2007.

A área alagada pelo reservatório foi desmatada antes de se iniciar o enchimento, excluindo campos antrópicos, área utilizada para agricultura e de reflorestamento; a área de desmatamento compreendeu 1,20 km² (CCN, 1997).

O início de seu enchimento, com o fechamento de suas comportas, foi em 10 de janeiro de 2005, tendo atingido nível de 95% do volume operacional, cota 768,44 m, em 06 de maio de 2007 (Engenheiro Ernesto Nobuo Mory, comunicação pessoal) (Anexo 1).

Segundo CCN (1997), a área de inundação do reservatório está praticamente toda inserida em terras classe A (declives de 0 a 3%, solo hidromórfico), sendo encobertas também terras de classe B (declive de 3 a 6% suportando manejo intensivo do solo, indicadas para plantação de tubérculos, legumes e cereais) e C (declive de 6 a 15%, indicada para o cultivo de legumes e para fruticultura). Os principais usos do solo na bacia são silvicultura e

pastagens/capoeiras. Na região à montante da cidade de Salesópolis a bacia é basicamente coberta por área de reflorestamento (eucalipto).

2.1.2 Reservatório de Biritiba

O reservatório de Biritiba (Figura 8), situado entre as coordenadas UTM aproximadas de 7390.000 N e 7380.000 N e 386.000 E e 393.000 E, logo abaixo do trópico de capricórnio, está localizado na divisa dos municípios de Mogi das Cruzes e Biritiba-Mirim, nas sub-bacias Biritiba e Biritiba Açucabeceiras, no rio Biritiba-Mirim, afluente da margem esquerda do rio Tietê (CCN, 1997; CAVALCANTI, 2002). Segundo CCN (1997), o rio Biritiba-Mirim tem suas nascentes na serra do Garrafãozinho, seguindo uma direção geral norte por 22 km, até desaguar no rio Tietê, 11 km a montante da cidade de Mogi das Cruzes.



Figura 8. Foto aérea da barragem do reservatório Biritiba. Fonte: DAEE, 2008a.

O reservatório Biritiba tem finalidades múltiplas, mas um de seus objetivos principais é o controle de enchentes (DAEE, 2006c).

A tabela 3 resume as principais características do reservatório Biritiba.

Tabela 3. Características gerais do reservatório Biritiba.

Características	Dados
Área	9,24 km ²
Área da bacia de drenagem	75 km ²
Formato	subdendrítico
Volume acumulado	60,2 milhões de m ³
Volume operacional	35 milhões de m ³
Tempo de detenção	0,95 ano
Vazão regularizada	1,75 m ³ .s ⁻¹
Vazão máxima vertida para jusante	30,50 m ³ .s ⁻¹
Cota máximo operacional	752,50 m
Cota máximo normal	757,50 m
Cota máximo maximorum	758,50 m
Cota da crista	760,00 m
Comprimento da barragem	500 m
Altura máxima da barragem	26 m

Fonte: CCN, 1997; DAEE, 2006a; DAEE, 2006c; DAEE, 2007.

A área alagada pelo reservatório foi desmatada antes de se iniciar o enchimento, excluindo campos antrópicos, área utilizada para agricultura e de reflorestamento, a área de desmatamento compreendeu 5,49 km² (CCN, 1997).

Segundo dados monitorados pelo DAEE fornecidos gentilmente pelo engenheiro Luiz Carlos da Silva (comunicação pessoal), o enchimento do reservatório Biritiba (Anexo 1) teve início com o fechamento das comportas em 13 de maio de 2005, cota 746,61, tendo atingido seu nível máximo, cota 757,50, em 21 de abril de 2006 (totalizando 383 dias).

A área de inundação do reservatório está praticamente toda inserida em terras classe A (declives de 0 a 3%), sendo insignificante a área abrangida por outras classes. São áreas cujos solos possuem alto teor de umidade e boa fertilidade, devido ao alto teor de matéria orgânica que apresentam, sendo bastante apropriados para o cultivo de hortaliças em geral (CCN, 1997).

A área no entorno do reservatório insere-se numa paisagem tipicamente rural. Remanescentes naturais dominam grande parte das planícies fluviais e se estendem no geral às vertentes dos morrotes e morros que circundam os vales. Na bacia apresentam-se como principais usos do solo a agricultura intensiva, a silvicultura e as pastagens/capoeiras (CAVALCANTI, 2002).

As atividades rurais caracterizam-se pela presença de minifúndios produtivos e mecanizados, principalmente na adoção de irrigação por aspersão e na utilização de maquinarias e implementos agrícolas. A principal atividade agrícola é a horticultura, com produção de verduras como alface, repolho e couve e, nas estações frias cenoura (CCN, 1997). A atividade granjeira é também de destaque na bacia, devido à grande extensão de área que ocupa (CAVALCANTI, 2002).

2.2 Amostragem

Para a caracterização física, química e biológica dos afluentes e efluentes e estimativa das cargas e balanço de massa de nitrogênio total e fósforo total nos reservatórios foram realizadas coletas com intervalo trimestral no período de agosto de 2005 a maio de 2006, duração de um ano, abrangendo os períodos seco e chuvoso.

As amostras foram coletadas na subsuperfície dos principais afluentes e nos efluentes dos reservatórios (Figura 9, Tabela 4), no rio Biritiba-Mirim, na região do reservatório Biritiba e no rio Paraitinga, na região do reservatório Paraitinga.

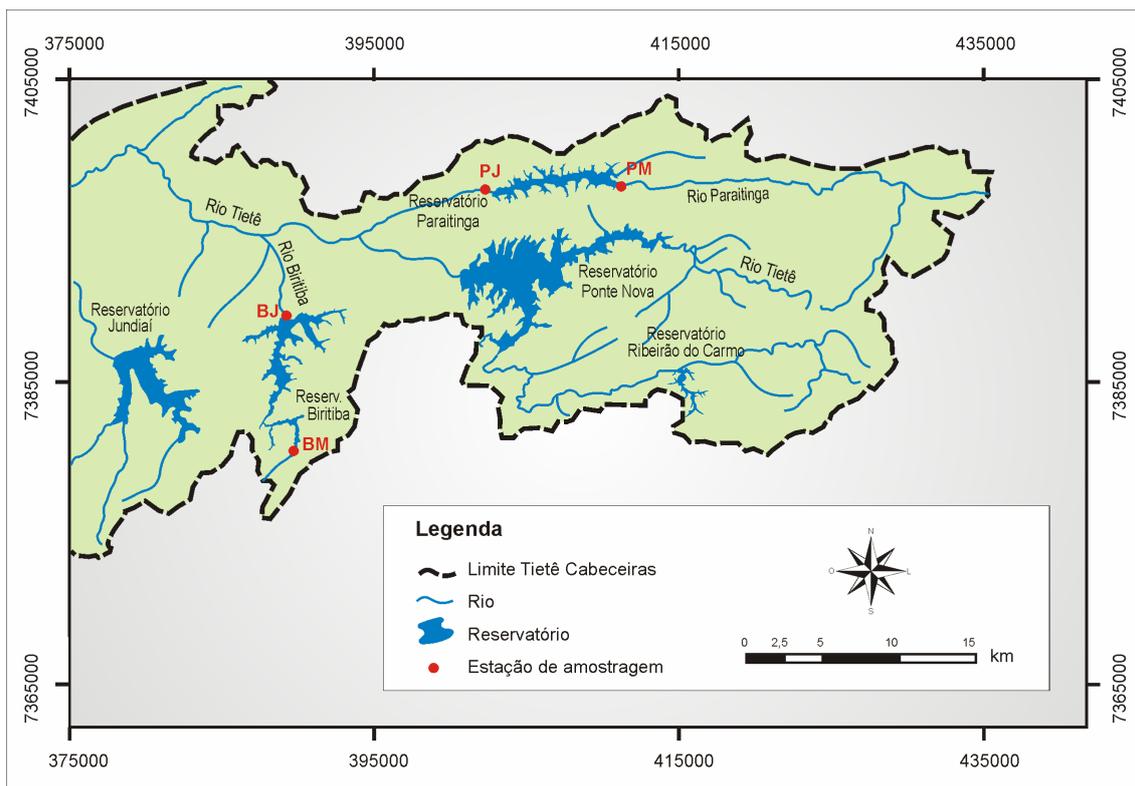


Figura 9. Ilustração das estações de amostragem na bacia (Modificado de SENDACZ *et al.*, 2005).

Tabela 4. Localização das estações de amostragem.

Código da estação	Local	Coordenadas
PM	Rio Paraitinga, afluente do reservatório Paraitinga (montante do reservatório)	23° 31' 23.8" S 45° 52' 09.3" W
PJ	Rio Paraitinga, efluente do reservatório Paraitinga (jusante do reservatório)	23° 31' 39.8" S 45° 57' 21.6" W
BM	Rio Biritiba-Mirim, afluente do reservatório Biritiba (montante do reservatório)	23° 36' 08.5" S 46° 05' 11.1" W
BJ	Rio Biritiba-Mirim, efluente do reservatório Biritiba (jusante do reservatório)	23° 40' 24.1" S 46° 04' 52.2" W

Para a análise de nutrientes totais e dissolvidos as amostras, no campo, foram transferidas para frascos de polietileno e posteriormente congeladas até o momento da análise.

2.3 Variáveis físicas, químicas e biológicas

Para caracterização física, química e biológica da água foram determinadas as seguintes variáveis: temperatura da água, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, pH, nutrientes totais (nitrogênio total e fósforo total), nutrientes dissolvidos (amônio, nitrito, nitrato e ortofosfato) e clorofila *a*.

2.3.1 Temperatura do ar

A temperatura do ar foi obtida através da leitura de termômetro de mercúrio na estação de amostragem.

2.3.2 Temperatura da água, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido e pH

A temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$), condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), oxigênio dissolvido ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) e pH foram determinados através de sonda multiparâmetros modelo U22 da marca Horiba.

2.3.3 Determinações de nutrientes e clorofila *a*

As curvas analíticas e as determinações de nutrientes e clorofila *a* foram realizados pelo método espectrofotométrico em espectrofotômetro digital modelo 482 da marca Femto na Unidade Laboratorial de Referência em Limnologia do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Recursos Hídricos do Instituto de Pesca – CPDRH/IP.

2.3.3.1 Determinação dos nutrientes totais

2.3.3.1.1 Determinação simultânea de nitrogênio total e fósforo total

A determinação foi realizada segundo o método descrito por VALDERRAMA (1981). O procedimento analítico se baseia no fato de que para

ocorrer a oxidação dos compostos de nitrogênio é necessário utilizar um álcali médio, já para a oxidação dos compostos de fósforo um ácido, para tanto é acrescentado ao reagente oxidante o ácido bórico, ele inicia a reação apresentando pH 9,7 e termina apresentando pH entre 5 e 6, satisfazendo as duas necessidades.

Após a adição do reagente oxidante as amostras foram autoclavadas a 120 °C por 30 minutos para sua total digestão e levadas a temperatura ambiente. Os produtos da oxidação são nitrato, nitrito e ortofosfatos que são determinados por processos colorimétricos segundo MACKERETH *et al.* (1978), para os íons nitrogenados, e STRICKLAND e PARSONS (1960), para fosfatados.

2.3.3.2 Determinação dos nutrientes dissolvidos

As amostras para determinação de nutrientes dissolvidos foram filtradas com filtro AP20 da Millipore® de porosidade 0,45 µm, armazenadas em frascos de polietileno inerte, identificadas e congeladas para posterior determinação com utilização das técnicas espectrofotométricas (Tabela 5).

Tabela 5. Relação dos nutrientes dissolvidos analisados e respectivas referências.

variável	referência
amônio	SOLORZANO (1969)
nitrito	MACKERETH <i>et al.</i> (1978)
nitrato	MACKERETH <i>et al.</i> (1978)
ortofosfato	STRICKLAND e PARSONS (1960)

Neste trabalho adotou-se o termo “amônia” para a forma não ionizada (NH₃); íon amônio, para a forma ionizada (NH₄⁺); e amônia total para a soma das duas primeiras formas.

2.3.3.3 Determinação da Clorofila a

A determinação da clorofila a foi realizada segundo o método descrito em APHA (1998).

As amostras foram filtradas à vácuo, em ambiente com o mínimo possível de luz usando filtros pré-lavados de microfibras de vidro AP20 da Millipore® de porosidade 0,45 µm.

Foi realizada a leitura da absorbância em espectrofotômetro em comprimento de onda de 750 e 664 nm e 750 e 665 nm, respectivamente antes e 90 segundos após a acidificação com ácido clorídrico para a correção de feofitina e turbidez, em cubeta de 10 mm de passo óptico.

Foram calculadas as concentrações de clorofila *a* através da equação 1:

$$Chla = \frac{26,7(664b - 665a) \times V_1}{V_2 \times L} \quad (1)$$

sendo:

Chla = Concentração de clorofila *a* (mg.m⁻³);

664_b, 665_a = Densidades ópticas de acetona 90% antes e após a acidificação respectivamente;

V₁ = volume do soluto utilizado para digerir a amostra (L);

V₂ = volume da amostra (m³); e

L = comprimento da cubeta (cm).

Os valores de E_{b665} e E_{a665} foram corrigidos pela subtração da leitura dos respectivos extratos em 750 nm.

2.4 Avaliação da trofia do ambiente

Para avaliar a trofia nas estações foi aplicado o índice de estado trófico (IET) segundo Carlson modificado por TOLEDO JR *et al.* (1983) para fósforo total e clorofila *a*, equações 2 e 3, respectivamente.

$$IET_{(PT)} = 10 \times \left\{ 6 - \left[\text{Ln} \left(\frac{80,32 / PT}{\text{Ln}2} \right) \right] \right\} \quad (2)$$

$$IET_{(CHL)} = 10 \times \left[6 - \left(\frac{2,04 - 0,695 \times LnCHL}{Ln2} \right) \right] \quad (3)$$

sendo:

IET = índice de estado trófico;

PT = fósforo total;

CHL = clorofila *a*; e

Ln = logaritmo natural;

Sendo o critério de classificação (Tabela 6) sugerido por SALAS e MARTINO (1990):

Tabela 6. Estados tróficos e valores correspondentes.

Estado trófico	Valor do índice
Ultra-oligotrófico	< 20
Oligotrófico	21 – 40
Mesotrófico	41 – 50
Eutrófico	51 – 60
Hipereutrófico	> 61

2.5 Variáveis hidrológicas

2.5.1 Profundidade da coluna d'água (enchimento do reservatório)

O enchimento do reservatório foi acompanhado através da profundidade da coluna d'água (m), obtida através dos valores das cotas dos reservatórios monitorados pelo DAEE que foram gentilmente cedidos pelo engenheiro Luiz Carlos da Silva.

2.5.2 Precipitação

Os dados de precipitação diária na região dos reservatórios são monitorados pela Sabesp e foram cedidos gentilmente pelos engenheiros das respectivas barragens, Eng. Luiz Carlos da Silva, responsável pela barragem

de Biritiba e Eng. Ernesto Nobuo Mory, responsável pela barragem de Paraitinga.

2.5.3 Velocidade da água

Para determinar a velocidade da água nas estações de coleta à montante dos reservatórios foi utilizado o método do flutuador segundo MARQUES e ARGENTO (1988). O flutuador é um objeto que, quando colocado em contato com a água, adquire a velocidade de escoamento da mesma.

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 obteve fluxo normalizado. No trecho escolhido, o flutuador foi lançado e registrado o tempo gasto no percurso. A operação foi repetida três vezes, para o cálculo foi utilizada a média das observações.

A velocidade da corrente foi obtida pela equação 4:

$$v = \frac{E}{t} \quad (4)$$

sendo:

v = velocidade da corrente (m.s⁻¹);

E = espaço percorrido (m); e

t = tempo (s) de percurso do flutuador no trecho.

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

Para se determinar a velocidade média da água, a velocidade medida pelo flutuador foi multiplicada por fatores de correção propostos por MARQUES e ARGENTO (1988), que levam em consideração a natureza do fundo e paredes laterais do leito de escoamento, de acordo com a tabela 7.

Tabela 7: Fatores de correção para a velocidade da água.

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 e ARGENTO, 1988.

2.5.4 Vazão

As vazões de jusante dos reservatórios Paraitinga e Biritiba são monitoradas pela Sabesp e foram cedidas gentilmente pelos engenheiros responsáveis pelas respectivas barragens (Eng. Luiz Carlos da Silva - Biritiba e Eng. Ernesto Nobuo Mory - Paraitinga).

As vazões de montante foram determinadas segundo MARQUES e ARGENTO (1988) para as estações PM e BM.

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

A vazão foi determinada multiplicando-se a velocidade da corrente, obtida pelo método do flutuador, pelo valor médio da área de escoamento.

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 pontos da secção escolhida. Desta forma, realizou-se levantamento da topografia da secção de escoamento e calculou-se sua área. Esse procedimento foi realizado em duas secções nos extremos de uma área de escoamento.

A vazão foi obtida pela equação 5:

$$Q = A \times v \quad (5)$$

sendo:

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

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

v = velocidade média do fluxo ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$).

2.6 Carga

2.6.1 Carga pontual

As cargas pontuais de nitrogênio e fósforo que chegam ao corpo d'água através dos tributários foram estimadas em cada estação através do produto entre os valores de vazão ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) e as concentrações de nitrogênio total em $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ e fósforo total em $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ com as unidades previamente corrigidas para obter o resultado em $\text{kg} \cdot \text{dia}^{-1}$. Segundo equação 6:

$$C = Q \times [x] \quad (6)$$

sendo:

C = carga ($\text{kg} \cdot \text{dia}^{-1}$);

Q = vazão ($\text{m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$); e

[x] = concentração do nutriente ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$).

Os valores de carga obtidos em cada coleta foram extrapolados e estimados para o período de um dia.

Para estimar os valores de carga por períodos mensais de agosto/05 a maio/06 foi utilizada a interpolação linear, também chamada de interpolação entre dois pontos. A interpolação é utilizada para se obter pontos com valores intermediários entre pontos conhecidos, neste caso os das datas de coleta. Após a obtenção dos pontos intermediários, os valores de carga em cada

estação foram agrupados de dois em dois, e a carga para o período mensal foi estimada através da planimetria, sendo o intervalo de tempo de 30 dias entre os períodos consecutivos.

Para estimar a carga durante o período seco e o período chuvoso, o valor máximo teórico de carga diária estimado em cada período para cada estação foi multiplicado pela quantidade de dias referentes ao período chuvoso e ao período seco.

O número de dias referentes ao período seco e ao período chuvoso foi considerado segundo trabalho realizado por MINUZZI *et al.* (2007), onde os autores estudaram o comportamento do período chuvoso da região sudeste do Brasil (que inclui a área de estudo), indicando que o início do período chuvoso na região dos reservatórios ocorre entre 23 de setembro e 2 de outubro e encerra entre 192 e 210 dias depois.

Para a estimativa da carga anual foram somados os valores de carga estimados para o período seco e o período chuvoso em cada uma das estações.

2.6.2 Carga não pontual

As cargas anuais de nitrogênio total e fósforo total via fontes não pontuais foram estimadas segundo os coeficientes propostos por JØRGENSEN (1988) em função da precipitação, da classificação geológica, do uso e ocupação do solo e da área de influência da bacia hidrográfica e por Castagnino, *apud* SALAS e MARTINO (1991) para a exportação urbana.

Para obtenção de dados sobre o uso e ocupação do solo foram utilizados os mapas de uso e ocupação das terras de 2004 de parte da bacia do Alto Tietê (EMPLASA, 2006). Estes mapas foram vetorizados e posteriormente delimitados pela área de influência direta dos reservatórios através de dados de relevo (MIRANDA, 2005), obtendo áreas menores que das

respectivas sub-bacias (38,39 km² para Paraitinga) e (63,09 km² para Biritiba e Biritiba Açu somadas).

Para as estimativas de carga via terrestre e via precipitação segundo JØRGENSEN (1988) foram utilizados os valores mínimos dos coeficientes de exportação propostos para as equações de carga via terrestre (Tabelas 8) e mínimos de concentração para as equações de carga via precipitação (Tabela 10). Para a estimativa das cargas urbanas de nitrogênio e fósforo foram utilizados os coeficientes de exportação propostos por Castagnino, *apud* SALAS e MARTINO (1991) (Tabela 9).

O aporte difuso de fósforo total e nitrogênio total para o corpo d'água foram estimados através equação 7:

$$I_{\ell} = \sum_{i=1} A_{\ell} \times E \quad (7)$$

sendo:

I_{ℓ} = carga (mg.ano⁻¹);

A_{ℓ} = área (m²); e

E = coeficiente de exportação (mg.m⁻².ano⁻¹).

Tabela 8. Coeficientes de exportação de fósforo, E_P , e nitrogênio, E_n , (mg.m⁻².ano⁻¹).

	E_P		E_n	
	Classificação geológica		Classificação geológica	
Uso da terra	Ígneo	Sedimentar	Ígneo	Sedimentar
Drenagem de floresta				
Range	0,7 – 9	7 – 18	130 – 300	150 – 500
Média	4,7	11,7	200	340
Floresta + pastagem				
Range	6 – 12	11 – 37	200 – 600	300 – 800
Média	10,2	23,3	400	600
Áreas agrícolas:				
Cítricos	18			2240
Pastagem	15 – 75			100 – 850
Grãos	22 – 100			500 – 1200

Fonte: JØRGENSEN, 1988.

Tabela 9. Coeficientes urbanos de exportação de fósforo, E_P , e nitrogênio, E_N , ($\text{mg.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$).

Uso da terra	E_P	E_N
Urbano	100	500

Fonte: Castagnino, *apud* SALAS e MARTINO, 1991.

O aporte difuso de fósforo total e nitrogênio total para o corpo d'água via precipitação foram estimados através equação 8:

$$I_P = P \times C_P \times A_S \quad (8)$$

sendo:

I_P = entrada via precipitação (mg.ano^{-1});

P = precipitação anual (mm);

C_P = concentração do nutriente na água da chuva (mg.L^{-1}); e

A_S = área da superfície do corpo d'água (m^2).

Tabela 10. Concentração dos nutrientes fósforo e nitrogênio na água da chuva (mg.L^{-1}).

	C_{PP}	C_{NP}
Range	0,025 - 0,1	0,3 - 1,6
Média	0,07	1,0

Fonte: JØRGENSEN, 1988.

2.7 Balanço de massa

2.7.1 Balanço de massa para cargas pontuais

Os balanços de massa de nitrogênio total e fósforo total para os meses de coleta foram estimados a partir da diferença dos valores de carga estimados para a entrada (estações PM e BM) e para a saída (estações PJ e BJ), para cada um dos respectivos nutrientes em cada um dos reservatórios.

Os balanços de massa para o período seco e para o período chuvoso foram estimados através das diferenças de carga referentes ao período seco e ao período chuvoso estimados para as estações PM e PJ, reservatório Paraitinga e BM e BJ, reservatório Biritiba.

O balanço de massa anual foi estimado através da diferença entre as cargas anuais estimadas para cada reservatório.

2.7.2 Balanço de massa total (cargas pontual e não pontual)

O balanço de massa ($\text{kg}\cdot\text{ano}^{-1}$) foi estimado através da soma das cargas que entram nos reservatórios, pontual e não pontual, menos a carga que sai dos reservatórios. O balanço foi estimado através da equação 9:

$$B = (C_E + I_\ell + I_P) - C_S \quad (9)$$

sendo:

B = balanço;

C_E = carga pontual (entrada);

I_ℓ = carga não pontual (via solo);

I_P = carga não pontual (via precipitação); e

C_S = carga pontual (saída).

2.8 Coeficiente de exportação do reservatório

O coeficiente de exportação dos reservatórios ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{ano}^{-1}$) foi calculado através da divisão da carga anual que sai do reservatório, estações PJ e BJ, ($\text{kg}\cdot\text{ano}^{-1}$) pela área do reservatório (m^2).

3 RESULTADOS

3.1 Variáveis físicas, químicas e biológicas

3.1.1 Temperatura do ar

Durante as coletas, o menor valor para a temperatura do ar (Figura 10) foi de 16 °C, em agosto/05, para a região do reservatório de Biritiba; e o maior valor, de 33 °C, em novembro/05, para a região do reservatório de Paraitinga.

As temperaturas do ar apresentaram maiores valores para a região do reservatório Paraitinga, variando de 19 °C, em agosto/05, a 33 °C, em novembro/05; e menores para a região do reservatório de Biritiba variando de 16 °C, em agosto/05 a 31 °C, em novembro/05.

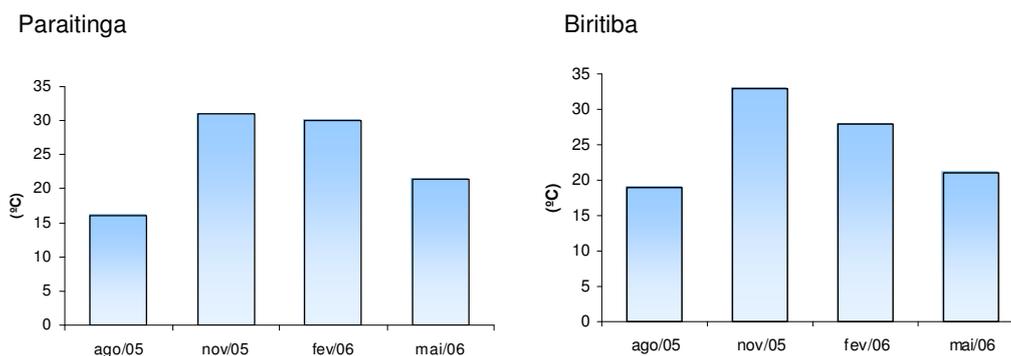


Figura 10. Temperatura do ar (°C) no momento da coleta, para a região dos reservatórios Paraitinga e Biritiba, no período de agosto/2005 a maio/2006.

3.1.2 Temperatura da água

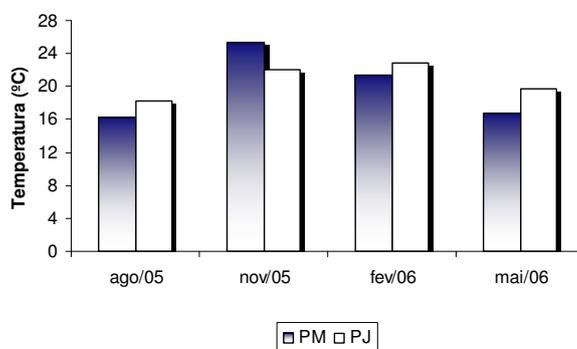
A variação da temperatura da água no período de estudo está apresentada na figura 11.

Para a estação PM, o maior valor para temperatura foi encontrado em novembro/05 (25,3 °C) e o menor em agosto/05 (18,2 °C), com média de 19,9 °C. Para a estação PJ, o valor máximo foi observado em fevereiro/06 (22,8 °C) e mínimo em agosto/06 (18,2 °C), com média de 20,7 °C.

Para a estação BM, o maior valor para temperatura foi encontrado em fevereiro/06 (22,9 °C) e o menor em agosto/05 (16,3 °C) com média de 19,0 °C. Para a estação BJ, o valor máximo foi em fevereiro/06 (25,4 °C) e mínimo em agosto/06 (19,5 °C) com média de 21,9 °C.

Nas coletas as temperaturas aumentaram das estações de montante para as de jusante, com exceção para novembro/05 em Paraitinga, com média de aumento de 0,8 °C para Paraitinga e 2,9 °C para Biritiba.

Paraitinga



Biritiba

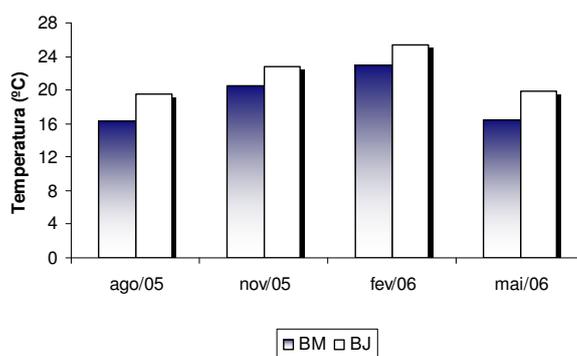


Figura 11. Variação da temperatura da água (°C), nas estações PM e PJ na região do reservatório Paraitinga e BM e BJ na região do reservatório Biritiba, no período de agosto/2005 a maio/2006.

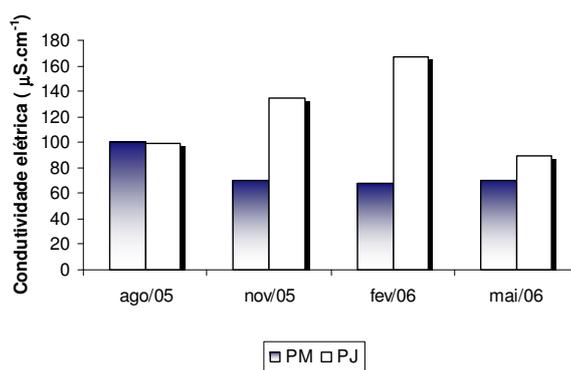
3.1.3 Condutividade elétrica

Os maiores valores para condutividade elétrica foram obtidos na região do reservatório Paraitinga, onde para a estação PM, o valor máximo foi observado em agosto/05 ($100 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) e o mínimo em fevereiro/06 ($68 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), apresentando média de $77 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Na estação PJ, o maior valor foi encontrado em fevereiro/06 ($167 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) e o menor valor em maio/06 ($90 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), apresentando média de $123 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Para a estação BM, o valor máximo para condutividade elétrica foi obtido em novembro/05 ($45 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) e o mínimo em fevereiro/06 ($27 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), apresentando média de $33 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Na estação BJ, o maior valor foi encontrado em agosto/05 e fevereiro/06 ($99 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) e o menor valor em maio/06 ($60 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), apresentando média de $86 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Nas coletas os valores de condutividade elétrica (Figura 12) aumentaram das estações de montante para as de jusante, com exceção para agosto/05 em Paraitinga.

Paraitinga



Biritiba

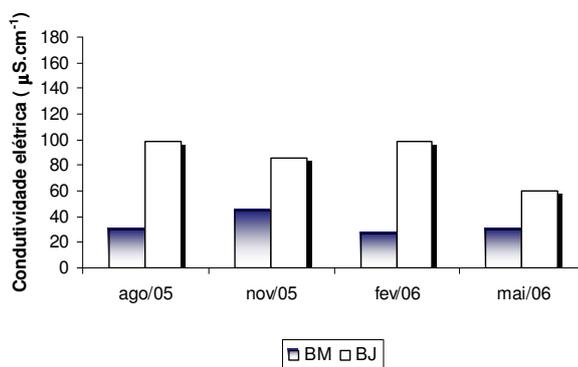


Figura 12. Variação da condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), nas estações PM e PJ na região do reservatório Paraitinga e BM e BJ na região do reservatório Biritiba, no período de agosto/2005 a maio/2006.

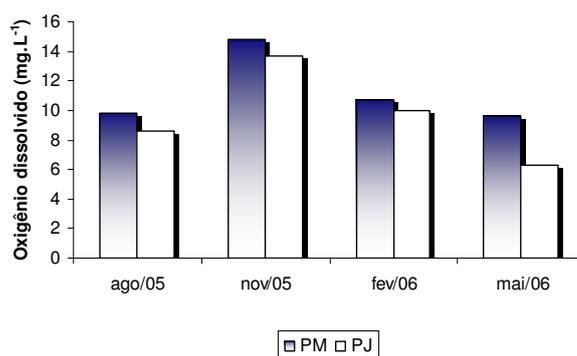
3.1.4 Oxigênio dissolvido

Em todas as coletas as concentrações de oxigênio dissolvido diminuíram das estações PM e BM para as estações PJ e BJ (Figura 13).

As maiores concentrações de oxigênio dissolvido foram encontradas em novembro/05, 14,8 mg.L⁻¹, 13,7 mg.L⁻¹, 12,6 mg.L⁻¹ e 11,1 mg.L⁻¹, e os menores em maio/06, 9,6 mg.L⁻¹, 6,3 mg.L⁻¹, 8,0 mg.L⁻¹ e 6,3 mg.L⁻¹, respectivamente para as estações PM, PJ, BM e BJ.

Na média, foram observadas concentrações de 11,2 mg.L⁻¹, 9,7 mg.L⁻¹, 10,4 mg.L⁻¹ e 8,5 mg.L⁻¹, respectivamente para as estações PM, PJ, BM e BJ.

Paraitinga



Biritiba

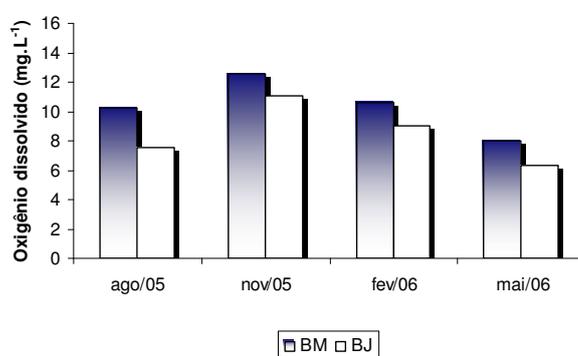


Figura 13. Variação da concentração de oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}), nas estações PM e PJ na região do reservatório Paraitinga e BM e BJ na região do reservatório Biritiba, no período de agosto/2005 a maio/2006.

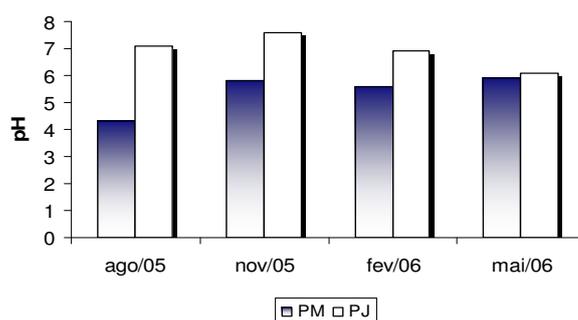
3.1.5 pH

Em todas as coletas os valores de pH aumentaram das estações de montante para as de jusante (Figura 14).

Os maiores valores para pH foram detectados em novembro/05, 5,9, 7,6, 5,6 e 7,9, e os menores em agosto/05, 4,3, 6,1, 4,4 e 6,1, respectivamente para as estações PM, PJ, BM e BJ.

Na média, foram observados valores de 5,4, 6,9, 5,3 e 6,9, para as estações PM, PJ, BM e BJ, respectivamente.

Paraitinga



Biritiba

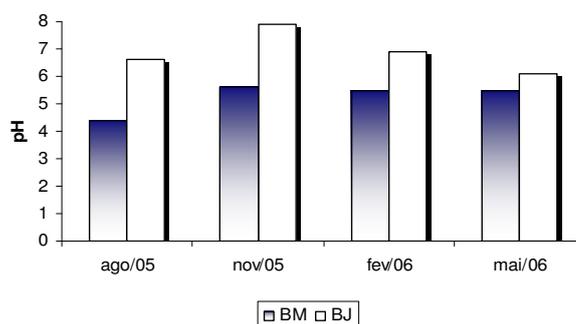


Figura 14. Variação do pH, nas estações PM e PJ na região do reservatório Paraitinga e BM e BJ na região do reservatório Biritiba, no período de agosto/2005 a maio/2006.

3.1.6 Nutrientes

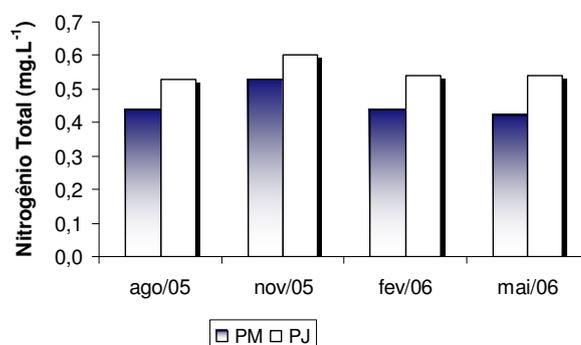
3.1.6.1 Nitrogênio Total

A concentração de nitrogênio total na estação PM foi menor em maio/06 ($0,42 \text{ mg.L}^{-1}$) e maior em novembro/05 ($0,53 \text{ mg.L}^{-1}$), com média de $0,46 \text{ mg.L}^{-1}$. Na estação PJ foi observada menor concentração desta variável em agosto/05 ($0,53 \text{ mg.L}^{-1}$) e maior em novembro/05 ($0,60 \text{ mg.L}^{-1}$), com média de $0,55 \text{ mg.L}^{-1}$.

Para a estação BM, a menor concentração de nitrogênio total foi observada em maio/06 ($0,37 \text{ mg.L}^{-1}$) e a maior, em novembro/05 ($0,45 \text{ mg.L}^{-1}$), com média de $0,41 \text{ mg.L}^{-1}$. Na estação BJ foi verificada menor concentração em fevereiro/06 ($0,49 \text{ mg.L}^{-1}$) e maior em novembro/05 ($0,63 \text{ mg.L}^{-1}$), com média de $0,56 \text{ mg.L}^{-1}$.

Em todas as coletas, as concentrações de nitrogênio total aumentaram das estações PM e BM para as estações PJ e BJ (Figura 15).

Paraitinga



Biritiba

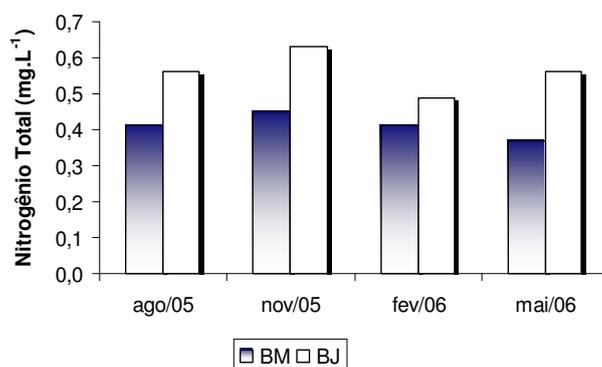


Figura 15. Variação da concentração de nitrogênio total (mg.L^{-1}), nas estações PM e PJ na região do reservatório Paraitinga e BM e BJ na região do reservatório Biritiba, no período de agosto/2005 a maio/2006.

3.1.6.2 Fósforo Total

As maiores concentrações de fósforo total foram observadas em novembro/05, sendo $27,33 \mu\text{g.L}^{-1}$, para a estação PM e $37,25 \mu\text{g.L}^{-1}$, para a estação PJ. As menores concentrações ocorreram em fevereiro/06, $13,56 \mu\text{g.L}^{-1}$, para a estação PM; e $26,72 \mu\text{g.L}^{-1}$, para a estação PJ. Na média, foram observadas concentrações de $22,78 \mu\text{g.L}^{-1}$, para a estação PM e $32,73 \mu\text{g.L}^{-1}$, para a estação PJ.

Na estação BM, a maior concentração de fósforo total foi encontrada em fevereiro/06 (25,90 $\mu\text{g.L}^{-1}$) e a menor em maio/06 (20,08 $\mu\text{g.L}^{-1}$), com média de 23,88 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Na estação BJ, a concentração mais elevada foi encontrada em novembro/05 (40,23 $\mu\text{g.L}^{-1}$) e a menor em fevereiro/06 (34,44 $\mu\text{g.L}^{-1}$), com média de 37,63 $\mu\text{g.L}^{-1}$.

Em todas as coletas, as concentrações de fósforo total aumentaram das estações de montante para as estações de jusante.

As concentrações de fósforo total estão apresentadas na figura 16.

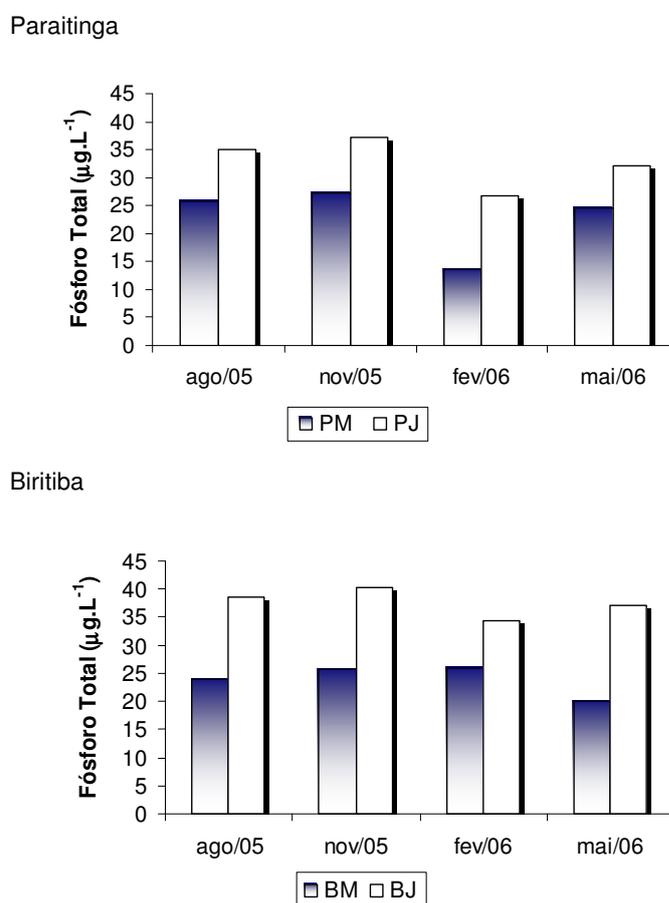


Figura 16. Variação da concentração de fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$), nas estações PM e PJ na região do reservatório Paraitinga e BM e BJ na região do reservatório Biritiba, no período de agosto/2005 a maio/2006.

3.1.6.3 Amônia Total

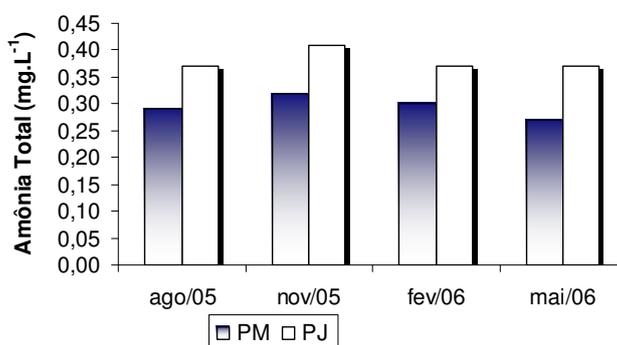
Para a estação PM, a maior concentração de amônia total foi encontrada

em novembro/05 (0,32 mg.L⁻¹) e a menor, em maio/06 (0,27 mg.L⁻¹), com média de 0,30 mg.L⁻¹. Na estação PJ, a maior concentração foi observada em novembro/05 (0,41 mg.L⁻¹), sendo que nas demais coletas, agosto/05, fevereiro/06 e maio/06, a concentração permaneceu constante (0,37 mg.L⁻¹), apresentando média de 0,38 mg.L⁻¹.

Para a estação BM, a maior concentração de amônia total foi encontrada em novembro/05 e fevereiro/06 (0,29 mg.L⁻¹), a menor concentração foi observada em maio/06 (0,25 mg.L⁻¹), com média de 0,28 mg.L⁻¹. Na estação BJ, a maior concentração foi obtida em novembro/05 (0,44 mg.L⁻¹) e a menor, em fevereiro/06 (0,36 mg.L⁻¹), com média de 0,40 mg.L⁻¹.

Em todas as coletas, as concentrações de amônia total (Figura 17) aumentaram das estações de montante para as estações de jusante.

Paraitinga



Biritiba

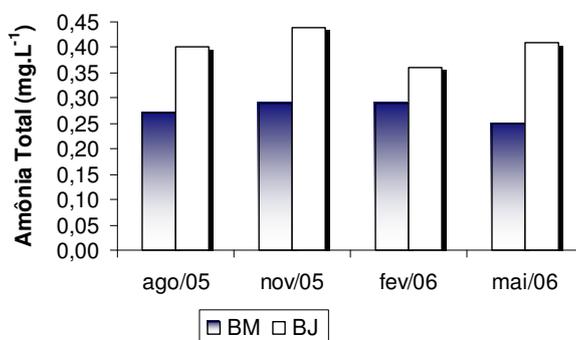


Figura 17. Variação da concentração de amônia total (mg.L⁻¹), nas estações PM e PJ na região do reservatório Paraitinga e BM e BJ na região do reservatório Biritiba, no período de agosto/2005 a maio/2006.

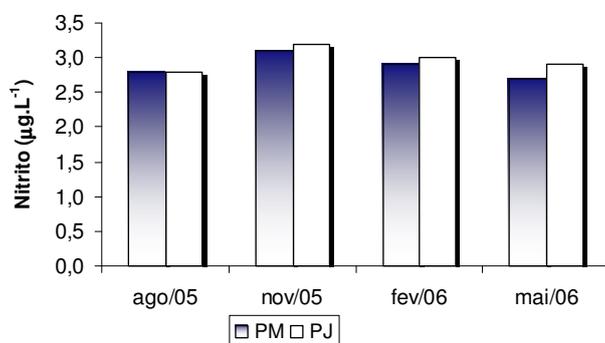
3.1.6.4 Nitrito

As concentrações de nitrito foram iguais para as estações PM e PJ no mês de agosto, $2,8 \mu\text{g.L}^{-1}$. Para a estação PM, a maior concentração foi de $3,1 \mu\text{g.L}^{-1}$, em novembro/05 e a menor de $2,7 \mu\text{g.L}^{-1}$, em maio/06, apresentando média de $0,12 \mu\text{g.L}^{-1}$. Para a estação PJ, a maior concentração foi de $3,2 \mu\text{g.L}^{-1}$, em novembro/05 e a menor de $2,8 \mu\text{g.L}^{-1}$, em agosto/05, com média de $0,14 \mu\text{g.L}^{-1}$.

Em todos os meses houve aumento na concentração desta variável da estação BM para a estação BJ. A maior concentração foi de $3,2 \mu\text{g.L}^{-1}$, para a estação BJ, em novembro/05; e a menor concentração foi de $2,4 \mu\text{g.L}^{-1}$, para a estação BM, em maio/06. Na média, foram observadas concentrações de $2,7 \mu\text{g.L}^{-1}$, para a estação BM e $2,9 \mu\text{g.L}^{-1}$, para a estação BJ.

A variação da concentração de nitrito está apresentada na figura 18.

Paraitinga



Biritiba

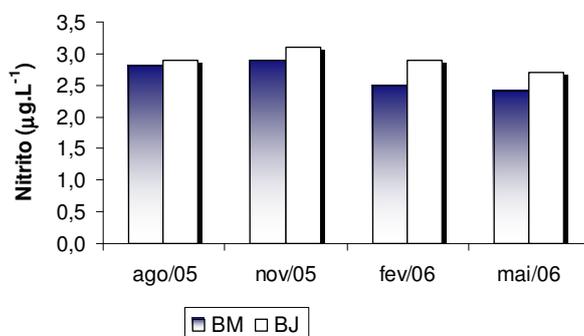


Figura 18. Variação da concentração de nitrito ($\mu\text{g.L}^{-1}$), nas estações PM e PJ na região do reservatório Paraitinga e BM e BJ na região do reservatório Biritiba, no período de agosto/2005 a maio/2006.

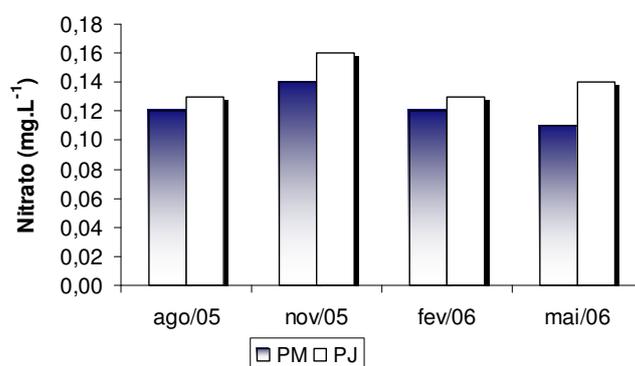
3.1.6.5 Nitrato

As concentrações de nitrato estão apresentadas na figura 19.

Para a estação PM, a maior concentração de nitrato foi de 0,16 mg.L⁻¹, em novembro/05 e a menor, de 0,11 mg.L⁻¹, em maio/06, com média de 0,12 mg.L⁻¹. Para a estação PJ, a maior concentração foi de 0,16 mg.L⁻¹, em novembro/05, e a menor, de 0,13 mg.L⁻¹, em agosto/05 e fevereiro/06, com média de 0,14 mg.L⁻¹.

Para a estação BM, a maior concentração de nitrato foi de 0,13 mg.L⁻¹, em novembro/05, e a menor, de 0,10 mg.L⁻¹, em fevereiro/06 e maio/06, apresentando média de 0,11 mg.L⁻¹. Para a estação BJ, a maior concentração de nitrato foi de 0,17 mg.L⁻¹, em novembro/05 e a menor de 0,11 mg.L⁻¹, em fevereiro/06, apresentando média de 0,14 mg.L⁻¹.

Paraitinga



Biritiba

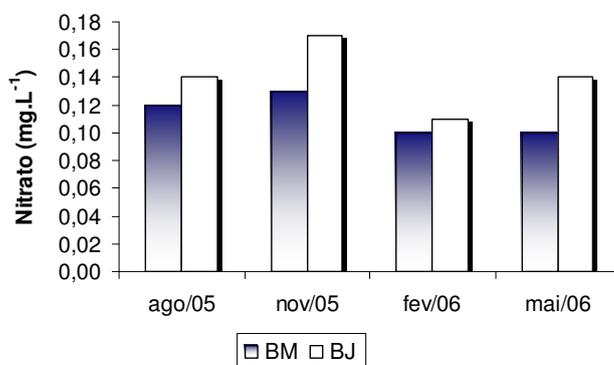


Figura 19. Variação da concentração de nitrato (mg.L⁻¹), nas estações PM e PJ na região do reservatório Paraitinga e BM e BJ na região do reservatório Biritiba, no período de agosto/2005 a maio/2006.

3.1.6.6 Ortofosfato

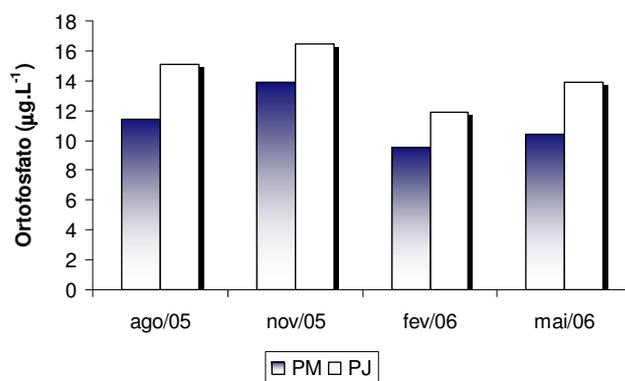
As concentrações de ortofosfato estão apresentadas na figura 20.

As maiores concentrações de ortofosfato foram observadas em novembro/05, 13,90 $\mu\text{g.L}^{-1}$, 16,42 $\mu\text{g.L}^{-1}$, 16,85 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e 12,40 $\mu\text{g.L}^{-1}$, e as menores em fevereiro/06, 9,49 $\mu\text{g.L}^{-1}$, 11,88 $\mu\text{g.L}^{-1}$, 9,92 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e 14,04 $\mu\text{g.L}^{-1}$, respectivamente para as estações PM, PJ, BM e BJ.

Na média, foram observadas concentrações de 11,31 $\mu\text{g.L}^{-1}$, 14,32 $\mu\text{g.L}^{-1}$, 11,14 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e 14,90 $\mu\text{g.L}^{-1}$, respectivamente para as estações PM, PJ, BM e BJ.

Em todas as coletas, as concentrações de ortofosfato aumentaram das estações PM e BM para as estações PJ e BJ.

Paraitinga



Biritiba

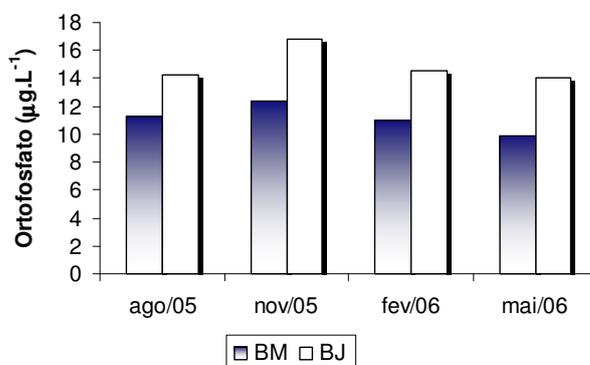


Figura 20. Variação da concentração de ortofosfato ($\mu\text{g.L}^{-1}$), nas estações PM e PJ na região do reservatório Paraitinga e BM e BJ na região do reservatório Biritiba, no período de agosto/2005 a maio/2006.

3.1.7 Clorofila a

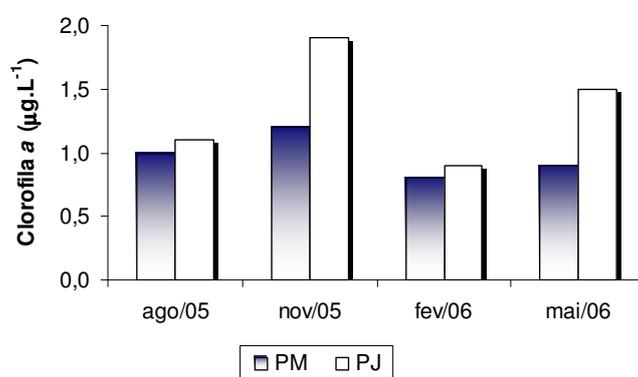
As concentrações de clorofila a estão apresentadas na figura 21.

As maiores concentrações de clorofila a foram encontradas em novembro/05, $1,2 \mu\text{g.L}^{-1}$, $1,9 \mu\text{g.L}^{-1}$, $1,8 \mu\text{g.L}^{-1}$ e $1,7 \mu\text{g.L}^{-1}$, e as menores em fevereiro/06, $0,8 \mu\text{g.L}^{-1}$, $0,9 \mu\text{g.L}^{-1}$, $0,8 \mu\text{g.L}^{-1}$ e $0,9 \mu\text{g.L}^{-1}$, respectivamente para as estações PM, PJ, BM e BJ.

Na média, foram observadas concentrações de $1,0 \mu\text{g.L}^{-1}$, $1,4 \mu\text{g.L}^{-1}$, $1,3 \mu\text{g.L}^{-1}$ e $1,4 \mu\text{g.L}^{-1}$, respectivamente para as estações PM, PJ, BM e BJ.

Nas coletas, as concentrações de clorofila a aumentaram das estações PM e BM para as estações PJ e BJ, com exceção para novembro/05 e maio/06 para Biritiba.

Paraitinga



Biritiba

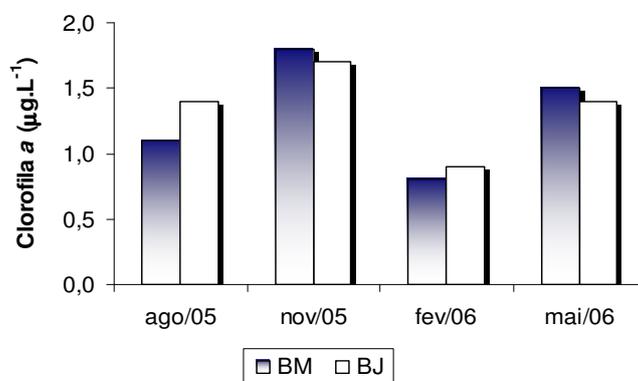


Figura 21. Variação da concentração de clorofila a ($\mu\text{g.L}^{-1}$), nas estações PM e PJ na região do reservatório Paraitinga e BM e BJ na região do reservatório Biritiba, no período de agosto/2005 a maio/2006.

3.2 Índice de Estado Trófico (IET)

3.2.1 Fósforo Total

Os valores para o índice de estado trófico para fósforo total, $IET_{(PT)}$, estão apresentados na figura 22.

O $IET_{(PT)}$ para a estação PM variou de $IET=34$ em fevereiro/06 a $IET=44$, em agosto/05 e novembro/05, com média de $IET=41$ (mesotrófico), para a estação PJ variou de $IET=44$, em fevereiro/06, a $IET=49$, em novembro/05, com média de $IET=47$ (mesotrófico). Para a estação BM, variou de $IET=44$, em novembro/05 e fevereiro/06 a $IET=40$, em maio/06, com média de $IET=42$ (mesotrófico). Para a estação BJ, variou de $IET=50$, em novembro/05, a $IET=48$ em fevereiro/06, com média de $IET=49$ (mesotrófico).

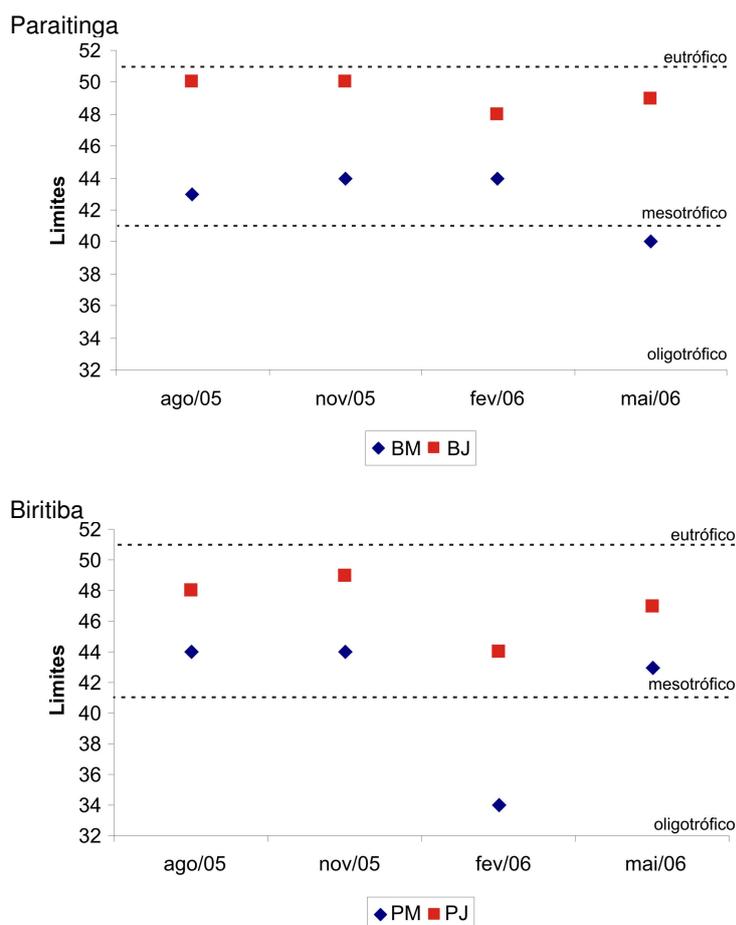


Figura 22. Variação do índice de estado trófico para fósforo total, $IET_{(PT)}$, nas estações PM e PJ na região do reservatório Paraitinga e BM e BJ na região do reservatório Biritiba, no período de agosto/2005 a maio/2006.

3.2.2 Clorofila a

Os valores para o índice de estado trófico para clorofila a, $IET_{(CHL)}$, estão apresentados na figura 23.

Os maiores valores para o $IET_{(CHL)}$ foram encontrados em novembro/05, $IET=32$, $IET=37$, $IET=36$ e $IET=36$ (oligotrófico), e os menores em fevereiro/06, $IET=28$, $IET=30$, $IET=28$ e $IET=30$ (oligotrófico), respectivamente para as estações PM, PJ, BM e BJ.

Na média, foram valores para o índice de $IET=30$, $IET=33$, $IET=33$ e $IET=33$ (oligotrófico), respectivamente para as estações PM, PJ, BM e BJ.

Os valores do $IET_{(CHL)}$ sofreram aumento das estações PM e BM para as estações PJ e BJ, com exceção para novembro/05 e maio/06 em Biritiba.

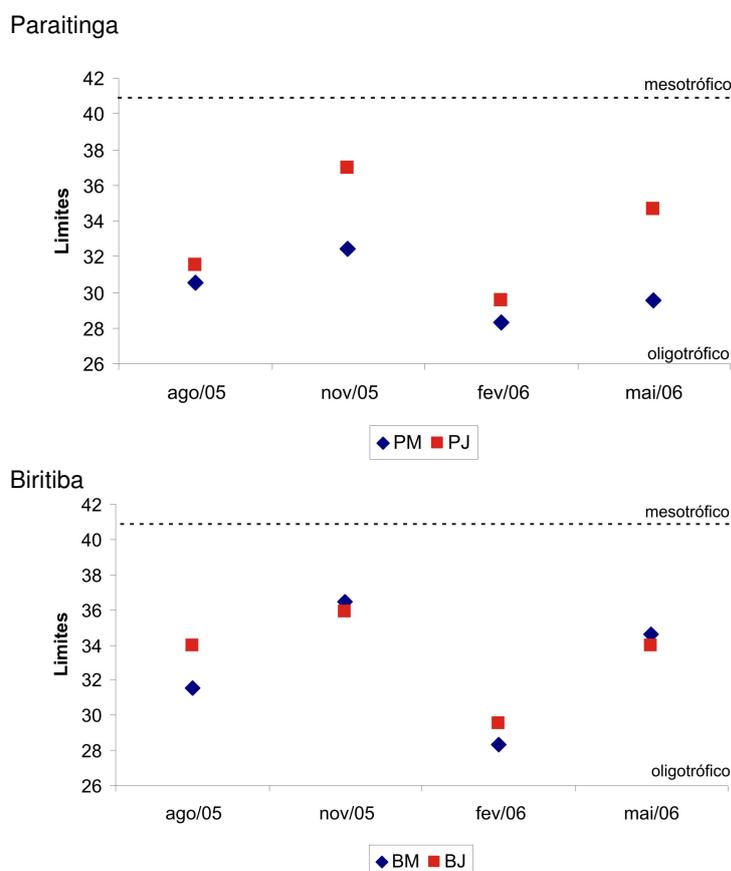


Figura 23. Variação do índice de estado trófico para clorofila a, $IET_{(CHL)}$, nas estações PM e PJ na região do reservatório Paraitinga e BM e BJ na região do reservatório Biritiba, no período de agosto/2005 a maio/2006.

3.3 Variáveis hidrológicas

3.3.1 Precipitação

Para o período de estudo, o maior índice de precipitação ocorreu em março/06, 224,5 mm e 368,2 mm, respectivamente para região do reservatório Paraitinga e Biritiba; o menor valor foi registrado em agosto/05, 11,9 mm e 7,3 mm, respectivamente. A precipitação total para o período foi de 1.204,0 mm e 1.473,6 mm, respectivamente.

O mês com mais dias com chuva foi setembro/05, com 20 dias para Paraitinga e 17 dias para Biritiba, de abril/06 a julho/06 choveu 6 dias por mês, em Paraitinga e abril, junho e julho/06 choveu 9 dias por mês, em Biritiba. Durante o período de estudo, por mês, têm-se em média 12 dias com chuva para Paraitinga e 13 dias para Biritiba.

A figura 24 apresenta os valores de precipitação e o número de dias com chuva para o período de estudo.

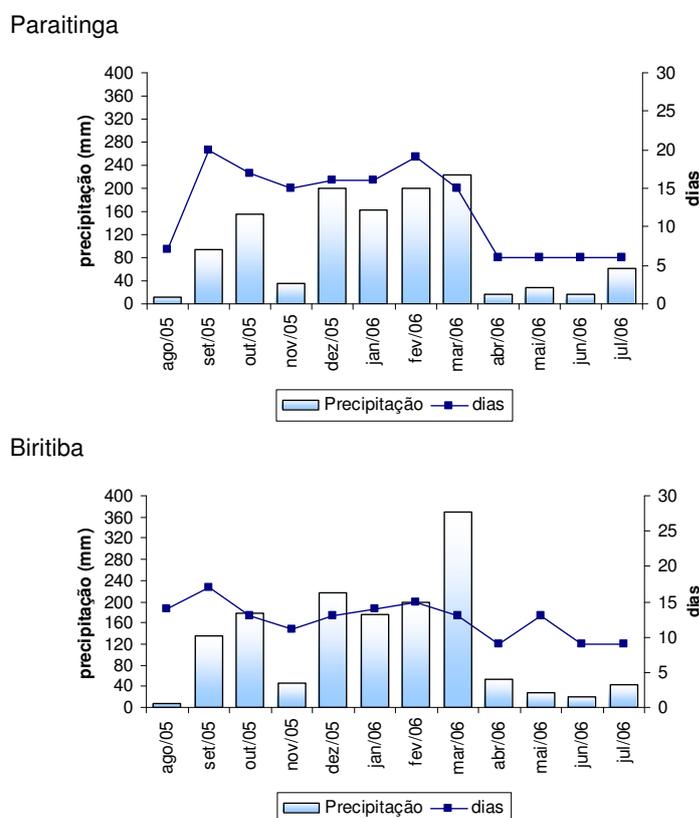


Figura 24. Valores mensais de pluviosidade (mm) e número de dias com precipitação para a região dos reservatórios Paraitinga e Biritiba.

3.3.2 Vazão

Os valores de vazão estão apresentados na figura 25.

Os menores valores de vazão nas estações PM e BM ocorreram em agosto/05, $0,39 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ e $0,32 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ respectivamente, e os maiores em fevereiro/06, $1,92 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ e $1,17 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, respectivamente. Na média apresentaram valores de $1,09 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ e $0,59 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ respectivamente para as estações.

A menor vazão na estação PJ foi de $0,31 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, em novembro/05, e a maior de $1,25 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, em agosto/06, apresentando média de $0,74 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$. Na estação BJ, a vazão permaneceu em $0,15 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, nas medições de agosto/05, novembro/05 e fevereiro/06 e na medição de maio/06 apresentou valor de $0,25 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, com média de $0,18 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ para o período de estudo.

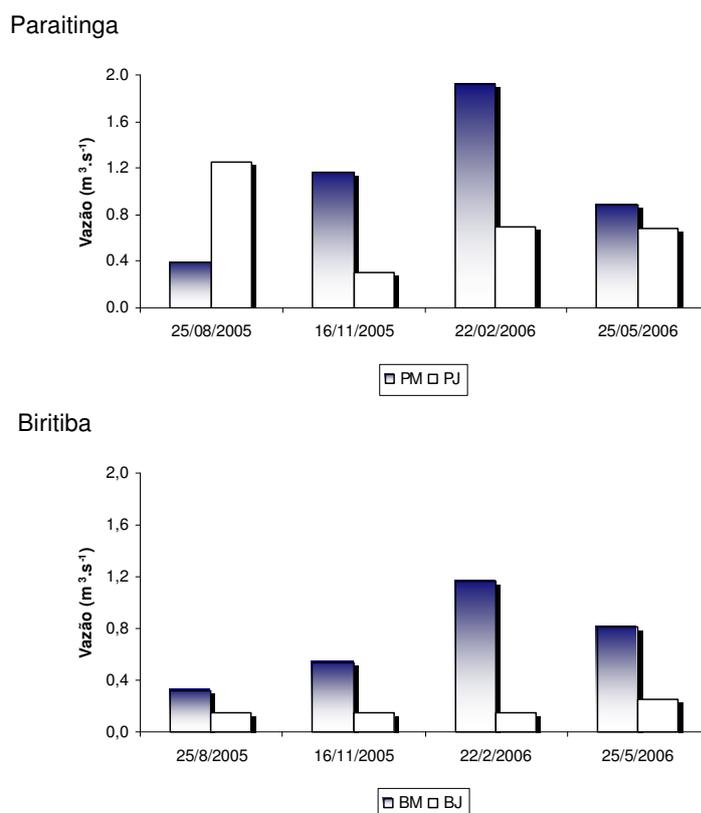


Figura 25. Vazão, nas estações PM e PJ na região do reservatório Paraitinga e BM e BJ na região do reservatório Biritiba, no período de agosto/2005 a maio/2006.

3.4 Carga

3.4.1 Carga pontual diária

3.4.1.1 Nitrogênio total

As cargas diárias estimadas de nitrogênio total para as estações PM e BM apresentaram menores valores em agosto/05, 14,94 kg e 11,34 kg, respectivamente, e maiores valores em fevereiro/06, 73,12 kg e 41,45 kg, respectivamente.

Para a estação PJ variaram de 16,07 kg em novembro/05 a 57,24 kg em agosto/05. Para a estação BJ variaram de 6,35 kg em fevereiro/06 a 12,10 kg em maio/06.

As cargas diárias estimadas de nitrogênio total são apresentadas na figura 26.

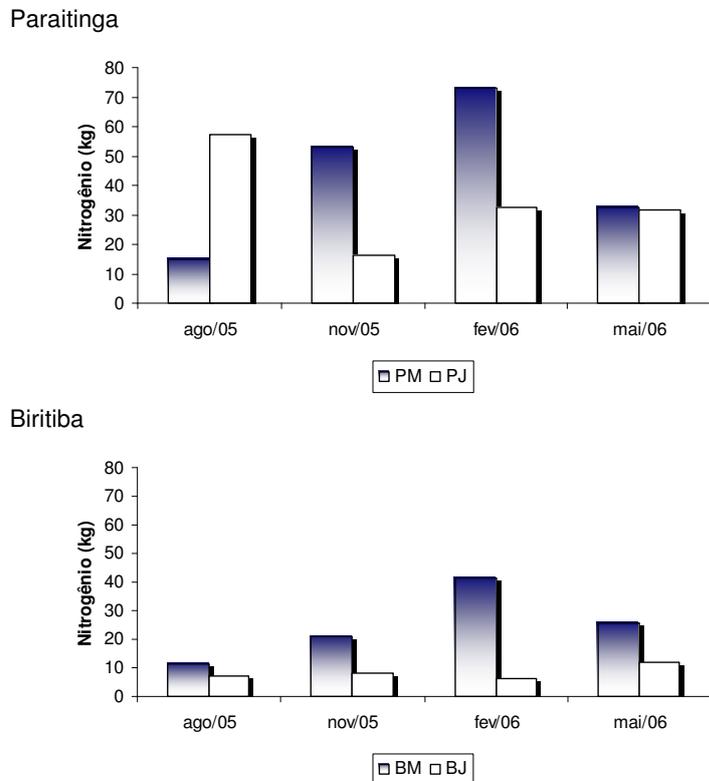


Figura 26. Estimativa da carga diária de nitrogênio total (kg), nas estações PM e PJ na região do reservatório Paraitinga e BM e BJ na região do reservatório de Biritiba, no período de agosto/2005 a maio/2006.

3.4.1.2 Fósforo total

As cargas diárias estimadas de fósforo total são apresentadas na figura 27.

As cargas estimadas de fósforo total para a estação PM variaram de 0,87 kg em agosto/05 a 2,75 kg em novembro/05, para a estação PJ variou de 1,00 kg em novembro/05 a 3,78 kg em agosto/05.

Na estação BM a carga diária de fósforo total variou de 0,66 kg em agosto/05 a 2,68 kg em fevereiro/06. Para a estação BJ variou de 0,50 kg em agosto/06 a 0,80 kg em maio/06.

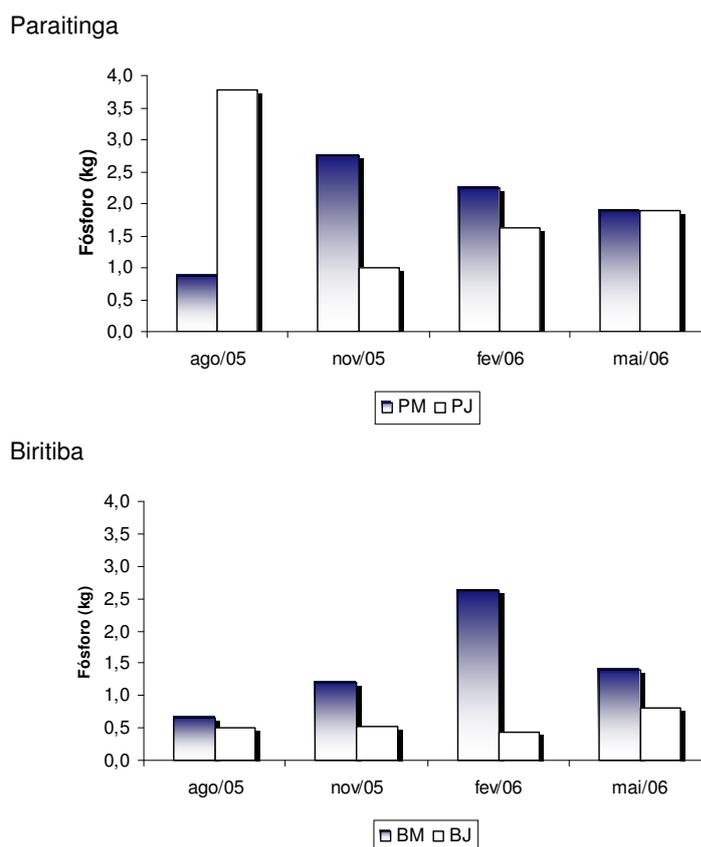


Figura 27. Estimativa da carga diária de fósforo total (kg), nas estações PM e PJ na região do reservatório Paraitinga e BM e BJ na região do reservatório de Biritiba, no período de agosto/2005 a maio/2006.

3.4.2 Carga pontual mensal no período de estudo

3.4.2.1 Nitrogênio total

A estimativa mensal da carga de nitrogênio total através de planimetria mostra que os maiores valores foram observados em janeiro/06 (2.062,74 kg), agosto/05 (1.486,55 kg), fevereiro/06 (1.172,38 kg) e abril/06 (329,16 kg), para as estações PM, PJ, BM e BJ, respectivamente (Figura 28).

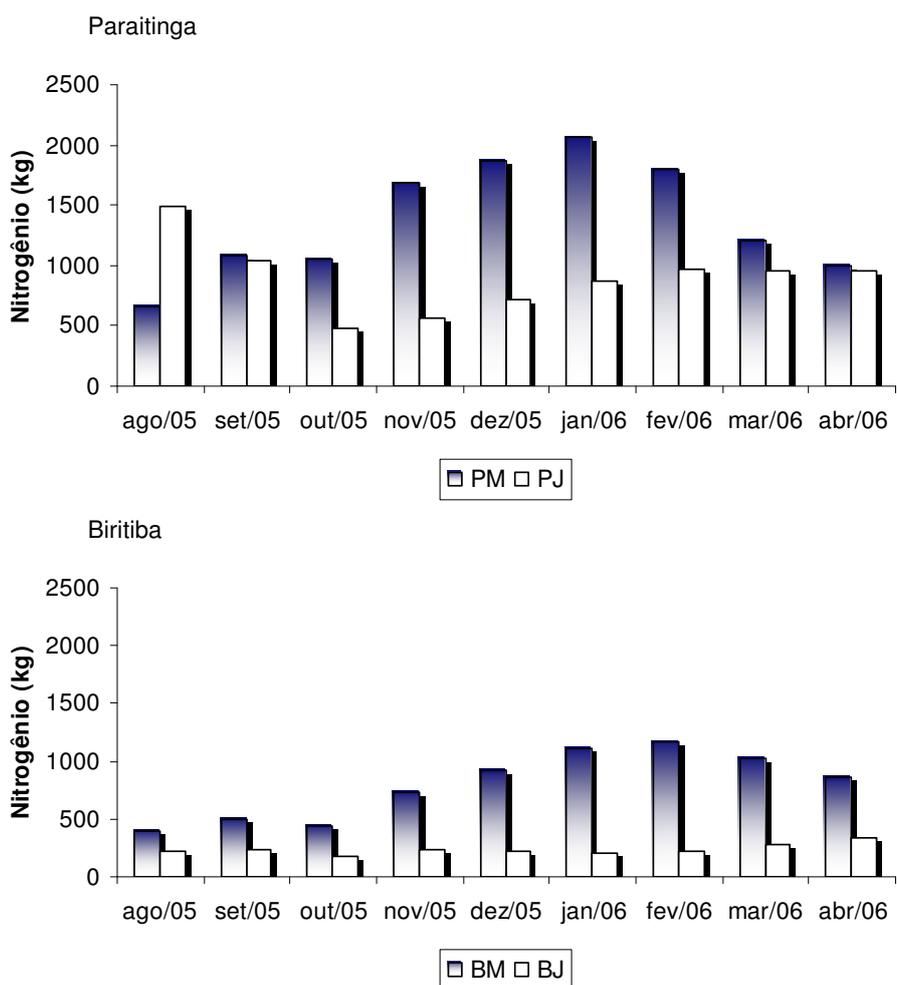


Figura 28. Estimativa da carga de nitrogênio total (kg) mensal nas estações PM e PJ na região do reservatório Paraitinga e BM e BJ na região do reservatório de Biritiba.

3.4.2.2 Fósforo total

A estimativa mensal da carga de fósforo total através de planimetria mostra que os maiores valores foram observados em novembro/05 (80,10 kg), agosto/05 (97,71 kg), fevereiro/06 (73,01 kg) e abril/06 (22,01 kg), para as estações PM, PJ, BM e BJ, respectivamente (Figura 29).

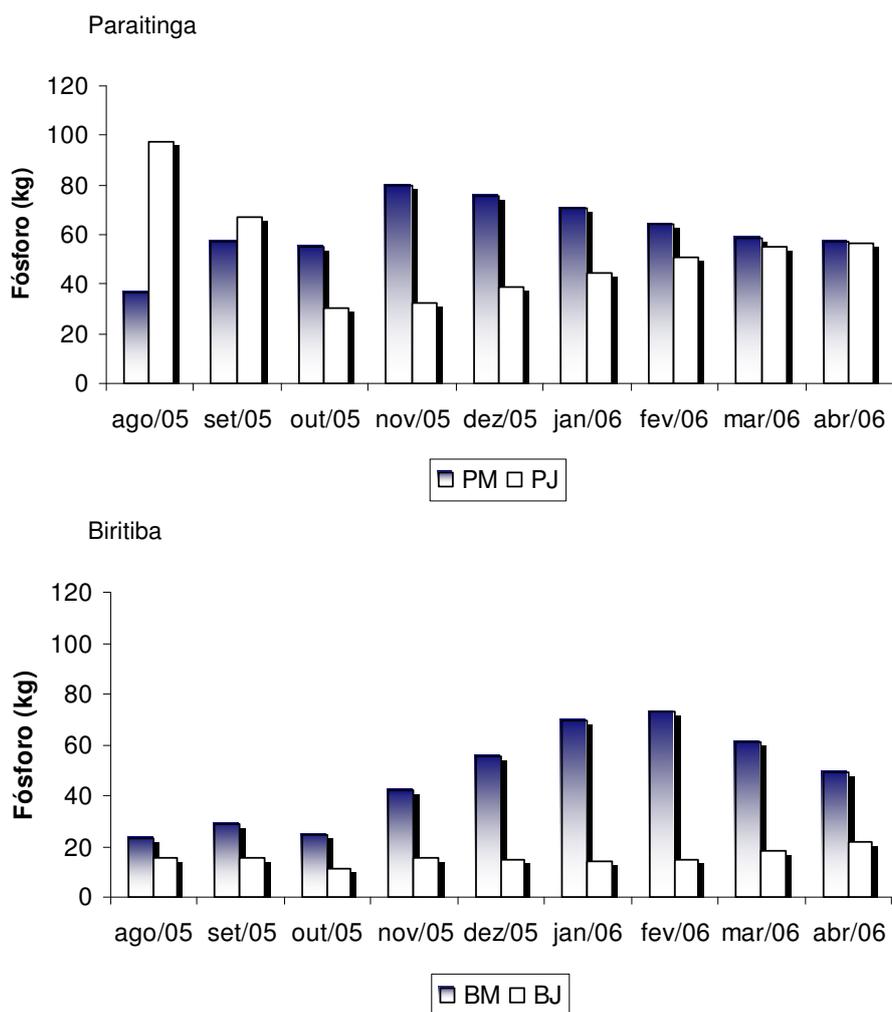


Figura 29. Estimativa da carga de fósforo total (kg) mensal nas estações PM e PJ na região do reservatório Paraitinga e BM e BJ na região do reservatório de Biritiba.

3.4.3 Carga pontual período seco e período chuvoso

Levando-se em consideração o trabalho realizado por MINUZZI *et al.* (2007), o volume e comportamento da pluviosidade e o número de dias com chuva para a região do reservatório durante o período de estudo (Figura 24), foi adotada a duração de 210 dias para o período chuvoso.

3.4.3.1 Nitrogênio total

As cargas de nitrogênio total (Figura 30) estimadas para o período seco para as estações PM, PJ, BM e BJ foram de 5.014,09 kg, 8.872,20 kg, 4.013,58 kg e 1.874,88 kg respectivamente, para o período chuvoso de 15.355,15 kg, 6.858,43 kg, 8.703,68 kg e 1.714,61 kg respectivamente.

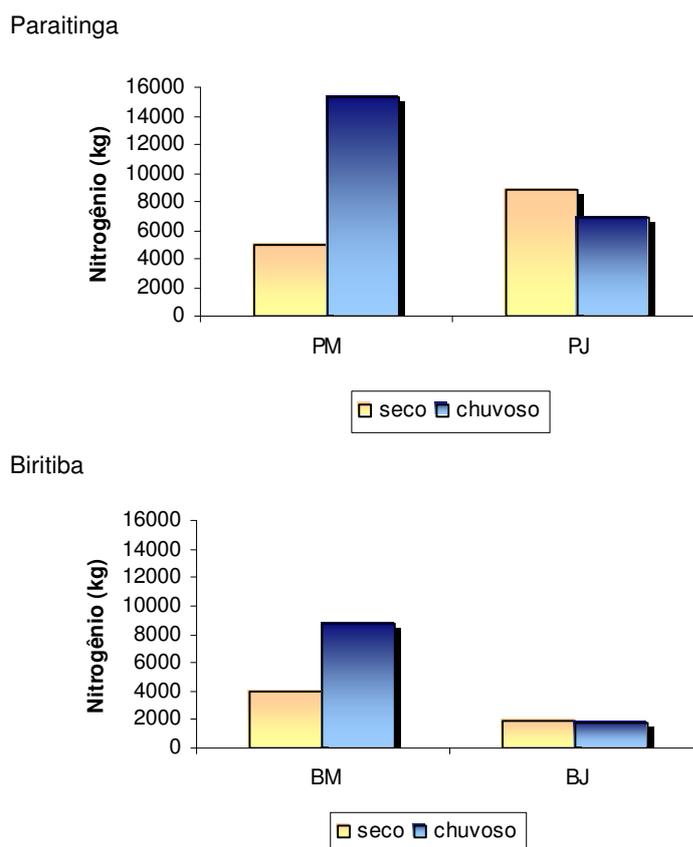


Figura 30. Estimativa da carga de nitrogênio total (kg) no período seco e chuvoso nas estações PM e PJ na região do reservatório Paraitinga e BM e BJ na região do reservatório de Biritiba.

3.4.3.2 Fósforo total

As cargas de fósforo total (Figura 31) estimadas para o período seco para as estações PM, PJ, BM e BJ foram de 293,21 kg, 585,23 kg, 217,82 kg e 124,55 kg, respectivamente, para o período chuvoso de 576,50 kg, 339,37 kg, 549,82 kg e 109,49 kg respectivamente.

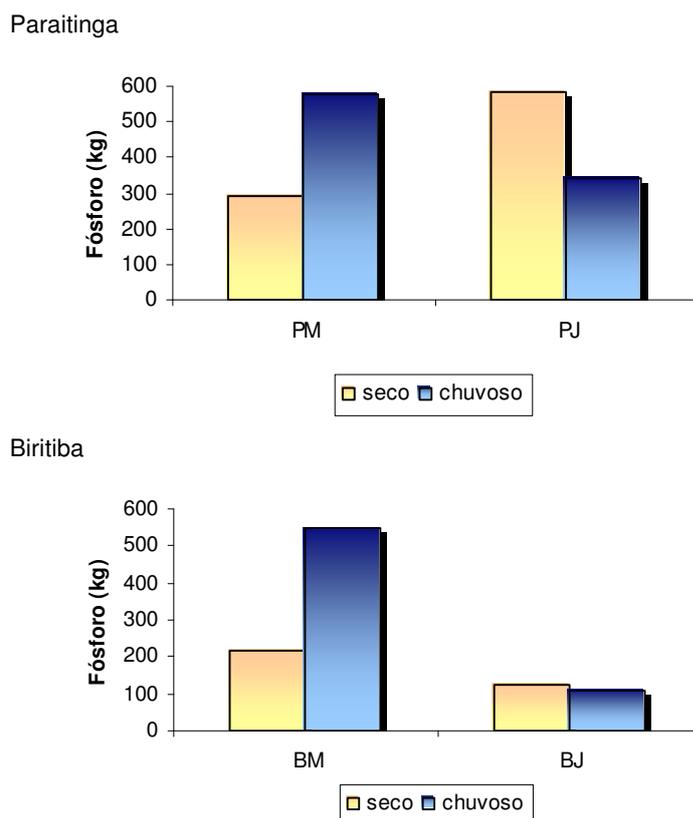


Figura 31. Estimativa da carga de fósforo total (kg) no período seco e chuvoso nas estações PM e PJ na região do reservatório Paraitinga e BM e BJ na região do reservatório de Biritiba.

3.4.4 Carga pontual anual

3.4.4.1 Nitrogênio total

As estimativas das cargas anuais de nitrogênio total são apresentadas na figura 32.

As cargas de nitrogênio total estimadas para o período de um ano foram de 20.369,24 kg, para a estação PM; 15.730,63 kg, para a estação PJ; 12.717,26 kg, para a estação BM e 3.589,49 kg, para a estação BJ.

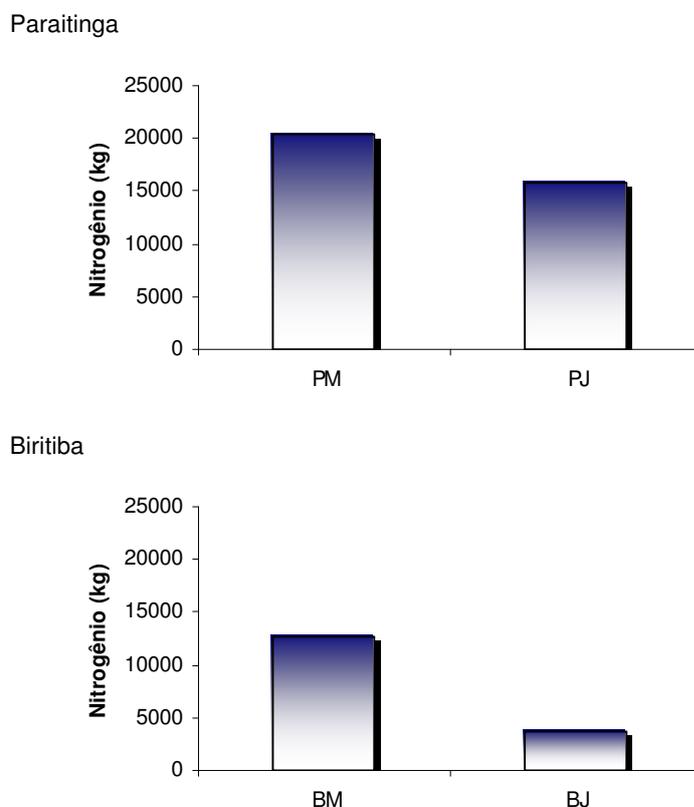


Figura 32. Estimativa da carga de nitrogênio total (kg) anual nas estações PM e PJ na região do reservatório Paraitinga e BM e BJ na região do reservatório de Biritiba.

3.4.4.2 Fósforo total

As estimativas das cargas anuais de fósforo total são apresentadas na figura 33.

As cargas de fósforo total estimadas para o período de um ano foram de 869,71 kg, para a estação PM; 924,60 kg, para a estação PJ; 767,64 kg, para a estação BM e 234,04 kg, para a estação BJ.

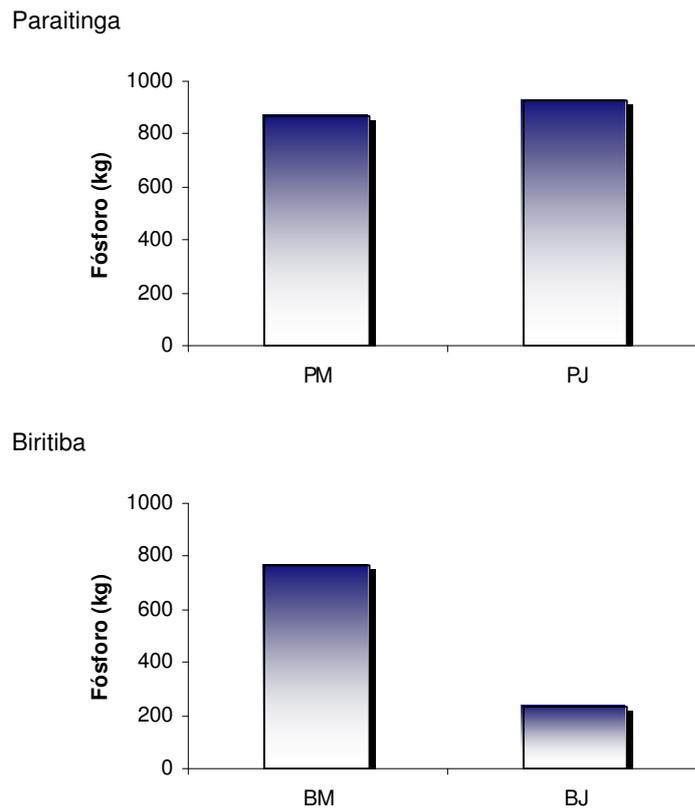


Figura 33. Estimativa da carga de fósforo total (kg) anual nas estações PM e PJ na região do reservatório Paraitinga e BM e BJ na região do reservatório de Biritiba.

3.4.5 Carga não pontual

3.4.5.1 Nitrogênio total

As cargas não pontuais de nitrogênio total estimadas para período de um ano, respectivamente para Paraitinga e Biritiba, foram de 2.510,20 kg e 5.827,61 kg de contribuição devido ao uso do solo e 2.322,32 kg e 4.084,82 kg devido à precipitação diretamente sobre o reservatório, perfazendo o total de 4.832,52 kg para Paraitinga e 9.912,43 kg para Biritiba.

As estimativas das cargas não pontuais de nitrogênio total são apresentadas na figura 34.

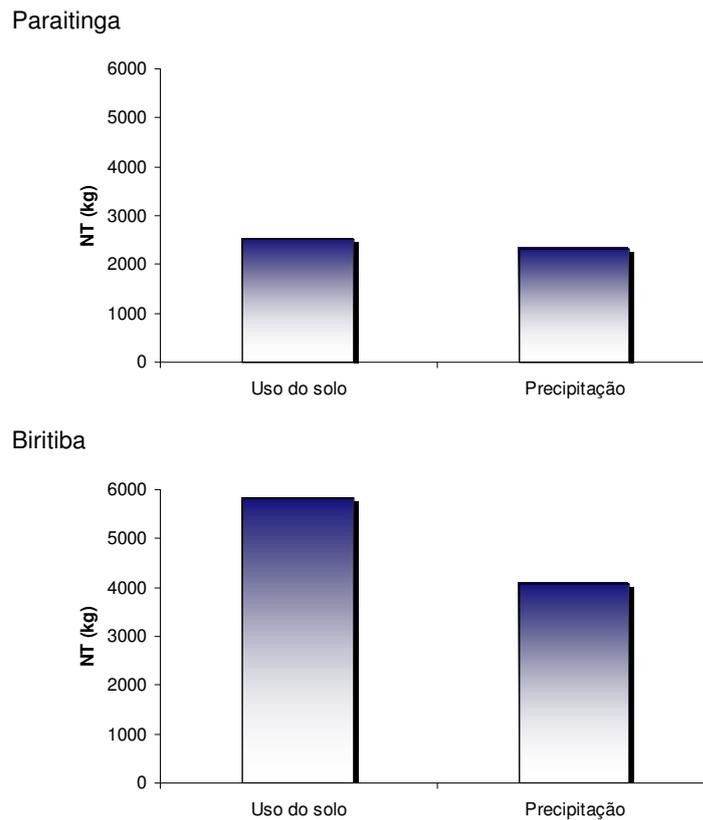


Figura 34. Estimativa das cargas não pontuais de nitrogênio total (kg) anuais na região dos reservatórios Paraitinga e Biritiba.

3.4.5.2 Fósforo total

As cargas não pontuais de fósforo total estimadas para período de um ano, respectivamente para Paraitinga e Biritiba, foram de 361,18 kg e 375,48 kg de contribuição devido ao uso do solo e 193,53 kg e 340,40 kg devido à precipitação diretamente sobre o reservatório, perfazendo o total de 554,70 kg para Paraitinga e 715,88 kg para Biritiba.

As estimativas das cargas não pontuais de fósforo total são apresentadas na figura 35.

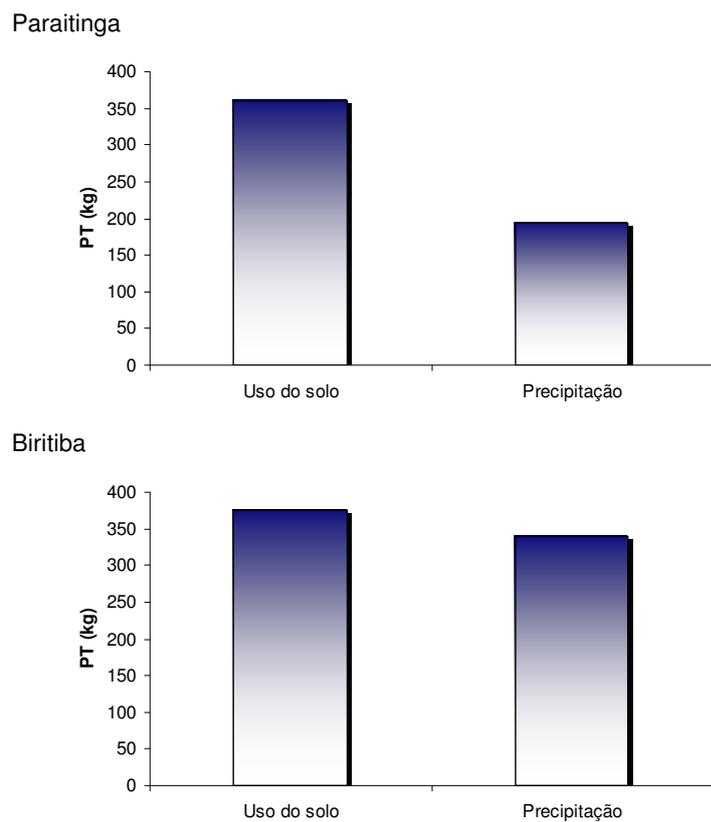


Figura 35. Estimativa das cargas não pontuais de fósforo total (kg) anuais na região dos reservatórios Paraitinga e Biritiba.

3.4.6 Carga pontual e não pontual

3.4.6.1 Nitrogênio total

A somatória das cargas pontuais e não pontuais de nitrogênio total estimadas para período de um ano, respectivamente para Paraitinga e Biritiba, foram de 25.201,76 kg e 22.629,69 kg (Figura 36).

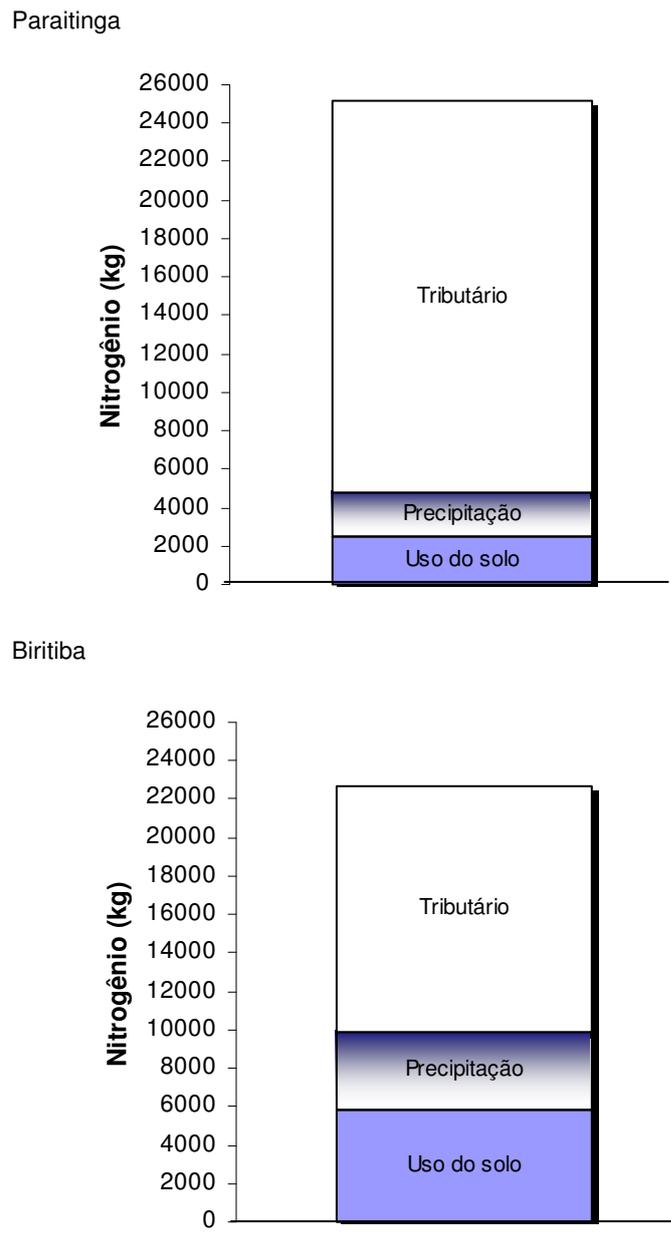


Figura 36. Somatória das cargas pontuais e não pontuais de nitrogênio total (kg) estimadas para os reservatórios Paraitinga e Biritiba.

3.4.6.2 Fósforo total

A somatória das cargas pontuais e não pontuais de fósforo total estimadas para o período de um ano, respectivamente para Paraitinga e Biritiba, foram de 1.424,41 kg e 1.483,51 kg (Figura 37).

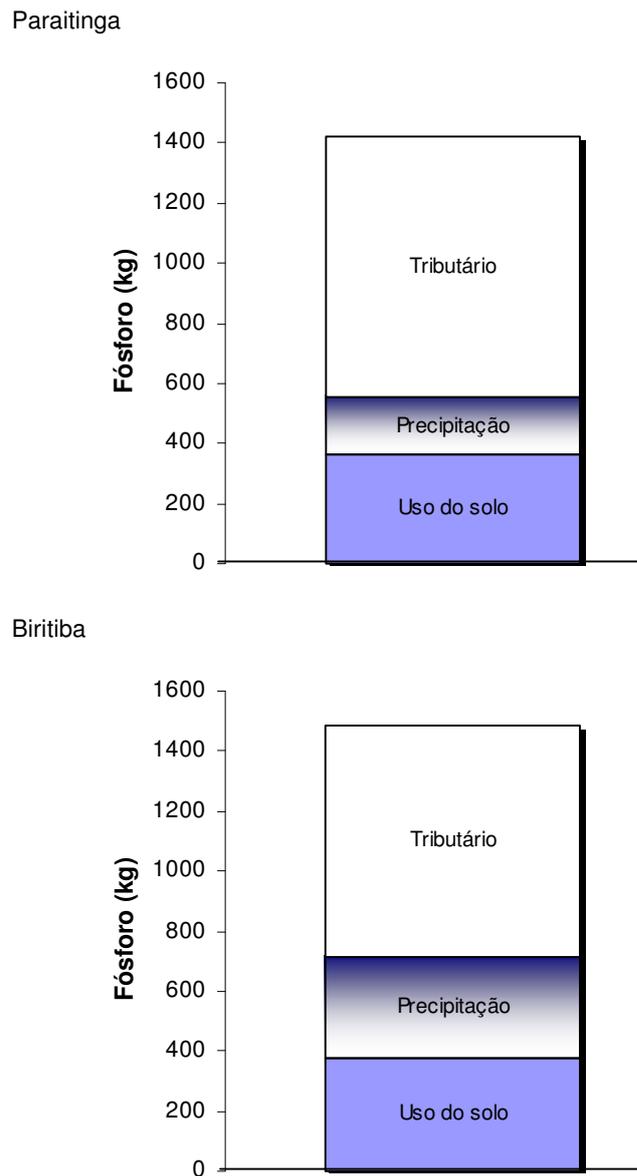


Figura 37. Somatória das cargas pontuais e não pontuais de fósforo total (kg) estimadas para os reservatórios Paraitinga e Biritiba.

3.5 Balanço de massa

3.5.1 Pontual - mensal

3.5.1.1 Nitrogênio total

A estimativa do balanço de nitrogênio total mensal das cargas pontuais (Figura 38) para o reservatório Paraitinga indicou exportação para o mês de

agosto/05, 1.269,07 kg, e retenção nos meses de novembro/05, fevereiro/06 e maio/06, 1.115,01 kg, 1.213,82 kg e 18,69 kg, respectivamente. Para o reservatório Biritiba, a estimativa do balanço indicou retenção em todo o período de estudo, apresentando os valores de 122,34 kg, 384,91 kg, 1.052,87 kg e 413,94 kg, respectivamente para agosto/05, novembro/05, fevereiro/06 e maio/06.

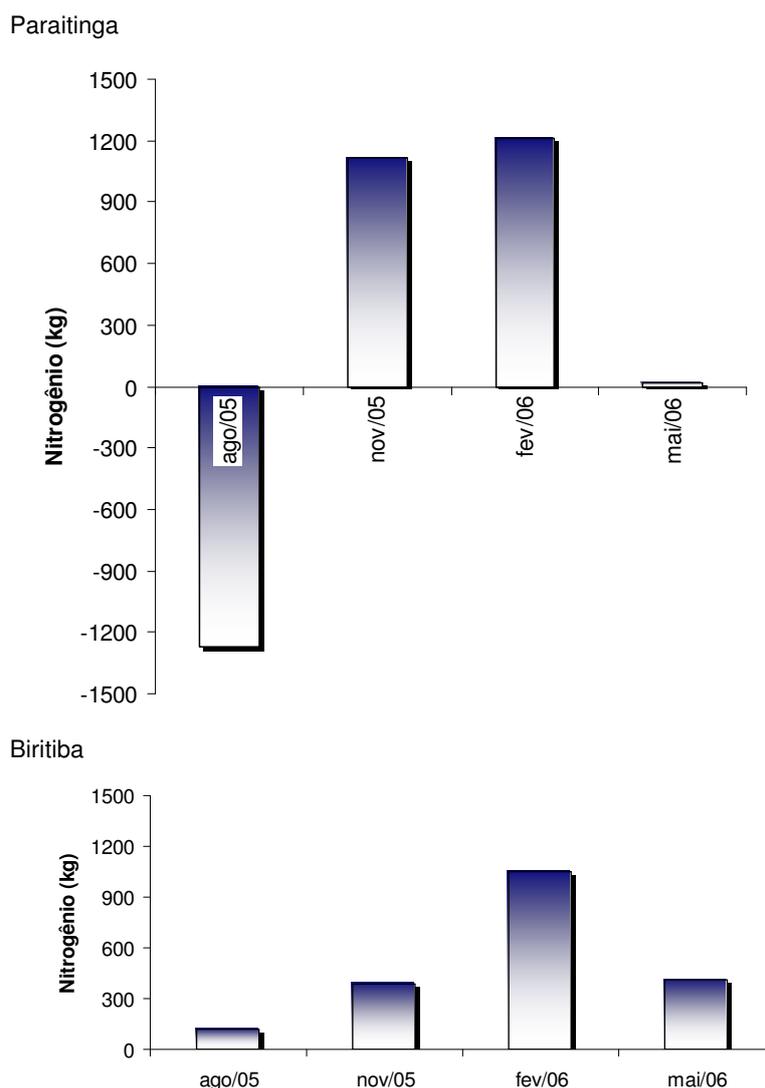


Figura 38. Balanço de nitrogênio total (kg) nos reservatórios Paraitinga e Biritiba no período de agosto/2005 a maio/2006. Valores negativos indicam exportação e valores positivos retenção.

3.5.1.2 Fósforo total

A estimativa do balanço de fósforo total mensal das cargas pontuais (Figura 39) para o reservatório Paraitinga indicou exportação para o mês de agosto/05, 87,13 kg, e retenção nos meses de novembro/05, fevereiro/06 e maio/06, 52,43 kg, 19,12 kg e 0,35 kg, respectivamente. Para o reservatório Biritiba, indicou retenção em todo o período de estudo, apresentando os valores de 4,78 kg, 20,29 kg, 65,16 kg e 18,05 kg, respectivamente em agosto/05, novembro/05, fevereiro/06 e maio/06.

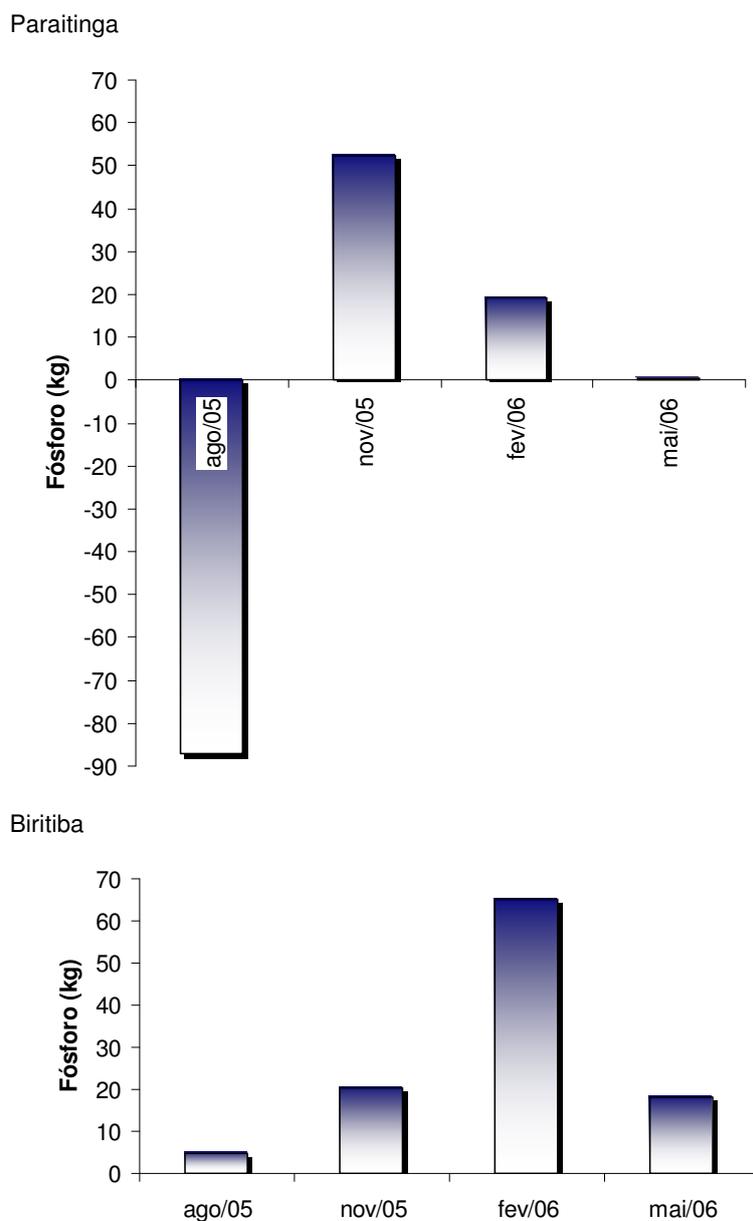


Figura 39. Balanço de nitrogênio total (kg) nos reservatórios Paraitinga e Biritiba no período de agosto/2005 a maio/2006. Valores negativos indicam exportação e valores positivos retenção.

3.5.2 Pontual – período seco e chuvoso

3.5.2.1 Nitrogênio total

A estimativa do balanço de nitrogênio total para período seco e chuvoso da carga pontual (Figura 40) para o reservatório Paraitinga indicou exportação para o período seco, 3.858,11 kg, e retenção para o período chuvoso, 8.496,72 kg. Para o reservatório Biritiba, indicou retenção para ambos os períodos, seco e chuvoso, 2.138,70 kg e 6.989,07 kg, respectivamente.

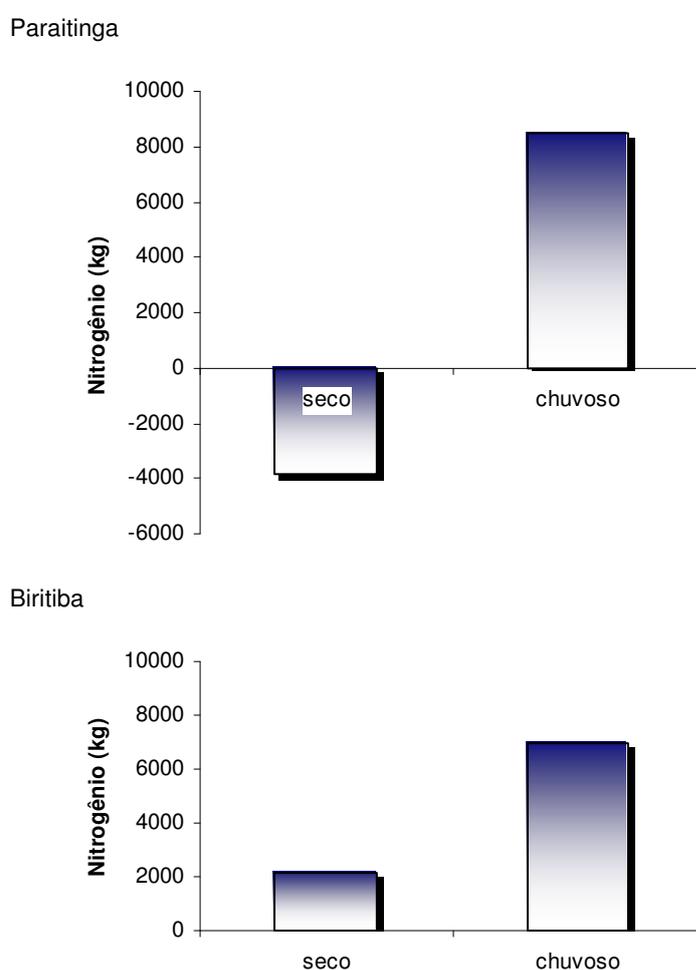


Figura 40. Balanço de nitrogênio total (kg) nos reservatórios Paraitinga e Biritiba no período seco e período chuvoso. Valores negativos indicam exportação e valores positivos retenção.

3.5.2.2 Fósforo total

A estimativa do balanço de fósforo total para período seco e chuvoso da carga pontual (Figura 41) para o reservatório Paraitinga indicou exportação para o período seco, 292,03 kg, e retenção para o período chuvoso, 237,14 kg. Para o reservatório Biritiba, indicou retenção para ambos os períodos, período seco e período chuvoso, sendo os valores respectivamente 93,27 kg e 440,33 kg.

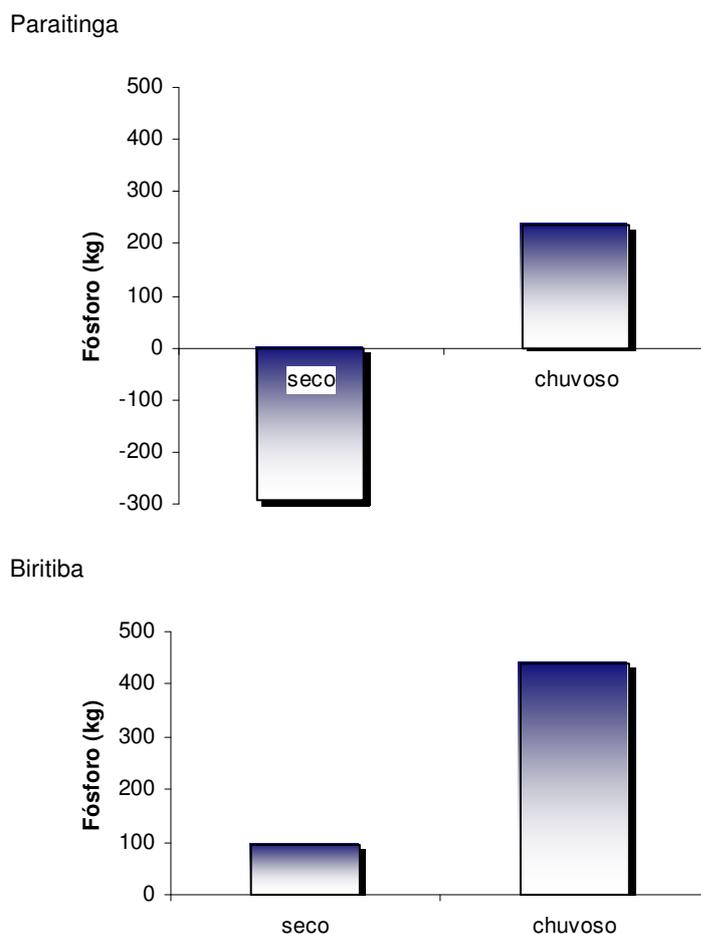


Figura 41. Balanço de fósforo total (kg) nos reservatórios Paraitinga e Biritiba no período seco e período chuvoso. Valores negativos indicam exportação e valores positivos retenção.

3.5.3 Pontual e não pontual – anual

3.5.3.1 Nitrogênio total

Os balanços anuais estimados para nitrogênio total para os reservatórios Paraitinga e Biritiba (Figura 42) indicaram exportação respectiva de 4.638,61 kg.ano⁻¹ e 9.127,77 kg.ano⁻¹ quando considerada apenas a fonte pontual (principal tributário) e 9.471,13 kg.ano⁻¹ e 19.040,20 kg.ano⁻¹ quando consideradas fontes pontual e não pontual.

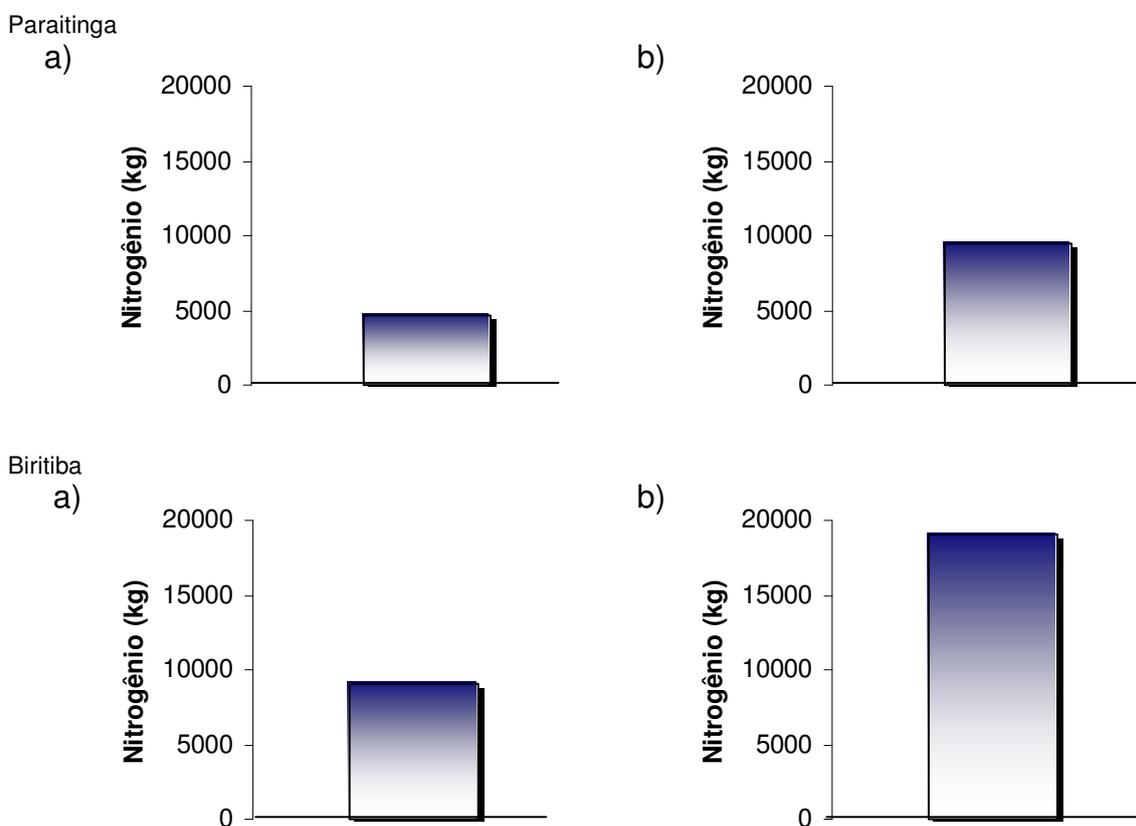


Figura 42. Balanço de nitrogênio total (kg.ano⁻¹) via fonte: a) pontual, e b) somatória de pontual e não pontual, nos reservatórios Paraitinga e Biritiba.

3.5.3.2 Fósforo total

Os balanços anuais estimados para fósforo total (Figura 43) indicaram para o reservatório Paraitinga retenção de 54,89 kg.ano⁻¹ e para o reservatório Biritiba exportação de 553,60 kg.ano⁻¹ quando considerada apenas a fonte pontual (principal tributário) e exportação respectiva de 499.81 kg.ano⁻¹ e 1.249,48 kg.ano⁻¹ quando consideradas fontes pontual e não pontual.

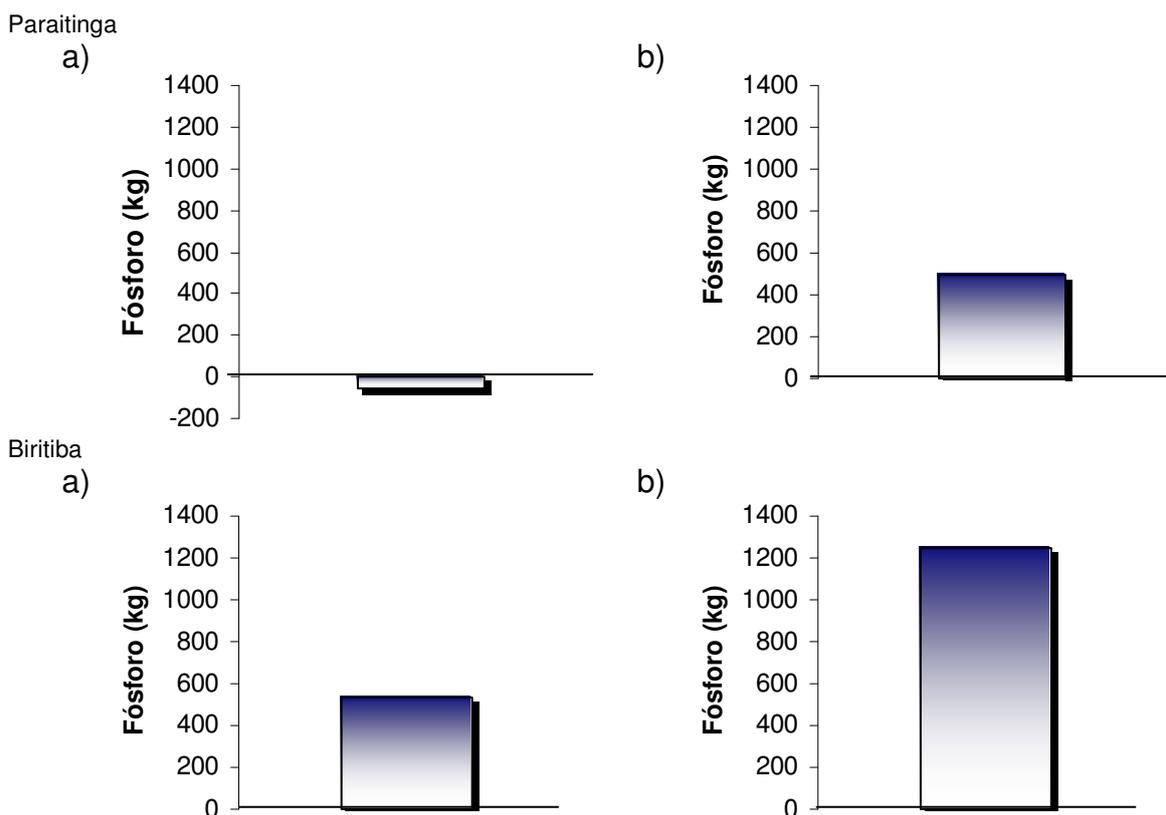


Figura 43. Balço de fósforo total (kg.ano⁻¹) via fonte: a) pontual, e b) somatória de pontual e não pontual, nos reservatórios Paraitinga e Biritiba. Valores negativos indicam exportação e valores positivos retenção.

3.6 Coeficiente de exportação do reservatório

Os coeficientes de exportação dos reservatórios Paraitinga e Biritiba para nitrogênio total foram respectivamente de $2,45 \cdot 10^{-3}$ kg.m⁻².ano⁻¹ e $0,39 \cdot 10^{-3}$ kg.m⁻².ano⁻¹ e para o fósforo total respectivamente de $1,44 \cdot 10^{-4}$ kg.m⁻².ano⁻¹ e $0,25 \cdot 10^{-4}$ kg.m⁻².ano⁻¹.

4. DISCUSSÃO

4.1 Variáveis físicas, químicas e biológicas

A temperatura da água está relacionada à temperatura do meio circundante e, por isso, espera-se variação sazonal, com valores mais altos nos meses mais quentes e menores nos mais frios (HYNES, 1970). A temperatura da água é uma das variáveis limnológicas mais afetadas pelas condições atmosféricas (WACHHOLZ e PEREIRA FILHO, 2005).

No presente estudo foi observada, em relação à temperatura da água, variação sazonal para as estações de coleta PM e BM, estando mais aquecida na primavera (25,3 °C e 22,9 °C) e verão (21,3 °C e 20,5 °C).

Segundo ZHONG e POWER (1996), depois que a Barragem Xinanjiang foi construída sobre o rio Qiantang, na China, em 1959, a média da temperatura da água abaixo da barragem diminuiu de 19,0 para 13,5 °C. As temperaturas máximas à 2,5 km à jusante da barragem diminuíram de 34,8 para 23,2 °C e as temperaturas mínimas aumentaram de 1,9 para 6,3 °C. CRISPIM e STEVAUX (2002) também verificaram alteração na temperatura da água do Rio Paraná, média de 25,2 °C (1994) para média de 24,9 °C (2000), mas não consideraram essa variação introduzida pela construção da barragem de Porto Primavera no Mato Grosso do Sul.

NOGUEIRA *et al.* (2005) observaram que ocorreu aumento da temperatura da água ao longo da cascata do rio Paranapanema, em SP. Os autores indicam que este aumento deve estar relacionado ao acúmulo de calor nas massas de água represadas, sobretudo no verão.

Nos reservatórios estudados ao longo das estações de amostragem (de PM e BM para PJ e BJ) foi observado aumento de temperatura de montante para jusante, indicando que essa variação pode estar associada ao acúmulo de calor nas massas de água represadas indicado por NOGUEIRA *et al.* (2005).

Segundo BRAGA *et al.* (2003), devido ao seu elevado calor específico, a água pode absorver ou liberar grandes quantidades de calor, mas apesar disto, as variações no meio aquático costumam ser brandas. Ao penetrar na água a luz é absorvida e convertida em calor. A construção de um reservatório implica em acúmulo de massas de água maiores, podendo assim alterar a temperatura da água não só localmente, mas dos rios a jusante.

Um único evento ocorreu na coleta de novembro/05 em Paraitinga; com temperatura do ar de 33,0 °C observada às 14h00, a temperatura da água apresentou redução de montante à jusante (de 25,3 para 22,1 °C), demonstrando a influência da massa d'água na estabilidade térmica.

Para Arcova, *apud* LEONARDO (2003), a condutividade elétrica pode ser muito útil para detectar variações nas características qualitativas da água, pois está diretamente relacionada com a concentração total de íons.

Durante o período de estudo, valores médios mais elevados da condutividade elétrica foram observados nas estações PM e PJ ($100 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) se comparados aos verificados nas estações BM e BJ ($60 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), sendo que os valores obtidos na estação PJ durante o período chuvoso (135 e $167 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) foram superiores ao indicado por MOCCELLIN (2006), como limite superior esperado da condutividade elétrica para águas naturais, de $100 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

SENDACZ *et al.* (2005) verificaram no mesmo sistema, Alto Tietê Cabeceiras, em um tributário altamente impactado do reservatório Taiapuê, o rio Taiapuê-Mirim, valores de condutividade de $167 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, no período chuvoso e $200 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, no período seco e no rio Jundiaí, tributário da represa Jundiaí, valores de $31 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, no período chuvoso e $30 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, no período seco.

Os dados de condutividade obtidos no presente trabalho associado aos obtidos por SENDACZ *et al.* (2005), na região, indicam elevada variabilidade

desse parâmetro, provavelmente associada ao uso e ocupação do solo. Segundo o mapa de uso do solo da RMSP (EMPLASA, 2006), à montante do reservatório de Jundiaí, na região de seus afluentes, verifica-se a ocupação de áreas de mata primária e secundária, reflorestamento e atividades hortifrutigranjeiras. Já para a região de afluentes de Taiaçupeba ocorre presença de várzeas, atividades hortifrutigranjeiras, áreas urbanizadas e reduzida ocupação de mata primária e secundária. Comparativamente, a área em estudo apresenta para a região dos afluentes de Paraitinga, a presença de áreas urbanizadas, campo e reflorestamento, e na área dos afluentes de Biritiba, mata primária e secundária, reflorestamento e atividade hortifrutigranjeira.

Os valores de condutividade elétrica mais elevados ocorreram nas regiões com presença de maior urbanização (Paraitinga) e menores onde foi observada a presença de mata e reflorestamento (Biritiba). Resultado similar foi observado por SENDACZ *et al.* (2005), o valor de condutividade elétrica mais elevado ocorreu nas regiões com presença de maior urbanização (Taiaçupeba) e menor onde foi observada a presença de mata e reflorestamento (Jundiaí).

Segundo MOCCELLIN (2006), no rio Jacupiranguinha, no baixo Ribeira de Iguape, em SP, foi observada variação sazonal bem definida da condutividade elétrica, com menores valores no período de maior precipitação, o que segundo a autora sinaliza para a importância do efeito de diluição das águas.

Nesta pesquisa, houve a diminuição na condutividade elétrica na estação PM, nos meses de maior precipitação.

Para MOCCELLIN (2006), algumas variáveis limnológicas, entre elas a condutividade elétrica, são fortemente influenciadas pela geologia da bacia hidrográfica, podendo sofrer oscilações no período de chuva devido a maior quantidade de material lixiviado.

PEREIRA (2002) verificou elevação da condutividade na fase final de enchimento da UHE Lajeado Tocantins na calha do rio, com mínimo de 55 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ e máximos de 91 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Nos reservatórios estudados foi verificada pequena variação da primeira para a última coleta, com diminuição da condutividade na estação PJ para Paraitinga (de 99 para 90 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) e BJ para Biritiba (de 99 para 60 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) sendo que para Paraitinga e Biritiba no dia anterior à última coleta ocorreu chuva forte, fato que pode ter influenciado nos valores de condutividade demonstrando dessa maneira menor influência temporal devido ao enchimento e maior influência sazonal.

Segundo o decreto nº 10.755, de 22 de novembro de 1977 (SÃO PAULO, 1977), que dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água receptores e afluentes na classificação prevista no decreto n. 8.468, de 8 de setembro de 1976, os rios Paraitinga e Biritiba-Mirim e seus afluentes até as respectivas barragens se enquadram na classe 1 (abrangendo as estações de coleta PM e BM). O decreto 8.468 estabelece que os rios classe 1 têm suas águas destinadas ao abastecimento doméstico, sem tratamento prévio ou com simples desinfecção, sendo que não há impedimento no aproveitamento de águas de melhor qualidade em usos menos exigentes, desde que tais usos não prejudiquem a qualidade estabelecida para essas águas. Nas águas de classe 1 não são tolerados lançamentos de efluentes, mesmo tratados.

A resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005), no artigo 42, diz que enquanto não aprovados os enquadramentos, as águas doces serão consideradas classe 2, exceto se as condições de qualidade atuais forem melhores, o que determinará a aplicação da classe mais rigorosa correspondente. Portanto, nesse trabalho, para comparação com os parâmetros desta resolução, os rios Paraitinga e Biritiba-Mirim, antes das respectivas barragens foram considerados classe 1 (abrangendo as estações de coleta PM e BM) e após as barragens classe 2 (abrangendo as estações de coleta PJ e BJ).

Para todas as estações de amostragem em ambos os sistemas

estudados (PM, BM e PJ, BJ) as concentrações de oxigênio dissolvido foram consideradas dentro das condições estabelecidas pela resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005) respectivamente para águas doces classe 1, acima de 6 mg.L⁻¹ e classe 2, não inferior a 5 mg.L⁻¹.

Houve acréscimo para as concentrações de oxigênio dissolvido entre as estações PM, BM e PJ, BJ (de montante para jusante). Este fato pode estar associado segundo ARAÚJO (2005), às diferenças no equilíbrio entre entradas (fotossíntese e difusão) e perdas devido às oxidações químicas e bióticas (decomposição e respiração) ocorridas no interior dos reservatórios.

A média da concentração de oxigênio dissolvido para as estações de Paraitinga foi de 10,4 mg.L⁻¹ e para as de Biritiba de 9,4 mg.L⁻¹, valores superiores aos encontrados por PEREIRA (2002), no rio Tocantins, antes do início da fase de enchimento da UHE Luiz Eduardo Magalhães, com médias entre 6,40 e 8,80 mg.L⁻¹.

Os valores de pH nas estações PM (4,3 a 5,9) e BM (4,4 a 5,6), permaneceram abaixo dos estabelecidos para águas classe 1 na resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005), entre 6 e 9. Nas estações PJ e BJ, os valores se mantiveram dentro dos estabelecidos nessa resolução para águas classe 2, também estabelecidos entre 6 e 9 (variando entre 6,1 e 7,6 e entre 6,1 e 7,9, respectivamente). Foi observado aumento nos valores de pH no sentido montante para jusante dos sistemas estudados, indicando que a modificação de sistema lótico para lêntico provoca alterações nessa variável, esse aumento pode estar relacionado ao metabolismo dos reservatórios.

CRISPIM e STEVAUX (2002) observaram situação contrária no canal do rio Paraná, onde os valores de pH permaneceram levemente mais ácidos até dois anos após a construção do reservatório Porto Primavera, no Mato Grosso do Sul. Segundo os autores, essa redução pode estar relacionada com a liberação de elementos húmicos, ácido sulfúrico, nítrico, oxálico e acético resultante do enchimento do reservatório (inundação da várzea). PEREIRA (2002) também verificou, nas áreas inundadas dos tributários, o pH levemente

ácido durante a fase de enchimento do reservatório UHE Lajeado Tocantins. Para PELÁEZ-RODRÍGUEZ (2001), o pH é uma importante variável na avaliação da qualidade da água influenciada por processos biológicos e químicos dentro do corpo d'água.

O pH da maioria das águas naturais oscila entre 6,0 e 8,5, porém, valores abaixo podem ocorrer em águas que contenham elevada concentração de matéria orgânica, e valores mais elevados em águas eutróficas, água subterrânea salobra e lagos salgados (CHAPMAN, 1992).

Segundo CCN (1997), no relatório de impacto do meio ambiente, antes do enchimento do reservatório Biritiba, os índices de pH caracterizaram o rio como neutro com leve tendência à acidez devido a baixos valores de alcalinidade e dureza total.

Segundo PRIMAVESI *et al.* (2000), na microbacia do ribeirão Canchim, em São Carlos, SP, os valores baixos de pH (entre 4,2 e 7,4, com média de 6,1) na água das nascentes estiveram associados aos resultados de alcalinidade e dureza.

CÂMARA (2004) obteve, em três bacias distintas, modificadas pela ação antrópica, na cidade de Imperatriz, no Maranhão, valores de pH variando conforme uso do solo, no curso d'água atravessando floresta nativa a oscilação foi entre 6,3 e 6,7, na travessia de uma floresta plantada (eucalipto) variou de 5,9 a 6,8 e em pastagens de 7,4 a 7,6.

PELÁEZ-RODRÍGUEZ (2001), na bacia do Jacaré-Guaçu, verificou valores de pH com características mais ácidas no período de verão (período chuvoso), variando de 4,99 a 6,64, e menos ácidas no inverno, entre 6,01 e 6,73. A bacia drena solos do cerrado paulista cujo pH é bastante ácido, que resultam em águas ácidas no período de chuvas; segundo LOPES (1983), o pH médio de solos de cerrado está em torno de 5,0.

Nas estações PM e BM foi verificada pequena variação de pH entre

período seco e chuvoso, menos para maio/06 em ambas as estações, provavelmente associado a chuvas no dia anterior à coleta, sugerindo que o pH possa apresentar-se ácido pela associação entre baixas alcalinidade e dureza total, acidez do solo, e influencia do seu uso e ocupação do solo.

Foi observada elevação das médias da concentração de nitrogênio total no sentido de montante para jusante, das estações PM (0,46 mg.L⁻¹) e BM (0,41 mg.L⁻¹) para PJ (0,55 mg.L⁻¹) e BJ (0,56 mg.L⁻¹). Situação contrária foi observada por RIBEIRO *et al.* (2005a), no reservatório Salto Caxias no Paraná, um reservatório eutrofizado, onde a concentração média de nitrogênio total a montante do reservatório foi de 1,09 mg.L⁻¹, no reservatório, próximo à barragem, 0,74 mg.L⁻¹ e a jusante do mesmo 0,94 mg.L⁻¹.

PEREIRA (2002), durante a fase de enchimento da UHE Lajeado Tocantins, obteve valores médios de 0,70 a 2,41 mg.L⁻¹ para concentração de nitrogênio total, teores acima das médias observadas no presente trabalho para as estações de amostragem de ambos os sistemas estudados durante o enchimento.

Nos sistemas estudados não houve aumento das concentrações de nitrogênio total devido ao enchimento. RIBEIRO *et al.* (2005) verificaram aumento nas concentrações de nitrogênio nas estações de amostragem durante os seus primeiros anos de formação. Os autores associaram o ocorrido à grande quantidade de nutrientes liberados pela decomposição contínua no interior do reservatório Salto Caxias, no Paraná.

Para a concentração de nitrogênio total, observou-se variação sazonal à montante em ambos os ecossistemas estudados, estando com concentrações maiores no período seco e menores no chuvoso, menos para fevereiro/06 na estação PM. RODGHER *et al.* (2005) nos reservatórios em cascata do médio e baixo Tietê, observaram que as concentrações do nitrogênio orgânico total eram geralmente mais elevados na época da seca, o que pode ser atribuído à maior retenção da água nos reservatórios e, conseqüentemente, a maior concentração de compostos de nitrogênio. Os valores mais baixos foram

encontrados na estação chuvosa, evidenciando o efeito de diluição de águas pluviais que fluem do sistema.

Os valores para fósforo total para as estações PM e BM foram considerados fora dos padrões estabelecidas pela resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005) para tributários diretos de ambiente lântico para classe 1, abaixo de $0,025 \text{ mg.L}^{-1}$ ($25 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$), apresentando o valor máximo de $27,33 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$ em novembro/05 para a estação PM e $25,90 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$ em fevereiro/06 para a estação BM.

As concentrações de fósforo total para as estações PJ e BJ foram consideradas dentro dos padrões estabelecidas pela resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005) para ambientes lóticos classe 2, abaixo de $0,100 \text{ mg.L}^{-1}$ ($100 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$), com valores entre $26,72$ e $37,25 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$ para a estação PJ e entre $34,44$ e $40,23 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$ para estação BJ.

As concentrações de fósforo, na maioria das águas naturais, encontram-se entre $0,005 \text{ mg.L}^{-1}$ e $0,020 \text{ mg.L}^{-1}$ (CHAPMAN, 1992), indicando que há intervenção antrópica nas águas das estações de amostragem não só a jusante dos reservatórios, mas também a montante e ressaltando-se que ocorreu elevação da concentração de fósforo total em ambos os sistemas estudados no sentido das estações PM e BM para PJ e BJ, de montante para jusante.

PEREIRA (2002), durante a fase de enchimento da UHE Lajeado Tocantins, obteve concentrações médias de $0,014$ a $0,028 \text{ mg.L}^{-1}$ (14 a $28 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$) para o fósforo total. Neste trabalho foram obtidas médias similares nos pontos a jusante durante o enchimento de Paraitinga ($22,78 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$ PM e $32,73 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$ PJ) e Biritiba ($23,88 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$ BM e $37,63 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$ BJ).

BRANDIMARTE *et al.* (2008) no reservatório Mogi-Guaçu observaram que as concentrações de fósforo total mostraram tendência crescente durante as fases de enchimento e primeiro ano pós-enchimento, seguida por um

decréscimo na no terceiro ano após o enchimento, atingindo níveis mais baixos do que aqueles medidos para a fase pré-enchimento. No presente trabalho não foi verificada variação nos valores de concentração de fósforo total influenciada pelo enchimento em nenhum dos reservatórios estudados, o que pode indicar que não houve aumento na liberação da carga interna com o aumento da porcentagem de solo alagado.

O fósforo total apresentou variação sazonal à montante de ambos os reservatórios estudados, com exceção para fevereiro/06, na estação PM. RODGHER *et al.* (2005) nos reservatórios em cascata do médio e baixo Tietê verificaram concentrações mais elevadas de fósforo total na estação chuvosa do que na estação seca, associados à um pulso de nutrientes e matéria inorgânica ocasionado pela maior contribuição de material em suspensão dos tributários provenientes da lixiviação do entorno.

Considerando a razão nitrogênio total/fósforo total (N_T/P_T), segundo Vollenweider, *apud* NOGUEIRA e RAMIREZ (1998), a proporção para que o fósforo seja considerado como fator limitante em lagos tropicais deve ser superior a 9:1. Essa razão variou de 14:1 a 32:1, nas estações de coleta. A proporção média calculada para a estação PM foi de 22:1, para as estações PJ e BM de 17:1 e para BJ de 15:1, indicando que há limitação por fósforo em todas as estações de amostragem de ambos os sistemas estudados.

O íon nitrato é a forma mais comum de nitrogênio combinado encontrada nas águas naturais. Fontes naturais de nitrato nas águas superficiais incluem rochas ígneas, drenagem de solos e resíduos de animais e plantas. Níveis naturais raramente excedem $0,10 \text{ mg.L}^{-1}$, mas podem ser aumentados por águas residuais industriais e domésticas. Em áreas rurais, o uso de fertilizantes pode ser uma fonte significativa (PELÁEZ-RODRÍGUEZ, 2001). Em todas as estações foi observada concentração de nitrato igual ou acima de $0,10 \text{ mg.L}^{-1}$.

O limite de nitrato definido pelo CONAMA 357 (BRASIL, 2005) para rios classes 1 e 2 é de 10 mg.L^{-1} . No presente trabalho, as concentrações desta

variável em ambos os sistemas estudados (de 0,17 a 0,10 mg.L⁻¹) foram de 58,8 a 100 vezes abaixo desse limite.

PEREIRA (2002), na UHE Lajeado Tocantins durante o enchimento, encontrou valores de concentração de nitrato variando de 0,022 a 0,100 mg.L⁻¹, teores semelhantes ou inferiores aos encontrados nas estações de amostragem, que variaram de 0,11 a 0,16 mg.L⁻¹, para a região do reservatório Paraitinga e de 0,10 a 0,17 mg.L⁻¹, para a região do reservatório Biritiba.

BRANDIMARTE *et al.* (2008) no reservatório Mogi-Guaçu observaram que as concentrações de nitrato mostraram tendência crescente durante as fases de enchimento e primeiro ano pós-enchimento, seguida por decréscimo no terceiro ano após o enchimento, atingindo níveis mais baixos do que aqueles medidos para a fase pré-enchimento. Não foi verificada variação nos valores de concentração de nitrato influenciada pelo enchimento em nenhum dos reservatórios estudados, entre a primeira e última coleta, o que pode indicar que não houve aumento na liberação da carga interna com o aumento da porcentagem de solo alagado.

As concentrações de nitrato em ambos os sistemas estudados apresentaram variação sazonal, menos para fevereiro/06 em todas as estações, sendo mais elevadas na estação chuvosa e menores na seca e havendo variação entre as estações de coleta, aumentando no sentido de montante para jusante.

As concentrações de nitrito são usualmente muito baixas, 0,001 mg.L⁻¹, e raramente maiores que 1,000 mg.L⁻¹ (CHAPMAN, 1992). Nas estações de amostragem em ambos os sistemas estudados foram observados valores de concentração próximos do mínimo esperado para corpos d'água (médias de 2,9, 3,0, 2,7 e 2,9 µg.L⁻¹, respectivamente para as estações PM, PJ, BM e BJ).

Todos as concentrações de nitrito de ambos os sistemas estiveram abaixo do limite máximo estabelecido pela resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005) para águas doces classes 1 e 2, 1,0 mg.L⁻¹.

Observou-se aumento das concentrações de nitrito das estações PM e BM para as estações PJ e BJ, no sentido de montante para jusante. Nas estações de ambos os sistemas as concentrações de nitrito apresentaram variação sazonal estando mais altas no período chuvoso e mais baixas no seco, com exceção para as estações BM e BJ em fevereiro/06.

PEREIRA (2002), na UHE Lajeado Tocantins, verificou menores concentrações de nitrito no início do enchimento, aumentando com o decorrer do tempo, variando de 0,001 a 0,006 mg.L⁻¹. Para os sistemas estudados não foi observada variação da concentração de nitrito durante o período de enchimento.

Segundo MOCCELLIN (2006), o nitrito, fase intermediária entre amônia e nitrato, é rapidamente oxidado e está diretamente ligado à poluição. Segundo CHAPMAN (1992), altas concentrações de nitrito são geralmente indicadoras de efluentes industriais e são freqüentemente associadas com uma qualidade de água insatisfatória microbiologicamente.

Segundo resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005), a concentração de nitrogênio amoniacal total (amônia) deve estar abaixo de 3,7 mg.L⁻¹ N, para corpos hídricos com pH menor ou igual a 7,5 classificados como águas doces classes 1 e 2. Todas as concentrações de amônia total das estações amostradas em ambos os sistemas estudados estiveram de 8 a 15 vezes abaixo do limite estabelecido por essa resolução.

Foi verificado aumento nas médias das concentrações de amônia total das estações PM e BM (0,30 e 0,28 mg.L⁻¹, respectivamente) para as estações PJ e BJ (0,38 e 0,40 mg.L⁻¹, respectivamente), indicando que houve um incremento recente do nutriente, possivelmente ocasionado pela carga interna do reservatório ou por fonte pontual direcionada a este, sendo que sua concentração não varia de forma sazonal.

No trabalho desenvolvido por BRANDIMARTE *et al.* (2008), no reservatório Mogi-Guaçu, observou-se tendência crescente para os valores de

amônia no interior do reservatório durante a fase de enchimento e primeiro ano após o enchimento. À jusante, porém, foi observado decréscimo nesses mesmos valores. Em Paraitinga e Biritiba não foi verificada variação, entre a primeira e última coleta, durante o enchimento para os valores de amônia total (de 0,40 a 0,41 mg.L⁻¹ e de 0,37 a 0,37 mg.L⁻¹, para as estações PJ e BJ respectivamente).

Foi observado por ROMANINI *et al.* (1994) e RIBEIRO *et al.* (2005) o processo de amonificação relacionado à vegetação alagada na fase de pós-enchimento dos reservatórios Rosana, em São Paulo, e Salto Caxias, no Paraná. Segundo CCN (1997), nos reservatórios estudados, a área de desmatamento compreendeu 1,20 km², para Paraitinga, e 5,49 km² para Biritiba, não foram desmatados campos antrópicos, área utilizada para agricultura e de reflorestamento. Tendo em vista que o desmatamento atingiu áreas menores que a dos espelhos d'água com pleno enchimento (9,24 km² para Biritiba e 6,43 km², para Paraitinga), a elevação das concentrações de montante para jusante pode ter sido ocasionada pela vegetação alagada.

Segundo CETESB (2007), o reservatório Biritiba não recebe esgoto da cidade de Biritiba-Mirim, esse esgoto tem como corpo receptor o rio Tietê. Segundo o sr. Domingos Antonio Camargo Correia, encarregado do posto operacional de Salesópolis (comunicação pessoal), a cidade de Salesópolis, localizada à montante do reservatório Paraitinga, possui coleta de esgoto, e 100% do esgoto coletado passa por tratamento. Onde não há possibilidade de coleta, por estar em soleira negativa, foi solicitada, aos proprietários, a construção de fossas sépticas durante o enchimento do reservatório.

No trabalho de PELÁEZ-RODRÍGUEZ (2001), no rio do Monjolinho em área urbana, após matadouro municipal, encontra-se proporções de amônio:nitrito:nitrato de aproximadamente 443:1:111 (com concentrações médias para os nutrientes de 3100, 7 e 780 µg.L⁻¹, respectivamente) indicando alta proporção de amônia; já na área próxima à nascente, mas com uso do solo para pastagem, observa-se proporção de aproximadamente 19:1:223 (com

concentrações médias de 76, 4 e 890 $\mu\text{g.L}^{-1}$ respectivamente), indicando alta proporção de nitrato.

No presente trabalho, na estação PM verificou-se proporção de amônia total:nitrito:nitrato de aproximadamente 100:1:40, proporções próximas às encontradas nas demais estações 127:1:47 para PJ, 93:1:37 para BM e 133:1:47 para BJ. A maior proporção de amônia total em relação ao nitrato indica uma possível poluição recente.

A presença em um recurso hídrico de NH_3 ou NH_4^+ caracteriza a poluição recente por esgotos domésticos, enquanto a presença de NO_3^- caracteriza uma poluição remota, em função de que o nitrogênio se encontra no seu último estágio de oxidação (MACÊDO, 2003).

MANSOR (2005), no reservatório da UHE Tatu, em Limeira, SP, verificou que houve predominância de formas reduzidas (nitrogênio orgânico total e amônia) em relação às formas oxidadas (nitrato e nitrito), significando que o foco de poluição não se encontra distante, e indicou que provavelmente o reservatório tende a ser uma zona de degradação de nitrogênio orgânico total e decomposição ativa de amônia. Observou também que próximo à barragem a concentração de formas reduzidas aumentou. No presente estudo foram verificadas maiores proporções de formas reduzidas (amônia total) em relação às formas oxidadas (nitrito e nitrato), tanto à montante quanto à jusante dos sistemas, mas com maiores proporções das formas reduzidas à jusante.

Nas estações de ambos os sistemas, foi observada variação sazonal para as concentrações de ortofosfato, estando mais altas no período chuvoso e mais baixas no seco, com exceção para as estações PM e PJ em fevereiro/06.

Observou-se aumento das concentrações de ortofosfato das estações PM e BM para as estações PJ e BJ, no sentido de montante para jusante.

PEREIRA (2002) após o fechamento da UHE Lajeado Tocantins verificou concentrações de ortofosfato variando de 18 a 28 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Valores

pouco superiores aos encontrados nos sistemas estudados, de 9,49 a 16,42 $\mu\text{g.L}^{-1}$, para Paraitinga e 9,92 a 16,85 $\mu\text{g.L}^{-1}$, para Biritiba.

A porcentagem de ortofosfato em relação ao fósforo total para a estação BM variou de 42,5% a 49,4%, para a estação BJ de 36,8% a 42,1%, para a estação PM de 42,5% a 70,0% e para a estação PJ 43,1% a 44,5%. Todas as estações de ambos os sistemas estudados apresentam porcentagem muito alta de ortofosfato em relação ao fósforo total, na média, de aproximadamente 9 vezes o valor estabelecido por WETZEL (2001), que considera que o ortofosfato é sempre pouco abundante, em geral 5% ou menos do fósforo total, pois é rapidamente assimilado.

Corroborando com os resultados obtidos, DE ANDA e MANIAK (2007) determinaram que a quantidade média de PO_4^{-3} no lago de Chapala, no México, representa 67,6% do fósforo total, que assim como nos ambientes estudados, mantém em altos níveis a disponibilidade biológica deste nutriente na coluna d'água.

As concentrações de clorofila *a* em todas as estações amostradas de ambos os sistemas estudados (média de 1,0, 1,4, 1,3 e 1,4 $\mu\text{g.L}^{-1}$ respectivamente para PM, PJ, BM e BJ) estiveram próximas das concentrações encontradas por RIBEIRO *et al.* (2005) na UHE Lajeado Tocantins, na fase pré-enchimento, mediana de 1,1 $\mu\text{g.L}^{-1}$, sendo que na fase de pós enchimento, os teores de clorofila *a* oscilaram entre 4,7 e 6,4 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Os autores associaram o aumento nas concentrações de clorofila *a* depois da formação do reservatório ao incremento de biomassa fitoplanctônica, sendo esse verificado mais intensamente nos seus braços. Ressaltando que nos ambientes estudados, o formato de Biritiba é subdendrítico e de Paraitinga alongado, podendo este primeiro ser mais suscetível ao efeito descrito pelos autores.

PEREIRA (2002), nos afluentes do rio Tocantins, antes do enchimento, também verificou médias para clorofila *a* próximas ao obtido no presente estudo, com concentrações variando de 0,97 a 1,51 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Valores baixos de clorofila *a* observados indicam que durante a fase de enchimento de

reservatórios o ambiente permanece instável para manutenção da comunidade fitoplanctônica, e essa perturbação permanece até a conclusão e operação do sistema.

No trabalho desenvolvido por BRANDIMARTE *et al.* (2008) para o reservatório Mogi-Guaçu foi verificada tendência crescente para os valores de clorofila *a* à jusante do reservatório durante a fase de enchimento e primeiro ano após o enchimento. No presente estudo, foi verificado pequeno aumento dos valores de clorofila *a* para a estação PJ, variando de 1,1 $\mu\text{g.L}^{-1}$ em agosto/05 para 1,5 $\mu\text{g.L}^{-1}$ em maio/06, esse aumento não foi verificado para Biritiba (1,4 $\mu\text{g.L}^{-1}$ em agosto/05 a 1,4 $\mu\text{g.L}^{-1}$ maio/06). Considera-se que o período de amostragem não contemplou a estabilização do funcionamento do reservatório, e a literatura indica que o incremento da concentração de clorofila *a* tende a ocorrer nos anos seguintes ao término do enchimento.

As concentrações de clorofila *a* de ambos os sistemas estiveram abaixo do limite máximo estabelecido pela resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005) para águas doces classes 1, de 10 $\mu\text{g.L}^{-1}$, e classe 2, de 30 $\mu\text{g.L}^{-1}$.

Devido aos valores de fósforo total e pH estarem dentro dos padrões da resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005) nas estações à jusante, tem-se a impressão que a água à jusante dos reservatórios está em melhor qualidade que à montante. Esse equívoco é causado devido à diferença no enquadramento do rio à montante e à jusante. O único parâmetro que estava fora do estabelecido por essa resolução, e após as barragens se apresentou dentro dos limites, é o pH. Todas as concentrações de nutrientes aumentaram e as de oxigênio dissolvido diminuíram.

O IET para fósforo total caracterizou todas as estações de amostragem de ambos os sistemas estudados como mesotróficas, sendo que as estações PM e BM apresentaram médias para o índice menores que as estações PJ e BJ (41, 42, 47 e 49 respectivamente). Resultado diferente foi observado por BRANDIMARTE *et al.* (2008) para o reservatório Mogi-Guaçu, durante a fase

de enchimento e primeiro ano após o enchimento, o IET caracterizou a estação à montante do reservatório como eutrófica e à jusante como mesotrófica, mas no segundo ano após o enchimento verificou-se a inversão na caracterização, ficando a estação a montante mesotrófica e a jusante eutrófica.

A elevação dos valores do IET no sentido montante para jusante, em ambos os sistemas, deve estar associada ao efeito da carga interna resultante das características de uso e ocupação do solo da área inundada. Dessa forma os reservatórios de Paraitinga e Biritiba devem sofrer de maneira acelerada os efeitos da eutrofização artificial. Segundo CARVALHO *et al.* (2006) o SPAT foi implantado em áreas de solo rico em nutrientes e um dos principais responsáveis pela aceleração da eutrofização é a carga de nutrientes oriunda do solo.

A implantação dos reservatórios em estudo implicou na inundação de vastas áreas, e segundo descrição do mapa de uso e ocupação do solo (EMPLASA, 2006) foram inundadas pelo enchimento do reservatório de Paraitinga (Anexo 2): campo, 41,5%, várzea, 32,3%, capoeira, 11,2%, mata 6,5%, e pelo reservatório de Biritiba (Anexo 3): várzea, 29,9%, mata, 26%, capoeira, 14,2%, atividades hortifrutigranjeiras, 13,7%, campo 7,5%; apresentando dessa maneira altas cargas internas e maior potencial de lixiviação nas áreas de várzea, campo e atividades hortifrutigranjeiras.

Valores apresentados pela CETESB (2005; 2006; 2007), no ponto BMIR02800 situado à jusante de onde foi implantado o reservatório, classificaram o $IET_{(PT)}$ do rio Biritiba-Mirim como mesotrófico antes da implantação da barragem. Durante o enchimento do reservatório e após o término, o rio continuou apresentando a mesma classificação, porém com elevação de 4,1 pontos nos valores do $IET_{(PT)}$, variando de $IET=54,3$ (maio/04 a março/05) para $IET=58,4$ (maio/05 a março/06), evidenciando maior transporte de fósforo em relação ao período anterior à implantação do reservatório.

RIBEIRO *et al.* (2005), em todas as estações de amostragem no reservatório Salto Caxias-PR, verificaram mudanças com relação ao estado

trófico, de oligotrófico durante a fase de pré-enchimento, para mesotrófico na fase de pós-enchimento, com exceção para as estações situadas à jusante da barragem.

Segundo CETESB (2005), os resultados correspondentes ao $IET_{(PT)}$ devem ser entendidos como medida do potencial de eutrofização, já que este nutriente atua como o agente causador do processo. A avaliação correspondente à clorofila *a*, $IET_{(CHL)}$, deve ser considerada como medida da resposta do corpo hídrico ao agente causador, indicando o nível de crescimento de algas que tem lugar em suas águas. Em um corpo hídrico em que o processo de eutrofização encontra-se plenamente estabelecido, o estado trófico determinado pelo $IET_{(CHL)}$ coincide com o $IET_{(PT)}$. Nos corpos hídricos em que o processo esteja limitado por fatores ambientais o $IET_{(CHL)}$ irá refletir esse fato, classificando o estado trófico em um nível inferior àquele determinado pelo $IET_{(PT)}$.

Todas as estações de amostragem de ambos os sistemas estudados, foram classificadas quanto ao $IET_{(CHL)}$ como oligotróficas, sendo que nas estações BM, BJ e PJ foi observada média de $IET=33$ e na estação PM de $IET=30$.

Para todas as estações de amostragem em ambos os sistemas estudados, foi verificado $IET_{(CHL)}$ classificando o corpo hídrico em estado trófico inferior àquele determinado pelo $IET_{(PT)}$ indicando que fatores ambientais podem estar limitando o crescimento fitoplanctônico, sendo ocasionado possivelmente pelas alterações na vazão, impostas pela construção dos reservatórios e suas regras operativas.

4.2 Variáveis hidrológicas

Segundo CPTEC/INPE (2008), houve a ocorrência do fenômeno El Niño com intensidade fraca nos anos de 2004-2005 e 2006-2007. A sua ocorrência causa impactos em âmbito mundial. Na região sudeste do Brasil causa alteração das temperaturas médias e mudanças no padrão característico das

chuvas. No mês de novembro, possivelmente ocasionado por este fenômeno, houve pouca chuva na região do reservatório Biritiba (45,1 mm), sendo esperado segundo média de dados da SIGRH (2007) o acumulado de 130,0 mm na região próxima ao reservatório (ponto E3-231 - prefixo DAEE). No reservatório Paraitinga também foi observada variação neste mesmo mês, o acumulado foi de 35,1 mm, sendo esperado segundo média de dados da SIGRH (2007) o valor de 125,5 mm na região próxima ao reservatório (ponto E2-015 - prefixo DAEE).

As vazões nas estações PM e BM variaram conforme a pluviosidade (Figura 26), as vazões na estação BM para novembro/05 foram menores que as de maio/06 provavelmente porque nos 4 dias anteriores à coleta não choveu e no dia anterior à coleta de maio/06 choveu o acumulado de 8,2 mm.

Os efeitos do controle da vazão em bacias hidrográficas em decorrência de represas podem se propagar por extensas regiões à jusante (NOGUEIRA *et al.*, 2005).

As regras operacionais dos reservatórios Paraitinga e Biritiba, estão condicionadas às necessidades de oferta de água do Sistema Produtor Alto Tietê. Eles, portanto, têm como principal função o acúmulo de água para suprir eventuais necessidades. Por esta razão, seus tempos de detenção podem ser muito variáveis, mas segundo CCN (1997), na descrição do estudo de impacto ambiental são esperados valores médios de 0,48 ano, que equivale a 175 dias, para Paraitinga e 0,95 ano, que equivale a 347 dias, para Biritiba. De acordo com a classificação proposta por STRAŠKRABA (1999), esses reservatórios foram classificados como classe B, com tempo de detenção intermediário, entre 2 semanas e 1 ano. Esses valores podem ser considerados altos quando comparados com o reservatório de Salto Grande com volume de 106 milhões de m³, onde ESPÍNDOLA *et al.* (2004) verificaram média de retenção de 30 dias, e com o reservatório de Segredo com volume de 3 milhões de m³ onde JÚLIO JR. *et al.* (1997) verificaram média de retenção de 47 dias, sendo que ambos os reservatórios são utilizados para geração de eletricidade.

Segundo a CCN (1997), foi sugerido no estudo de impacto ambiental que o tempo médio de retenção no reservatório Biritiba diminuísse de 1,44 para 0,95 ano, demonstrando preocupação em evitar a aceleração do processo de eutrofização. Segundo STRAŠKRABA (1999), quando o tempo de retenção é longo, superior a 1 ano, há incremento na taxa de crescimento de fitoplâncton devido à maior carga e retenção de nutrientes.

As características da ocupação do solo na região estudada, associadas à qualidade da água amostrada indicam clara tendência de eutrofização. Propostas de alteração do tempo de detenção constituem importante aspecto mitigador em propostas de implantação de reservatórios na região. Segundo MORAIS *et al.* (2007), o processo de eutrofização e a acumulação de nutrientes e sedimentos no fundo do reservatório reduzem a capacidade funcional dos reservatórios.

4.3 Carga

Para o reservatório Paraitinga, a carga média diária estimada de entrada via tributário (pontual) para nitrogênio total e fósforo total no período seco foi de 23,64 kg.dia⁻¹ e 1,38 kg.dia⁻¹ e para período chuvoso de 63,18 kg.dia⁻¹ e 2,50 kg.dia⁻¹ respectivamente, valores acima dos estimados para o reservatório Biritiba, sendo 18,61 e 1,03 kg.dia⁻¹ para período seco e 31,22 e 1,91 kg.dia⁻¹ período chuvoso, respectivamente. Valores superiores foram estimados por BARBOSA *et al.* (1998), na Lagoa da Pampulha, impactada por efluentes domésticos e industriais, apresentando valores de 454 e 45 kg.dia⁻¹ respectivamente no período chuvoso e 406 e 44 kg.dia⁻¹ respectivamente no período seco.

Para os reservatórios Paraitinga e Biritiba, as cargas médias diárias estimadas, de nitrogênio total e de fósforo total, dos principais tributários apresentaram maiores valores no período chuvoso, indicando que o material de origem difusa oriundo via escoamento superficial para os rios pode ter influência sobre essas cargas. RIBEIRO *et al.* (2005a) também verificaram no reservatório Salto Caxias, no Paraná, cargas que se mostraram bastante

condicionadas ao regime pluviométrico, com pulsos máximos e diferenças significativas nos meses de maior precipitação e vazão.

Segundo LEITE e ESPÍNDOLA (2004) no reservatório de Salto Grande, o rio Atibaia contribuiu com elevados valores de cargas de fósforo total no período chuvoso, $3,68 \text{ t.dia}^{-1}$, com incremento de aproximadamente 13 vezes em relação ao período seco ($0,29 \text{ t.dia}^{-1}$).

Nas estações PM e BM, a sobrecarga de fósforo no período chuvoso não ultrapassou em 2 vezes os valores obtidos no período seco. Comportamento similar foi observado na contribuição dos tributários em relação à carga de nitrogênio total.

O reservatório de Paraitinga apresentou nos meses de agosto/05 e setembro/05 elevados valores de carga de fósforo total à jusante do sistema, indicando que a alteração do sistema lótico para o sistema lêntico associada às regras operacionais do reservatório resultaram em um pulso na liberação da carga interna de fósforo. Sendo esse evento temporário, de outubro/05 a abril/06 foram observados maiores valores de carga à montante. Comportamento similar também foi observado na carga de nitrogênio total.

Para HENRY *et al.* (1998), as cargas externas de nutrientes introduzidas pelos tributários atuam como um sistema adicional de enriquecimento do reservatório.

O reservatório de Paraitinga apresentou maior carga anual estimada (somatória de carga pontual e não pontual) de nitrogênio total (25.201,76 kg), quando comparado ao reservatório de Biritiba (22.629,69 kg). Estimativas da contribuição dessa carga, para o reservatório Paraitinga, indicam que 19,2% são provenientes de fontes não pontuais, sendo 10,0% derivados do uso do solo e 9,2% da precipitação, e o restante é proveniente do aporte dos tributários. Valores diferentes foram obtidos para o reservatório de Biritiba, sendo que 43,8% da carga foram provenientes de fontes não pontuais (25,8% derivados do uso do solo e 18,1% da precipitação) e 56,2% de fontes pontuais.

Com relação à carga de fósforo total, para o reservatório Paraitinga foi estimada carga de 1.424,41 kg e para Biritiba de 1.483,51 kg. A estimativa da carga de fósforo total no reservatório Paraitinga indica que 38,9% são provenientes de fontes não pontuais, sendo 25,4% derivados do uso do solo e 13,6% da precipitação, e 61,1% de fontes pontuais. Para o reservatório Biritiba, 48,3% são provenientes de fontes não pontuais, sendo 25,3% derivados do uso do solo e 22,9% da precipitação, e 51,7% de fontes pontuais.

HENRY *et al.* (2004) em um estudo no lago das Garças, um reservatório pequeno e eutrófico da cidade de São Paulo, obtiveram cargas de 37.156,76 kg.ano⁻¹ de nitrogênio total e 6.519,04 kg ano⁻¹ de fósforo total. Os autores estimaram que para o nitrogênio total 62,8% da carga foi derivada da fixação, 1,4% de fontes não pontuais, 1,0% da precipitação e 34,7% de fontes pontuais; e para o fósforo total 99,5% é derivado de fontes pontuais 0,3% de fontes não pontuais, 0,1% da precipitação. Os autores obtiveram menor contribuição das fontes não pontuais quando comparadas com os reservatórios estudados.

As diferentes contribuições observadas no presente trabalho indicaram que quando os ambientes alcançarem a estabilidade (término do processo de enchimento), alterações significativas deverão ser observadas no modelo de aporte de nutrientes.

O reservatório Biritiba, devido ao uso do solo (maior presença de atividades hortifrutigranjeiras) e maior tamanho do espelho d'água (9,24 km²), apresentou maior contribuição do aporte de nitrogênio total via fontes não pontuais quando comparado com Paraitinga.

O efeito do escoamento superficial em solo agrícola acelera o processo de enriquecimento natural dos corpos de água (CARVALHO *et al.*, 2006). MONTEIRO *et al.* (2007) verificaram no ano de 2006 elevada influência do escoamento superficial no carreamento de nutrientes para a área de influência do reservatório Biritiba.

CHOU *et al.* (2007) em resultados simulados indicaram que a média anual de fósforo total carregado para o reservatório de Feitsui, em Taiwan, um reservatório que atingiu recentemente a classificação de eutrófico, com capacidade de acumular 406 milhões de m³ de água, é de 18.910 kg.ano⁻¹, sendo que 16.003 kg.ano⁻¹ de fonte não pontual, e 2.907 kg.ano⁻¹ de fonte pontual. O volume de água do reservatório Feitsui é cerca de 11 vezes maior que o de Paraitinga e 6,7 que o de Biritiba, multiplicando a carga de ambos os reservatórios pelos respectivos fatores temos que a carga de Paraitinga representa 82,7% da carga total que adentra o reservatório de Feitsui e a de Biritiba, 52,9%. Considerando-se que o reservatório Feitsui sofreu processo de eutrofização essa correlação entre os números pode indicar que o reservatório de Paraitinga inicia suas operações com risco de acelerado ritmo de degradação na qualidade de suas águas.

Segundo CHOU *et al.* (2007) a eutrofização do reservatório Feitsui esteve relacionada não só à quantidade total de nutrientes, mas também às regras operativas do reservatório. Por conseguinte, poderia ser postulado que o impacto de uma determinada carga de fósforo pode ser mitigado através da alteração do regime de funcionamento do reservatório, de modo que alterações na vazão de saída poderiam levar à redução na concentração de fósforo da água. Segundo SALAS e MARTINO (1991), o tempo de residência da água é um parâmetro importante na aplicação de modelos de predição da concentração de fósforo total na água de reservatórios.

4.4 Balanço de massa

Nos reservatórios em cascata ocorre diminuição dos poluentes ao longo de sua seqüência espacial, pois o reservatório à montante funciona como um quimiostato, retendo parte dos poluentes e melhorando a qualidade das águas e sedimentos cascata abaixo, uma vez que parte dos nutrientes e poluentes podem ser mantidas na porção superior do sistema (RODGHER *et al.*, 2005; TUNDISI *et al.*, 2006).

Diferentemente de um sistema em cascata com várias represas em um

mesmo rio, na bacia hidrográfica do alto rio Tietê (Cabeceiras), o SPAT constitui um sistema em cascata formado pela interligação de represas situadas em diferentes rios por meio de sistemas de túneis e canais, com a finalidade de aumentar a captação de água para abastecimento (SENDACZ *et al.*, 2005).

Segundo SENDACZ *et al.* (2005) e CARVALHO *et al.* (2006), o sistema produtor Alto Tietê (que engloba a região de estudo) funciona como cascata, porém de maneira inversa ao anteriormente descrito, ou seja, ao longo do sistema ocorre aumento progressivo dos efeitos da eutrofização, com elevados aportes de nitrogênio e fósforo aos reservatórios subseqüentes.

Reservatórios em cascata, como os construídos no Rio Tietê, Grande, Paranapanema e São Francisco, produzem efeitos e impactos cumulativos, transformando inteiramente as condições biogeofísicas, econômicas e sociais de todo o rio (TUNDISI *et al.*, 2006). Qualquer modificação nos reservatórios à montante afeta os à jusante, por esta razão a posição do reservatório é uma função de força (TUNDISI, 1999; RODGHER *et al.*, 2005).

O reservatório Biritiba é o primeiro de uma série de três reservatórios interligados em cascata, que engloba os reservatórios de Jundiá e Taiacupeba, Os reservatórios Paraitinga e Ponte Nova integram o sistema. Porém, não estão interligados diretamente aos demais, apesar de todos estarem inseridos na mesma sub-bacia.

No sistema inserido na cascata (Biritiba) foi observado no balanço de massa o efeito de retenção de nitrogênio total e fósforo total. Essa característica pode estar associada à regularização observada à jusante do reservatório, com vazões de saída oscilando entre 0,15 e 0,25 m³.s⁻¹.

Segundo CARVALHO *et al.* (2006), mudanças no tempo de residência da água, em função do controle de vazão de saída do sistema, provocam alterações na qualidade da água e modificam o equilíbrio entre os

compartimentos do sistema, promovendo a exportação de nutrientes e comprometendo os corpos de água existentes à jusante.

No reservatório Paraitinga foi observado, na última amostragem de campo (maio/06), equilíbrio em seu balanço de massa de nitrogênio total e fósforo total, as cargas de entrada foram similares às cargas de saída. A vazão de jusante do sistema teve grande influência no balanço de fósforo total, as regras operativas do reservatório impuseram altas vazões no período seco, detectadas em agosto/05, proporcionando a exportação desse elemento.

O aporte de nutrientes ao reservatório segue três caminhos: uma parte é assimilada, outra abandona o sistema pelos emissários e, normalmente, em função das características do sistema, a maior parte precipita no sedimento. A retirada de energia na transformação de um sistema lótico em lêntico, através da construção da barragem, produz o efeito de entulhamento (acúmulo de compostos transportados na fase rio) no reservatório. Vários reservatórios experimentam processo gradual de eutrofização ou já se encontram altamente eutrofizados em decorrência dos elevados aportes de fósforo, sendo a agricultura um importante elemento causador deste processo (CARVALHO *et al.*, 2006).

Para TUNDISI *et al.* (2006), de maneira geral, as represas retêm fósforo e exportam nitrogênio. Estudos desenvolvidos por SENDACZ *et al.* (2005), na bacia do Alto Tietê Cabeceiras, demonstraram que o reservatório Taiapuê segue este padrão, com retenção de fósforo e exportação de nitrogênio, mas o reservatório Jundiá não, exportando os dois nutrientes.

Os reservatórios estudados também não seguiram os padrões apresentados por TUNDISI *et al.* (2006), o reservatório Paraitinga exportou nitrogênio e fósforo no período chuvoso e reteve no período seco, o balanço anual estimado indica que o reservatório exportou fósforo e reteve nitrogênio. O reservatório Biritiba reteve nitrogênio e fósforo, tanto no período chuvoso como no seco, como consequência o balanço anual estimado indica retenção dos nutrientes.

Segundo CARMO *et al.* (2002), as exportações de nutrientes em reservatórios estão normalmente associadas à produção autóctone em sistemas eutrofizados, em função de estoques potenciais de nutrientes no sedimento e grande biomassa de algas.

RIBEIRO *et al.* (2005a), no reservatório Salto Caxias, no Paraná, verificaram exportação de fósforo superior às cargas afluentes monitoradas através da entrada via 3 tributários.

Enquanto for maior o P-total que sai do lago, em comparação com as entradas, pode-se concluir que o lago atua como uma fonte de P, graças à carga interna procedente dos sedimentos. Se há menos P-total que sai do lago em comparação com as entradas, é indicativo de que atua como depósito de P (DE ANDA e MANIAK, 2007).

O balanço anual (fontes pontuais e não pontuais) demonstra que os sistemas estudados estão atuando como depósitos de nitrogênio total e fósforo total. Com exceção do observado no primeiro mês de estudo no reservatório Paraitinga, que apresentou um pulso de exportação de fósforo total, os demais meses o sistema sofreu entulhamento de nutrientes.

Em ambientes aquáticos lênticos pode-se correlacionar a área de inundação às cargas de nutrientes exportados, e dessa forma comparar diferentes sistemas. O reservatório de Paraitinga apresentou coeficiente de exportação de fósforo de $1,44 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{ano}^{-1}$, valor 6 vezes maior ao obtido no reservatório de Biritiba ($0,25 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{ano}^{-1}$), considerando-se que este último apresenta o maior volume armazenado e área superficial pode-se concluir que as características morfométricas do ambiente influenciaram diretamente a retenção de fósforo.

Com relação ao coeficiente de exportação de nitrogênio total, os dois sistemas apresentaram similaridade aos obtidos para o fósforo total.

Segundo CCN (1997), o reservatório de Biritiba apresenta formato subdendrítico (formato visualizado na figura 9) e o reservatório de Paraitinga estrutura alongada (formato visualizado na figura 9) no eixo principal do rio Paraitinga, justificando dessa forma os diferentes coeficientes de exportação obtidos.

Segundo CARVALHO *et al.* (2006), no Alto Tietê-Cabeceiras, estudos recentes têm demonstrado que o problema da qualidade da água nos reservatórios está associado mais ao manejo do sistema, através da regulação de vazões, do que diretamente às formas de uso do solo e, particularmente, da agricultura.

Ambos os reservatórios são utilizados para abastecimento, o aumento do índice de estado trófico como consequência da piora na qualidade de água, quando levado em consideração seu uso, pode exercer impacto negativo, levando ao aumento de custos para o tratamento da água.

5. CONCLUSÕES

O uso do solo nas bacias hidrográficas e o acúmulo de massa de água devido à construção dos reservatórios relacionaram-se com alterações no pH, temperatura da água, condutividade elétrica, concentrações de nutrientes e clorofila *a*, tanto à montante quanto à jusante dos reservatórios Paraitinga e Biritiba.

As concentrações de fósforo total e as proporções de amônia total em relação ao nitrato e nitrito indicaram intervenção antrópica associada à poluição recente ou ao efeito da vegetação alagada durante o enchimento dos sistemas.

Os efeitos da sazonalidade observados na elevação das cargas de nitrogênio total e fósforo total no período chuvoso indicaram que o material de origem difusa oriundo via escoamento superficial teve influência direta no aporte desses nutrientes.

Através do balanço de massa de nitrogênio e fósforo ficou evidenciado que a sazonalidade e as regras operativas dos reservatórios têm forte influência nas alterações dessa variável. Houve retenção desses nutrientes nos reservatórios Paraitinga e Biritiba, indicando que propostas de manejo e recuperação devem estar condicionadas à demanda de uso da água e à tomada de decisão do órgão gestor.

6. RECOMENDAÇÕES

Os resultados do presente trabalho indicaram que nas bacias dos reservatórios Paraitinga e Biritiba, a recomposição da vegetação ciliar é uma importante estratégia na redução da carga difusa oriunda do uso e ocupação do solo para os sistemas.

A característica de retenção de nutrientes nos sistemas sinaliza para os gestores que os ambientes sofrem um processo de eutrofização. Portanto, estratégias para mitigar o problema envolvendo a redução do fósforo e o controle de processos ecológicos internos devem ser implantadas. Dados de literatura indicam que a biomanipulação de peixes e/ou macrófitas aquáticas, ou até mesmo o esvaziamento e posterior enchimento para remoção da carga interna, são estratégias eficientes na mitigação da degradação da água em reservatórios.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA. 1998 *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 20th ed. Washington: United Book Press, Inc. 1325p.
- ARAÚJO, S.C. DE S. 2005 *Modelos de simulação baseados em raciocínio qualitativo para avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas*. Brasília. 287p. (Tese de Doutorado. Instituto de Ciências Biológicas, UnB).
- 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. *Rev. Bras. Biol.*, São Carlos, 58(2): 233-239.
- BICUDO, C.E.M.; RAMÍREZ, R.J.J.; TUCCI, A.; BICUDO, D.C. 1999 Dinâmica de populações fitoplanctônicas em ambiente eutrofizado: O Lago das Garças, São Paulo. In: HENRY, R. (org.) *Ecologia de reservatórios: Estrutura, função e aspectos sociais*. São Paulo: FAPESP / FUNDIBIO. p.449-508.
- BIRITIBA-MIRIM. 2006 *Meio Ambiente: Bacia hidrográfica do Alto Tietê*. Disponível em: <http://www.biritibamirim.sp.gov.br/index.php?sitesig=PMBIRITIBAMIRIM&page=PMBIRITIBAMIRIM_0100_Meio_Ambiente>. Acesso em: 27 set. 2006.
- BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J.G.L.; BARROS, M.T.L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. 2003 *Introdução à engenharia ambiental*. Prentice Hall, São Paulo. 305p.
- BRANCO, S.M.; 1986 *Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária*, 3^a ed., CETESB: São Paulo. 640p.
- BRANCO, S.M. 2002. Água, meio ambiente e saúde. In: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. (Eds.). *Águas doces do Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. Escritura, São Paulo. p.227-247.
- BRANDIMARTE, A.L.; ANAYA, M.; SHIMIZU, G.Y.; MEIRELLES, S.T.; CANEPPELE, D. 2008 Impact of damming the Mogi-Guaçu River (São Paulo State, Brazil) on reservoir limnological variables. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, 13: 23–35.
- BRASIL. 2005 *Resolução CONAMA Nº 357, de 17 de março de 2005*. Brasília: CONAMA. 2005.
- BRIGAULT, S. e RUBAN, V. 2000 External phosphorus load estimates and P-budget for the hydroelectric reservoir of Bort-Les-Orgues, France. *Water, air, and soil pollution*, 119: 91-103.

- CÂMARA, C.D. 2004. *Critérios e indicadores para o monitoramento hidrológico de florestas plantadas*. São Carlos. 190p. (Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, USP).
- CARMO, C.F. 2002 *Aporte de nutrientes, nitrogênio e fósforo, e sua relação com os impactos antropogênicos em um lago urbano São Paulo, SP, Brasil*. 136p. (Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, USP).
- CARVALHO, Y.M.C.; MORAES, J.F.L.; VICENTE, M.C.M.; SENDACZ, S.; FRANCA, T.J.F. 2006 *Agricultura: serviço ambiental para a Bacia do Alto Tietê-Cabeceiras. São Paulo em Perspectiva*, São Paulo, 20(2): 118-135.
- CARVALHO, Y.M.C.; ARRUDA, F.; MORAES, J.F.L.; FRANCA, T.J.F. 2007 *Desafio para a gestão de bacia peri-urbana: transformar em serviço ambiental a produção da agricultura familiar*. 15p. Disponível em: http://www.cnpat.embrapa.br/sbsp/anais/resumos_trab/200.htm. Acesso em: 10 out. 2007.
- CAVALCANTI, M.A.M.P. 2002 *A modelagem matemática associada ao sistema de informação geográfica como instrumento de previsão no estudo do impacto hidrogeológico de reservatórios*. São Paulo. 188p. (Tese de Doutorado. Instituto de geociências, USP).
- CAVENAGHI, A.L.; VELINI, E.D.; GALO, M.L.B.T.; CARVALHO, F.T.; NEGRISOLI, E.; TRINDADE, M.L.B.; SIMIONATO, J.L.A. 2003 *Caracterização da qualidade de água e sedimento relacionados com a ocorrência de plantas aquáticas em cinco reservatórios da bacia do rio Tietê. Planta Daninha*, Viçosa, 21(Ed. Especial):43-52.
- CEPAGRI. *Clima dos municípios paulistas*. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>. Acesso em: 2007.
- CETESB. 2005 *Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo - 2004*. CETESB, São Paulo. 307 p.
- CETESB. 2006 *Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo - 2005*. CETESB, São Paulo. 488 p.
- CETESB. 2007 *Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo - 2006*. CETESB, São Paulo. 327 p.
- CCN Planejamento e Engenharia S/C Ltda. 1997. *Estudo de impacto ambiental*. Sistema produtor Alto Tietê. Barragens de Biritiba-Mirim, Paraitinga e complementação Taiapuê. DAEE/CCN, São Paulo. v 1-4.

- CHAPMAN, D. 1992. Water quality assessments. *A guide to use of biota, sediments and water in environmental monitoring*. Ed. Chapman, D. Chapman e Hall. Cambridge: Unesco/WHO/UNEP. 585p.
- CHOU, W.S.; LEE; T.C.; LIN, J.Y.; YU, S.L. 2007 Phosphorus Load Reduction Goals for Feitsui Reservoir Watershed, Taiwan. *Environ Monit Assess*, 131: 395-408.
- COOKE, G.D.; WELCH, E.B; PETERSON, S.A.; NICHOLS, S.A. 2005. *Restoration and management lakes and reservoirs*. CRC. 584p.
- CPTEC/INPE. *El Niño e La Niña*. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/enos/>. Acesso em: 26 jan. 2008.
- CRISPIM, J.Q. e STEVAUX, J.C. 2002 *Alterações na hidrologia do canal do rio Paraná após a construção do reservatório de Porto Primavera*. Relatório PELD, Nupélia. Disponível em: http://www.peld.uem.br/Relat2002/peld-reltec02-Comp_Fisico.htm. Acesso em: 21 jan. 2008.
- DAEE. 1999 O complexo Alto Tietê e o abastecimento da RMSP. *Revista água e energia*. Abr. 1999. Disponível em: http://www.daae.sp.gov.br/cgi-bin/Carrega.exe?arq=/acervoepesquisa/relatorios/revista/raee9904/alto_tiete.htm. Acesso em: 6 nov. 2007.
- DAEE. 2006a *Barragens do rio Biritiba e do rio Paraitinga*. Disponível em: <http://www.daae.sp.gov.br/combateaenchantes/coebiritiba.htm>. Acesso em: 26 jan. 2006.
- DAEE. 2006b *Reservatório de Paraitinga*. Disponível em: http://www.daae.sp.gov.br/parques/parque_paraitinga.htm. Acesso em: 26 jan. 2006.
- DAEE. 2006c *Sistema produtor Alto Tietê*. Disponível em: <http://www.daae.sp.gov.br/altotiete/index.htm>. Acesso em: 26 jan. 2006.
- DAEE. 2006d *Reservatórios do Alto Tietê*. Disponível em: <http://www.daae.sp.gov.br/combateaenchantes/coealtotiete.htm>. Acesso em: 26 jan. 2006.
- DAEE. 2007 *Sistema Alto Tietê acumula 311 milhões de metros cúbicos*. Disponível em: <http://www.daae.sp.gov.br/cgi-bin/Carrega.exe?arq=/cgi-bin/montaobrasenoticias.exe/montaitens?id=1687&tipo=noticia>. Acesso em: 27 nov. 2007.
- DAEE. 2008 *Sistema Produtor Alto Tietê*. Disponível em: <http://www.daae.sp.gov.br/cgi-bin/Carrega.exe?arq=/altotiete/index.htm>. Acesso em: 30 abr. 2008.
- DAEE. 2008a. *Notícias*. Disponível em: <http://www.daae.sp.gov.br/cgi-bin/Carrega.exe?arq=/cgi-bin/montaobrasenoticias.exe/montaitens?id=>

1899&tipo=noticia. Acesso em: 3 nov. 2008.

- DE ANDA, J. e MANIAK, U. 2007 Modificaciones en el régimen hidrológico y sus efectos en la acumulación de fósforo y fosfatos en el lago de Chapala, México. *INCI*, Caracas, 32(2): 100-107.
- DIONNE, D. e THÉRIEN, N. 1997 Minimizing environmental impacts of hydroelectric reservoirs through operational control: a generic approach to reservoirs in northern Quebec. *Ecological Modelling*, cidade, 105: 41–63.
- EIGER, S.; ARANHA, C.H.; GOMES, M.C.A.; PEREZ, L.; BUENO NETO, A.S. 1999 Modelagem matemática de cargas difusas na bacia do Guarapiranga, São Paulo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 13, 28-02/nov.-dez., *Anais...* Belo Horizonte: ABRH. 1 CD-ROM.
- EMPLASA. 2006 Uso e ocupação do solo da RMSP e bacia hidrográfica do Alto Tietê. In: SEMINÁRIO GUARAPIRANGA, 1, São Paulo, 30 mai.-2 jun./2006. *Anais eletrônicos...* Disponível em: <http://www.socioambiental.org/inst/sem/guarapiranga2006/pgn/intro.html>. Acesso em: 24 jun. 2008.
- ESPÍNDOLA, E.L.G.; FARIA, O.B.; LEITE, M.A. 2004 Reservatórios de Salto Grande: uma caracterização geral do sistema. In: Espíndola, E.L.G., Leite, M.A.; Dornfeld, C.B. (org.) *Reservatório de Salto Grande (Americana, SP): Caracterização, Impactos e propostas de manejo*. São Carlos: Rima. p.1-18.
- ESPÍNDOLA, E.L.G.; ROCHA, O.; RIETZLER, A.C. 2004a Caracterização limnológica do reservatório de Salto Grande (Americana, SP): uma análise espacial e temporal. In: Espíndola, E.L.G.; Leite, M.A.; Dornfeld, C.B. (org.) *Reservatório de Salto Grande (Americana, SP): Caracterização, Impactos e propostas de manejo*. São Carlos: Rima. p.37-54.
- FRIEDL, G. e WÜEST, A. 2002 Disrupting biogeochemical cycles – Consequences of damming. *Aquat. Sci*, Dübendorf, 64: 55–65.
- FUSP. 2000 *Plano da bacia do Alto Tietê*. São Paulo: Comitê da bacia hidrográfica do Alto Tietê / FUSP.
- FUSP. 2007 *Sub-regiões hidrográficas e subcomitês*. Mapa escala 1:400.000. Disponível em: <http://www.agenciaaltotiete.org.br/Imagens/bhat31.jpg>. Acesso em: 26 abr. 2008.
- GARCIA, L.A.V.; PORTO, R.L.L.; MELLO JR., A.V.; LISBOA NETO, H.; SCHARDONG, A.; MARCELLINI, S.S. 2007 MOSPAT - Modelo de operação em tempo real do sistema produtor do Alto Tietê. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17, São Paulo, 25-29/nov./2007. *Anais...* São Paulo: ABRH. 1 CD-ROM.

- HYNES, H.B.N. 1970 *The ecology of running waters*. Liverpool: Liverpool University Press. 555 p.
- HENRY, R. 1992 A exportação de nutrientes e material em suspensão em alguns cursos de água na bacia do alto Paranapanema (Estado de São Paulo). *Acta Limnol. Bras.*, 4: 67-79.
- HENRY, R.; NUNES, M.A.; MITSUKA, P.M.; LIMA, N.; CASANOVA, S.M.C. 1998 Variação espacial e temporal da produtividade primária pelo fitoplâncton na represa de Jurumirim (rio Paranapanema, SP). *Rev. Brasil. Biol.*, São Carlos, 58(4): 571-590.
- HENRY, R. e NOGUEIRA, M.G. 1999 A represa de Jurumirim (São Paulo): Primeira síntese sobre o conhecimento limnológico e uma proposta preliminar de manejo ambiental. In: HENRY, R. (org.) *Ecologia de reservatórios: Estrutura, função e aspectos sociais*. São Paulo: FAPESP/FUNDIBIO. p.651-709.
- HENRY, R.; SANTOS, A.A.N.; CAMARGO, Y.R. 1999 Transporte de sólidos suspensos, N e P total pelos rios Paranapanema e Taquari e uma avaliação de sua exportação na represa de Jurumirim (São Paulo, Brasil). In: HENRY, R. (org.) *Ecologia de reservatórios: Estrutura, função e aspectos sociais*. São Paulo: FAPESP/FUNDIBIO. p.687-710.
- HENRY, R.; CARMO, C.F.; BICUDO, D.C. 2004 Trophic status of a Brazilian urban Reservoir and prognosis about the recovery of water quality. *Acta Limnol. Bras.*, 16(3): 251-262.
- JOSSETTE, G.; LEPORCQ, B.; SANCHEZ, N.; PHILIPPON. 1999 Biogeochemical mass-balances (C, N, P, Si) in three large Reservoirs of the Seine Basin (France). *Biogeochemistry*, 47: 119–146.
- JØRGENSEN, S.E. 1988 *Fundamentals of Ecological Modelling. Série: Developments in environmental modeling: 9*. New York: Elsevier Science Publishing Company Inc., 391p.
- JØRGENSEN, S.E. e VOLLENWEIDER, R.A. 1989 *Guidelines of Lake Management. Principles of Lake Management*. Japan: ILEC/UNEP. 199p.
- JÚLIO JR., H.; BONEKER, C.C.; AGOSTINHO, A.A. 1997 Reservatório de Segredo e sua inserção na bacia do rio Iguaçu. In: AGOSTINHO A.A.; GOMES, L.C. (Ed.) *Reservatório de Segredo: bases ecológicas para o manejo*. p.1-17.
- JUNK, W.J. e MELLO, J.A.S.N. 1990 Impactos ecológicos das represas hidrelétricas na bacia amazônica brasileira. *Estud. Av.*, São Paulo, 4(8): 126-143.

- KIMMEL, B.L.; LIND, O.T.; PAULSON, L.J. 1990 Reservoir primary production. In: THORNTON, K.W.; KIMMEL, B.L.; PAYNE, F.E. (eds.). *Reservoir Limnology: Ecological perspectives*, A. New York: Wiley - Interscience Publication. p.133-193.
- LEITE, M.A. e ESPÍNDOLA, E.L.G. 2004 Aporte e taxa de sedimentação de material em suspensão e nutrientes (nitrogênio orgânico total e fósforo total) no reservatório Salto Grande. In: ESPÍNDOLA, E.L.G.; LEITE, M.A.; DORNFELD, C.B. (org). *Reservatório de Salto Grande (Americana, SP): Caracterização, Impactos e propostas de manejo*. São Carlos: Rima. p.71-90.
- LEONARDO, H.C.L. 2003 *Indicadores de qualidade de solo e água para avaliação do uso sustentável da microbacia hidrográfica do rio Passo Cue, região oeste do estado do Paraná*. Piracicaba. 131p. (Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP).
- LOPES, A.S. 1983 *Solos sob cerrado: características, propriedades e manejo*. Piracicaba: Potafos. 162p.
- MACÊDO, J.A.B. 2003 *Métodos laboratoriais. Análises físico-químicas & microbiológicas*. Belo Horizonte: CRQ. 450p.
- MACKERETH, F.J.H.; HERON, J.; TALLING, J.F. 1978 *Water analysis: some revised methods for limnologists*. Kendall: Titus Wilson & Son Ltd. Freshwater Biological Association Scientific Publication. 120 p.
- MANSOR, M.T.C. 2005 *Potencial de poluição de águas superficiais por fontes não pontuais de fósforo na bacia hidrográfica do Ribeirão do Pinhal, Limeira-SP*. Campinas. 189p. (Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP).
- MARIANI, C.F. 2006 *Reservatório Rio Grande: caracterização limnológica da água e biodisponibilidade de metais-traço no sedimento*. São Paulo. 138p. (Dissertação de Mestrado. Instituto de Biociências, USP).
- MARQUES, J.S. e ARGENTO, M.S.F. 1988 O uso de flutuadores para avaliação da vazão de canais fluviais. *Geociências*, 7: 173-186.
- MATZINGER, A.; SCHMID, M.; VELJANOSKA-SARAFILOSKA, E.; PATCEVA, S.D.; GUSESKA, B.; WAGNER, B.; MÜLLER, M.; STURM, A.; WÜEST, A. 2007 Eutrophication of ancient Lake Ohrid: Global warming amplifies detrimental effects of increased nutrient inputs. *Limnol. Oceanogr.*, cidade, 52(1):338–353.
- MINUZZI, R.B.; SEDIYAMA, G.C.; BARBOSA, E.M.; MELO Jr, J.C.F. 2007 Climatologia do comportamento do período chuvoso da região sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São José dos Campos, 22(3):338-344.

- MIRANDA, E.E. (Coord.). 2005 *Brasil em Relevô*. Campinas: Embrapa monitoramento por satélite. Disponível em: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>. Acesso em: 15 abr. 2008.
- MOCCELLIN, J. 2006 *A microbacia do rio Jacupiranguinha como unidade de estudo para a sustentabilidade dos recursos hídricos no baixo Ribeira de Iguape-SP*. São Carlos. 151p. (Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, USP).
- MONTEIRO, M.D.; SÍGOLO, J.B.; MANCUSO, M.A. 2007 Avaliação do conteúdo de metais associados ao uso de defensivos agrícolas nas águas subterrâneas da área de influência do reservatório de Biritiba-Mirim (SP). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17, São Paulo, 25-29/nov./2007. *Anais...* São Paulo: ABRH. 1 CD-ROM.
- MORAIS, M.; RANGEL, M.; PEDRO, A.; FONSECA, R.; BARRIGA, F.; THEODORO, S. 2007 Avaliação comparativa do funcionamento físico e químico da água nos reservatórios de Três Marias e de Tucuruí. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17, São Paulo, 25-29/nov./2007. *Anais...* São Paulo: ABRH. 1 CD-ROM.
- NOGUEIRA, N.M.C.; RAMIREZ, J.J. 1998 Variação mensal da condição trófica do Lago das Garças (São Paulo, SP, Brasil). *Acta Limnol. Bras.* 10: 21-34.
- NOGUEIRA, M.G.; JORCIN, A.; VIANNA, N.C.; BRITTO, Y.C.T. 2005 Reservatórios em cascata e os efeitos na limnologia e organização das comunidades bióticas (fitoplâncton, zooplâncton e zoobentos)-Um estudo de caso no Rio Paranapanema (SP/PR). In: NOGUEIRA, M.G.; HENRY, R.; JORCIN, A. (org.). *Ecologia de reservatórios: Impactos potenciais, ações de manejo e sistemas em cascata*. São Carlos: RiMa. p. 83-125.
- NOVOTNY, V. 1995 *Nonpoint pollution and urban stormwater management. Water quality management library*. Vol 9. Lancaster: Technomic. 434p.
- NÜRNBERG, G.K. 1984 The prediction of internal phosphorus load in lakes with anoxic hypolimnia. *Limnol. Oceanogr.*, 29(1): 111-124.
- OLIVEIRA, E.; PERDOMO, C.V.; TEIXEIRA FILHO, J.; GODOY, H.T. 2007 Avaliação de carga de fósforo total em uma bacia hidrográfica com cobertura vegetal de floresta na serra do Japi. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17, São Paulo, 25-29/nov./2007. *Anais...* São Paulo: ABRH. 1 CD-ROM.
- PELÁEZ-RODRÍGUEZ, M. 2001 *Avaliação da qualidade da água da bacia do Alto Jacaré-Guaçu/SP (ribeirão do Feijão e rio do Monjolinho) através das variáveis físicas, químicas e biológicas*. São Carlos. 147 p. (Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, USP).

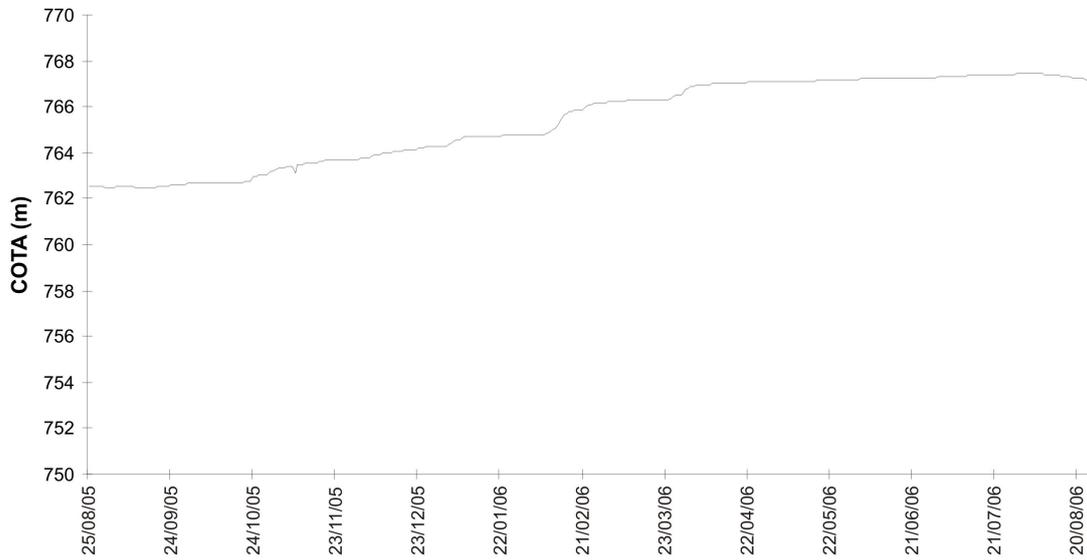
- PEREIRA, V.L.R. 2002 A limnologia e o gerenciamento integrado do reservatório da usina hidrelétrica Luiz Eduardo Magalhães - UHE Lajeado Tocantins. São Carlos. 191p. (Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, USP).
- PRIMAVESI, O.; FREITAS, A.R.; OLIVEIRA, H.T.; PRIMAVESI, A.C.P.A. 2000 A qualidade da água na microbacia hidrográfica do ribeirão Canchim, São Carlos, SP, ocupada por atividade pecuária. *Acta Limnol. Bras.* 12(1): 95-111.
- RECKHOW, K.H.; BEAULAC, M.N.; SIMPSON, J.T. 1980 *Modeling phosphorus loading and Lake Response under uncertainty: A manual and compilation of export coefficients*. Washington: U.S. Environmental Protection Agency. 224p.
- RIBEIRO, L.H.L.; BRANDIMARTE, A.L.; KISHI, R.T. 2005 Formation of the Salto Caxias Reservoir (PR) – an approach o the eutrophication process. *Acta limnol. Bras.* 17(2):155-165.
- RIBEIRO, L.H.L.; KISHI, R.T.; ALBERTI, S.M.; BUBA, H.; BIZZONI, O.; OLIVEIRA, A.G.; MARENDA, P.A. 2005a Carga de nutrientes afluente ao reservatório da usina hidrelétrica de Salto Caxias (PR): um enfoque ao controle da eutrofização. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16, João Pessoa, 20-24/nov./2005. *Anais...* João Pessoa: ABRH. 1 CD-ROM.
- RIVERA, E.A.C. 2003 *Modelo Sistêmico para Compreender o Processo de Eutrofização em um Reservatório de Água*. Campinas. 152p. (Dissertação de mestrado. Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP).
- RODGHER, S.; ESPÍNDOLA, E.L.G.; ROCHA, O.; FRACÁCIO, R.; PEREIRA, R.H.G.; RODRIGUES, M.H.S. 2005 Limnological and ecotoxicological studies in the cascade of reservoirs in the Tietê River (São Paulo, Brazil). *Braz. J. Biol.*, 65(4): 697-710.
- ROBSON, B.J.; BUKAVECKAS, P.A.; HAMILTON, D.P. 2008 Modelling and mass balance assessments of nutrient retention in a seasonally-flowing estuary (Swan River Estuary, Western Australia). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 76: 282-292.
- ROMANINI, P.U.; SHIMIZU, G.Y.; CRUZ, J.A.; FONTANA, S.C.; CARVALHO, M.A.J.; BICUDO, C.E.M. 1994 *Alterações ecológicas provocadas pela construção da barragem da UHE de Rosana sobre o baixo rio Paranapanema, SP/PR*. São Paulo: CESP/IBUSP. 153p.
- SALAH, A.M.; FIELDS, P.J.; MILLER, A.W. 2005 Simulating uncertainty in mass balance modeling for fresh water Reservoirs; case study: Deer Creek Reservoir, Utah, USA. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE. 2005. p.2385-2394.

- SALAS, H.J. e MARTINO, P. 1990 *Metodologías simplificadas para la evaluación de la eutrofización en lagos calidos tropicales*. Washington: CEPIS/HPE/OPS. 51p.
- SALAS, H.J. e MARTINO, P. 1991 A simplified phosphorus throphic state model for warmwater tropical lakes. *Water Resources*, 25(3): 341-350.
- SÃO PAULO. 1977 *Decreto nº 10.755 - de 22 de novembro de 1977*. São Paulo: São Paulo. 13p.
- SÃO PAULO. 2008 *Constituição do Estado de São Paulo*. Atualizada em 13/05/2008. Disponível em: <http://www.al.sp.gov.br/porta/site/Internet/menuitem.e1759486adfecf9b3d7b0f10f20041ca/?vgnextoid=ef1c0b9198067110VgnVCM100000590014acRCRD>. Acesso em: 15 jun. 2008.
- SAWYER, C.N.; CARTY, P.L.; PARKIN, G.F. 2003 *Chemistry for the Environmental Engineering*, 4. ed. New York: McGraw-Hill. 752p.
- SCHARDONG, A. 2006 *Aplicações de técnicas de programação linear e extensões para otimização da alocação de água em sistemas de recursos hídricos, utilizando métodos de pontos interiores*. São Paulo. (Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica, USP).
- SENDACZ, S.; MONTEIRO JUNIOR, A.J.; MERCANTE, C.T.J.; MENEZES, L.C.B.; MORAES, J.F. 2005 Sistemas em cascata: concentrações e cargas de nutrientes no Sistema Produtor Alto Tietê, São Paulo. In: NOGUEIRA, M. G.; HENRY, R e JORCIN, A. (org.). *Ecologia de reservatórios: Impactos potenciais, ações de manejo e sistemas em cascata*. São Carlos: RiMa. p.417-434.
- SILVA, A.S. e PORTO, M.F.A. 2003 A utilização do modelo WinHSPF no estudo das cargas difusas de poluição da bacia do ribeirão da Estiva, SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 15, Curitiba 23-27/dez./2003. *Anais...* São Paulo: ABRH, 2003. 1 CD-ROM.
- SHARPLEY, A.N. 1993 Estimating phosphorus in agricultural runoff available to several algae using iron oxide paper strips. *J. Env. Quality*, 22: 678-680.
- SOLORZANO, L. 1969 Determination of ammonia in natural waters by the phenolhypochlorite method. *Limnol. & oceanogr.* 14: 799-801.
- STRAŠKRABA, M. 1999 Retention time as a key variable of reservoir limnology. In: TUNDISI, J.G.; STRAŠKRABA, M. *Theoretical reservoir ecology and its applications*. São Carlos: International Institute of Ecology/Brazilian Academy of Sciences/Backhuys. p.385-410.
- STRICKLAND, J.D. e PARSONS, T.R. 1960 A manual of seawater analysis. *Bull. Fish. Res. Board Can.*, 125: 1-185.

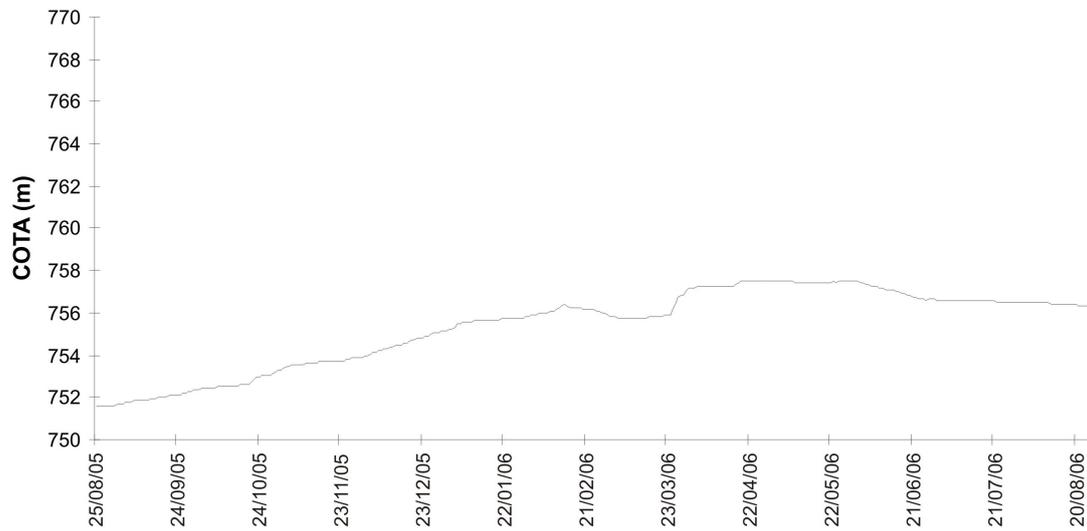
- SIGRH. 2007. Base georreferencial pluviométrica do Estado de São Paulo. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/bdhm.exe/plu>. Acesso em: 6 dez. 2007.
- THOMANN, R.V. e MUELLER, J.A. 1987 *Principles of surface water quality modeling and control*. New York: Harper & How. 644p.
- TOLEDO JR., A.P.; TALARICO, M.; CHINEZ, S.J.; AGUDO, E.G. 1983 A aplicação de modelos simplificados para a avaliação e processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, 22, Camburiú. *Anais...* Camburiú: UESC. p.1-34.
- TUNDISI, J.G. e MATSUMURA-TUNDISI, T. 1995 The Broa-Lobo ecosystem research. In: TUNDISI, J.G.; BICUDO, C.E.M.; MATSUMURA-TUNDISI, T. (ed.). *Limnology in Brazil*. Rio de Janeiro: SBL. p.219–243.
- TUNDISI, J. G. 1996 Reservoirs as complex systems. *Ciência e cultura*. 48(5/6): 383-387.
- TUNDISI, J.G. 1999 Reservatórios como sistemas complexos: teorias, aplicações e perspectivas para usos múltiplos. In: HENRY, R. (org). *Ecologia de reservatórios: Estrutura, função e aspectos sociais*. São Paulo: FAPESP/FUNDIBIO. p.18-38.
- TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; ROCHA, O. 2006 Limnologia de Águas Interiores. Impactos, conservação e recuperação de ecossistemas aquáticos. In: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI J.G. (ed.). *Águas doces do Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. São Paulo: Escritura. p.203-240.
- TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; ROCHA, O. 2006a Ecossistemas de águas interiores. In: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. (ed.). *Águas doces do Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. São Paulo: Escritura. p.153-192.
- WACHHOLZ, F. e PEREIRA FILHO, W. 2005 A limnologia em relação ao ambiente terrestre, identificado com o uso de imagens CBERS-2, em distintas áreas de captação da bacia hidrográfica do arroio Barriga, RS – Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, Goiânia, 16-21/abr./2005, *Anais...* Goiânia: INPE. p.1135-1141.
- WCD. 2000 *Represas y desarrollo el reporte final de la comision mundial de represas*. WCD. 456p. Disponível em: <http://www.dams.org/>. Acesso em: 26 abr. 2008.
- WETZEL, R. 2001 *Limnology Lake and River ecosystems*. New York: Academic Press. 1006p.

- WINTER, J.G. e DUTHIE, H.C. 2000 Export coefficient modeling to assess phosphorus loading in an urban watershed. *Journal of the american water resources association*, 36(5): 1053-1061.
- VALDERRAMA, J.C. 1981 The simultaneous analysis of nitrogen and total phosphorus in natural waters. *Marine Chemistry*, 10: 109-122.
- VITOUSEK, P.M. 1983 The effects of deforestation on air, soil and water. In: BOLIN, B. e COOK, R.B. (ed). *The major biogeochemical cycles and their interaction*. Chichester: Wiley. p.223-245.
- XAVIER, C.F. 2005 *Avaliação da influência do uso e ocupação do solo e de características geomorfológicas sobre a qualidade das águas de dois reservatórios da região metropolitana de Curitiba – Paraná*. Curitiba. 167p. (Dissertação de Mestrado. Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, UFPR).
- YAN, W.; ZHANG, S.; CHEN, X.; TANG, Y. 2005 Nitrogen export by runoff from agricultural plots in two basins in China. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 71: 121–129.
- ZHONG, Y e POWER, G. 1996 Environmental impacts of hydroelectric projects on fish resources in China. *Regulated rivers: research & management*, 12: 81-98.

ANEXO 1



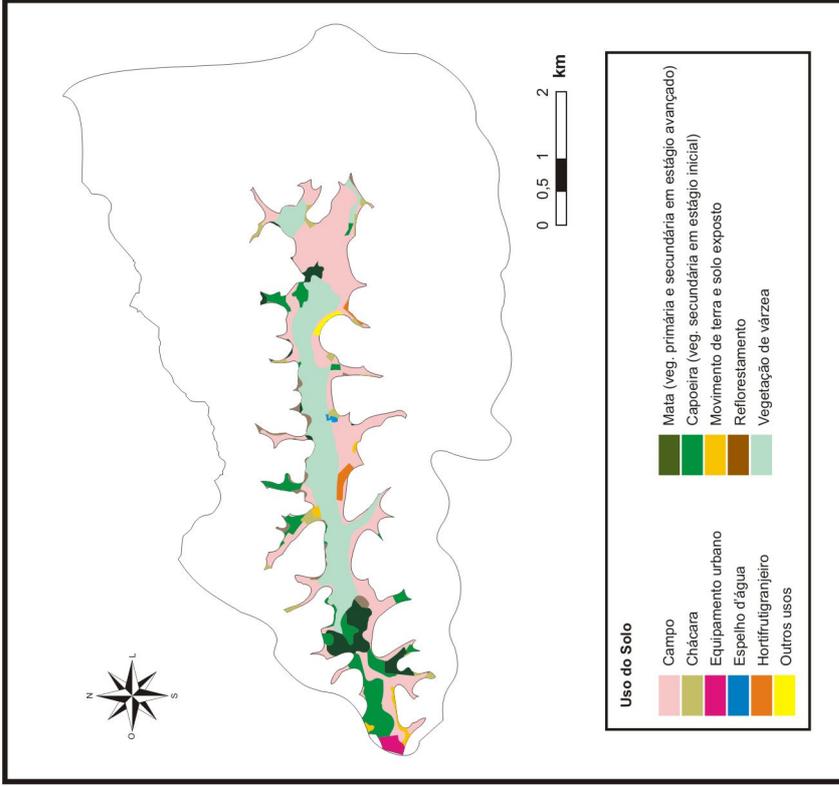
Cota (m) de enchimento do reservatório Paraitinga de agosto/2005 - agosto/2006.



Cota (m) de enchimento do reservatório Biritiba de agosto/2005 - agosto/2006.

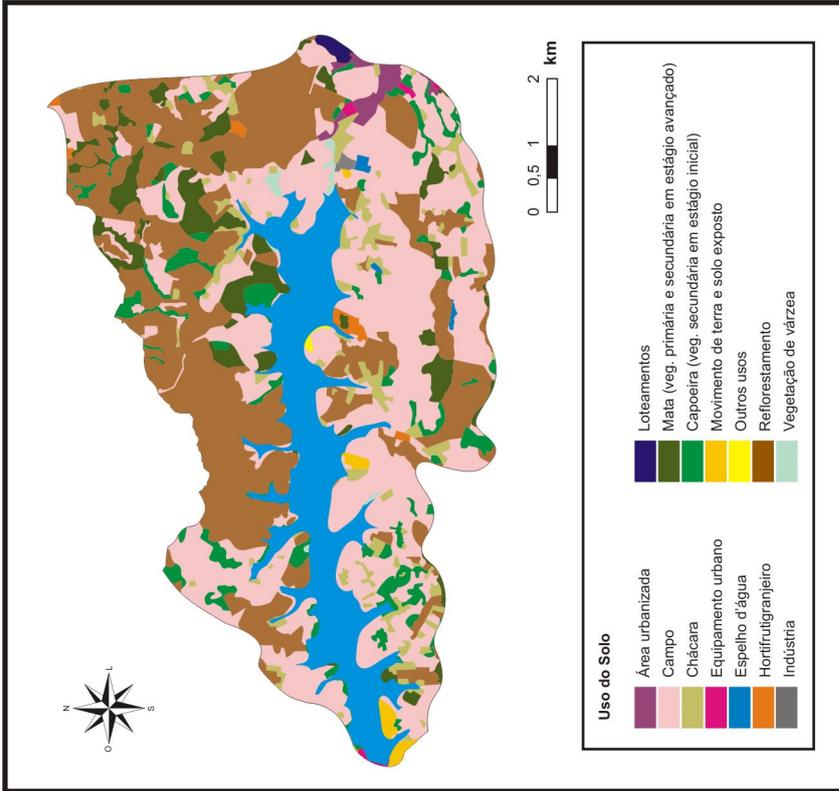
ANEXO 2

b)



Uso do solo	%	Uso do solo	%
Campanha	41,5	Mata	6,5
Chácara	2,4	Capoeira	11,2
Equipamento urbano	1,1	Mov. Terra ou solo exposto	1,1
Espelho d'água	0,2	Reflorestamento	1,9
Hortifrutigranjeiro	1,2	Vegetação de várzea	32,3
Outros usos	0,6		

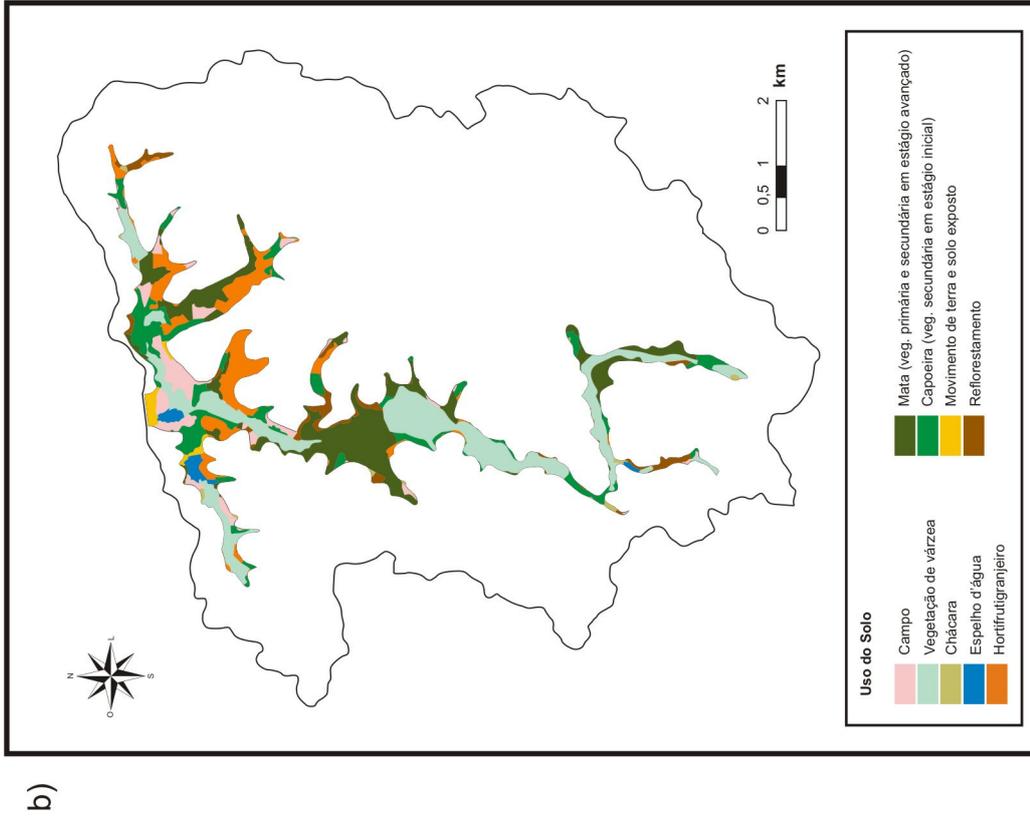
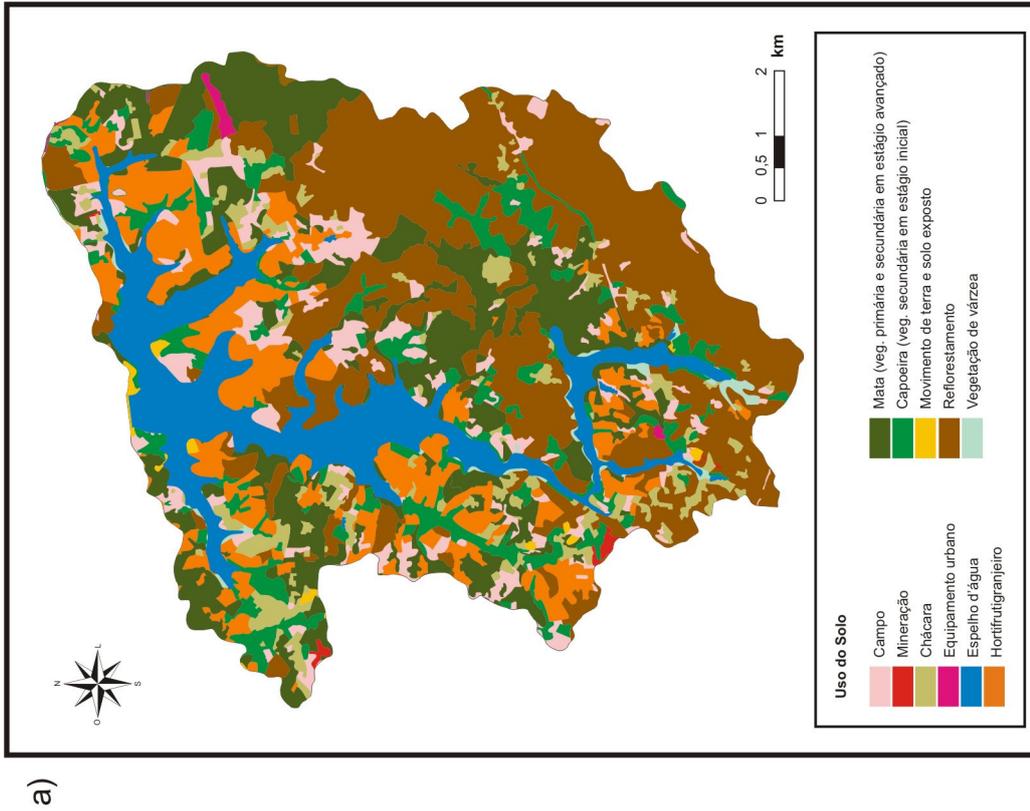
a)



Uso do solo	%	Uso do solo	%
Área urbanizada	1,0	Loteamentos	0,3
Campanha	41,1	Mata	7,0
Chácara	5,7	Capoeira	6,3
Equipamento urbano	0,2	Mov. Terra ou solo exposto	0,7
Espelho d'água	0,2	Outros usos	0,13
Hortifrutigranjeiro	0,5	Reflorestamento	6,1
Indústria	0,1	Vegetação de várzea	0,4

Mapa de uso do solo e suas respectivas porcentagens de ocupação na região do reservatório Paraitinga: a) entorno e b) coberto pelo espelho d'água.

ANEXO 3



Mapa de uso do solo e suas respectivas percentagens de ocupação na região do reservatório Paraitinga: a) entorno e b) coberto pelo espelho d'água.