



COPPE/UFRJ

CONTRIBUIÇÃO ANTRÓPICA NA POLUIÇÃO DE RESERVATÓRIOS
HIDRELÉTRICOS: O CASO DA USINA HIDRELÉTRICA DE SÃO SIMÃO -
GO/MG

Gizele Araújo Borba da Fonseca

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Planejamento Energético.

Orientador: Marco Aurélio dos Santos

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2010

CONTRIBUIÇÃO ANTRÓPICA NA POLUIÇÃO DE RESERVATÓRIOS
HIDRELÉTRICOS: O CASO DA USINA HIDRELÉTRICA DE SÃO SIMÃO -
GO/MG

Gizele Araújo Borba da Fonseca

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA
(COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE
EM CIÊNCIAS EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

Examinada por:

Prof. Marco Aurélio dos Santos, D.Sc.

Prof. Luiz Pinguelli Rosa, D.Sc.

Prof. Ricardo Motta Pinto Coelho, Ph.D.

Dr. Ednaldo Oliveira dos Santos, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL
FEVEREIRO DE 2010

Fonseca, Gizele Araújo Borba da

Contribuição Antrópica na Poluição de Reservatórios Hidrelétricos: o Caso da Usina Hidrelétrica de São Simão - GO/MG / Gizele Araújo Borba da Fonseca - Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2010.

XIII, 116 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Marco Aurélio do Santos

Dissertação (Mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Planejamento Energético, 2010.

Referências Bibliográficas: p. 83-96.

1. Poluição de Reservatórios Hidrelétricos. 2. Eutrofização das águas. I. Santos, Marco Aurélio dos. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Planejamento Energético. III. Título.

À minha amada mãe,
presença eterna em meu coração.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, pai bondoso, por permitir realizar mais esta etapa em minha vida.

Ao Davi, pelo apoio incondicional, encorajamento e companheirismo.

À minha família, pelo carinho e por estar sempre ao meu lado.

Ao Guilherme Wilson, irmão, amigo e incentivador.

A todos os amigos (de BH e do Rio) que viveram comigo esta jornada, às vezes árdua, mas emocionante.

Aos amigos do mestrado, em especial à Tati, Diego e Cléa, pelos momentos compartilhados.

Ao professor Marco Aurélio dos Santos, pelos ensinamentos e pela orientação deste mestrado.

Ao professor Gilberto Caldeira, pelos comentários e sugestões que ajudaram a direcionar este trabalho.

Ao professor Ricardo Motta, pela receptividade e confiança, e cuja contribuição foi fundamental para a realização deste trabalho.

Aos professores do PPE que, com seus ensinamentos, contribuíram para minha formação.

Aos funcionários do PPE, sempre prestativos a nos auxiliar nas burocracias do dia-a-dia.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro através da bolsa de estudo.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

CONTRIBUIÇÃO ANTRÓPICA NA POLUIÇÃO DE RESERVATÓRIOS
HIDRELÉTRICOS: O CASO DA USINA HIDRELÉTRICA DE SÃO SIMÃO -
GO/MG

Gizele Araújo Borba da Fonseca

Fevereiro/2010

Orientador: Marco Aurélio dos Santos

Programa: Planejamento Energético

Este trabalho buscou avaliar a contribuição antrópica na poluição de reservatórios hidrelétricos através do estudo de caso da Hidrelétrica de São Simão. A literatura relaciona o problema da eutrofização com a entrada de nutrientes (nitrogênio e fósforo) em excesso, resultado da poluição dos corpos d'água. Através de dados obtidos tanto para os rios tributários quanto para o próprio reservatório, verificou-se que o reservatório de São Simão apresenta um quadro de eutrofização. Foram feitas uma análise para se descobrir quais rios tributários seriam as principais fontes de nutrientes lançados nas águas do reservatório e um levantamento das possíveis atividades humanas que estariam contribuindo com o aporte de nutrientes nestes tributários.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.).

ANTHROPIC CONTRIBUTION OF POLLUTION IN HYDROELECTRIC
RESERVOIRS: THE CASE OF SÃO SIMÃO'S HYDROELECTRIC DAM - GO/MG

Gizele Araújo Borba da Fonseca

February/2010

Advisor: Marco Aurélio Santos

Department: Energy Planning

This study aimed to evaluate the contribution of anthropogenic pollution in hydroelectric reservoirs through a case study of the São Simão Hydropower. The literature relates the problem of eutrophication with the addition of nutrients (nitrogen and phosphorus) in excess, resulting in water pollution. Through data for both tributary rivers and the reservoir, it was found that the São Simão dam presents a framework for eutrophication. We made an analysis to see which tributary rivers were the main sources of nutrients released into the waters of the reservoir and a survey of possible human activities that are contributing to the intake of nutrients in these tributaries.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DA LITERATURA	5
3. MATERIAIS E MÉTODOS	16
3.1. Área de Estudo.....	16
3.2. Geoprocessamento	18
3.3. Coleta nos Tributários	22
3.4. Coleta no Reservatório	25
3.5. Fitoplâncton, Cianobactérias e Clorofila-a no Reservatório	26
3.6. Fitoplâncton nos Tributários.....	27
3.7. Cronograma de Coletas	27
3.8. Dados de Precipitação	28
3.9. Índice de Estado Trófico.....	28
3.10. Uso do Solo das Sub-Bacias Contribuintes	30
4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	32
4.1. Análise dos Resultados das Coletas.....	44
4.2. Resultados do Índice de Estado Trófico	53
4.3. Fósforo Total e Estado Trófico.....	56
4.4. Fator Limitante da Eutrofização em São Simão.....	58
4.5. Parâmetros Físico-Químicos	60
5. ANÁLISE DO USO DO SOLO DE SUB-BACIAS CONTRIBUINTES.....	66
6. CONCLUSÕES.....	79
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
ANEXOS	97
ANEXO 1 – Estações Lóticas e Lênticas de Coleta.....	98
ANEXO 2 – Tabelas das Variáveis medidas nos Pontos de Coleta (Tributários e Reservatório)	101
ANEXO 3 - Índices de Estado Trófico Modificado de Carlson (IET _m) para os Tributários e Pontos do Reservatório de São Simão.	114

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Volume de Esgoto Coletado e Tratado, segundo as Regiões.	2
Figura 3.1 - Rios e Bacias Hidrográficas de Minas Gerais.	17
Figura 3.2 - Cartograma Ilustrando a Localização do Reservatório de São Simão nos Estados de MG e GO, a Bacia de Drenagem e a Rede de Tributários.	21
Figura 3.3 - Localização dos Pontos de Coleta.	23
Figura 4.1 – Nitrito medido de Janeiro de 2002 a Janeiro de 2004 nos Pontos de Coleta localizados nos Tributários.	32
Figura 4.2 – Nitrato medido de Janeiro de 2002 a Janeiro de 2004 nos Pontos de Coleta localizados nos Tributários.	32
Figura 4.3 – Amônia medida de Janeiro de 2002 a Janeiro de 2004 nos Pontos de Coleta localizados nos Tributários.	33
Figura 4.4 – Nitrito medido de Janeiro de 2002 a Janeiro de 2004 nos Pontos de Coleta localizados no Reservatório.	34
Figura 4.5 – Nitrato medido de Janeiro de 2002 a Janeiro de 2004 nos Pontos de Coleta localizados no Reservatório.	34
Figura 4.6 – Amônia medida de Janeiro de 2002 a Janeiro de 2004 nos Pontos de Coleta localizados no Reservatório.	34
Figura 4.7 – Fósforo Total medido de Janeiro de 2002 a Janeiro de 2004 nos Pontos de Coleta localizados nos Tributários.	36
Figura 4.8 – Fósforo Solúvel medido de Janeiro de 2002 a Janeiro de 2004 nos Pontos de Coleta localizados nos Tributários.	36
Figura 4.9 – Fósforo Total medido de Janeiro de 2002 a Janeiro de 2004 nos Pontos de Coleta localizados no Reservatório.	37
Figura 4.10 – Fósforo Solúvel medido de Janeiro de 2002 a Janeiro de 2004 nos Pontos de Coleta localizados no Reservatório.	37
Figura 4.11 – Clorofila-a medida de Janeiro de 2002 a Janeiro de 2004 nos Pontos de Coleta localizados no Reservatório.	38
Figura 4.12 – Cianobactérias medidas de Janeiro de 2002 a Janeiro de 2004 nos Pontos de Coleta localizados no Reservatório.	38
Figura 4.13 – Clorofíceas medidas de Janeiro de 2002 a Janeiro de 2004 nos Pontos de Coleta localizados no Reservatório.	39

Figura 4.14 – Crisofíceas medidas de Janeiro de 2002 a Janeiro de 2004 nos Pontos de Coleta localizados no Reservatório.	39
Figura 4.15 – Criptofíceas medidas de Janeiro de 2002 a Janeiro de 2004 nos Pontos de Coleta localizados no Reservatório.	40
Figura 4.16 - Presença de “Escuma” de Algas às Margens da Estação de Coleta C9, junto à Balsa no Braço sob a Influência dos Rios Tijuco/Prata (Ipiacú, MG), em Janeiro de 2002.	41
Figura 4.17 - Riqueza (número de gêneros) de Diatomáceas (Chrysophyta/Bacillariophyceae) em cada um dos Principais Tributários do Reservatório de São Simão em Julho/Agosto de 2002.....	42
Figura 4.18 - Riqueza (número de gêneros) de Diatomáceas (Chrysophyta/Bacillariophyceae) em cada um dos Principais Tributários do Reservatório de São Simão em Fevereiro de 2004.....	42
Figura 4.19 – Densidade (organismos/l) de Diatomáceas Planctônicas em cada um dos Principais Tributários do Reservatório de São Simão em Julho/Agosto de 2002.....	43
Figura 4.20 – Densidade (organismos/l) de Diatomáceas Planctônicas em cada um dos Principais Tributários do Reservatório de São Simão em Fevereiro de 2004.....	43
Figura 4.21 - Presença de Cianobactérias às Margens da Estação de Coleta C9, junto à Balsa no Braço sob a influência dos Rios Tijuco/Prata (Ipiacú, MG), em Janeiro de 2002.	45
Figura 4.22 – Total de Precipitação no Período Chuvoso compreendendo os Meses de Out./2001 a Mar./2002.	45
Figura 4.23 – Total de Precipitação no Período Chuvoso compreendendo os Meses de Out./2002 a Mar./2003.	46
Figura 4.24 – Total de Precipitação no Período Chuvoso compreendendo os Meses de Out./2003 a Mar./2004.	46
Figura 4.25 – Total de Precipitação no Período Seco compreendendo os Meses de Abr./2002 a Set./2002.....	48
Figura 4.26 – Turbidez no Reservatório de São Simão.....	61
Figura 4.27 – Turbidez nos Tributários.....	61
Figura 4.28 – Temperatura no Reservatório.....	62
Figura 4.29 – Temperatura nos Tributários.....	62
Figura 4.30 – pH no Reservatório.	63
Figura 4.31 – pH nos Tributários.....	63

Figura 4.32 – OD no Reservatório.	64
Figura 4.33 – OD nos Tributários.....	64
Figura 4.34 – Condutividade no Reservatório.....	65
Figura 4.35 – Condutividade nos Tributários.....	65
Figura 5.1 – Municípios, Sedes Municipais e delimitação das Sub-Bacias do Reservatório de São Simão (MG/GO).....	69
Figura 5.2 – Densidade da População Humana (habitantes/km ²) nos Municípios Mineiros pertencentes à Bacia de Drenagem do Reservatório de São Simão.	70
Figura 5.3 – Densidade de Produção (ton/km ²) das Lavouras Permanentes nos Municípios que compõem a Bacia de Drenagem do Reservatório de São Simão.....	71
Figura 5.4 – Densidade de Produção (ton/km ²) das Lavouras Permanentes nos Municípios Mineiros pertencentes à Bacia de Drenagem do Res.de São Simão.	72
Figura 5.5 – Densidade de Produção (ton/km ²) das Lavouras Temporárias nos Municípios que compõem a Bacia de Drenagem do Reservatório de São Simão.....	73
Figura 5.6 – Densidade de Produção (ton/km ²) das Lavouras Temporárias nos Municípios Mineiros pertencentes à Bacia de Drenagem do Res. de São Simão.	74
Figura 5.7 - Distribuição das Concentrações de Fósforo Total determinadas nos Principais Tributários bem como no Eixo Central do Res. em Janeiro de 2002.	75
Figura 5.8 – Densidade de Cabeças de Gado (cabeças/km ²) nos Municípios que compõem a Bacia de Drenagem do Reservatório de São Simão.....	77
Figura 5.9 – Densidade de Cabeças de Gado (cabeças/km ²) nos Municípios Mineiros pertencentes à Bacia de Drenagem do Reservatório de São Simão.	78
Figura A.2.1 – Fósforos Solúvel e Total medidos de Jan.de 2002 a Jan.de 2003 no Ponto P14.....	111
Figura A.2.2 – Nitrito e Nitrato medidos de Jan.de 2002 a Jan.de 2003 no Ponto P14	111
Figura A.2.3 – Amônia medida de Janeiro de 2002 a Janeiro de 2003 no Ponto P14.	111
Figura A.2.4 – Oxigênio Dissolvido medido de Jan.de 2002 a Jan. de 2003 no Ponto P14.....	112
Figura A.2.5 – Clorofila-a e pH medidos de Jan.de 2002 a Jan.de 2003 no Ponto P14	112
Figura A.2.6 – Condutividade medida de Jan. de 2002 a Jan. de 2003 no Ponto P14.	112
Figura A.2.7 – Temperatura medida de Jan.de 2002 a Jan. de 2003 no Ponto P14.	113
Figura A.2.8 – Turbidez medida de Jan..de 2002 a Jan. de 2003 no Ponto P14.	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Efeitos negativos da Eutrofização em Lagos e Reservatórios.....	6
Tabela 3.1 – Informações Morfométricas e Hidrológicas sobre o Reservatório de São Simão (MG/GO).....	18
Tabela 3.2 – Relação dos Municípios Goianos dentro das Sub-Bacias dos Principais..	19
Tributários do Reservatório de São Simão.....	19
Tabela 3.3 – Relação dos Municípios Mineiros dentro das Sub-Bacias dos Principais.	20
Tributários do Reservatório de São Simão.....	20
Tabela 3.4 – Cronograma das Coletas.....	28
Tabela 4.1 – Classificação do Estado Trófico dos Tributários.....	53
Tabela 4.2 – Classificação do Estado Trófico dos Pontos no Res. de São Simão.....	55
Tabela 4.3 – Valores Limites para Categorias Tróficas.	56
Tabela 4.4 – Estado Trófico de Lagos Tropicais.....	56
Tabela 4.5 – Valores Médios de Fósforo nos Pontos do Reservatório de São Simão....	57
Tabela 4.6 – Valores Médios de Fósforo nos Tributários do Res. de São Simão	57
Tabela 4.7 – Composição Média das Plantas de Água Doce.	58
Tabela 4.8 - Razões Médias Molares e Mássicas de Suprimento (S) de Ntotal/Ptotal a partir de Fontes Potencias de Nutrientes para as Águas Superficiais e Razão Média de Demanda (D) do Protoplasma de Organismos.	59
Tabela 4.9 – Limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05 para Águas Classe 2.....	60
Tabela 5.1 – Principais Sub-Bacias do Reservatório de São Simão.....	66
Tabela 5.2 – Número de Núcleos Urbanos e População e suas estimativas de Fósforo e Nitrogênio em algumas das Sub-Bacias do Reservatório de São Simão (GO/MG).....	67
Tabela A.1.1 – Estações Lóticas.....	98
Tabela A.1.2 – Estações Lênticas.....	100
Tabela A.2.1 – Valores para Amônia, Nitrito e Nitrato nos Tributários.	101
Tabela A.2.2 – Valores para Fósforo Solúvel, Fósforo Total, Clorofila-a e pH nos Tributários.	102
Tabela A.2.3 – Valores para Amônia, Nitrato e Nitrito no Reservatório.	104
Tabela A.2.4 – Valores para Fósforo Solúvel, Fósforo Total e Clorofila-a no Reservatório.....	106

Tabela A.2.5 – Valores para Cyanobacteria, Chlorophyta, Chrysophyta e Chryptophyta no Reservatório (Ind/ml).	108
Tabela A.2.6 – Valores para Amônia, Nitrato e Nitrito no Ponto P14 – Rio dos Bois.	110
Tabela A.2.7 – Valores para Fósforo Total e Fósforo Solúvel no Ponto P14 – Rio dos Bois.....	110
Tabela A.2.8 – Valores para pH, Turbidez e Oxigênio Dissolvido no Ponto P14 – Rio dos Bois.	110
Tabela A.2.9 – Valores para Clorofila-a, Condutividade e Temperatura no Ponto P14 – Rio dos Bois.	110
Tabela A.3.1 - Índices de Estado Trófico para os Tributários do Reservatório de São Simão.....	114
Tabela A.3.2 - Índices de Estado Trófico (IET) para os Pontos do Reservatório de São Simão.....	116

1. INTRODUÇÃO

A água é componente vital no sistema de sustentação da vida na Terra e por isso deve ser preservada, mas nem sempre isso acontece. O que se vê hoje são dados alarmantes sobre poluição, principalmente antrópica, dos mananciais e corpos d'água, gerando graves conseqüências a todos os seres vivos.

As fontes de poluição das águas podem ser pontuais (localizadas), quando a carga poluidora é lançada nos corpos d'água de forma concentrada, em determinado local, como é o caso das tubulações emissárias de esgotos domésticos e industriais, ou podem ser difusas (não pontuais), quando a carga poluidora é gerada em áreas extensas, alcançando um corpo d'água de modo disperso, não se determinando um ponto específico de introdução, como por exemplo, as águas do escoamento superficial ou de infiltração.

A poluição das águas superficiais por cargas pontuais ocorre intensamente no país. A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico referente ao ano de 2000 (uma nova pesquisa ainda está em andamento, PNSB 2008), divulgada pelo Instituto Brasileiro de Economia e Estatística (IBGE, 2000), revelou que apenas 52,2% dos municípios brasileiros têm serviço de coleta de esgoto e destes municípios, apenas 20,2% tratam o esgoto.

No Brasil, o tratamento das águas residuárias é realizado através dos tratamentos primário e secundário (biológico), removendo apenas sedimentos e matéria orgânica do efluente. A remoção de determinados nutrientes (nitrogênio e fósforo) requer um tratamento terciário, como a desnitrificação ou a remoção de fósforo por precipitação química, porém esta etapa do tratamento possui um custo bastante elevado, o que dificulta sua implantação nas estações de tratamento de efluentes (CHERNICHARO *et al.*, 2001).

A Figura 1.1 a seguir mostra o volume de esgoto coletado e tratado, em m³/dia, para o Brasil e para as regiões. Este fato revela que a maior parte das águas residuárias é lançada nos corpos d'água sem nenhum tipo de tratamento.

Com relação à poluição das águas superficiais por cargas difusas, ela pode ter natureza urbana, rural ou atmosférica. Em áreas urbanas, a poluição difusa tem

composição complexa - de metais e óleos a sólidos, constituindo-se numa fonte de poluição tanto maior quanto mais deficiente for a coleta de esgotos ou mesmo a limpeza pública. Já na área rural, a poluição difusa é devida em grande parte à drenagem de precipitações pluviométricas a partir de solos agrícolas e ao fluxo de retorno da irrigação, sendo associada aos sedimentos (carreados quando há erosão do solo), aos nutrientes (nitrogênio e fósforo) e aos defensivos agrícolas. A drenagem de precipitações pluviométricas a partir de áreas de pecuária é associada, ainda, aos resíduos da criação animal (MANSOR, 2005).

A deposição atmosférica de poluentes - especialmente nitrogênio - provenientes de emanações industriais e queimadas de matas/cana-de-açúcar, e o arraste de partículas e gases da atmosfera por águas pluviais, também são considerados fontes difusas de poluição (MANSOR, 2005).

Tanto os efluentes urbanos quanto os fertilizantes agrícolas são fontes de nutrientes, como nitrogênio e fósforo. O aumento da quantidade destes nutrientes leva ao problema de eutrofização dos corpos d'água.

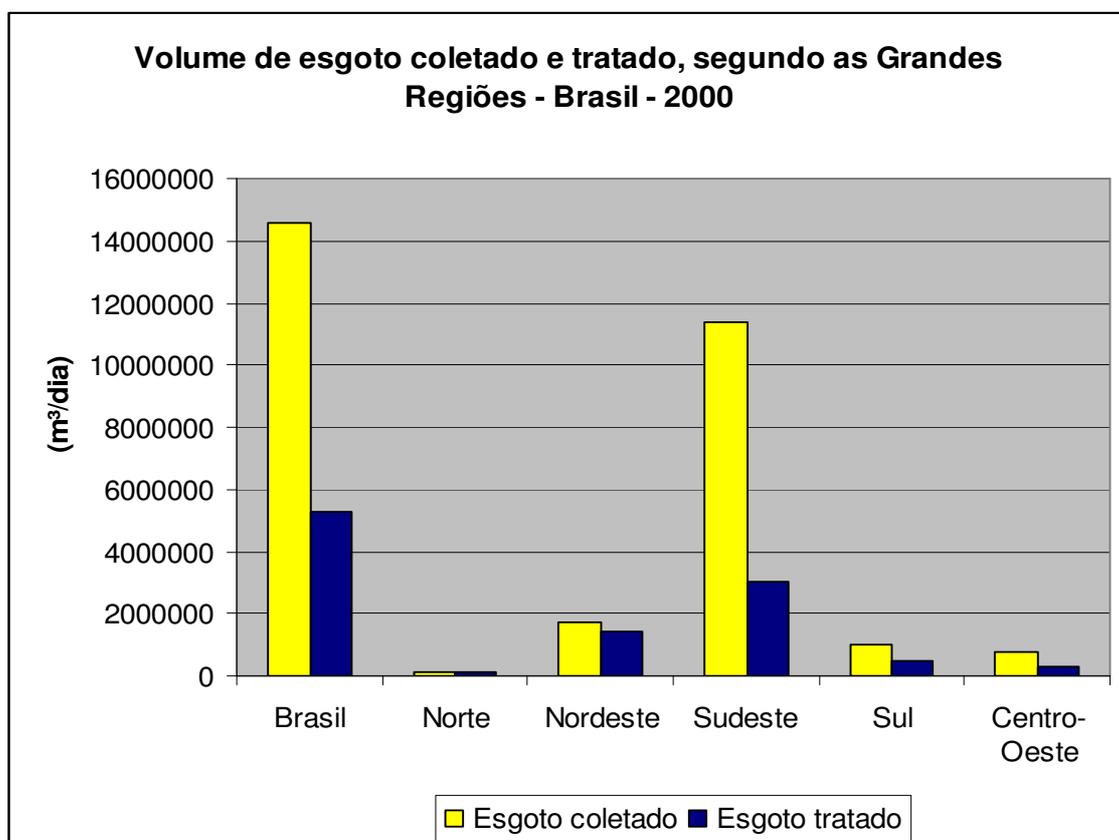


Figura 1.1 - Volume de Esgoto Coletado e Tratado, segundo as Regiões.

Fonte: Adaptado de IBGE, 2000.

A eutrofização ocasiona vários efeitos negativos, entre eles:

- Desenvolvimento intenso e descontrolado de macrófitas aquáticas e fitoplâncton. As cianobactérias (algas tóxicas) podem produzir toxinas com efeito nocivo para os seres humanos e animais domésticos, além da vida silvestre e aquática;
- Degradação da qualidade da água com alterações de composição, cor, turbidez, aumento da decomposição orgânica, causando maior consumo de oxigênio dissolvido até anoxia;
- Modificações na ictiofauna, avifauna e mastofauna;
- Alterações no metabolismo geral do sistema;
- Liberação de gases e produção de maus odores;
- Produção de substâncias tóxicas;
- Prejuízos consideráveis para o uso da água em aproveitamentos hidrelétricos.

Segundo MANSOR (2005) a evolução do processo de eutrofização de um lago ou reservatório está associada ao uso e ocupação do solo predominante na bacia hidrográfica.

De um modo geral, a ocupação por matas e florestas representa uma baixa carga de fósforo, baixa concentração de algas e pouco assoreamento no lago ou reservatório. Os nutrientes provenientes do decaimento da vegetação se lixiviam pelo solo, que tem alta capacidade de infiltração, e são absorvidos pelas raízes das plantas, permanecendo em equilíbrio o ecossistema.

A ocupação agrícola representa usualmente uma etapa intermediária no processo de deterioração de um corpo d'água, trazendo um aumento da carga de fósforo, da concentração de algas e do assoreamento no lago ou reservatório. Neste caso, para compensar o desequilíbrio do ecossistema pela retirada da vegetação, e tornar a agricultura mais intensiva, são adicionadas elevadas quantias de fertilizantes, freqüentemente superiores à capacidade de assimilação dos vegetais (MANSOR, 2005).

A substituição das matas e florestas por vegetais agricultáveis e o tipo de manejo adotado podem causar também uma redução da capacidade de infiltração do solo, e conseqüentemente um aumento do escoamento superficial (runnoff), que tende a causar erosão, carreando os nutrientes adicionados em excesso nas culturas para os corpos d'água. A ocupação urbana representa normalmente a etapa mais avançada em termos

de promoção da deterioração de um corpo d'água (BRANCO, 1991; VON SPERLING, 1996).

Pode-se então constatar que na poluição das águas superficiais a contribuição antrópica tem tido papel fundamental, e é de suma importância a realização de trabalhos e estudos que visem alertar sobre esta realidade e até mesmo modificá-la.

Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo identificar e quantificar os mecanismos de contribuição antrópica para a poluição hídrica de reservatórios hidrelétricos através do estudo de caso do Reservatório de São Simão – GO/MG, definindo quais as atividades humanas mais importantes para o aporte de nutrientes ao reservatório, considerando que o mesmo sofre influência tanto de áreas urbanas quanto de áreas agropastoris.

Buscou-se também identificar as possíveis relações entre o aporte de nutrientes e o processo de eutrofização das águas do reservatório de São Simão, abordando diferentes correlações entre as variáveis medidas *in situ* e valores de referência existentes na literatura.

2. REVISÃO DA LITERATURA

A eutrofização das águas significa seu enriquecimento por nutrientes, principalmente nitrogênio (N) e fósforo (P). Mas o processo de eutrofização não é função exclusivamente da presença de nutrientes na água, pois é controlado também por fatores físico-ambientais naturais, entre os quais se destacam a transparência, a temperatura da água, estrutura térmica, bem como o regime hidráulico do corpo de água (LUZIA, 2004). A eutrofização natural tende a ser benéfica, aumentando a produtividade primária e tornando o sistema ideal para a presença dos consumidores (zooplâncton, moluscos, crustáceos e peixes).

Já a eutrofização artificial (de origem antrópica) pode causar vários efeitos negativos aos lagos e reservatórios, conforme são descritos na Tabela 2.1 a seguir.

A eutrofização artificial é um processo no qual ocorrem mudanças qualitativas e quantitativas nas comunidades aquáticas, e dependendo das condições físicas e químicas do meio pode ser considerada uma forma de poluição. Geralmente os despejos de esgoto domésticos e industriais e o carreamento de fertilizantes aceleram o processo de enriquecimento das águas superficiais e subterrâneas. Nos lagos, represas e rios, esse processo consiste em um rápido desenvolvimento de plantas aquáticas (ESTEVES, 1998), iniciando com cianobactérias. As cianobactérias ou algas azuis são microorganismos aeróbios, fotoautotróficos, com capacidade de crescimento nos mais diferentes ambientes: solos, rochas e principalmente água doce. Diferem dos demais grupos por não terem núcleo e organelas individualizadas característica dos organismos Procariontes (JARDIM *et al.*, 2001).

As cianobactérias produzem substâncias tóxicas que podem afetar a saúde do homem e podem causar a mortalidade de animais e intoxicações (TUNDISI, 2003). Em casos extremos, a eutrofização afeta os sistemas de refrigeração e os componentes das turbinas hidrelétricas (MULLER, 1995).

Tabela 2.1 - Efeitos negativos da Eutrofização em Lagos e Reservatórios.

Excesso de nitrogênio e fósforo nas águas; aumento de sólidos e sais dissolúveis provocam maior turbidez e baixa transparência da água
Florescimento de algas e crescimento incontrolável de outras plantas aquáticas
Produção de substâncias tóxicas por algumas espécies de cianofíceas
Altas concentrações de matéria orgânica, as quais, se tratadas com cloro, podem criar compostos carcinogênicos
Menor número de espécies e diversidade de plantas e animais (biodiversidade)
Alterações na composição de espécies daquelas mais importantes para as menos importantes (em termos econômicos e valor protéico)
Anoxia (ausência de oxigênio dissolvido), que causa a morte de peixes e de invertebrados e também resulta na liberação de gases tóxicos com odores desagradáveis
Acesso restrito à pesca e as atividades recreativas devido ao acúmulo de plantas aquáticas
Deterioração do valor recreativo de um lago ou de um reservatório devido à diminuição da transparência da água

Fonte: Adaptado de UNEP (2001).

Quanto à concentração de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, os ecossistemas lênticos podem ser classificados em:

- Oligotrófico: Corpos de água limpos, de baixa produtividade, em que não ocorrem interferências indesejáveis sobre os usos da água;
- Mesotrófico: Corpos de água com produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis na maioria dos casos;
- Eutrófico: Corpos de água com alta produtividade em relação às condições naturais, de baixa transparência, em geral, afetados por atividades antrópicas, em que ocorrem alterações indesejáveis na qualidade da água e interferências nos seus múltiplos usos;
- Hipereutrófico: Corpos de água afetados significativamente pelas elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, com comprometimento acentuado nos seus usos, podendo inclusive estar associados a episódios de florações de

algas e de mortandade de peixes e causar conseqüências indesejáveis sobre as atividades pecuárias nas regiões ribeirinhas.

A eutrofização é mais freqüente em lagos e represas que em rios, devido às condições ambientais mais favoráveis (baixa turbidez e menor velocidade da água) para o crescimento de algas e outras plantas (VON SPERLING, 1996), e por isso muitos reservatórios e lagos no mundo já perderam sua capacidade de abastecimento de populações, de manutenção da vida aquática e de recreação, devido à eutrofização.

Vários trabalhos vêm sendo desenvolvidos sobre este assunto, demonstrando a gravidade do problema (McCAULEY e KALFF, 1981; ARCIFA, 1984; GIANI *et al.*, 1988; GOODWIN, 1997; PINTO-COELHO, 1998; MATSUMURA-TUNDISI, 1999; ESPÍNDOLA *et al.*, 2000; SAMPAIO *et al.*, 2002; BENNION *et al.*, 2005).

No Brasil, a ocorrência de processos de eutrofização em inúmeros reservatórios, aliada ao déficit de investimento em infra-estrutura dos serviços de saneamento básico em todo o país, dificulta a tomada de decisão pelo poder público de quais reservatórios encontram-se em situação mais crítica para implementação de ações emergenciais de controle e reversão desse processo (FIGUEIRÊDO *et al.*, 2007).

Em países como Estados Unidos e Inglaterra, esse problema vem sendo abordado em trabalhos que buscam ajudar a tomada de decisão a partir do estudo da vulnerabilidade das bacias onde estão localizados reservatórios ou lagos com índices de trofia elevados (BENNION *et al.*, 2005).

Nos últimos 20 anos, o processo de eutrofização tem se acelerado em represas brasileiras devido aos seguintes fatores: aumento do uso de fertilizantes nas bacias hidrográficas, aumento da população, elevado grau de urbanização sem tratamento de esgotos domésticos e intensificação de algumas atividades industriais que levam excessiva carga de nitrogênio e fósforo para essas represas. Ao mesmo tempo, o uso múltiplo tem se intensificado, tornando muito complexo o gerenciamento de represas e de bacias hidrográficas. As fontes de eutrofização podem ser pontuais e não pontuais, dependendo da localização dos reservatórios, do nível de atividade nas bacias hidrográficas e da concentração da população em grandes áreas urbanas.

O caso da represa Carlos Botelho (Lobo/Broa), citado por TUNDISI e MATSUMURA-TUNDISI (2002), exemplifica o fato em questão. Durante os últimos

30 anos, a qualidade da água foi mantida em boas condições e o nível de eutrofização foi baixo, graças à sinergia de vários fatores: baixa concentração de nitrogênio e fósforo nos tributários, cargas não pontuais de pequeno porte e baixo tempo de retenção no reservatório (fator importante no controle da eutrofização). Mas devido ao aumento da população que procura a represa para recreação, ao aumento no lançamento de esgotos (fontes pontuais) da cidade de Itirapina e também ao aumento na carga de fontes não pontuais, a eutrofização tem se acelerado, principalmente nos últimos cinco anos, provocando alterações substanciais na biota aquática, nos ciclos biogeoquímicos e na qualidade da água da represa.

Para BOLLMANN e MARQUES (2006), a estimativa da carga de nutrientes oferece um indicativo do grau de medidas de controle a ser adotadas sobre as águas de drenagem, por sua maior ou menor participação no aporte global.

Vários outros autores descrevem metodologias para estimar a carga externa de nutrientes que chega aos reservatórios hidrelétricos (BRIGault e RUBAN, 2000; ALAOUI MHAMDI *et al.*, 2006).

De acordo com CHERNICHARO *et al.* (2001), a descarga de nutrientes em cursos de água superficiais causa a diminuição dos níveis de oxigênio e o aumento da biomassa algal originada no corpo receptor, decorrente do processo de eutrofização. Sabe-se que 1 kg de fósforo pode resultar na reconstrução de 111 kg de biomassa, o que corresponde a cerca de 138 kg de demanda química de oxigênio no corpo receptor. Similarmente, a descarga de 1 kg de nitrogênio pode resultar na reconstrução de cerca de 20 kg de demanda química de oxigênio, na forma de algas mortas. O problema pode ser ainda mais agravado devido à diminuição dos níveis de oxigênio, por processos de nitrificação, onde se consomem, no mínimo, cerca de 4 kg de oxigênio dissolvido nas águas para cada kg de amônia descarregada no corpo receptor.

FIGUEIRÊDO *et al.* (2007) apresentam uma ferramenta de análise da vulnerabilidade de reservatórios à eutrofização, visando subsidiar ações de controle e remediação desse processo. Eles analisaram três subbacias de açudes da bacia do Acaraú, CE, e citam uma sistemática de estimativa das cargas de Fósforo Total. Para a carga proveniente das vilas localizadas até 500m do espelho d'água dos açudes, a carga foi obtida a partir do levantamento da população residente, elaborado pela Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) de Sobral - CE. Como nessas vilas não existe

esgotamento sanitário, considerou-se que cada pessoa gera em média 100L de esgoto bruto por dia (ARAÚJO, 2000), com uma concentração de fósforo de 14mg/L (VON SPERLING, 1996); para a carga proveniente dos núcleos urbanos inseridos nas bacias, considerou-se a população urbana que não utilizava sistema de fossa, segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico do IBGE (2000). Para a carga emitida, foi estimada a carga remanescente que chega ao reservatório após decaimento, considerando a equação de decaimento de primeira ordem, segundo CHAPRA (1997).

Para a carga proveniente de bovinos, considerou-se que essa carga é em média nove vezes a carga gerada pelo esgoto bruto humano (SUDENE, 1998). Essa carga foi calculada apenas para a criação de bois que ocorre às margens do açude. O tamanho do rebanho foi estimado considerando-se a relação entre o total de cabeças de boi e a população na subbacia estudada, de acordo com o censo do IBGE (2000).

SANTOS *et al.* (2009) desenvolveram uma metodologia para estimar as emissões de gases de efeito estufa de reservatórios hidrelétricos. Para tal foram feitas aferições da carga de carbono orgânico e inorgânico nos reservatórios de Corumbá (GO), Peixoto (MG) e Estreito (SP), ambos pertencentes à FURNAS Centrais Elétricas. Estes dados foram comparados com dados do uso do solo nas referidas bacias, obtidos por imagens de satélite. Desta forma foi possível avaliar as interações entre os diversos elementos que interferem no aporte de carbono ao reservatório e, por conseguinte na emissão de gases de efeito estufa, dando-se ênfase para a relevante influência das mudanças antropogênicas no uso do solo, especialmente agricultura e pecuária.

CASTELLANOS-SOLÁ e PINTO-COELHO (2003a e b), a partir da constatação da Cemig de florações de cianobactérias no reservatório de São Simão (ROLLA, 2000), situado no rio Paranaíba, Goiás/Minas Gerais, realizaram um trabalho onde mensuraram o aporte de fósforo e nitrogênio por efluentes domésticos nas águas das sub-bacias de captação do reservatório, através da identificação e delimitação das principais sub-bacias responsáveis por este aporte e identificação dos núcleos urbanos e dados demográficos. Estimaram a quantidade de fósforo e nitrogênio aportado pelos núcleos urbanos utilizando-se os fatores 2,5 g de fósforo/hab./dia e 8,0 g de nitrogênio/hab./dia (VON SPERLING, 1996).

Na busca por soluções para o problema da eutrofização, TUNDISI e MATSUMURA-TUNDISI (2002) relacionaram alguns fatores que limitam a eutrofização.

O fósforo é essencial para o metabolismo de organismos aquáticos, sendo que os autotróficos retiram-no do ambiente. A importância do fósforo para as funções celulares, juntamente com sua baixa disponibilidade no ambiente são razões que justificam que a fertilização por fósforo pode aumentar a produção autotrófica (TÔRRES, 1999). Para CARACO (1993) o aumento de fósforo pode levar um lago se tornar eutrófico ou hipereutrófico. As águas hipereutróficas são usualmente caracterizadas por algas de odores fétidos, condições de hipóxia (que leva à mortandade de peixes) e “blooms¹” de algas potencialmente venenosas.

O fósforo presente nas águas continentais encontra-se em diferentes formas, cujas nomenclaturas variam de autor para autor. Atualmente, a maioria dos autores tem se utilizado de uma classificação mais sumária, que agrupa as várias formas de fosfato em apenas cinco: fosfato particulado (P-particulado), fosfato orgânico dissolvido (P-orgânico dissolvido), fosfato inorgânico dissolvido ou ortofosfato ou fosfato reativo (P-orto), fosfato total dissolvido (P-total dissolvido) e fosfato total (P-total) (MANSOR, 2005).

Além das fontes naturais, o fósforo entra nos ecossistemas aquáticos por meio do lançamento de esgoto sem tratamento ou com tratamento inadequado para remoção de nutrientes. Além disso, como o fósforo é biologicamente disponível na forma de íon fosfato (PO_4^-), a principal via de entrada nos corpos d'água de áreas agrícolas pode ser o escoamento superficial e a erosão do solo.

O controle de fontes pontuais de nutrientes é mais facilmente implementado do que o controle de fontes difusas. Por outro lado, as cianobactérias, assim como vários outros organismos fitoplanctônicos, têm mecanismos para armazenamento intracelular de fósforo. Isto permite o acúmulo de fosfato suficiente para 3-4 divisões celulares e, como consequência, uma célula pode se multiplicar em 8-16 células sem requerer nova absorção de fosfato. Portanto, a biomassa pode aumentar 10 vezes ou mais, mesmo

¹ Proliferação ou explosão sazonal da biomassa de fitoplâncton como consequência do enriquecimento de nutrientes em uma massa aquática, o que conduz, entre outros efeitos, a uma perda de transparência, à coloração e à presença de odor e sabor nas águas (<http://www.redeambiente.org.br/dicionario.asp>).

quando o fosfato dissolvido já tenha sido completamente exaurido no meio externo. Por essa razão a biomassa de cianobactérias, que pode ser produzida a partir do crescimento de uma biomassa já existente, não pode ser prevista apenas pelas concentrações de fosfato dissolvido. (BRANDÃO e AZEVEDO, 2003).

A concentração do fosfato solúvel reativo ou ortofosfato tem sido determinada e relacionada com o crescimento do fitoplâncton, porque esta fração do fósforo total está diretamente disponível para ser absorvida. Entretanto, já foi demonstrado que a reciclagem das moléculas de fosfato dentro da comunidade fitoplanctônica é extremamente rápida (de 5 a 100 minutos) e que o fosfato liberado pela degradação de substâncias orgânicas é reabsorvido por bactérias e algas mais rapidamente que a nossa capacidade analítica em detectá-lo (WETZEL, 1983 *apud* CHORUS e BARTRAM, 1999).

Portanto, se o fosfato solúvel reativo for encontrado acima dos limites de detecção isto significa que há disponibilidade de fosfato maior que a requerida pela comunidade fitoplanctônica. A única informação importante desta determinação é que o crescimento fitoplanctônico está limitado por outro fator diferente do fosfato.

O limite máximo de biomassa que as cianobactérias, ou outro grupo fitoplanctônico, podem alcançar em um dado corpo d'água é, portanto, freqüentemente determinado pela quantidade de fosfato intracelular. O total de fósforo na forma de fosfato é a variável que precisa ser conhecida para o manejo dessa biomassa. Isto não é equivalente ao fósforo total, que inclui as formas minerais que não são biologicamente absorvíveis (apatita, por exemplo). Mas, por uma questão de simplificação, o termo fósforo total tem sido bastante utilizado para representar o total de fósforo na forma de fosfato (CHORUS e BARTRAM, 1999).

O nitrogênio ocorre em corpos d'água doce em várias formas, como N₂ molecular dissolvido, compostos húmicos refratários de baixo conteúdo de nitrogênio e ainda amônia (NH₄⁺), nitrito (NO₂⁻) e nitrato (NO₃⁻). O nitrato é a principal forma de nitrogênio encontrada nas águas, e é produto da oxidação bioquímica da amônia. O estudo da variação da concentração de nitratos e das demais formas de nitrogênio serve para caracterizar a velocidade do processo de autodepuração dos corpos d'água (MARQUES, 1993 *apud* RUAS, 2006). Normalmente, o nitrogênio orgânico é encontrado na zona de degradação; nitrogênio amoniacal, na zona de decomposição

ativa; nitrito, na zona de recuperação e nitrato, na zona de águas limpas (SARTORATTO *et al.*, 2007). O nitrato é uma das principais fontes de nitrogênio para os produtores primários (ESTEVES, 1998).

Assim como o fósforo, o nitrogênio pode entrar nos ecossistemas aquáticos por lixiviação, por escoamento superficial e por entrada de esgotos domésticos e industriais sem tratamento ou com tratamento biológico que não inclua nitrificação e desnitrificação. O fitoplâncton pode absorver o nitrogênio inorgânico na forma de nitrato, nitrito ou amônia (BRANDÃO e AZEVEDO, 2003). As principais perdas de nitrogênio ocorrem pela saída pelo efluente, redução do nitrato a N₂ (com subsequente retorno para atmosfera) e sedimentação de compostos orgânicos e inorgânicos (WETZEL, 1983).

O nitrogênio é um elemento químico que entra na constituição de duas importantíssimas classes de moléculas orgânicas: proteínas e ácidos nucléicos. Além disso, o nitrogênio é componente de um nucleotídeo essencial a todos os seres vivos da biosfera: o ATP. Embora esteja presente em grande quantidade no ar (cerca de 79%), na forma de N₂, poucos seres vivos o assimilam nessa forma. Apenas alguns tipos de bactérias, principalmente cianobactérias, conseguem captar o N₂, utilizando-o na síntese de moléculas orgânicas nitrogenadas (ROSA *et al.*, 2003).

Em algumas regiões continentais áridas o nitrogênio pode ser o principal fator limitante para o crescimento fitoplantônico. Entretanto, a relevância do nitrogênio para limitação do crescimento de cianobactérias é sempre discutível porque vários gêneros desses microrganismos são capazes de compensar a deficiência de N por fixação biológica do nitrogênio atmosférico. Portanto, a deficiência de nitrogênio inorgânico pode permitir a dominância de algumas espécies de cianobactérias, por exemplo, dos gêneros *Anabaena*, *Aphanizomenon* e *Cylindrospermopsis*. Porém, essas espécies podem também ocorrer em condições de altas concentrações de nitrogênio inorgânico (REYNOLDS, 1997).

Os nutrientes encontrados em lagos e rios são retirados dos corpos d'água e metabolizados por diversos organismos aquáticos, entre os principais estão as algas, as bactérias heterotróficas e as macrófitas, responsáveis pela ciclagem dos nutrientes e também da matéria orgânica (WETZEL, 1996).

Os esgotos não tratados e esgotos tratados com sistemas secundários através de métodos biológicos contêm, em média, cerca de 32 mg/L de nitrogênio e 8 mg/L de fósforo. Em um lago com forte carga de esgotos não tratados, a eutrofização é limitada por nitrogênio, uma vez que a concentração de nitrogênio no esgoto é somente quatro vezes maior do que a de fósforo. Esses lagos e represas frequentemente apresentam florescimentos extensos de cianobactérias, que são visualizadas como uma “nata” esverdeada na superfície. Algumas espécies de cianobactérias usam o nitrogênio diretamente do ar e conseguem crescer, apesar da limitação de nitrogênio dissolvido na água. Lagos e represas que recebem tributários naturais e águas de drenagem de agricultura têm, entretanto, altas concentrações de nitrogênio e são limitados em fósforo.

A questão central na eutrofização é determinar qual nutriente pode ser reduzido para se tornar limitante e não qual nutriente é o limitante. Como o fósforo é removido mais facilmente do esgoto doméstico do que o nitrogênio, em muitos casos a melhor estratégia ambiental para o gerenciamento de lagos e represas é remover tanto quanto possível o fósforo das águas residuárias. (TUNDISI e MATSUMURA-TUNDISI, 2002).

SALAS e MARTINO (1991) afirmam que a maioria dos lagos tropicais da América Latina tem produtividade limitada por P. Porém, de acordo com VON SPERLING (1995), a quantificação do estado trófico é especialmente difícil em corpos de água tropicais, que apresentam uma maior capacidade de assimilação de P que aqueles de clima temperado.

A caracterização do estágio de eutrofização de um lago ou reservatório requer a adoção de um sistema classificatório de níveis de trofia, baseado normalmente nas concentrações de Fósforo Total (P_{total}) e Clorofila-a (Cl-a), e na transparência medida com disco de Secchi (MANSOR, 2005).

A Clorofila-a, pigmento clorofilado dominante nas algas, além de ser usada para caracterizar o estado de trofia no corpo de água, pode ser usada para estimar a composição da biomassa algal (população fitoplanctônica). Porém, deve-se observar que a concentração de pigmentos das algas pode variar amplamente, dependendo do metabolismo, luz, temperatura, disponibilidade de nutrientes, além de muitos outros fatores. Além disto, pigmentos clorofilados se degradam para produtos relativamente

estáveis – as feofitinas - que interferem com métodos de determinação da Clorofila-a (WETZEL, 2001).

Sobre as relações entre nutrientes e fitoplâncton, para RECKHOW e CHAPRA (1983), em uma série temporal, para um amplo intervalo de concentrações de P, deve-se esperar uma relação linear entre P e Cl-a na região em que P é o nutriente limitante. Fora desta região (isto é, para altas concentrações de P), não deveria haver aumento em Cl-a para aumentos em P. Porém, pode-se levantar a hipótese de que um aumento nos níveis de P pode levar ao domínio do ambiente aquático por uma espécie de alga que é mais eficiente na produção de Cl-a por unidade de P.

O suprimento externo de nutrientes para uma bacia de drenagem, tão importante na predição da biomassa algal e na predição da produção das águas interiores, é primordialmente obtido via fluxos de entrada (rios, ribeirões). Exceções incluem lagos e áreas alagadas com uma razão de drenagem particularmente baixa, recebendo a maioria dos nutrientes via atmosfera. Além disso, lagos/áreas alagadas localizados em baixas latitudes, com razões de drenagem mais altas, porém sujeitos a altas taxas de evapotranspiração nos fluxos de entrada, são primariamente dependentes da precipitação direta na superfície da água. Por fim, as áreas alagadas e lagos localizados em bacias de drenagem profundas e porosas, recebem a maioria de suas águas e uma significativa porção do suprimento de nutrientes via águas subterrâneas (KALFF, 2002).

A estimativa do aporte de nutrientes via córregos e o balanço de nutrientes em lagos e reservatórios têm-se tornado uma medida útil para se estabelecerem práticas de manejo para ambientes aquáticos (YOUNG *et al.*, 1996; BARBOSA *et al.*, 1998). Usualmente, córregos que recebem uma grande carga de nutrientes resultantes de atividades antrópicas carregam para os lagos e reservatórios uma grande concentração de nutrientes. Esse grande aporte de nutrientes acarretará diversas conseqüências ecológicas para o corpo d'água receptor (KRUG, 1993; NOGES *et al.*, 1998).

As águas que saem de um lago possuem concentrações de nutrientes diferentes das que entram devido a processos bióticos e abióticos que ocorrem dentro desses ecossistemas (STRASKRABA *et al.*, 1995). Ao receber águas com grandes concentrações de nutrientes, lagos e reservatórios podem se transformar em fontes de exportação ou de retenção de nutrientes (KRUG, 1993; NOGES *et al.*, 1998).

No Brasil e na maioria dos países em desenvolvimento, a maior parte do esgoto bruto (doméstico e industrial) é jogada sem nenhum tratamento prévio nos cursos d'água, que em sua maioria irão desaguar em um reservatório ou lago. Esse grande aporte de matéria orgânica e poluentes tem sido relatado como o principal responsável pela eutrofização de uma grande variedade de lagos. Isso tem gerado uma preocupação crescente com o alto grau de poluição em que se encontram hoje os lagos e os reservatórios de água doce. Dessa forma, é de extrema importância conhecer e quantificar a microbiota e os parâmetros físicos e químicos (incluindo aí os nutrientes essenciais: nitrogênio, fósforo e carbono), tanto nos tributários quanto no próprio ambiente lacustre. O conhecimento dos aspectos diferenciais, das características de aporte de nutrientes e microrganismos de cada tributário é essencial para o melhor conhecimento da dinâmica da eutrofização em lagos e reservatórios. Além disso, esse é um elemento chave no estabelecimento de diretrizes específicas para o seu monitoramento, manejo e recuperação (TÔRRES, 1999).

A eutrofização pode também contribuir com as mudanças climáticas que vêm ocorrendo no planeta. As condições ambientais decorrentes do processo de eutrofização propiciam um aumento dos processos de produção primária, influenciando no aumento da biomassa aquática em lagos e reservatórios hidrelétricos. Essa fonte de matéria orgânica servirá de fonte de alimento e energia para que as bactérias se reproduzam. Como resultado do metabolismo bacteriano, são produzidos gases de efeito estufa (CO₂, CH₄, etc.), entre outros compostos.

Já foi bastante estudado que a área de cobertura por macrófitas é proporcional à disponibilidade de nutrientes nas águas dos reservatórios (JUNK *et al.*, 1981; FEARNSIDE, 1989; WALKER *et al.*, 1999; MATVIENKO *et al.*, 2000).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O reservatório de São Simão foi escolhido para exemplificar o presente trabalho devido a sua localização, pois sofre influência tanto de áreas urbanas quanto de áreas agropastoris, possibilitando assim avaliar a contribuição antrópica na poluição hídrica de reservatórios hidrelétricos, relacionando a entrada de nutrientes nos corpos d'água tanto com fontes pontuais (lançamento de esgotos domésticos e industriais) quanto com fontes difusas (atividades agrícolas e de pecuária). Os dados utilizados neste trabalho referentes à Usina Hidrelétrica de São Simão foram gentilmente cedidos pelo professor Ricardo Motta Pinto-Coelho, do Departamento de Biologia Geral da UFMG.

Em Minas Gerais há nove grandes bacias hidrográficas. Nelas se localizam diversas represas que visam o aproveitamento do potencial hidrelétrico de seus rios, conforme mostrado na Figura 3.1 a seguir.

3.1. Área de Estudo

O reservatório de São Simão localiza-se na bacia do Rio Paranaíba, um dos rios formadores do Rio Paraná. Trata-se de um reservatório de grande porte, construído para produção de energia elétrica. Uma das características ecológicas mais marcantes desse ambiente é a grande superfície de sua bacia de drenagem (171.000 km²) e o grande volume da vazão do rio Paranaíba e de alguns de seus tributários (24.000 m³/s). O reservatório tem apresentado um quadro preocupante de degradação da qualidade de suas águas causado por uma multiplicidade de fatores de origem antrópica. No rio Paranaíba estão ainda localizados outros grandes reservatórios tais como Itumbiara (FURNAS) e Emborcação (CEMIG), ambos localizados à montante de São Simão. O Rio Paranaíba apresenta uma grande bacia de drenagem que engloba tributários de grande porte tais como o rio Meia Ponte que drena a região de Goiânia bem como os rios da Prata e Tijuco que drenam áreas adjacentes às principais cidades do triângulo mineiro, tais como Uberaba, Uberlândia e Ituiutaba.

Na Tabela 3.1 encontra-se dados sobre o reservatório de São Simão.

Tabela 3.1 – Informações Morfométricas e Hidrológicas sobre o Reservatório de São Simão (MG/GO).

Variável	Valor
Início de Operação	1978
Potência Instalada	1.710 MW
Número de Unidades Geradoras	6
Área do Reservatório	722,25 km ²
Área de Drenagem	171.000 km ² (estimativa CEMIG)
Profundidade Máxima	127 m
Vazão Máxima Afluente	24.000 m ³ /s
Altitude	404 m
Localização	Latitude: 19° 01' 05" S Longitude: 50° 29' 57" W

Fonte: CEMIG, 2002 *apud* Pinto-Coelho, 2004.

3.2. Geoprocessamento

Inicialmente montou-se uma base de dados preliminar que consistiu de cartas topográficas do IBGE cobrindo todo o entorno do lago bem como de algumas de suas principais sub-bacias. Essas cartas foram adquiridas no IBGE em Belo Horizonte. As diferentes sub-bacias foram caracterizadas a partir da análise das isolinhas (curvas de níveis) e dos divisores de águas, a seguir, foi elaborado um mapa preliminar das sub-bacias que serviu de base para a demarcação dos diferentes pontos de coletas ao longo dos principais tributários (PINTO-COELHO, 2004).

Essas demarcações também levaram em conta a rede viária e a existência de estradas de fácil acesso mesmo em períodos chuvosos. As coordenadas dos pontos do eixo central do reservatório foram colhidas a partir de cartas topográficas dando-se preferência aos pontos sobre a posição original da calha do rio. Essas coordenadas, por sua vez, foram fornecidas a um aparelho GPS que possibilitou o posicionamento preciso da embarcação no ponto de coletas desejado.

Numa segunda etapa, foi feita a superposição dos planos de informação (PI) do reservatório, da bacia de captação e da rede municipal para se determinar quais os municípios que estão na área de influência do reservatório. Esse procedimento baseou-se na montagem parcial de uma base de dados que incluíram imagens Landsat da região, em baixa resolução, cartas topográficas do IBGE e outros. Utilizou-se o programa ARC VIEW 3.2 para essa parte do estudo (PINTO-COELHO, 2004).

Um grande número de municípios (76 em Goiás – Tabela 4.2 e 14 em Minas Gerais – Tabela 3.2) tem alguma área dentro da bacia de drenagem do reservatório.

Tabela 3.2 – Relação dos Municípios Goianos dentro das Sub-Bacias dos Principais Tributários do Reservatório de São Simão.

	Município (GO)	Código	Área (Km ²)		Município (GO)	Código	Área (Km ²)
1	Acreúna	G53	1571	40	Itumbiara	G69	2465
2	Adelândia	G14	116	41	Jandaia	G43	867
3	Aloândia	G62	103	42	Joviânia	G63	455
4	Americano do Brasil	G8	134	43	Leopoldo de Bulhões	G20	497
5	Anápolis	G4	1078	44	Mairipotaba	G52	462
6	Anicuns	G9	965	45	Maurilândia	G65	395
7	Aparecida de Goiânia	G39	290	46	Montividiu	G47	1881
8	Araçu	G10	154	47	Morrinhos	G58	2855
9	Aragoiânia	G41	238	48	Mossâmedes	G2	687
10	Avelinópolis	G17	165	49	Nazário	G28	301
11	Bela Vista de Goiás	G37	1281	50	Nerópolis	G15	205
12	Bom Jesus de Goiás	G66	1410	51	Nova Veneza	G11	124
13	Bonfinópolis	G30	123	52	Ouro Verde de Goiás	G5	210
14	Brazabrantes	G13	124	53	Palmeiras de Goiás	G31	1545
15	Cachoeira Alta	G71	1659	54	Palminópolis	G36	389
16	Cachoeira Dourada	G74	523	55	Panamá	G68	435
17	Caiaçônia	G26	8682	56	Paranaiguara	G75	1158
18	Caldazinha	G33	313	57	Paraúna	G35	3794
19	Campestre de Goiás	G34	275	58	Piracanjuba	G48	2458
20	Castelândia	G67	298	59	Pontalina	G56	1434
21	Caturai	G18	207	69	Professor Jamil	G49	349
22	Cezarina	G44	417	61	Quirinópolis	G70	3792
23	Cromínia	G51	371	62	Rio Verde	G50	8415
24	Damolândia	G7	85	63	Santa Bárbara de Goiás	G29	140
25	Edealina	G54	606	64	Santa Helena de Goiás	G61	1132
26	Edéia	G55	1466	65	Santo Antônio da Barra	G57	453
27	Firminópolis	G23	408	66	Santo Antônio de Goiás	G19	133
28	Goianópolis	G21	163	67	São João da Paraúna	G38	306
29	Goiânia	G25	790	68	São Luís de Montes Belos	G12	829
30	Goianira	G22	201	69	São Simão	G76	415
31	Goiatuba	G64	3089	70	Senador Canedo	G32	246
32	Gouvelândia	G72	833	71	Terezópolis de Goiás	G16	107
33	Guapó	G40	534	72	Trindade	G27	781
34	Hidrolândia	G42	947	73	Turvânia	G24	474
35	Inaciolândia	G73	691	74	Turvelândia	G59	937
36	Indiara	G46	960	75	Varjão	G45	521
37	Inhumas	G6	616	76	Vicentinópolis	G60	740
38	Itaberaí	G1	1476		Total		76.134
39	Itaçu	G3	385				

Fonte: Pinto-Coelho, 2004.

Tabela 3.3 – Relação dos Municípios Mineiros dentro das Sub-Bacias dos Principais Tributários do Reservatório de São Simão.

	Município (MG)	Código	Área (Km²)
1	Cachoeira Dourada	M2	203
2	Campina Verde	M12	3663
3	Campo Florido	M8	1271
4	Canópolis	M10	843
5	Capinópolis	M5	625
6	Gurinhata	M7	1854
7	Ipiáçu	M4	470
8	Ituiutaba	M3	2604
9	Monte Alegre de Minas	M6	2604
10	Prata	M11	4865
11	Santa Vitória	M1	3010
12	Uberaba	M9	4535
13	Uberlândia	M13	4124
14	Veríssimo	M14	1033
	Total		31.711

Fonte: Pinto-Coelho, 2004.

A relação dos municípios do Estado de Minas Gerais é composta por quatorze municipalidades cujos territórios estão totalmente ou parcialmente dentro da bacia de drenagem do reservatório. O somatório das áreas municipais mineiras chega a 31.711km². Os municípios com as maiores áreas foram Prata (4.865 km²), Uberaba (4.535 km²), e Uberlândia (4.124 km²).

O total dos municípios goianos com área dentro da bacia de captação do reservatório de São Simão foi de 76.134 km², englobando setenta e seis municípios. Os municípios com as maiores áreas foram: Caiapônia (8.682 km²), Rio Verde (8.415km²), Paraúna (3.794 km²), Quirinópolis (3.792 km²), Morrinhos (2.855 km²) e Itumbiara (2.465 km²). No total, as diferentes sub-bacias de drenagem do reservatório de São Simão comprometem cerca de 25% da superfície total do estado de Goiás.

O controle do processo de eutrofização e a recuperação da qualidade de água do ambiente passam, dessa forma, por um grande esforço de articulação entre os estados de MG e GO, de suas respectivas bases municipais, das grandes indústrias e empreendimentos com atuação na bacia e, obviamente, da sociedade civil organizada e dos centros de pesquisa regionais e estaduais.

Para obtenção dos dados necessários, foi feita a caracterização da localização geográfica da Represa de São Simão em relação ao Estado de Minas e ao Brasil (Figura 3.2). Após uma análise que considerou as possibilidades de acesso (rede viária), a rede hidrográfica, especialmente o posicionamento do antigo canal de São Simão que foi inundado pela represa e foi o principal balizador para a demarcação dos pontos limnéticos, localizados no eixo central, os eventos históricos (registros de ocorrências de blooms de algas registrados em anos anteriores), foram demarcados os pontos de coletas, que tiveram suas coordenadas planas obtidas através do instrumento de GPS. Essas coletas foram conduzidas numa base trimestral, cobrindo cada estação do ano. Nos tributários foram consideradas amostras de superfície (PINTO-COELHO, 2004).

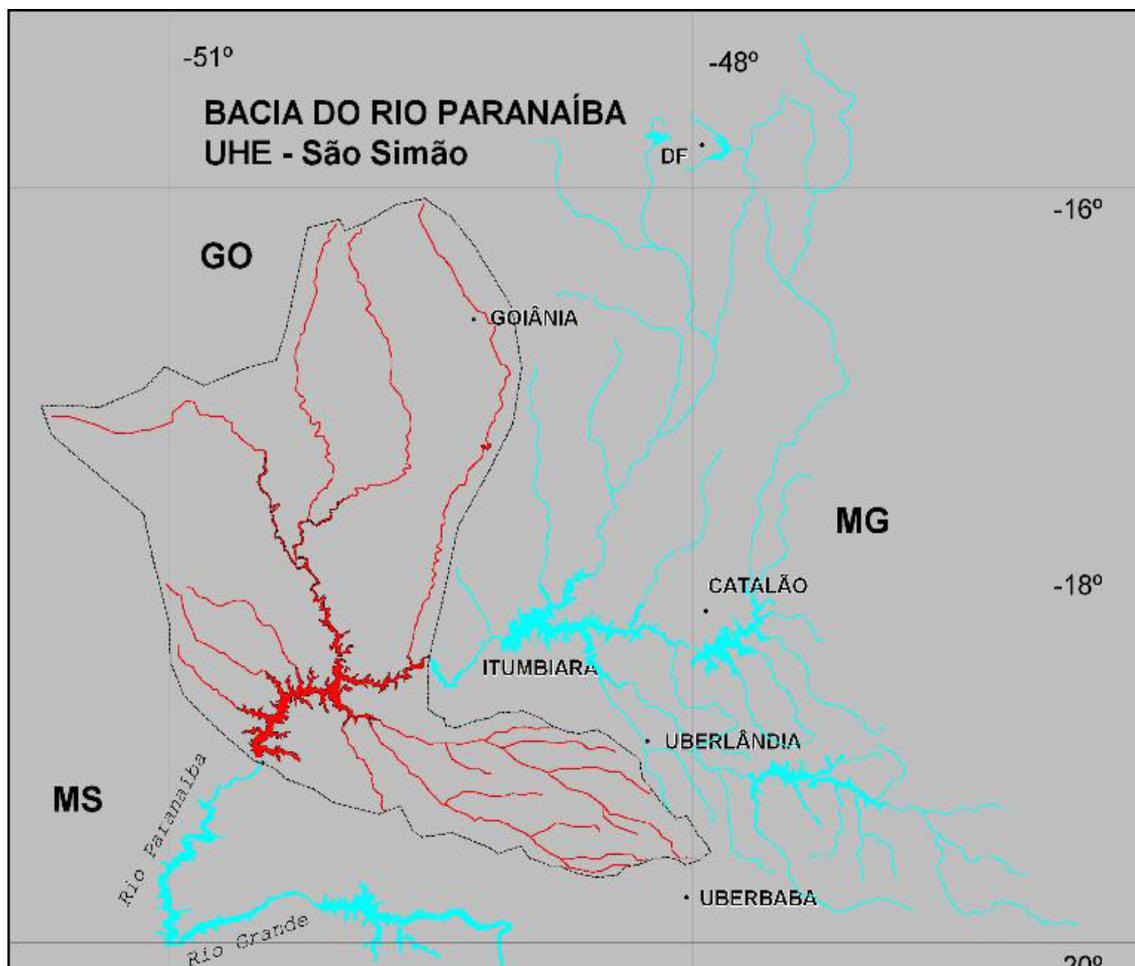


Figura 3.2 - Cartograma Ilustrando a Localização do Reservatório de São Simão nos Estados de MG e GO, a Bacia de Drenagem e a Rede de Tributários.
Fonte: Pinto-Coelho, 2004.

Os pontos de coleta foram caracterizados da seguinte forma: Estações Lóticas - foram demarcados dezesseis pontos de coletas (estações de coletas) englobando os principais tributários do reservatório; Estações Lênticas - foram demarcados oito pontos de coletas cobrindo as três regiões principais do reservatório (braços sob a influência

direta dos rios, zona de transição e eixo central da represa). Os dados referentes às estações lóxicas e lênticas encontram-se no Anexo 1.

A Figura 3.3 a seguir mostra a localização dos pontos de coleta citados acima.

3.3. Coleta nos Tributários

As seguintes variáveis foram determinadas *in situ*:

- condutividade elétrica;
- oxigênio dissolvido;
- temperatura da água;
- pH;
- turbidez.

A condutividade elétrica, o oxigênio dissolvido e a temperatura da água foram determinados com sondas Yellow Springs. O pH foi determinado igualmente no campo através de uma sonda DIGIMED equipado com um eletrodo KCL (gel) apropriado para medidas de campo. A turbidez foi medida com um turbidímetro portátil DIGIMED (unidades NTU). Todos os equipamentos foram calibrados através de procedimentos usuais, seja no laboratório, seja no campo.

As seguintes variáveis foram determinadas a partir de amostras enviadas ao laboratório do Instituto de Ciências Biológicas da UFMG:

- matéria em suspensão (sólidos orgânicos, inorgânicos e totais);
- clorofila-a;
- fósforo total;
- fósforo solúvel;
- amônia;
- nitrito;
- nitrato.

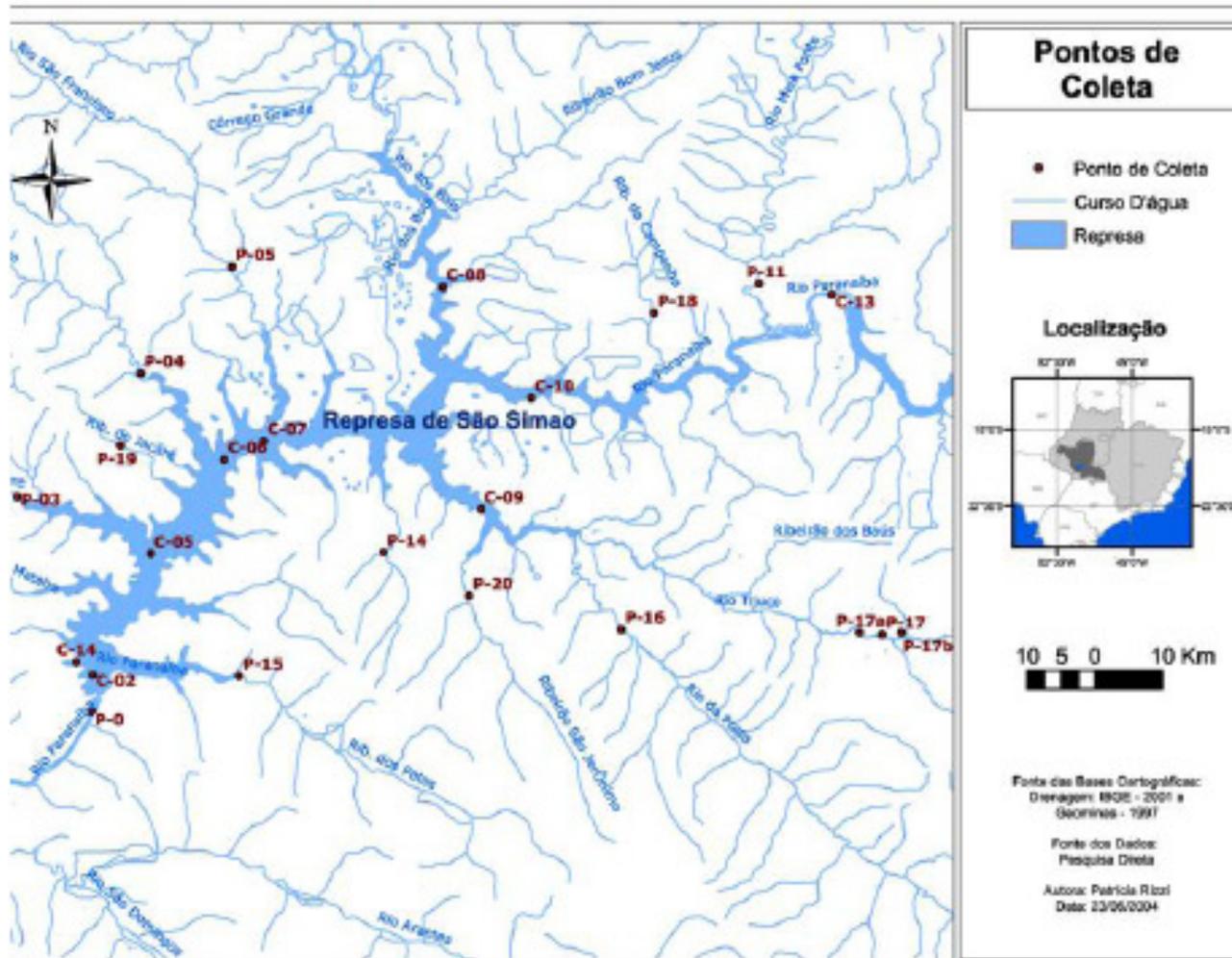


Figura 3.3 - Localização dos Pontos de Coleta.

Fonte: Pinto-Coelho, 2004

A matéria em suspensão foi determinada através de método gravimétrico (APHA, 1992). Cerca de 50 a 3000 mL de amostra (dependendo do local de coletas) de água foram determinados com sondas Yellow Springs. O pH foi determinado igualmente no campo através de uma sonda DIGIMED equipado com um eletrodo KCL (gel) apropriado para medidas de campo. A turbidez foi medida com um turbidímetro portátil DIGIMED (unidades NTU). Todos os equipamentos foram calibrados através de procedimentos usuais, seja no laboratório, seja no campo.

As seguintes variáveis foram determinadas a partir de amostras enviadas ao laboratório do Instituto de Ciências Biológicas da UFMG:

- matéria em suspensão (sólidos orgânicos, inorgânicos e totais);
- clorofila-a;
- fósforo total;
- fósforo solúvel;
- amônia;
- nitrito;
- nitrato.

A matéria em suspensão foi determinada através de método gravimétrico (APHA, 1992). Cerca de 50 a 3000 mL de amostra (dependendo do local de coletas) de água foram filtrados em filtros de fibra de vidro (Schleicher and Schüll, 25 mm de diâmetro), tarados e pré-incinerados (em mufla, a 550 °C por 4 horas). Os filtros foram depositados em caixas de polipropileno opacas, dotadas de sílica-gel, acondicionadas em congelador até a data da análise. No laboratório, os filtros foram, a seguir, depositados em estufa (70 °C, 3 horas ou até atingirem peso constante). A seguir foram pesados em balança analítica Mettler e, em seguida, transferidos para a mufla, incinerados, como acima descrito, e novamente pesados.

Amostras para clorofila-a foram filtradas a vácuo ainda no dia de coletas. Foram utilizados filtros de fibra de vidro Schleicher & Schüll (GF 47) de 47 mm de diâmetro que foram dobrados com as faces internas voltadas entre si. A seguir, os filtros foram envoltos em papel alumínio multi-perfurado e transferidos para caixas de polipropileno opacas contendo sílica gel, onde ficaram estocados (-15 °C, escuro) até a data da análise. No laboratório, a extração e análise da clorofila-a seguiram a técnica proposta por LORENZEN (1967). Foi utilizado um espectrofotômetro Shimadzu UV-VIS equipado com cubetas de quartzo de 1 cm de paço ótico.

As amostras para a série nitrogenada foram filtradas ainda no dia de coletas a vácuo em aparato Millipore, inox, usando filtros Schleicher & Schull (GF 47) de 47 mm de diâmetro e transferidas para frascos de polipropileno secos, previamente lavados em água deionizada, bi-filtrada. Esses frascos foram transportados congelados (-15 °C) até o laboratório. As análises de amônia, nitrito e nitrato obedeceram a técnicas colorimétricas convencionais (MACKRETH *et al.*, 1978). Foi utilizado um espectrofotômetro Shimadzu UVVIS e cubetas de quartzo de 1 cm de paço ótico.

As amostras para o fósforo total foram coletadas e imediatamente acondicionadas em frascos de polipropileno limpos e secos, segundo a técnica descrita acima. As amostras para o fósforo solúvel sofreram uma filtragem prévia como a descrita para a série nitrogenada. A determinação do fósforo seguiu método colorimétrico tradicional (MURPHY e RILEY, 1962). Foi utilizado um espectrofotômetro Shimadzu UV-VIS e cubetas de quartzo de 1 cm de paço ótico (PINTO-COELHO, 2004).

3.4. Coleta no Reservatório

Foram estabelecidos 07 pontos de coletas nos três compartimentos do reservatório: 1 - área de influência dos tributários, 2 - área de transição e 3 - zona central. A frequência de coletas também foi trimestral.

As seguintes variáveis foram determinadas *in situ*:

- condutividade elétrica (sonda de condutividade Yellow Springs Instruments-YSI);
- oxigênio dissolvido (oxímetro, Yellow Springs Instruments - YSI);
- temperatura da água (termístor acoplado a sonda de condutividade YSI);
- pH (pH-metro DIGIMED);
- transparência da água pelo disco de Secchi¹.

¹ O Disco de Secchi, criado em 1865 por Pietro Angelo Secchi, é um disco especialmente construído para medir a transparência e o nível de turbidez de corpos d'água como oceanos, lagos e rios. (http://pt.wikipedia.org/wiki/Disco_de_Secchi).

No reservatório, a temperatura, oxigênio dissolvido (concentração e percentuais de saturação) e condutividade elétrica (μS a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$) foram amostrados na zona superficial (até 7 metros), em intervalos de 0,5 metro para a zona fótica.

Análises Químicas (reservatório) - em cada ponto de coleta, foram medidas as seguintes variáveis químicas em amostras coletadas e analisadas no Departamento de Biologia Geral da UFMG:

- matéria total em suspensão;
- fósforo total;
- fósforo solúvel;
- amônia;
- nitrito;
- nitrato.

As amostras foram tomadas de forma integrada para a zona superficial (0-7 metros) com uma garrafa de Van Dorn marca Hydrobios, transparente (Pexiglas). As análises de nutrientes, clorofila-a e sólidos em suspensão foram feitas através da mesma metodologia descrita anteriormente para as amostras dos tributários (PINTO-COELHO, 2004).

3.5. Fitoplâncton, Cianobactérias e Clorofila-a no Reservatório

As análises quantitativas do fitoplâncton foram feitas em amostras de 500 ml, coletadas com a garrafa de Van Dorn de 2 litros (Hydrobios) e fixadas com lugol¹ acético. As amostras foram coletadas na zona fótica do reservatório (0,5 m). Amostras qualitativas foram também tomadas com o auxílio de uma rede cônica de 15 cm de diâmetro e abertura de malha de 20 μm . Essas amostras serviram de suporte para as determinações taxonômicas do fitoplâncton.

¹ O lugol ou solução de Lugol é uma solução de I_2 (Iodo, 1%) em equilíbrio com KI (Iodeto de Potássio, 2%) em água destilada. Foi nomeada em honra ao físico francês J. G. A. Lugol. Este produto se emprega frequentemente como desinfetante e antisséptico e para a desinfecção de águas em emergências como conservante. O lugol ácido é o agente fixador mais utilizado para microscopia de inversão, usada para observação de organismos de maiores dimensões (microfitoplâncton) (<http://pt.wikipedia.org/wiki/lugol>).

O fitoplâncton (maior que 20 micra) foi analisado quantitativamente pela técnica do microscópio invertido. Foi usando um microscópio invertido Zeiss nos aumentos (objetivas) 10X e 100X e cubetas cilíndricas de pexiglas de diferentes volumes. O tempo de sedimentação foi de 24 horas. Foi contado um número de campos que garantisse um mínimo de 400 indivíduos para a espécie dominante. As análises de plâncton foram realizadas no Laboratório de Gestão de Reservatórios Tropicais, Departamento de Botânica, ICB, UFMG. Usou-se o microscópio invertido Olympus modelo CK 40 para as análises (PINTO-COELHO, 2004).

3.6. Fitoplâncton nos Tributários

As amostras para as análises da flora de algas bentônicas dos tributários foram coletadas em dois períodos, julho/agosto de 2002 e fevereiro de 2004, com auxílio de um balde amarrado a uma corda. Aproximadamente 1L do volume coletado foi transferido para um frasco de polietileno, fixado com solução de lugol acético e mantido ao abrigo da luz.

Em laboratório, as amostras foram homogeneizadas e sub-amostras de 50 ml foram retiradas e concentradas para um volume de 10ml. As sub-amostras concentradas foram tratadas com permanganato de potássio e ácido clorídrico para clarificação das diatomáceas. Depois de clarificadas, as amostras tiveram seu volume reduzido para 1ml e foram analisadas sob microscópio ótico (aumentos de 400X e 1000X) em sua totalidade. As diatomáceas observadas foram identificadas até o nível de gênero, sempre que possível, após consultar bibliografia pertinente (OLIVEIRA *et al.*, 2001), quantificadas (PINTO-COELHO, 2004).

3.7. Cronograma de Coletas

A Tabela 3.4 a seguir mostra o cronograma das coletas realizadas nos tributários e no reservatório de São Simão.

Tabela 3.4 – Cronograma das Coletas.

Excursão 1	O primeiro trabalho de campo foi realizado entre os dias 28 e 31 de janeiro de 2002.
Excursão 2	O segundo trabalho de campo foi realizado entre os dias 21 e 25 de abril de 2002.
Excursão 3	O terceiro trabalho de campo foi realizado entre os dias 29 de julho e 01 de agosto de 2002.
Excursão 4	O quarto trabalho de campo foi realizado entre os dias 27 de outubro e 01 de novembro de 2002.
Excursão 5	A quinta campanha de trabalho de campo foi realizada entre os dias 15 e 19 de janeiro de 2003.
Excursão 6	O sexto trabalho de campo foi realizado entre os dias 13 e 17 de outubro de 2003.
Excursão 7	O sétimo e último trabalho de campo foi realizado entre os dias 01 e 04 de fevereiro de 2004

Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

3.8. Dados de Precipitação

Os dados sobre precipitação na área da bacia de drenagem do Reservatório de São Simão foram obtidos pelo Sistema de Meteorologia e Recursos Hídricos de Minas Gerais (SIMGE), referentes aos períodos em que ocorreram as coletas: períodos chuvosos (Janeiro/02, Outubro/02, Janeiro/03, Outubro/03 e Fevereiro/04) e períodos secos (Abril/02 e Julho/02).

3.9. Índice de Estado Trófico

Foram feitos os cálculos dos Índices de Estado Trófico Modificado de Carlson (IET) para os tributários e reservatório de São Simão. As planilhas encontram-se no Anexo 3. Será apresentada, para cada tributário, a classificação do estado trófico, de acordo com a data da coleta. Em algumas datas, os valores para certas variáveis não foram determinados (n.d.), ocasionando valores também não determinados para os IET e, conseqüentemente, a não classificação do estado trófico na determinada data.

O Índice de Carlson, desenvolvido para lagos e reservatórios de regiões temperadas, relaciona as concentrações de fósforo total, fósforo solúvel, clorofila-a e transparência da água para avaliar a situação trófica do ambiente (MERCANTE e TUCCI-MOURA, 1999).

Índice de Estado Trófico de Carlson (1977):

- $IET (DS) = 10 (6 - \ln DS / \ln 2)$
- $IET (CHL) = 10 [6 - (2,04 - 0,68 \ln CHL) / \ln 2]$
- $IET (PT) = 10 \{6 - [\ln (48/PT) / \ln 2]\}$

Onde:

IET (DS) = índice de estado trófico para o disco de Secchi

IET (CHL) = índice de estado trófico para a clorofila-a

IET (PT) = índice de estado trófico para o fósforo total.

Modificações neste índice foram feitas procurando adequá-lo às condições limnológicas de reservatórios tropicais, sendo muito utilizado no Brasil para se estimar o estado trófico dos sistemas aquáticos. Esta modificação foi necessária uma vez que estudos limnológicos em áreas tropicais evidenciaram que a concentração crítica permissível e a excessiva em relação à clorofila, ao fósforo e ao fósforo solúvel eram diferentes às verificadas em áreas temperadas. Diferenças também foram verificadas com relação aos dados referentes ao disco de Secchi (MERCANTE e TUCCI-MOURA, 1999).

Índice de Estado Trófico Modificado de Carlson:

- $IET (DS) = 10 [6 - (0,64 + \ln DS) / \ln 2]$
- $IET (CHL) = 10 [6 - (2,04 - 0,695 \ln CHL) / \ln 2]$
- $IET (PSR) = 10 \{6 - [\ln (21,67/PSR) / \ln 2]\}$
- $IET (PT) = 10 \{6 - [\ln (80,32/PT) / \ln 2]\}$

Onde:

IET (DS) = índice de estado trófico para o disco de Secchi

IET (CHL) = índice de estado trófico para a clorofila-a

IET (PSR) = índice de estado trófico para o fósforo solúvel reativo

IET (PT) = índice de estado trófico para o fósforo total.

O critério para a classificação do grau de trofia foi:

Estado Trófico	Índice de Estado Trófico
Oligotrófico	< 44
Mesotrófico	44 - 54
Eutrófico	54 – 74
Hipereutrófico	> 74

3.10. Uso do Solo das Sub-Bacias Contribuintes

Para a execução da delimitação das sub-bacias, foram utilizadas as cartas topográficas digitais, fornecidas pelo Centro de Sensoriamento Remoto do Instituto de Geociências da UFMG.

Foi feita a identificação e a soma das áreas municipais dentro de cada uma das sub-bacias do reservatório. Um total de noventa municípios possui parte ou a totalidade de seus territórios dentro da bacia do reservatório de São Simão. A grande maioria dos municípios possui a maior parte de seus territórios dentro da área da bacia de captação do reservatório.

Depois foram quantificadas as principais atividades agropastoris existentes nas sub-bacias do reservatório. Essas atividades foram divididas nos seguintes itens: (a) população humana; (b) atividades agrícolas; (c) pecuária. As atividades agrícolas foram divididas em lavoura permanente e lavoura temporária e a atividade de pecuária restringiu-se à pecuária bovina. (PINTO-COELHO, 2004).

Os dados demográficos para cada núcleo urbano foram obtidos no IBGE-Censo 2000. A quantidade de fósforo e nitrogênio aportado pelos núcleos urbanos foi estimada utilizando-se os fatores 2,5 g de fósforo/hab./dia e 8,0 g de nitrogênio/hab./dia (VON SPERLING, 1996).

Foi feita a estimativa do aporte de fósforo e nitrogênio por efluentes domésticos nas águas das sub-bacias de captação, assim como a identificação das principais sub-bacias responsáveis por este aporte, com o objetivo de identificar e quantificar quais as

atividades humanas mais importantes para o aporte de nutrientes ao reservatório de São Simão. Observou-se que as fontes pontuais de poluição estão associadas aos centros urbanos e às indústrias existentes na região; também foram identificadas as localizações dos municípios e o total da população urbana de cada município. E a seguir, foram estimadas as entradas de fósforo e nitrogênio devido a cada município (PINTO-COELHO, 2004).

4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos nas diferentes campanhas de campo realizadas no reservatório de São Simão. No Anexo 2 estão apresentadas as Tabelas com os valores das variáveis (amônia, nitrito, nitrato, fósforo total, cianobactérias, etc.) obtidas nos pontos de coleta, tanto nos tributários quanto no reservatório de São Simão, considerados mais importantes para a elaboração deste trabalho.

As Figuras 4.1 a 4.3 representam os valores da série nitrogenada nos tributários.

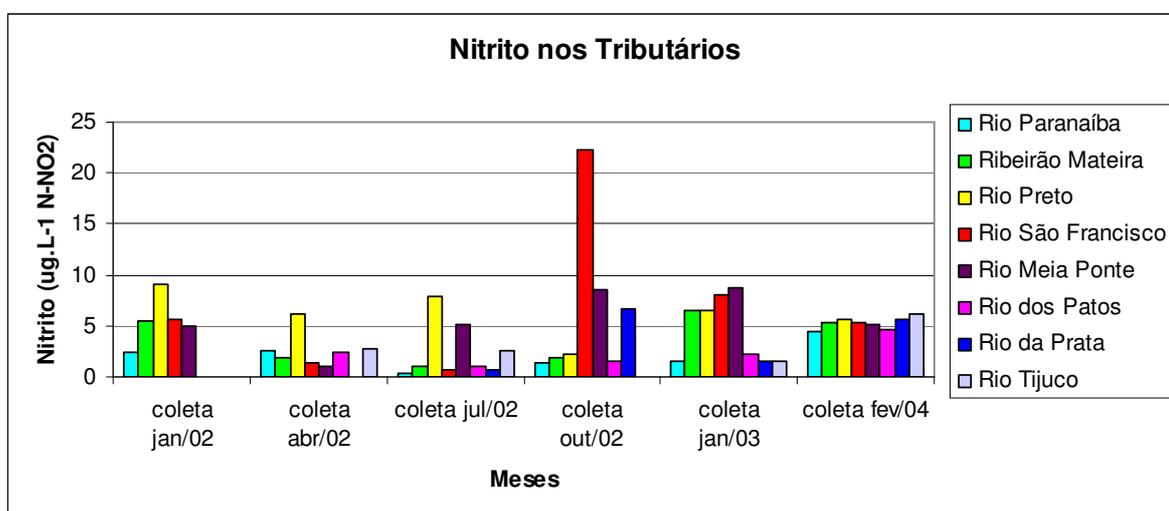


Figura 4.1 – Nitrito medido de Janeiro de 2002 a Janeiro de 2004 nos Pontos de Coleta localizados nos Tributários.

Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

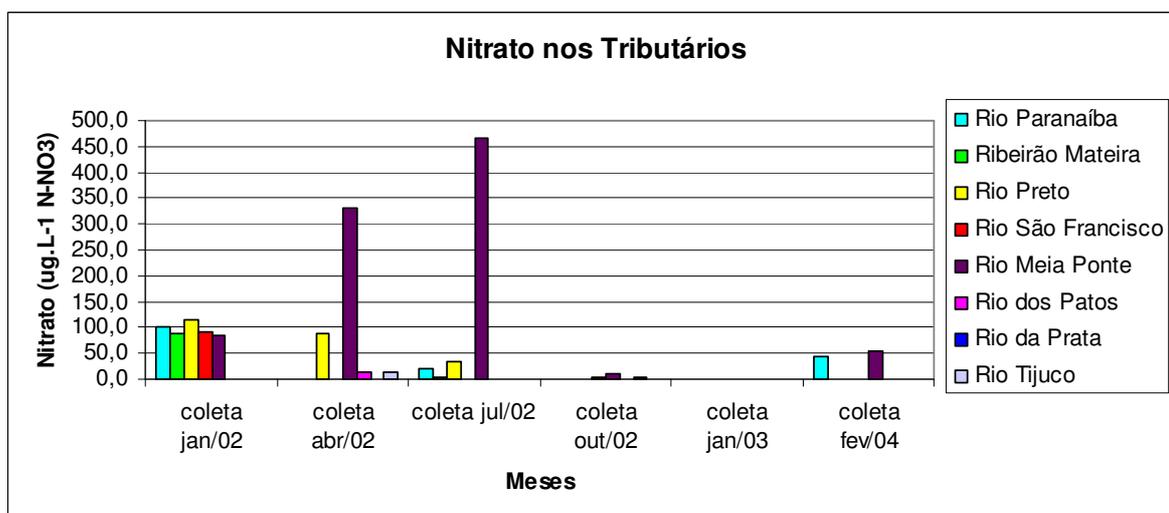


Figura 4.2 – Nitrato medido de Janeiro de 2002 a Janeiro de 2004 nos Pontos de Coleta localizados nos Tributários.

Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

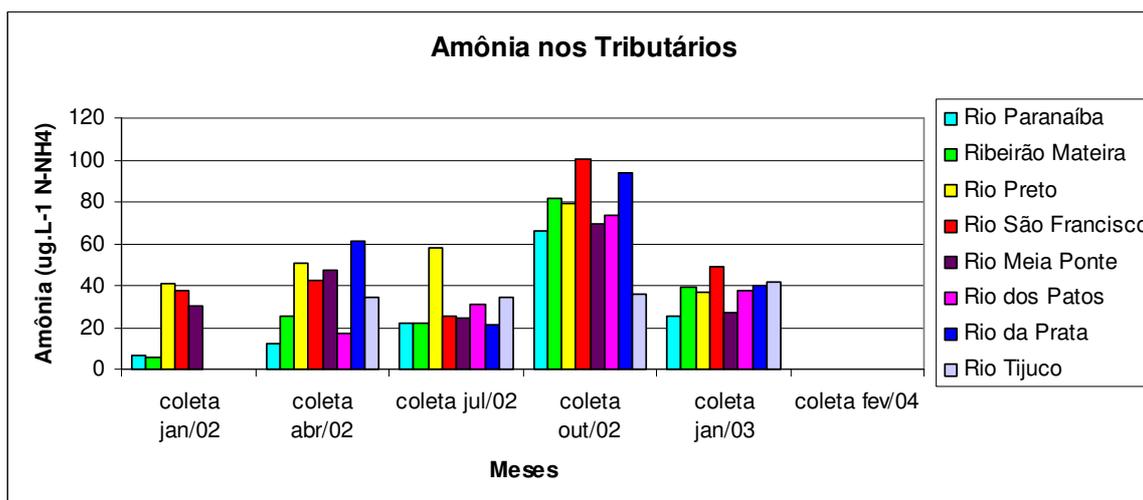


Figura 4.3 – Amônia medida de Janeiro de 2002 a Janeiro de 2004 nos Pontos de Coleta localizados nos Tributários.

Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

Com relação à série nitrogenada (nitrito, nitrato e amônia), em janeiro/2002 o nitrato predominou na maioria das estações. Em abril/2002 destacam-se as concentrações de nitrato nos tributários rio Preto (P4) e rio Meia Ponte (P11). Para a amônia, destacam-se os rios Preto (P4), São Francisco (P5), Meia Ponte (P11) e da Prata (P16). Em julho/2002 o ponto P4 continuou apresentando a maior concentração de nitrito, já o rio Meia Ponte continuou sendo o maior aporte de nitrato no reservatório. Em outubro/2002 houve um acréscimo da amônia em todos os tributários, já os valores de nitrato reduziram para todos os pontos.

Em janeiro/2003 houve uma redução dos valores da amônia em relação a outubro em quase todos os pontos, mas seus valores foram superiores aos valores encontrados em janeiro/2002. Os dados de nitrato não foram disponibilizados nesta coleta. Em outubro/03 não foram realizadas coletas nos tributários. E em fevereiro/2004 os tributários apresentaram, no geral, concentrações mais baixas para nitrito, nitrato e amônia.

As Figuras 4.4 a 4.6 trazem os valores da série nitrogenada nos pontos localizados no reservatório de São Simão.

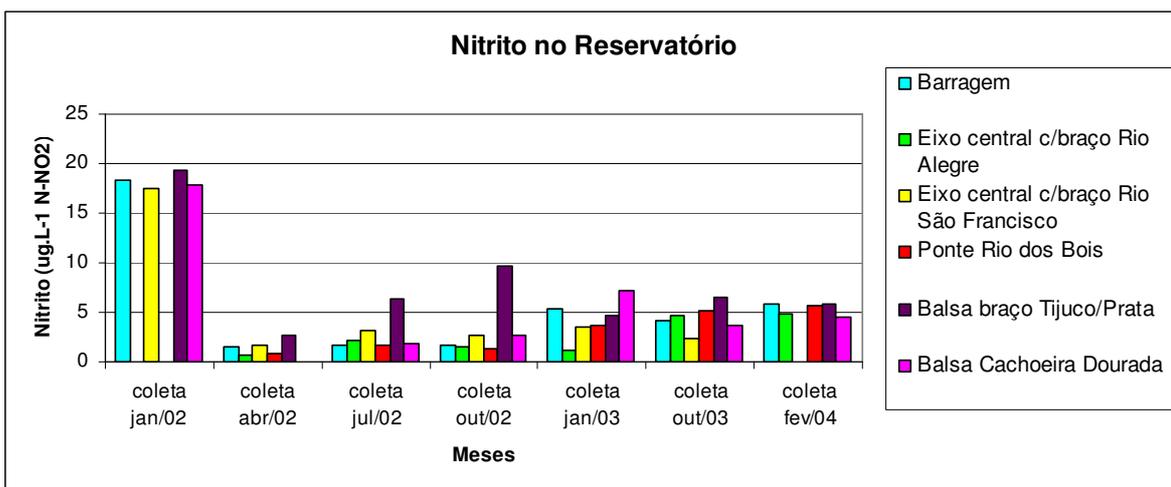


Figura 4.4 – Nitrito medido de Janeiro de 2002 a Janeiro de 2004 nos Pontos de Coleta localizados no Reservatório.

Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

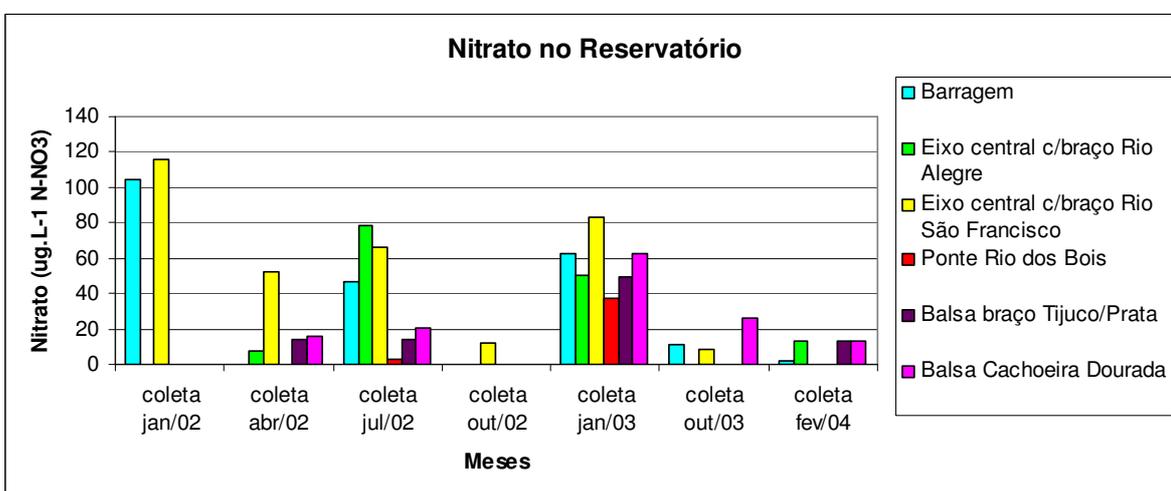


Figura 4.5 – Nitrito medido de Janeiro de 2002 a Janeiro de 2004 nos Pontos de Coleta localizados no Reservatório.

Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

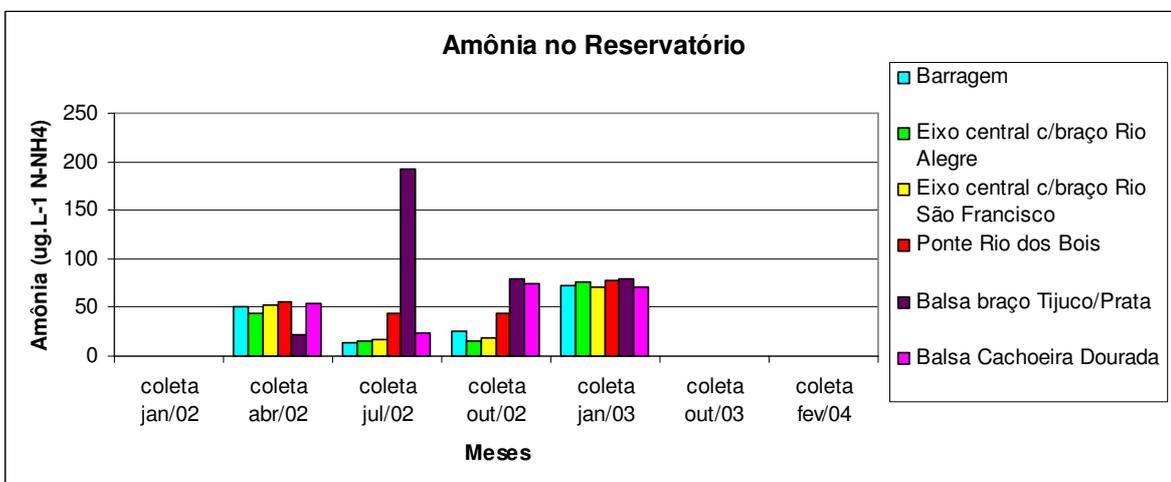


Figura 4.6 – Amônia medida de Janeiro de 2002 a Janeiro de 2004 nos Pontos de Coleta localizados no Reservatório.

Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

Em janeiro/2002 os pontos do reservatório apresentaram em geral baixas concentrações para os elementos da série nitrogenada, exceto os pontos da Barragem (C2) e Eixo central c/braço Rio São Francisco (C7), com valores mais altos para o nitrato. Em abril/2002 destaca-se a concentração de nitrato no ponto C7 e o aumento nos valores da amônia. Em julho/2002 houve um decréscimo nos valores da amônia exceto para o ponto da Balsa braço Tijuco/Prata (C9), que apresentou concentração bem elevada. Houve acréscimo nos valores de nitrito e nitrato em todos os pontos. Em outubro/2002 no ponto C9 houve uma forte redução nos valores de amônia. Os valores de nitrato sofreram reduções em seus valores neste período. Em janeiro/2003 houve um aumento nos valores da amônia em relação a janeiro/2002, houve também um aumento nas concentrações de nitrato comparado ao mês de outubro. Em outubro/2003 as concentrações foram mais baixas para amônia e nitrato. E em fevereiro/2004 a amônia não foi detectada no reservatório.

Em janeiro/2002 os tributários apresentaram concentrações elevadas de fósforo total (Figura 4.7), com destaque para o ponto P4 (rio Preto); já para o fósforo solúvel as concentrações foram baixas (Figura 4.8). Em abril/2002 tanto as concentrações de fósforo total quanto as de fósforo solúvel sofreram um decréscimo em seus valores. Em julho/2002 os valores de fósforo total sofreram mais um decréscimo. Em outubro/2002 houve um pequeno aumento na concentração de fósforo total. Em janeiro/2003 os valores do fósforo total aumentaram, mas não alcançaram os valores obtidos em janeiro/2002; o mesmo ocorreu com o fósforo solúvel, com exceção do ponto P15 (rio dos Patos). Em outubro/2003 não houve coleta nos tributários. E em fevereiro/2004 o fósforo total apresentou uma ampla variação entre os tributários.

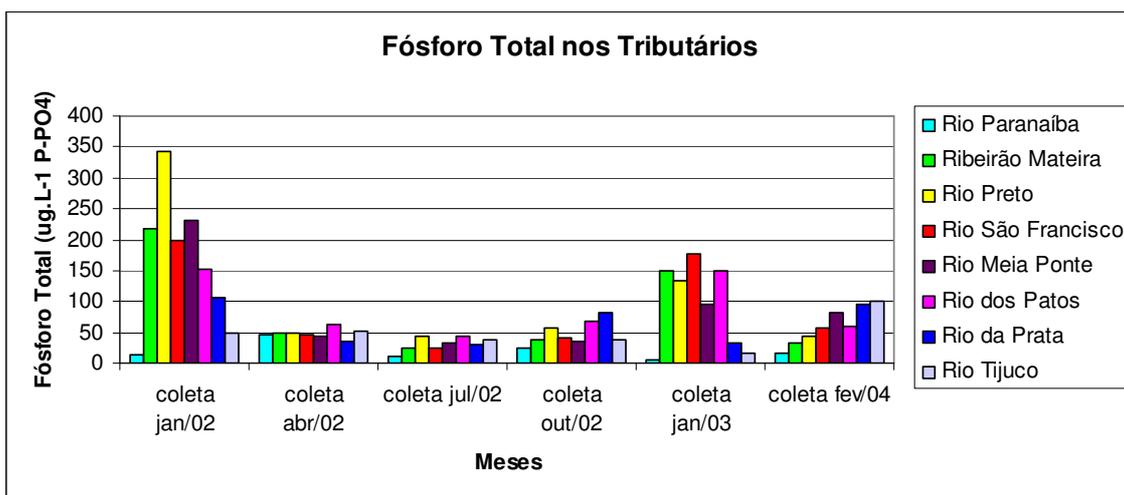


Figura 4.7 – Fósforo Total medido de Janeiro de 2002 a Janeiro de 2004 nos Pontos de Coleta localizados nos Tributários.
 Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

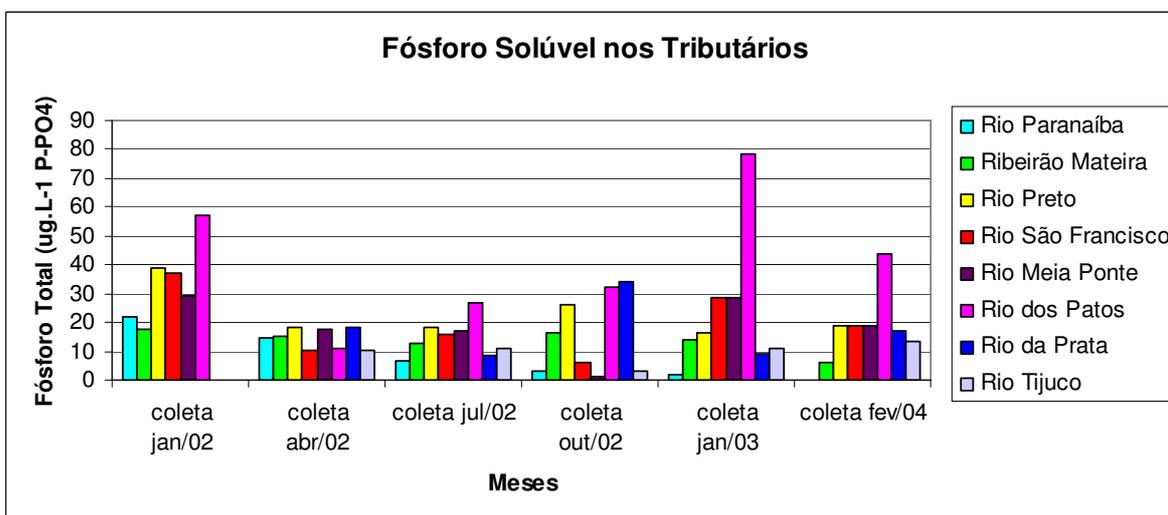


Figura 4.8 – Fósforo Solúvel medido de Janeiro de 2002 a Janeiro de 2004 nos Pontos de Coleta localizados nos Tributários.
 Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

Em janeiro/2002 os pontos no corpo central da represa apresentaram concentrações reduzidas de fósforo total (Figura 4.9), contrastando com a situação dos tributários. Mas o ponto C9 (braço do reservatório sob a influência dos rios Tijuco e Prata), localizado em região próxima a um grande projeto de suinocultura, apresentou concentração mais elevada; já para o fósforo solúvel as concentrações foram baixas (Figura 4.10). Em abril/2002 as concentrações de fósforo total e solúvel mantiveram-se baixas, e o mesmo ocorreu em julho/2002. Em outubro/2002 houve um pequeno aumento na concentração de fósforo total. Em janeiro/2003 somente o ponto C8 (Ponte Rio dos Bois) apresentou um pequeno aumento de fósforo total. Em outubro/2003 e fevereiro/2004 as concentrações de fósforo total e solúvel continuaram baixas.

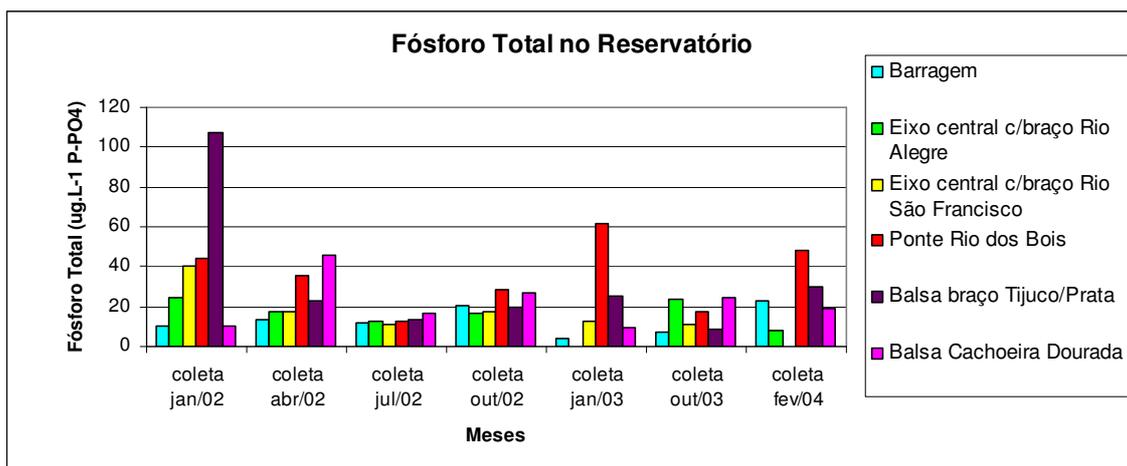


Figura 4.9 – Fósforo Total medido de Janeiro de 2002 a Janeiro de 2004 nos Pontos de Coleta localizados no Reservatório.

Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

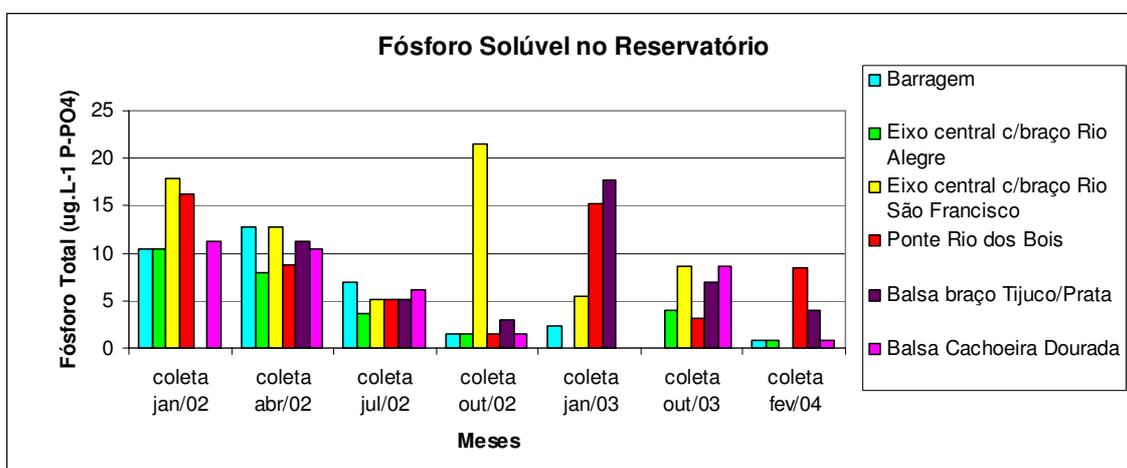


Figura 4.10 – Fósforo Solúvel medido de Janeiro de 2002 a Janeiro de 2004 nos Pontos de Coleta localizados no Reservatório.

Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

A Figura 4.11 apresenta os valores de clorofila-a no reservatório de São Simão.

Em janeiro/2002 o ponto Balsa braço Tijuco/Prata (C9), região de intenso “bloom” de algas, apresentou um valor elevado de clorofila-a. Nos outros meses, para todos os pontos a concentração de clorofila-a variou de pequena a nula, exceto no ponto C9 em fevereiro/2004, onde a concentração elevou-se e foram constatadas concentrações de cianobactérias (Figura 4.12).

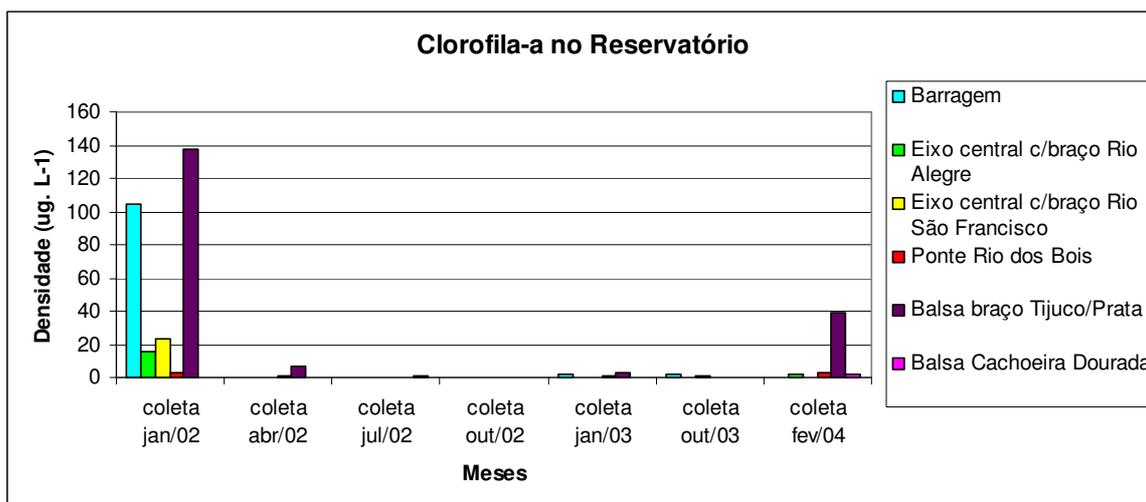


Figura 4.11 – Clorofila-a medida de Janeiro de 2002 a Janeiro de 2004 nos Pontos de Coleta localizados no Reservatório.

Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

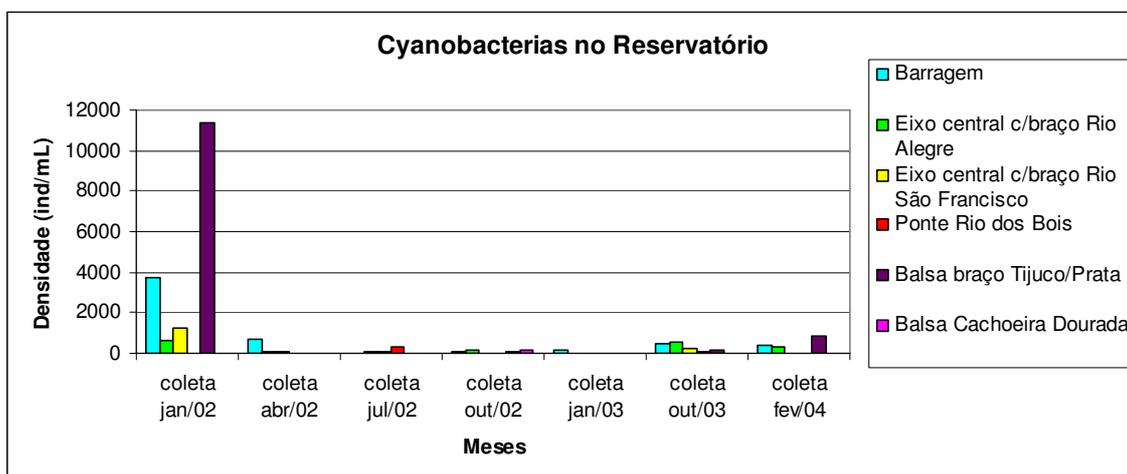


Figura 4.12 – Cianobactérias medidas de Janeiro de 2002 a Janeiro de 2004 nos Pontos de Coleta localizados no Reservatório.

Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

As cianobactérias chegaram a formar um florescimento massivo em janeiro de 2002 atingindo densidades da ordem de 11.000 ind/ml no ponto C09 (Figura 4.12), braço formado pelos rios Tijuco e Prata (MG).

As Figuras 4.13, 4.14 e 4.15 a seguir trazem os valores da série de clorofíceas, crisofíceas e criptofíceas, respectivamente, no reservatório de São Simão.

As algas verdes (clorofíceas) foram mais abundantes nas estações centrais mais próximas à barragem sendo que as maiores densidades para esse grupo também foram registradas em janeiro de 2002, especialmente no ponto C02 (Figura 4.13).

As algas crisofíceas (Figura 4.14) estiveram presentes em todos os pontos de coleta, mas geralmente com densidades baixas, menores do que 200 ind/ml. Em algumas ocasiões, no entanto, as densidades dessa ordem atingiram até 300 ind/ml (C-13, em janeiro de 2002).

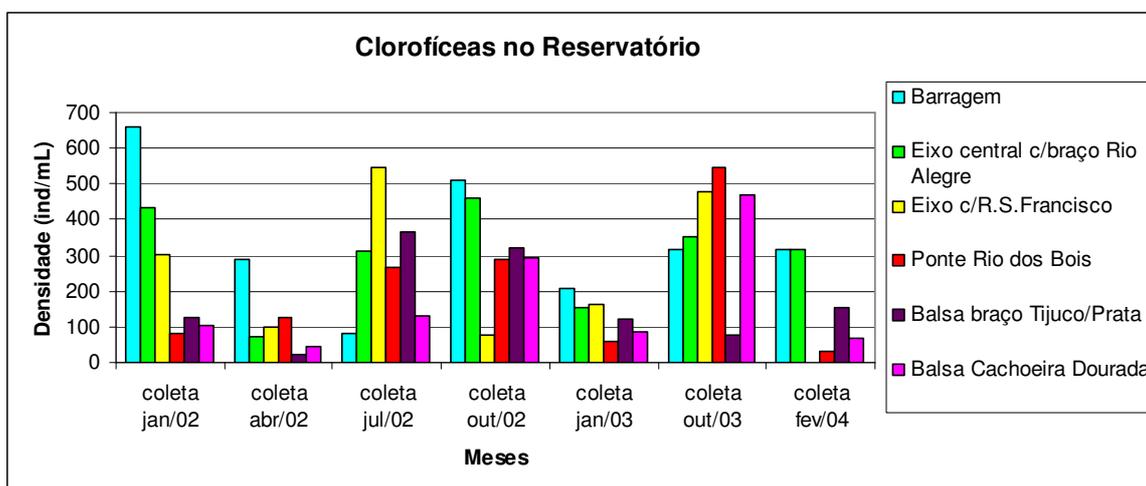


Figura 4.13 – Clorofíceas medidas de Janeiro de 2002 a Janeiro de 2004 nos Pontos de Coleta localizados no Reservatório.
 Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

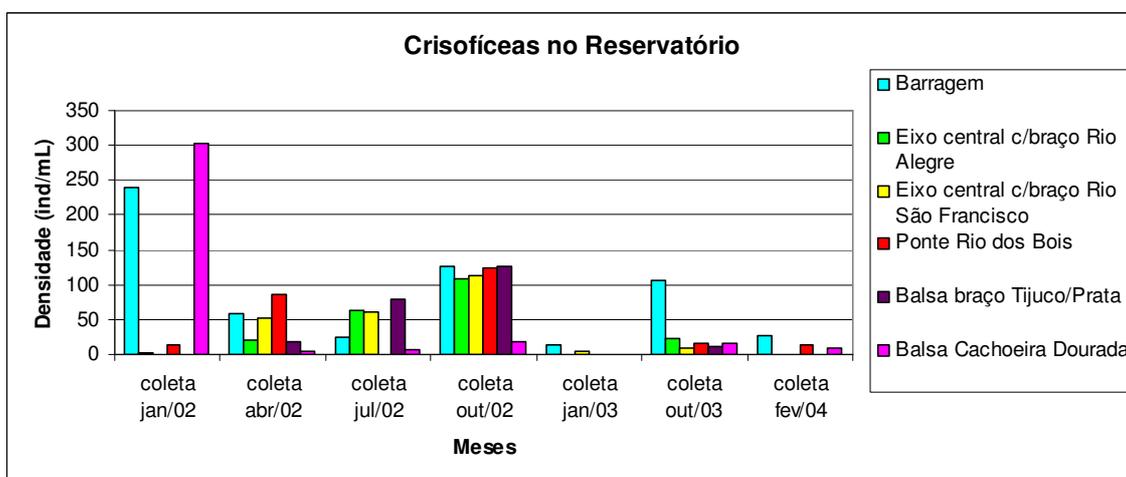


Figura 4.14 – Crisofíceas medidas de Janeiro de 2002 a Janeiro de 2004 nos Pontos de Coleta localizados no Reservatório.
 Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

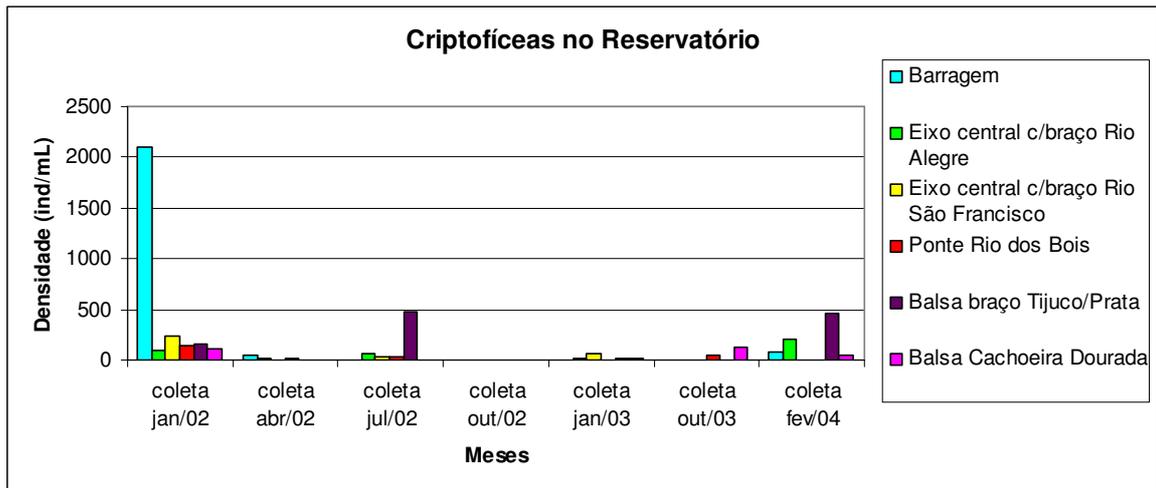


Figura 4.15 – Criptofíceas medidas de Janeiro de 2002 a Janeiro de 2004 nos Pontos de Coleta localizados no Reservatório.

Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

A estrutura do fitoplâncton do reservatório de São Simão é indicativa de um reservatório eutrófico. Todas as cianobactérias detectadas assim como os principais gêneros de clorofíceas e criptofíceas encontradas são comuns em reservatórios eutróficos brasileiros tais como os reservatórios da Pampulha (MG), Americana (SP) e Paranoá (DF).

Em janeiro/2002 o reservatório encontrava-se amplamente dominado por cianobactérias, principalmente no ponto C9 (braço da represa sob influência dos rios Tijuco e Prata), conforme pode ser observado na Figura 4.16. Em abril/2002 houve uma forte redução nas densidades das cianobactérias. Nos outros meses ocorreram menores variações nas densidades. Em janeiro/2004, as cianobactérias voltaram a aparecer no ponto C9, mas longe do valor encontrado em janeiro/2002.



Figura 4.16 - Presença de “Escuma” de Algas às Margens da Estação de Coleta C9, junto à Balsa no Braço sob a Influência dos Rios Tijuco/Prata (Ipiacú, MG), em Janeiro de 2002.
Foto: Pinto-Coelho, 2004.

Com relação à estrutura da comunidade fitoplanctônica da represa de São Simão, ao compararmos os dados das sete campanhas de campo realizadas no reservatório de São Simão, o mês de janeiro de 2002 destaca-se pelas elevadas densidades observadas para o fitoplâncton como um todo (Figuras 4.17 a 4.20). Os grupos mais abundantes de algas fitoplanctônicas foram representados, respectivamente, pelas cianobactérias, clorofíceas, crisofíceas e criptofíceas.

A estrutura fitoplanctônica de oito diferentes tributários do reservatório de São Simão também foi analisada: Rio Paranaíba (P00 à jusante do reservatório), Ribeirão Mateira (P02), Rio Preto (P04), Rio São Francisco (P05), Rio Meia Ponte (P11), Rio dos Patos (P15), Rio da Prata (P16) e Rio Tijuco (P17).

Foram registrados 125 organismos diferentes, dos quais 112 foram identificados e distribuídos entre 19 gêneros. A maioria das diatomáceas encontradas pertence à ordem Pennales. Em julho/agosto de 2002, o rio Tijuco (Figura 4.17) apresentou a maior riqueza de diatomáceas planctônicas (12 gêneros). Nas coletas de fevereiro de 2004, o rio Meia Ponte se destacou dos demais ambientes devido a maior riqueza (14 gêneros) planctônica. (Figura 4.18).

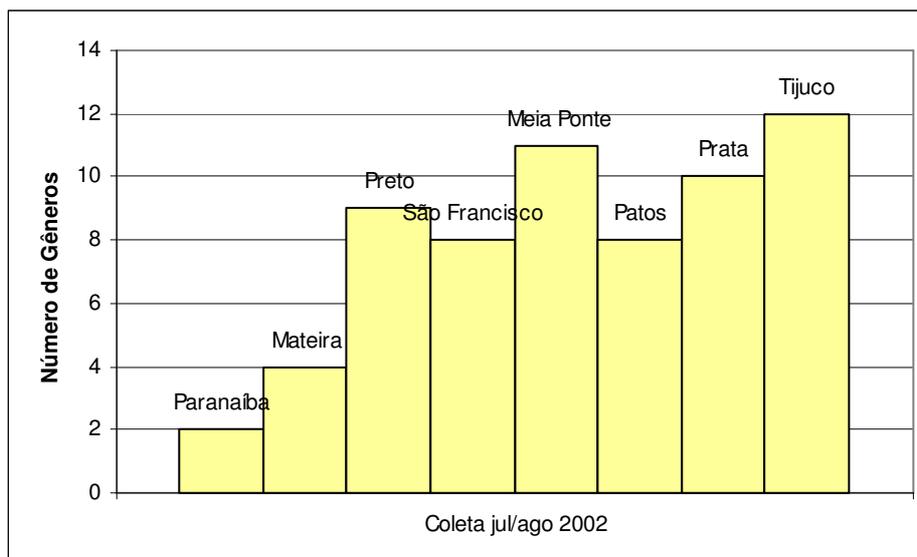


Figura 4.17 - Riqueza (número de gêneros) de Diatomáceas (Chrysophyta/Bacillariophyceae) em cada um dos Principais Tributários do Reservatório de São Simão em Julho/Agosto de 2002.

Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

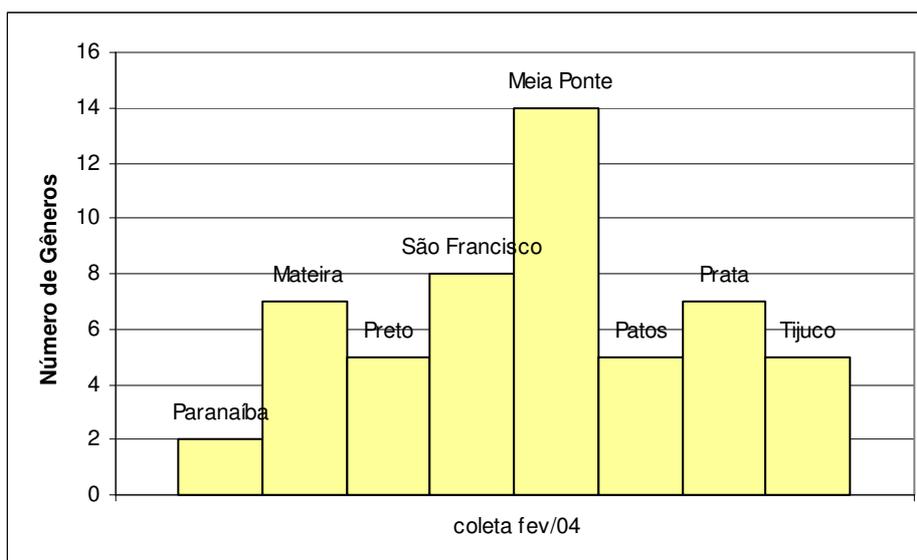


Figura 4.18 - Riqueza (número de gêneros) de Diatomáceas (Chrysophyta/Bacillariophyceae) em cada um dos Principais Tributários do Reservatório de São Simão em Fevereiro de 2004.

Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

Os resultados indicam o grande potencial de uso da estrutura fitoplanctônica como indicadora do grau de poluição das águas dos tributários do reservatório de São Simão. Foram observadas diferenças tanto entre os ambientes dentro da mesma estação de amostragem quanto no mesmo ambiente entre as duas estações. Em julho/agosto de 2002, o Rio Tijuco apresentou maior densidade e maior riqueza de diatomáceas planctônicas (Figura 4.19). Nas coletas de fevereiro de 2004, o rio Meia Ponte se destacou dos demais ambientes devido aos maiores valores de densidade e riqueza de

diatomáceas (Figura 4.20). Em ambos os períodos amostrais, os menores valores foram registrados no ponto do Rio Paranaíba localizado à jusante do reservatório, que apresentou densidade máxima de 60 org/l, em fevereiro de 2004, e riqueza de apenas dois gêneros, nas duas amostragens.

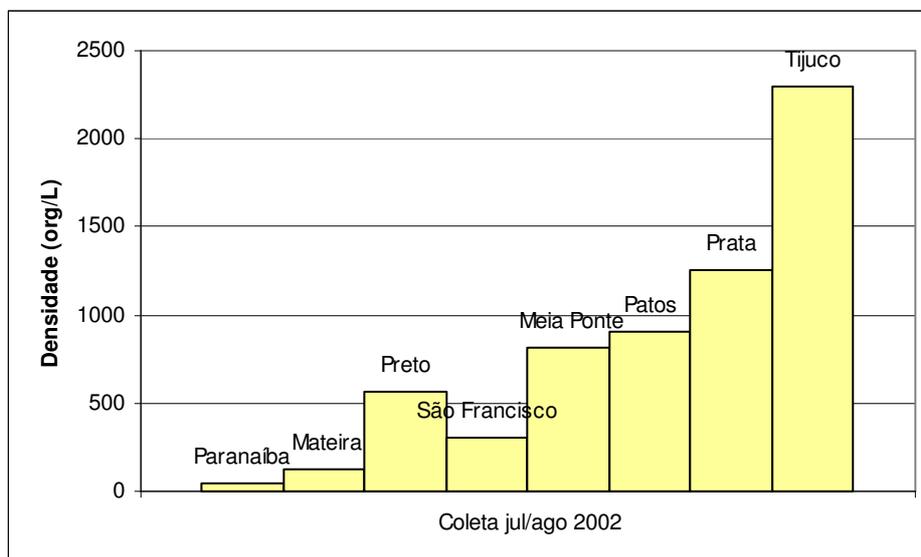


Figura 4.19 – Densidade (organismos/l) de Diatomáceas Planctônicas em cada um dos Principais Tributários do Reservatório de São Simão em Julho/Agosto de 2002.
 Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

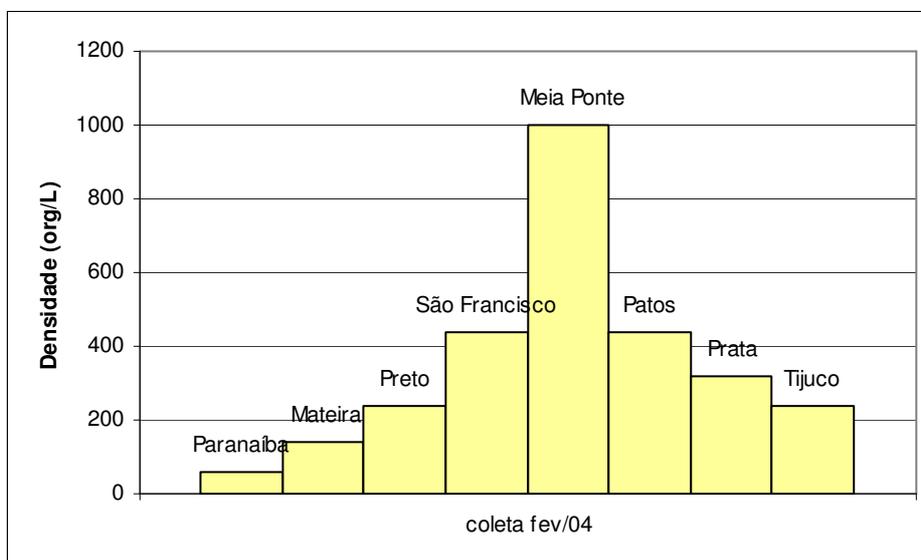


Figura 4.20 – Densidade (organismos/l) de Diatomáceas Planctônicas em cada um dos Principais Tributários do Reservatório de São Simão em Fevereiro de 2004.
 Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

A ocorrência de alterações espaciais (entre ambientes) e temporais (entre períodos de amostragem) nas condições físicas e químicas da água refletiram em mudanças qualitativas (composição) e quantitativas (densidade total) na estrutura planctônica. Com base nestas análises, os rios Tijuco, Prata e Meia Ponte são apontados como os

ambientes que recebem a maior carga de matéria orgânica. Esses resultados corroboram os dados de aporte de nutrientes já apresentados anteriormente, sugerindo que a degradação do reservatório de São Simão é, em grande parte, originada pelo aporte de nutrientes, sólidos e matéria orgânica que são trazidos pelos rios Tijuco (MG) e Meia Ponte (Goiás). Estas sub-bacias apresentam as maiores populações e áreas de agricultura e pecuária, conforme descrição a ser apresentada no capítulo 5.

4.1. Análise dos Resultados das Coletas

Janeiro 2002 - O reservatório de São Simão apresentou sinais típicos de eutrofização, tendo destaque a baixa transparência da água (<1.6 m), a existência de depleção de oxigênio dissolvido ainda nas camadas superficiais, valores de pH fortemente alcalinos (>8,0) na zona fótica e, em alguns casos, concentrações extremamente elevadas de clorofila-a, tal como o observado no ponto C09 - Balsa de Ipiaçú. Nesse ponto, as características físico-químicas (pH acima de 9 e valores de supersaturação de oxigênio dissolvido, acima de 12 mg.L⁻¹) e biológicas (concentrações de clorofila-a acima de 100 µg.L⁻¹ e densidades totais de fitoplâncton em torno de 30.000 cel.ml⁻¹) não deixam dúvidas quanto à existência de um intenso “bloom” de cianobactérias planctônicas, que pode ser constatado macroscopicamente (Figura 4.21).

Constatou-se a contribuição de fósforo de natureza alóctone que está entrando no reservatório em concentrações elevadas (> 100 µg.L⁻¹) em quase todos os tributários. Deve-se notar que essas concentrações elevadas foram encontradas no período chuvoso, exatamente aquele quando ocorrem as maiores vazões dos tributários. Vale ainda ressaltar que a grande maioria dos tributários apresentou concentrações relativamente baixas de nitrogênio.

Uma possível justificativa para os dados discrepantes desta medição em relação às demais também realizadas em período chuvoso (Out/02, Jan/03, Out/03 e Jan/04) é o fato de que este período apresentou valores de precipitação mais intensos. Isso é demonstrado nas Figuras 4.22 a 4.24 a seguir, que apresentam os dados de precipitação na região da bacia de São Simão, obtidos pelo Sistema de Meteorologia e Recursos Hídricos de Minas Gerais (SIMGE), nos períodos de coleta.



Figura 4.21 - Presença de Cianobactérias às Margens da Estação de Coleta C9, junto à Balsa no Braço sob a influência dos Rios Tijuco/Prata (Ipiacú, MG), em Janeiro de 2002.
Foto: Pinto-Coelho, 2004.

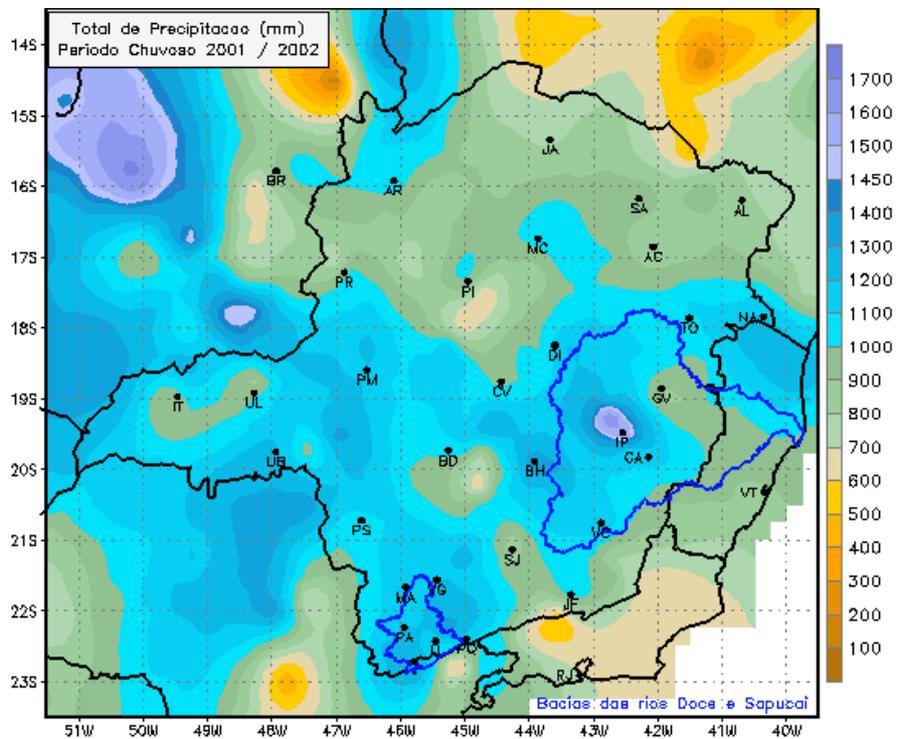


Figura 4.22 – Total de Precipitação no Período Chuvoso compreendendo os Meses de Out./2001 a Mar./2002.
Fonte: SIMGE, 2008.

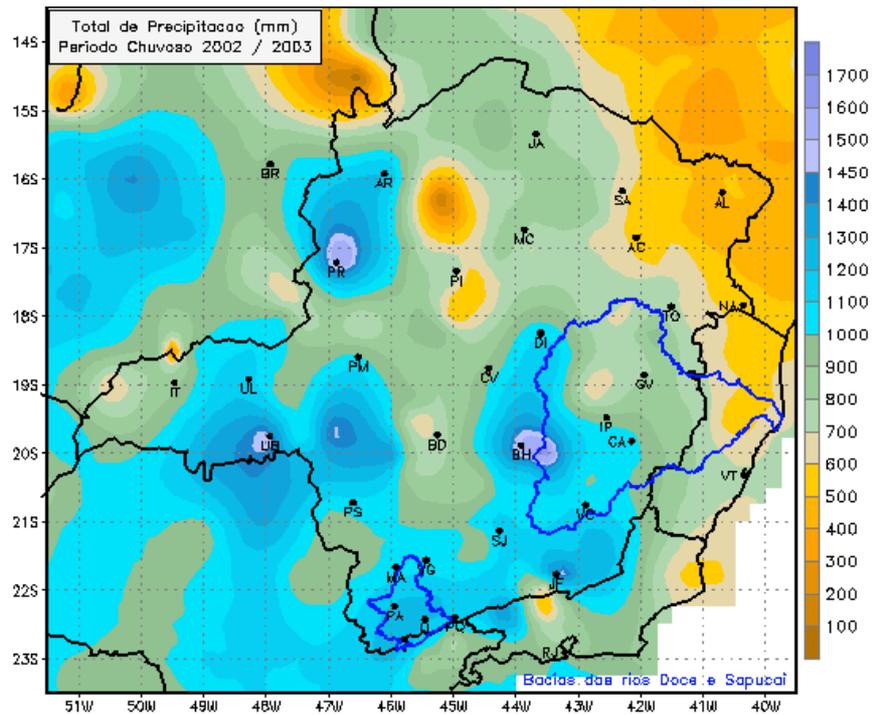


Figura 4.23 – Total de Precipitação no Período Chuvaso compreendendo os Meses de Out./2002 a Mar./2003.
Fonte: SIMGE, 2008.

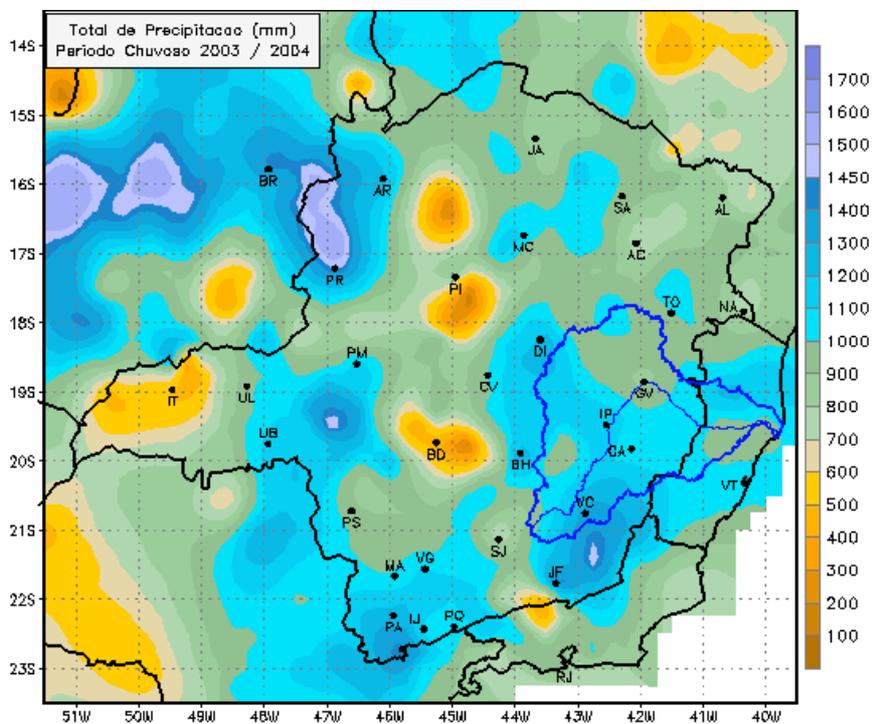


Figura 4.24 – Total de Precipitação no Período Chuvaso compreendendo os Meses de Out./2003 a Mar./2004.
Fonte: SIMGE, 2008.

Outra forte evidência da íntima associação entre fósforo e cianobactérias refere-se ao fato de que a alga numericamente dominante, *Anabaena spiroides* e *A. solitária* apresenta grande abundância de estruturas fixadoras de nitrogênio atmosférico, os heterocistos. Todas essas evidências factuais corroboram para suportar a hipótese inicial de trabalho que consiste na existência de uma relação espaço-temporal entre aporte de fósforo e presença de cianobactérias.

Um aspecto importante na dinâmica da ciclagem do fósforo nesse ambiente refere-se aos fatos: (a) de que a maioria do fósforo encontra-se sob a forma particular e (b) há um súbito decréscimo do fósforo à medida que se avança da zona de transição para o eixo central do reservatório. Tais fatos evidenciam uma elevada afinidade da microbiota do lago por esse elemento, dando suporte adicional ao fato de que a rápida eutrofização de São Simão está ligada ao crescente aporte desse nutriente.

Esses fatos indicam que o fósforo (e não o nitrogênio) é o elemento limitante da produção biológica no reservatório.

As análises iniciais referentes à parte de georeferenciamento apresentadas apontam para o fato de que as atividades humanas da bacia e, em especial, aquelas existentes no território goiano possivelmente estão associadas à rápida degradação da qualidade de água no reservatório de São Simão.

Abril 2002 - As análises físico-químicas demonstram uma forte dinâmica temporal seja no reservatório seja nos tributários. Em abril, houve um generalizado decréscimo nos valores de nutrientes em quase todos os tributários, principalmente fósforo total (exceto no rio Paranaíba, P0). Esse decréscimo aponta para o fato de que as principais entradas de nutrientes no reservatório se dão na fase das chuvas.

A Figura 4.25 mostra a precipitação no período de abril a setembro de 2002, demonstrando a menor intensidade das chuvas em comparação ao restante do ano. O decréscimo observado no fósforo total coincide com a melhora da qualidade de água no reservatório. Houve um aumento generalizado da transparência da água e uma redução nos teores de clorofila-a na maioria das estações limnéticas. Nenhum vestígio foi encontrado do florescimento de algas no ponto C09, observado em janeiro.

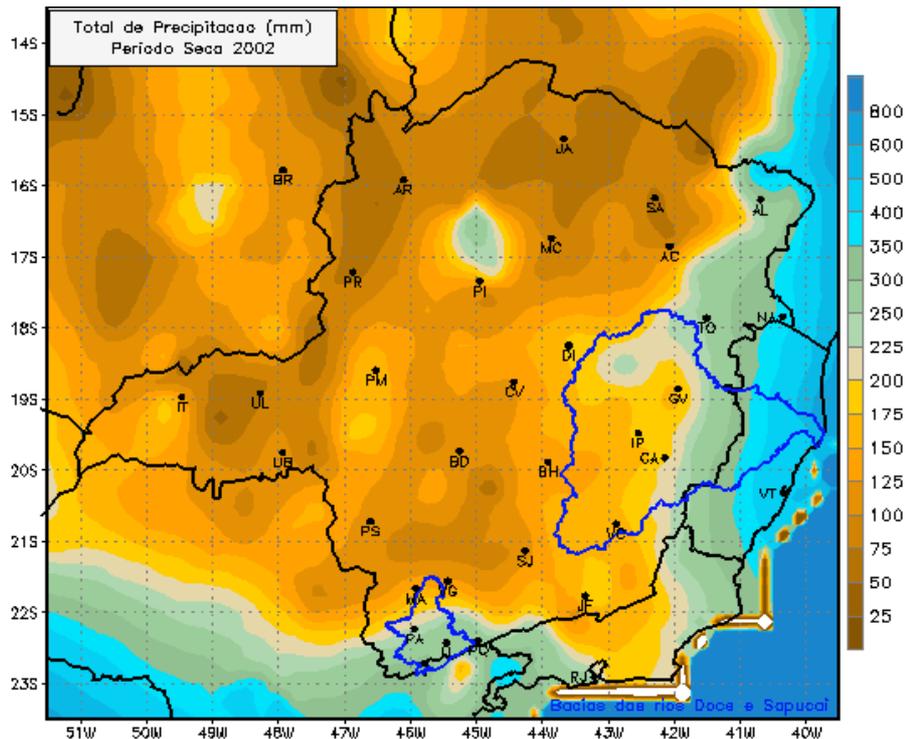


Figura 4.25 – Total de Precipitação no Período Seco compreendendo os Meses de Abr./2002 a Set./2002.

Fonte: SIMGE, 2008.

Apesar desses sinais claros de melhoria da qualidade das águas nos tributários e no reservatório, encontramos claras evidências de que o reservatório encontra-se num processo de crescente trofia. Dentre eles, ressaltamos a presença do íon amônio em quase todos os pontos limnéticos, o forte decréscimo do oxigênio dissolvido na zona superficial (primeiros 7 metros) do lago, e a prevalência de valores alcalinos do pH para essa faixa da coluna de água.

Muitos tributários, principalmente aqueles do lado goiano (Meia Ponte, São Francisco, Preto) e alguns do lado mineiro (Patos, Tijuco e Prata) apresentaram valores relativamente elevados para a condutividade elétrica, nitratos e nitritos ou mesmo para o fósforo, revelando a existência de impactos continuados e localizados (fontes não difusas). Vale ressaltar, uma vez mais, o rio Meia Ponte que apresentou acréscimo nas suas concentrações de nitrato, em abril.

Dessa forma, fica evidente que existe um “mosaico” de entradas de nutrientes, seja por fontes difusas, seja por fontes pontuais no reservatório.

Foram feitas também análises da comunidade fitoplanctônica do reservatório referente ao mês de abril de 2002. Trata-se de uma comunidade de baixa riqueza e forte dominância, atributos típicos de um ambiente impactado e instável, sob o ponto de vista ecológico. As análises ainda demonstram, de modo inequívoco, a existência de um gradiente espacial de concentrações (e biovolumes) crescentes de cianobactérias em direção à montante e confirmam a existência do “waterbloom” no ponto C09.

Julho 2002 - Nos tributários, houve diminuição da temperatura da água, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, nitratos, fósforo total e solúvel. Já a amônia sofreu um aumento em muitos pontos de coletas.

Observaram-se características diferentes entre certos tributários de grande porte tais como o rio Meia Ponte (GO), que mesmo na estação seca continua a exibir elevadas concentrações de nitratos e de condutividade elétrica. Os tributários do lado mineiro (Tijuco e Prata) destacaram-se mais pelo aporte de amônia ou de matéria orgânica. Esses padrões diferenciais estão ligados ao uso do solo na bacia.

Em termos de nutrientes, duas tendências devem ser mencionadas: aumento da amônia e redução ainda maior do fósforo total na maioria dos pontos. A redução generalizada no aporte via tributários e na disponibilidade de fósforo no reservatório coincide com os valores muito baixos de Seston (ou matéria particulada) e de alta transparência da água. Alguns estudos corroboram com estes resultados (MARTINI *et al.*, 2006; POMPÊO *et al.*, 2002).

Esses fatos são importantes para demonstrar que o fósforo foi essencial para o desenvolvimento da grande biomassa algal observada nos meses de verão. A isso deve ser somado o fato de que o aumento no aporte de nitrogênio inorgânico (amônia) no reservatório não impediu o estabelecimento de uma elevada transparência da água nos pontos limnéticos.

Outubro 2002 - O reservatório apresentou uma nítida evolução sazonal na maioria dos parâmetros analisados. As temperaturas da água estiveram elevadas em todos os pontos limnéticos amostrados, nunca ficando abaixo de 27,7 °C na superfície. As transparências decresceram de um modo notável nos pontos limnéticos do reservatório. Os valores de condutividade elétrica também sofreram decréscimo em todos os pontos amostrados no reservatório. O oxigênio dissolvido apresentou valores

relativamente elevados na superfície. O pH ainda manteve-se alcalino em todos os pontos amostrados dentro do reservatório.

As temperaturas dos pontos dos braços do reservatório sofreram igualmente uma forte elevação, se comparadas com a última excursão em julho. Os valores de condutividade apresentaram duas tendências nítidas. Nos pontos sob forte influência dos braços dos rios dos Bois e Tijuco/Prata, os valores aumentaram. Ao contrário, nos pontos do rio Paranaíba, a condutividade permaneceu ainda baixa, ao redor de $37 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. A temperatura da água voltou a subir também nos tributários, mas, de acordo com os meses anteriores, pode-se afirmar que houve uma tendência para valores menos elevados nos tributários se comparado aos braços e eixo central do reservatório.

O pH nos tributários sofreu um decréscimo em relação a julho. A condutividade elétrica apresentou distintos padrões. Em alguns rios, ela manteve os mesmos níveis de julho ou menores. Em outros, ela mostrou um nítido padrão de acréscimo. Em uma tendência contrária ao que foi observado em julho/agosto, os tributários apresentaram concentrações de oxigênio dissolvido menos elevadas do que aquelas verificadas no reservatório.

Uma das tendências mais “firmes” encontradas no reservatório e nos tributários no mês de outubro de 2002 foi o aumento quase que generalizado observado nas concentrações de fósforo total nos diversos pontos de coletas. O fósforo solúvel, ao contrário, sofreu uma redução de seus valores na grande maioria dos pontos limnéticos amostrados (C02 - barragem, C05 - Eixo Central com braço Rio Alegre, C08 - Ponte Rio dos Bois, C09 - Balsa braço Tijuco/Prata e C13 - Balsa Cachoeira Dourada).

A turbidez foi mais elevada nas regiões mais distantes do reservatório, especialmente nos pontos C08 - Ponte Rio dos Bois, C09 - Balsa braço Tijuco/Prata e C10 - Balsa de Gouveinha.

Nos dias 29 e 31 de outubro de 2002, pode-se medir “*in loco*” o efeito de uma forte e longa chuva sobre a química de um grande tributário de São Simão, o rio da Prata. O ponto P16 foi amostrado duas vezes, respectivamente, antes e depois de uma forte chuva sobre a sua bacia, que ocorreu durante todo o dia 30 e parte do dia 31. Os relatos meteorológicos da área indicavam total ausência de chuva na semana anterior. Os efeitos dessa chuva foram muito nítidos sobre a química do rio. Embora a temperatura da água tenha ficado inalterada, houve fortes reduções do pH, da

condutividade e do oxigênio dissolvido. Tendência inversa foi observada para as diferentes espécies de nitrogênio inorgânico e fósforo. Houve mais que uma duplicação nas concentrações de amônia, o mesmo valendo para os nitritos e os nitratos. No entanto, a maior alteração foi verificada para o fósforo.

Janeiro 2003 - O fato mais evidente observado em janeiro de 2003 é a constatação de que o reservatório de São Simão estava livre – desde janeiro de 2002 até então – dos florescimentos de cianobactérias comumente encontrados entre os meses de janeiro e fevereiro. Segundo depoimentos colhidos junto à prefeitura da cidade de São Simão (GO), os florescimentos são usualmente recorrentes em uma escala anual com tendência a ocorrerem nos meses de verão. A cidade de São Simão sofre uma perda econômica considerável com os florescimentos massais de cianobactérias já que uma de suas atividades econômicas principais é o turismo de balneário.

A constatação de que as temperaturas de janeiro de 2003 estiveram abaixo daquelas observadas em janeiro de 2002 é uma observação importante em termos de floração de algas, pois existem evidências na literatura indicando a relação direta entre “blooms” de cianobactérias e a temperatura.

Outro ponto importante que está de acordo com a ausência de “bloom” em janeiro de 2003 é o fato de que as transparências da água foram bem maiores nesse período se comparados a igual período de 2002. De forma compreensível, a quantidade de oxigênio dissolvido na superfície, o pH e a condutividade exibiram valores menores em janeiro de 2003 se comparados a igual período de 2002. Todas essas tendências são coerentes em justificar a ausência de “bloom” no reservatório em 2003 sob o ponto de vista dos fatores básicos físico-químicos do reservatório.

Outro aspecto extremamente importante é o fato de que os dados de amônio e nitrato não deixam dúvidas em se afirmar que houve um aumento da disponibilidade de nitrogênio inorgânico na zona limnética do reservatório ao se comparar os meses de janeiro de 2002 e 2003.

A grande disponibilidade de nitrogênio inorgânico atestada pelas maiores concentrações de todas as formas solúveis de nitrogênio na zona limnética do reservatório em pleno verão de 2003 (janeiro de 2003), justamente em uma fase de ausência de qualquer florescimento de cianobactérias sugere que o fator determinante para o aparecimento desse fenômeno está na disponibilidade de fósforo, um elemento

potencialmente limitante para as cianobactérias. E isso é exatamente o que aconteceu em janeiro de 2003, ou seja, houve uma redução generalizada nas concentrações de fósforo total nos pontos limnéticos do reservatório.

A clorofila-a apresentou baixas concentrações, em geral abaixo do limite de detecção do método, em todos os pontos da região limnética o que reforça os resultados das contagens de fitoplâncton que não evidenciaram florescimentos de algas em qualquer ponto do reservatório.

Outubro 2003 - A condutividade foi em geral mais baixa do que nos meses de chuva. Os pontos limnéticos sob influência dos tributários (C08 - Ponte Rio dos Bois, C09 - Balsa Braço Tijuco/Prata, C10 - Balsa de Gouveinha e C13 - Balsa Cachoeira Dourada) tiveram pH, em geral, alcalinos e com boa disponibilidade de oxigênio. A condutividade elétrica destacou-se com seu valor mais elevado no ponto C09 (rio Tijuco).

O reservatório apresentou-se com baixas concentrações da série nitrogenada, exceto para os nitratos no ponto C10 - Balsa de Gouveinha e C13 - Balsa Cachoeira Dourada. O fósforo total permaneceu com valores abaixo de $25 \mu\text{g.l}^{-1}$ em todos os pontos do reservatório. Não houve coletas nos tributários nesse período. O fitoplâncton esteve dominado por cianobactérias, mas com baixas densidades.

Fevereiro 2004 - A água do reservatório apresentou-se com temperaturas elevadas, típicas do verão com os valores de superfície oscilando entre $28,0 - 30,0 \text{ }^\circ\text{C}$. Os valores de condutividade elétrica nos pontos limnéticos (eixo central) foram em geral baixos para o período de chuvas. Nos pontos sob influência dos tributários houve um notável aumento da condutividade, especialmente no ponto C09 - Balsa Braço Tijuco/Prata.

Nos tributários, valores mais elevados de condutividade ocorreram nos rios Mateira, São Francisco, Meia Ponte, Patos, Prata e Tijuco.

O grande ponto a destacar-se na coleta de fevereiro de 2004, refere-se aos elevados valores de turbidez encontrados nos tributários, seja do lado goiano ou do lado mineiro. A turbidez nesses locais nunca foi menor do que 200 NTU's.

Nos pontos limnéticos, deve ficar registrado o elevado valor da clorofila-a anotado no ponto C09, de $39,1 \mu\text{g.l}^{-1}$.

4.2. Resultados do Índice de Estado Trófico

Em janeiro de 2002 foram constatadas as maiores concentrações de fósforo nos tributários (Figuras 4.7 e 4.8) e de acordo com o IET_m (Tabela 4.1), os mesmos foram classificados, na sua maioria, em eutróficos ou hipereutróficos. Já as concentrações de clorofila-a foram pequenas, levando à classificação oligotrófica. Nas outras datas, a classificação apresentou uma variação maior.

Tabela 4.1 – Classificação do Estado Trófico dos Tributários.

Pontos de Coleta - Tributário	Data	ET PT	ET PS	ET CHL
Rio Paranaíba (Jusante) P00	jan/02	O	E	O
	abr/02	M	E	O
	jul/02	O	O	O
	out/02	O	O	O
	jan/03	O	O	n.d.
	out/03	n.d.	n.d.	n.d.
	jan/04	O	O	O
Rib. Mateira P02	jan/02	H	E	O
	abr/02	M	E	O
	jul/02	O	M	O
	out/02	M	E	O
	jan/03	E	M	O
	out/03	n.d.	n.d.	n.d.
	jan/04	M	O	M
Rio Preto P04	jan/02	H	E	O
	abr/02	M	E	O
	jul/02	M	E	O
	out/02	E	E	O
	jan/03	E	E	O
	out/03	n.d.	n.d.	n.d.
	jan/04	M	E	O
Rio São Francisco P05	jan/02	E	E	O
	abr/02	M	M	O
	jul/02	O	E	O
	out/02	M	O	O
	jan/03	E	E	O
	out/03	n.d.	n.d.	n.d.
	jan/04	E	E	O
Rio Meia Ponte P11	jan/02	H	E	O
	abr/02	M	E	O
	jul/02	M	E	O
	out/02	M	O	O
	jan/03	E	E	O
	out/03	n.d.	n.d.	n.d.
	jan/04	E	E	O

Tabela 4.1 – Classificação do Estado Trófico dos Tributários (continuação).

Pontos de Coleta - Tributário	Data	ET PT	ET PS	ET CHL
Rio dos Patos P15	jan/02	E	H	O
	abr/02	E	M	O
	jul/02	M	E	O
	out/02	E	E	O
	jan/03	E	H	O
	out/03	n.d.	n.d.	n.d.
	jan/04	E	E	O
Rio da Prata P16	jan/02	E	n.d.	n.d.
	abr/02	M	E	O
	jul/02	M	M	O
	out/02 (antes da chuva)	M	O	O
	out/02 (depois da chuva)	E	E	n.d.
	jan/03	M	M	O
	out/03	n.d.	n.d.	n.d.
	jan/04	E	E	O
Rio Tijuco P17	jan/02	M	n.d.	n.d.
	abr/02	M	M	O
	jul/02	M	M	n.d.
	out/02	M	O	O
	jan/03	O	M	O
	out/03	n.d.	n.d.	n.d.
	jan/04	E	M	O

Legenda: ET PT=Estado Trófico relacionado ao Fósforo Total/ET PS=Estado Trófico relacionado ao Fósforo Solúvel/ET CHL=Estado Trófico relacionado à Clorofila-a/O=Oligotrófico/M=Mesotrófico/E=Eutrófico/H=Hipereutrófico/n.d.= não determinado.

Fonte: Elaboração Própria.

Também foram feitos os cálculos dos Índices de Estado Trófico Modificado de Carlson (IET_m) para os pontos no reservatório de São Simão. As planilhas encontram-se no Anexo 3. Na Tabela 4.2 é apresentada, para cada ponto, a classificação do estado trófico, de acordo com a data da coleta. Assim como ocorreu nos tributários, em algumas datas os valores para certas variáveis não foram determinados (n.d.), ocasionando valores também não determinados para os IET_m e conseqüentemente, a não classificação do estado trófico na determinada data. Para a transparência, somente em alguns pontos de coleta as medidas estão disponíveis.

Em janeiro de 2002, quando foram constatadas as maiores concentrações de fósforo e clorofila-a também nos pontos do reservatório (Figuras 4.9, 4.10 e 4.11), os mesmos foram classificados, na sua maioria, em mesotróficos e eutróficos. Nas outras datas, a classificação predominante foi oligotrófica.

Tabela 4.2 – Classificação do Estado Trófico dos Pontos no Reservatório de São Simão.

Pontos de Coleta	Data	ET PT	ET PS	ET CHL	ET DS
Barragem C02	jan/02	O	M	H	O
	abr/02	O	M	O	O
	jul/02	O	O	O	O
	out/02	O	O	O	O
	jan/03	O	O	O	O
	out/03	O	O	O	O
	jan/04	O	O		O
Eixo Central com Braço Rio Alegre C05	jan/02	O	M	E	M
	abr/02	O	M	O	O
	jul/02	O	O	O	O
	out/02	O	O	O	O
	jan/03	n.d.	O	O	M
	out/03	O	O	O	O
	jan/04	O	O	O	M
Eixo Central com Braço Rio São Francisco C07	jan/02	M	E	E	E
	abr/02	O	M	O	M
	jul/02	O	O	O	O
	out/02	O	E	O	O
	jan/03	O	O	O	M
	out/03	O	M	O	O
	jan/04	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Ponte Rio dos Bois C08	jan/02	M	E	O	n.d.
	abr/02	M	M	O	n.d.
	jul/02	O	O	O	n.d.
	out/02	M	O	n.d.	n.d.
	jan/03	E	E	O	n.d.
	out/03	O	O	O	n.d.
	jan/04	M	M	O	n.d.
Balsa Braço (Tijuco/Prata) C09	jan/02	E	n.d.	H	n.d.
	abr/02	O	M	M	n.d.
	jul/02	O	O	O	n.d.
	out/02	O	O	O	n.d.
	jan/03	O	E	O	n.d.
	out/03	O	O	O	n.d.
	jan/04	M	O	E	n.d.
Balsa Cach. Dourada (Rio Paranaíba) C13	jan/02	O	M	O	n.d.
	abr/02	M	M	O	n.d.
	jul/02	O	O	O	n.d.
	out/02	M	O	O	n.d.
	jan/03	O	O	O	n.d.
	out/03	O	M	O	n.d.
	jan/04	O	O	O	n.d.

Legenda: ET PT=Estado Trófico relacionado ao Fósforo Total/ET PS=Estado Trófico relacionado ao Fósforo Solúvel/ET CHL=Estado Trófico relacionado à Clorofila-a/O=Oligotrófico/M=Mesotrófico/E=Eutrófico/H=Hipereutrófico/n.d.= não determinado.

Fonte: Elaboração Própria.

Outros autores fazem classificações diferentes da referenciada acima. A título de exemplo é mostrada na Tabela 4.3 uma classificação trófica segundo a OECD (1982), que classifica os ambientes de acordo com os valores das concentrações de cada parâmetro.

Tabela 4.3 – Valores Limites para Categorias Tróficas.

	Ultra-oligotrófico	oligotrófico	mesotrófico	eutrófico	hipereutrófico
*PT	<4	4-10	10-35	35-100	>100
*CHL	<1	1-2,5	2,5-8	8-25	>25
**DS	>12	12-6	6-3	3-1,5	<1,5

*média anual $\mu\text{g.l}^{-1}$ **somente para lagos que não tenham turbidez inorgânica em metros

Fonte: OECD, 1982.

4.3. Fósforo Total e Estado Trófico

Nos lagos tropicais, a distribuição das diferentes frações de fosfato na coluna d'água parece não estar estreitamente relacionada com o seu estado trófico, como acontece nas regiões de clima temperado. Ela está mais relacionada com a concentração de oxigênio e o regime de estratificação térmica do que com a produtividade primária fitoplanctônica.

No caso dos reservatórios, além desses fatores, a quantidade de vegetação inundada, quando da sua formação, é de fundamental importância na determinação da concentração e da distribuição do fosfato na coluna d'água. Os limites de concentração de fosfato para cada estado trófico variam com cada autor. Um exemplo de classificação do estado trófico relacionado à concentração de P-total é a mostrada na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Estado Trófico de Lagos Tropicais.

Estado Trófico	Lagos Tropicais (P-total em $\mu\text{g/L}$)
Ultra-oligotrófico	< 10
Oligotrófico	> 10
Mesotrófico	> 20
Eutrófico	> 50
Hipertrófico	> 200

Fonte: Esteves, 1988.

BRANCO (1986) cita que a presença de fósforo nos mananciais, em concentrações superiores a 0,01 mg/L (=10 µg/L), determina proliferações de algas. Por outro lado, TUNDISI e TUNDISI (1992) *apud* BEYRUTH (1996), mencionam que valores entre 0,005 e 0,006 mg/L (=5 e 6 µg/L de P) são limítrofes entre o estado de mesotrofia e eutrofia para lagos tropicais. O Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, em sua Resolução 357/05 que dispõe sobre a classificação dos corpos d’água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, define o limite máximo de 0,030mg/L (=30 µg/L) de fósforo em ambientes lênticos e 0,1 mg/L (=100 µg/L) em ambientes lóticos.

A Tabela 4.5 mostra os valores médios de fósforo para os pontos situados dentro do reservatório de São Simão. De acordo com a resolução do CONAMA, alguns pontos excederam o limite definido. Já para BRANCO (1986) e TUNDISI E TUNDISI (1992), estes valores de fósforo indicam um reservatório eutrofizado.

Tabela 4.5 – Valores Médios de Fósforo nos Pontos do Reservatório de São Simão.

Pontos no Reservatório	Valores Médios de Fósforo (µg/L)
Barragem – C02	13,0
Eixo Central com braço Rio Alegre – C05	17,1
Eixo Central com braço Rio S. Francisco – C07	18,4
Ponte Rio dos Bois – C08	35,5
Balsa braço Tijuco/Prata – C09	32,5
Balsa Cach. Dourada (Rio Paranaíba) – C13	21,9

Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

Para a concentração média de fósforo nos tributários, mostrada na Tabela 4.6, observa-se que no tributário P04 - Rio Preto o valor limite estabelecido pelo CONAMA foi ultrapassado. Os tributários P05 - Rio São Francisco, P15 - Rio dos Patos, P11 - Rio Meia Ponte e P02 - Ribeirão Mateira também apresentaram valores altos, próximos ao limite.

Tabela 4.6 – Valores Médios de Fósforo nos Tributários do Reservatório de São Simão

Tributários	Valores Médios de Fósforo (µg/L)
Rio Paranaíba (Jusante) – P0	19,2
Rib. Mateira – P02	85,0
Rio Preto – P04	112,0
Rio São Francisco – P05	90,9
Rio Meia Ponte – P11	86,8
Rio dos Patos – P15	89,2
Rio da Prata – P16	59,3
Rio Tijuco – P17	48,6

Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

4.4. Fator Limitante da Eutrofização em São Simão

A Tabela 4.7 mostra a composição média das plantas de água doce. Em geral, nitrogênio e fósforo (respectivamente, 0,7% e 0,09%) são freqüentemente os dois elementos inicialmente utilizados quando a planta realiza a fotossíntese. Segundo WETZEL (2001), dentre os principais componentes nutricionais e estruturais da biota – carbono, nitrogênio, fósforo, oxigênio e enxofre - o fósforo é o menos abundante, e aquele que comumente limita a produtividade biológica dos sistemas aquáticos.

Tabela 4.7 – Composição Média das Plantas de Água Doce.

Elemento	Conteúdo na planta (%)
Oxigênio	80,5
Hidrogênio	9,7
Carbono	6,5
Sílica	1,3
Nitrogênio	0,7
Cálcio	0,4
Potássio	0,3
Fósforo	0,09
Magnésio	0,07
Enxofre	0,06
Cloro	0,06
Sódio	0,04
Ferro	0,02
Boro	0,001
Manganês	0,0007
Zinco	0,0003
Cobre	0,0001
Molibdênio	0,00005
Cobalto	0,000002

Fonte: Adaptado de UNEP (2001).

Razões de suprimento de Ntotal/Ptotal (nitrogênio total/fósforo total) são tipicamente altas em bacias hidrográficas bem drenadas e despoluídas, localizadas em médias e altas latitudes. Estas razões de suprimento estão bem acima da razão de demanda do protoplasma do fitoplâncton, conforme é mostrado na Tabela 4.8, sugerindo ser o P (fósforo) o nutriente mais comumente limitante no crescimento das algas (MANSOR, 2005).

Tabela 4.8 - Razões Médias Molares e Mássicas de Suprimento (S) de N_{total}/P_{total} a partir de Fontes Potencias de Nutrientes para as Águas Superficiais e Razão Média de Demanda (D) do Protoplasma de Organismos.

Fonte	N_{total}/P_{total} (molar)	N_{total}/P_{total} (mássica)	Tipo de razão
Escoamento superficial de terrenos não fertilizados	547	247	S
Exportação por solos fertilizados (moderado)	166	75	S
Exportação por áreas florestadas	157	71	S
Exportação por áreas rurais e culturas	135	61	S
Exportação por solos férteis	74	33	S
Floresta tropical	52	23	S
Exportação a partir de bacias agrícolas	44	20	S
Macrófitas/culturas	24	11	D
Algas não deficientes em P	22	10	D
Fitoplâncton (razão de Redfield)	16	7	D
Fertilizante (média)	17	8	S
Pasto e escoamento superficial de área urbana	10	4	S

Fonte: Mansor (2005).

Apesar da Tabela 4.8 não contemplar intervalos, existe uma considerável variação na razão ótima de demanda de N_{total}/P_{total} determinada em laboratório, tanto entre espécies como para uma única espécie. Conseqüentemente, assume-se que uma razão de suprimento molar maior que 16/1 (ou uma razão mássica maior que 7/1) reflete limitação por fósforo, e uma razão molar menor que 10/1 reflete limitação por nitrogênio. Valores intermediários indicam um crescimento aproximadamente balanceado. Uma razão N_{total}/P_{total} apropriada seria baseada na quantidade disponível de nutrientes e não nas quantidades totais de nitrogênio e fósforo, que incluem as pequenas frações disponíveis. Ainda assim, P_{total} é a medida que melhor prediz a biomassa (clorofila-a) produzida em longo prazo. Presume-se que isto se deve ao fato de P_{total} melhor refletir a quantidade de nutriente que se torna disponível na decomposição (KALFF, 2002).

Como foi visto na discussão dos dados obtidos nas coletas, existem evidências de que o fósforo é o fator limitante no reservatório de São Simão, corroborando com o descrito acima.

4.5. Parâmetros Físico-Químicos

Segundo BATISTA e NETO (1992) para a determinação de áreas eutrofizadas dentro de um corpo d'água é necessário adotar alguns parâmetros de análise físico-química, que auxiliam na percepção do grau de poluição hídrica do corpo d'água em questão. Para avaliar a eutrofização nos rios e reservatório de São Simão foram adotados os seguintes parâmetros: turbidez, temperatura da água, nitratos, pH, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica. A Tabela 4.9 apresenta os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 para alguns destes parâmetros.

Tabela 4.9 – Limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05 para Águas Classe 2.

Parâmetros	Unidades	Limites
pH in natura	-	6,0 - 9,0
OD	mg/L O ₂	> 5,00
Clorofila-a	ug/L	30
Densidade de cianobactérias	cel/mL mm ³ /L	50000 5
Nitrato	mg/L N	10
Turbidez	NTU	100

Fonte: Adaptado de CONAMA, 2005.

Turbidez – BRANCO e ROCHA (1977) definem turbidez da água como sendo o grau de redução que a luz sofre ao atravessá-la, por efeito da presença da matéria em suspensão, seja orgânica ou inorgânica. A Resolução CONAMA 357/05 recomenda que a turbidez seja < 100 NTU.

A Figura 4.26 mostra a variação da turbidez no reservatório de São Simão, que só começou a ser medida a partir de outubro de 2002. Nota-se que em janeiro de 2003, o ponto C9 - Balsa braço Tijuco/Prata apresentou valor de turbidez que ultrapassou o limite do CONAMA; neste mesmo ponto foram detectadas altas concentrações de cianobactérias. Já os outros pontos ficaram abaixo do limite estabelecido.

Na Figura 4.27 é apresentada a variação da turbidez nos tributários, que também só começou a ser medida a partir de outubro de 2002. Outra observação a ser feita é que em outubro de 2003 não foram feitas coletas nos tributários. Nota-se que em janeiro de 2003 e em fevereiro de 2004, quase todos os pontos apresentaram valor de turbidez acima do limite CONAMA; neste período os tributários apresentaram altas concentrações de fósforo total e nitrato em suas águas.

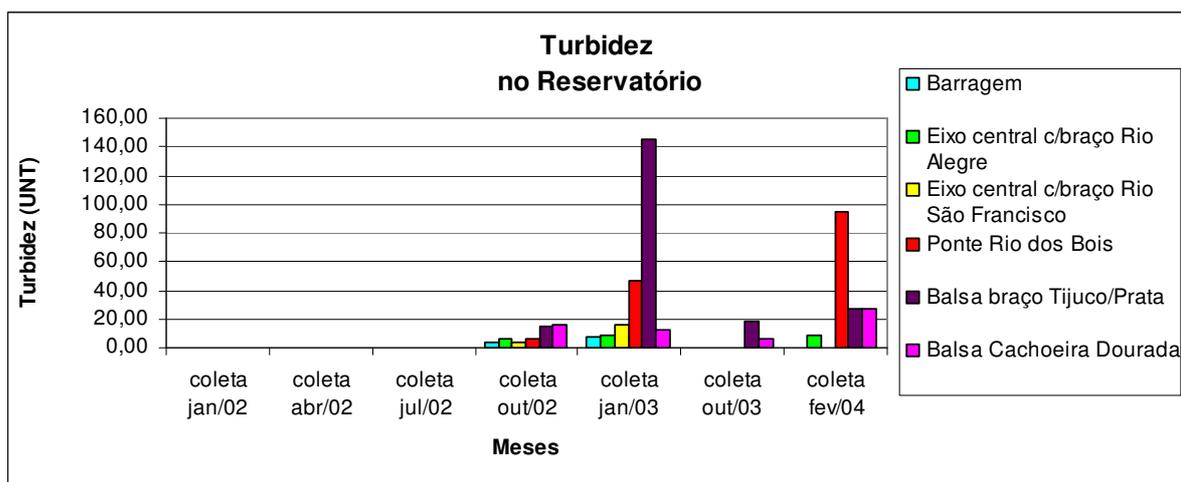


Figura 4.26 – Turbidez no Reservatório de São Simão.
 Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

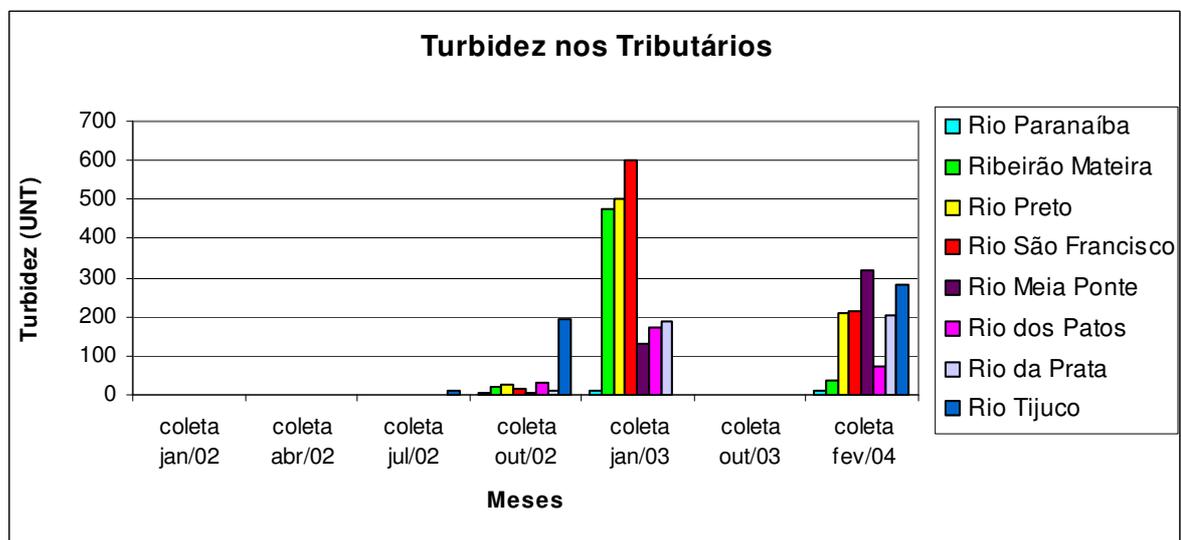


Figura 4.27 – Turbidez nos Tributários.
 Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

Temperatura da Água - O conhecimento da temperatura no corpo d'água é particularmente importante por quatro razões (CUNHA *et al.*, 2003 *apud* RUAS, 2006): (i) as descargas de efluentes de diferentes temperaturas podem causar efeitos negativos no ecossistema aquático; (ii) a temperatura influencia as reações químicas, biológicas e físicas; (iii) seu valor afeta o equilíbrio de íons; (iv) a variação da temperatura afeta a densidade da água e, como consequência, altera os processos de transporte e a solubilidade de gases dissolvidos e, ainda, a taxa metabólica de todos os seres vivos.

Quando a temperatura superficial do corpo hídrico sofre constantes variações, esta se torna imprópria para abastecimento, caracterizando-se então, a poluição. A temperatura da água é a medida da intensidade de calor originada da transferência de calor por radiação, condução e convecção da atmosfera e do solo, além da contribuição

de águas de resfriamento e de despejos industriais. A temperatura da água também segue as oscilações naturais do clima (variação segundo a sazonalidade) e depende do horário de exposição dos raios solares, apresentando, assim, variações sazonais e diurnas, bem como estratificação vertical (RUAS, 2006).

A Figura 4.28 mostra as temperaturas medidas nos pontos do reservatório. Os valores variaram de 23 °C a 33 °C no ponto C9 - Balsa Braço Tijuco/Prata e de 23,6 °C a 32,8 °C no ponto C5 – Eixo Central c/Braço Rio Alegre, apresentando maiores amplitudes térmicas. E maiores amplitudes podem informar pontos mais eutrofizados. Já nos tributários as temperaturas apresentaram uma variação menor, entre 21 °C e 29°C (Figura 4.29).

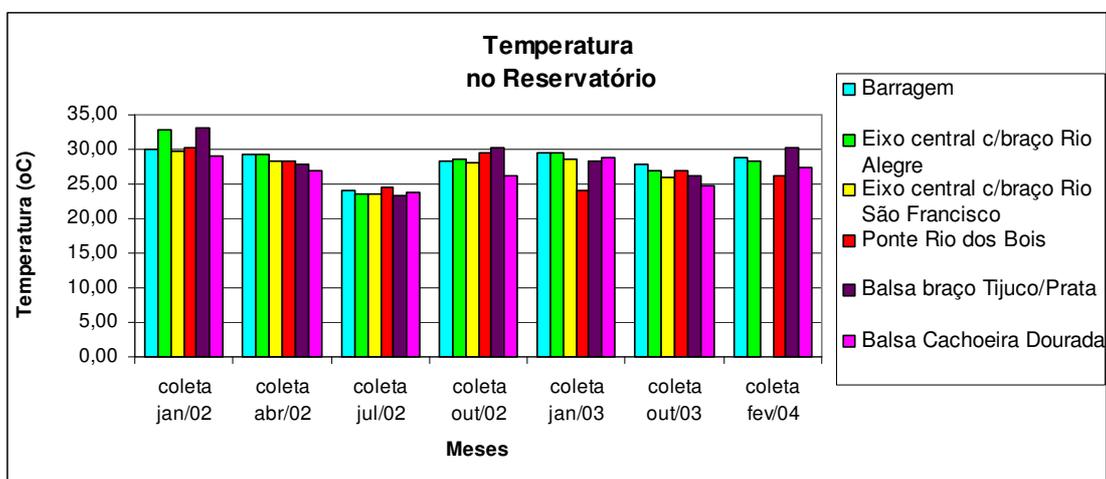


Figura 4.28 – Temperatura no Reservatório.

Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

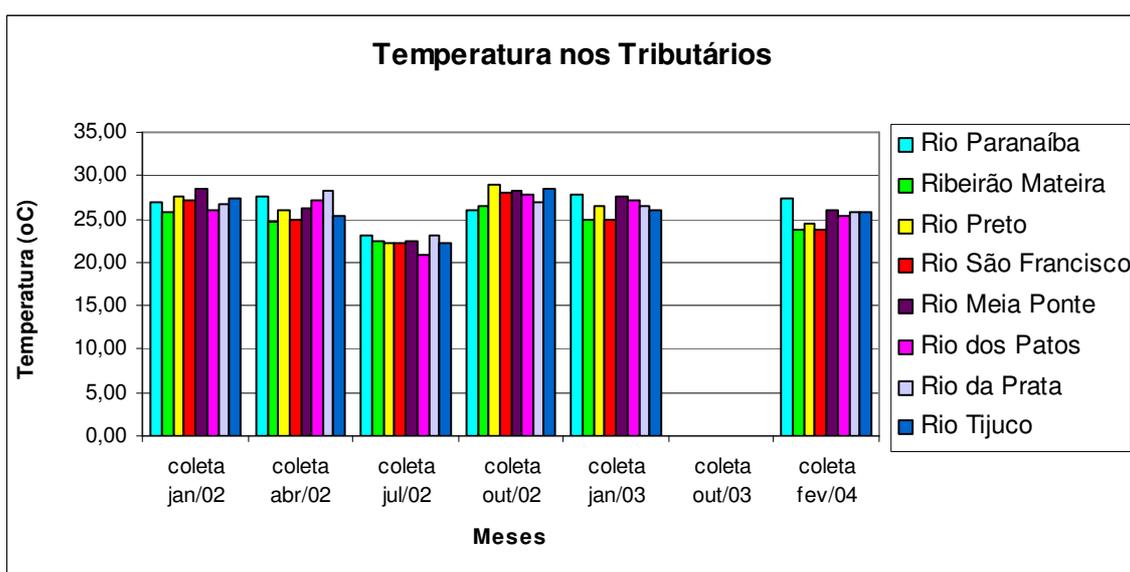


Figura 4.29 – Temperatura nos Tributários.

Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

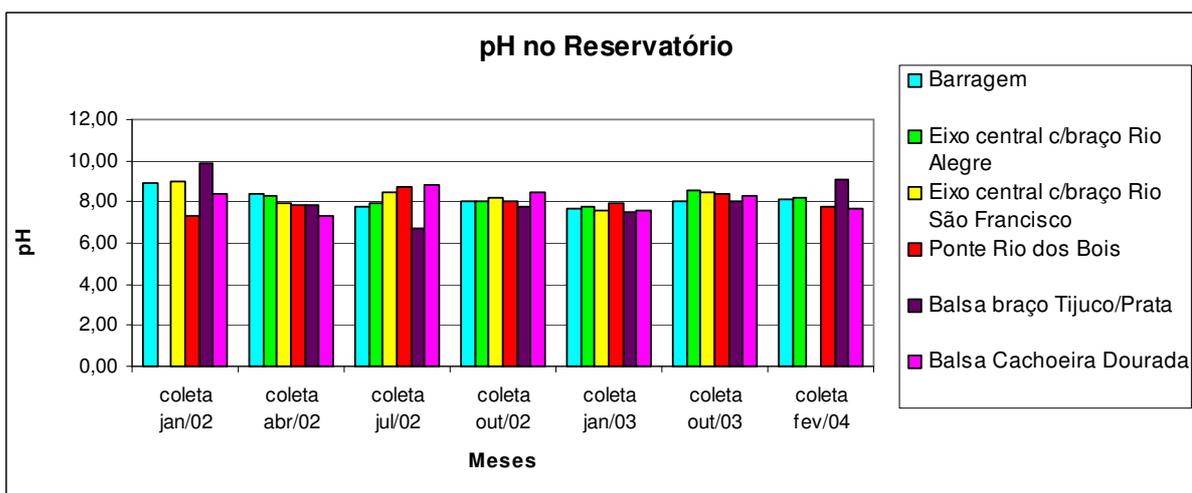


Figura 4.30 – pH no Reservatório.
 Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

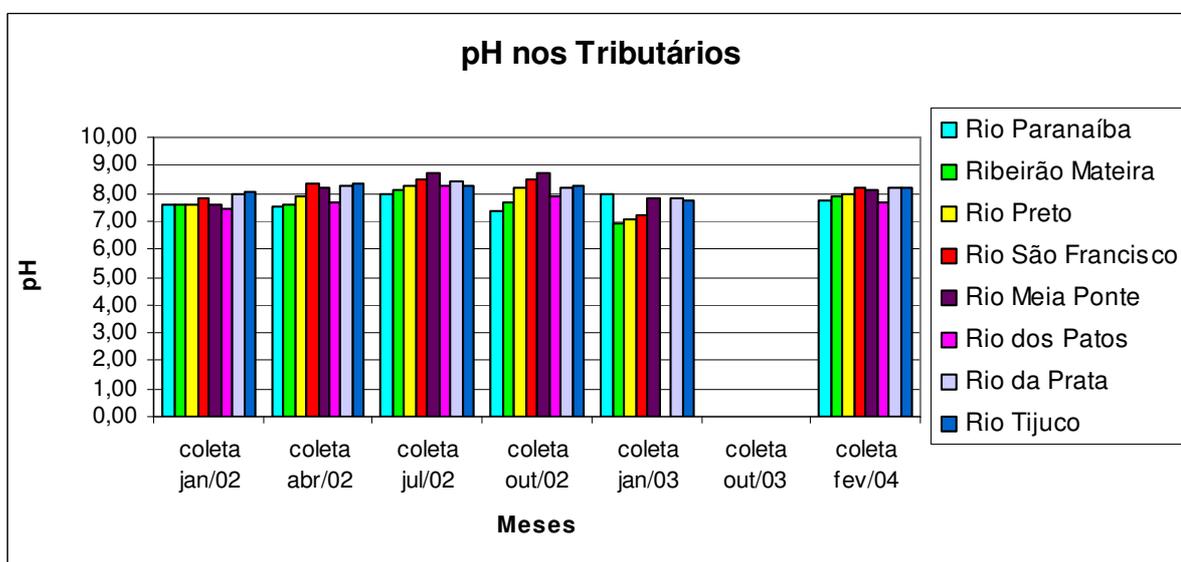


Figura 4.31 – pH nos Tributários.
 Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

Oxigênio dissolvido (OD) - O oxigênio dissolvido é um parâmetro relevante para o estudo de eutrofização e poluição. Como o processo de eutrofização caracteriza-se pelo aumento de nutrientes, há uma tendência de aumento no número de indivíduos das populações ecossistêmicas. Esse aumento representa uma disputa pelos nutrientes e pelo oxigênio dissolvido na água. Quanto maior o número de indivíduos respirando, menor a concentração de OD, ocasionando um aumento considerável no índice de mortalidade. Os organismos que morrem, sofrem a ação dos decompositores, que vão liberar novamente os nutrientes consumidos e os incorporados à biomassa. O Water Quality Criteria recomenda uma concentração superior a 4 mg/L, porém nas áreas mais eutrofizadas do lago os índices são inferiores aos considerados razoáveis (BATISTA e

NETO, 1992). A Resolução CONAMA 357/05 determina que o OD se mantenha em níveis acima de 5 mg/L em águas de classe 2. Porém o OD está relacionado a outros fatores, como a temperatura da água por exemplo, podendo seu valor sofrer grandes variações ao longo do dia para as mesmas condições de trofia no corpo d'água. Assim, é necessário cuidado ao lidar com parâmetros importantes e que possuem particularidades que não podem ser menosprezadas.

A Figura 4.32 mostra os valores de OD no reservatório. Em janeiro de 2002 o OD atingiu seu maior valor no ponto C9 – Balsa Braço Tijuco/Prata, data esta em que foi observado um *bloom* de algas cianofíceas, responsáveis pela alta concentração deste gás. Com relação aos tributários (Figura 4.33), o Rio Tijuco apresentou os valores mais baixos de OD, chegando a ficar, em algumas datas, abaixo de 5 mg/L.

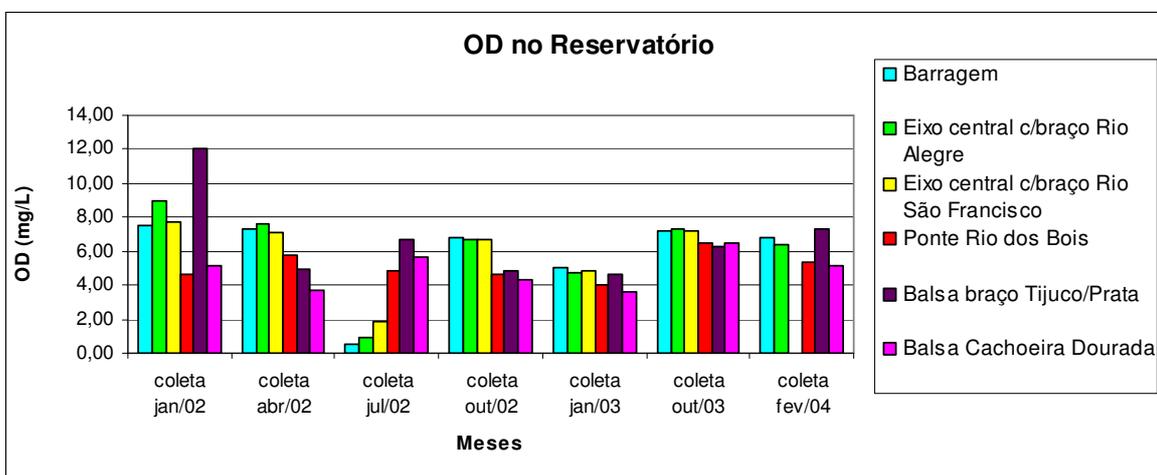


Figura 4.32 – OD no Reservatório.
 Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

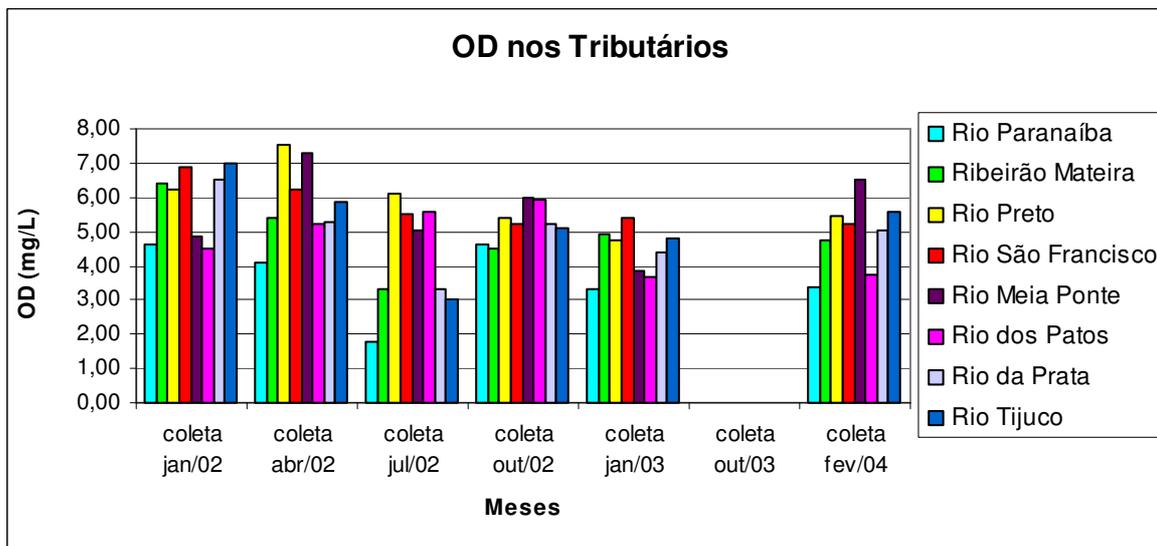


Figura 4.33 – OD nos Tributários.
 Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

Condutividade Elétrica - é usada como medida indireta do teor de sais nas águas, pois a condução da energia depende da presença de íons em solução. Este parâmetro apresenta valores típicos para cada bacia de drenagem devido, principalmente, às características do solo da mesma (RUAS, 2006). Mas os valores para rios brasileiros variam na faixa de 10 a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, de acordo com VON SPERLING (1999).

As Figuras 4.34 e 4.35 mostram a condutividade elétrica nos pontos do reservatório e tributários, respectivamente. Nota-se que os tributários P11 – Rio Meia Ponte e P15 - Rio dos Patos apresentaram valores mais altos que os demais em todas as coletas. Estes valores podem ter explicação devido à maior presença de sais dissolúveis nestes tributários.

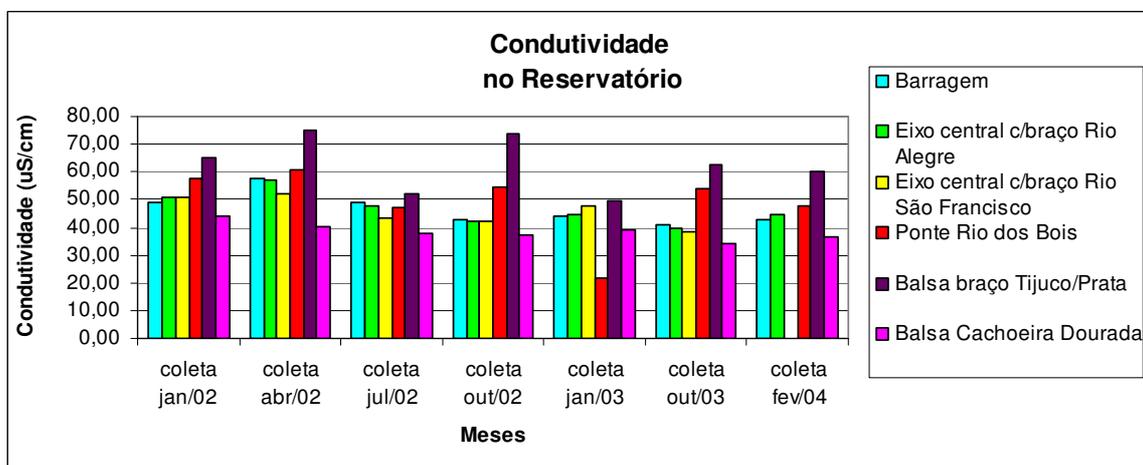


Figura 4.34 – Condutividade no Reservatório.
Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

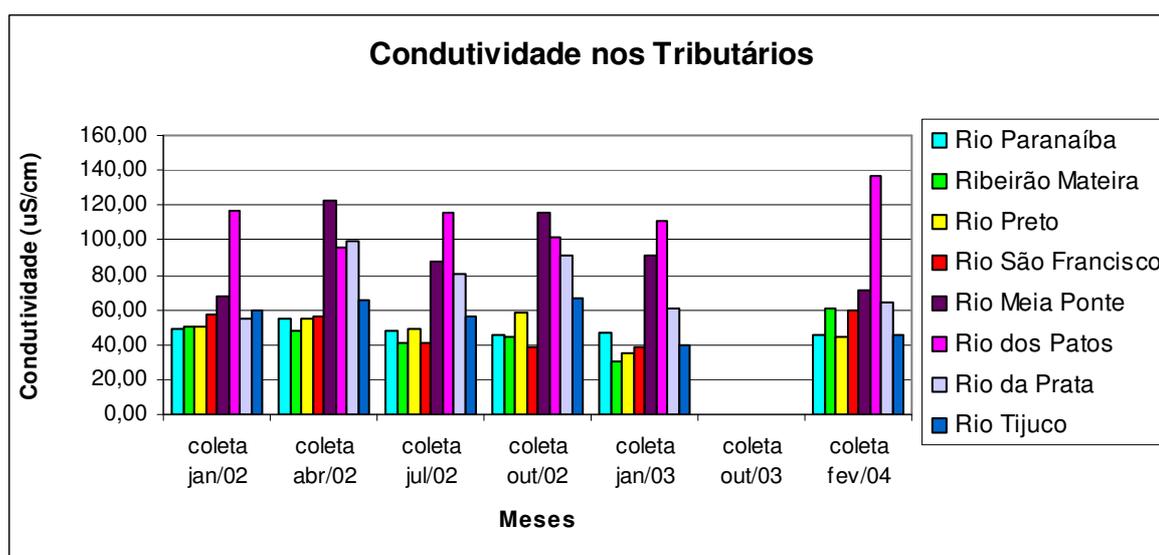


Figura 4.35 – Condutividade nos Tributários.
Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

5. ANÁLISE DO USO DO SOLO DE SUB-BACIAS CONTRIBUENTES

Em limnologia, os sistemas de informação geográfica (SIG) têm sido empregados no monitoramento da poluição de aquíferos causada pelo uso de fertilizantes (HALLIDAY e WOLFE, 1991) e pelos efeitos da agricultura na qualidade de água, para formulação de modelos preditivos sobre a qualidade de água e para estimar as emissões de gases de efeito estufa de reservatórios hidrelétricos (SANTOS *et al.*, 2009).

No caso de São Simão, o uso dessa metodologia SIG está voltado para a avaliação do impacto da atividade agropastoril na qualidade de água do reservatório de São Simão.

As áreas para cada uma das principais sub-bacias estão representadas na Tabela 5.1. O somatório das diferentes sub-bacias de captação do reservatório de São Simão foi estimado em 67.224 km² e pode ser subdividida em doze sub-bacias principais. As duas maiores sub-bacias são formadas, respectivamente, pelos rios dos Bois (34.762 km²) e Meia Ponte (12.387 km²), ambas no estado de Goiás. As maiores sub-bacias do lado mineiro pertencem, respectivamente, aos rios Tijuco (7.348 km²) e Prata (5.970 km²).

Tabela 5.1 – Principais Sub-Bacias do Reservatório de São Simão.

Nome	Área (Km ²)
1 Rib. Mateira	196
2 Rib. do Rosa	238
3 Rib. Campanha	248
4 Rib. São Jerônimo	701
5 Rio Alegre	929
6 Rib. dos Patos	986
7 Rio São Francisco	1.329
8 Rio Preto	2.130
9 Rio da Prata	5.970
10 Rio Tijuco	7.348
11 Rio Meia Ponte	12.387
12 Rio dos Bois	34.762
Total	67.224

Fonte: Pinto-Coelho, 2004.

Foram quantificadas as principais atividades agropastoris existentes nas sub-bacias do reservatório. Essas atividades foram divididas nos seguintes itens: (a) população humana; (b) atividades agrícolas; (c) pecuária. As atividades agrícolas foram

divididas em lavoura permanente e lavoura temporária e a atividade de pecuária restringiu-se à pecuária bovina.

(a) População humana - A quantificação das principais atividades humanas na bacia do reservatório de São Simão ilustra uma grande heterogeneidade espacial tanto do lado mineiro quanto do lado goiano (Figuras 5.1 e 5.2). Isto provavelmente é reflexo das diferenças regionais em termos de densidade populacional. Mais de dois milhões de pessoas tem como seus domicílios alguns dos tributários formadores da bacia de captação do reservatório de São Simão (Tabela 5.2). Do lago goiano, há uma forte ocupação humana no nordeste da bacia do reservatório de São Simão, principalmente nas sub-bacias dos rios Meia Ponte e dos Bois.

Em Minas Gerais, a maior população está concentrada no rio Tijuco, especialmente nos municípios à montante como Uberlândia.

Tabela 5.2 – Número de Núcleos Urbanos e População e suas estimativas de Fósforo e Nitrogênio em algumas das Sub-Bacias do Reservatório de São Simão (GO/MG).

Bacia	Número de Núcleos Urbanos	População	Fósforo (kg/ano)	Nitrogênio (kg/ano)
Rio Meia Ponte (GO)	22	1.673.515	1.527.919	4.886.664
Rio dos Bois (GO)	36	397.464	362.885	1.160.595
Rio Tijuco (MG)	07	114.146	104.215	333.306
Rio Preto (GO)	01	30.822	28.141	90.000
Rio Bom Jesus (GO)	01	14.746	13.463	43.058
Córr. Sertãozinho (GO)	01	13.140	11.997	38.369
Córr. Invernada (MG)	01	11.394	10.403	33.270
Rib. Mateira (GO)	01	7.229	6.600	21.109
Córr. Carvalho (GO)	01	2.898	2.646	8.462
Rib. São Jerônimo (MG)	01	2.452	2.239	7.160
Entorno	05	21.803	19.906	63.665
Total	77	2.289.609	2.090.413	6.685.658

Fonte: Pinto-Coelho, 2004.

Na Tabela 5.2 observa-se que a bacia do Rio Meia Ponte apresenta a maior quantidade de nutrientes provenientes de esgoto doméstico, seguida do Rio dos Bois. Com menor quantidade contribuem os rios Tijuco, Preto e o Entorno. Em relação ao entorno, nota-se que pode assumir um potencial maior de poluição devido à menor possibilidade de haver a “autodepuração do rio” seja pela captura dos nutrientes pelo sedimento ou devido à incorporação pela biota.

O reservatório de São Simão possui uma extensa bacia de captação com 77 núcleos urbanos que despejam anualmente mais de 2.000 toneladas de fósforo e 6.000 toneladas de nitrogênio provenientes de esgotos domésticos. A principal sub-bacia contribuinte é a do Rio Meia Ponte seguida do Rio dos Bois, ambas em Goiás.

(b) Atividade Agrícola - Após identificar quais tributários mais contribuem com a entrada de N e P no reservatório, objetivou-se também quantificar a importância da agricultura em cada sub-bacia do reservatório. Trata-se em grande parte de uma atividade agrícola altamente mecanizada, com elevado aporte de insumos agrícolas, com rotação de cultivo acentuada e elevado rendimento.

Lavoura Permanente - As maiores densidades de produção de grãos (32 a 40 ton/km²) para a lavoura permanente foram encontradas em pequenos municípios goianos situados ao norte da bacia do rio dos Bois e Meia Ponte: G-14 Adelândia, G-10 Araçú e G-16 Terezópolis de Goiás (Figura 5.3). Em Minas Gerais, as maiores densidades para a lavoura permanente foram encontradas nos municípios M-6 Monte Alegre de Minas, e M-13 Uberlândia, cidades localizadas na sub-bacia do rio Tijuco e M-11 Prata, localizado na sub-bacia do rio da Prata (Figura 5.4).

Lavoura Temporária - Em relação à lavoura temporária, as maiores taxas de produção foram observadas nos municípios goianos da sub-bacia do rio dos Bois, notadamente nos municípios G-43 Jandaia, G-61 Santa Helena de Goiás, G-59 Turvelândia e G-65 Maurilândia, todos com mais de 720 toneladas por km² (Figura 5.5). Do lado mineiro, apenas um município, M-10 Canópolis na sub-bacia do rio Tijuco, exibiu tal densidade de produção (Figura 5.6).

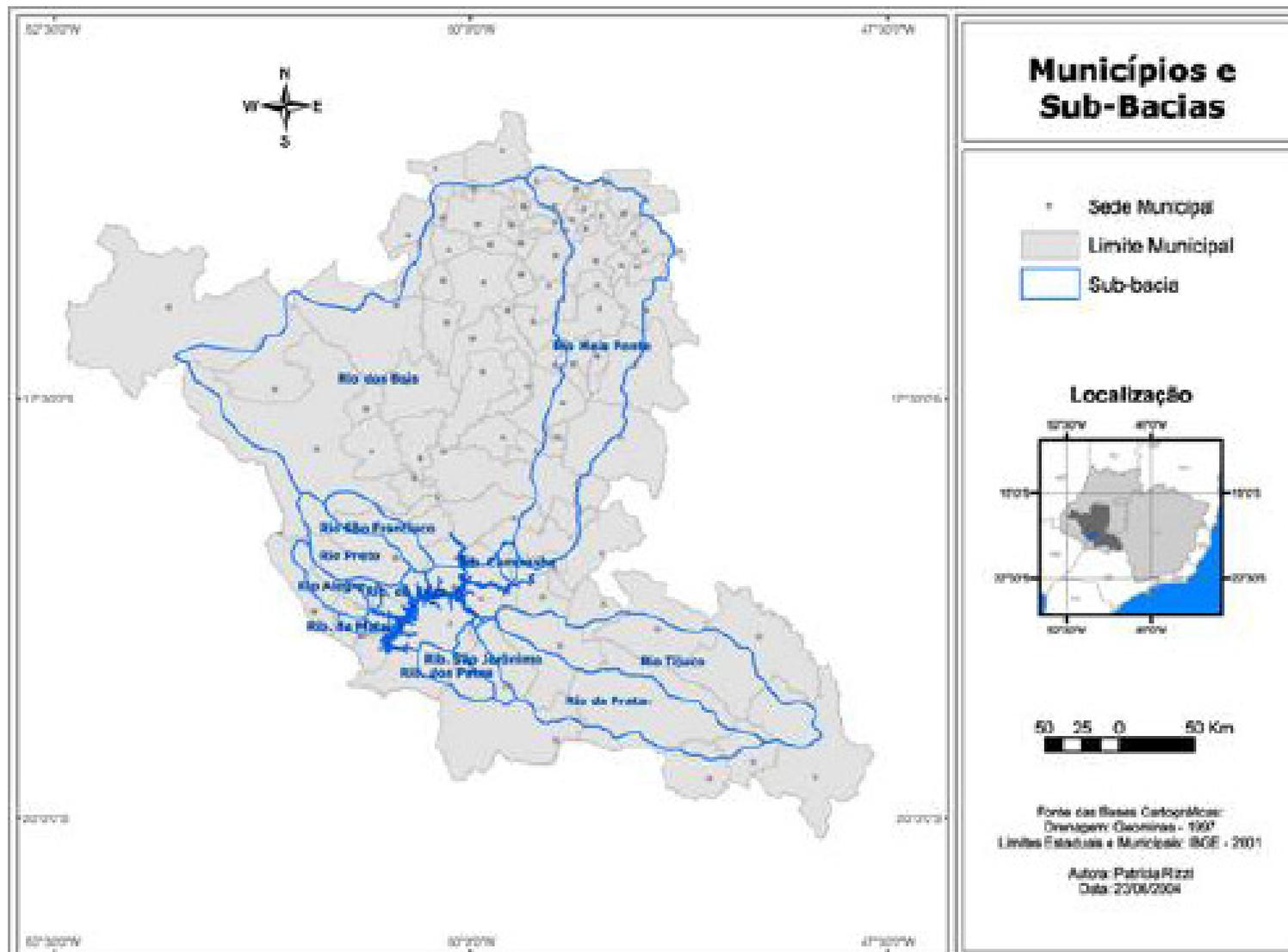


Figura 5.1 – Municípios, Sedes Municipais e delimitação das Sub-Bacias do Reservatório de São Simão (MG/GO). Fonte: Pinto-Coelho, 2004.

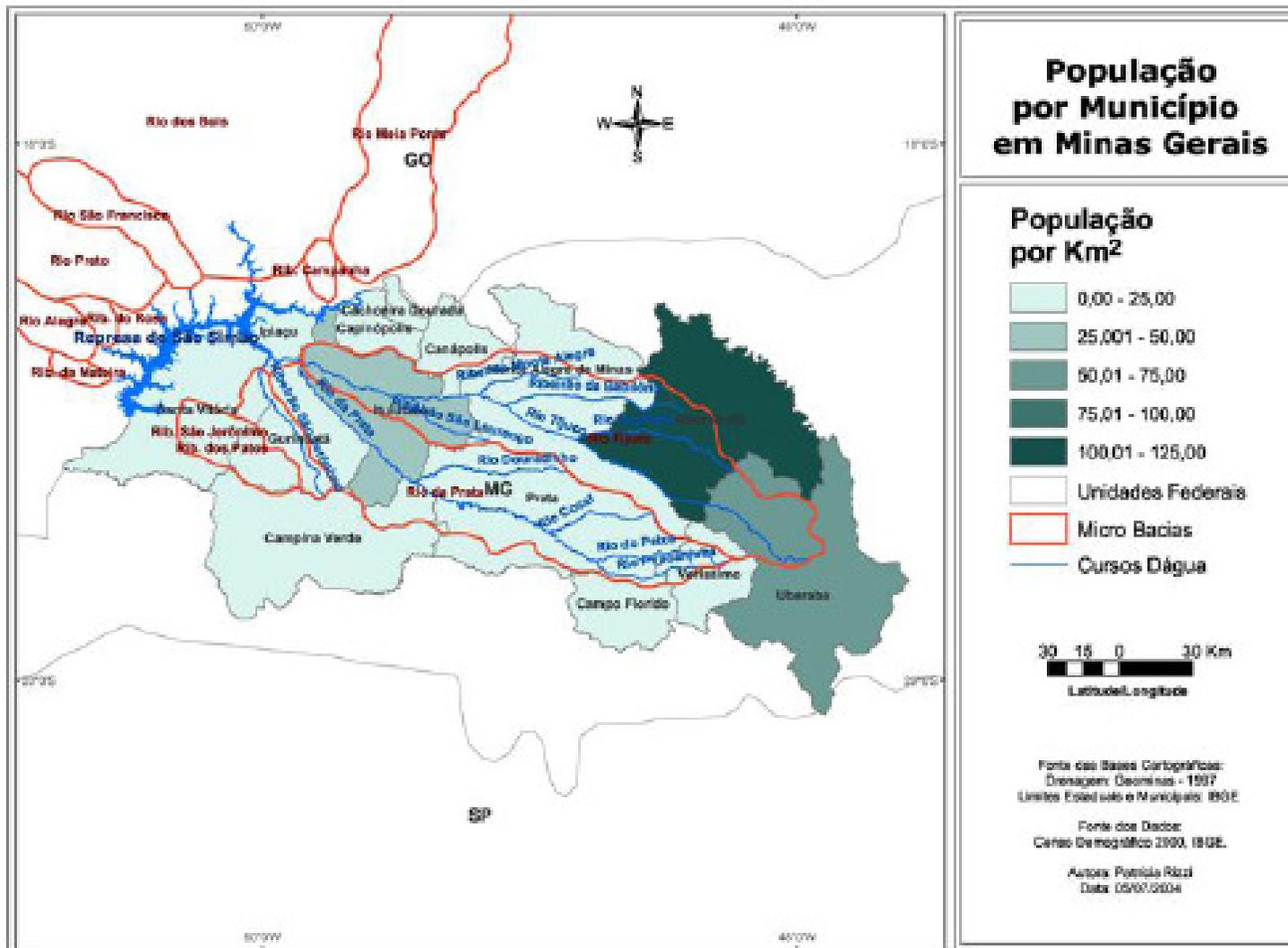


Figura 5.2 – Densidade da População Humana (habitantes/km²) nos Municípios Mineiros pertencentes à Bacia de Drenagem do Reservatório de São Simão. Fonte: Pinto-Coelho, 2004.

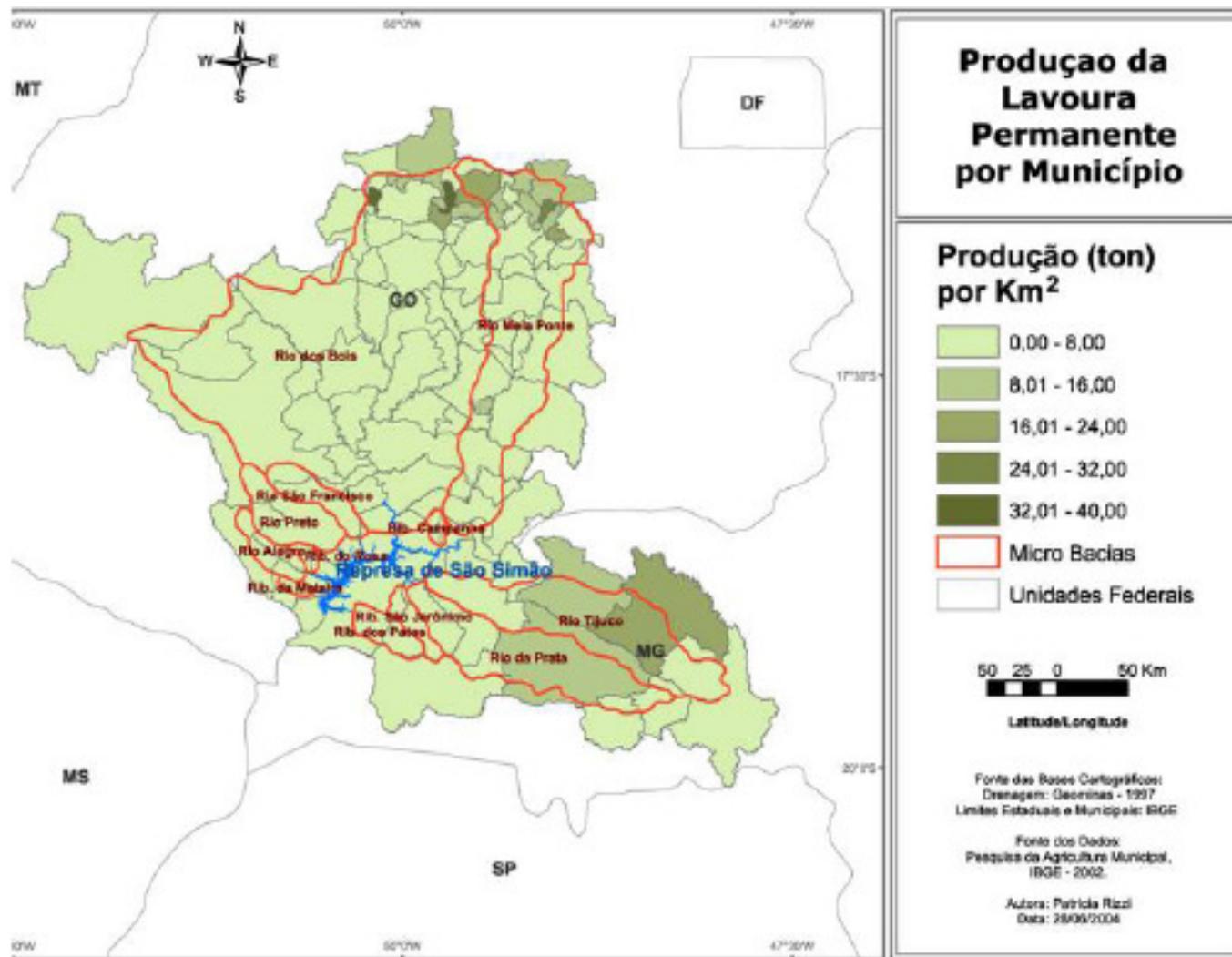


Figura 5.3 – Densidade de Produção (ton/km²) das Lavouras Permanentes nos Municípios que compõem a Bacia de Drenagem do Reservatório de São Simão. Fonte: Pinto-Coelho, 2004.

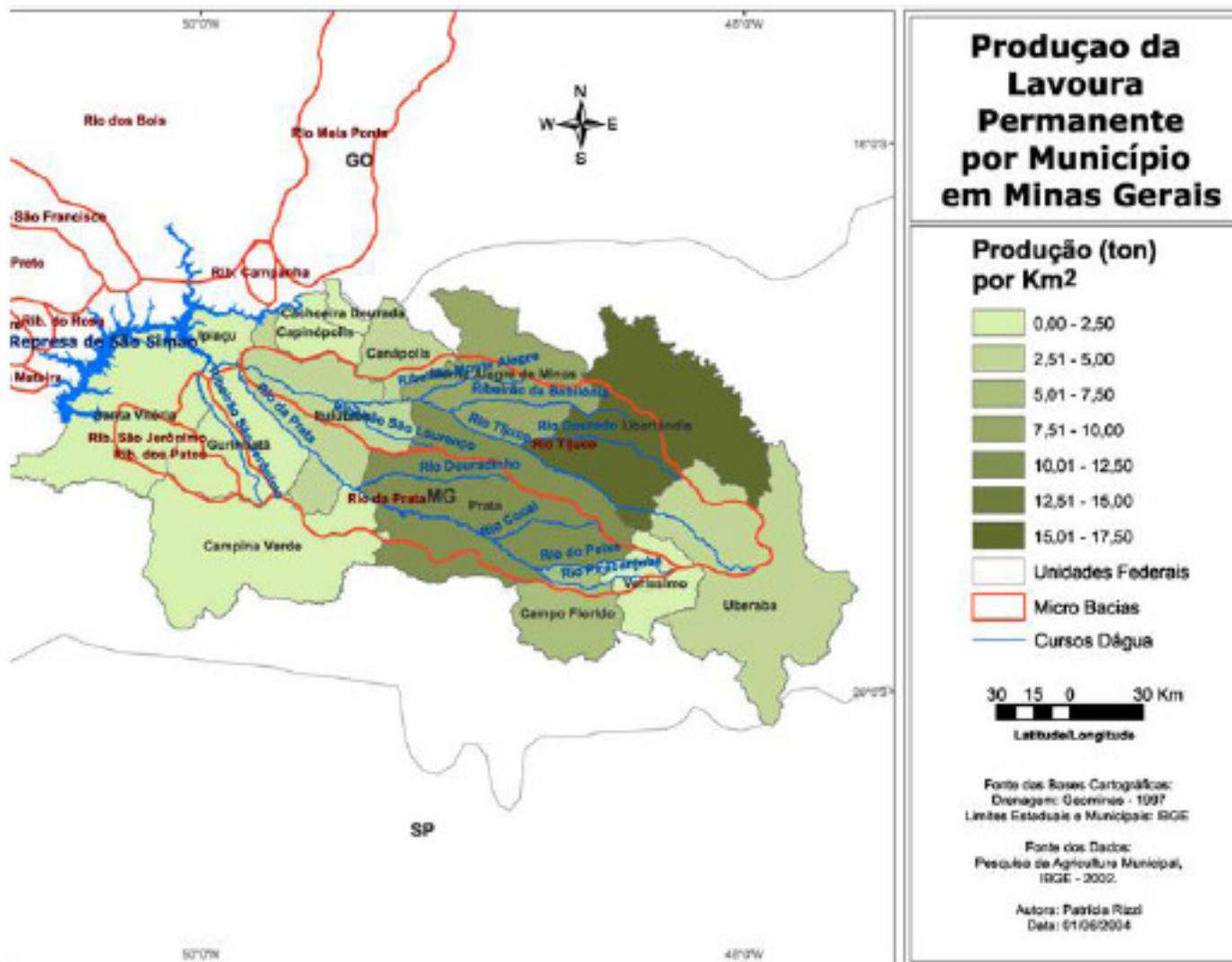


Figura 5.4 – Densidade de Produção (ton/km²) das Lavouras Permanentes nos Municípios Mineiros pertencentes à Bacia de Drenagem do Reservatório de São Simão. Fonte: Pinto-Coelho, 2004.

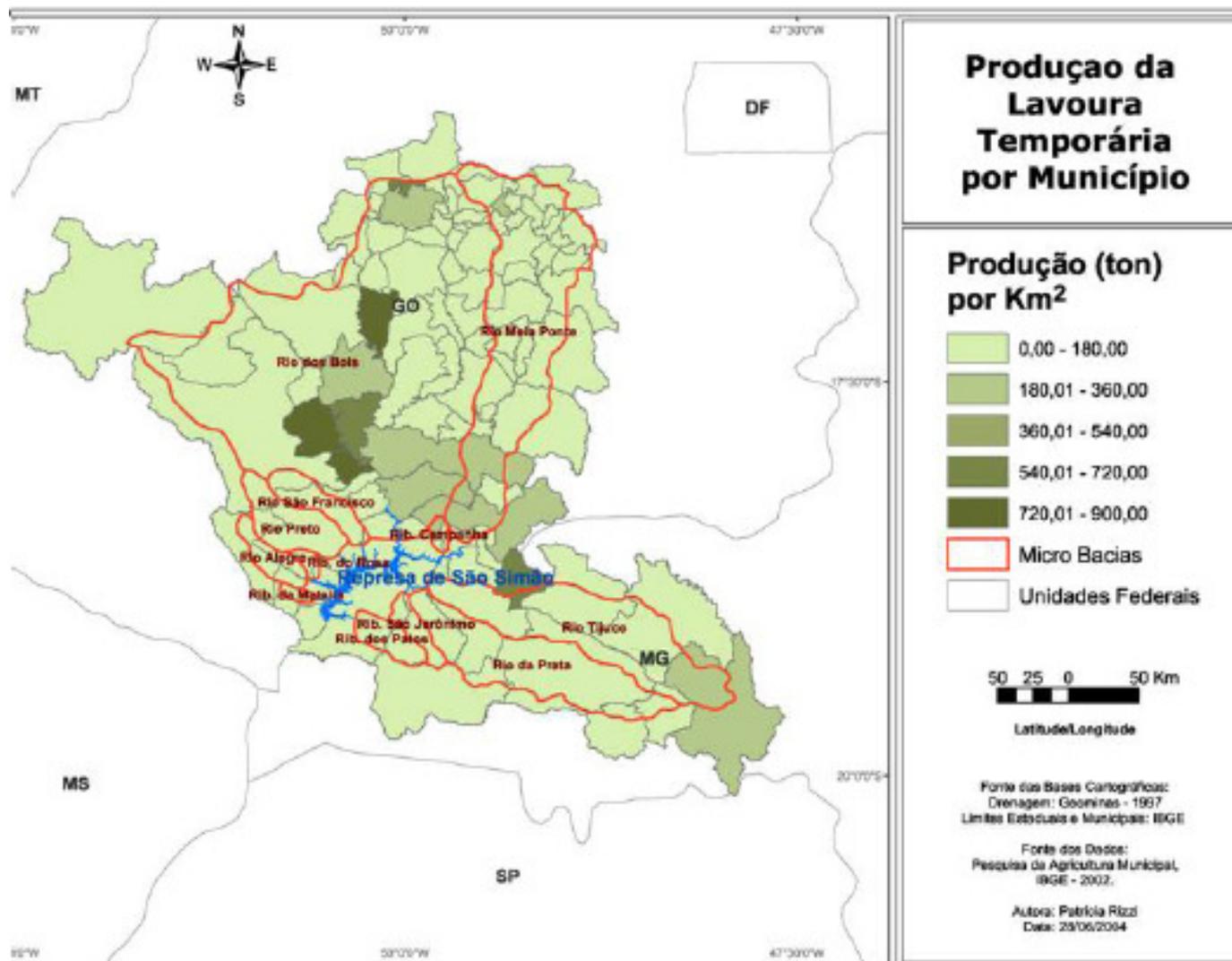


Figura 5.5 – Densidade de Produção (ton/km²) das Lavouras Temporárias nos Municípios que compõem a Bacia de Drenagem do Reservatório de São Simão. Fonte: Pinto-Coelho, 2004.

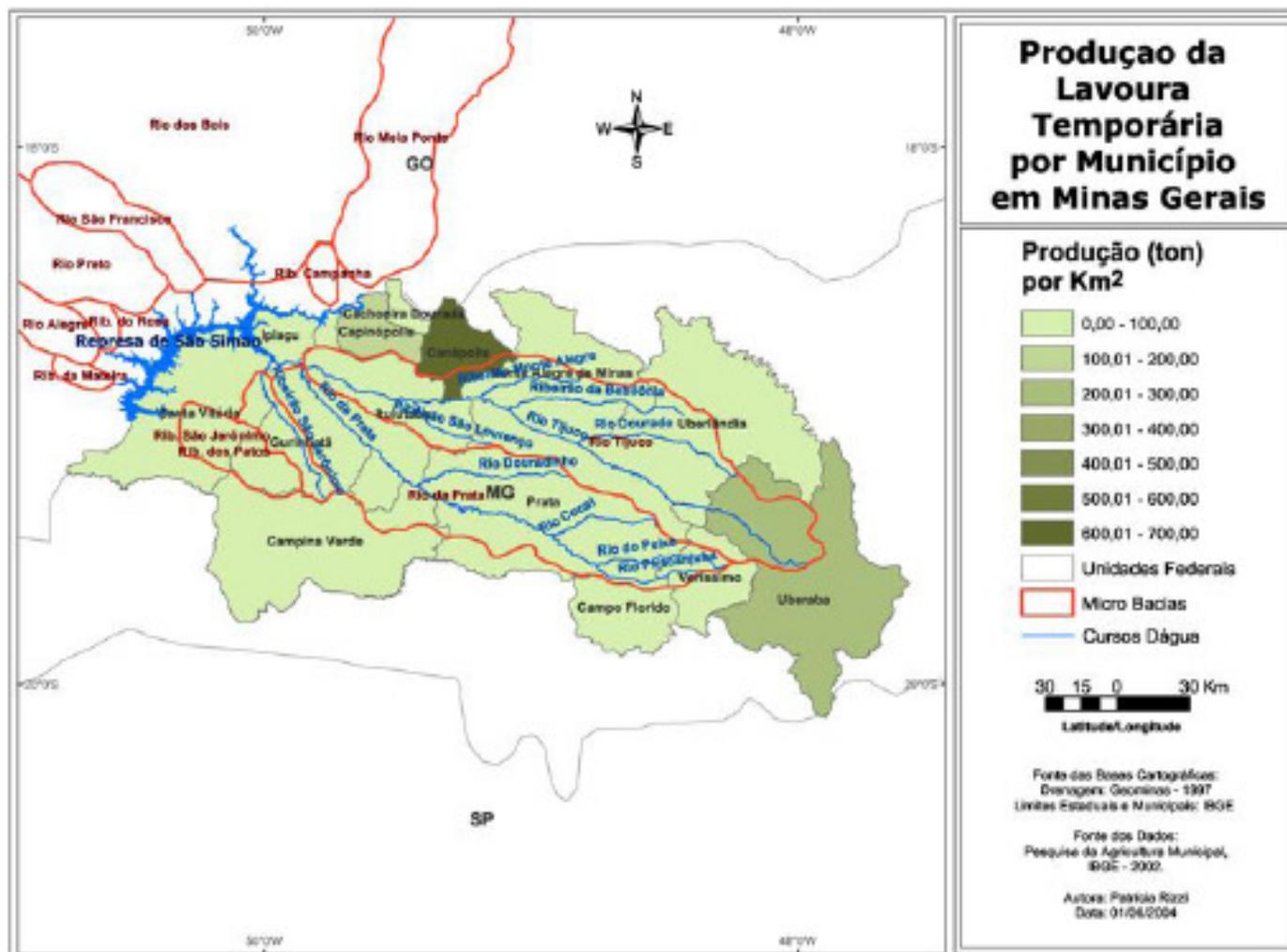


Figura 5.6 – Densidade de Produção (ton/km²) das Lavouras Temporárias nos Municípios Mineiros pertencentes à Bacia de Drenagem do Reservatório de São Simão. Fonte: Pinto-Coelho, 2004.

A Figura 5.7 ilustra a distribuição das concentrações de fósforo total determinadas nos principais tributários bem como no eixo central do reservatório.

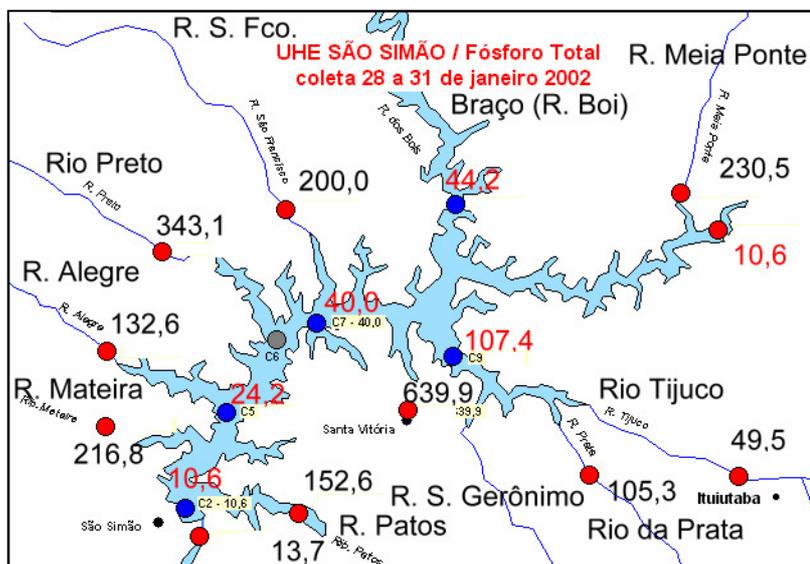


Figura 5.7 - Distribuição das Concentrações de Fósforo Total determinadas nos Principais Tributários bem como no Eixo Central do Reservatório em Janeiro de 2002.
(Fonte: Pinto-Coelho, 2004).

Em janeiro de 2002, todos os tributários goianos tiveram concentrações de P-total maiores do que 100 µg/L P-PO₄. Os tributários mineiros que apresentaram as concentrações mais elevadas de fósforo total foram: rio da Prata, ribeirão dos Patos e córrego dos Bois. A maioria dos municípios da área de drenagem de São Simão localiza-se em Goiás. Os setenta e um municípios goianos situados nas diferentes sub-bacias do reservatório ocupam 81.659 km², o que corresponde a pouco mais do que 24% do estado. Os quatorze municípios presentes nas sub-bacias mineiras ocupam 31.408 km², ou seja, apenas 5% da área de MG. Nas sub-bacias de Goiás, desenvolve-se uma intensa atividade agropastoril. Os cultivos mais importantes da região são: soja, algodão anual, milho, além de diversas forrageiras tais como o sorgo e o milheto. A fruticultura da banana tem também destaque. As pastagens, mais concentradas do lado mineiro, sofrem também consideráveis entradas de adubos e outros insumos agrícolas.

A entrada de nutrientes e os indicadores das atividades agrícolas sugerem as sub-bacias dos rios Meio Ponte, Preto, São Francisco, dos Bois (Goiás), Tijuco e Prata (Minas Gerais) como as mais importantes em termos de entradas difusas de nutrientes, tendo assim uma relevante contribuição na eutrofização do reservatório de São Simão.

(c) **Pecuária** – A pecuária é uma das principais atividades econômicas da região, principalmente do lado mineiro. A gestão das pastagens está provavelmente associada com uma importante carga (difusa) de entrada de nutrientes no reservatório. Os abatedouros são importantes fontes pontuais de nutrientes.

A pecuária mostrou-se concentrada no entorno do reservatório e nas partes medianas e altas das sub-bacias dos rios goianos dos Bois e Meia Ponte. Em Goiás, quase todos os municípios nas sub-bacias dos rios Mateira, Alegre, Preto e São Francisco bem como os municípios do norte da sub-bacia do rio dos Bois e Meia Ponte apresentaram densidades relativamente elevadas para o rebanho bovino (Figura 5.8). Em Minas Gerais, as maiores densidades do rebanho bovino foram encontradas nos municípios M-1 Santa Vitória, M-3 Ituiutaba, M-7 Gurinhatã e M-12 Campina Verde (Figura 5.9).

De acordo com os dados demográficos, os rios goianos Meia Ponte (P11) e dos Bois (P14) e o rio mineiro Tijuco (P17) possuem as maiores populações e, conseqüentemente, as maiores concentrações de nutrientes (fósforo e nitrogênio) advindos de esgotos domésticos.

Com relação à agricultura na região, os indicadores das atividades agrícolas e a entrada de nutrientes sugerem as sub-bacias dos rios Meia Ponte, Preto (P04), São Francisco (P05) e dos Bois, no lado goiano, e as sub-bacias dos rios Tijuco e Prata (P16) no lado mineiro, como as mais importantes em termos de entradas difusas de nutrientes. E também a pecuária mostrou-se concentrada, do lado goiano, nas sub-bacias dos rios dos Bois, Meia Ponte, Mateira (P02), Alegre, Preto e São Francisco. Do lado mineiro, as maiores densidades do rebanho bovino foram encontradas no município de Santa Vitória. Estas afirmações foram confirmadas através das análises dos valores das concentrações dos parâmetros medidos e das análises comparativas referentes ao nível trófico dos corpos d'água.

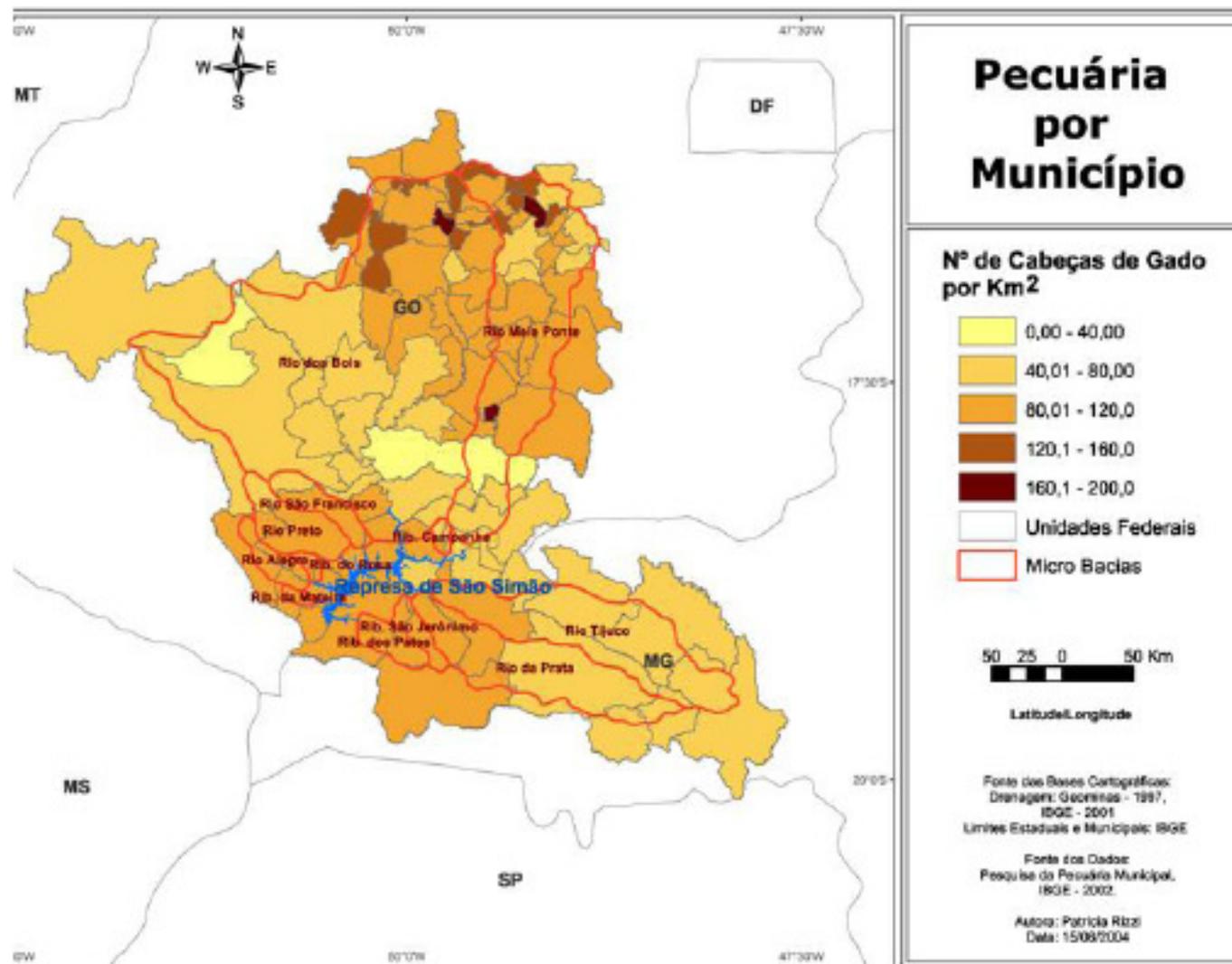


Figura 5.8 – Densidade de Cabeças de Gado (cabeças/km²) nos Municípios que compõem a Bacia de Drenagem do Reservatório de São Simão.
 Fonte: Pinto-Coelho, 2004.

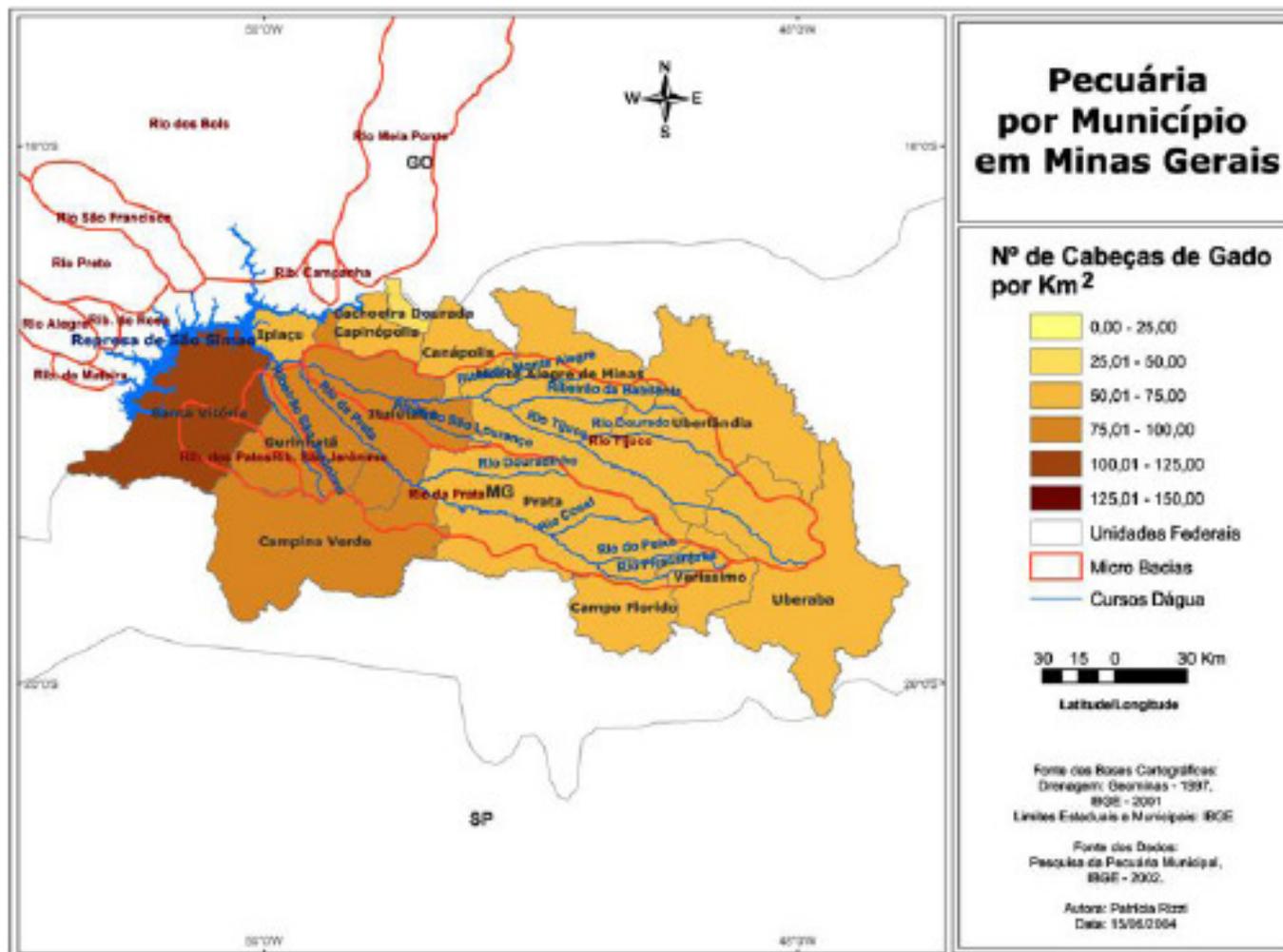


Figura 5.9 – Densidade de Cabeças de Gado (cabeças/km²) nos Municípios Mineiros pertencentes à Bacia de Drenagem do Reservatório de São Simão.
Fonte: Pinto-Coelho, 2004.

6. CONCLUSÕES

O desenvolvimento econômico e social de qualquer país está fundamentado na disponibilidade de água de boa qualidade e na capacidade de conservação e proteção dos recursos hídricos. Somente a ampliação do conhecimento dos principais processos e mecanismos que afetam a qualidade da água poderá dar a fundamentação necessária para a recuperação dos ecossistemas degradados e a proteção àqueles ainda não ameaçados pela deterioração da quantidade e qualidade da água (TUNDISI, 1999).

Dentre os diversos sistemas aquáticos, os reservatórios funcionam, ao interceptar o fluxo de água de um rio, como “coletores de eventos”, gerando informações fundamentais sobre o funcionamento das bacias hidrográficas. São, portanto, importantes centros de convergência das várias atividades desenvolvidas na bacia hidrográfica, inclusive de seus usos e aspectos econômicos e sociais. Essas informações, introduzidas no reservatório (entrada de material em suspensão, nutrientes inorgânicos e orgânicos, poluentes, etc.), interferem na composição química da água e, conseqüentemente, nos processos de organização das comunidades biológicas, implicando em alterações significativas nos mecanismos e processos de funcionamento do ecossistema. Desse modo, a qualidade das águas reflete, em grande parte, as atividades humanas e os resíduos que são lançados ao ar, solo e diretamente na água de drenagem (BICUDO *et al.*, 1999 *apud* DORNFELD, 2002).

Uma das conseqüências geradas pelo aporte contínuo e excessivo de nutrientes (principalmente de origem antrópica) é a eutrofização, que segundo ESTEVES (1988) é uma reação em cadeia de causas e efeitos bem evidentes, cuja característica principal é a quebra da estabilidade do ecossistema.

São vários os efeitos causados pela eutrofização, entre eles a excessiva biomassa de fitoplâncton ou de macrófitas aquáticas na água, gerando doenças de veiculação hídrica, problemas estéticos e reduzindo os usos potenciais do sistema para geração de energia, navegação, recreação e abastecimento (TUNDISI, 2001).

Diante do exposto acima, é de extrema importância o desenvolvimento de uma metodologia para análise e controle da qualidade das águas dos reservatórios hidrelétricos.

No presente estudo foram feitas medições no reservatório de São Simão, assim como em seus afluentes pela equipe do ICB/UFMG. Considerando os dados obtidos, todos os problemas mencionados (aporte de nutrientes, florescimentos de algas, aumento da biomassa de macrófitas) foram detectados.

Foram observados no Reservatório de São Simão sinais típicos de eutrofização em janeiro de 2002. Foi constatada uma entrada de fósforo de natureza alóctone em altas concentrações em quase todos os tributários e formação de um “bloom” de algas. Nota-se que essas altas concentrações foram observadas num mês que se enquadra no período chuvoso, justamente o período em que ocorrem as maiores vazões dos tributários.

Outro fato que auxilia a justificativa de que as principais entradas de nutrientes no reservatório ocorrem no período chuvoso é o decréscimo generalizado nas concentrações de nutrientes da maioria dos tributários em abril de 2002.

As constatações a respeito da eutrofização do reservatório de São Simão continuaram em abril de 2002, pois mesmo com alguma melhoria na qualidade das águas nos tributários e no reservatório, este se mostrou encaixado num processo de crescente trofia já que foram observados a presença do íon amônio em quase todos os pontos limnéticos, decréscimo de oxigênio dissolvido na zona superficial do lago e predominância de valores alcalinos do pH nesta faixa da coluna d'água.

Também a estrutura do fitoplâncton do reservatório de São Simão é indicativa de um reservatório eutrófico, apresentando algas dos grupos clorofíceas e crisofíceas em todos os meses de coletas e um “bloom” das algas criptofíceas e cianobactérias em janeiro de 2002.

Uma consideração importante a ser feita é de que se fossem avaliados os dados obtidos apenas em outubro de 2003, por exemplo, o reservatório se enquadraria como um sistema oligotrófico. Esse tipo de observação pontual demonstra a necessidade de uma abordagem sazonal em limnologia de reservatórios.

Também foram feitas observações a respeito de qual nutriente seria essencial para o crescimento da biomassa algal. Uma forte evidência da associação entre fósforo e cianobactérias refere-se ao fato de que em janeiro de 2002, quando se observou a grande concentração de cianobactérias, a grande maioria dos tributários apresentou altas concentrações de fósforo e concentrações relativamente baixas de nitrogênio. Outro aspecto importante na dinâmica da ciclagem do fósforo nesse ambiente refere-se aos

fatos de que a maioria do fósforo encontra-se sob a forma particular e o súbito decréscimo do fósforo à medida que se avança da zona de transição para o eixo central do reservatório. Tais fatos evidenciam uma afinidade entre a microbiota do lago e este elemento, indicando que a eutrofização de São Simão está ligada ao crescente aporte desse nutriente. Em julho de 2002, a redução generalizada no aporte via tributários e na disponibilidade de fósforo no reservatório coincide com valores de alta transparência da água, mesmo ocorrendo aumento no aporte de nitrogênio inorgânico (amônia) no reservatório. Esses fatos indicam que o fósforo (e não o nitrogênio) é o elemento limitante da produção biológica no reservatório.

Os rios Meia Ponte, dos Bois, Preto, São Francisco, Tijuco e Prata apresentaram concentrações de nutrientes que os classificam em ambientes mesotróficos a eutróficos. E os pontos do reservatório que sofrem influência destes tributários (C07, C08, C09, C13) também apresentaram valores mais altos para estas concentrações, demonstrando que o reservatório de São Simão apresenta um quadro de eutrofização relacionada com a poluição antrópica na região.

Após a constatação do processo de eutrofização no Reservatório de São Simão, foi verificado que a contribuição antrópica foi fundamental neste processo. Através dos esgotos domésticos, os nutrientes (fósforo e nitrogênio) são lançados nos tributários do reservatório de São Simão (Rio Meia Ponte e Rio dos Bois). Mas uma grande carga de nutrientes chega aos tributários através da agricultura, principalmente nos Rios Meia Ponte, dos Bois, Tijuco e Prata, mostrando ser esta atividade uma das principais causas da eutrofização no reservatório.

Os dados limnológicos associados ao sistema de informações geográficas permitiram concluir que a entrada de nutrientes é mais intensa no período chuvoso e a eutrofização do reservatório é causada principalmente pelo aporte de nutrientes oriundos de fontes pontuais localizadas nos rios Tijuco e Prata (MG) e por fontes difusas e pontuais nos rios Meia Ponte e dos Bois (GO).

As verificações do Índice de Estado Trófico e dos Parâmetros Físico-Químicos confirmaram o processo de eutrofização em que se encontra o Reservatório Hidrelétrico de São Simão.

Qualquer plano de manejo e recuperação da qualidade da água do reservatório deve passar, necessariamente, pela adoção de medidas mitigadoras focadas principalmente nos municípios localizados nas sub-bacias que englobam estes tributários, ou seja, para a concepção de um projeto de gestão e recuperação do ambiente, faz-se necessária uma articulação entre as entidades ambientais dos estados de Minas Gerais e Goiás.

A metodologia aplicada neste estudo do reservatório de São Simão mostrou-se uma ferramenta válida para o gerenciamento da qualidade de suas águas e de seus tributários. O diagnóstico da situação é o primeiro passo em direção às medidas que visam a melhoria do estado trófico do reservatório. Desta forma foi possível contribuir com uma metodologia passível de ser também aplicada aos demais reservatórios hidrelétricos do país, sendo útil na busca de uma matriz energética mais limpa e sustentável.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALAOUI MHAMDI, B., AZZOUZI, A., ALAOUI MHAMDI, M., *et al.*, 2007, *Dynamics of the relative nitrogen and phosphorus concentrations in a reservoir situated in a semi-arid zone (Sahela, Morocco)*, *Water Resources Management*, V. 21, N. 6 (Jun), pp. 983-995.
- APHA, AWA, WPCF, 1992, *Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater*, 18 ed. Washington, D.C., American Public Health Association.
- ARAÚJO, L.F.P., 2000, *Reúso com lagoas de estabilização, potencialidades no Ceará*. Fortaleza: SEMACE, p.132.
- ARCIFA, M.S., 1984, *Zooplankton composition of ten reservoirs in Southern Brazil*. *Hydrobiology*, 113: 137-145.
- BANGE, W.H., 2000, *It's not a gas*. *Nature* 408: 301–302.
- BARBOSA, F.A.R, GARCIA, F.C, MARQUES, M.M.G.S. *et al.*, 1998, *Nitrogen and phosphorus balance in a eutrophic reservoir in Minas Gerais: a first approach*. *Rev. Brasil. Biol.*, 58: 233-239.
- BATISTA, G.M.M.; NETO, M.D.A., 1992, *O processo de eutrofização artificial no Lago Paranoá, Brasília, DF*. *Geonomos*, 2(2): 31-39.
- BENNION, H. *et al.*, 2005, *The use of a GIS-based inventory to provide a national assessment of standing waters at risk from eutrophication in Great Britain*. *Science and the Total Environment*, v. 344, pp. 259 – 273.

- BEYRUTH, Z., 1996, *Comunidade Fitoplanctônica da Represa de Guarapiranga: 1991-92. Aspectos Ecológicos, Sanitários e Subsídios para Reabilitação da Qualidade Ambiental*. Tese de D.Sc., USP, São Paulo, Brasil.
- BICUDO, C.E.M., RAMIREZ, J.J.R., TUCCI, A.N.M. *et al.*, 1999, *Dinâmica de populações fitoplanctônicas em ambiente eutrofizado: o Lago das Garças, São Paulo*. In HENRY, R. (ed.) *Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais*, FABESP, FUNDIBIO, Botucatu, pp. 449-508.
- BOLLMANN, H.A, MARQUES, D.M.LM., 2006, *Influência da Densidade Populacional nas Relações entre Matéria Orgânica Carbonácea, Nitrogênio e Fósforo em Rios Urbanos Situados em Áreas com Baixa Cobertura Sanitária*. *Engenharia Sanitária Ambiental*, V.11, N. 4, (Out/Dez) pp.343-352,
- BOUWMAN, A.F., FUNG, I., MATTHEWS, E., *et al.*, 1993, *Global analysis of the potential for N₂O production in natural soils*. *Global Biogeochem, Cycles* 7: pp. 557–597.
- BRANCO, S.M., 1991, *A água e o homem*. In: PORTO, R.L.L., org.: BRANCO, S. M.; CLEARY, R.W.; COIMBRA, R.M.; EIGER, S.; LUCA, S.J.; NOGUEIRA, V.P.Q.; PORTO, M.F.A. *Hidrologia Ambiental*. São Paulo: V. 3, Associação Brasileira de Recursos Hídricos.
- BRANCO, S.M., 1986, *Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária*. 3 ed. São Paulo, CETESB/ASCETESB.
- BRANCO, S.M., 1971, *Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária*. São Paulo, CETESB.

- BRANCO, S.M., ROCHA, A.A., 1977, *Poluição, proteção e usos múltiplos de represas*. São Paulo, CETESB.
- BRANDÃO, C.C.S., AZEVEDO, S.M.F.O., 2003, *Cianobactérias tóxicas: Impactos na saúde pública e processos de remoção em água para consumo humano*. Ministério da Saúde, FUNASA (Ed.). Brasília-DF, Brasil.
- BRIGAULT, S., RUBAN, V., 2000, *External Phosphorus Load Estimates and P-Budget for the Hydroelectric Reservoir of Bort-Les-Orgues, France*. *Water, Air, & Soil Pollution*, V. 119, N. 1-4.
- CARACO, N.F., 1993, *Disturbance of the phosphorus cycle: a case of indirect effects of human activity*. *TREE*, 8:pp. 51-54.
- CARLSON, R.E., 1977, *A trophic state index for lakes*. *Limnol. Oceanogr.*, 22: pp. 361-80.
- CASTELLANOS-SOLA, M.E., PINTO-COELHO, R.M., 2003 (a), *Impacto Humano no Reservatório de São Simão - I: Efeitos das fontes pontuais (esgotos domésticos) no aporte de N e P nas sub-bacias de captação*. IX Congresso Brasileiro de Limnologia, Juiz de Fora, SC, (Jul) CD - Resumos N.317.
- CASTELLANOS-SOLA, M. E.; PINTO-COELHO, R.M., 2003 (b), *Impacto Humano no Reservatório de São Simão - II: Efeitos de fontes difusas (atividade agrícola) no aporte de N e P nas sub-bacias de captação*. IX Congresso Brasileiro de Limnologia, Juiz de Fora, SC, (Jul) CD - Resumos N.317.

CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais. Disponível em <http://www.cemig.com.br>. Acesso em 08 de fevereiro de 2008.

CHAPRA, S.C., 1997, *Surface Water Quality Modeling*. Nova York: McGraw-Hill.

CHERNICHARO, C.A.L. *et al.*, 2001, *Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios: coletânea de trabalhos técnicos*, v. 2 cap. 1, Belo Horizonte, UFMG.

CHORUS, I., BARTRAM, J., 1999, *Toxic Cyanobacteria in Water. A Guide to their Public Health Consequences, Monitoring and Management*. E&FN Spon, London.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA n. ° 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Publicação: Diário Oficial da União, 18 de março de 2005.

CUNHA, C.L.N., ROSMAN, P.C.C., MONTEIRO, T.C.N., 2003, *Avaliação da Poluição em Rios usando Modelagem Computacional*. Engenharia Sanitária e Ambiental. V. 8, N. 3, pp. 126-134.

DORNFELD, C.B., 2002, *Utilização de análises limnológicas, bioensaios de toxicidade e macroinvertebrados bentônicos para o diagnóstico ambiental do reservatório de Salto Grande (Americana, SP)*. Tese de M.Sc., São Carlos, USP.

- ESPÍNDOLA, E.L.G., MATSUMURA-TUNDISI, T., RIETZLER, A.C., *et al.*, 2000, *Spatial heterogeneity of the Tucuruí reservoir (State of Pará, Amazonia, Brazil) and the distribution of zooplanktonic species*. Rev. Bras. Biol. V. 60, pp. 179-194, SciELO Brasil.
- ESTEVES, F.A., 1988, *Fundamentos de Limnologia*. 2 ed. Rio de Janeiro, Editora Interciência.
- FEARNSIDE, P.M., 1995, *Hydroelectric Dams in the Brazilian Amazon as Sources of 'Greenhouse' Gases*, Environ. Conserv. 22(1), pp. 7–19.
- FEARNSIDE, P.M., 1989, *Brazil's Balbina Dam: Environment Versus the Legacy of the Pharaohs in Amazonia*, Environ. Manage. 13(4), pp.401–423.
- FIGUEIRÊDO, M.C.B., TEIXEIRA, A.S., ARAÚJO, L.F., *et al.*, 2007, *Avaliação da Vulnerabilidade Ambiental de Reservatórios à Eutrofização*. Engenharia Sanitária Ambiental, V.12, N. 4, (Dez) pp.399-409.
- GARCIA-RUIZ, R., PATTINSON, S.N., WHITTON, B.A., 1998, *Kinetic parameters of denitrification in a river continuum*. Appl. Environ. Microb. 64: pp.2533–2538.
- GIANI, A., PINTO-COELHO, R.M., OLIVEIRA, S.J.M., *et al.*, 1998, *Ciclo sazonal de parâmetros físico-químicos da água e distribuição horizontal de nitrogênio e fósforo no reservatório da Pampulha (Belo Horizonte, MG, Brasil)*, Ciência e Cultura, pp. 69-77.

GOODWIN, K.L., 1997, *Dinâmica das populações de cianobactérias no reservatório da Pampulha (Minas Gerais) em duas escalas temporais (sazonal e diurna)*. Tese de M.Sc., Belo Horizonte, UFMG.

HALLIDAY, S. L.; WOLFE, M. L. Assessing ground water pollution potential from nitrogenfertilizer using a geographic information system. *Water Res. Bull.* 27(2)237-245, 1991.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Censo Populacional, 2000. Disponível em <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em fevereiro de 2008.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, 2000. Disponível em <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em fevereiro de 2008.

IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas, Bacias Hidrográficas e represas de MG. Disponível em <http://www.igam.mg.gov.br>. Acesso em fevereiro de 2008.

JARDIM, F.A., ROLLA, M.E., VIANNA, L.N.L., *et al.*, 2001, *Primeira detecção de cianobactérias tóxicas em uma represa da CEMIG-São Simão-MG/GO*. VIII Congresso Brasileiro de Limnologia.

JUNK, W.J., ROBERTSON, B.A., DARWICH, A.J., *et al.*, 1981, *Investigações limnológicas e ictiológicas em Curuá-Una, a primeira represa hidrelétrica na Amazônia Central*, *Acta Amazônica* 11(4), pp. 689–716.

KALFF, J., 2002, *Limnology: inland water ecosystems*. Prentice-Hall. New Jersey, USA. pp.341-348.

- KRUG, A., 1993, *Drainage history and land use pattern of a Swedish river system-their importance for understanding nitrogen and phosphorus load*. Hydrobiologia, 251: pp. 285-296.
- LORENZEN, C.J., 1967, *Determination of chlorophyll and pheo-pigments: spectrophotometric equations*, Limnology & Oceanography 12: pp. 343-346.
- LUZIA, A.P., 2004, *Limnologia e Grau de Trofia dos Reservatórios em Cascata do rio Tietê (Médio e Baixo Tietê, São Paulo)*. Tese de M.Sc., São Carlos, USP.
- MACKERETH, F.J.H, HERON, J., TALLING, J.F., 1978, *Water analysis: some revised methods for limnologists*. Freshwater Biol. Assoc. Sci. Publ. N.36 Cumbria, UK.
- MANSOR, M.T.C., FILHO, J.T., ROSTOM, D.M., 2006, *Avaliação preliminar das cargas difusas de origem rural, em uma sub-bacia do Rio Jaguari, SP*. Rev. bras. eng. agríc. ambient., vol. 10 n. 3, Campina Grande, Jul/Set.
- 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. Tese de D.Sc. Universidade Estadual de Campinas.
- MARQUES, P.P., 1993, *Programa de Qualidade das Águas*. A Água em Revista. Revista Técnica e Informativas da CPRM. v. 1, n. 1, pp. 35-42.

- MARTINI, L.C.P., MATTOS, D.S., BARBOSA, D.F.P., *et al.*, 2006. *Uso de sensoriamento remoto orbital para avaliação da distribuição espacial de Clorofila_a na Lagoa da Conceição - Florianópolis, SC*. Rev. de Eng. Sanitária Ambiental, vol.11, n. 4, Rio de Janeiro, Out./Dez.
- MATSUMURA-TUNDISI, T., 1999, *Diversidade de zooplâncton em represas do Brasil*, pp. 39-54. In: R.Henry (ed.), *Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais*, Fundibio, Fapesp, SP.
- MATVIENKO, B., ROSA, L.P., SIKAR, E., *et al.*, 2000, *Carbon Dioxide and Methane Emission from Some Brazilian Reservoirs*, World Commission on Dams Workshop on Greenhouse Gas Emissions from Reservoirs, (Fev) Montreal, Canada.
- McCAULEY, E., KALFF, J., 1981, *Empirical relationships between phytoplankton and zooplankton biomass in lakes*. Can. J. Fish Aquat. Sci., V. 38, pp. 458-463.
- McKEE, J.E., WOLF, H.W., 1977, *Water quality criteria*. In: BRANCO & ROCHA (ed.). *Poluição, Proteção e Usos Múltiplos de Represas*.
- MERCANTE, C.T.J., TUCCI-MOURA, A., 1999, *Comparação entre os índices de Carlson e de Carlson modificado aplicados a dois ambientes aquáticos subtropicais, São Paulo, SP*. Acta Limnológica Brasiliensia 11: pp.1-4.
- MÜLLER, A.C., 1995, *Hidrelétricas, meio ambiente e desenvolvimento*. São Paulo, ed. Makron Books.

- MURPHY, J., RILEY, J.P., 1962, *A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters*, *Analytica Chimica Acta* 27: pp. 31-36.
- NOGES, P., JARVET, A., TUVIKENE, L. et al., 1998, *The budgets of nitrogen and phosphorus in a shallow eutrophic Lake Vortsjarv (Estônia)*. *Hydrobiologia*, 363: pp. 219-227.
- NOGUEIRA, M.G., HENRY, R., JORCIN, A., 2005, *Ecologia de reservatórios: impactos potenciais, ações de manejo e sistemas em cascata*. São Carlos: Rima.
- OECD – Organisation for Economic Co-operation and development, 1982, *Eutrophication of waters: monitoring, assessment and control*. Paris.
- OLIVEIRA, A.S., VALADARES, R.F.D., VALADARES FILHO, S.C. et al., 2001, *Consumo, digestibilidade aparente, produção e composição do leite em vacas alimentadas com quatro níveis de compostos nitrogenados não protéicos*. *Rev. bras. zootec.*, 30(4): pp. 1358-1366.
- PINTO-COELHO, R.M., 2004, *O aporte de fósforo e a presença de cianobactérias no reservatório de São Simão*, CEMIG-FUNDEP, Belo Horizonte, MG.
- PINTO-COELHO, R.M., 2000, *Projeto Pampulha: 15 anos de estudos limnológicos no reservatório, em seus tributários e microbacias. A degradação da represa com bibliografia comentada*. *Dep. Biologia Geral/ICB/UFMG*, Capítulo 1: Os tributários e a qualidade de água no reservatório. Disponível em http://ecologia.icb.ufmg.br/~rpcoelho/pampulha/pp_trib2.htm

- PINTO-COELHO, R.M., 1998, *Effects of eutrophication on seasonal patterns of mesozooplankton*. In: A TROPICAL RESERVOIR: A FOUR YEARS STUDY IN PAMPULHA LAKE, BRAZIL. Freshwat. Biol., V. 40, pp. 159-174.
- POMPÊO, M.L.M., MOSCHINI, C.V., SILVA-FILHO, C.G., 2002. *Transporte de nitrogênio, fósforo e seston em três rios pré-amazônicos* (Estado do Maranhão, Brasil), Bioikos, 16(1/2): 29-39. Disponível em http://www.ib.usp.br/limnologia/Rios_pre_amazonicos/
- RECKHOW, K.H., CHAPRA, S.C., 1983, *Engineering approaches for lake management*. V.1, Data Analysis and Empirical Modeling. Butterworth Publishers, Ann Arbor Science Book, 358.
- REYNOLDS, C.S., 1997, *Vegetation process in the pelagic: A model for ecosystem theory*. Excellence in Ecology, V.9. Ed. O.Kinne. Ecology Institute.Oldendorf/Luhe, 371p.
- ROLLA, M.E., 2000, *Cianobactérias in São Simão*, CEMIG.
- ROSA, L.P. MATVIENKO, B., SANTOS, M.A., *et al.*, 2002, *Emissões de Gases de Efeito Estufa Derivados de Reservatórios Hidrelétricos*. V.1, 1.ed. Brasília: ANEEL.
- ROSA, R.S., MESSIAS, R.A., AMBROZINI, B., *et al.*, 2003, *Importância da compreensão dos ciclos biogeoquímicos para o desenvolvimento sustentável*, Monografia (Graduação), São Paulo, USP.

- RUAS, A.L., 2006, *Avaliação das alterações da qualidade de águas tropicais decorrentes da instalação de barramentos para fins de geração de energia elétrica: estudo de caso do Rio Pomba*, Tese de M.Sc., Belo Horizonte, UFMG.
- SALAS, H.J., MARTINO, P., 1991, *A simplified phosphorus trophic state model for warm-water tropical lakes*. Water Resources. V.25, pp.341-350.
- SANTOS, E.O., SILVA, C., SANTOS, M.A. *et al.*, 2009, *The importance of land use change analysis in the greenhouse gases emissions from hydroelectric reservoirs*, Stuttgart. Verh. Internat. Verein. Limnol. V.30.
- SAMPAIO, E.V. ROCHA, O., MATSUMURA-TUNDISI, T., *et al.*, 2002, *Composition and abundance of zooplankton in the limnetic zone of seven reservoirs of the Paranapanema river, Brazil*. J. Biol., V.62, pp. 525-545.
- SARTORATTO, M., USSEGLIO, A.M., PEREIRA, F.A.R., *et al.*, 2007, *Avaliação da Influência da Ocupação Urbana nas Características Físico-químicas do Rio Sorocaba*. Revista Científica do IMAPES, (Jun) pp. 23-28.
- SIMGE – Sistema de Meteorologia e Recursos Hídricos de Minas Gerais. Disponível em <http://www.simge.mg.gov.br/monitoramento>. Acesso em setembro de 2008.
- STRASKRABA, M., TUNDISI, J.G.. 2000, *Diretrizes para o gerenciamento de lagos: Gerenciamento da Qualidade da Água*. CNPq, ILEQ, IIE.
- STRASKRABA, M., DOSTALKOVA, I., HEIJZLAR, J. *et al.*, 1995, *The effect of reservoirs on phosphorus concentration*. Int. Revue. Ges. Hydrobiologia, 80: pp. 403-413.

- SUDENE, BNB., 1998, *Relatório de pesquisa sobre a indústria incentivada do Nordeste*. Fortaleza.
- TÔRRES, I.C., 1999, *Determinação da influência dos tributários na qualidade da água da Represa da Pampulha, Belo Horizonte*, Tese de M.Sc., Belo Horizonte, UFMG.
- TUNDISI, J.G., 2003, *Água no século XXI, Enfrentando a Escassez*. Ed. Rima.
- TUNDISI, J.G., TUNDISI, T.M., 2002, *Lagos e reservatórios – Qualidade da água: O impacto da eutrofização*, (tradução), UNEP – IETC – ILEC – IIE – V. 3. pp.1-28.
- TUNDISI, J.G., 2001, *Planejamento e gerenciamento de lagos e reservatórios: uma abordagem integrada ao problema da eutrofização*, Publicações Técnicas, UNEP – International Environmental Technology Centre, Osaka, Shiga, ed. Rima.
- TUNDISI, J.G., 1999, *Limnologia no século XXI: perspectivas e desafios*. Conferência de abertura do VII Congresso Brasileiro de Limnologia. Instituto Internacional de Ecologia.
- TUNDISI, J.G., TUNDISI, T.M., 1992, *Eutrofication of lakes and reservoirs: a comparative analysis, case studies, perspectives*. In: *Algae and Environment - a general approach*, eds. Cordeiro-Marino, M. *et al.*, pp. 1-33, Sociedade Brasileira de Ficologia.
- UNEP - United Nations Environment Programme, 2001, *Lagos e Reservatórios – Qualidade da Água: O impacto da Eutrofização*. Vol.3.

- VOLLENWEIDER, R.A., 1968, *Scientific fundamentals of eutrophication of lakes and flowing waters with special reference to phosphorus and nitrogen*, OECD-DAS-CSI, 68.27, pp.1-159.
- VON SPERLING, E., 1999, *Profundidade Média de Lagos e Represas Brasileiros e sua Influência na Qualidade da Água*. In: 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro.
- VON SPERLING, M.V., 1996, *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos – princípios do tratamento biológico de águas residuárias*. V.1, 2 ed. Belo Horizonte, UFMG.
- WALKER, I., MIYAI, R., MELO, M.D.A., 1999, *Observations on Aquatic Macrophyte Dynamics in the Reservoir of the Balbina Hydroelectric Power Plant, Amazonas State, Brazil*, *Acta Amazonica* 29(2), pp. 243–265.
- WETZEL, R.G., 2001, *Limnology: Lake and river ecosystems*. 3 ed., Academic Press. 1006 p.
- WETZEL, R.G., 1996, *Benthic algae and nutrient cycling in lentic freshwater ecosystems*, In: *ALGAL Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems*. New York, Stevenson, pp. 641-667.
- WETZEL, R.G., 1983, *Limnology*. 2 ed. New York, Saunders College Publishing.
- YOUNG, W.J., MARSTON, F.M., DAVIS, J.R., 1996, *Nutrients exports and land use in Australian catchments*, *J. Environ. Manag*, 47: pp.165-183.

SITES

<http://www.redeambiente.org.br/dicionario.asp> Acesso em: fev. 2010.

http://pt.wikipedia.org/wiki/Disco_de_Secchi Acesso em: fev. 2010.

<http://pt.wikipedia.org/wiki/lugol> Acesso em: fev. 2010.

ANEXOS

ANEXO 1 – Estações Lóticas e Lênticas de Coleta

Tabela A.1.1 – Estações Lóticas.

Estação 1 – Cód.: P00 Ponte Paranaíba (jusante da barragem)	Ponto localizado sobre a ponte sobre o rio de mesmo nome na BR 365, divisa MG/GO, logo antes do trevo para a cidade de S. Simão (GO). Coordenadas (UTM): X= 552.195/Y= 7.894.365
Estação 2 – Cód.: P02 Rio Mateira	Ponto coletado sobre a ponte sobre o córrego, na estrada entre Paranaiguara e Quirinópolis, GO. Coordenadas (UTM): X= 538.355/Y= 7.915.076
Estação 3 – Cód.: P03 Rio Alegre	Ponto coletado sobre a ponte sobre o córrego, na estrada entre Paranaiguara e Quirinópolis, GO. Coordenadas (UTM): X= 541.871/Y= 7.925.784
Estação 4 – Cód.: P04 Ponte Rio Preto	Ponto coletado sobre a ponte sobre o córrego, na estrada entre Paranaiguara e Quirinópolis (GO), logo antes dessa última cidade, junto à localidade chamada de “Confusão”. Coordenadas (UTM): X= 559.275/Y= 7.943.833
Estação 5 – Cód.: P05 Ponte Rio São Francisco	Ponto coletado sobre a ponte sobre o córrego, na estrada entre Quirinópolis e Inaciolândia, GO. Coordenadas (UTM): X= 572.194/Y= 7.959.369
Estação 6 – Cód.: P11 Ponte do Rio Meia Ponte	Ponto coletado sobre a ponte sobre o córrego, na estrada entre Almerindópolis e Cachoeira Dourada, GO, próximo à localidade de Boa Vereda. Coordenadas (UTM): X= 646.363/Y= 7.956.487
Estação 7 – Cód.: P14 Córrego dos Bois (Sta. Vitória)	Ponto coletado no córrego logo após a cidade de Sta. Vitória (MG), em local com forte contaminação de esgotos domésticos e de indústria de laticínios. Coordenadas (UTM): X= 593.289/Y= 7.917.492
Estação 8 – Cód.: P14-a Córrego Invernada (Sta. Vitória)	Ponto coletado a cerca de 1 km de Sta. Vitória na estrada para a balsa de Ipiaçú. Coordenadas (UTM): X=593.738/Y=7.916.911
Estação 9 – Cód.: P15 Ponte Ribeirão dos Patos	Ponto coletado sobre a ponte sobre o córrego, na estrada BR 365, trecho mineiro, próximo à fazenda Vertente Bonita, MG. Coordenadas (UTM): X= 572.955/Y= 7.899.481

Tabela A.1.1 – Estações Lóticas – Continuação.

Estação 10 – Cód.: P16 Ponte Rio da Prata	Ponte sobre o rio de mesmo nome, na BR 365, antes da cidade de Ituiutaba (MG). Coordenadas (UTM): X= 626. 618/Y= 7.906.007
Estação 11 – Cód.: P17 Ponte Rio Tijuco (Ponte Velha)	Ponte velha sobre o Rio Tijuco logo na entrada da cidade de Ituiutaba, MG. Coordenadas (UTM): X= 663.248/Y= 7.904.934
Estação 12 – Cód.: P17-A	Ponto localizado no Rio Tijuco, município de Ituiutaba, MG cerca de 400 m à jusante da estação de tratamento de esgotos da cidade (ETE) e da Nestlé. Coordenadas (UTM): X= 660.099/Y= 7.905.254
Estação 13 – Cód.: P17-B – Rio Tijuco (região rural)	Ponto na região rural de Ituiutaba situado próximo ao matadouro/frigorífico “Bertin”, logo a sua jusante (3 km). Coordenadas (UTM): X= 655.936/Y= 7.905.217
Estação 14 – Cód.: P18 Ribeirão Campanha	Coordenadas (UTM): X= 631.393/Y=7.952.313
Estação 15 – Cód.: P19 Ribeirão Jacaré	Coordenadas (UTM): X= 556.385/Y= 7.933.266
Estação 16 – Cód.: P20 Rio São Jerônimo	Ponto situado na ponte sobre o Rio São Jerônimo na estrada que liga São Simão a Ituiutaba, cerca de 10 km após o trevo de Santa Vitória na direção de Gurinhatã e Ituiutaba. Coordenadas (UTM): X= 605.285/Y= 9.911.027

Fonte: Pinto-Coelho, 2004.

Tabela A.1.2 – Estações Lênticas.

Estação represa 1 – Cód.: C02 – Eixo Central (próximo à barragem)	Ponto situado no eixo central da represa, próximo à região da praia de São Simão em visada direta da barragem. Coordenadas (UTM): X= 552.401/Y= 7.899.687
Estação represa 2 – Cód.: C05 Eixo central/Rio Alegre (zona intermediária)	Ponto localizado no eixo Central do reservatório na área de influência do braço do Rio Alegre. Coordenadas (UTM): X= 560.600/Y= 7.917.431
Estação represa 3 – Cód.: C06 – Eixo central/Rio Preto (zona intermediária)	Ponto localizado no eixo central da represa na área de influência do braço do Rio Preto. Coordenadas (UTM): X= 570.982/Y=7.931.165
Estação represa 4 – Cód.: C07 – Eixo central/Rio São Francisco (zona intermediária)	Ponto localizado no eixo central de represa na área de influência do braço do Rio São Francisco. Coordenadas (UTM): X= 576.567/Y= 7.933.855
Estação represa 5 – Cód.: C08 – Braço do Rio dos Bois.	Ponto localizado sobre a ponte sobre Rio dos Bois a cerca de 2 km da cidade goiana de Inaciolândia. Coordenadas (UTM): X= 601.892/Y= 7.956.320
Estação represa 6 – Cód.: C09 – Balsa Ipiaçú no braço Tijuco/Prata	Ponto localizado sobre a balsa na estrada que liga Sta. Vitória a Ipiaçú (MG). Coordenadas (UTM): X= 607.037/Y= 7.923.699
Estação represa 7 – Cód.: C10 – Balsa de Gouveinha	Ponto localizado sobre o eixo central da represa, sobre a balsa interestadual que liga as cidades de Ipiaçú (MG) à estrada goiana que liga Inaciolândia a Almerindópolis (GO). Coordenadas (UTM): X=614.197/Y=7.939.993
Estação represa 8 – Cód.: C13 – Balsa Rio Paranaíba	Ponto localizado no trecho lótico do Rio Paranaíba, a jusante da barragem de Cachoeira Dourada, sobre a balsa interestadual que liga a cidade de Almerindópolis a Cachoeira Dourada. Coordenadas (UTM): X= 656.601/Y= 7.954.823
Estação represa 9 – Cód.: C14 – Praia de São Simão	Ponto localizado a cerca de 200 metros da praia de São Simão em local com grande frequência de banhistas. Este ponto de coletas foi amostrado apenas uma vez em fevereiro de 2004. Coordenadas (UTM): X= 550102/Y= 7.901.597

Fonte: Pinto-Coelho, 2004.

ANEXO 2 – Tabelas das Variáveis medidas nos Pontos de Coleta (Tributários e Reservatório)

Tabela A.2.1 – Valores para Amônia, Nitrito e Nitrato nos Tributários.

Pontos de Coleta Tributário	Cód.	Data	Amônia (µg/L N-NH ₄)	Nitrito (µg/L N-NO ₂)	Nitrato (µg/L N-NO ₃)
Rio Paranaíba (Jusante)	P00	jan/02	6,3	2,4	102,0
		abr/02	12,3	2,5	0,0
		jul/02	22,4	0,3	19,0
		out/02	66,2	1,3	0,0
		jan/03	25,0	1,6	n.d.
		out/03	n.d.	n.d.	n.d.
		jan/04	0,0	4,4	44,1
Rib. Mateira	P02	jan/02	5,6	5,4	88,2
		abr/02	25,2	1,8	0,0
		jul/02	22,2	1,1	2,8
		out/02	81,6	1,8	0,0
		jan/03	38,8	6,5	n.d.
		out/03	n.d.	n.d.	n.d.
		jan/04	0,0	5,3	0,0
Rio Preto	P04	jan/02	41,1	9,1	115,8
		abr/02	51,0	6,2	86,2
		jul/02	57,8	7,9	34,1
		out/02	79,4	2,3	0,0
		jan/03	36,4	6,5	n.d.
		out/03	n.d.	n.d.	n.d.
		jan/04	0,0	5,7	0,0
Rio São Francisco	P05	jan/02	37,5	5,7	91,3
		abr/02	42,7	1,3	0,0
		jul/02	25,7	0,7	0,0
		out/02	100,3	22,2	2,5
		jan/03	48,9	8,1	n.d.
		out/03	n.d.	n.d.	n.d.
		jan/04	0,0	5,3	0,0
Rio Meia Ponte	P11	jan/02	30,6	4,9	85,2
		abr/02	47,5	1,1	331,1
		jul/02	24,8	5,2	464,7
		out/02	69,0	8,5	9,2
		jan/03	26,9	8,8	n.d.
		out/03	n.d.	n.d.	n.d.
		jan/04	0,0	5,1	52,9
Rio dos Patos	P15	jan/02	0,0	0,0	0,0
		abr/02	17,4	2,4	14,0
		jul/02	31,0	1,0	0,0
		out/02	73,8	1,6	0,0
		jan/03	37,5	2,3	n.d.
		out/03	n.d.	n.d.	n.d.
		jan/04	0,0	4,7	0,0

Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

Tabela A.2.1 – Valores para Amônia, Nitrito e Nitrato nos Tributários (continuação)

Pontos de Coleta Tributário	Cód.	Data	Amônia (µg/L N-NH ₄)	Nitrito (µg/L N-NO ₂)	Nitrato (µg/L N-NO ₃)
Rio da Prata	P16	jan/02	n.d.	n.d.	n.d.
		abr/02	60,9	n.d.	n.d.
		jul/02	21,3	0,7	0,0
		out/02 (antes da chuva)	43,0	0,3	0,0
		out/02 (depois chuva)	93,5	6,6	1,8
		jan/03	40,0	1,6	n.d.
		out/03	n.d.	n.d.	n.d.
		jan/04	0,0	5,7	0,0
Rio Tijuco	P17	jan/02	n.d.	n.d.	n.d.
		abr/02	34,1	2,7	14,0
		jul/02	34,1	2,6	1,4
		out/02	36,2	0	0,0
		jan/03	42,0	1,6	n.d.
		out/03	n.d.	n.d.	n.d.
		jan/04	0,0	6,2	0,0

Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

Tabela A.2.2 – Valores para Fósforo Solúvel, Fósforo Total, Clorofila-a e pH nos Tributários.

Pontos de Coleta – Tributário	Cód.	Data	Fósforo Solúvel (µg/L P-PO ₄)	Fósforo Total (µg/L P-PO ₄)	Clorofila-a (µg/L)	pH
Rio Paranaíba (Jusante)	P00	jan/02	21,9	13,7	1,39	7,56
		abr/02	14,4	46,0	0,0	7,50
		jul/02	6,9	11,1	0,0	8,00
		out/02	3,2	23,8	0,0	7,40
		jan/03	1,8	4,6	n.d.	7,94
		out/03	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
		jan/04	3,2	16,2	0,0	7,73
Rib. Mateira	P02	jan/02	17,8	216,8	0,0	7,58
		abr/02	15,2	48,8	0,0	7,61
		jul/02	12,7	23,8	0,0	8,10
		out/02	16,3	38,8	0,0	7,70
		jan/03	13,7	150,5	0,6	6,95
		out/03	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
		jan/04	6,2	31,4	4,0	7,92
Rio Preto	P04	jan/02	38,9	343,1	2,92	7,62
		abr/02	18,3	50,2	0,0	7,91
		jul/02	18,5	44,3	0,0	8,30
		out/02	25,9	56,5	0,0	8,20
		jan/03	16,2	133,7	3,8	7,07
		out/03	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
jan/04	18,7	44,0	2,1	8,0		

Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

Tabela A.2.2 – Valores para fósforo solúvel, fósforo total, clorofila-a e pH nos tributários (continuação).

Pontos de Coleta – Tributário	Cód.	Data	Fósforo Solúvel (µg/L P-PO ₄)	Fósforo Total (µg/L P-PO ₄)	Clorofila-a (µg/L)	pH
Rio São Francisco	P05	jan/02	37,2	200,0	3,2	7,82
		abr/02	10,4	46,7	0,0	8,38
		jul/02	16,0	23,8	0,0	7,50
		out/02	5,8	39,5	0,0	8,50
		jan/03	28,4	178,1	3,2	7,22
		out/03	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
		jan/04	18,7	57,5	0,0	8,18
Rio Meia Ponte	P11	jan/02	29,3	230,5	0,0	7,57
		abr/02	17,5	43,9	0,0	8,20
		jul/02	16,8	33,3	0,6	8,70
		out/02	1,5	36,2	0,0	8,70
		jan/03	28,4	94,3	0,6	7,85
		out/03	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
		jan/04	18,7	82,8	3,1	8,10
Rio dos Patos	P15	jan/02	57,2	152,6	0,0	7,47
		abr/02	11,2	62,2	2,4	7,64
		jul/02	26,7	43,5	0,0	8,30
		out/02	32,2	66,9	0,0	7,90
		jan/03	78,5	149,3	3,2	n.d.
		out/03	n.d.	n.d.	0,0	n.d.
		jan/04	44,0	60,5	3,2	7,64
Rio da Prata	P16	jan/02	n.d.	105,3	n.d.	7,98
		abr/02	18,3	36,5	0,0	8,26
		jul/02	8,5	29,1	0,0	8,4
		out/02 (antes chuva)	4,1	36,2	0,0	8,2
		out/02(depois chuva)	33,8	80,7	n.d.	7,6
		jan/03	9,4	32,2	3,2	7,81
		out/03	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Rio Tijuco	P17	jan/04	17,2	94,8	0,0	8,21
		jan/02	n.d.	49,5	n.d.	8,01
		abr/02	10,4	52,3	0,0	8,31
		jul/02	11,0	36,8	0,0	8,30
		out/02	3,2	37,5	0,0	8,30
		jan/03	11,0	15,7	3,8	7,78
		out/03	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
jan/04	13,4	100,0	0,0	8,20		

Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

Tabela A.2.3 – Valores para Amônia, Nitrito e Nitrato no Reservatório.

Reservatório	Cód.	Data	Amônia ($\mu\text{g/L N-NH}_4$)	Nitrito ($\mu\text{g/L N-NO}_2$)	Nitrato ($\mu\text{g/L N-NO}_3$)
Barragem	C02	jan/02	0	18,4	104,1
		abr/02	50,8 (sup) 48,4 (50 m)	1,5 (sup) 0,0 (50 m)	0,0 (sup) 68,4 (50 m)
		jul/02	13,9 (sup) 15,6 (70 m)	1,6 (sup) 0,8 (70 m)	46,7 (sup) 85,6 (70,0)
		out/02	24,6 (0m) 13,0 (60 m)	1,6 (0m) 0,0 (60,0 m)	0,0 (0m) 0,0 (60,0)
		jan/03	72,5 (0 m) 72,2 (60 m)	5,31 (0 m) 4,12 (60 m)	62,3 (0 m) 37,5 (60 m)
		out/03	0,0 (0 m) 0,0 (60 m)	4,25 (0 m) 2,55 (60 m)	11,0 (0 m) 8,8 (60,0 m)
		jan/04	0,0 (0 m) 0,0 (60 m)	5,9 (0 m) 6,3 (60 m)	2,22 (0m) 61,7 (60m)
Eixo Central Com Braço Rio Alegre	C05	jan/02	0,0	0,0	0,0
		abr/02	44,2	0,7	7,7
		jul/02	14,4	2,1	78,3
		out/02	14,6	1,5	0,0
		jan/03	75,4	1,1	50,0
		out/03	0,0	4,6	0,0
		jan/04	0,0 (0 m) 0,0 (38 m)	4,8 (0 m) 6,0 (38 m)	13,2 (0 m) 17,6 (38 m)
Eixo Central com Braço Rio São Francisco	C07	jan/02	0,0	17,5	115,4
		abr/02	52,8	1,7	51,9
		jul/02	17,0	3,2	66,2
		out/02	18,9	2,7	12,2
		jan/03	71,1	3,5	83,0
		out/03	0,0	2,29	8,8
		jan/04	n.d.	n.d.	n.d.

Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

Tabela A.2.3 – Valores para Amônia, Nitrato e Nitrito no Reservatório (continuação).

Reservatório	Cód.	Data	Amônia ($\mu\text{g/L N-NH}_4$)	Nitrito ($\mu\text{g/L N-NO}_2$)	Nitrato ($\mu\text{g/L N-NO}_3$)
Ponte Rio dos Bois	C08	jan/02	n.d.	n.d.	n.d.
		abr/02	56,1	0,9	0,0
		jul/02	44,2	1,6	2,8
		out/02	44,3	1,4	0,0
		jan/03	77,4	3,7	37,5
		out/03	0,0	5,2	0,0
		jan/04	0	5,7	0,0
Balsa Braço Tijuco/Prata (Ipiaçú)	C09	jan/02	0,0	19,4	0,0
		abr/02	22,4	2,6	14,0
		jul/02	193,4	6,4	14,4
		out/02	79,7	9,6	0,0
		jan/03	80,1	4,7	49,9
		out/03	0,0	6,5	0,0
		jan/04	0,0	5,9	13,2
Balsa Cach. Dourada (Rio Paranaíba)	C13	jan/02	0,0	17,8	0,0
		abr/02	54,8	0,0	16,0
		jul/02	23,9	1,8	20,2
		out/02	74,7	2,6	0,0
		jan/03	71,5	7,2	62,3
		out/03	0,0	3,6	26,4
		jan/04	0,0	4,5	13,2
Praia de São Simão	C14	jan/04	0,0 (0 m) 0,0 (20 m)	8,3 (0 m) 4,5 (20 m)	0,0 (0 m) 0,0 (20 m)

Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

Tabela A.2.4 – Valores para Fósforo Solúvel, Fósforo Total e Clorofila-a no Reservatório.

Reservatório	Cód.	Data	Fósforo Solúvel ($\mu\text{g/L P-PO}_4$)	Fósforo Total ($\mu\text{g/L P-PO}_4$)	Clorofila-a ($\mu\text{g/L}$)
Barragem	C02	jan/02	10,4	10,6	104,1
		abr/02	12,8	13,8	0,0
		jul/02	6,9	12,1	0,0 (0 m) 0,0 (70 m)
		out/02	1,5	20,5	0,0 (0m) 0,0 (60 m)
		jan/03	2,3 (0 m) 0,6 (60,0 m)	3,7 (0 m) 1,2 (60 m)	1,92 (0 m) 0,0 (60 m)
		out/03	0,0 (0 m) 1,5 (60 m)	7,1 (0 m) 10,4 (60 m)	1,9 (0 m) 0,0 (60 m)
		jan/04	0,9 (0 m) 4,7 (60 m)	23,0 (0 m) 7,0 (60 m)	0,0 (0 m) 1,4 (60 m)
Eixo Central com Braço Rio Alegre	C05	jan/02	10,4	24,2	15,7
		abr/02	8,0	17,7	0,0
		jul/02	3,6	13,0	0,0
		out/02	1,5	16,6	0,0
		jan/03	0,0	Xx	0,0
		out/03	3,9	23,4	0,0
		jan/04	0,8 (0 m) 0,8 (38 m)	7,8 (0 m) 11,6 (38 m)	1,9 (0 m) 0,6 (0 m)
Eixo Central com Braço Rio São Francisco	C07	jan/02	17,8	40,0	23,5
		abr/02	12,8	17,7	0,0
		jul/02	5,2	11,3	0,0
		out/02	21,5	17,2	0,0
		jan/03	5,5	13,0	0,0
		out/03	8,6	11,2	0,6
		jan/04	n.d.	n.d.	n.d.

Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

**Tabela A.2.4 – Valores para Fósforo Solúvel, Fósforo Total e Clorofila-a no Reservatório
(continuação).**

Reservatório	Cód.	Data	Fósforo Solúvel (µg/L P-PO₄)	Fósforo Total (µg/L P-PO₄)	Clorofila-a (µg/L)
Ponte Rio dos Bois	C08	jan/02	16,2	44,2	2,67
		abr/02	8,8	35,4	0,8
		jul/02	5,2	12,7	0,0
		out/02	1,5	28,3	n.d.
		jan/03	15,3	61,6	0,7
		out/03	3,1	17,7	0,0
		jan/04	8,5	48,3	3,2
Balsa Braço Tijuco/Prata (Ipiaçú)	C09	jan/02	n.d.	107,4	137,3
		abr/02	11,2	22,6	6,4
		jul/02	5,2	13,5	0,0
		out/02	3,0	19,8	0,0
		jan/03	17,7	25,6	3,2
		out/03	7,0	8,8	0,0
		jan/04	3,9	29,9	39,1
Balsa Cach. Dourada (Rio Paranaíba)	C13	jan/02	11,2	10,6	0,0
		abr/02	10,4	46,0	0,0
		jul/02	6,1	16,7	0,9
		out/02	1,5	27,0	0,0
		jan/03	0,0	9,6	0,0
		out/03	8,6	24,2	0,0
		jan/04	0,9	19,2	2,4
Praia de São Simão	C14	jan/04	0,8 (0 m) 0,8 (20 m)	10,0 (0 m) 5,5 (20 m)	0,0 (0 m) 1,4 (20 m)

Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

Tabela A.2.5 – Valores para Cyanobacteria, Chlorophyta, Chrysophyta e Chryptophyta no Reservatório (Ind/ml).

Reservatório	Cód.	Data	Cyanobacteria	Chlorophyta	Chrysophyta	Chryptophyta
Barragem	C02	jan/02	3731,3 (0m)	657,9 (0m) n.d. (60m)	239,2 (0m)	2097,1 (0m)
		abr/02	709 (0m)	288,7 (0m) n.d. (60m)	58 (0m)	43 (0m)
		jul/02	10,9 (0m)	81 (0m) 158,1 (60m)	24,7 (0m) 46,1 (60m)	6,9 (0m) 32,9 (60m)
		out/02	116 (0m) 24 (60m)	509 (0m) 144 (60m)	127 (0m) 13 (60m)	5 (0m) 3 (60m)
		jan/03	137(0m) 132 (60m)	210 (0m) 158 (60m)	13 (0m) 17 (60m)	0 (0m) 12 (60m)
		out/03	503 (0m) 8 (60m)	318 (0m) 41 (60m)	106 (0m) 14 (60m)	0 (0m) 0 (60m)
		jan/04	396 (0m) 37 (60m)	314 (0m) 21 (60m)	26 (0m) 0 (60m)	84 (0m) 0 (60m)
Eixo Central com Braço Rio Alegre	C05	jan/02	607	433	3	92
		abr/02	77	71,1	20,7	13,8
		jul/02	54,1	311,5	63,2	56,4
		out/02	129	460	108	5
		jan/03	20 17 (30m)	154 44 (30m)	0 5 (30m)	10 0 (30m)
		out/03	554	351	23	5
		jan/04	290 109 (30m)	315 115 (30m)	0 10 (30m)	205 7 (30m)
Eixo Central com Braço Rio São Francisco	C07	jan/02	1235	301	0	239
		abr/02	56,8	100,1	51,8	2,5
		jul/02	67,7	548,4	61	33,8
		out/02	23	77	114	0
		jan/03	26	164	5	69
		out/03	269	478	10	3
		jan/04				

Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

Tabela A.2.5 – Valores para Cyanobacteria, Chlorophyta, Chrysophyta e Chryptophyta no Reservatório (Ind/ml) (continuação).

Reservatório	Cód.	Data	Cyanobacteria	Chlorophyta	Chrysophyta	Chryptophyta
Ponte Rio dos Bois	C08	jan/02	16	83	14	148
		abr/02	11,3	127,9	84,7	9,4
		jul/02	350	267	0	36
		out/02	0	287	125	0
		jan/03	8	58	0	3
		out/03	44	545	15	44
		jan/04	6	31	13	0
Balsa braço Tijuco/Prata (Ipiaçú)	C09	jan/02	11385	125	0	156
		abr/02	3,9	23,7	17,8	3
		jul/02	13,5	367,9	79	478,4
		out/02	60	321	126	3
		jan/03	11	122	0	16
		out/03	145	77	11	3
		jan/04	890	153	0	467
Balsa Cach. Dourada (Rio Paranaíba)	C13	jan/02	0	103,7	303	103,7
		abr/02	10,6	44,9	3,9	4,6
		jul/02	1,6	131,3	7,7	2,9
		out/02	127	295	18	0
		jan/03	5	84	0	11
		out/03	0	471	15	129
		jan/04	25	68	8	41
Praia de São Simão	C14	jan/04				

Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

Tabela A.2.6 – Valores para Amônia, Nitrato e Nitrito no Ponto P14 – Rio dos Bois.

Código	Data	Amônia (µg/L N-NH₄)	Nitrito (µg/L N-NO₂)	Nitrato (µg/L N-NO₃)
P14 Rio dos Bois	jan/02	1189,1	3,7	0,0
	abr/02	121,5	5,1	80,3
	jul/02	234,9	4,1	19,0
	out/02	110,9	4,1	0,0
	jan/03	164,0	1,8	n.d.

Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

Tabela A.2.7 – Valores para Fósforo Total e Fósforo Solúvel no Ponto P14 – Rio dos Bois.

Código	Data	Fósforo Total (µg/L P-PO₄)	Fósforo Solúvel (µg/L P-PO₄)
P14 Rio dos Bois	jan/02	278,8	639,9
	abr/02	23,1	86,3
	jul/02	33,4	60,9
	out/02	3,2	49,3
	jan/03	24,3	65,6

Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

Tabela A.2.8 – Valores para pH, Turbidez e Oxigênio Dissolvido no Ponto P14 – Rio dos Bois.

Código	Data	pH	Turbidez (NTU)	Oxigênio Dissolvido (mg/L)
P14 Rio dos Bois	jan/02	6,99	n.d.	4,6
	abr/02	7,58	n.d.	4,6
	jul/02	7,6	n.d.	5,5
	out/02	7,3	50,4	4,4
	jan/03	7,11	65,4	4,1

Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

Tabela A.2.9 – Valores para Clorofila-a, Condutividade e Temperatura no Ponto P14 – Rio dos Bois.

Código	Data	Clorofila-a (µg/L)	Condutividade (µS/cm)	Temperatura (°C)
P14 Rio dos Bois	jan/02	0	80,9	26,9
	abr/02	n.d.	67,9	24,2
	jul/02	0	62,9	21,2
	out/02	1,1	49,9	25,5
	jan/03	1,9	67,5	25,4

Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

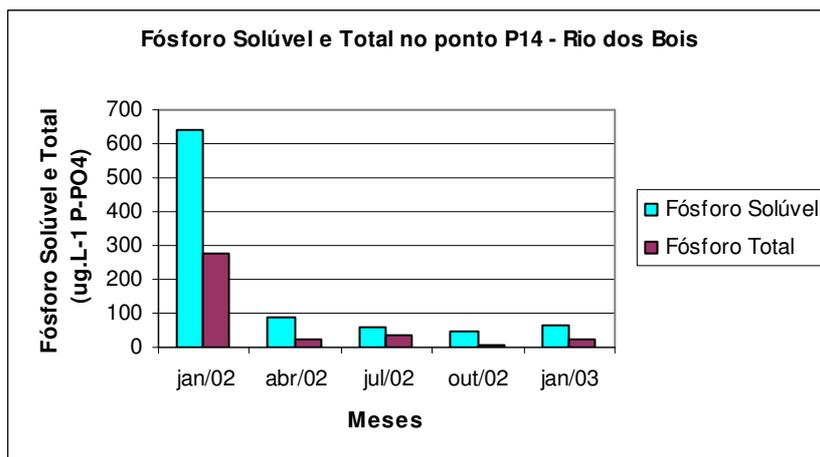


Figura A.2.1 – Fósforos Solúvel e Total medidos de Janeiro de 2002 a Janeiro de 2003 no Ponto P14.

Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

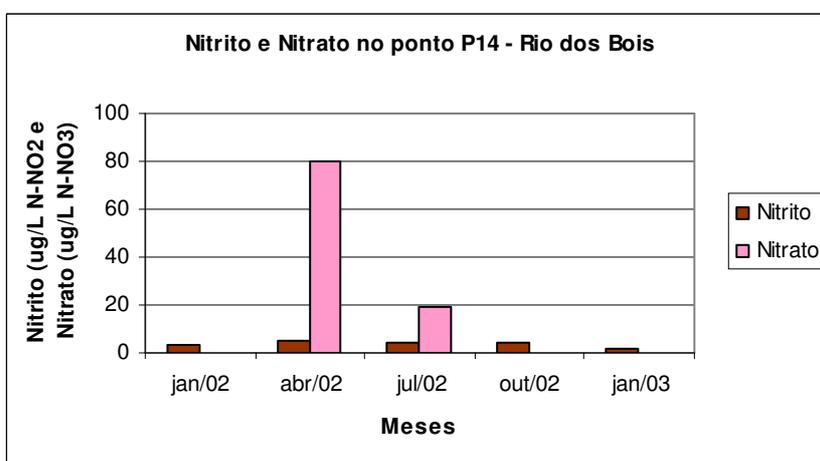


Figura A.2.2 – Nitrito e Nitrato medidos de Janeiro de 2002 a Janeiro de 2003 no Ponto P14.

Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

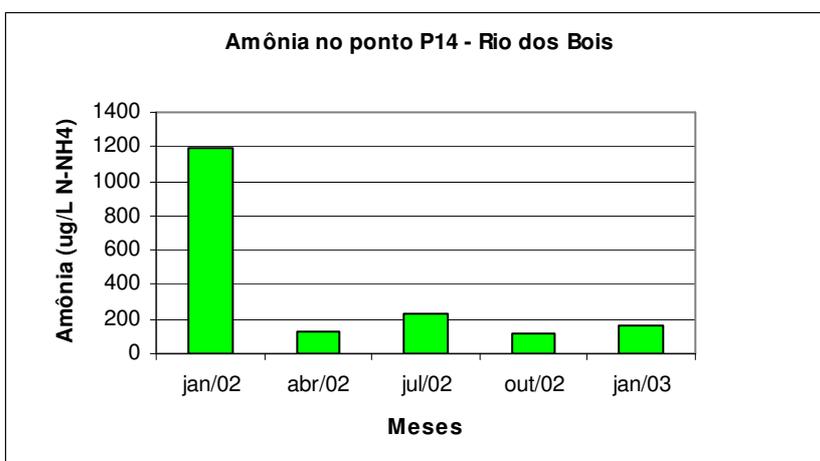


Figura A.2.3 – Amônia medida de Janeiro de 2002 a Janeiro de 2003 no Ponto P14.

Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

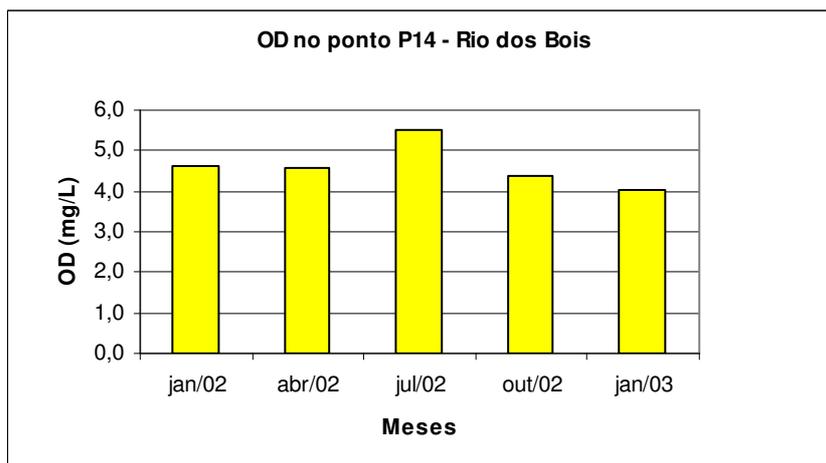


Figura A.2.4 – Oxigênio Dissolvido medido de Janeiro de 2002 a Janeiro de 2003 no Ponto P14.

Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

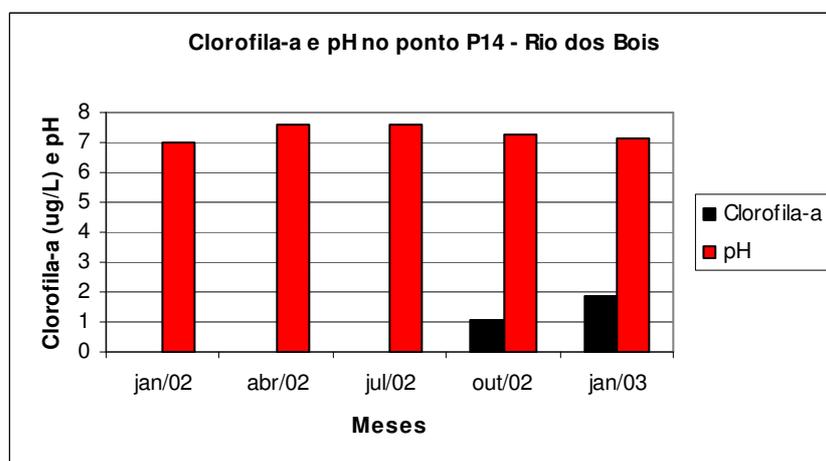


Figura A.2.5 – Clorofila-a e pH medidos de Janeiro de 2002 a Janeiro de 2003 no Ponto P14.

Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

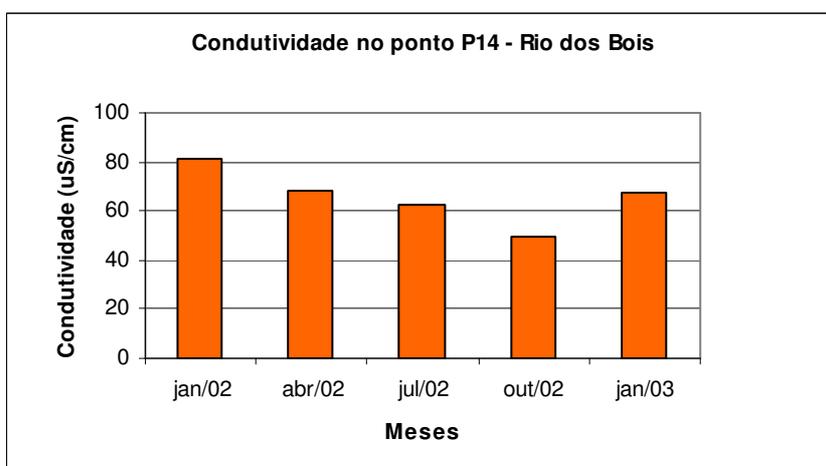


Figura A.2.6 – Condutividade medida de Janeiro de 2002 a Janeiro de 2003 no Ponto P14.

Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

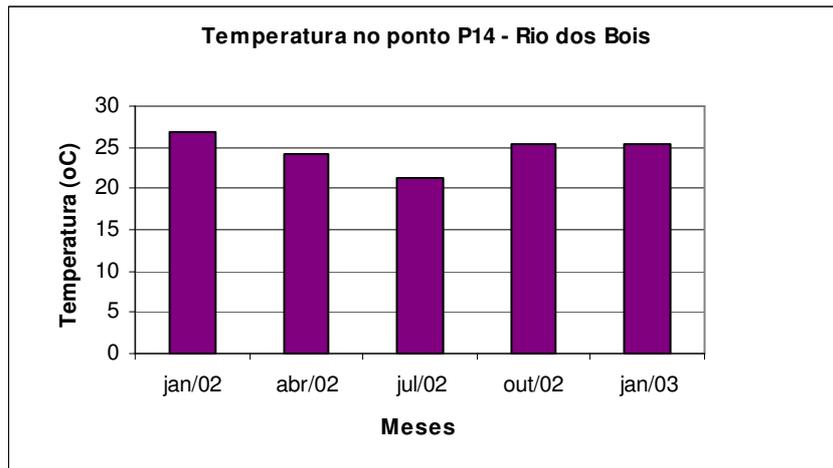


Figura A.2.7 – Temperatura medida de Janeiro de 2002 a Janeiro de 2003 no Ponto P14.
 Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

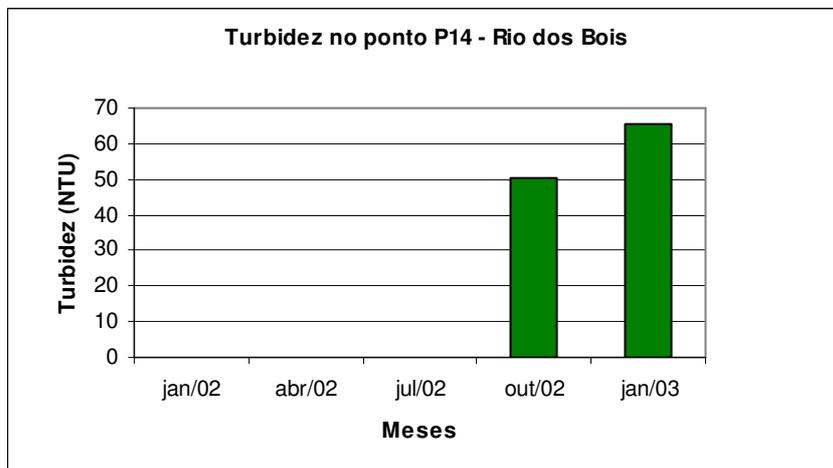


Figura A.2.8 – Turbidez medida de Janeiro de 2002 a Janeiro de 2003 no Ponto P14.
 Fonte: Adaptado de Pinto-Coelho, 2004.

**ANEXO 3 - Índices de Estado Trófico Modificado de Carlson (IET_m)
para os Tributários e Pontos do Reservatório de São Simão.**

Tabela A.3.1 - Índices de Estado Trófico para os Tributários do Reservatório de São Simão.

Pontos de Coleta - Tributário	Cód.	Data	IET PT	IET PS	IET CHL	ET PT	ET PS	ET CHL
Rio Paranaíba (Jusante)	P00	jan/02	34,48	60,15	33,87	O	E	O
		abr/02	51,96	54,10	#	M	E	O
		jul/02	31,45	43,49	#	O	O	O
		out/02	42,45	32,40	#	O	O	O
		jan/03	18,74	24,10	n.d.	O	O	n.d.
		out/03	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
		jan/04	36,90	32,40	#	O	O	O
Rib. Mateira	P02	jan/02	74,33	57,16	#	H	E	O
		abr/02	52,81	54,88	#	M	E	O
		jul/02	42,45	52,29	#	O	M	O
		out/02	49,50	55,89	#	M	E	O
		jan/03	69,06	53,38	25,45	E	M	O
		out/03	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
		jan/04	46,45	41,95	44,47	M	O	M
Rio Preto	P04	jan/02	80,95	68,44	41,31	H	E	O
		abr/02	53,22	57,56	#	M	E	O
		jul/02	51,42	57,72	#	M	E	O
		out/02	54,92	62,57	#	E	E	O
		jan/03	67,35	55,80	43,95	E	E	O
		out/03	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
		jan/04	51,32	57,87	38,01	M	E	O
Rio São Francisco	P05	jan/02	73,16	67,80	42,23	E	E	O
		abr/02	52,18	49,41	#	M	M	O
		jul/02	42,45	55,62	#	O	E	O
		out/02	49,76	40,98	#	M	O	O
		jan/03	71,49	63,90	42,23	E	E	O
		out/03	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
		jan/04	55,18	57,87	#	E	E	O
Rio Meia Ponte	P11	jan/02	75,21	64,35	#	H	E	O
		abr/02	51,28	56,92	#	M	E	O
		jul/02	47,30	56,33	25,45	M	E	O
		out/02	48,50	21,47	#	M	O	O
		jan/03	62,31	63,90	25,45	E	E	O
		out/03	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
		jan/04	60,44	57,87	41,91	E	E	O
Rios dos Bois	P14	jan/02	77,95	108,84	0,00	H	H	O
		abr/02	42,02	79,94	n.d.	O	H	n.d.
		jul/02	47,34	74,91	0,00	M	H	O
		out/02	13,50	71,86	31,52	O	E	O
		jan/03	42,75	75,98	37,00	O	H	O

**Tabela A.3.1 - Índices de Estado Trófico para os Tributários do Reservatório de São Simão –
Continuação.**

Rio dos Patos	P15	jan/02	69,26	74,00	#	E	H	O
		abr/02	56,31	50,48	39,35	E	M	O
		jul/02	51,15	63,01	#	M	E	O
		out/02	57,36	65,71	#	E	E	O
		jan/03	68,94	78,57	42,23	E	H	O
		out/03	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
		jan/04	55,91	70,22	42,23	E	E	O
Rio da Prata	P16	jan/02	63,91	n.d	n.d.	E	n.d.	n.d.
		abr/02	48,62	57,56	#	M	E	O
		jul/02	45,35	46,50	#	M	M	O
		out/02 (antes chuva)	48,50	35,98	#	M	O	O
		out/02(após chuva)	60,07	66,41	n.d.	E	E	n.d.
		jan/03	46,81	47,95	42,23	M	M	O
		out/03	n.d.	n.d	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
jan/04	62,39	56,67	#	E	E	O		
Rio Tijuco	P17	jan/02	53,02	n.d	n.d.	M	n.d.	n.d.
		abr/02	53,81	49,41	#	M	M	O
		jul/02	48,74	50,22	#	M	M	O
		out/02	49,01	32,40	#	M	O	O
		jan/03	36,45	50,22	43,95	O	M	O
		out/03	n.d.	n.d	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
		jan/04	63,16	53,07	#	E	M	O

Fonte: Elaboração Própria.

Tabela A.3.2 - Índices de Estado Trófico (IET) para os Pontos do Reservatório de São Simão.

Reservatório	Cód.	Data	IET PT	IET PS	IET CHL	IET DS	ET PT	ET PS	ET CHL	ET DS
Barragem	C02	jan/02	30,78	49,41	77,15	43,99	O	M	H	O
		abr/02	34,59	52,40	#	31,13	O	M	O	O
		jul/02	32,69	43,49	#	29,72	O	O	O	O
		out/02	40,30	21,47	#	38,14	O	O	O	O
		jan/03	15,60	27,64	37,11	40,77	O	O	O	O
		out/03	25,00	#	37,00	29,07	O	O	O	O
		fev/04	41,96	14,10	#	43,99	O	O		O
Eixo Central com Braço Rio Alegre	C05	jan/02	42,69	49,41	58,18	53,99	O	M	E	M
		abr/02	38,18	45,62	#	38,75	O	M	O	O
		jul/02	33,73	34,10	#	30,77	O	O	O	O
		out/02	37,25	21,47	#	40,06	O	O	O	O
		jan/03	n.d.	#	#	44,92	n.d.	O	O	M
		out/03	42,21	35,26	#	27,55	O	O	O	O
		fev/04	26,36	12,40	37,00	50,77	O	O	O	M
Eixo Central com Braço Rio São Francisco	C07	jan/02	49,94	57,16	62,22	55,91	M	E	E	E
		abr/02	38,18	52,40	#	49,39	O	M	O	M
		jul/02	31,71	39,41	#	31,13	O	O	O	O
		out/02	37,77	59,89	#	35,91	O	E	O	O
		jan/03	33,73	40,22	#	50,77	O	O	O	M
		out/03	31,58	46,67	25,45	30,77	O	M	O	O
		fev/04	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Ponte Rio dos Bois	C08	jan/02	51,38	55,80	40,42		M	E	O	n.d.
		abr/02	48,18	47,00	28,33		M	M	O	n.d.
		jul/02	33,39	39,41	#		O	O	O	n.d.
		out/02	44,95	21,47	n.d.		M	O	n.d.	n.d.
		jan/03	56,17	54,98	26,99		E	E	O	n.d.
		out/03	38,18	31,95	#		O	O	O	n.d.
		fev/04	52,66	46,50	42,23		M	M	O	n.d.
Balsa braço Tijuco/Prata (Ipiaçú)	C09	jan/02	64,19	n.d.	79,92		E	n.d.	H	n.d.
		abr/02	41,71	50,48	49,18		O	M	M	n.d.
		jul/02	34,27	39,41	#		O	O	O	n.d.
		out/02	39,80	31,47	#		O	O	O	n.d.
		jan/03	43,50	57,08	42,23		O	E	O	n.d.
		out/03	28,10	43,70	#		O	O	O	n.d.
		fev/04	45,74	35,26	67,33		M	O	E	n.d.
Balsa Cach. Dourada (Rio Paranaíba)	C13	jan/02	30,78	50,48	#		O	M	O	n.d.
		abr/02	51,96	49,41	#		M	M	O	n.d.
		jul/02	37,34	41,71	29,51		O	O	O	n.d.
		out/02	44,27	21,47	#		M	O	O	n.d.
		jan/03	29,35	#	#		O	O	O	n.d.
		out/03	42,69	46,67	#		O	M	O	n.d.
		fev/04	39,35	14,10	39,35		O	O	O	n.d.

Fonte: Elaboração Própria.