

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
Centro de Ciências Biológicas e da Saúde
Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais

*Indicadores da qualidade da bacia hidrográfica para
gestão integrada dos recursos hídricos. Estudo de caso:
Bacia hidrográfica do Médio Tocantins (TO)*

José Eduardo Matsumura Tundisi

Orientador: Profa. Dra. Odete Rocha

SÃO CARLOS – SP
- 2006 -

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
Centro de Ciências Biológicas e da Saúde
Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais

*Indicadores da qualidade da bacia hidrográfica para
gestão integrada dos recursos hídricos. Estudo de caso:
Bacia hidrográfica do Médio Tocantins (TO)*

José Eduardo Matsumura Tundisi

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de São Carlos como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências Biológicas, área de concentração Ecologia e Recursos Naturais

Orientador: Profa. Dra. Odete Rocha

SÃO CARLOS – SP
- 2006 -

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária/UFSCar**

T926iq

Tundisi, José Eduardo Matsumura.

Indicadores da qualidade da bacia hidrográfica para
gestão integrada dos recursos hídricos. Estudo de caso:
Bacia hidrográfica do Médio Tocantins (TO) / José Eduardo
Matsumura Tundisi. -- São Carlos : UFSCar, 2006.
152 p.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal de São Carlos,
2006.

1. Ecologia aquática. 2. Água - qualidade. 3. Limnologia.
4. Bacias hidrográficas. 5. Indicadores de qualidade. I.
Título.

CDD: 574.5263 (20^a)

Para fazer **mudanças**

Não é preciso buscar novas paisagens

Basta apenas olhar com

novos olhos.

Marcel Proust

Aos meus pais

Um exemplo

À esposa e aos filhos
Victor Hugo e Maria Eduarda

Agradecimentos

Este trabalho é resultado de um estudo completo sobre os conhecimentos necessários para a elaboração de um PLANO DE CONSERVAÇÃO E GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS, considerando o caso específico do reservatório UHE Luiz Eduardo Magalhães em Tocantins. O estudo envolveu obviamente um custo alto o qual foi financiado pelo CNPq (Processo 680277/01-3 “Gerenciamento e utilização dos usos múltiplos do reservatório da UHE Luis Eduardo Magalhães (Tocantins)”); FINEP/CTHIDRO (Processo: 381658/2002-3 “Estudo comparado da Represa Luis Eduardo Magalhães (TO) e Barra Bonita (SP), com a finalidade de desenvolver modelos de gestão de recursos hídricos”; FAPESP (Programa PIPE Processo: 00/007379-5 “Desenvolvimento de sistemas de suporte à decisão no gerenciamento de reservatórios de abastecimento público e hidroelétricas”). À todas essas instituições que nos deram o apoio financeiro, os nossos sinceros agradecimentos.

À Professora Dra Odete Rocha, orientadora que me estimulou constantemente no desenvolvimento do trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de São Carlos.

Aos especialistas Dr. Roberto Fioravante Carelli Freitas em modelos hidrodinâmicos e Dr. Sven Jørgensen em Modelagem matemática ecológica (Exergia) que contribuíram para o desenvolvimento dos modelos e permitiram seus usos nesta tese.

Aos Professores Dr. José Galizia Tundisi e Dra. Takako Matsumura-Tundisi que me conduziram na área de recursos hídricos.

Aos meus colegas e amigos do Instituto Internacional de Ecologia e do Laboratório de Limnologia da INVESTCO, Donato S. Abe, Francis Shinohara, (desenvolvimento de banco de dados), Denise Helena Araújo, Deyves Elias Grimberg, Fernando de Paula Blanco, Nestor Freitas Manzini, Sarita Moura, Eduardo Frollini, Anna Paula Luzia, Annelise Kapper Marques (análise do fitoplâncton) Florilda Vieira da Silva e Vera L.Reis-Pereira.

Ao amigo Rogério Flávio Pessa.

E todos aqueles que contribuíram de maneira direta e indireta para o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

O presente trabalho teve como propósito diagnosticar as condições da bacia hidrográfica do Médio Tocantins onde foi construída a Usina hidrelétrica Luiz Eduardo Magalhães ou represa do Lajeado, recentemente entrou em operação em 2002, a qualidade da água tanto da represa como dos seus afluentes e apontar os indicadores que condicionam a qualidade da bacia hidrográfica e que podem influir tanto na qualidade como na quantidade dos recursos hídricos, servindo de ferramenta para o gerenciamento integrado da bacia e dos sistemas hídricos. A bacia do médio Rio Tocantins é composta de 13 sub-bacias. Foram selecionadas 4 sub-bacias: sendo, duas de alto impacto por atividades humanas (sub bacias do Ribeirão da Água Fria e do Córrego São João) e duas de baixo impacto (sub bacias do Rio Lajeado e do Ribeirão São João). A qualidade das sub bacias foi avaliada por meio da *condição* e da *vulnerabilidade* da bacia hidrográfica. Para caracterizar a *condição* da bacia foi utilizado como indicador o seu estado de conservação (percentual de áreas de vegetação primitiva, áreas de culturas, urbanização, preservação de áreas alagadas). Análise limnológica química, física e biológica das águas do reservatório em escala de tempo real e estacional foi realizada a fim de verificar a dinâmica do sistema. Foi investigada também a hidrodinâmica ou seja a circulação das massas de água do reservatório e o processo de eutrofização aplicando modelos matemáticos e índice de estado trófico. Os resultados revelam que das quatro sub bacias analisadas, as duas fortemente impactadas (Ribeirão da Água Fria e Córrego São João) apresentam maior percentual de áreas ocupadas pela atividade humana, (56% a 61%) contra 36% a 41% de áreas de vegetação primitiva e preservação de áreas alagadas. Por outro lado as duas sub-bacias pouco impactadas (Ribeirão do Lajeado e Ribeirão do São João) apresentaram um percentual inverso: 54 a 56% de áreas de vegetação primitiva e preservação de áreas alagadas e 41 a 44% de áreas ocupadas por atividades humanas. A expansão demográfica constitui-se no principal indicador da redução da qualidade da bacia e conseqüente aumento do processo de eutrofização. A qualidade de água do reservatório na sua intensidade pode ser considerada boa de acordo com base nos dados limnológicos analisados sendo seu estado trófico caracterizado por uma oligotrofia com tendência à mesotrofia (estado de transição entre oligotrofia e mesotrofia). A bacia do Médio Tocantins ainda é uma bacia ainda pouco explorada por atividades humanas, porém se não houver um plano bem elaborado de conservação e de gestão ambiental e dos seus recursos

hídricos, em pouco tempo poderá sofrer uma degradação ambiental e dos seus recursos hídricos de forma irreversível, como tem sido observado em muitas outras bacias hidrográficas de outros Estados do Brasil.

Com base na análise dos dados da dinâmica do reservatório (circulação vertical e horizontal) e de suas relações com as bacias hidrográficas, desenvolveu-se um plano de gerenciamento enfatizando análises de risco, eutrofização e transporte de sedimentos. Finalmente foi proposto um projeto de zoneamento ambiental na tentativa de embasar-se e com a possibilidade de tornar-se permanente ao gerenciamento da bacia.

Palavras chaves: indicadores de qualidade de bacias hidrográficas, limnologia, qualidade da água, hidrodinâmica, gerenciamento integrado, plano de preservação.

ABSTRACT

In this thesis a diagnosis of the conditions the watershed of the Middle Tocantins river was carried out with the objective to develop a management plan for the area of influence of the reservoir of the hydroelectric power plant, Luiz Eduardo Magalhães.

The power plant started its operation in 2002. The diagnosis of the water quality of the reservoir and its tributaries was made with the objective to understand the relationships quality of the watershed / water quality as a response of impacts and conservation areas. The Middle Tocantins watershed has 13 sub-basins. In this work 4 sub-basins were selected, two heavily impacted (Ribeirão da Água Fria e Córrego São João) and two with low impacts (Rio Lajeado and Ribeirão São João).

The quality of the sub-basins was obtained evaluating the condition and vulnerability of the watershed.

To characterize the **watershed condition** the indicator used was the state of conservation (percentage of original vegetation cover, agricultural areas, urbanization, wetlands preserved).

Limnological, physical, chemical and biological analysis of the reservoir, both in short periods of time with real time monitoring and seasonally was performed in order to analyses the dynamics of the system and its response to external and internal inputs.

Hydrodynamics of the reservoir was analyzed in order to understand processes of vertical and horizontal circulation and their interaction with the eutrophication of the reservoir. Nutrient enrichment due to agricultural and urban wastes is one of the main problems of the degradation of water quality.

The results show that from the four sub-basins analyzed, the two heavily impacted, Ribeirão da Água Fria and Córrego São João, have the greatest percentage of areas of human activity (56-61%) with 36-41% of preserved original vegetation and wetlands.

The two less impacted watersheds, (Ribeirão do Lajeado e Ribeirão São João) presented another percentage: 54-56% of preserved areas and 41-44% of impacted areas.

Demographic expansion, urbanization and intensive soil use is the main cause of the increase of eutrophication of the reservoir. The trophic state index applied to the reservoir showed that its trophic states ranges from oligotrophy to mesotrophy. This could be probably due to the short

retention time of the reservoir (25 days) and the less intensive use and occupation of the watersheds.

A management plan was prepared considering the risk areas and the environmental zoning altogether with the reservoir dynamics. The aim of this plan (risk analysis for eutrophication and sediment transport and input) is to provide a tool for decision makers to develop a process of integrated, predictive and the watershed level of management in order to optimize multiple uses.

Key words : watershed quality, indicators, limnology of reservoir , water quality, water resources management, conservation planning.

SUMÁRIO

Introdução	23
1. A bacia hidrográfica como unidade de estudo ecológico, e de gestão territorial e ambiental.....	23
2. Limitações na utilização da abordagem de bacias hidrográficas para pesquisa e desenvolvimento.....	27
Objetivos	31
1 Hipótese : <i>A qualidade de água dos sistemas hídricos está relacionada com a qualidade da bacia hidrográfica (uso e ocupação do solo)</i>	31
2.Objetivos Específicos.....	31
Descrição da Área de Estudo	32
Material e Métodos	40
1. Análise da qualidade das sub bacias: a) fortemente impactadas: sub bacias do Ribeirão da Água Fria e do Córrego São João. b) pouco impactadas: sub bacias do Ribeirão do Lajeado e Ribeirão do São João.....	40
2. Análise limnológica do reservatório UHE Luiz Eduardo Magalhães.....	41
3. Análise limnológica em tempo real.....	43
4. Hidrodinâmica do reservatório.....	45
5. Índice do estado trófico de Carlson (1977).....	45
Resultados:	49
1. Avaliação da bacia Hidrográfica do Médio Tocantins através das análises das sub bacias com maiores e menores atividades antrópicas.....	49
2. Limnologia e qualidade da água do reservatório da UHE Luiz Eduardo Magalhães (Represa do Lajeado).....	56
3. Dinâmica das variáveis limnológicas em tempo real.....	91
4. Hidrodinâmica do reservatório:principais características.....	99

5. Uso de índice e de modelagem matemática e ecológica para predição da qualidade água da Represa do Lajeado – Modelo de Eutrofização PAMOLARE....	108
Discussão	113
1. Indicadores da qualidade da bacia hidrográfica.....	113
2. Circulação das massas de água e heterogeneidade espacial da qualidade da água do reservatório.....	117
3. Interação entre a qualidade da bacia hidrográfica e a qualidade da água do reservatório.....	121
Gestão Integrada e Preditiva	127
1 Zoneamento ambiental do reservatório e seu entorno.....	130
2 Áreas de Risco do Reservatório e seu entorno.....	133
Conclusões	136
Recomendações	138
Referências	144

Lista de Figuras

Fig 1. Mapa das variáveis de uma bacia hidrográfica necessárias para elaboração de modelos matemáticos ecológicos e como base para as atividades de recuperação e gestão integrada (modificado de Hakanson & Peters, 1995).....	29
Fig 2. Mapa da Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins com destaque ao Médio Tocantins entre os paralelos 10° - 11° latitude Sul. (Fonte: Reis-Pereira, 2002).....	35
Fig 3. Sub bacias da bacia do Rio Tocantins. (Fonte: IIE, 2003).....	36
Fig 4 . Plataforma SMATER instalada no reservatório UHE Luiz Eduardo Magalhães (Tocantins).....	44
Fig 5 . Uso e ocupação da sub bacia Ribeirão de Água Fria classificados com base na imagem de Satélite Landsat, 2005.....	49
Fig 6. Distribuição percentual das áreas com vegetação natural e áreas com atividade antrópica.....	50
Fig 7. Uso e ocupação da sub bacia do Córrego São João classificados com base na imagem de Satélite Landsat, 2005.....	51
Fig 8. Percentual de áreas ocupadas por vegetação natural e áreas com desenvolvimento de atividade antrópica na sub bacia do Córrego São João	52
Fig 9. Uso e ocupação da sub bacia do Ribeirão do Lajeado classificados com base na imagem de Satélite Landsat, 2005.....	53

Fig 10. Percentual de áreas ocupadas por vegetação natural e por áreas com desenvolvimento de atividades antrópicas na sub-bacia do Ribeirão do Lajeado.....	54
Fig 11. Uso e ocupação da sub bacia Ribeirão do São João classificados com base na imagem de Satélite Landsat, 2005.....	55
Fig 12. Distribuição percentual de áreas naturais e áreas com atividade antrópica na bacia do Ribeirão do São João.....	56
Fig 13. Localização dos pontos de amostragem para o estudo limnológico da UHE Luiz Eduardo Magalhães (Tocantins).....	57
Fig 14. Flutuação das profundidades dos pontos localizados no canal da represa R1,R3, R5 e nas margens (L9, L14, L19 e L22), da represa de Lajeado, TO, durante o período de março de 2002 a junho de 2003.....	59
Fig 15. Variação da temperatura da água (superfície e fundo) durante o período de março/2002 a junho/2003, nos pontos R3,R5 e R1 (canal da represa) e L14, L22, L9 e L19 que correspondem respectivamente à desembocadura de Ribeirão de Água Fria, Córrego São João, Ribeirão do Lajeado e Ribeirão do São João.....	62
Fig 16. Variação do oxigênio dissolvido (superfície e fundo) durante o período de março/2002 a junho/2003, nos pontos R3,R5 e R1 (canal da represa) e em L14, L22, L9 e L19 que correspondem respectivamente à desembocadura de Ribeirão de Água Fria, Córrego São João, Ribeirão do Lajeado e Ribeirão do São João, na represa do Lajeado, TO.....	64
Fig 17. Variação de pH (superfície e fundo) durante o periodo de março/2002 a junho/2003, nos pontos R3,R5 e R1 (canal da represa) e em L14, L22, L9 e L19 que correspondem respectivamente à desembocadura de Ribeirão de Água Fria, Córrego São João, Ribeirão do Lajeado e Ribeirão do São João.....	66

- Fig 18. Variação da condutividade (superfície e fundo) durante o período de março/2002 a junho/2003, nos pontos R3,R5 e R1 (canal da represa) e em L14, L22, L9 e L19 que correspondem respectivamente à desembocadura de Ribeirão de Água Fria, Córrego São João, Ribeirão do Lajeado e Ribeirão do São João.....68
- Fig 19. Variação do potencial redox (superfície e fundo) durante o período de março/2002 a junho/2003, nos pontos R3,R5 e R1 (canal da represa) e em L14, L22, L9 e L19 que correspondem respectivamente à desembocadura de Ribeirão de Água Fria, Córrego São João, Ribeirão do Lajeado e Ribeirão do São João.....70
- Fig 20. Variação da concentração de nitrato (superfície e fundo) durante o período de março/2002 a junho/2003, nos pontos R3,R5 e R1 (canal da represa) e em L14, L22, L9 e L19 que correspondem respectivamente à desembocadura de Ribeirão de Água Fria, Córrego São João, Ribeirão do Lajeado e Ribeirão do São João.....72
- Fig 21. Variação da concentração de amônio (superfície e fundo) durante o período de março/2002 a junho/2003, nos pontos R3,R5 e R1 (canal da represa) e em L14, L22, L9 e L19 que correspondem respectivamente à desembocadura de Ribeirão de Água Fria, Córrego São João, Ribeirão do Lajeado e Ribeirão do São João.....74
- Fig 22. Variação da concentração de Fósforo total (superfície e fundo) durante o período de março/2002 a junho/2003, nos pontos R3,R5 e R1 (canal da represa) e em L14, L22, L9 e L19 que correspondem respectivamente à desembocadura de Ribeirão de Água Fria, Córrego São João, Ribeirão do Lajeado e Ribeirão do São João.....76
- Fig 23. Variação da concentração de Nitrogênio total (superfície e fundo) durante o período de março/2002 a junho/2003, nos pontos R3,R5 e R1 (canal da represa) e em L14, L22, L9 e L19 que correspondem respectivamente à desembocadura de Ribeirão de Água Fria, Córrego São João, Ribeirão do Lajeado e Ribeirão do São João.....78

Fig 24. Variação da concentração de coliformes totais (superfície e fundo) durante o período e março/2002 a junho/2003, nos pontos R3,R5 e R1 (canal da represa) e em L14, L22, L9 e L19 que correspondem respectivamente à desembocadura de Ribeirão de Água Fria, Córrego São João, Ribeirão do Lajeado e Ribeirão do São João.....	80
Fig 25. Flutuação da concentração de coliformes fecais nos pontos L14 e L22.....	81
Fig 26. Variação da concentração de clorofila (superfície) durante o período de março/2002 a junho/2003, nos pontos R3,R5 e R1 (canal da represa) e em L14, L22, L9 e L19 que correspondem respectivamente à desembocadura de Ribeirão de Água Fria, Córrego São João, Ribeirão do Lajeado e Ribeirão do São João.....	83
Fig 27. Abundância relativa dos principais grupos fitoplanctônicos no ponto L9 (desembocadura do Ribeirão Lajeado), na Represa do Lajeado, TO, em junho de 2003.....	84
Fig 28. Abundância relativa dos principais grupos fitoplanctônicos no ponto R1 (canal da represa sob a influência do Ribeirão do Lajeado), na Represa do Lajeado, TO, em junho de 2003.....	85
Fig 29. Abundância relativa dos principais grupos fitoplanctônicos no ponto R3 (canal da represa sob a influência do Ribeirão da Água Fria), na Represa do Lajeado, TO, em junho de 2003.....	85
Fig 30. Abundância relativa dos principais grupos fitoplanctônicos no ponto R5 (canal da represa sob a influenciado Córrego São João), na Represa do Lajeado, TO, em junho de 2003.....	86
Fig 31. Abundância relativa dos principais grupos fitoplanctônicos no ponto L19. (desembocadura do Ribeirão do São João), na Represa do Lajeado, TO, em junho de 2003.....	86

Fig 32. Abundância relativa dos grupos de zooplâncton no ponto R1 do reservatório do Lajeado, TO, em junho de 2003.....	87
Fig 33. Abundância relativa dos grupos de zooplâncton no ponto R3 do reservatório do Lajeado, TO, em junho de 2003.....	88
Fig 34. Abundância relativa dos grupos de zooplâncton no ponto R5 do reservatório do Lajeado, TO, em junho de 2003.....	88
Fig 35. Abundância relativa dos grupos de zooplâncton no ponto L9 (desembocadura do Ribeirão do Lajeado), do reservatório do Lajeado, TO, em junho de 2003.....	89
Fig 36. Abundância relativa dos grupos de zooplâncton no ponto L14 (desembocadura do Ribeirão da Água Fria), do reservatório do Lajeado, TO, em junho de 2003.....	89
Fig 37. Abundância relativa dos grupos de zooplâncton no ponto L19 (desembocadura do Ribeirão do São João), do reservatório do Lajeado, TO, em junho de 2003.....	90
Fig 38. Abundância relativa dos grupos de zooplâncton no ponto L22 (desembocadura do Córrego São João), do reservatório do Lajeado, TO, em junho de 2003.....	90
Fig 39. Variações de temperatura do ar, umidade relativa, velocidade e direção do vento, radiação solar e radiação média registradas na estação climatológica acoplada na plataforma SMATER instalada no reservatório UHE Luiz Eduardo Magalhães (TO).....	94
Fig 40. Variações de temperatura da água e do oxigênio dissolvido durante o período de 08 a 14 de agosto de 2002 no reservatório UHE Luiz Eduardo Magalhães (Tocantins).....	95

Fig 41. Variações de concentração de clorofila <i>a</i> e de turbidez registradas durante o período de 08 a 14 de agosto de 2006 na plataforma SMATER instalada no reservatório Luiz Eduardo Magalhães (Tocantins).....	96
Fig 42. Variações de pH e de condutividade registradas durante o período de 08 a 14 de agosto de 2006 na plataforma SMATER instalada no reservatório Luiz Eduardo Magalhães (Tocantins).....	97
Fig 43. Variações de potencial redox e sólidos totais dissolvidos registradas durante o período de 08 a 14 de agosto de 2006 na plataforma SMATER instalada no reservatório Luiz Eduardo Magalhães (Tocantins).....	98
Fig 44. Fluxo na camada superficial (em m ³ /s), na região de Palmas, novembro de 2002. (Fonte: Carelli Fontes et al, 2003).....	102
Fig 45. Representação da circulação superficial mais próxima à barragem, reservatório de Lajeado, TO, no verão de 2002. Os vetores estão representados em cores para propósito de melhor visualização (Fonte: Carelli Fontes et al, 2003).....	103
Fig 46. Representação da circulação superficial na faixa onde desemboca Ribeirão da Água Fria, reservatório de Lajeado, TO, no verão de 2002. Os vetores estão representados em cores para propósito de melhor visualização (Fonte: Careli Fontes et al, 2003)..	104
Fig 47. Representação da circulação superficial na região da desembocadura do Ribeirão do São João, reservatório de Lajeado, TO, no verão de 2002. Os vetores estão representados em cores para propósito de melhor visualização (Fonte: Carelli Fontes et al, 2003).....	105

Fig 48. Representação da circulação superficial na faixa correspondente à desembocadura do Córrego São João, reservatório de Lajeado, TO, no verão de 2002. Os vetores estão representados em cores para propósito de melhor visualização (Fonte: Carelli Fontes et al., 2003).....	106
Fig 49. Valores médios do índice do estado trófico obtido nos 7 pontos de amostragem do reservatório Lajeado, TO, no período de março de 2002 a junho de 2003, com base na variável concentração de Fósforo total . Faixa ultraoligotrófica (1); faixa oligotrófica (2); faixa mesotrófica (3); faixa eutrófica (4) e faixa hipereutrófica (5).....	108
Fig 50. Resultados do modelo de exergia do Programa Pamolare 3.0 aplicado na represa de Lajeado, Estado do Tocantins. O gráfico mostra os dados de nitrogênio dissolvido observados (em azul) e simulados no epilímnio (vermelho) e hipolímnio (verde). Dia 1 = 15 de Setembro de 2001; dia 145 = 07 de Fevereiro de 2002.....	109
Fig 51. Resultados do modelo de exergia obtidos pela aplicação do Programa Pamolare 3.0 aos dados da represa de Lajeado, Estado do Tocantins.....	111
Fig 52. Resultados do modelo de exergia obtidos com a aplicação do Programa Pamolare 3.0, na represa de Lajeado, Estado do Tocantins. O gráfico mostra os dados da biomassa do fitoplâncton observados (em azul) e os simulados par o epilímnio (vermelho) e hipolímnio (verde). Dia 1 = 15 de setembro de 2001; dia 145 = 07 de fevereiro de 2002.....	111
Fig 53. Resultados do modelo de exergia obtidos com a aplicação do Programa Pamolare 3.0 aos dados da represa de Lajeado, Estado do Tocantins. O gráfico mostra os dados da biomassa do zooplâncton observados (em azul) e os simulados para o epilímnio (vermelho) e hipolímnio (verde). Dia 1 = 15 de setembro de 2001; dia 145 = 07 de fevereiro de 2002.....	112

Fig 54. Gráfico de exergia resultante do modelo de eutrofização do Programa Pamolare 3.0 aplicado na Represa de Lajeado, Estado do Tocantins.....	112
Fig 55. Principais características da circulação horizontal da UHE Luís Eduardo Magalhães em diferentes regiões do reservatório.....	119
Fig 56. Características do zoneamento ambiental do reservatório e seu entorno.....	132
Fig 57. Caracterização das áreas de risco do reservatório UHE Luiz Eduardo Magalhães e do seu entorno.....	134

Lista de tabelas

- Tabela 1. Região Norte: taxas de crescimento demográfico e grau de urbanização nas datas dos recenseamentos gerais, por Unidades da Federação.....37
- Tabela 2 . Numero aproximado de gens não repetitivos e a quantidade Exergia correspondente (retirado do Jørgensen,1999).....47
- Tabela 3. Abundância relativa (%) dos principais grupos taxonômicos do fitoplâncton nos pontos R1, R3, R5, L9 e L19 do reservatório de Lajeado, TO, em junho de 2003.....84

Introdução

1. A bacia hidrográfica como unidade de estudo ecológico, e de gestão e planejamento territorial e ambiental

A preocupação mundial com os problemas de deterioração dos sistemas aquáticos tem conduzido, pesquisadores e administradores de muitos países a buscar encontrar soluções rápidas de controle e de preservação desse ecossistema, essenciais para a existência de vida. A primeira ação Federal nos Estados Unidos sobre o Controle da Poluição aquática conhecida popularmente por “**Ação Água Limpa**”, iniciou-se no 92º Congresso realizado de lá para cá, e de lá para cá houve um progresso considerável no sentido de manter a **Água Limpa** para o abastecimento. Porém, esse progresso deve ser visto também levando-se em consideração o rápido crescimento econômico e populacional que ocorreu nesse período. Para manter um equilíbrio entre o progresso nas ações de **Água Limpa** e o crescimento econômico e populacional há necessidade de aumentar a nossa capacidade de identificar as áreas onde existem problemas de qualidade de água e elaborar programas que possam solucionar as causas desses problemas, os quais diferem de lugar para lugar. Assim, uma das propostas sugeridas foi o desenvolvimento novas ferramentas para a descrição da saúde dos sistemas aquáticos na base da bacia hidrográfica, o que foi feito pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) em 1997, (The Index of Watershed Indicators).

Recentemente, o desenvolvimento econômico em muitas regiões do Brasil tem sido estimulado pelo aumento na disponibilidade de energia. A construção de barragens para geração de energia elétrica nas três principais hidrográficas brasileiras, a Bacia do Rio Amazonas, a Bacia do Rio da Prata e a Bacia do São Francisco e o conseqüente acúmulo de grandes volumes de água acarretam diversos impactos, tanto positivos como negativos. Diversos aspectos dos impactos decorrentes de empreendimentos hidroelétricos foram avaliados qualitativa e quantitativamente (Straskraba & Tundisi, 1999; Straskraba & Tundisi, 2000; Tundisi, 2003a,b).

Em virtude da grande disponibilidade hídrica do Brasil, a reserva total de águas doces no Brasil representa 53% daquela existente no continente sul-americano, avaliada em 334.000m³/s.

Segundo Rebouças et al (1999), a geração de energia elétrica tem sido fundamentalmente hídrica. Cerca de 85% da energia produzida no Brasil, é proveniente de geração de energia hidroelétrica. Como até o momento apenas cerca de 30% do potencial disponível foi utilizado, tem havido a construção de grande número de usinas hidroelétricas.

Segundo os dados de Kelman et al (1999), no Brasil existem cerca de 75 usinas hidroelétricas, a grande maioria concentrada nas regiões Sul e Sudeste. A construção de uma usina hidroelétrica numa determinada bacia hidrográfica, além da geração de energia elétrica, constitui um centro de atração para o desenvolvimento de inúmeras outras atividades econômicas, tais como aquelas relacionadas com recreação, turismo, navegação, irrigação, agronegócio, pesca, piscicultura e aqüicultura.

Por outro lado, dependendo do tipo de uso e ocupação da bacia hidrográfica, podem ser gerados impactos negativos ao ambiente, particularmente aos sistemas hídricos, podendo vir a comprometer a qualidade da água do reservatório e colocando em risco as próprias atividades econômicas implementadas na bacia, ou outras dependentes da água (Tundisi, 1986b).

Portanto, de importância fundamental, a análise e o monitoramento da qualidade das bacias hidrográficas, não só para a preservação das funções dos ecossistemas como também para a compreensão das características e avaliação da qualidade da água de um reservatório inserido em uma bacia particular. A informação sobre o grau de integridade da bacia, e a relação entre as atividades antrópicas e a qualidade dos sistemas hídricos são imprescindíveis para o

gerenciamento adequado, permitindo a integração dos usos e ocupação da bacia com a manutenção da qualidade / quantidade de água na mesma.

Rios, lagos e reservatórios constituem os coletores de todos os eventos que ocorrem numa bacia hidrográfica, sejam por processos naturais ou antropogênicas, tais como, erosão, mineração, desmatamento, uso do solo para agricultura, pastagem, instalação de indústrias. Nesse processo, tanto a qualidade como a quantidade de água desses corpos hídricos, são afetadas respondendo aos problemas decorrentes do uso da bacia.

A bacia hidrográfica é uma unidade física com fronteiras delimitadas e é um sistema hidrológicamente integrado com componentes interativos e sub-sistemas. Os componentes interativos que asseguram a qualidade de uma bacia hidrográfica destacam-se:

1. Definições
2. Categorias
3. Hierarquias

Como pode ser utilizada a abordagem de bacias hidrográficas, para caracterizar, conservar e recuperar ecossistemas? A bacia hidrográfica, unidade natural estudada principalmente por Likens (2001) e colaboradores estabelece uma fronteira útil e funcional com escalas que podem ser determinadas pelo pesquisador, gestores de recursos hídricos e planejadores. Idealmente, segundo Likens e Borman (1972, 1985) e Likens (1985, 1992), as fronteiras da bacia hidrográfica deveriam representar o plano no qual ocorrem alterações de curta duração. A bacia hidrográfica envolve componentes estruturais e funcionais, processos biogeofísicos, econômicos e sociais (Tundisi, 2003b), e, portanto, é a unidade ideal para integrar esforços de pesquisa e propostas de gerenciamento.

Além disto, é possível integrar nas propostas de pesquisa com bacias hidrográficas a mensuração dos impactos e a quantificação de processos. Esta quantificação pode levar ao estabelecimento de indicadores de qualidade da bacia hidrográfica que permitam através do banco de dados estabelecido, promover ações de gerenciamento (Likens, 2001).

De acordo com Revenga et al (1998) a avaliação da qualidade da bacia hidrográfica pode fornecer um indicador fundamental para a identificação da *condição* e da *vulnerabilidade* das bacias hidrográficas constituindo uma ferramenta importante para a gestão e o planejamento destas unidades biogeofísicas. Os seguintes indicadores são geralmente utilizados para caracterizar a *condição*:

1. Estado de conservação da bacia (percentual de áreas de vegetação primitiva, áreas de culturas, urbanização, preservação de áreas alagadas);
2. Estado de preservação dos rios – qualidade das água dos mananciais, contaminação por poluentes tóxicos e poluentes convencionais;
3. Diversidade e estado de contaminação da biota.

Para caracterizar a *vulnerabilidade* da bacia são utilizados os seguintes indicadores:

1. Espécies aquáticas em risco;
2. Carga de poluentes tóxicos;
3. Carga de poluentes convencionais, especialmente N e P;
4. Potencial de drenagem urbana;
5. Potencial de drenagem agrícola

A organização de modelos de bacias hidrográficas, e também modelos que possam estimar a contribuição das bacias hidrográficas para os corpos de água (rios, riachos, áreas alagadas, represas, lagos) é fundamental na representação das bacias hidrográficas e dos mecanismos de funcionamento, possibilitando o estabelecimento dos diferentes componentes e suas inter relações. De particular importância, é, estudar a implantação de modelos de predição da qualidade da água nos diferentes componentes das águas superficiais com a finalidade de antecipar impactos especialmente relacionados com a eutrofização e seu papel na deterioração dos sistemas aquáticos continentais. Estes modelos são, portanto, uma ferramenta fundamental para a gestão dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica, especialmente das inter relações, uso e ocupação do solo com a qualidade da água. Estes modelos também permitem aperfeiçoar os indicadores de qualidade da bacia hidrográfica.

2. Limitações na utilização da abordagem de bacias hidrográficas para pesquisa e gerenciamento.

A abordagem de bacias hidrográficas já foi utilizada com bastante sucesso em muitas regiões do planeta em todos os continentes e em áreas úmidas, áridas e semi-áridas (Likens, 2001; UNEP, 2003). Uma das dificuldades sempre apontadas é a obtenção de dados confiáveis e a montagem de um banco de dados que possibilite avaliações relativamente precisas sobre o estado de conservação da bacia hidrográfica, efeitos de impactos e suas previsões. Outra finalidade é a integração dos banco de dados, por exemplo, dos usos do solo e da qualidade das águas, e na quantificação dos fluxos dos diversos elementos, e das respostas dos sistemas aquáticos aos impactos. Portanto, as relações causa-efeito devem ser consideradas, embora exista uma grande dificuldade em quantificá-las com eficiência.

Entretanto, mesmo considerando-se estas dificuldades, uma primeira aproximação possibilita já o delineamento de diversos componentes e suas inter relações o que vai estabelecendo um procedimento para aprofundar a pesquisa e implantar o gerenciamento. A **transferência** deste conhecimento para a aplicação é outra dificuldade bastante conhecida e discutida. Esta transferência implica não só na **capacitação** de gestores para entender o problema, mas na **organização** de processos de educação e informação para o grande público.

A pesquisa apresentada nessa tese deve ser reconhecida como um primeiro esforço no sentido de caracterizar um conjunto de indicadores da bacia hidrográfica do médio Tocantins, especialmente na área de influência da UHE – Lajeado Luis Eduardo Magalhães. Esta pesquisa pretende estabelecer as bases conceituais que contribuirão para futuros progressos no conhecimento do ecossistema regional (bacia hidrográfica + represa) com reflexos na gestão destes ecossistemas. Portanto, além dos resultados obtidos no campo e no laboratório, com estes ecossistemas, deve-se considerar a contribuição para a gestão integrada, sistema e para o desenvolvimento sustentável regional.

A Figura 1 modificada de Hakanson & Peters (1995) mostra a seqüência de estudos, séries de dados e banco de dados necessários ao conhecimento dos sistemas e à sua gestão. Esta

tese não abordou todos os problemas enumerados nesta figura, mas provavelmente poderá contribuir para os módulos 1, 2, 3, 5, 6 e 7 como base para um futuro processo de gestão preditiva e integrada.

ESTÁGIOS DO DIAGNÓSTICO E GESTÃO

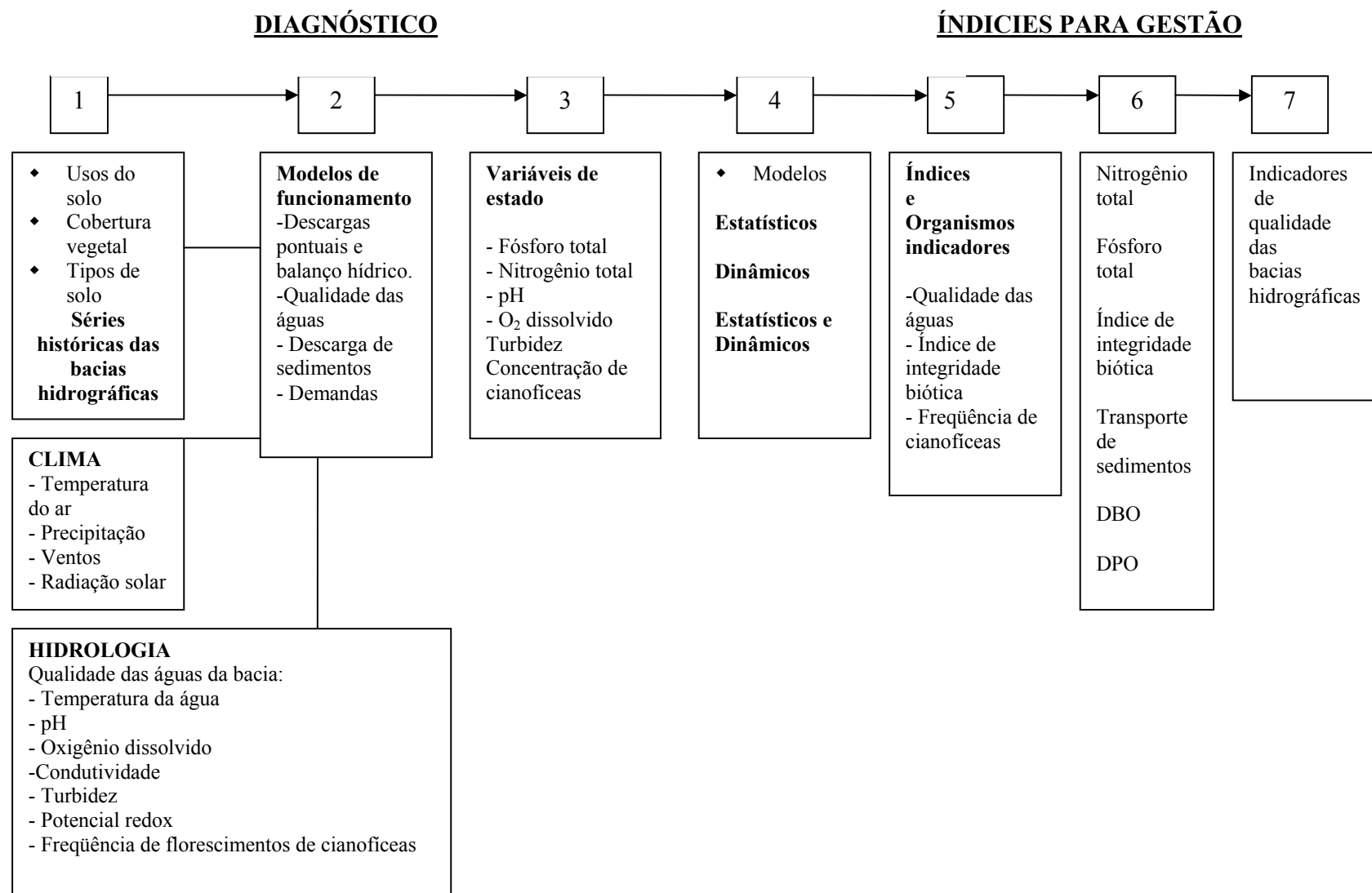


Fig 1. Fluxograma das variáveis de uma bacia hidrográfica necessárias para elaboração de modelos matemáticos ecológicos e como base para as atividades de recuperação e gestão integrada (modificado de Hakanson & Peters, 1995)

Na bacia do Rio Tocantins, estão sendo implantados sete reservatórios de grande porte os quais deverão promover um enorme conjunto de alterações no ecossistema regional, e, por outro lado, desencadearão inúmeros e complexos processos de desenvolvimento baseados na produção de energia elétrica, usos de água para irrigação, navegação, pesca e aquacultura. Portanto, o estudo de **uma** das bacias da área de influência da UHE Lajeado – Luis Eduardo Magalhães, tem a finalidade de estabelecer um conjunto de procedimentos, metodologia e abordagens que poderão ser úteis na futura gestão do conjunto de hidroelétricas e ao mesmo tempo permitirão conciliar usos múltiplos, e desenvolvimento sustentável para a região.

O problema deve ser analisado sob dois pontos de vistas: a influência das atividades humanas no Rio Tocantins através da construção de reservatórios em cascata, o que produz impacto cumulativos e de longo prazo, e a influência da qualidade da água e sua possível deterioração no futuro, como problema que pode comprometer o desenvolvimento sustentável da região.

OBJETIVOS

Estabelecer um conjunto de indicadores que assegure a qualidade da bacia hidrográfica do Médio Tocantins na área de influência da UHE Luis Eduardo Magalhães, com a finalidade de procurar condições para preservar e recuperar a qualidade da água dos corpos hídricos dessa bacia, incluindo tributários e o reservatório. Contribuir também para a gestão integrada deste ecossistema regional.

.1 Hipótese : *A qualidade de uma bacia hidrográfica (uso e ocupação do solo) determina a qualidade dos recursos hídricos presentes.*

2 Objetivos Específicos:

2.1 – Prover informações sobre 4 sub-bacias (Sub bacias do Ribeirão d Lajeado, do Ribeirão da Água Fria, Córrego São João e Ribeira do São João) com a finalidade de estudá-las comparativamente do ponto de vista de impactos das atividades humanas.

2.2 – Selecionar um conjunto de indicadores da bacia hidrográfica como base para análise dos impactos e analisar as respostas das bacias hidrográficas a estes impactos.

.2.3 – Prover informações limnológicas relativas à qualidade da água do reservatório e dos tributários inseridos nas 4 sub bacias em questão.

2.4 – Caracterizar a circulação vertical e horizontal das massas de água no reservatório e relacioná-la com a heterogeneidade espacial das variáveis limnológicas.

2.5 – Por meio de modelos matemáticos - ecológicos obter prognósticos das condições da qualidade de água do reservatório.

2.6 – Contribuir com bases científicas e tecnológicas para a gestão integrada da bacia do Médio Tocantins na área de influência da UHE Luis Eduardo Magalhães.

Descrição da Área de Estudo

A bacia do Rio Tocantins formada pelo sistema hidrográfico composto pelos rios Araguaia e Tocantins e seus afluentes localiza-se quase que integralmente entre os paralelos 2° e 18° e os meridianos de longitude 46° e 56°. Estes dois eixos fluviais se unem no extremo setentrional da bacia, formando o baixo Tocantins, que desemboca no Rio Pará, pertencente ao estuário do Rio Amazonas.

O Rio Tocantins nasce na Serra dos Pirineus, planalto de Goiás com cerca de 1000m de altitude formado pela junção do Rio das Almas e do Maranhão e corre em direção sul-norte, até desembocar no Rio Pará, braço oriental da embocadura do rio Amazonas. Dos afluentes que desembocam no Rio Tocantins, o Araguaia é o mais importante, nascendo na Serra Selada, na fronteira de Goiás e Mato Grosso, correndo também rumo sul-norte. Ele se junta ao Rio Tocantins na divisa do Estado do Tocantins, Maranhão e Pará, para formá-lo. Seus principais tributários, até sua confluência com o Araguaia, são, de montante para jusante, os rios Bagagem, Tocantinszinho, Paranã, Manoel Alves de Natividade, do Sono, Manoel Alves Grande e Farinha, pela margem direita e Santa Tereza, pela margem esquerda.

O Rio Tocantins com extensão aproximada de 2.500 km tem a sua desembocadura na Bacia de Marajó, e desta cerca de 1.100 km correspondem ao Alto Tocantins e 370 km ao Médio Tocantins, área de influência da UHE Lajeado.

A vazão média da bacia é estimada em 10.900m³/seg., sendo a contribuição do Rio Araguaia em torno de 5.500m³/seg., a do Rio Itacaiúnas 450m³/seg. e a do Tocantins, antes de sua confluência com o Araguaia, de 5.000m³/seg.

A maior vazão de enchente registrada no Rio Tocantins foi em Porto Nacional e ocorreu em 1980, com uma descarga estimada de 28.558m³/seg., enquanto a menor deu-se em 1954 com apenas 263m³/seg., na mesma região (THEMAG, 1996).

A bacia do Rio Tocantins mostra uma razoável homogeneidade climática, apresentando uma marcada variação sazonal com estações do ano bem definidas.

De modo geral, a declividade do rio é fortemente condicionada pelas formações rochosas, verificando-se um desnível da ordem de 103m em 980Km entre Ipueiras e Itaguatins. Deste desnível, cerca de 30m estão concentrados em três trechos correspondentes à Cachoeira de Santo Antônio (basalto da Fm. Orozimbo), corredeiras em Lajeado (granitos da Suite Intrusiva Lajeado) e na região de Porto Nacional, também em granitos.

Na área da bacia predominam os latossolos vermelho-amarelo e vermelho-escuro, com texturas variáveis de média a argilosa, associados a solos concrecionários, areias quartzosas, solos podzólicos vermelho-amarelo, dentre outros.

A bacia hidrográfica do Médio Tocantins drena principalmente rochas sedimentares, predominantemente arenosas, da Bacia Sedimentar Maranhão-Parnaíba, que afloram a partir de Miracema do Norte para jusante, até abaixo da confluência do Rio Araguaia com o Tocantins, numa extensão superior a 500Km. Esta bacia onde está inserido o reservatório da UHE Luiz Eduardo Magalhães ocupa uma área de 186.000 km², correspondendo a 24% da área da bacia do Rio Tocantins (813.674 km²). A Fig. 2 mostra a localização do reservatório UHE Luiz Eduardo Magalhães, na bacia do Rio Tocantins.

O Médio Rio Tocantins apresenta como principais tributários: Ribeirão Santa Luzia, Ribeirão Água Fria, Ribeirão São João, onde se localiza a cidade de Palmas, Ribeirão do Taquaruçu, Ribeirão da Conceição, Rio Lajeado, Rio Matança, Rio Crixás, Rio do Carmo, Rio Mangues, Rio Água Suja, Córrego São João e Rio Areias compondo as 13 sub bacias hidrográficas. A Fig. 3 mostra as 13 sub bacias formadoras da bacia hidrográfica do Rio Médio Tocantins e suas respectivas áreas.

No presente trabalho, para o estudo da qualidade das bacias, foram selecionadas duas sub bacias fortemente impactadas por atividades antrópicas, que são as sub bacias do Ribeirão da Água Fria (onde se localiza a cidade de Palmas) e a sub bacia do Córrego do São João (onde se localiza a cidade de Porto Nacional), e duas sub bacias pouco impactadas, que são as sub bacias do Ribeirão do Lajeado, e Ribeirão do São João.

O clima predominante no Estado do Tocantins é o tropical úmido e sub úmido, condicionado, fundamentalmente, pela ampla extensão latitudinal. As temperaturas médias anuais variam entre 24^o e 28^oC , nos meses de chuva (outubro a abril) e entre 28 e 35^oC, na estação seca (maio a setembro). As temperaturas máximas ocorrem geralmente no mês de agosto alcançando até 38^oC. Mais de 70% da precipitação total ocorrem de novembro a março, sendo crescente do Sul para o Norte e de Leste para Oeste. Ao norte do paralelo 6^oS a precipitação pluviométrica registrada varia entre 1.500 a 2.100 mm anuais, enquanto que no mesmo paralelo ao sul a quantidade pluviométrica se encontra entre 1500 a 1600mm anuais.

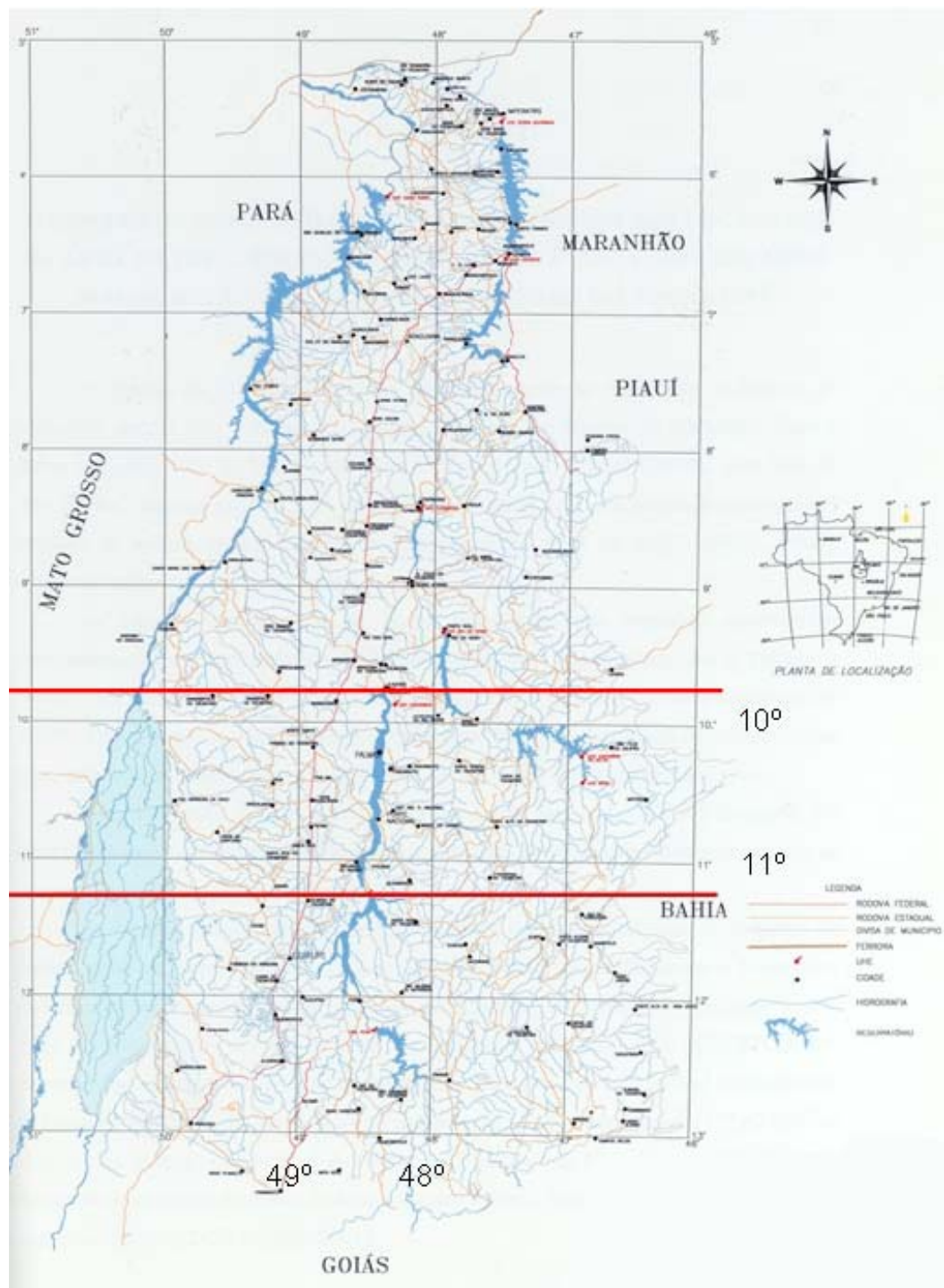


Fig 2. Mapa da Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins com destaque ao Médio Tocantins entre os paralelos 10° - 11° latitude Sul. (Fonte: Reis-Pereira, 2002)

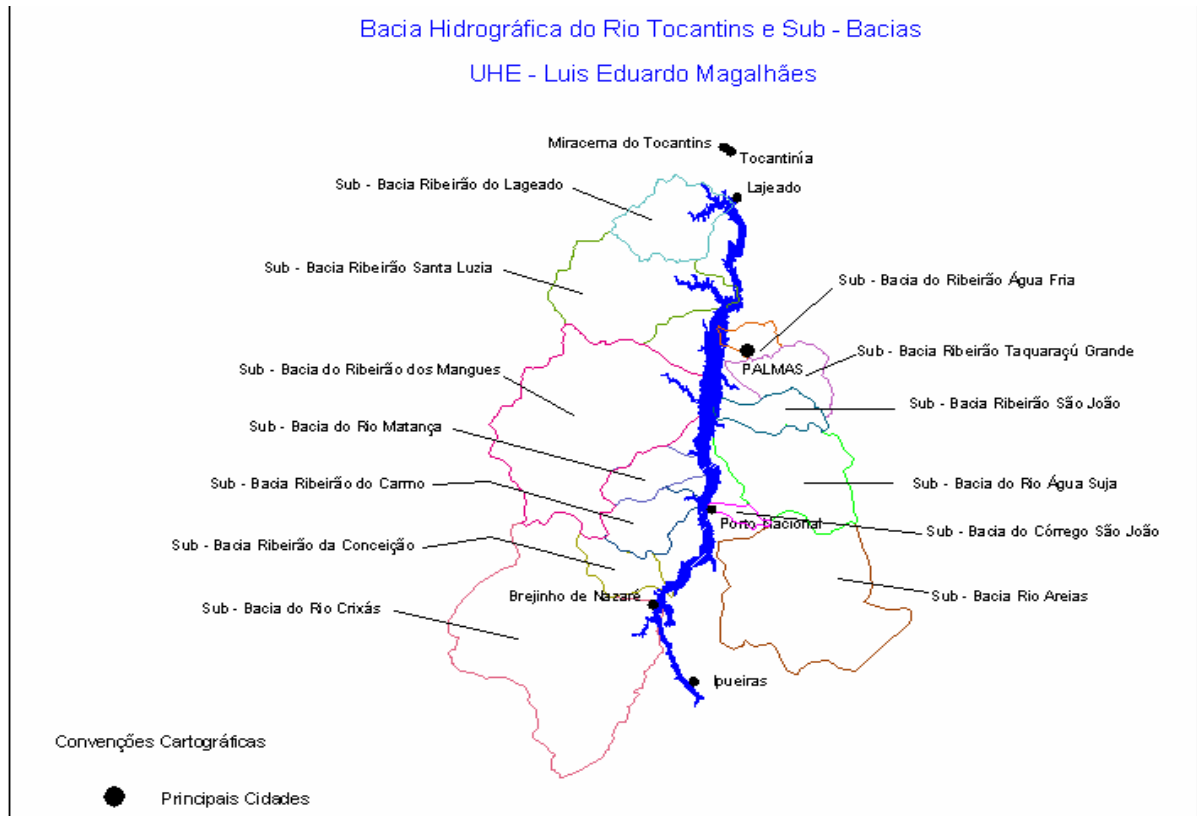


Fig 3. Sub bacias da bacia do Rio Tocantins. (Fonte: IIE, 2003)

A vegetação predominante na bacia do Médio Tocantins é o cerrado, porém, a floresta perenifólia tropical aparece em áreas descontínuas e duramente atingidas pelo desmatamento e pelas queimadas, como conseqüência das atividades agropecuárias (ELETRONORTE, 1986; THEMAG,1996). Segundo EMBRAPA (1976) a vegetação de cerrado é a predominante, composta pelas formações de cerrado, cerradão, campo sujo e campo limpo, apresentando no estrato herbáceo o capim flechinha (*Echinolaena inflexa*) e diversas espécies do gênero *Paspalum*, *Andropogon*, *Elionorus* e *Aristida*. Já no arbóreo e arbustivo observa-se principalmente a lixeira (*Curatella americana*) o barbatimão (*Stryphnodendron adstringens*), o pau-santo (*Kielmeyera curiacea*), o pau-terra (*Qualea granditolia*), o douradão (*Palicourea rígida*) e o murici (*Byrsonina coccolobifolia*).

O relevo da região é plano, suave ondulado, com boas possibilidades para o emprego de práticas agrícolas mecanizadas, o que também é muito característico dos cerrados.

Quanto à formação dos solos prevalecem os tipos latossolo vermelho-amarelo e vermelho-escuro, sendo 95% distrófico-ácidos (baixo pH) com insuficientes níveis de elementos minerais como fósforo, potássio, cálcio, magnésio (EMBRAPA, 1976; Lopes, 1984; Goedert, 1986).

A ocupação da bacia hidrográfica do Médio Tocantins teve o seu crescimento com a criação do Estado do Tocantins e a construção da capital, no final da década de 80, fazendo com que a região, situada ao lado direito do rio, tivesse um incremento na sua importância para o desenvolvimento regional, com a construção de novos acessos viários e a melhoria de outros. Essa nova configuração atraiu trabalhadores de várias partes do país e pessoas que buscavam novas oportunidades de emprego e até mesmo de qualidade de vida. Esta migração e a expectativa do grande crescimento populacional proporcionou uma especulação imobiliária urbana que fez com que a instalação dos primeiros migrantes fosse localizada em áreas periféricas da capital, e até mesmo em outros municípios. Isto pode ser visualizado na Tabela 1, a qual apresenta as taxas de crescimento demográfico para os estados na região Norte, e os deslocamentos da população rural, incluindo o estado de Tocantins.

Tabela 1. Região Norte: taxas de crescimento demográfico e grau de urbanização nas datas dos recenseamentos gerais, por Unidades da Federação.

Unidades da Federação	Taxas de crescimento (% ao ano)						Grau de Urbanização		
	População urbana		População rural		População total		1970	1980	1991
	1970/80	1980/91	1970/80	1980/91	1970/80	1980/91			
Rondônia	14,7	9,6	16,7	5,4	15,7	7,6	51,9	47,6	58,2
Acre	8,4	6,0	0,8	0,7	3,5	2,8	27,8	44,2	61,8
Amazonas	7,8	5,1	0,5	0,3	4,2	3,4	42,6	60,0	71,4
Roraima	10,7	9,9	3,2	8,1	7,0	9,2	43,0	60,5	64,6
Pará	5,1	4	4,5	3,3	4,8	3,6	47,2	48,5	50,4
Amapá	5,3	7,4	3,4	2,6	4,5	4,4	54,8	59,0	90,9
Tocantins	8,2	5,5	0,9	1,2	3,2	2,0	25,1	40,1	57,7
Região Norte	6,7	5,2	3,4	2,3	4,9	3,9	42,6	50,2	57,8
Brasil	4,4	2,8	0,6	0,7	2,5	1,7	56,0	67,7	75,5

Fonte: dados do IBGE,2000 (censos demográficos)

A estrutura sócio-econômica dessa região é influenciada pelas deficiências ainda existentes na sua organização espacial. A construção da UHE Luis Eduardo Magalhães beneficiou a posição do Estado de Tocantins e da região, no cenário nacional, atraindo muitos empreendedores.

As principais atividades econômicas do Estado do Tocantins baseiam-se na produção agrícola e pecuária, destacando-se também algumas indústrias de processamento de alimentos, construção civil, móveis e madeiras. O Estado possui ainda jazidas de estanho, calcário, dolomita, gipsita e ouro.

O desenvolvimento de uma região, entretanto trás como conseqüência a deterioração da qualidade da bacia hidrográfica, se não houver um bom planejamento e gerenciamento de uso e ocupação da bacia de uma forma sustentável através da integração de técnicos especializados com visão sistêmica de bacia hidrográfica, empreendedores e órgãos públicos de poder decisório (Tundisi, 2003b).

A Usina Hidrelétrica Luís Eduardo Magalhães - UHE Lajeado encontra-se na bacia do Médio Tocantins, distante 1.030Km de sua foz, abrangendo os municípios de Miracema do Tocantins, Lajeado, Palmas, Porto Nacional, Brejinho de Nazaré e Ipueiras. O lago apresenta uma abrangência de 630Km² e extensão de 172Km, para uma capacidade energética de 850 Megawatts.

O reservatório formado apresenta as seguintes características:

- Nível da água a montante (normal)	212,00 m
- Nível da água a jusante (mínimo normal)	173,80 m
- Nível da água a jusante (máximo normal)	187,20 m
- Queda líquida de referência	29,00 m
- Volume útil do reservatório para operação	5,5 bilhões de m ³
- Vida útil do reservatório (previsão)	100 anos
- Vazão de regularização a jusante da barragem	1.524 m ³ /seg.
- Energia firme local	520MW
- Energia média anual	609MW
- Área de drenagem	184.219 Km ²

- Precipitação média anual (área do reservatório)	1.800 mm
- Evaporação média anual (área do reservatório)	1.480 mm
- Vazão média de longo termo (1921 a 1994)	2.532 m ³ /seg.
- Comprimento total (barramento total)	2.100 m
- Altura máxima	36 m
- Cota da crista	216 m acima do nível do mar

A construção da barragem no Rio Tocantins para construção da usina, provocou uma área de inundação de 630km², onde a vegetação original do cerrado, após a remoção de uma parte foi submersa.

Materiais e Métodos

1. Análise do uso e ocupação do solo das sub-bacias *fortemente Impactada (Ribeirão de Água Fria, Córrego São João) e pouco Impactadas (Ribeirão do Lajeado e Ribeirão do São João) da bacia do Médio Tocantins.*

A fim de gerar o Mapa Temático com dados associados ao uso e ocupação das bacias hidrográficas do estado de Tocantins utilizaram-se as imagens de satélite Landsat-TM5/2005 e o Sistema de Informação Geográfica (SIG) Spring 4.2 .

Sendo assim criou-se um *Projeto* no Spring com Projeção Polyconic/SAD 69, onde foram georreferenciadas as imagens de satélite com base na drenagem do estado do Tocantins. Em seguida, optou-se por realizar o contraste das Bandas em 3R4G5B, a fim gerar uma imagem sintética.

Com base nesta imagem sintética, realizou-se a Classificação “pixel a pixel” MaxverIcm onde o classificador associa às classes pontos individuais e a dependência espacial. Sendo assim as classes temáticas criadas para o mapeamento do Uso do Solo foram: área urbana, solo degradado, mata ciliar, cerrado e água.

Após a geração desse mapa temático calculou-se as áreas de cada classe gerando gráficos.

Para comparação foram selecionadas 4 sub bacias : sub bacia do Ribeirão de Água Fria, sub bacia do Córrego São João, sub bacia do Ribeirão do Lajeado e sub bacia do Ribeirão do São João. A qualidade dessas sub bacias foi avaliada utilizando como indicadores a cobertura vegetal, uso e ocupação do solo, o grau desenvolvimento de cidades e a densidade demográfica.

Através da imagem de satélite para cada sub bacia foram calculados os percentuais de áreas preservadas de ações antropicas e áreas que sofreram ações destacando-se: 1- *formações florestais* – são florestas ombrófila densa e aberta, florestas estacional e decidual e florestas secundária 2- *campo cerrado* – savana parque e savana gramíneo lenhosa 3- *cerrado/cerradão* – savana floresta e savana 4- *campo antrópico*- áreas urbanas, agriculturas, pecuárias e minerações 5 - *área úmida* – vegetação com influência fluvial, terrenos sujeitos à inundação 6 – *água* – rios, lagos, lagoas e represas, terrenos sujeitos à inundação.

No campo antrópico onde estão incluídas as áreas urbanas existem estudos sobre a estrutura demográfica, condições de infra estrutura sanitária e desenvolvimento sócio econômico dos principais municípios que fazem parte das sub bacias consideradas. Estas informações constituem um dos indicadores mais importantes sobre a qualidade da bacia.

2. Análise limnológica e de qualidade de água do reservatório e dos tributários que compõe as sub bacias referidas.

2.1 Pontos de amostragem

Foram selecionados os seguintes pontos no reservatório : 1- na desembocadura dos rios e córregos que compõe as sub bacias (L9 – sub bacia do Ribeirão do Lajeado; L14 – sub bacia do Ribeirão da Água Fria; L22 – sub bacia do Córrego São João; L19 – sub bacia do Ribeirão do São João. 2- no canal do reservatório: R1 - área sob a influência do Ribeirão do Lajeado; R3 – área sob a influência do Ribeirão de Água Fria; R5 - área sob a influência do Córrego São João.

2.2 Período de amostragem: março de 2002 a junho de 2003 em intervalos mensais

2.3 Metodologia de análise das variáveis físicas, químicas e biológicas

2.3.1 Variáveis físicas, químicas, bacteriológicas e clorofila

A metodologia de análise e os equipamentos utilizados são apresentados no quadro que se segue:

VARIÁVEIS	METODOLOGIA	EQUIPAMENTOS/MÉTODOS
Temperatura da água	Medida direta	Horiba U-23 e Sonda YSI
Transparência da água	Medida direta	Disco de “Secchi”
Oxigênio Dissolvido	Medida direta	Horiba U-23 e sonda YSI
pH	Medida direta	Horiba U-23 e Sonda YSI
Condutividade Elétrica	Medida direta	Horiba U-23 e Sonda YSI – APHA (1989)
ORP – Potencial de óxido-redução	Medida direta	Horiba U-23 e Sonda YSI – APHA (1989)
Nitrito	Espectrofotometria	Golterman <i>et al.</i> , 1978
Nitrato	Espectrofotometria	Mackereth <i>et al.</i> , 1978
Amônio	Espectrofotometria	Koroleff (1976)
Nitrogênio Total	Kjedahl	APHA (1989)
Fósforo Total	Espectrofotometria	Strickland & Parsons (1965)
Clorofila-a e feofitina	Espectrofotometria	Nush (1980)
Coliformes Totais e Fecais	Colilert	Substrato Cromogênico - APHA (1989)

2.3.2 Análise da composição e abundância do fitoplâncton.

A análise da composição fitoplanctônica foi realizada somente nas amostras obtidas no mês de junho de 2003, nos pontos L9, L14, L19, R1, R3 e R5. As amostras foram obtidas por meio de arrasto horizontal com rede de 20µm. A análise da composição e abundância dos principais grupos fitoplanctônicos foram feitas através do microscópio binocular contando-se volumes de 1ml da amostra na lâmina de Sedgewick Rafter.

2.3.3 Análise da composição zooplanctônica

O material zooplanctônico foi obtido utilizando rede de plâncton de 68µm de malha, por meio de arrasto vertical do fundo para a superfície. O material fixado e preservado em formol a 4% foi submetido à análise de composição e abundância dos principais grupos que compõem o zooplâncton. Essa análise foi feita somente nas amostras de junho de 2003. Os organismos de pequeno porte tais como o grupo dos Rotifera e nauplios de Copepoda foram analisados fazendo uma subamostragem de 1ml, colocados na lâmina de Sedgewick Rafter e contados em microscópio binocular. Os organismos maiores como o grupo dos Cladocera e Copepoda (fase de copepoditos e adultos) foram analisados fazendo uma sub amostragem maior (entre 5 e 10ml) e colocados em um recipiente quadriculado e contados sob microscópio estéreooscópico.

3. *Análise limnológica em tempo real*

Os dados referentes às variáveis limnológicas de temperatura, concentração de oxigênio dissolvido, condutividade, pH, turbidez, sólidos totais dissolvidos e clorofila foram obtidos através da plataforma SMATER, desenvolvido no Instituto Internacional de Ecologia com apoio da FAPESP (PIPE) e FINEP. O equipamento dispõe de uma estação climatológica que fornece dados de temperatura do ar, umidade relativa, velocidade e direção do vento, radiação solar e radiação média. A Fig 4 mostra uma vista geral da plataforma instalada no reservatório UHE Luiz Eduardo Magalhães em Tocantins.

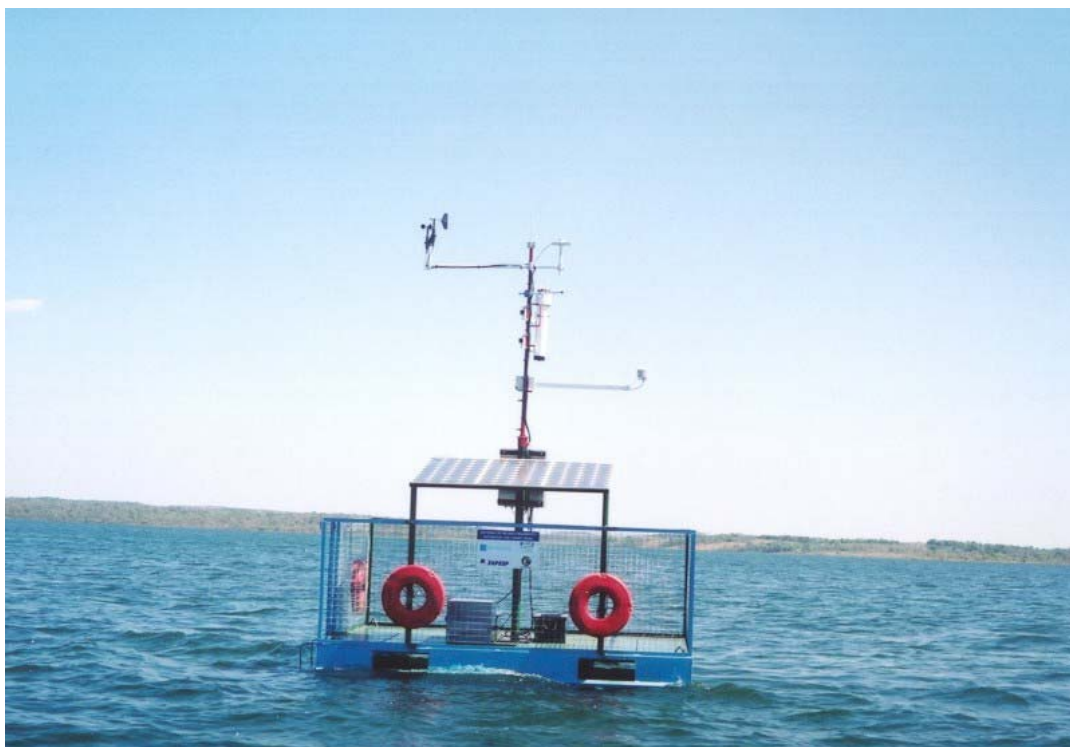


Fig 4 . Plataforma SMATER instalada no reservatório UHE Luiz Eduardo Magalhães (Tocantins)

O módulo SMATER tem os seguintes componentes: uma estação climatológica que fornece as seguintes informações:

- a) Radiação solar
- b) Precipitação
- c) Ventos (força e direção)
- d) Temperatura do ar
- e) Umidade relativa

Além destas informações, o sistema está acoplado a uma sonda “Yellow Springs 6.600” que, em tempo real, transmite os seguintes dados físicos, químicos e biológicos (clorofila a):

- a) Temperatura da água
- b) Condutividade elétrica
- c) pH

- d) Potencial redox
- e) Sólidos totais em suspensão
- f) Oxigênio dissolvido
- g) Clorofila a
- h) Turbidez

A sonda percorre a coluna de água a cada meia hora, possibilitando uma varredura completa e um perfil da coluna de água, de tal forma a possibilitar o acoplamento das informações climatológicas às informações obtidas nesta coluna de água.

A sonda SMATER foi desenvolvida com o apoio de um projeto PIPE da FAPESP (Proc.00/007379-5). No seu desenvolvimento teve a participação do bolsista FAPESP João Durval Arantes Junior.

Esta sonda está sendo objeto de patente pelo IIE/FAPESP e parceiros no empreendimento.

4. Hidrodinâmica do reservatório

Para o estudo da hidrodinâmica e do padrão de circulação da água do reservatório foi utilizado o Modelo numérico tridimensional Delft3D da Holanda.

5. Índice do estado trófico de Carlson (1977).

5.1. Aplicação de modelos e índices matemáticos para avaliação do processo de eutrofização

O índice do estado trófico de um sistema pode ser determinado levando em consideração os nutrientes tais como nitrogênio total, fósforo total, clorofila, ou transparência da água devido à relação destas variáveis com a produção orgânica. Carlson, 1977 desenvolveu três índices: um baseado na concentração do fósforo; outro baseado na concentração da clorofila e o terceiro na transparência da água medida com disco de Secchi em sistemas de lagos naturais. Porém, foi detectado que em sistemas artificiais como represas que tem origem lótica, as variáveis transparência da água medida com disco de Secchi e concentração de clorofila não produzem índices adequados. A concentração de nitrogênio total cujo índice foi desenvolvido por Kratzer

& Brezonik (1981) , também não fornece uma resposta adequada. Portanto, no presente trabalho, optou-se por avaliar o estado trófico do sistema levando-se em consideração apenas o índice relacionado com a concentração de fósforo total, calculado por meio da equação do Carlson, 1977.

$$\text{IET}(P_t) = 10 \times (6 - (\ln(48/P_t) / \ln 2))$$

5.2 . Modelo PAMOLARE de eutrofização onde se mede a **exergia** (UNEP, 2003)

A medida que usa o modelo PAMOLARE é a **Exergia** que mede a distância do equilíbrio termodinâmico onde não há estruturas e energia livre disponível. A biomassa contribui significativamente para a exergia. A informação reservada em estruturas genéticas, também é reservada sob a forma de exergia.

Biomassa e informação estão diretamente relacionadas com a estrutura e a ordem do ecossistema em oposição ao estado livre do equilíbrio termodinâmico.

$$\text{Portanto: Exergia} = R \times T \sum_{i=1}^n W_i B_i \quad (1) \text{ onde:}$$

R = Constante de GAS

T = Temperatura absoluta

W_i = Informação contida no componente i do ecossistema

B_i = Biomassa do componente i (número de organismos, detritos)

i = 1 menos detritos (porque o detrito é isento de gens)

n = número de organismos vivos

A unidade aplicada em exergia é dada em **unidades equivalentes de exergia de detritos**.

A equação (1) é uma aproximação, porque é impossível conhecer a composição completa de um ecossistema. Como 1g de detritos tem aproximadamente 18.7 KJ de energia livre pode-se obter a exergia em KJ multiplicando-se por 18.7 o valor resultante da equação 1.

A Tabela 2 mostra o número aproximado de gens não repetitivos utilizados para o calculo da exergia dos vários organismos comparada com a exergia dos detritos.

Tabela 2 . Numero aproximado de gens não repetitivos e a quantidade de Exergia correspondente (retirado do Jørgensen, 1999)

Organismos	Numero de gens	Fator de conversão
Detritos	0	1
Bactéria	600	3
Alga	850	3,9
Fungos	3000	10,2
Esponjas	9000	30
Plantas	10000 - 30000	30 – 87
Vermes	10500	35
Insetos	10000 – 15000	30 – 46
Medusas	10000	30
Zooplâncton	10000 – 15000	30 – 46
Peixes	10000 – 120000	300 – 370
Pássaros	120000	390
Anfíbios	120000	370
Répteis	130000	400

Portanto, os modelos estruturais dinâmicos aplicados a lagos e represas representam:

- a) A energia bioquímica do sistema = energia para a organização da informação biológica.
- b) A quantidade de informação contida nos organismos pode ser expressa pelo número de gens.
- c) A exergia provê informação sobre sobrevivência e crescimento de organismos em nível de ecossistema.
- d) As informações a serem utilizadas no modelo (W_i) compreenderão os dados de:

W_i = conjunto de informações

- Temperatura da água (°C)
- Vazão afluente (m³/s)

- Vazão efluente (m³/s)
- Nitrogênio afluente (mg/L)
- Fósforo afluente (mg/L)
- Biomassa do fitoplâncton afluente (clorofila – mg/L)
- Biomassa do zooplâncton afluente (mg PS/L)
- Detrito afluente (mg/L)
- Matéria orgânica dissolvida afluente (mg/L)
- Oxigênio dissolvido afluente (mg/L)

As variáveis ambientais (funções de força / variáveis de estado / observações no ponto - estação – modelada) e razões que foram utilizadas serão apresentadas juntamente com os resultados.

Resultados

1. Avaliação da bacia hidrográfica do Médio Tocantins através das análises das sub-bacias com maiores e menores atividades antrópicas.

A) Caracterização das sub-bacias fortemente impactadas por atividades antrópicas:

Sub bacia do Ribeirão de Água Fria

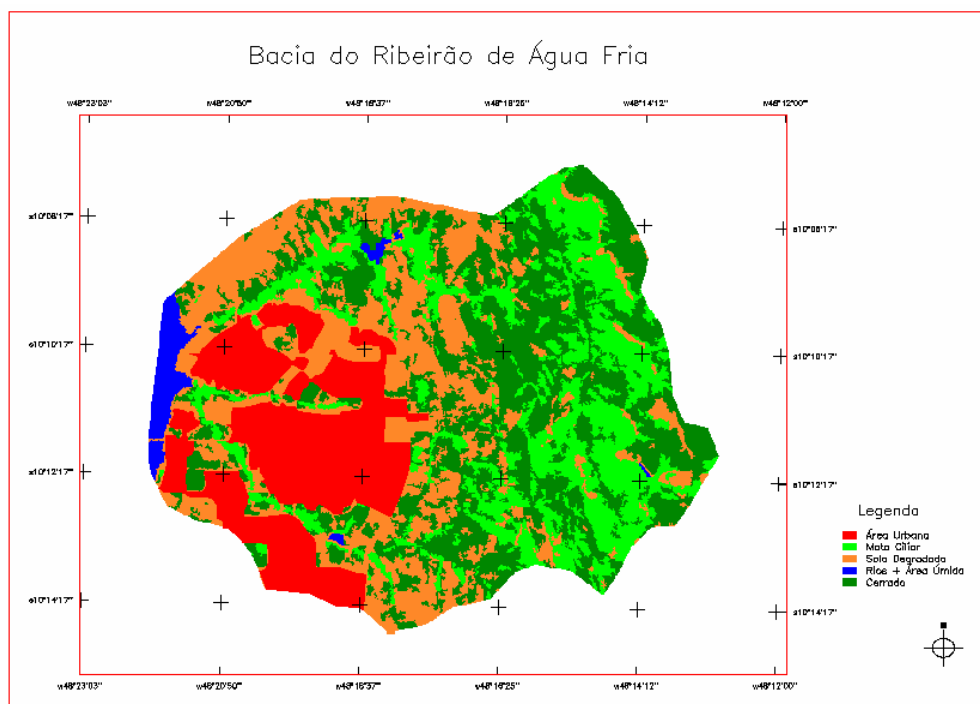


Fig 5 . Uso e ocupação da sub bacia Ribeirão de Água Fria classificados com base na imagem de Satélite Landsat, 2005.

A Figura 5 mostra a imagem de satélite da sub bacia do Ribeirão de Água Fria que possui uma área total de 461,16 km² com formações florestais + mata ciliar ocupando 101,13km²; campo antrópico (área degradada + atividade antrópica: agricultura, pastagens) ocupando 215,73 km² onde está inserido o município de Palmas; cerrado/cerradão 89,04 km²; área úmida + água 15,13 km²; área urbana 40,12 km². Estas áreas correspondem respectivamente aos seguintes percentuais em relação à área total desta sub bacia: 21,93%, 46,78%, 19,31%, 3,28% e 8,7%. A Figura 6 mostra a distribuição percentual da cobertura vegetal e usos do solo da sub bacia do Ribeirão de Água Fria.

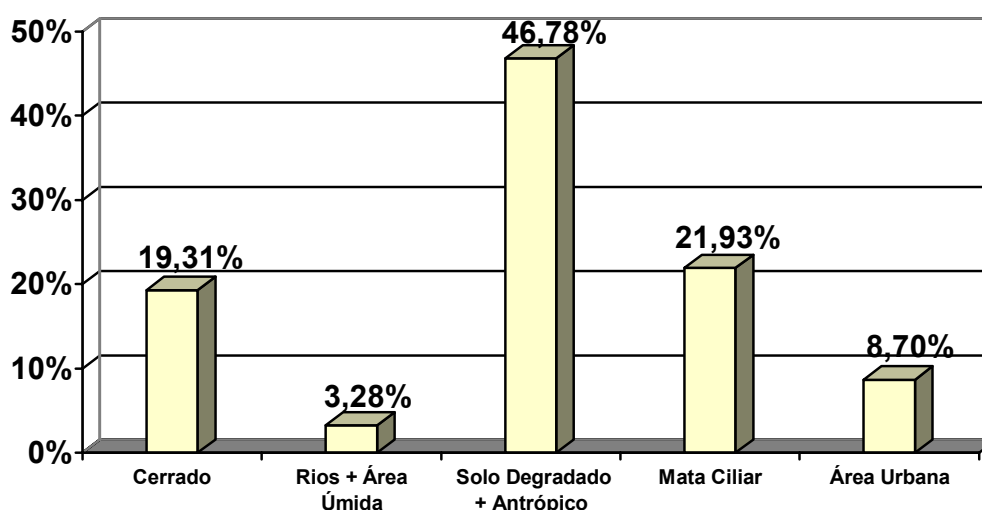


Fig 6. Distribuição percentual das áreas com vegetação natural e áreas com atividade antrópica

Esta sub-bacia apresenta portanto 41,24% de áreas naturais e 55,48% de áreas que sofreram ações antrópicas. Esta última área foi grandemente influenciada pelo desenvolvimento da cidade de Palmas, capital do Estado do Tocantins que conta com cerca de 136.554 habitantes (IBGE, 2000). O município possui uma rede coletora de esgoto que atende 50% da população, sendo tratado 100% do que é coletado. Possui estações de tratamento de esgotos com lagoas de estabilização, reator anaeróbico e filtro biológico. O restante dos efluentes não coletados é

encaminhado para fossas sépticas. Os resíduos sólidos domésticos são coletados por uma empresa privada e dispostos em um aterro sanitário localizado junto às margens do Ribeirão de Água Fria.

As principais atividades econômicas desta região são a agricultura e a pecuária. O setor industrial do município é pouco desenvolvido, sendo formado basicamente por micro e pequenas empresas, totalizando 400 indústrias onde a fabricação de artigos de serralheria é a mais significativa. O comércio, tendo como base o comércio varejista de produtos alimentícios é um dos mais desenvolvidos do estado gerando muitos empregos para o município.

Sub bacia do Córrego São João

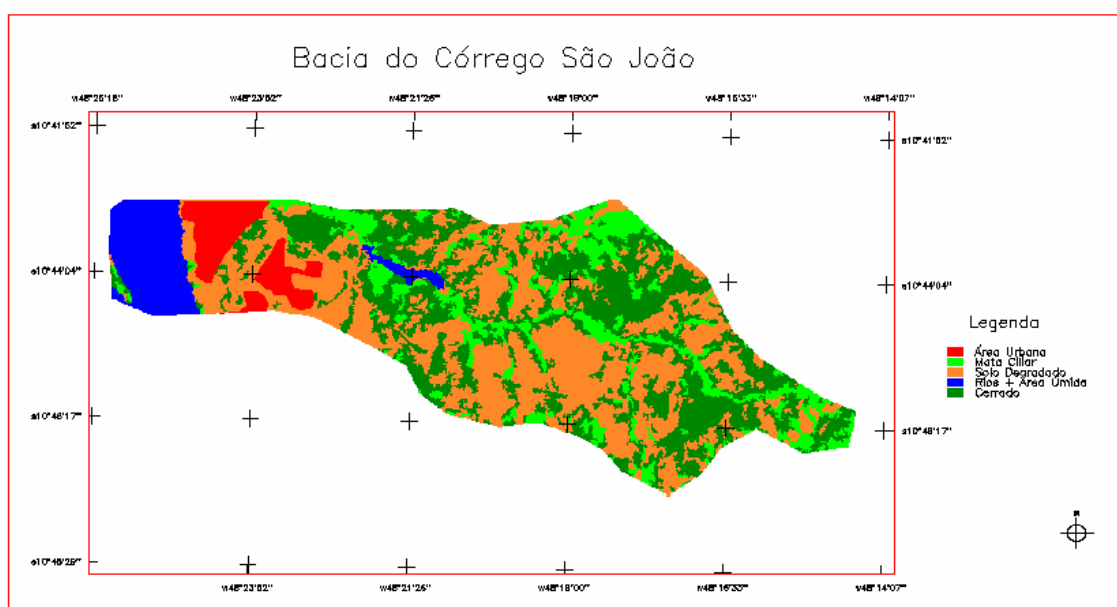


Fig 7. Uso e ocupação da sub bacia do Córrego São João classificados com base na imagem de Satélite Landsat, 2005.

Nesta sub-bacia, com uma área total de 85,5 km², localiza-se a segunda cidade mais importante do estado que é a cidade de Porto Nacional. A Fig 7, mostra a imagem de satélite desta sub-bacia com as áreas de cobertura vegetal e usos da bacia. As formações vegetais naturais ocupam 11,66km² correspondendo a 13,64% do total da bacia; campo antrópico 47,95 km² (56,09%); campo cerrado 19,31 km² (22,59%); área úmida 1,40 km² (1,64%) e área

urbana 4,46km² (5,22%). Isto significa que as áreas naturais correspondem a 36,23% e a área com atividade antrópica a 61,31%. A Figura 8 mostra a distribuição percentual da cobertura vegetal e usos da sub-bacia Córrego do São João, bacia do Médio rio Tocantins.

A cidade de Porto Nacional com uma população de 42.219 habitantes tendo uma concentração de 86,1% na área urbana e 13,8% na área rural, não possui estação de tratamento de esgotos sendo que o esgotamento sanitário é realizado através de fossas sépticas, negras e valas. A captação para o abastecimento de água é feita no córrego São João (200 m³/h) e 3 poços profundos que fornecem 39 m³/h atendendo um total de 9.170 domicílios (Reis-Pereira,2002).

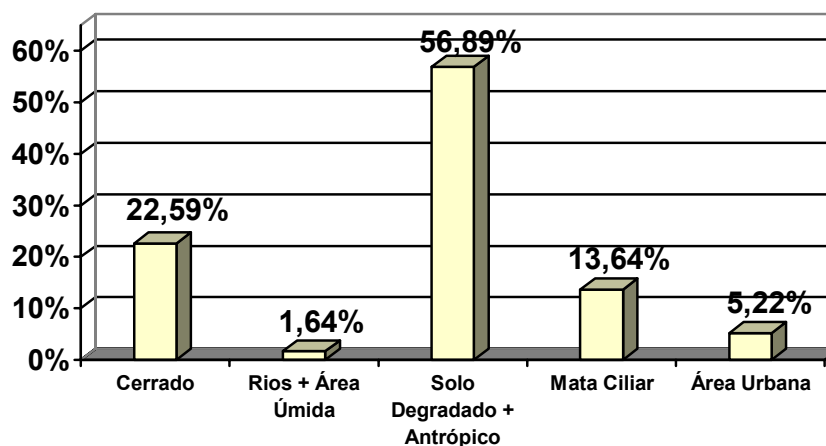


Fig 8. Percentual de áreas ocupadas por vegetação natural e áreas com desenvolvimento de atividade antrópica na sub bacia do Córrego São João.

A sub bacia do Córrego São João é ocupada principalmente por pecuária extensiva. Cerca de 14.493 ha de terra são utilizadas para lavoura e 182.660 ha para a pastagem.

As indústrias instaladas em Porto Nacional atuam nos ramos de metalurgia, pré-moldado, cerâmica, matadouro, farinha de ossos e frigorífico e estão em fase de instalação de indústria de tintas e abatedouro de aves (potenciais poluidores dos recursos hídricos). O comércio é essencialmente varejista , sendo formado por armazéns de mercadorias em geral e também por outros produtos como vestiário e complementos, açougues etc.

B) Caracterização das sub bacias pouco impactadas por atividades antrópicas

Sub bacia do Ribeirão do Lajeado

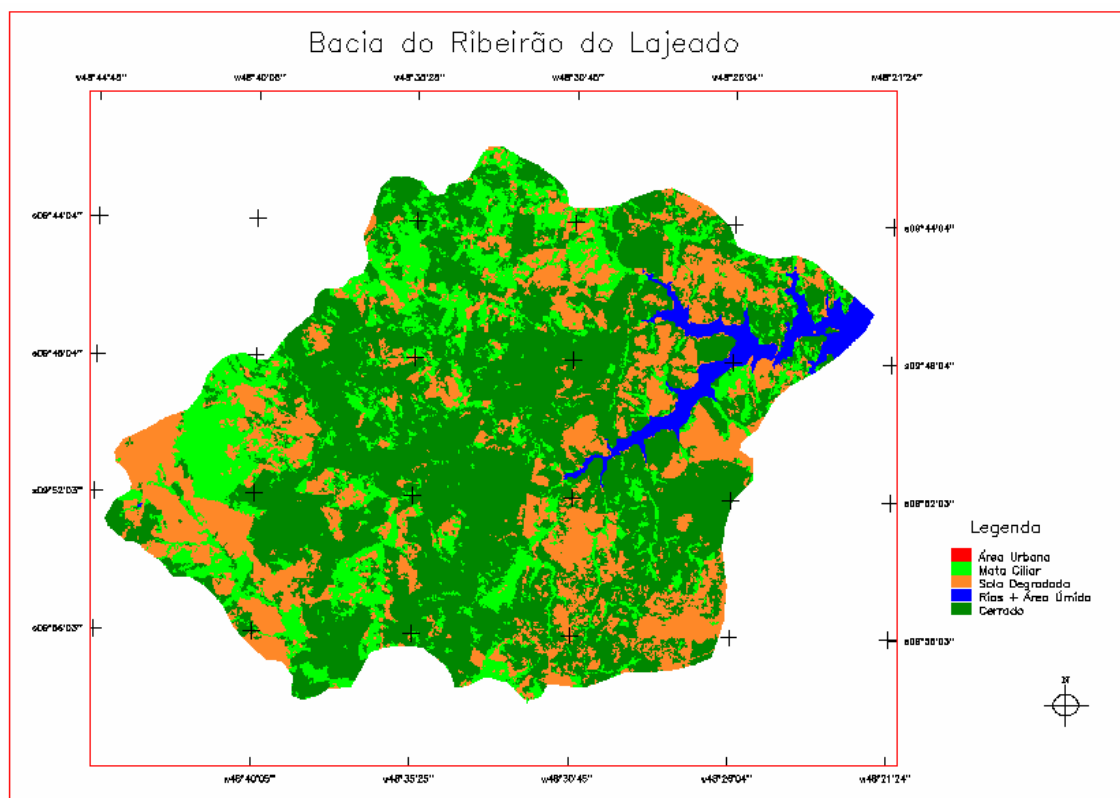


Fig 9. Uso e ocupação da sub bacia do Ribeirão do Lajeado classificados com base na imagem de Satélite Landsat, 2005.

A área total desta sub-bacia é de 725,43 km² tendo como desenvolvimento urbano a cidade de Lajeado, localizado às margens do Rio Lajeado e à margem direita do Rio Tocantins. A cidade possui apenas 2.343 habitantes. Na Fig 9, uma imagem de satélite, com as áreas de ocupação e cobertura vegetal, é apresentada. Observa-se que as formações florestais ocupam 85,89 km² correspondendo a 11,8% do total da sub bacia; o campo antrópico + solo degradado 303,01 km² (41,77%); água (rios e área úmida) 15,81 km² (2,18%); cerrado/cerradão 320,71 km² (44,21%). Nesta sub bacia as áreas naturais preservadas são um pouco maiores (56,05%) do que as áreas degradadas ou com atividade antrópica (41,77%). A Fig 10 refere-se à distribuição percentual das diferentes formações vegetais e usos do solo.

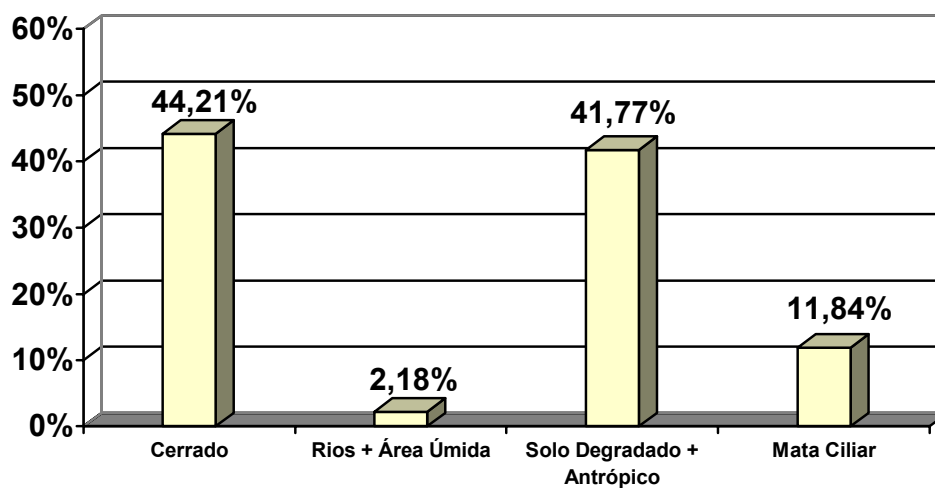


Fig 10. Percentual de áreas ocupadas por vegetação natural e por áreas com desenvolvimento de atividades antrópicas na sub-bacia do Ribeirão do Lajeado.

Sub bacia do Ribeirão do São João

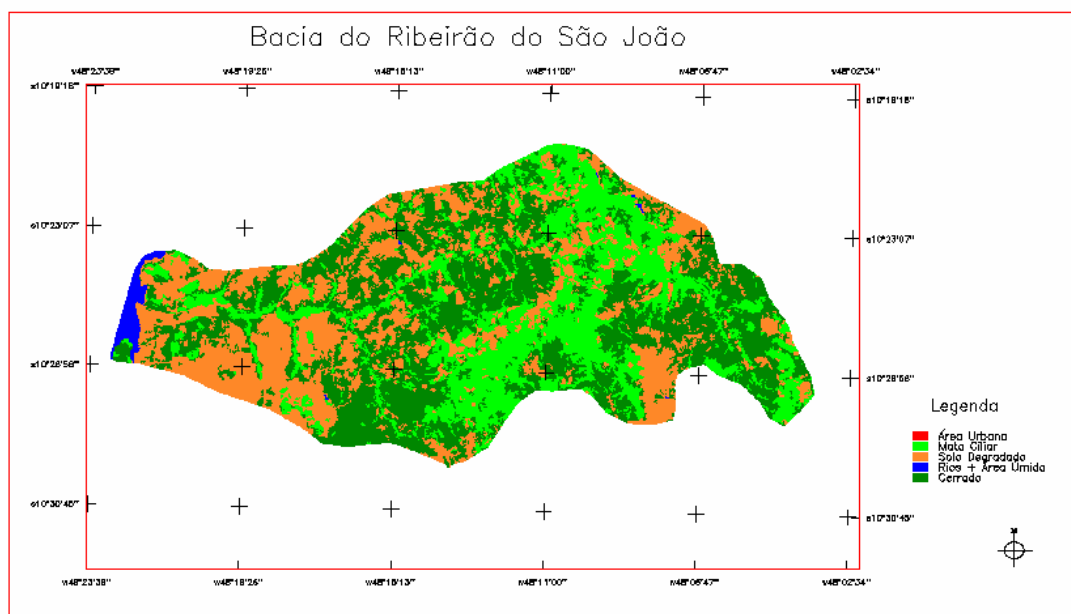


Fig 11 – Uso e ocupação da sub bacia Ribeirão do São João classificados com base na imagem de Satélite Landsat, 2005.

Esta sub-bacia compreende uma área de 354,3 km² e as áreas de cobertura vegetal e usos do solo mostradas na Fig 11 através da análise de imagem de satélite apresenta os seguintes dados: formações florestais e mata ciliar ocupam 88,82 km² correspondendo 25,1% do total da área; campo antrópico + solo degradado 155,64 km² (43,93%); água 8,04 km² (2,27%); cerrado/cerradão 101,79 km² (28,73%). Nesta sub bacia a área natural preservada (53,8%) supera a área com ação antrópica (43,9%). Contribuiu para esta inversão de valores, a pouca atividade antrópica na bacia não havendo desenvolvimento de áreas urbanas. A Figura 12 mostra o percentual de uso do solo por atividades antrópicas e o percentual de cobertura vegetal em relação à área total da sub bacia do Ribeirão do São João.

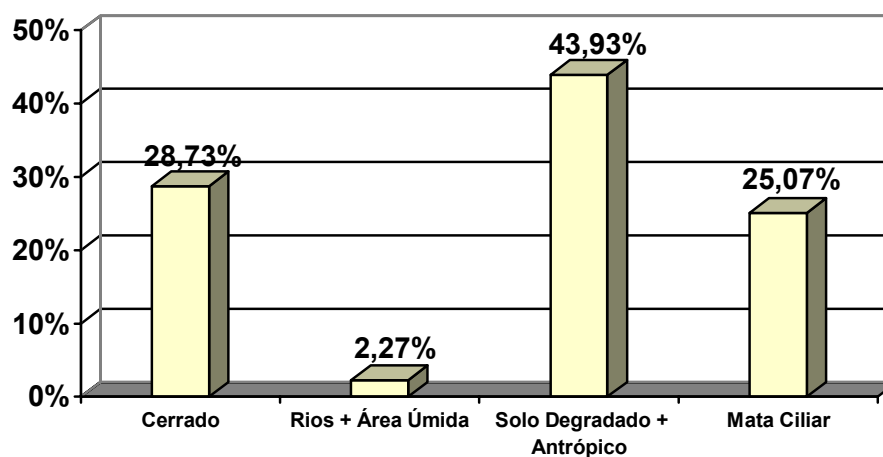


Fig 12. Distribuição percentual de áreas naturais e áreas com atividade antrópica na bacia do Ribeirão do São João

2. Limnologia e qualidade da água do reservatório da UHE Luiz Eduardo Magalhães (Represa do Lajeado).

Para relacionar as características limnológicas e qualidade da água da UHE Luiz Eduardo Magalhães sob a influência da qualidade das 4 sub bacias (sub bacia do Ribeirão do Lajeado, sub bacia do Ribeirão da Água Fria, sub bacia do Córrego São João e sub bacia do Ribeirão do São João) foram selecionados 7 pontos no reservatório como pode ser observado na Fig 13

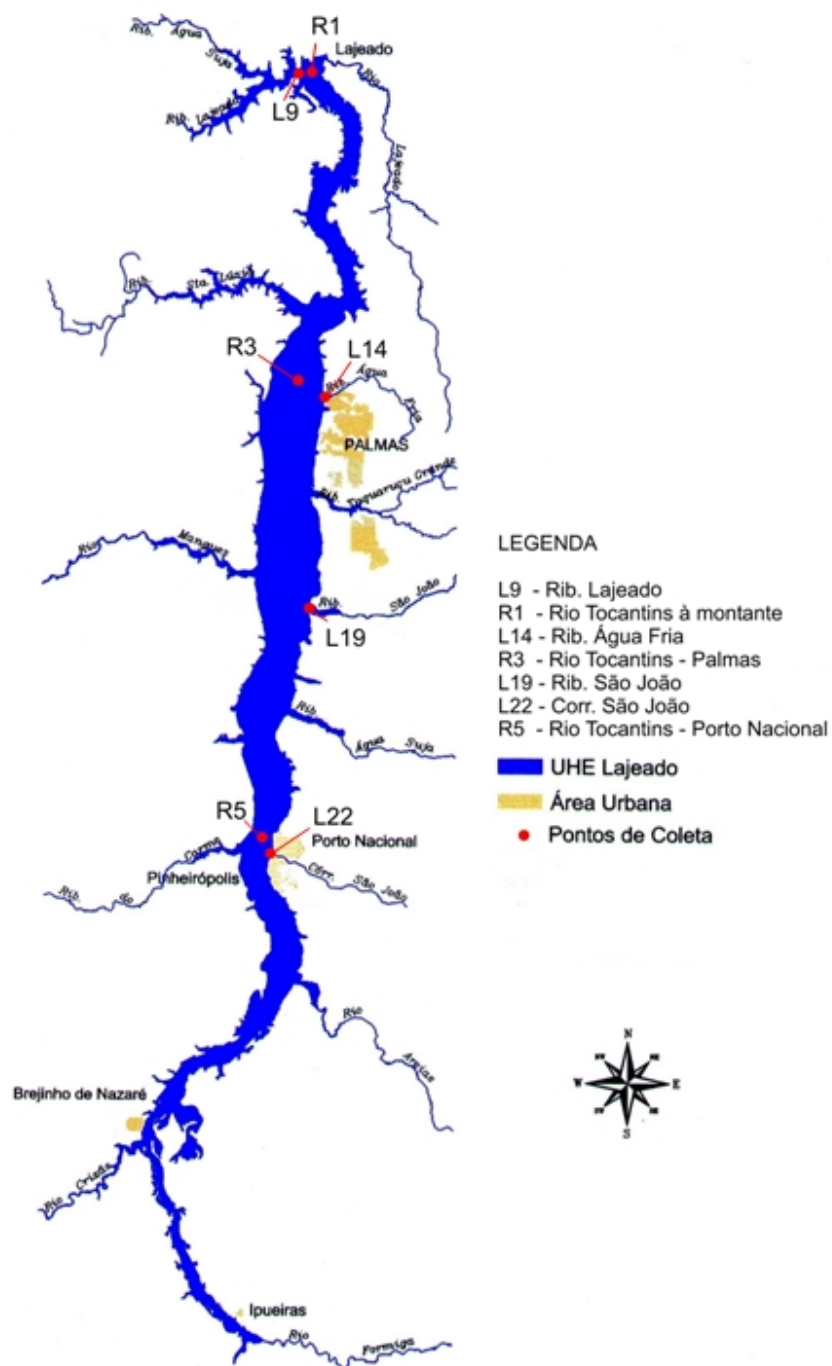
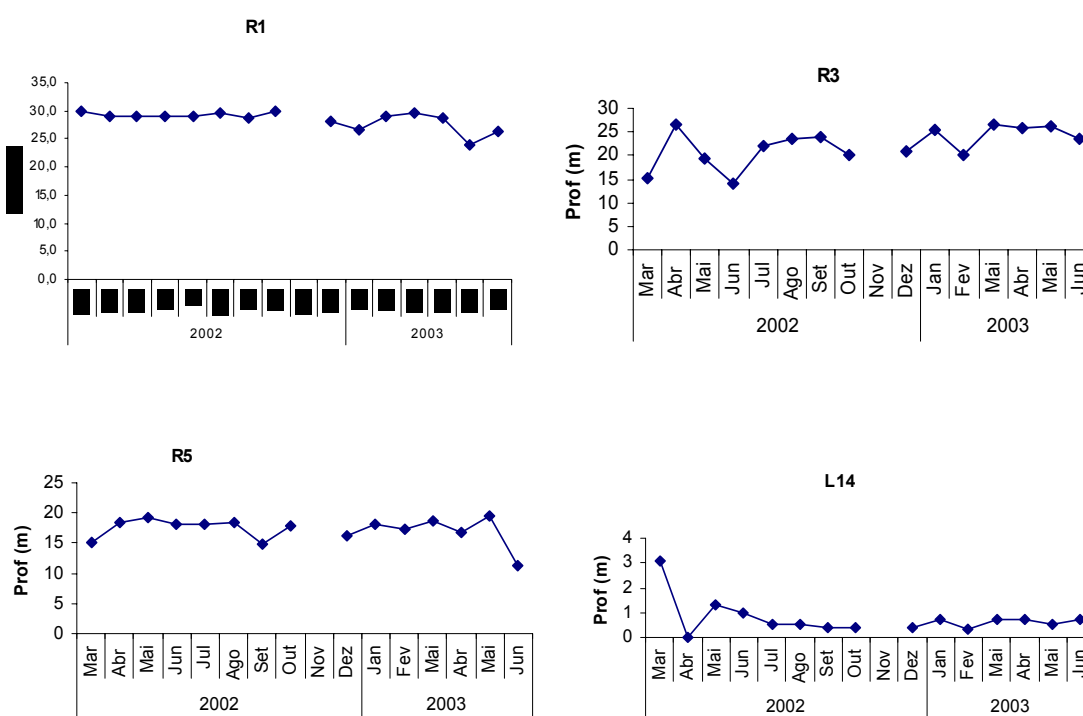


Fig 13. Localização dos pontos de amostragem para o estudo limnológico da UHE Luiz Eduardo Magalhães (Tocantins).

2.1. Variáveis físicas e químicas

1) *Profundidade local dos pontos de coleta*

A profundidade dos pontos de coleta mostrou uma flutuação mensal relacionada com a época da cheia e estiagem. O ponto R1, ponto mais próximo a barragem apresentou uma profundidade média de 28,42m com a máxima em abril/02 durante a cheia e a mínima de 23,9m na seca em maio/03; o ponto R3 se localiza na altura da cidade de Palmas, apresentou uma profundidade média de 22,21m com a máxima de 26,6m em abril/02 a mínima de 15,2 m março/02); o ponto R5 próximo à cidade de Porto Nacional apresentou uma profundidade media de 17,18m com máximo de 19,5m registrado em maio/03 e o mínimo de 11,3m em junho/03. A Figura 14 mostra a flutuação das profundidades registradas nos pontos de amostragem durante o período de estudo (março/2002 a junho/2003).



cont.

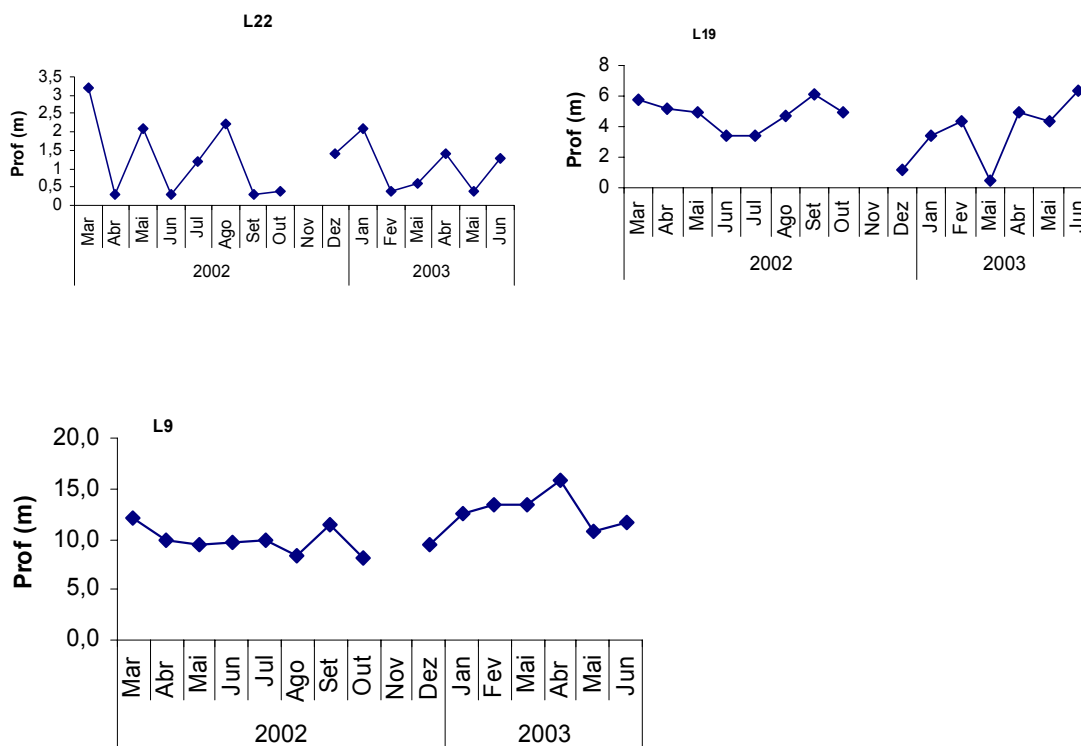


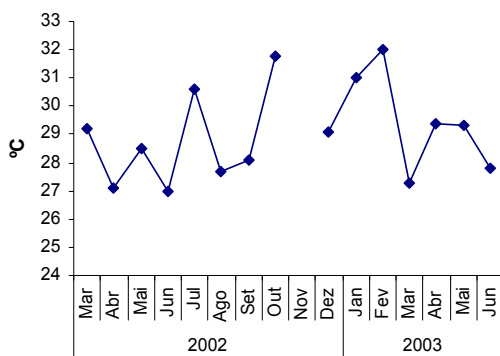
Fig 14. Flutuação das profundidades dos pontos localizados no canal da represa R1,R3, R5 e nas margens (L9, L14, L19 e L22), da represa de Lajeado, TO, durante o período de março de 2002 a junho de 2003.

Os pontos situados na desembocadura dos tributários tais como o L9 (Ribeirão do Lajeado), L14 (Ribeirão de Água Fria), L19 (Ribeirão do São João) e L22 (Córrego São João) apresentaram profundidades mais rasas sendo o ponto L9 mais profundo, com uma profundidade média de 11,05m registrando uma profundidade máxima de 15,8m em abril/03 e uma mínima de 8,0m em outubro/02. O ponto L19 desembocadura do Ribeirão São João apresentou uma profundidade média de 4,23m com a máxima de 6,3m registrada em junho/03 e mínima de 0,5m em março de 2002. Os pontos L14 onde desemboca Ribeirão de Água Fria e L22 onde desemboca o Córrego São João apresentaram profundidades médias, de 0,74m e 1,17m, respectivamente.

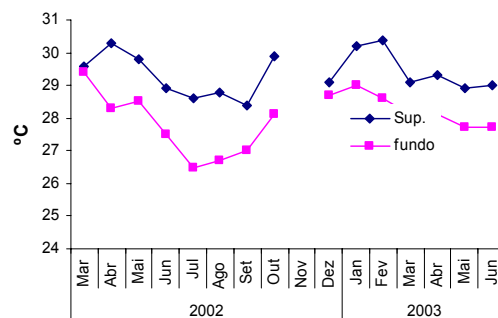
2) *Varição da temperatura da água*

A estrutura térmica é um importante fator para a compreensão da dinâmica de um sistema aquático. Em geral reservatórios de regiões tropicais que são construídos em áreas planas desprotegidas da ação do vento não desenvolvem estratificação térmica. A estrutura térmica do reservatório UHE Luiz Eduardo Magalhães mostra uma amplitude de variação entre a temperatura da água da superfície e do fundo ao redor de 2°C, na maioria das situações. Somente em outubro/02 registrou-se um valor de 3,0°C no ponto R1 e um valor de 2,7°C no L19 em janeiro/03. A Fig 15 mostra a variação da temperatura da água da superfície e do fundo nas estações do canal do reservatório (R1,R3 e R5) e na desembocadura dos rios nos pontos L9 e L19. Nos pontos L14 e L22 por terem profundidades menores (<1,0m) as medidas foram feitas apenas na superfície. A temperatura média da água da superfície nos pontos R1,R3 e R5 esteve em torno de 29,3°C e a do fundo em torno de 28,1°C .

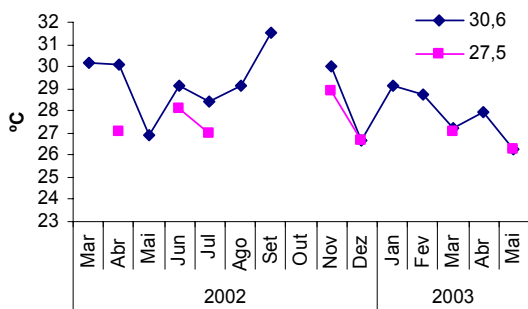
L14-Ribeirão de Água Fria



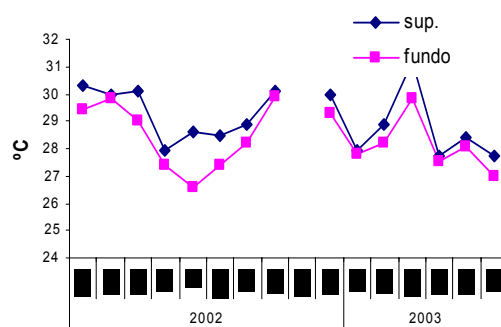
R3 (canal da represa)



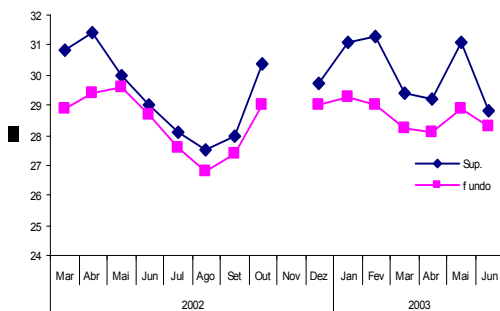
L22 – Córrego São João



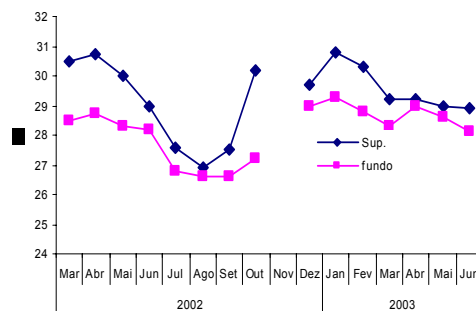
R5 (canal da represa)



L9 – Ribeirão do Lajeado



R1 (canal da represa)



Cont.

L19 – Ribeirão do São João

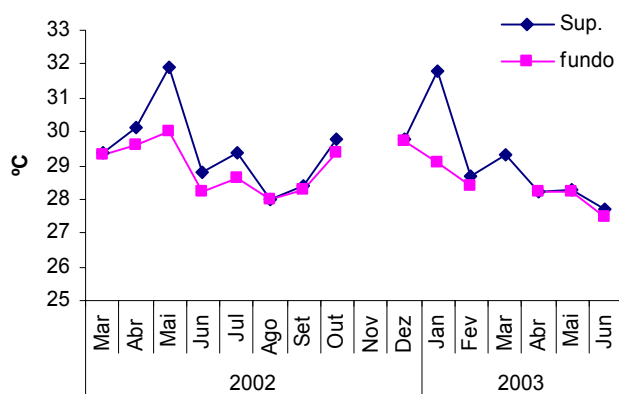
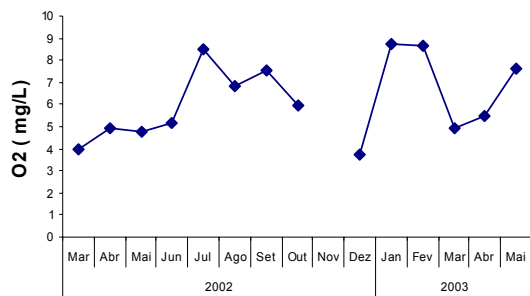


Fig 15. Variação da temperatura da água (superfície e fundo) durante o período de março/2002 a junho/2003, nos pontos R3,R5 e R1 (canal da represa) e em L14, L22, L9 e L19 que correspondem respectivamente à desembocadura de Ribeirão de Água Fria, Córrego São João, Ribeirão do Lajeado e Ribeirão do São João.

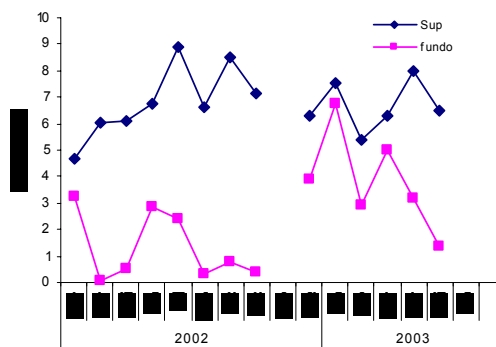
3) Variação da concentração de oxigênio dissolvido

Na construção de reservatórios é comum a ocorrência de um forte decréscimo da concentração do oxigênio dissolvido, e até de uma completa desoxigenação, logo após a fase de enchimento dos reservatórios devido à grande área de vegetação terrestre ou de áreas ocupada por atividade humanas, inundadas. No caso do reservatório da UHE Luiz Eduardo Magalhães observa-se que ocorre uma forte desoxigenação nos pontos situados no canal da represa, principalmente nos pontos R1 e R3 em certas épocas do ano, como mostra a Fig 16. Os valores médios de oxigênio dissolvido da água da superfície e do fundo registrados nos diferentes pontos de amostragem foram os seguintes: R1 (sup.: 6,31mg/L; fundo: 2,24mg/L); R3 (sup: 7,10mg/L; fundo 2,99mg/L); R5 (sup: 7,75mg/L; fundo 6,43mg/L); L9 (sup: 7,28mg/L; fundo: 4,27mg/L); L14 (sup: 5,77mg/L); L19 (sup: 6,45mg/L; fundo: 5,05mg/L); L22 (sup: 7,44mg/L).

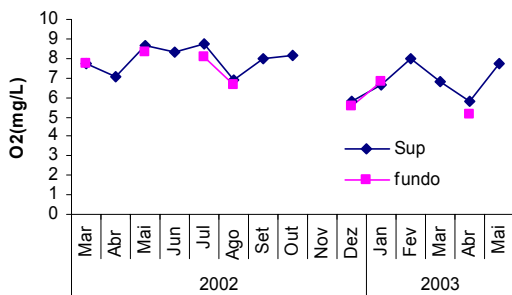
L14- Ribeirão da Água Fria



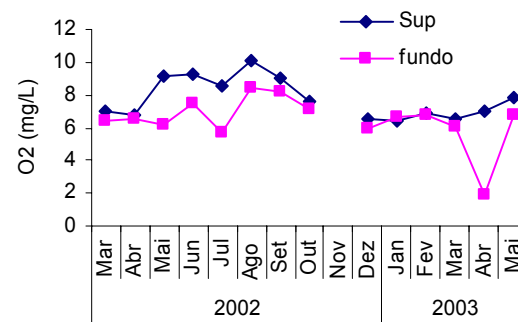
R3 (canal da represa)



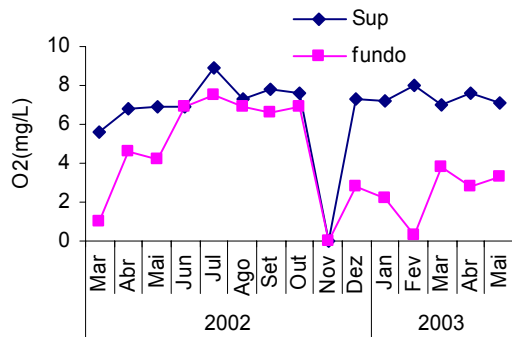
L22



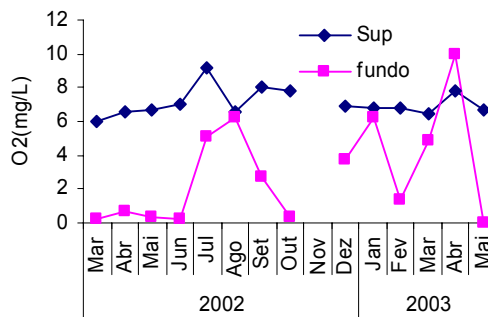
R5



L9



R1



Cont.

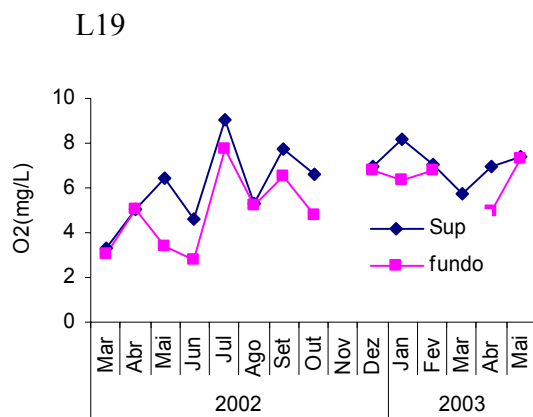
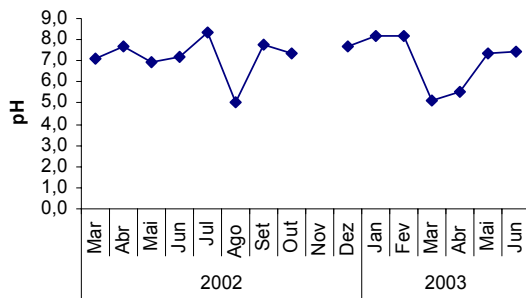


Fig 16. Variação do oxigênio dissolvido (superfície e fundo) durante o período de março/2002 a junho/2003, nos pontos R3,R5 e R1 (canal da represa) e em L14, L22, L9 e L19 que correspondem respectivamente à desembocadura de Ribeirão de Água Fria, Córrego São João, Ribeirão do Lajeado e Ribeirão do São João, na represa do Lajeado, TO.

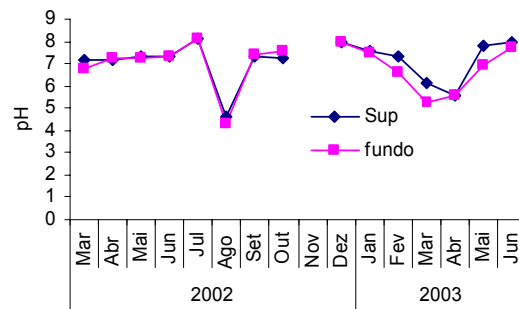
4) Variação da atividade hidrogeniônica – pH

O pH da água do reservatório não sofreu grandes variações nos diferentes pontos analisados. Os valores médios obtidos nos pontos R1,R3 e R5 foram respectivamente 7,15, 7,29 e 7,68 e nos pontos L9, L14, L19 e L22 foram : 7,11 , 7,11, 7,15 e 6,91. Em todos os pontos os valores máximos atingidos estiveram na faixa de 8,05 a 8,76 e os mínimos na faixa de 4,14 a 5,53. A Fig 17 mostra a flutuação do pH nos diferentes pontos do reservatório , na superfície e no fundo, durante o período de março/2002 a junho de 2003.

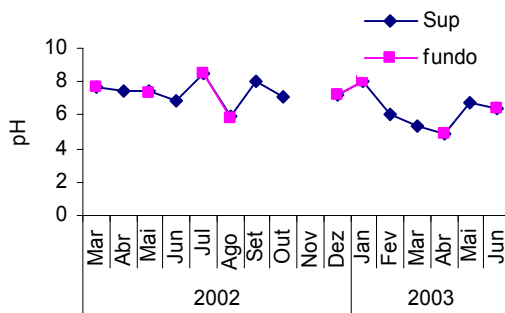
L14



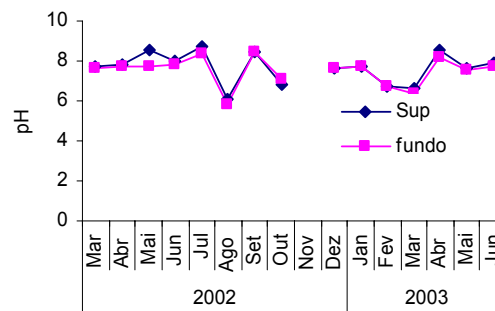
R3



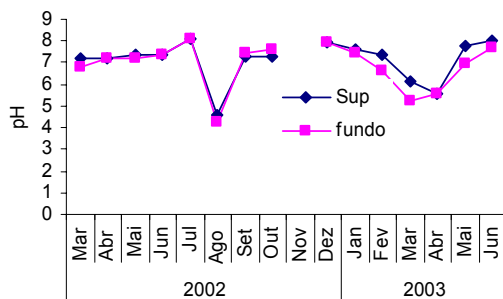
L22



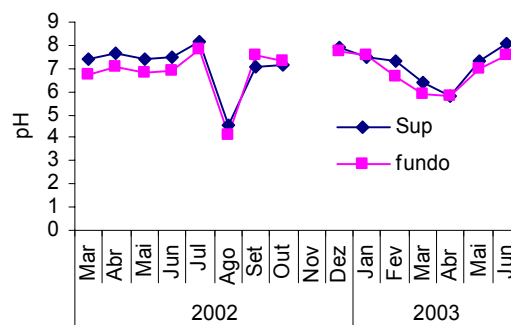
R5



L9



R1



Cont.

L19

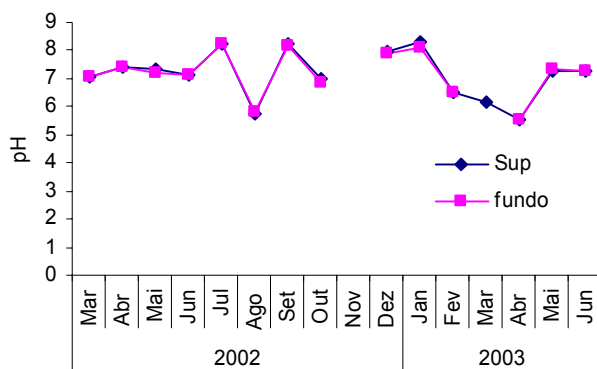
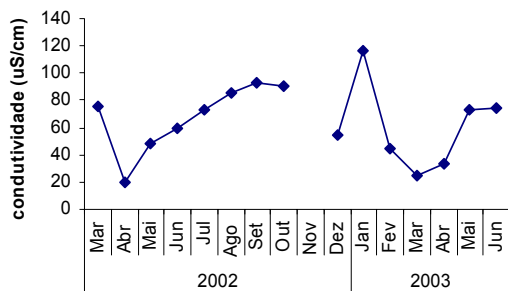


Fig 17. Variação de pH (superfície e fundo) durante o periodo de março/2002 a junho/2003, nos pontos R3,R5 e R1 (canal da represa) e em L14, L22, L9 e L19 que correspondem respectivamente à desembocadura de Ribeirão de Água Fria, Córrego São João, Ribeirão do Lajeado e Ribeirão do São João.

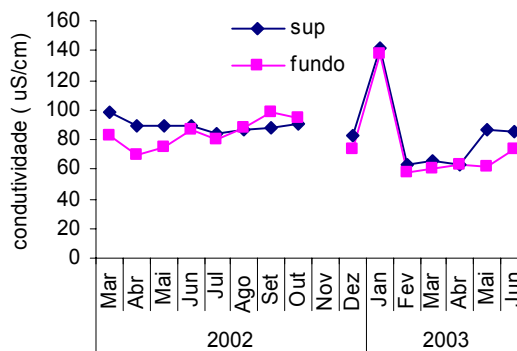
5) Variação da Condutividade elétrica

A condutividade elétrica reflete em uma estimativa geral disponível das concentrações dos principais íons presentes na água incluindo nutrientes. Os pontos localizados no canal do reservatório apresentaram valores maiores do que os pontos localizados na desembocadura dos ribeirões e dos córregos. Como se observar na Fig 18 os valores médios de condutividade elétrica registrados nos pontos R1, R3 e R5 na superfície foram respectivamente 85 – 86,6 e 88 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e no fundo 83 – 80 e 85 $\mu\text{S}/\text{cm}$, não apresentando grandes variações entre as camadas da superfície e do fundo. Os pontos L9 e L19 apresentaram valores de condutividade semelhante aos dos pontos do canal do reservatório : 81,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no L9 e 85 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no L19.

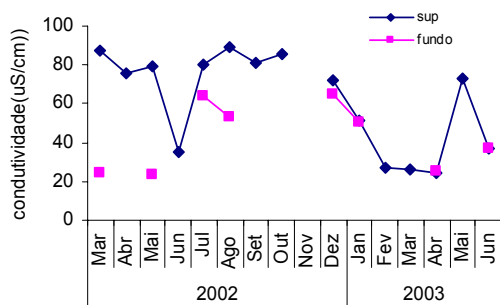
L14



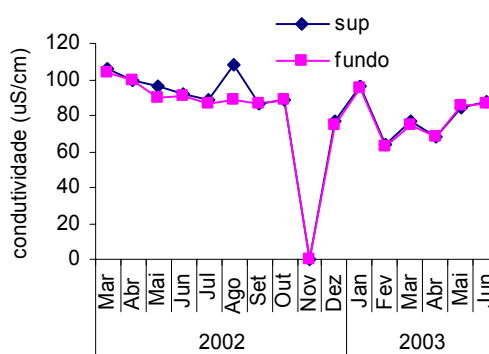
R3



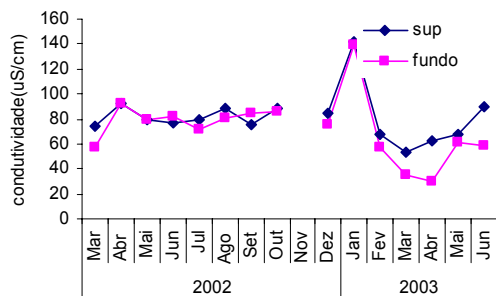
L22



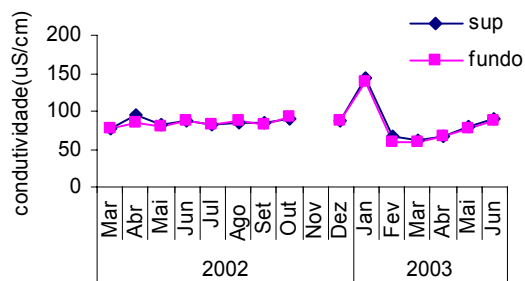
R5



L9



R1



Cont.

L19

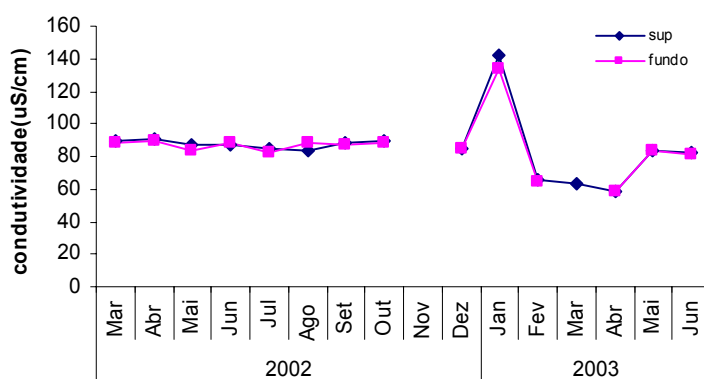


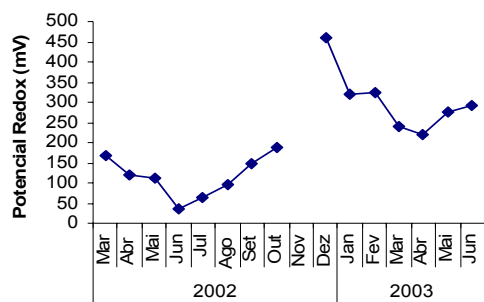
Fig 18. Variação da condutividade (superfície e fundo) durante o período de março/2002 a junho/2003, nos pontos R3, R5 e R1 (canal da represa) e em L14, L22, L9 e L19 que correspondem respectivamente à desembocadura de Ribeirão de Água Fria, Córrego São João, Ribeirão do Lajeado e Ribeirão do São João

6) Variação do Potencial Redox

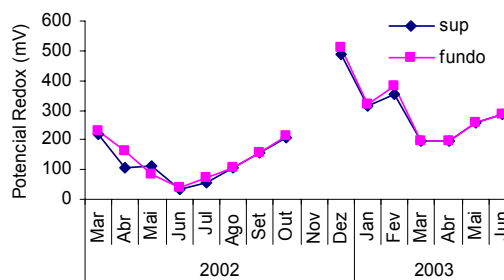
O potencial de oxidação e redução ou simplesmente chamado de potencial redox (E_h) mede a situação em que uma substância sofre oxidação ou redução. A concentração do íon hidrogênio (pH) afeta o E_h sendo portanto necessário corrigir ao pH padrão que usualmente é 7,0. Assim, o E_h é expresso como E_7 . A Fig 19 mostra a variação do E_7 , na superfície e no fundo dos 7 pontos do reservatório no transcorrer do período de um ano. Os valores médios obtidos encontram-se entre 214 e 177 mV. No ponto R3 o valor médio de ORP (E_7), na superfície foi 206mV sendo o máximo registrado em dezembro/02, 486mV e o mínimo 36mV em junho/02. No fundo o valor médio foi 214mV, o máximo 512mV e o mínimo 37mV, registrados nas mesmas épocas do ano. No ponto R5 o valor médio de E_7 , na superfície foi 191mV, o máximo 504mV e o mínimo 18mV registrados respectivamente em dez/02 e jun/02; no fundo o valor médio de E_7 foi 203mV sendo o máximo 519mV e o mínimo 24, no mesmo período do ano. No ponto R1 o valor médio do E_7 , na superfície foi 186 mV com máximo valor de 411mV e mínimo de 18mV registrados respectivamente em dez/02 e jun/02. Na camada do fundo o máximo registrado foi 439mV e em março, maio e junho foram registrados valores de E_7 negativos, -5, -37 e -74 respectivamente. Os valores

negativos de potencial indicam a presença de muitos elementos reduzidos.

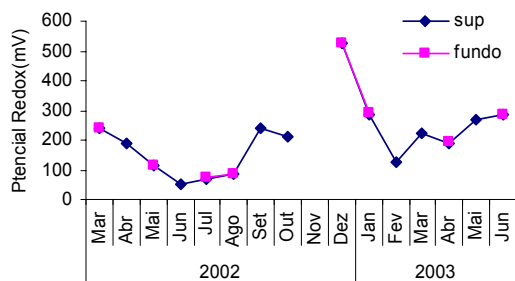
L14



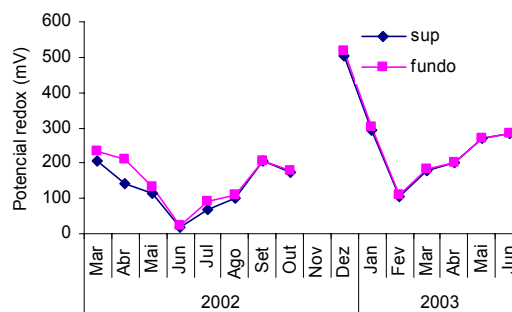
R3



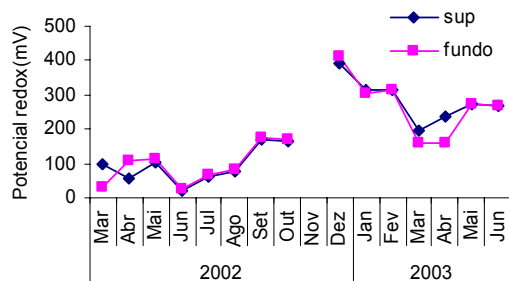
L22



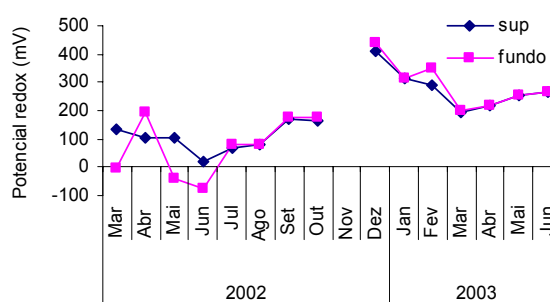
R5



L9



R1



Cont.

L19

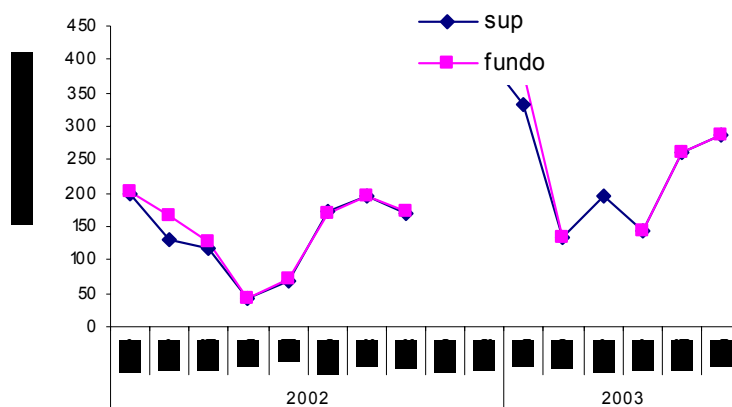


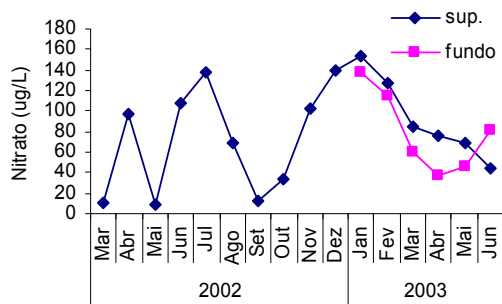
Fig 19. Variação do potencial redox (superfície e fundo) durante o período de março/2002 a junho/2003, nos pontos R3, R5 e R1 (canal da represa) e em L14, L22, L9 e L19 que correspondem respectivamente à desembocadura de Ribeirão de Água Fria, Córrego São João, Ribeirão do Lajeado e Ribeirão do São João

7) Nutrientes

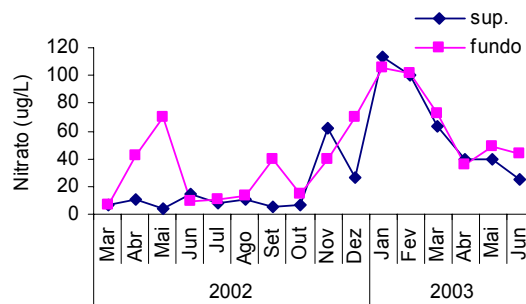
Dentre os nutrientes essenciais ao crescimento dos organismos produtores, aqueles considerados macronutrientes, isto é, aqueles que os produtores mais utilizam para a construção da sua estrutura celular destacam-se o nitrogênio e o fósforo. Esses dois compostos para serem utilizados pelos produtores devem estar na sua forma inorgânica, no caso do nitrogênio na forma de nitrato (NO_3^-) e de amônio (NH_4^+) e fosfato (PO_4^{3-}). A análise do nitrogênio total e fósforo total que engloba o nitrogênio e fósforo dissolvido mais particulado, fornece o estado nutricional do sistema. A Fig 20 mostra a variação sazonal da concentração de nitrato nos 7 pontos do reservatório na superfície e no fundo. A forma NO_3^- é uma forma oxidada ocorrendo conseqüentemente em ambientes oxidados. Os valores médios de concentração de nitrato registrados nos 7 pontos foram baixos. Nos pontos do canal da represa, R1, R3 e R5 esses valores médios foram respectivamente: 47, 39 e 36 $\mu\text{g/L}$. Nos pontos da desembocadura dos córregos e ribeirões L9, L14, L22 e L19 foram respectivamente 58, 79, 437 e 19 $\mu\text{g/L}$.

a) Variação do Nitrato

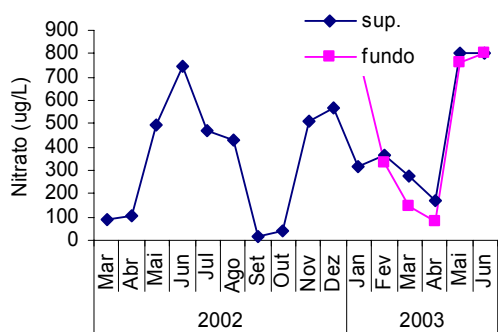
L14



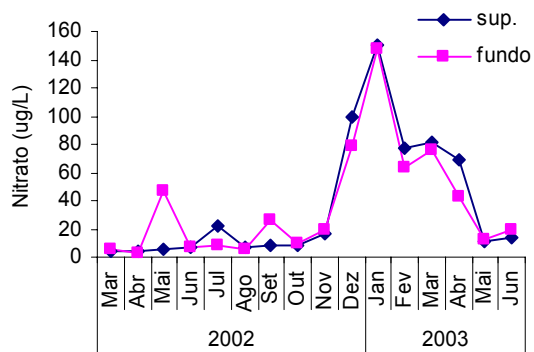
R3



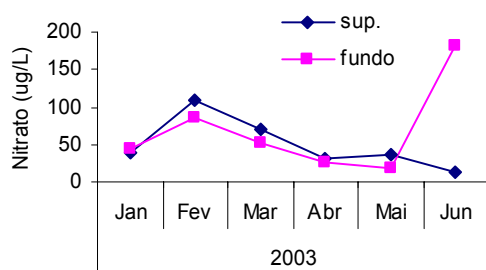
L22



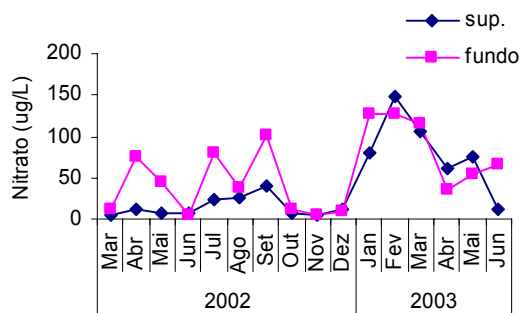
R5



L9



R1



Cont.

L19

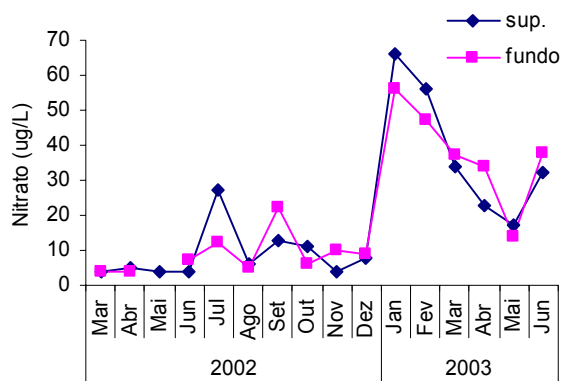
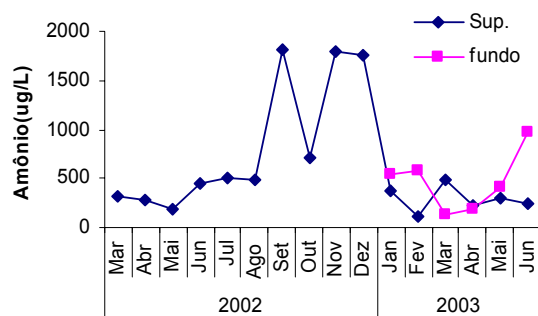


Fig 20. Variação da concentração de nitrato (superfície e fundo) durante o período de março/2002 a junho/2003, nos pontos R3, R5 e R1 (canal da represa) e em L14, L22, L9 e L19 que correspondem respectivamente à desembocadura de Ribeirão de Água Fria, Córrego São João, Ribeirão do Lajeado e Ribeirão do São João

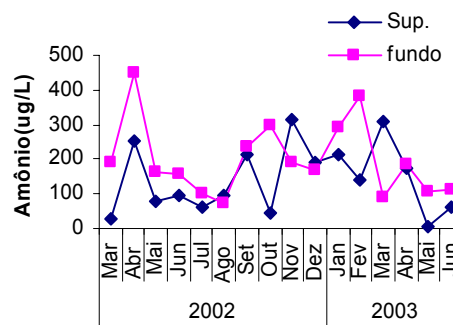
b) Variação do Amônio (NH_4^+)

Essa forma reduzida de nitrogênio inorgânico foi encontrada em altas concentrações em quase todos os pontos do reservatório, ocorrendo em maiores concentrações na camada do fundo do que da superfície. Os valores médios registrados nas águas da superfície e do fundo dos pontos R1, R3 e R5 foram respectivamente: 139 e 225 µg/L; 143 e 199 µg/L; 154 e 248 µg/L. Nos pontos da desembocadura dos córregos L9, L14, L22 e L19 os valores médios da concentração de amônia na superfície e no fundo foram respectivamente: 115 e 183 µg/L; 627 e 471 µg/L; 235 e 296 µg/L; 187 e 228 µg/L. A Fig 21 mostra as variações de concentração de amônio ocorridas no período de estudo nos 7 pontos do reservatório.

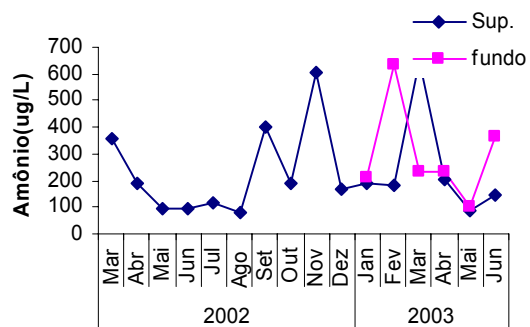
L14



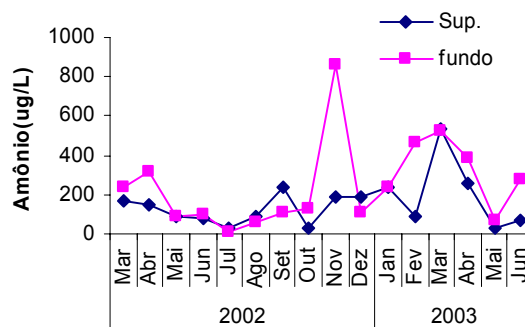
R3



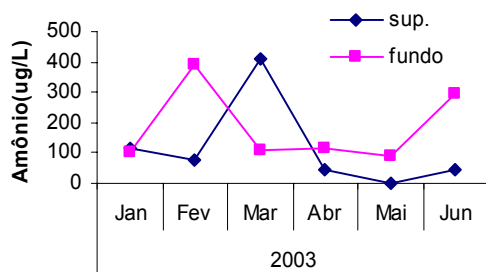
L22



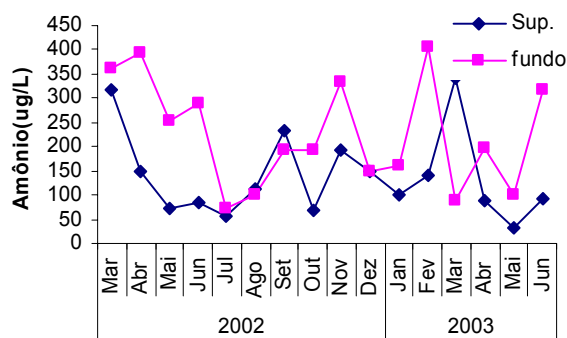
R5



L9



R1



cont.

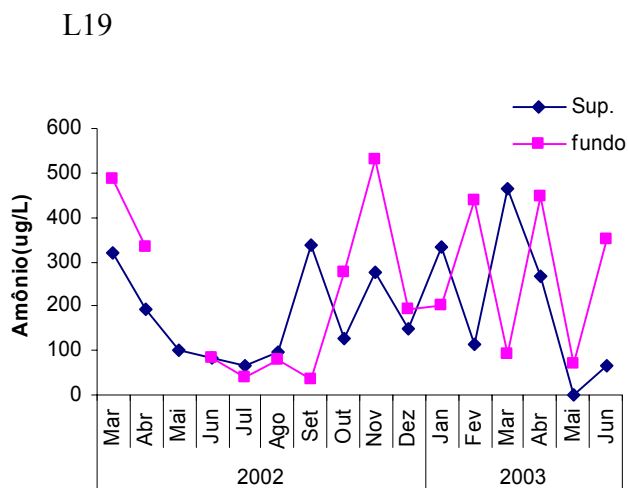
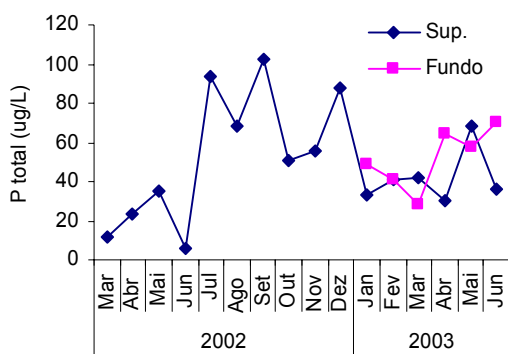


Fig 21. Variação da concentração de amônio (superfície e fundo) durante o período de março/2002 a junho/2003, nos pontos R3,R5 e R1 (canal da represa) e em L14, L22, L9 e L19 que correspondem respectivamente à desembocadura de Ribeirão de Água Fria, Córrego São João, Ribeirão do Lajeado e Ribeirão do São João

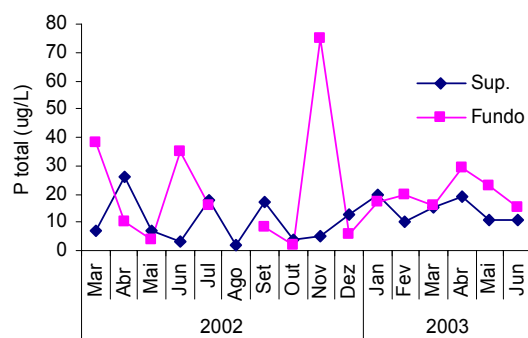
c) Variação do fósforo total

O fósforo constitui o principal fator limitante em água doce. O fósforo inorgânico sob a forma de PO_4^{3-} no meio oxigenado combina com outros elementos presentes tais como Fe, Al formando um precipitado que fica imobilizado no fundo do sedimento. Somente em condições redutoras o complexo fosfato férrico se transforma em fosfato ferroso liberando o P ao meio, o qual será utilizado pelo fitoplâncton. Em reservatórios, a entrada de fósforo é originária principalmente dos tributários que recebem descargas domésticas e também de fontes não pontuais (através da área de drenagem). No reservatório da UHE Luiz Eduardo Magalhães, nos pontos localizados no canal da represa os valores obtidos oscilaram entre $8,5\mu\text{g/L}$ no ponto R1 a $16,5\mu\text{g/L}$ no ponto R5. Porém, na desembocadura dos tributários, L14 (desembocadura do Ribeirão de Água Fria), a concentração de fósforo total foi de $50,0\mu\text{g/L}$, e no L22 (desembocadura do Córrego São João) foi de $40,5\mu\text{g/L}$. A Fig 22 mostra a flutuação dos valores da concentração de fósforo nos 7 pontos do reservatório durante o ciclo de um ano.

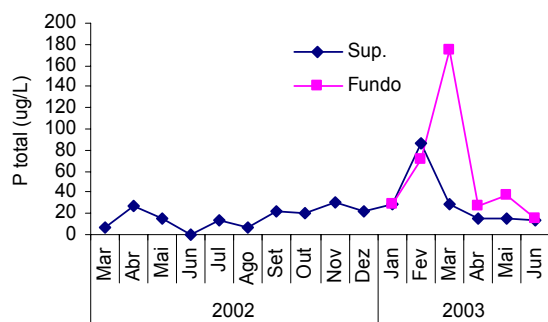
L14



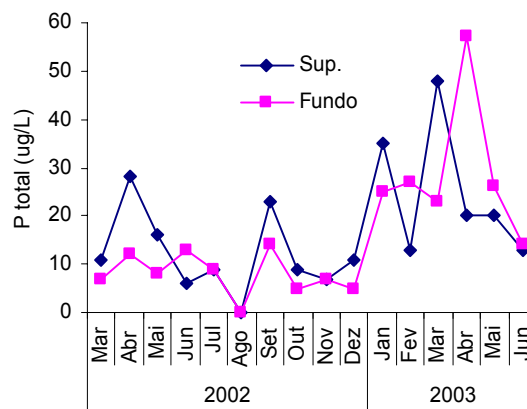
R3



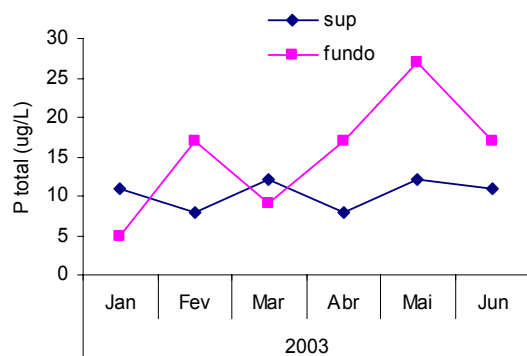
L22



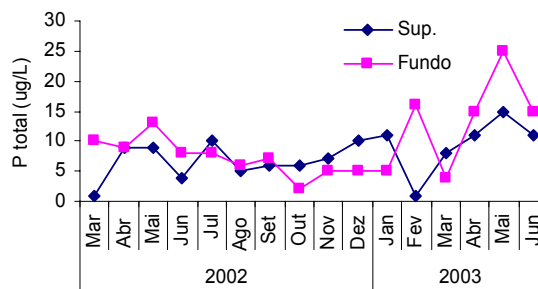
R5



L9



R1



Cont.

L19

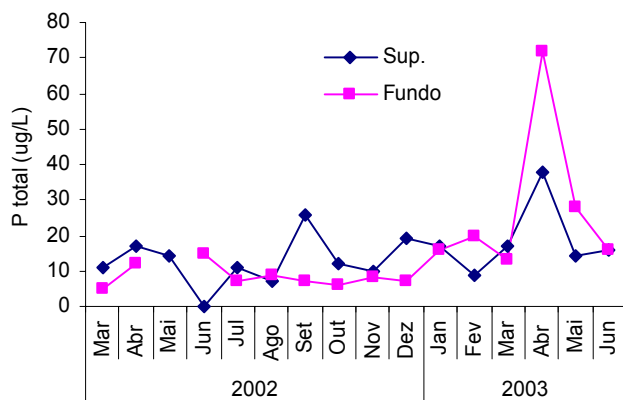
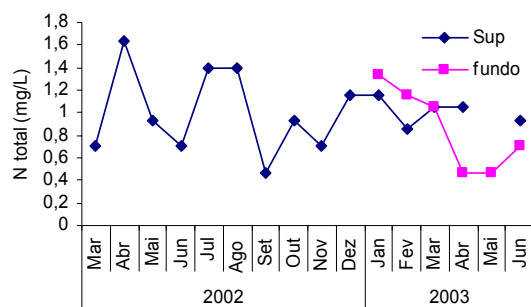


Fig 22. Variação da concentração de Fósforo total (superfície e fundo) durante o período de março/2002 a junho/2003, nos pontos R3, R5 e R1 (canal da represa) e em L14, L22, L9 e L19 que correspondem respectivamente à desembocadura de Ribeirão de Água Fria, Córrego São João, Ribeirão do Lajeado e Ribeirão do São João

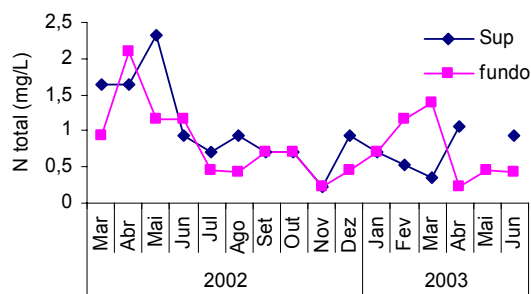
d) Variação do Nitrogênio total

O nitrogênio total medido nos 7 pontos do reservatório apresentou valores médios que flutuaram de 0,56mg/L registrado no ponto L9 a 1,0mg/L no ponto L14. Esses valores, porém, apresentam grandes flutuações ao longo do ano como pode ser visto na Fig 23, em todos os pontos, quando altos valores como 1,8 mg/L, foram obtidos em algumas épocas no ponto R1 bem como baixos valores de 0,23mg/L em outras épocas. Altos valores estão relacionados com a época da cheia e baixos valores com a época da seca.

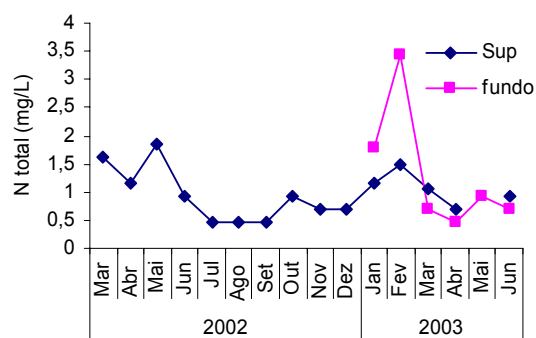
L14



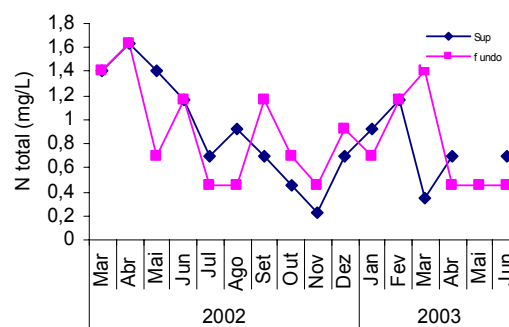
R3



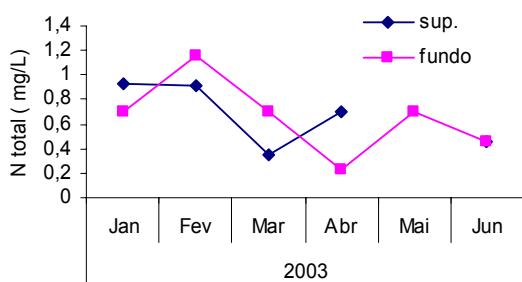
L22



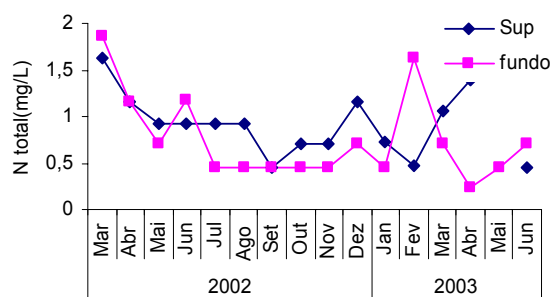
R5



L9



R1



Cont.

L19

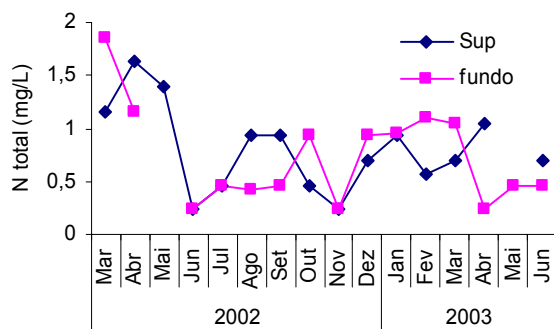


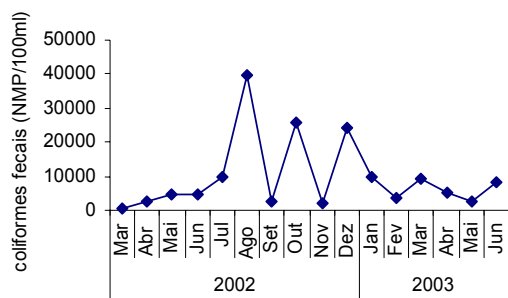
Fig 23. Variação da concentração de Nitrogênio total (superfície e fundo) durante o período de março/2002 a junho/2003, nos pontos R3, R5 e R1 (canal da represa) e em L14, L22, L9 e L19 que correspondem respectivamente à desembocadura de Ribeirão de Água Fria, Córrego São João, Ribeirão do Lajeado e Ribeirão do São João

8) Variáveis biológicas

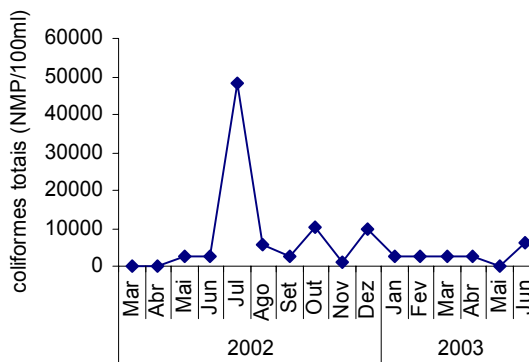
a) Variação de coliformes totais

Os coliformes totais analisados apresentaram valores altos nos pontos R3 e L14 como pode ser visto na Fig 24 onde foram registrados picos de 48.384 e 39.725 NMP/100ml respectivamente em julho/02. Valores médios obtidos para os pontos R3 R14 foram respectivamente 6.147 e 9646 NMP/100ml. Os pontos L9 e R5 são os que apresentaram as mais baixas concentrações de coliformes fecais sendo os seus valores médios 489 e 1315 NMP/100ml. Os outros três pontos R1, L22 e L19 apresentaram respectivamente 5081, 5924 e 4788 NMP/100ml.

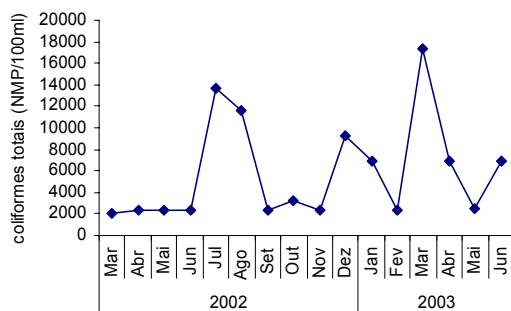
L14



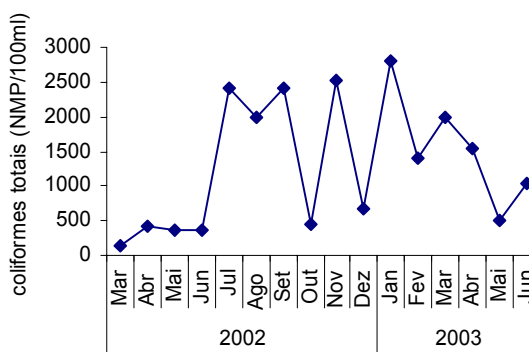
R3



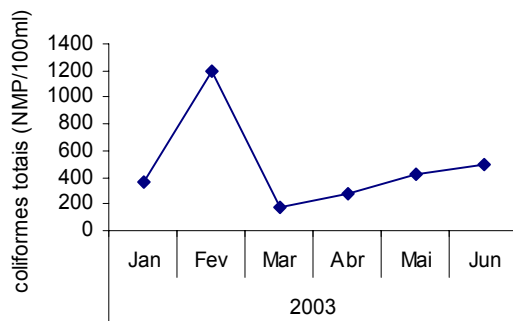
L22



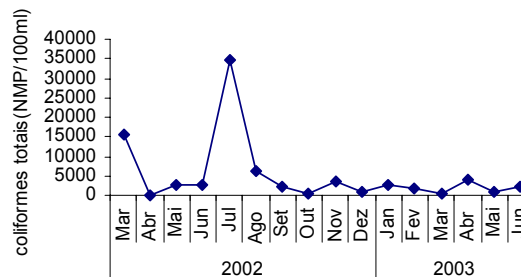
R5



L9



R1



Cont.

L19

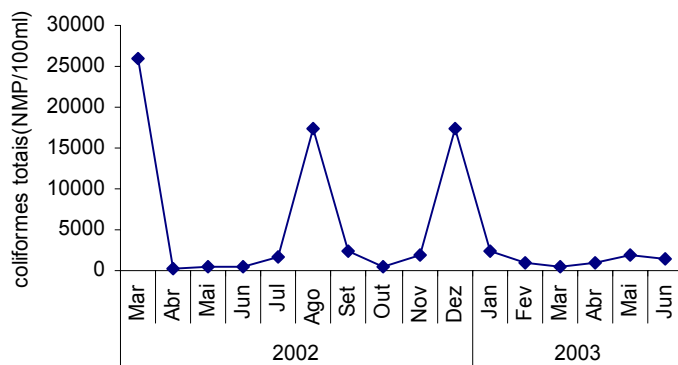


Fig 24. Variação da concentração de coliformes totais (superfície e fundo) durante o período e março/2002 a junho/2003, nos pontos R3, R5 e R1 (canal da represa) e em L14, L22, L9 e L19 que correspondem respectivamente à desembocadura de Ribeirão de Água Fria, Córrego São João, Ribeirão do Lajeado e Ribeirão do São João

b) Variação de coliformes fecais

A presença de coliformes fecais nos pontos L14 (desembocadura do Ribeirão de Água Fria) e L22 (desembocadura do Córrego São João) é indicio do lançamento de esgotos domésticos das cidades de Palma e Porto Nacional respectivamente. Como mostra a Fig 25 picos de 1513 e 2419 NMP/100ml foram registrados no ponto L14 e picos de 727 e 699 NMP/100ml foram registrados no ponto L22. Nos demais pontos não foram detectados coliformes fecais.

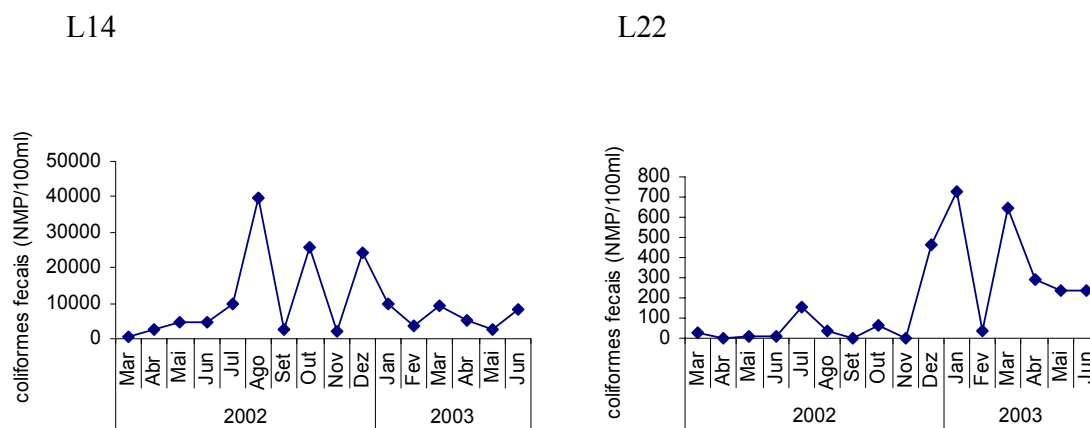
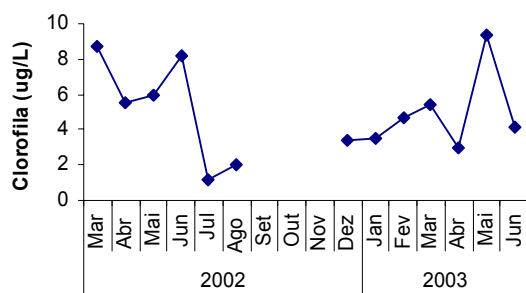


Fig 25. Flutuação da concentração de coliformes fecais nos pontos L14 e L22.

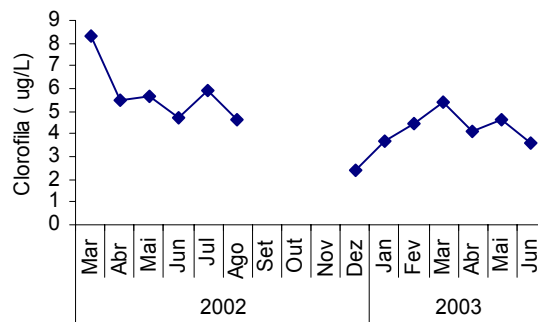
c) *Variação da clorofila*

A biomassa fitoplancônica analisada sob a forma de clorofila apresentou valores baixos em todos os pontos como pode ser visto na Fig 26, com concentrações sempre inferior a $10\mu\text{g/L}$. Os valores médios registrados variaram de um mínimo de $4,2\mu\text{g/L}$ no ponto R3 a um máximo de $5,2\mu\text{g/L}$ no ponto L19.

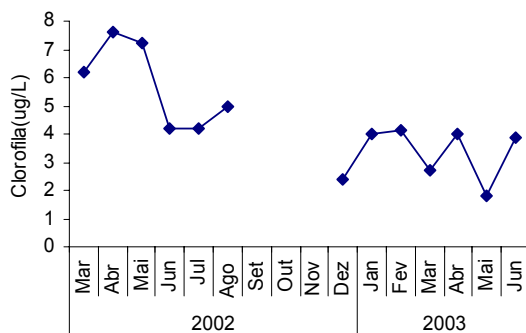
L14



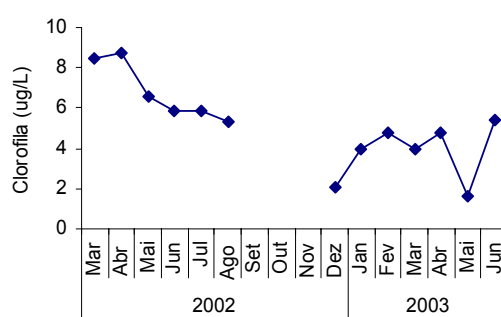
R3



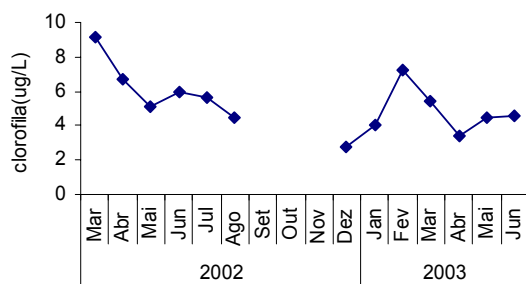
L22



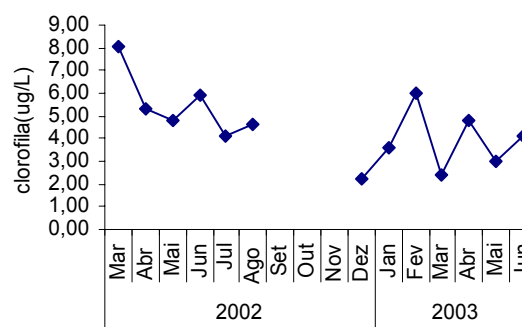
R5



L9



R1



Cont.

L19

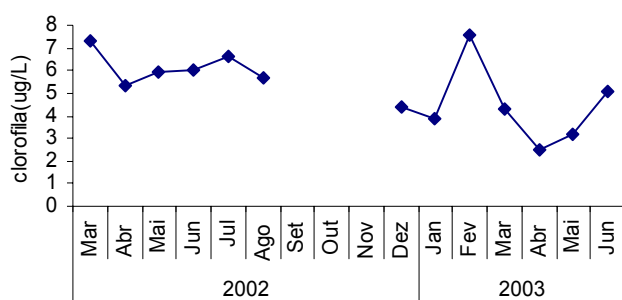


Fig 26. Variação da concentração de clorofila (superfície) durante o período de março/2002 a junho/2003, nos pontos R3,R5 e R1 (canal da represa) e em L14, L22, L9 e L19 que correspondem respectivamente à desembocadura de Ribeirão de Água Fria, Córrego São João, Ribeirão do Lajeado e Ribeirão do São João

d) *Composição fitoplanctônica*

A composição fitoplanctônica em termos de grupos taxonômicos foi analisada somente nos pontos R1, R3, R5 e nos pontos L9 e L19 e em junho de 2003. Em todos os pontos, nessa época do ano houve dominância do grupo das CHLOROPHYCEAE seguido de DIATOMOPHYCEAE. O grupo das CYANOPHYCEAE indicador do processo da eutrofização não ocorreu em abundância significativa em nenhum dos pontos. A tabela 3 e as figuras de Fig 27 a Fig 31 apresentam os dados relativos à abundância relativa dos grupos fitoplanctônicos registrados nos pontos R1, R3, R5, L9 e L19 em junho /2003.

Tabela 3. Abundância relativa (%) dos principais grupos taxonômicos do fitoplâncton nos pontos R1, R3, R5, L9 e L19 do reservatório de Lajeado, TO, em junho de 2003.

Grupos taxonômicos	R1	R3	R5	L9	L19
CHLOROPHYCEAE	51,31	38,24	28,28	51,89	48,39
CYANOPHYCEAE	6,98	11,04	5,45	36,35	13,12
DIATOMOPHYCEAE	20,77	21,45	54,95	7,51	22,26
EUGLENOPHYCEAE	2,09	2,33	9,49	0,94	0,97
CHRYSOPHYCEAE	8,9	23,79	0,0	1,42	11,18
CHRYPTOPHYCEAE	6,98	3,14	1,82	0,94	4,09
DINOPHYCEAE	1,05	0,0	0,0	0,94	0,0
XANTOPHYCEAE	1,92	0,0	0,0	0,0	0,0

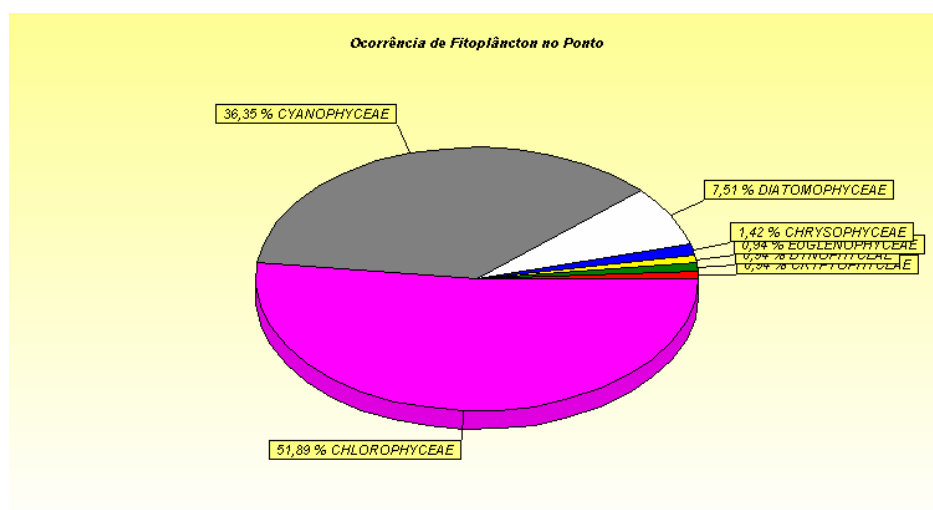


Fig 27. Abundância relativa dos principais grupos fitoplanctônicos no ponto L9 (desembocadura do Ribeirão Lajeado), na Represa do Lajeado, TO, em junho de 2003.

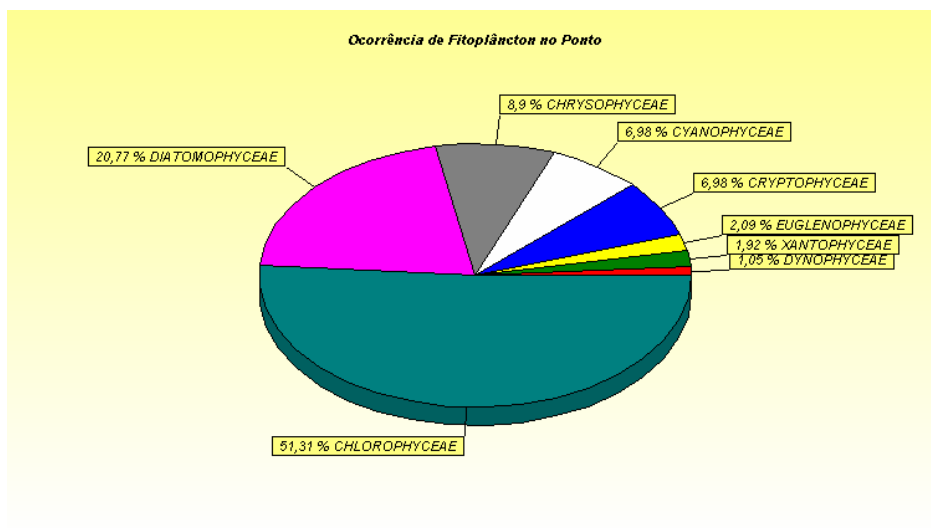


Fig 28. Abundância relativa dos principais grupos fitoplanctônicos no ponto R1 (canal da represa sob a influência do Ribeirão do Lajeado), na Represa do Lajeado, TO, em junho de 2003.

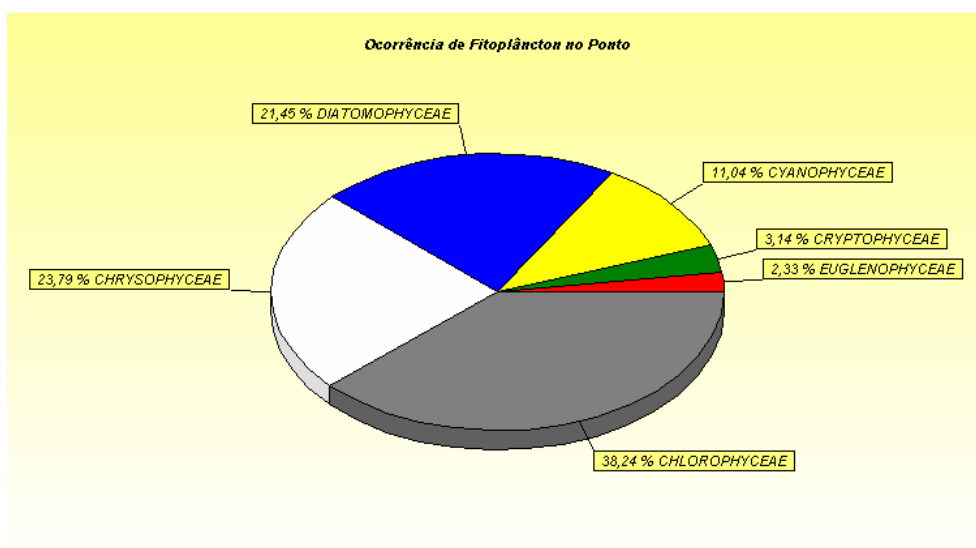


Fig 29. Abundância relativa dos principais grupos fitoplanctônicos no ponto R3 (canal da represa sob a influência do Ribeirão da Água Fria), na Represa do Lajeado, TO, em junho de 2003.

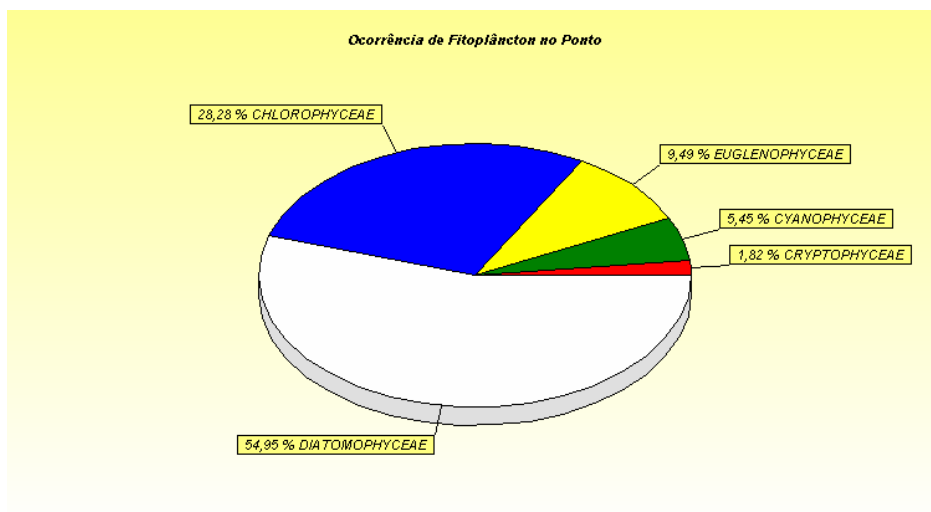


Fig 30. Abundância relativa dos principais grupos fitoplanctônicos no ponto R5 (canal da represa sob a influenciado Córrego São João), na Represa do Lajeado, TO, em junho de 2003.

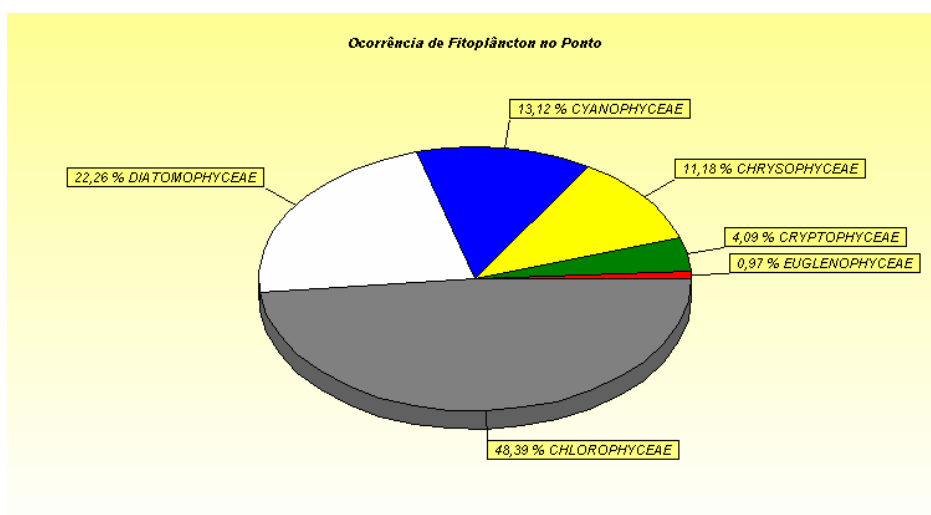


Fig 31. Abundância relativa dos principais grupos fitoplanctônicos no ponto L19. (desembocadura do Ribeirão do São João), na Represa do Lajeado, TO, em junho de 2003.

e) *Composição zooplanctônica*

A composição taxonômica do zooplâncton, analisada no mês de junho de 2003 nos 7 pontos do reservatório revelou uma contribuição relativa de 52 a 53% para o grupo dos Rotifera nos pontos do canal, enquanto que nas desembocaduras esta variou de 67% no ponto L19 a 90% no ponto L22 com exceção do ponto L9 que registrou apenas 9% devido a presença de grande quantidade de nauplios de Copepoda. Essa abundância de organismos zooplanctônicos de pequeno porte tais como o grupo dos Rotifera e fase naupliar de Copepoda é uma condição comum em reservatórios recém construídos. Os cladóceros foram o segundo grupo mais abundante, variando de um mínimo de 5% nos pontos L14 e L19 a 18% no R1. a abundância dos Copepoda variou de um máximo de 25% registrado no R5 a um mínimo de 3% registrados no L14, L19 e L22. As figuras de 32 a 38 se referem à abundância relativa dos grupos zooplanctônicos respectivamente nos pontos R1, R3, R5, L9, L14, L19 e L22.

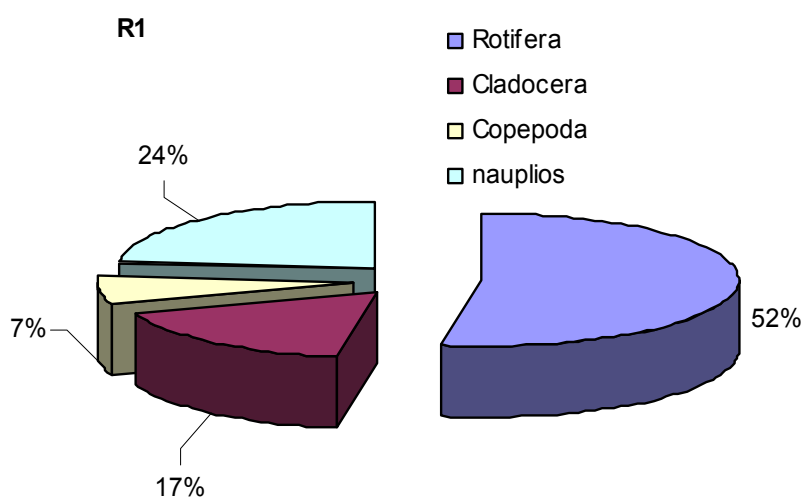


Fig 32. Abundância relativa dos grupos de zooplâncton no ponto R1 do reservatório do Lajeado, TO, em junho de 2003.

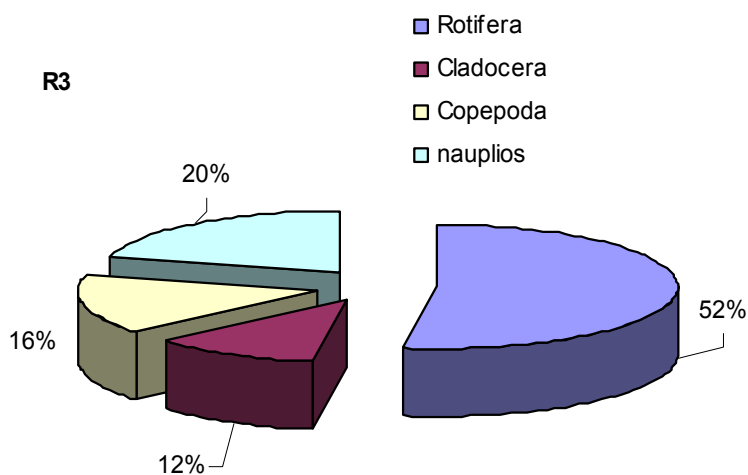


Fig 33. Abundância relativa dos grupos de zooplâncton no ponto R3 do reservatório do Lajeado, TO, em junho de 2003.

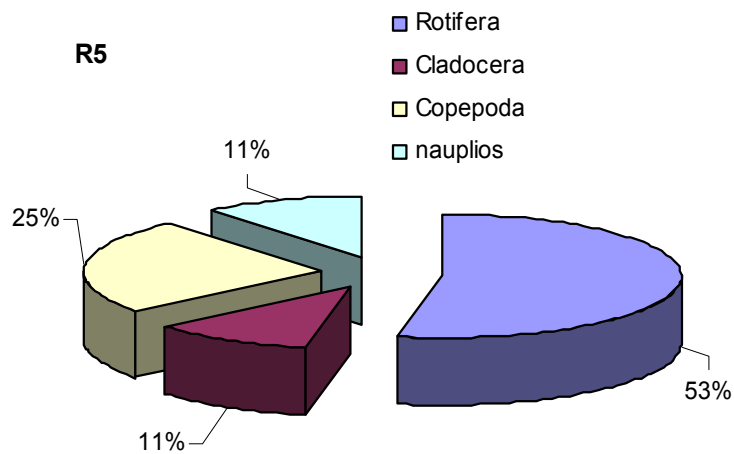


Fig 34. Abundância relativa dos grupos de zooplâncton no ponto R5 do reservatório do Lajeado, TO, em junho de 2003.

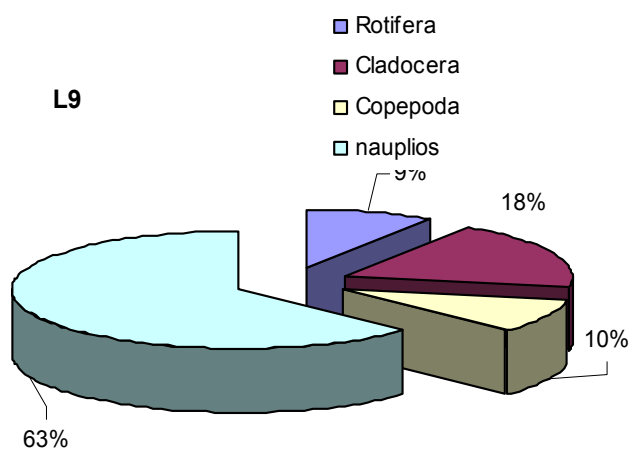


Fig 35. Abundância relativa dos grupos de zooplâncton no ponto L9 (desembocadura do Ribeirão do Lajeado), do reservatório do Lajeado, TO, em junho de 2003.

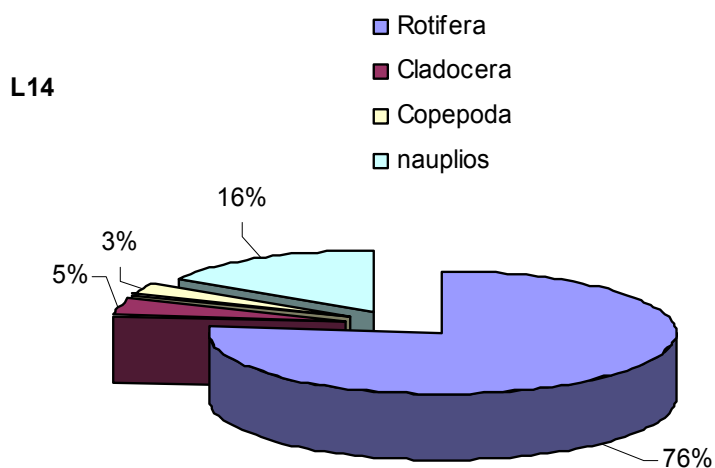


Fig 36. Abundância relativa dos grupos de zooplâncton no ponto L14 (desembocadura do Ribeirão da Água Fria), do reservatório do Lajeado, TO, em junho de 2003.

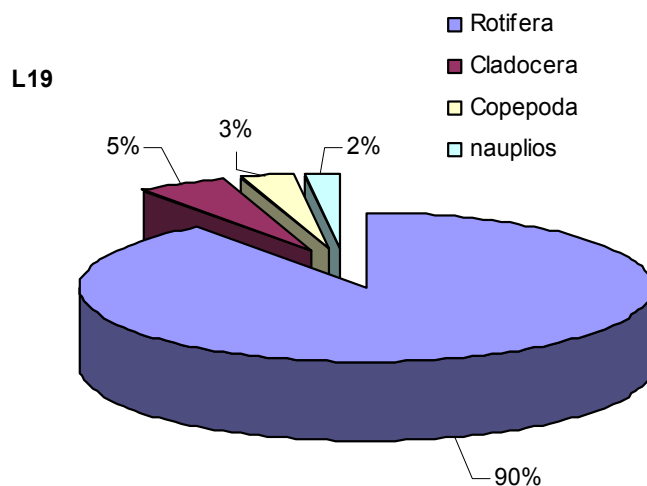


Fig 37. Abundância relativa dos grupos de zooplâncton no ponto L19 (desembocadura do Ribeirão do São João), do reservatório do Lajeado, TO, em junho de 2003.

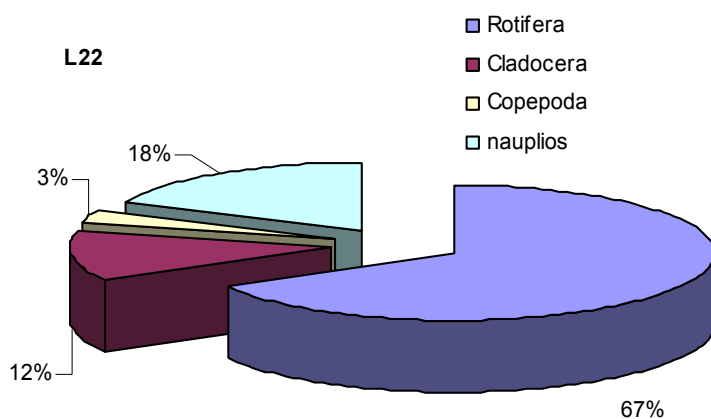


Fig 38. Abundância relativa dos grupos de zooplâncton no ponto L22 (desembocadura do Córrego São João), d reservatório do Lajeado, TO, em junho de 2003.

3. Dinâmica das variáveis limnológicas em tempo real

A compreensão dos processos limnológicos que ocorrem no reservatório depende muito da obtenção de dados em escala de tempo representativa. O reservatório é um sistema extremamente dinâmico que em questões de horas ou minutos, mudanças estruturais das variáveis limnológicas podem ocorrer. Dessa maneira medidas em tempo real são extremamente importantes e os dados obtidos no reservatório UHE Luiz Eduardo Magalhães através do equipamento SMATER, no período de 08/08/2002 a 14/08/2002, permitiram uma análise detalhada de como os fatores climatológicos influenciam na estrutura e na distribuição vertical dos fatores limnológicos.

A Fig 39 mostra as variações de temperatura do ar, velocidade do vento e radiação solar, durante este período. Verificam-se variações na velocidade e direção dos ventos durante este período.

A Fig 40 mostra as variações da estrutura vertical da coluna de água em relação à temperatura da água e oxigênio dissolvido. Os períodos de aquecimento térmico da superfície estão relacionados com a incidência de radiação solar. E durante o período diurno verifica-se um aumento de concentração de oxigênio dissolvido nas camadas de superfície, de 0 a 8 metros, provavelmente relacionado com a fotossíntese. Neste reservatório a zona eufótica tem, aproximadamente 6.00 metros o que explica as concentrações mais elevadas de oxigênio dissolvido (próximas sempre de 80-90%) de saturação). Os estratos do fundo da represa permanecem com baixas concentrações de oxigênio dissolvido; variações apresentadas são devidas à circulação vertical promovida pelo vento. É evidente, por exemplo, que a corrosão da anoxia que ocorreu às 21:23 hs do dia 09/08/2002 é devida à ação do vento, que atuou com maior velocidade (9 m s^{-1}) nas três horas imediatamente anteriores ao evento (17:00-20:00 horas). Fica evidente, portanto que as oscilações de temperatura da água, oxigênio dissolvido são devidas à ação do aquecimento térmico e fotossíntese durante o período diurno e à ação do vento, o qual de forma intermitente altera a distribuição vertical das variáveis físicas e químicas. Estas movimentações verticais das massas de água e sua repercussão na distribuição das variáveis já é bastante conhecida (Mortimer, 1942, Imberger 1994)). Entretanto nesta escala temporal e espacial, especialmente em lagos ou represas tropicais é pouco conhecida.

A Fig 41 mostra a distribuição vertical da clorofila *a*, e da turbidez durante este período. Distribuição vertical diferenciada de clorofila *a* nos ecossistemas aquáticos continentais é bem conhecida também (Reynolds, 1984, 1997). Verifica-se aqui que durante o período analisado houve maior concentração de clorofila *a* na superfície da represa com valores de 6 a 7,5 clorofila *a* l⁻¹ localizando-se até 12 metros. Esta concentração é influenciada pela radiação solar e movimentação vertical das massas de água. Esta maior concentração de clorofila *a* explica a maior concentração de oxigênio dissolvido na superfície da represa especialmente durante o período diurno.

A Fig 42 apresenta as flutuações de pH e condutividade elétrica no período. Variações do pH na superfície e até 8 metros, especialmente durante o período diurno, foram devidas à atividade fotossintética. A atividade fotossintética durante o período diurno produz um aumento do pH devido à fixação do CO₂ pelo fitoplâncton e o deslocamento do equilíbrio CO₂/CO₃ (Steeman Nielsen, 1975, Reynolds, 1984). Estes valores durante o período noturno apresentam queda acentuada devido à ausência da fotossíntese e à continuidade da respiração.

A condutividade elétrica, apresentou também, variações verticais bastante evidentes e aumento em profundidades abaixo de 20 metros, o que é provavelmente devido ao aumento de substâncias e elementos derivados da decomposição da matéria orgânica nestas regiões anóxicas com ausência de oxigênio dissolvido.

A Fig 43 apresenta distribuição vertical do potencial redox e dos sólidos totais dissolvidos. A variação do potencial redox, verticalmente durante o período de estudo esteve relacionada com os mecanismos de circulação, distribuição vertical de oxigênio dissolvido e material dissolvido na água. Verifica-se quanto aos sólidos totais dissolvidos um acúmulo em profundidades abaixo de 24 metros, provavelmente devido a condições gerais de aumento de matéria orgânica e inorgânica dissolvida na água nestas regiões da represa.

Portanto, fica evidente desta série de determinações, que a “camada diurna de superfície” (Imberger, 1994) está bem estabelecida e que os efeitos do aquecimento térmico produzidos pela radiação solar, competem com os efeitos do vento, produzindo uma camada mais estratificada e com menor mistura vertical onde se acumula o fitoplâncton como indicado pela clorofila *a* e o oxigênio dissolvido produzido pela fotossíntese. Há também uma camada de sub-superfície, a

qual, nesta represa, ocorre nas profundidades de 8 a 12 metros. Segundo Imberger(1994) esta camada é importante para o crescimento do fitoplâncton, devido aos movimentos cíclicos que nela ocorrem e que possibilitam o deslocamento celular e colônias, no eixo vertical. Na represa em estudo, isto significa deslocamentos verticais que ocorrem entre 0 e 8 metros, especialmente durante o período noturno.

Este conjunto de determinações e estudos, embora limitados no tempo e no espaço apresentam situações que esclarecem os processos de flutuações verticais sob a ação de fatores climatológicos nestes sistemas. Esta dinâmica temporal em curtos períodos de tempo, esclarece e aprofunda o conhecimento da dinâmica deste ecossistema, e possibilita assim um conhecimento mais profundo para a gestão e para o acoplamento dos processos dinâmicos espaciais e temporais.

A movimentação vertical do fitoplâncton devido a estes efeitos de ventos durante os períodos noturnos tem um papel fundamental na renovação de nutrientes ao redor e no entorno imediato de células o colônias o que permite regeneração de nutrientes e ao mesmo tempo coloca massas de fitoplâncton mais próximo da superfície durante períodos imediatamente anteriores ao início do aumento de radiação solar (primeiras horas da manhã) onde a comunidade fitoplanctônica pode realizar fotossíntese em menores intensidades de radiação solar, abaixo da saturação (Reynolds, 1972).

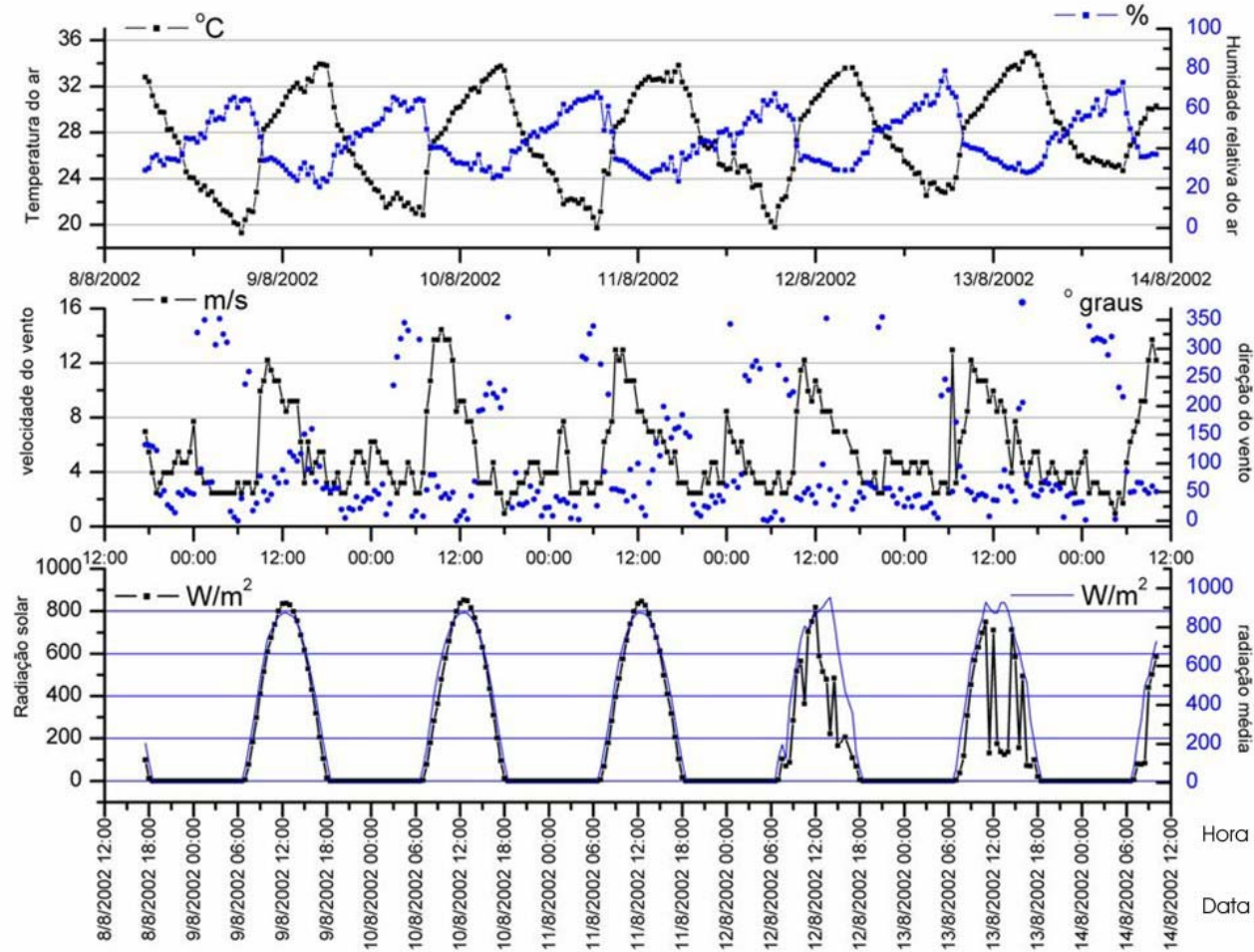


Fig 39 . Variações de temperatura do ar, umidade relativa, velocidade e direção do vento, radiação solar e radiação média registradas na estação climatológica acoplada na plataforma SMATER instalada no reservatório UHE Luiz Eduardo Magalhães (Tocantins).

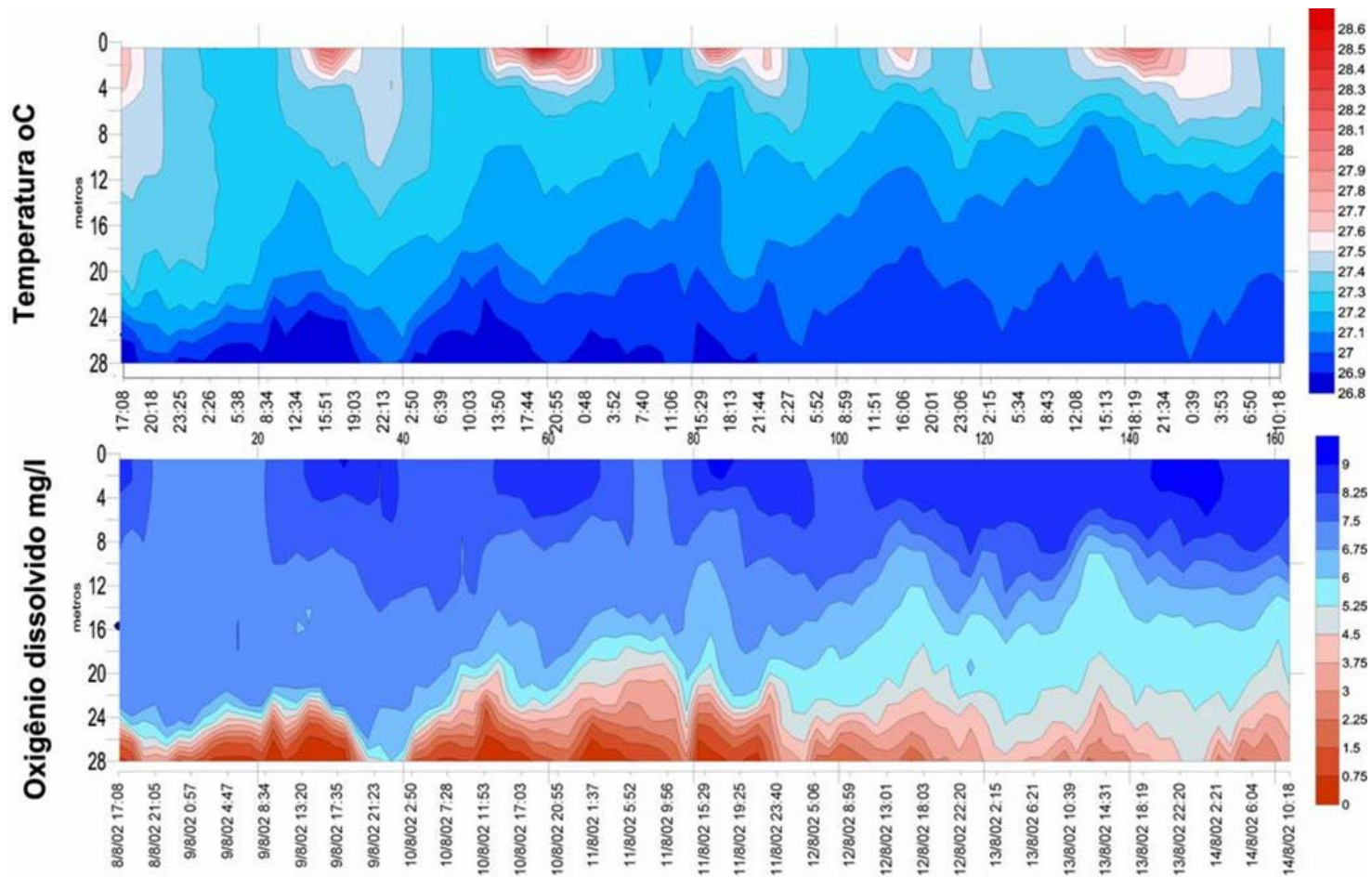


Fig 40. Variações de temperatura da água e do oxigênio dissolvido durante o período de 08 a 14 de agosto de 2002 no reservatório UHE Luiz Eduardo Magalhães (Tocantins).

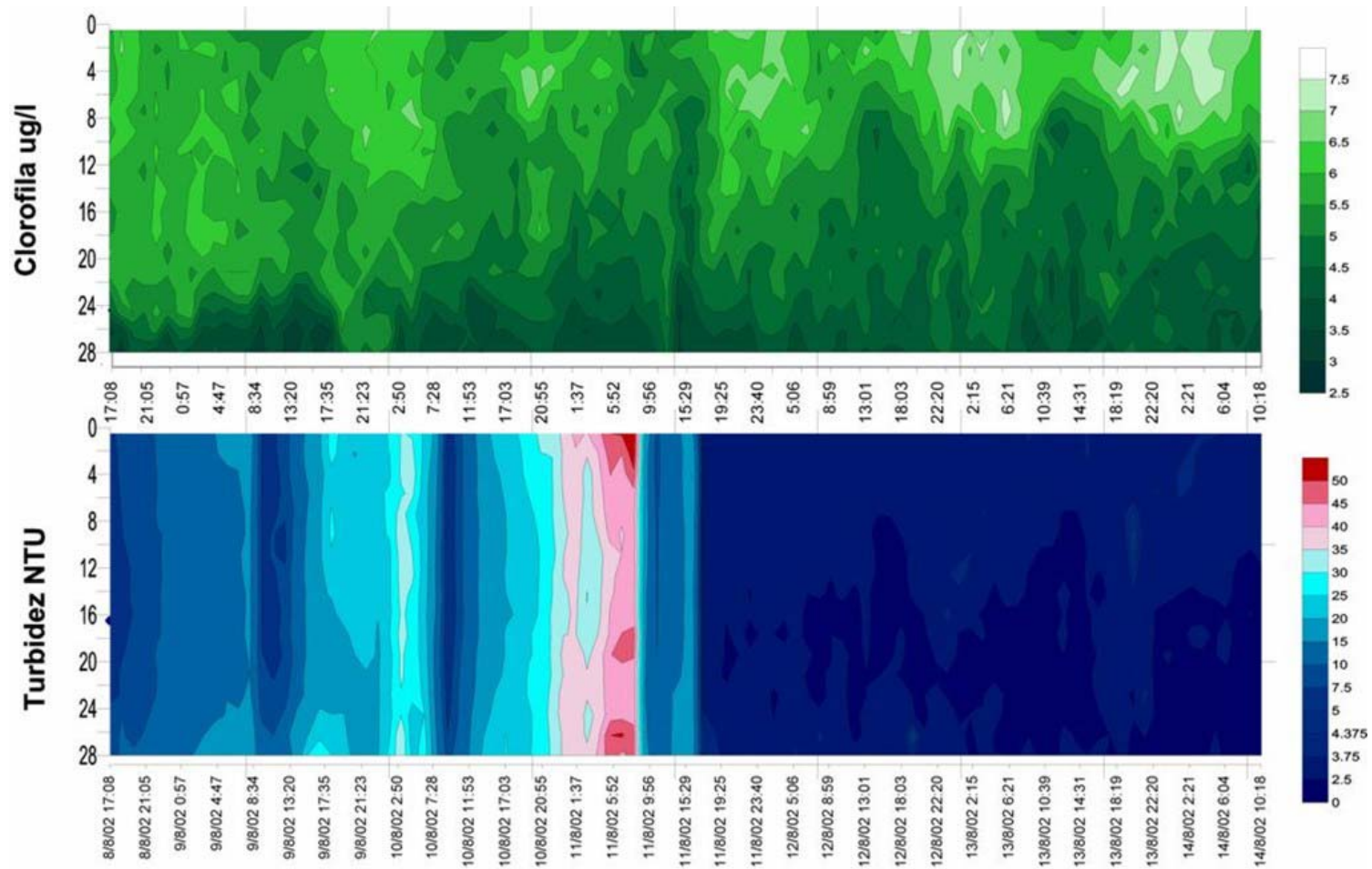


Fig 41. Variações de concentração de clorofila *a* e de turbidez registradas durante o período de 08 a 14 de agosto de 2006 na plataforma SMATER instalada no reservatório Luiz Eduardo Magalhães (Tocantins).

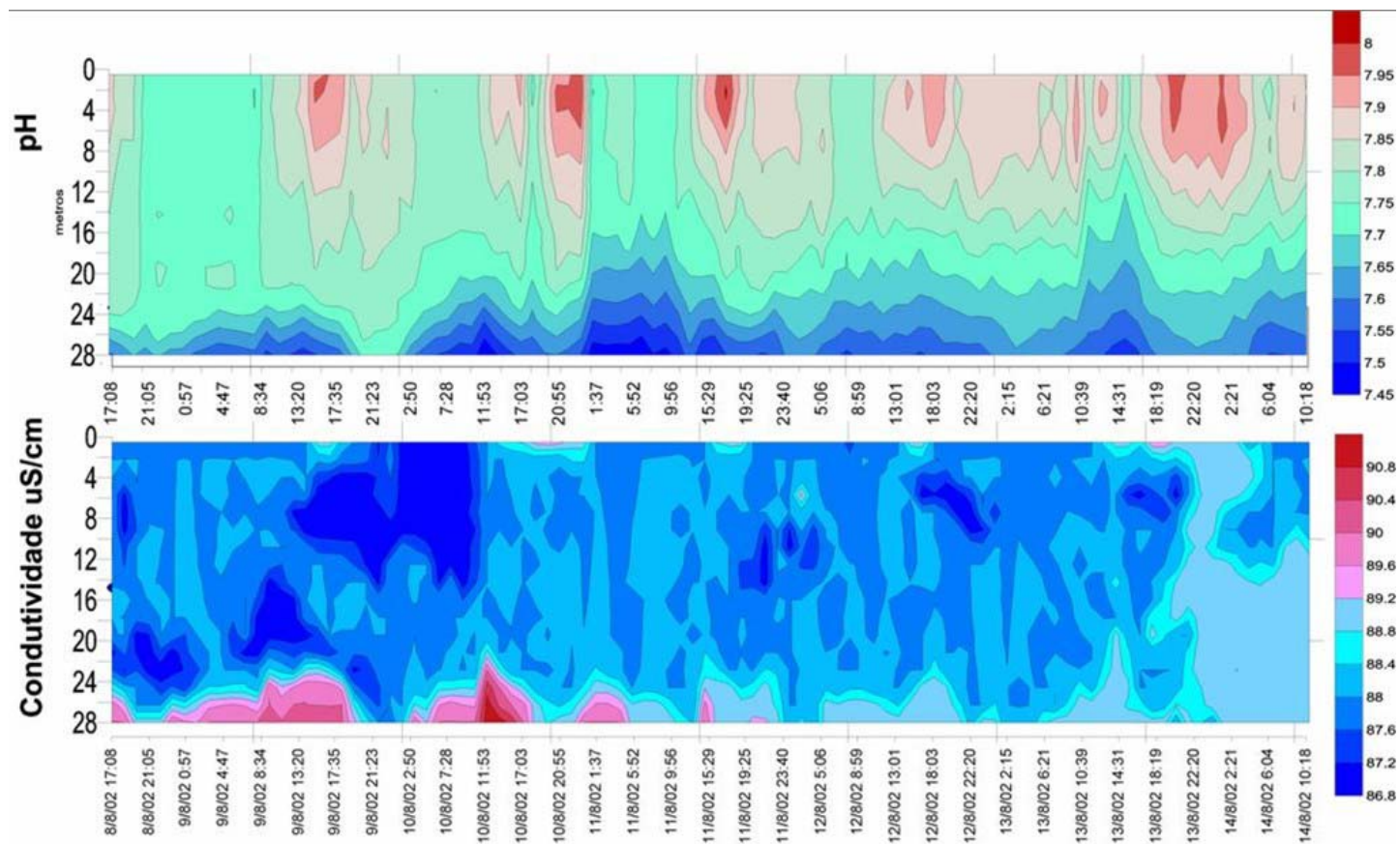


Fig 42. Variações de pH e de condutividade registradas durante o período de 08 a 14 de agosto de 2006 na plataforma SMATER instalada no reservatório Luiz Eduardo Magalhães (Tocantins).

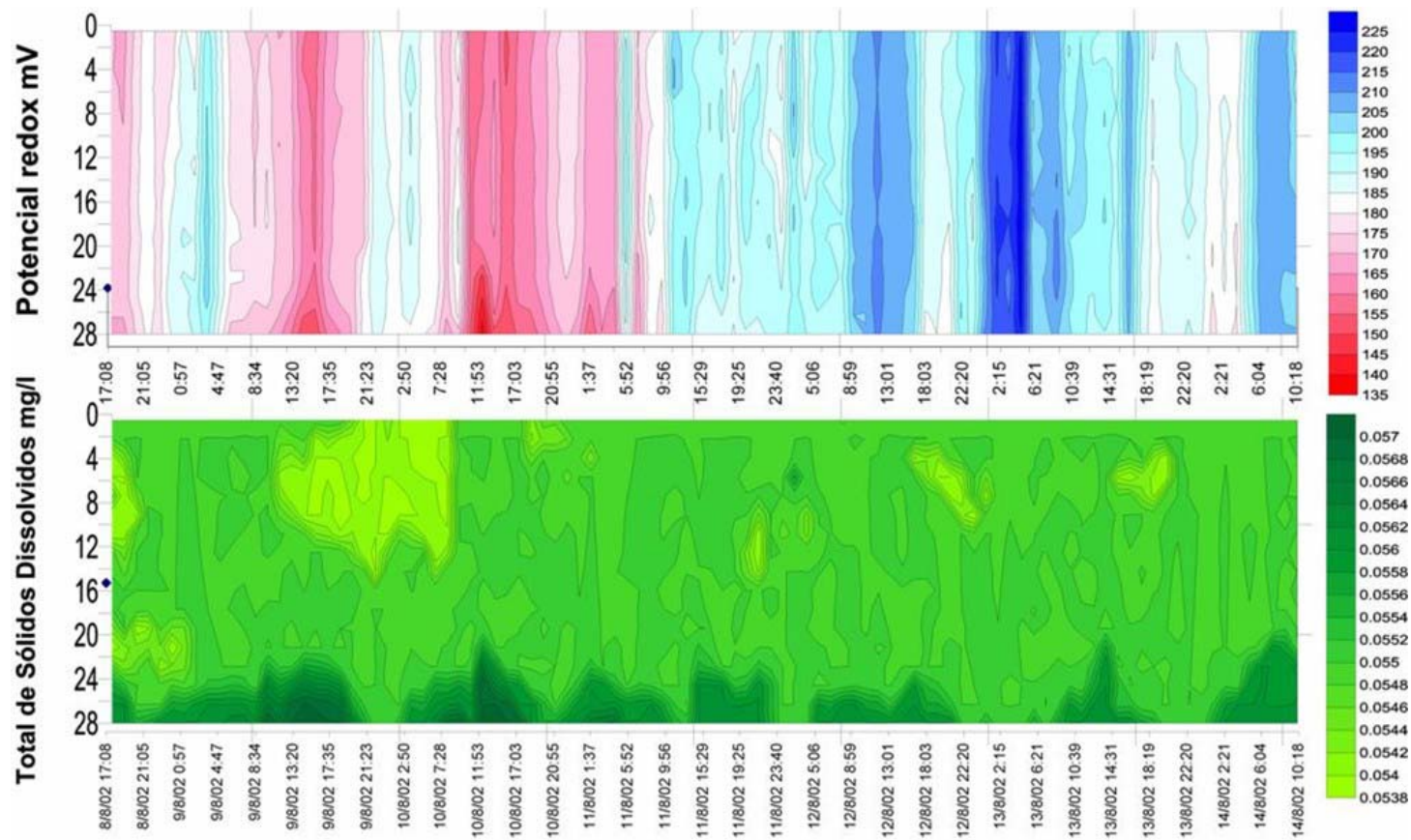


Fig 43. Variações de potencial redox e sólidos totais dissolvidos registradas durante o período de 08 a 14 de agosto de 2006 na plataforma SMATER instalada no reservatório Luiz Eduardo Magalhães (Tocantins)

4. Hidrodinâmica do reservatório: principais características

A hidrodinâmica do reservatório em questão foi estudado através da realização das seguintes etapas de trabalho:

- 1 - Medições do escoamento através de diversas seções transversais distribuídas ao longo do reservatório;
- 2- Utilização do modelo numérico hidrodinâmico Delft3D para o estudo da circulação no reservatório, sob condições diversas de aporte, vazão e ventos;
- 3- Utilização do módulo de qualidade de água Delft3D para o estudo de alguns aspectos da qualidade da água do reservatório.

Medições do escoamento - Essa atividade foi realizada em dois períodos, de 15 dias cada, cobrindo as estações chuvosa e seca do ano de 2002 (janeiro/fevereiro e junho/julho, respectivamente). Foram realizadas medidas da estrutura vertical do escoamento (utilizando, um perfilador acústico baseado no efeito doppler (ADCP), e correntômetro convencional com rotor) e dos campos tridimensionais de temperatura e de condutividade elétrica (utilizando um equipamento tipo CTD). Foram escolhidas seções transversais ao reservatório para que cálculos do

- transporte de volume através das mesmas possam ser efetuados. Os dados foram ainda utilizados para inicialização, calibração e verificação dos resultados de modelagem que foi utilizado.
- **Modelo numérico hidrodinâmico** - A implementação do modelo numérico tridimensional Delft3D, e os experimentos de simulação que foram realizados, visaram caracterizar o escoamento e transporte de volume no reservatório sob diferentes condições das forçantes: aporte da bacia hidrográfica, vazão na represa, ventos e estratificação de temperatura. O modelo operacional foi produzido para simular, em curto espaço de tempo, a circulação tridimensional no reservatório sob as mais diversas condições ambientais e de operação da usina. Os experimentos foram feitos explorando algumas características ambientais e de operação típicas, considerando: variações hidrológicas do

aporte de água no reservatório; alterações no fluxo devidas às variações da vazão turbinada e da vazão vertida, sob diferentes regimes idealizados; variações dos ventos e de outros parâmetros meteorológicos (evaporação/precipitação e fluxos de radiação através da superfície livre).

- **Modelo de qualidade de água** - Ao modelo hidrodinâmico de circulação, descrito acima foi acoplado um módulo para análise da qualidade de água. Foram selecionados alguns parâmetros limnológicos que foram medidos. Assim, será simulada a evolução espaço-temporal da quantidade de nitratos e fosfatos introduzidos pelos afluentes. Este módulo de qualidade de água, poderá, ser utilizado também para estudar a trajetória de efluentes domésticos despejados por fontes pontuais.

Os resultados das medições hidrológicas coletadas durante o verão de 2002, são apresentados nas Fig 44 a Fig 48. Foram efetuadas medições em 87 estações, em 20 transectos ao longo dos 180 km de extensão da zona de influência da barragem, nas profundidades padrões de 1, 2, 3, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 e 40m. Medições da velocidade do vento e sua direção foram tomadas simultaneamente em cada estação, próximo da superfície, permitindo sua posterior inclusão como importante forçante hidrodinâmica do sistema.

Para realização das medições hidrológicas foi utilizado um correntógrafo acústico 3DACM, da Falmouth Scientific Instruments, o qual registra a intensidade e direção da corrente em cada ponto e nível determinado. Esse aparelho é submerso até a profundidade desejada, e as informações são simultaneamente monitoradas e registradas a bordo. Para o desenvolvimento teórico foi utilizada a suíte de modelos computacionais da empresa holandesa Delft Hydraulics. Seu núcleo é um modelo hidrodinâmico tridimensional capaz de resolver, completamente, o sistema de equações de Navier-Stokes. As principais aproximações consideradas são: fluido de Boussinesq e aproximação de águas rasas (o que acarreta na aproximação hidrostática).

Essas figuras apresentam a seqüência da circulação horizontal das massas de águas na represa da UHE Luiz Eduardo Magalhães. Esta seqüência mostra áreas de baixa circulação limitadas pela parte que atravessa a represa, e, onde se acumulam cianobactérias e coliformes fecais nas regiões em frente à área urbana de Palmas (Fig 46). Verifica-se também que nas

regiões próximas à barragem há circulação mais intensa, provavelmente devido ao efeito das turbinas e vertedouros (Fig 45).

Os resultados mostram o regime hidrodinâmico do reservatório sob influência de sua vazão, estimada a partir das medições efetuadas.

A informação mais notável é observada na região central do reservatório, nas proximidades da cidade de Palmas, onde se verificam restrições ao fluxo. O aterro age como uma barreira, fazendo com que as linhas de corrente sejam distorcidas, assimétricas e concentradas junto à margem esquerda. A margem direita, a jusante do aterro, identificou-se uma região dinamicamente pouco intensa, onde as correntes são da ordem de $1-2 \text{ cm s}^{-1}$.

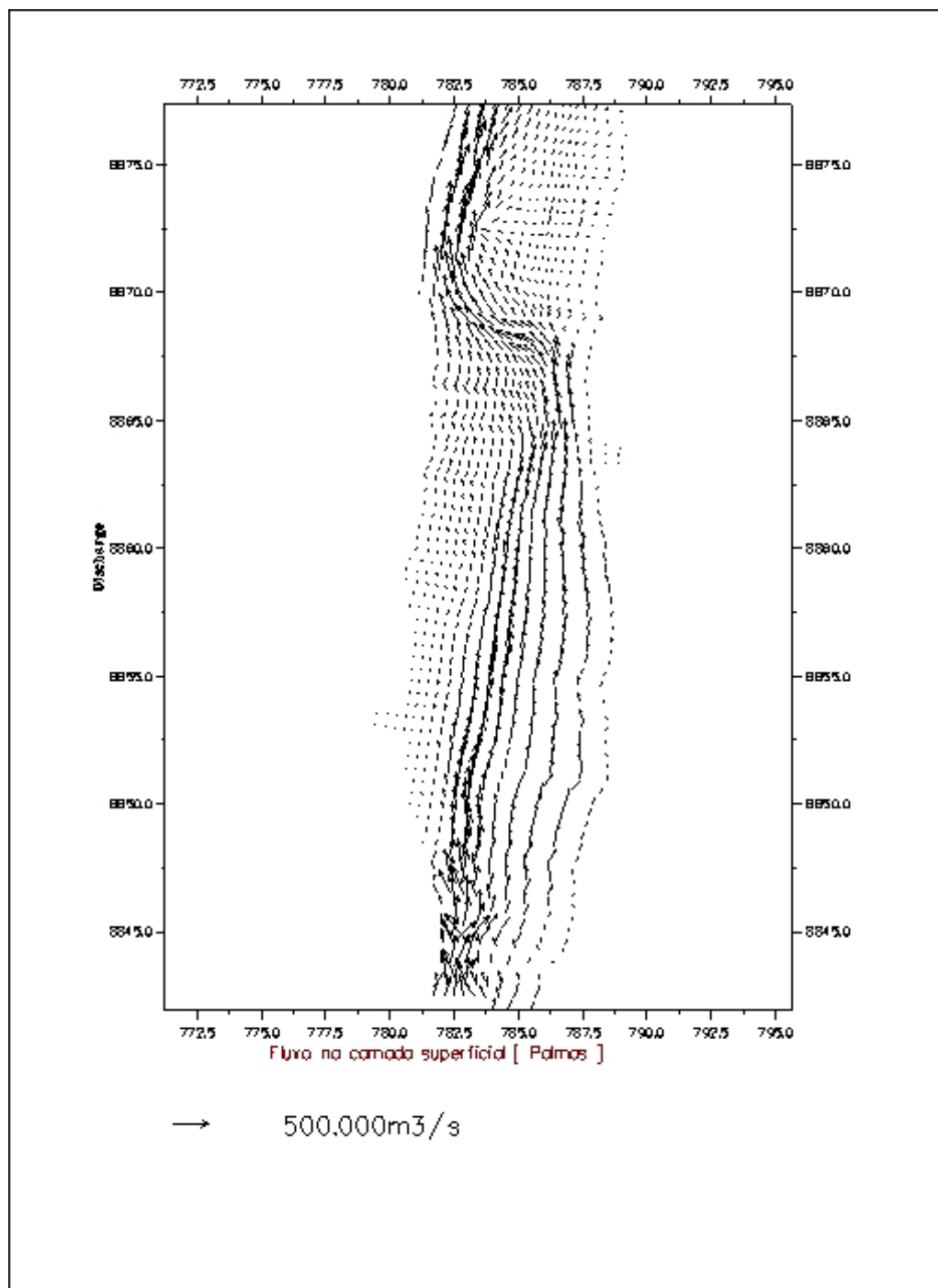


Fig 44. Fluxo na camada superficial (em m³/s), na região de Palmas, novembro de 2002. (Fonte: Carelli Fontes et al, 2003).

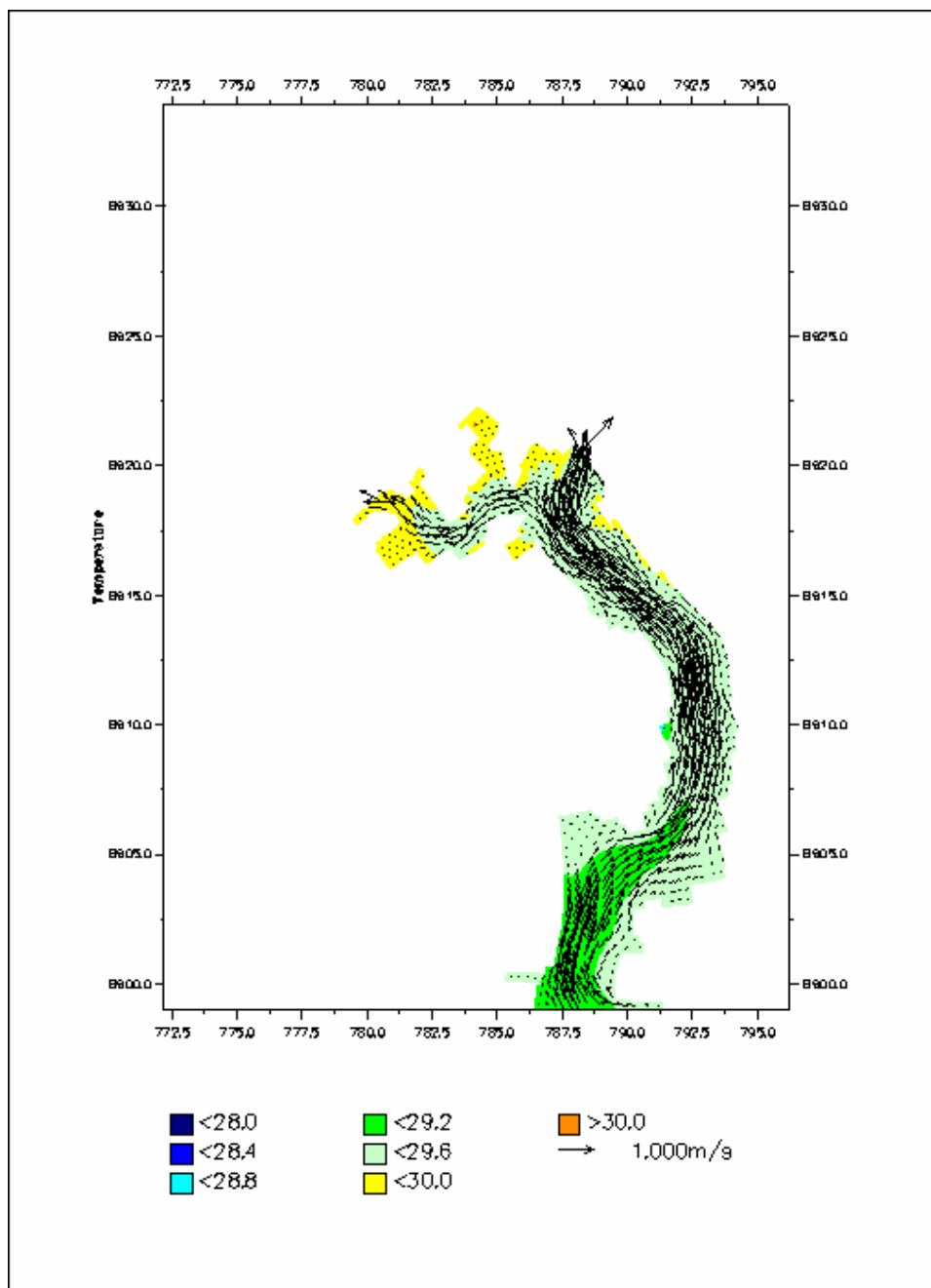


Fig 45. Representação da circulação superficial mais próxima à barragem, reservatório de Lajeado, TO, no verão de 2002. Os vetores estão representados em cores para propósito de melhor visualização (Fonte: Carelli Fontes et al, 2003)

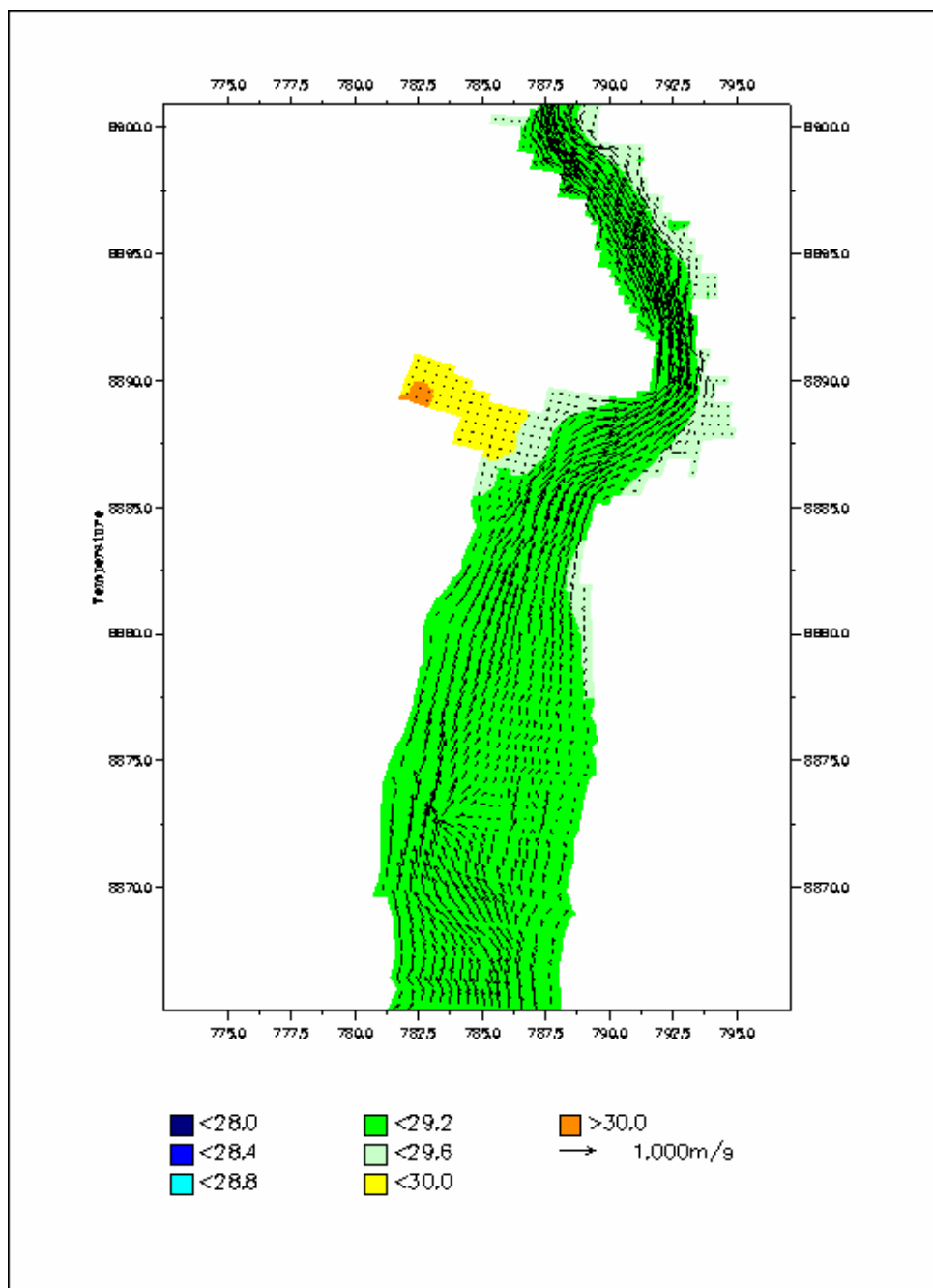


Fig 46. Representação da circulação superficial na faixa onde desemboca Ribeirão da Água Fria, reservatório de Lajeado, TO, no verão de 2002. Os vetores estão representados em cores para propósito de melhor visualização (Fonte: Careli Fontes et al, 2003)

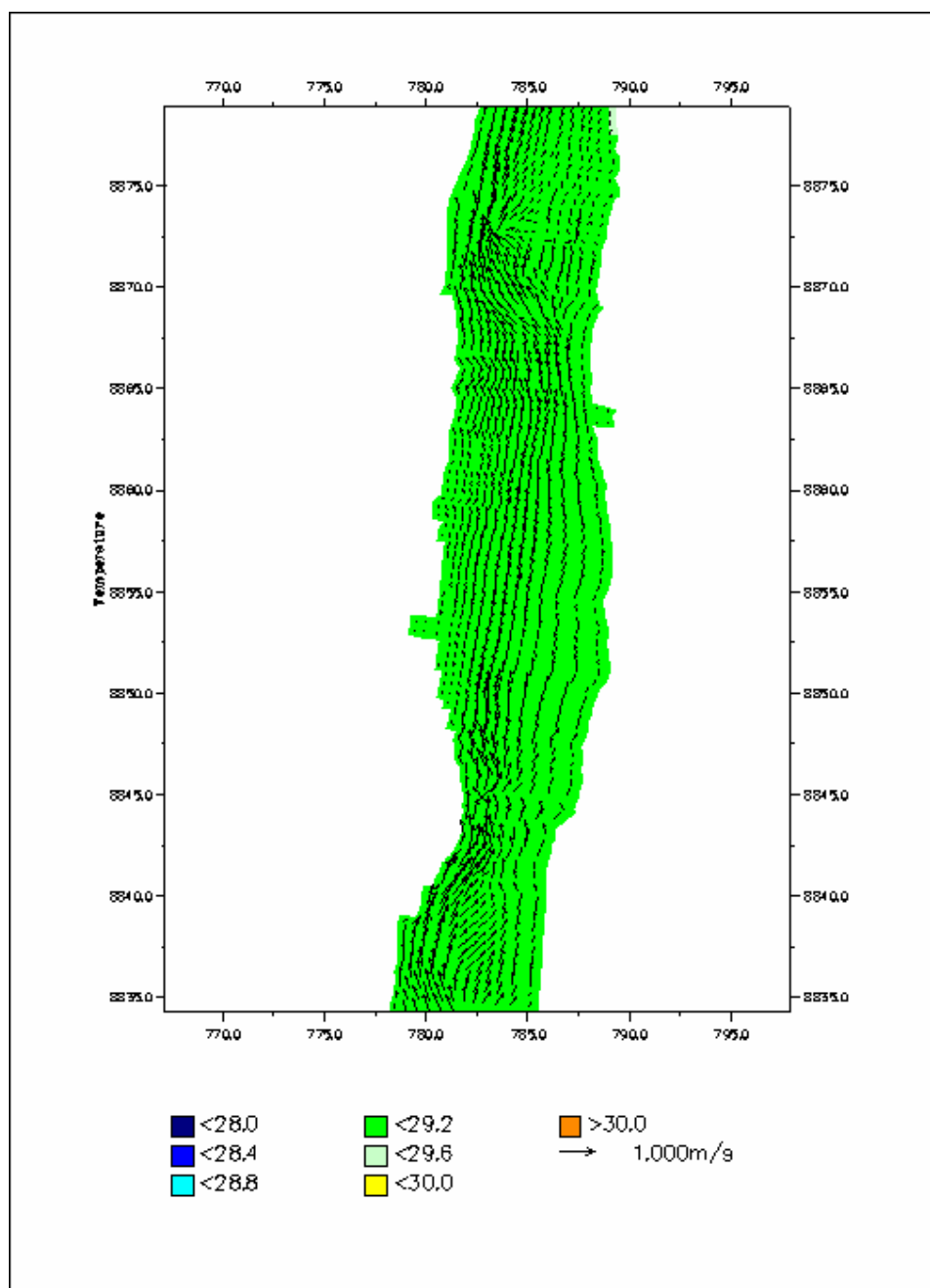


Fig 47. Representação da circulação superficial na região da desembocadura do Ribeirão do São João, reservatório de Lajeado, TO, no verão de 2002. Os vetores estão representados em cores para propósito de melhor visualização (Fonte: Carelli Fontes et al, 2003)

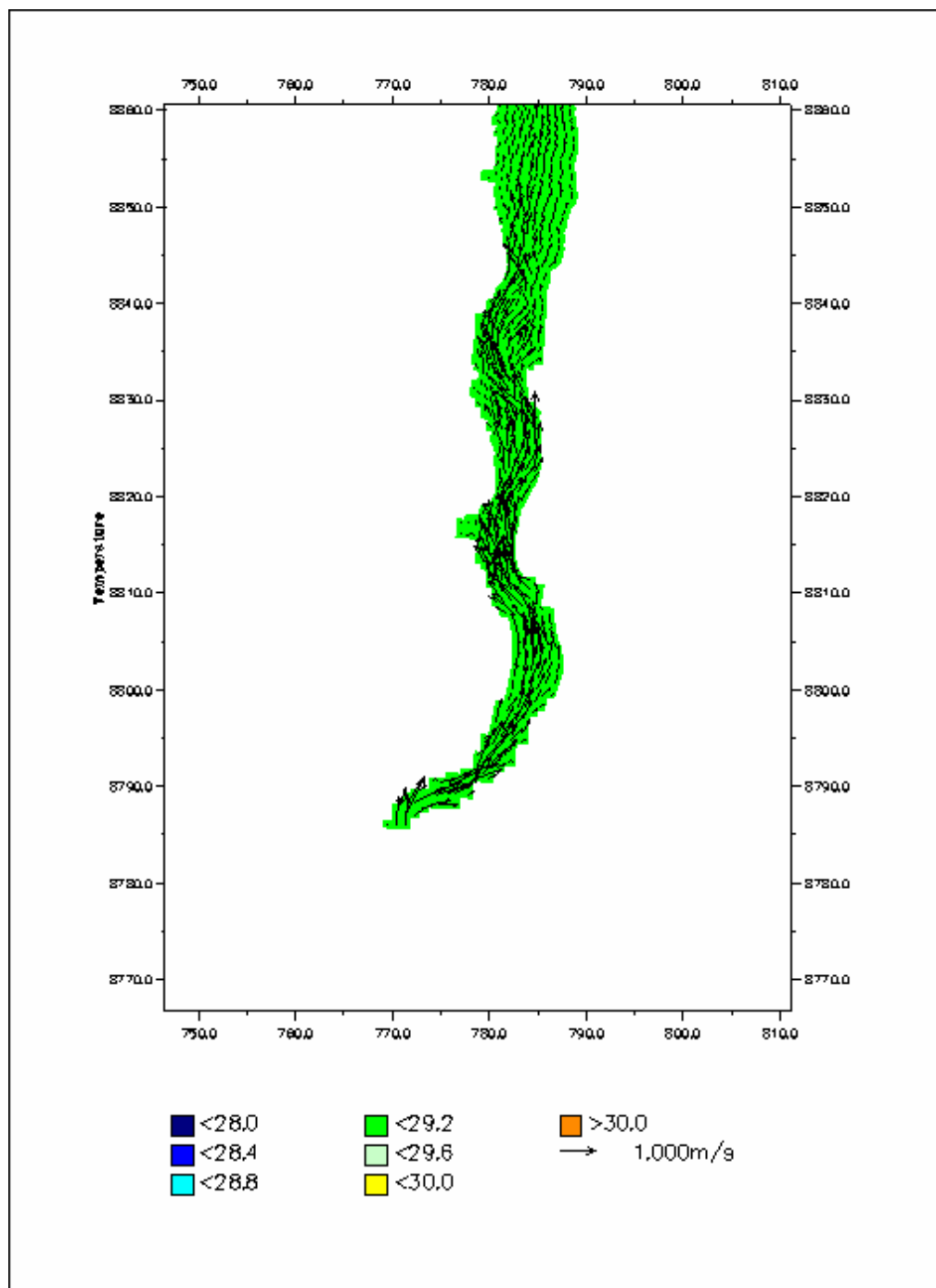


Fig 48. Representação da circulação superficial na faixa correspondente à desembocadura do Córrego São João, reservatório de Lajeado, TO, no verão de 2002. Os vetores estão representados em cores para propósito de melhor visualização (Fonte: Carelli Fontes et al., 2003).

Este estudo da movimentação das massas de água, especialmente a circulação horizontal, possibilita desenvolver conhecimento detalhado fundamental para a gestão do reservatório como será demonstrado na discussão e conclusões. Nos pontos de maior ou menor circulação horizontal podem ocorrer diferentes atividades que são compatíveis com a maior ou menor velocidade das massas de água.

A circulação horizontal pode mover partículas horizontalmente a grandes distâncias nesta represa onde fora das zonas de baixa circulação horizontal, há movimentos horizontais significativos das massas de água. Escalas de movimentação horizontal diferem para partículas planctônicas, partículas de argila ou silte, devido às suas diferentes dimensões e estas informações sobre a circulação horizontal deverão ser acopladas futuramente à dispersão de partículas e ao plâncton na represa.

Quanto aos indicadores de qualidade de água do Rio Tocantins, verifica-se que estes permanecem satisfatórios, ao longo da zona de influência da inundação (Reis-Pereira,2002), não obstante já tenha sido identificada a região mais crítica como sendo aquela próxima a Palmas, a jusante do aterro, onde a concentração de bactérias atinge valores críticos.

Os resultados obtidos até o momento denotam a necessidade de especial atenção na região próxima à barragem, ao largo de Palmas. A estagnação do fluxo e o impedimento das trocas de propriedades entre as massas de água comprometem a qualidade da água, podendo acarretar danos ambientais significativos. As duas passagens construídas também foram consideradas no modelo e, embora superestimadas, aparentemente não diminuem o problema da estagnação do fluxo. As passagens submersas não foram consideradas e, portanto, seus efeitos não avaliados.

5. Uso de índice e de modelagem matemática e ecológica para predição da qualidade água da Represa do Lajeado – Modelo de Eutrofização PAMOLARE

5.1 Índice do estado trófico de Carlson (1977) com relação ao fósforo total

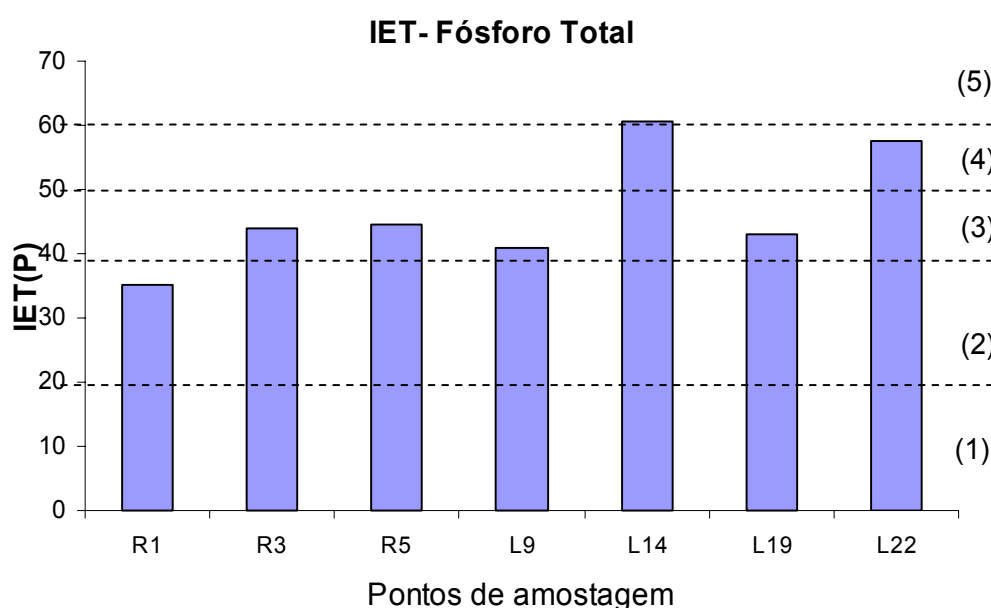


Fig 49. Valores médios do índice do estado trófico obtido nos 7 pontos de amostragem do reservatório Lajeado, TO, no período de março de 2002 a junho de 2003, com base na variável concentração de Fósforo total . Faixa ultraoligotrófica (1); faixa oligotrófica (2); faixa mesotrófica (3); faixa eutrófica (4) e faixa hipereutrófica (5).

O índice do estado trófico calculado para os diferentes pontos de amostragem em relação à concentração de fósforo total mostrou com exceção dos pontos L14 (desembocadura do Ribeirão de Água Fria Sub bacia do mesmo nome onde se localiza a cidade de Palmas) e L22 (desembocadura do Córrego São João – sub bacia do mesmo nome onde se localiza a cidade de Porto Nacional) para os quais foi obtida a condição eutrófica, os outros pontos apresentaram características oligo-mesotróficas. Isso confirma, juntamente com outras características tais como a baixa concentração de clorofila *a* não ultrapassando de 10µg/L . Outra evidência é a

composição de grupos fitoplanctônicos com predominância de Chlorophyta e Diatomophyta característica de ambientes oligo-mesotróficos.

5.2. Modelo Pamolare de Eutrofização

Utilizando-se os dados obtidos durante o monitoramento realizado no reservatório de Lajeado, Tocantins, para o período de setembro de 2001 a fevereiro de 2002, aplicou-se o modelo de exergia do Programa Pamolare 3.0. Os resultados são apresentados nas figuras 45,46 47 e 48.

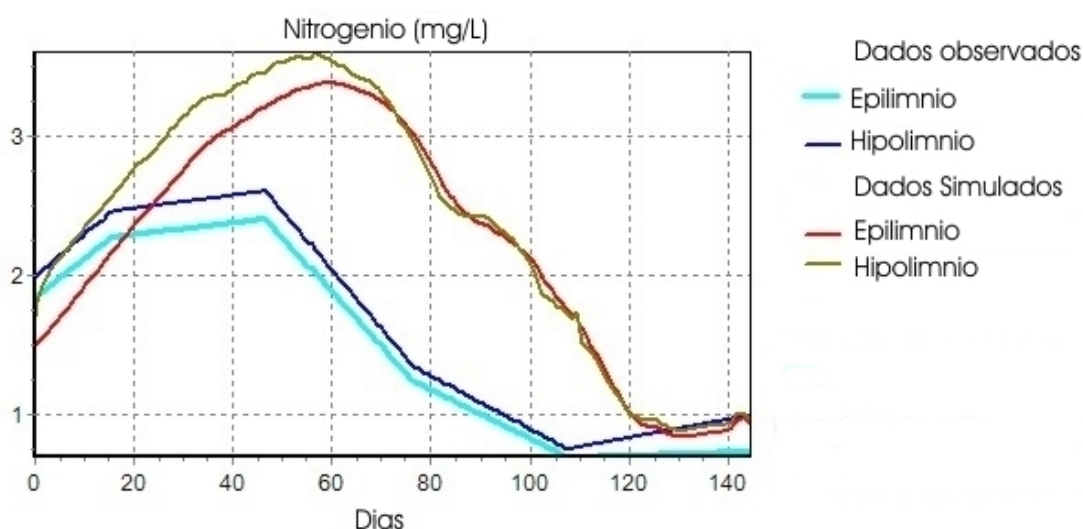


Fig 50 – Resultados do modelo de exergia do Programa Pamolare 3.0 aplicado na represa de Lajeado, Estado do Tocantins. O gráfico mostra os dados de nitrogênio dissolvido observados (em azul) e simulados no epilimnio (vermelho) e hipolimnio (verde). Dia 1 = 15 de Setembro de 2001; dia 145 = 07 de Fevereiro de 2002.

As figuras 50 e 51 apresentam os resultados observados e simulados para as concentrações de nitrogênio total e fósforo total respectivamente, e epilimnio e hipolimnio com os resultados observados. Observou-se pouca aderência entre os resultados da simulação e os dados das medições realizadas para as concentrações de fósforo e nitrogênio. Para o nitrogênio, embora a tendência de variação fosse similar, na maior parte do tempo as concentrações simuladas foram

mais elevadas do que os valores medidos observados. Esta diferença pode talvez ser explicada por erros relativos à coleta, preservação de amostras e pelas técnicas utilizadas. Além disto há um conjunto de efeitos indiretos (por exemplo excreção do zooplâncton, decomposição do fitoplâncton, decomposição das fezes do zooplâncton) que não estão incorporado nos resultados mas estão incorporado nas simulações. O importante, entretanto é constatar que a tendência se manteve. O mesmo pode se verificar na figura 52 para o fitoplâncton total (mg/L clorofila *a*) e na figura 53 para o zooplâncton (peso seco mg/L). Já em relação ao fósforo, a aderência foi praticamente inexistente, já que além das diferenças quantitativas, os dados simulados tiveram na maior parte do tempo em comportamento inverso observado.

A figura 54 mostra o modelo de exergia aplicada ao fitoplâncton e zooplâncton. Este ciclo apresenta um aumento de exergia ao final de 130 dias, aproximadamente, coincidindo com o aumento de fitoplâncton e zooplâncton e o decaimento de nitrogênio e fósforo, fontes primitivas de nutrientes para o fitoplâncton.

De acordo com Jørgensen & Meyer (1983) os ecossistemas, sob a ação de fatores externos, desenvolvem uma maior exergia o que consiste no aumento do número de genes no sistema representados neste caso pelo fitoplâncton e zooplâncton.

Com o aumento dos nutrientes disponíveis ocorre um aumento do fitoplâncton e zooplâncton, e, portanto da exergia do sistema que significa uma distância maior do equilíbrio termodinâmico.

A progressão da exergia no período considerado é, provavelmente uma resposta do sistema no deslocamento da oligotrofia para a mesotrofia.

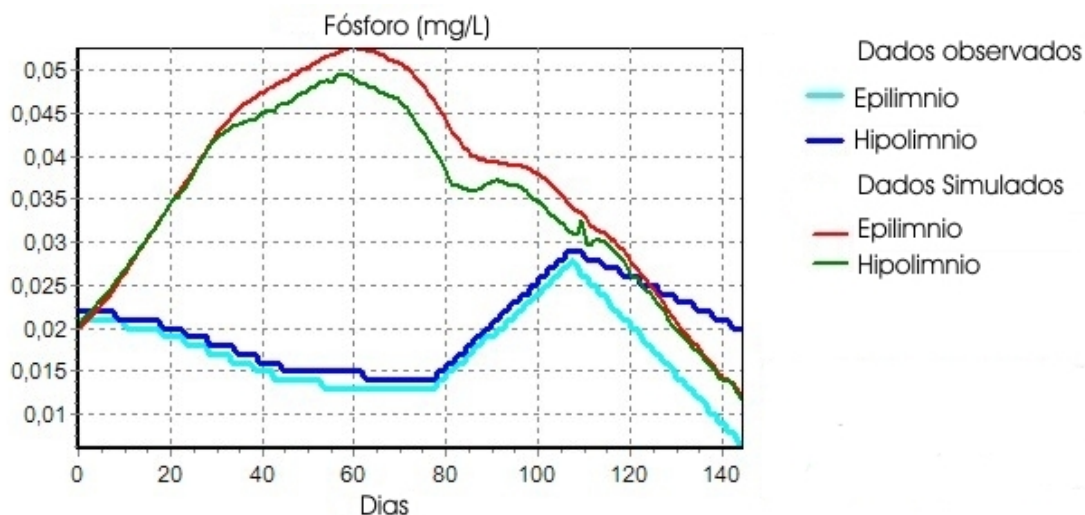


Fig 51 – Resultados do modelo de exergia obtidos pela aplicação do Programa Pamolare 3.0 aos dados de fósforo da represa de Lajeado, Estado do Tocantins.

O gráfico mostra os dados de fósforo dissolvido observados (em azul) e àquele simulados para o epilimnio (vermelho) e hipolimnio (verde). Dia 1 = 15 de setembro de 2001; dia 145 = 07 de fevereiro de 2002.

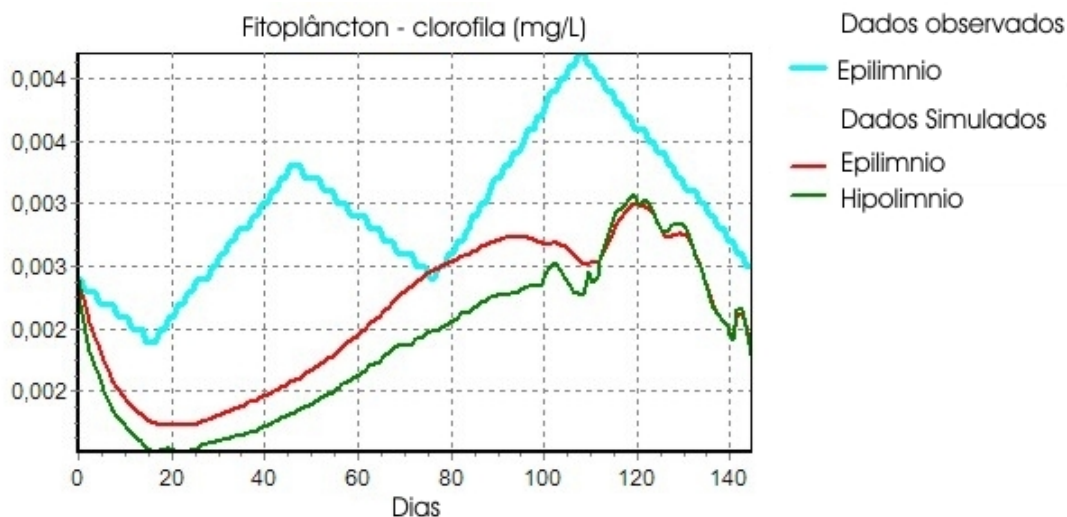


Fig 52 – Resultados do modelo de exergia obtidos com a aplicação do Programa Pamolare 3.0, na represa de Lajeado, Estado do Tocantins. O gráfico mostra os dados da biomassa do fitoplâncton observados (em azul) e os simulados para o epilimnio (vermelho) e hipolimnio (verde). Dia 1 = 15 de setembro de 2001; dia 145 = 07 de fevereiro de 2002.

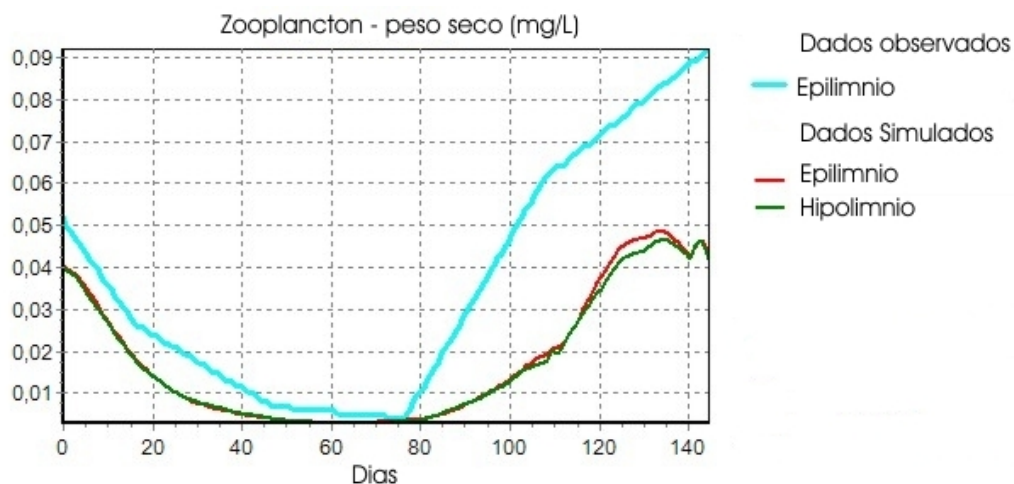


Fig 53 – Resultados do modelo de exergia obtidos com a aplicação do Programa Pamolare 3.0 aos dados da represa de Lajeado, Estado do Tocantins. O gráfico mostra os dados da biomassa do zooplâncton observados (em azul) e os simulados para o epilimnio (vermelho) e hipolimnio (verde). Dia 1 = 15 de setembro de 2001; dia 145 = 07 de fevereiro de 2002.

O gráfico de exergia resultante do modelo aplicado na represa de Lajeado evidencia, portanto, um padrão de variação similar ao padrão de variação simulada da biomassa do fitoplâncton e do zooplâncton no período observado (Fig 54).

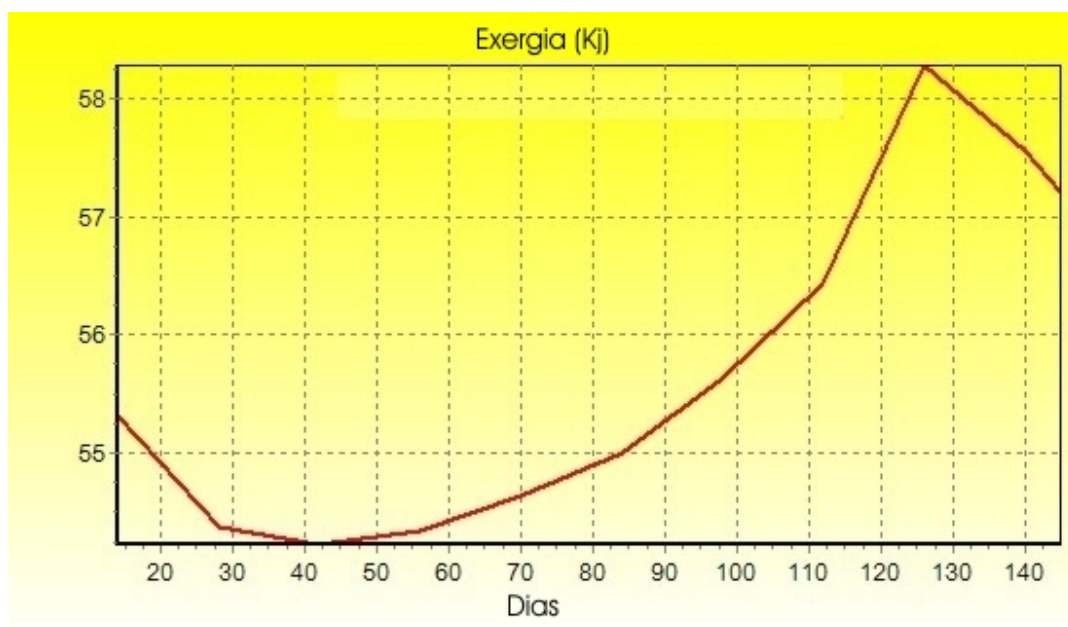


Fig 54 – Gráfico de exergia resultante do modelo de eutrofização do Programa Pamolare 3.0 aplicado na Represa de Lajeado, Estado do Tocantins.

Discussão

.1 Indicadores da qualidade da bacia hidrográfica

Na Avaliação Ecosistêmica do Milênio (Millenium Ecosystem Assessment, 2005) estabeleceram-se um conjunto de critérios para a utilização de indicadores ecológicos efetivos; estes critérios são:

- ♦ Os indicadores devem proporcionar informações sobre mudanças em processos fundamentais, como por exemplo, alterações na cobertura vegetal e no regime hidrológico das bacias hidrográficas.
- ♦ Os indicadores devem ser suficientemente sensíveis para detectar mudanças importantes e distinguí-las da variabilidade natural dos sistemas.
- ♦ Os indicadores devem detectar mudanças na escala temporal e espacial sem que estas mudanças sejam mascaradas pela variabilidade.
- ♦ Os indicadores devem ser baseados em modelos conceituais bem estabelecidos em relação ao sistema em que são aplicados.
- ♦ Devem ser baseados em dados confiáveis e coletados de forma simples e direta.
- ♦ Devem ser baseados em dados em que os sistemas de monitoramento estão estabelecidos e funcionando.
- ♦ Devem ser facilmente compreendidos pelos tomadores de decisão.

Os indicadores apresentados nesta tese apresentam os atributos definidos pela AEM, em sua maioria. Esta avaliação dos principais indicadores, mostra que os impactos são recebidos pelo reservatório e tem repercussão na qualidade da água. Este foi motivo pelo qual se analisou a circulação horizontal e vertical do sistema. Ao receber os impactos provenientes da bacia hidrográfica o reservatório apresenta respostas que são devidas à magnitude dos impactos externos e aos efeitos combinados da circulação horizontal e vertical. A capacidade do ecossistema aquático de receber e responder a estes impactos, depende, portanto, desse arcabouço funcional que contribui para a magnitude da resposta, seja ela eutrofização, aumento de

nitrogênio e fósforo e **exergia**, esta última é a resposta termodinâmica do sistema traduzida em termos de gens, espécies e populações (Jørgensen, 1999).

A capacidade do ecossistema aquático de receber e responder a estes impactos, depende, portanto, desse arcabouço funcional que contribui para a magnitude da resposta, seja ela eutrofização, aumento de nitrogênio e fósforo e **exergia**, esta última é a resposta termodinâmica do sistema traduzida em termos de gens, espécies e populações (Jørgensen, 1999).

Os indicadores de bacia hidrográfica utilizados por Revenga et al., 1998, para caracterizar a condição das bacias do mundo mostraram que a Bacia do Rio Tocantins ocupando uma área de 764.183 km² enquadra-se entre uma das bacias mais degradadas da América do Sul. Apenas 9% da sua área é ocupada pela floresta, 63% área cultivada; a taxa de desmatamento é de 10% e a perda de vegetação original 50%.

As análises realizadas em quatro sub bacias da bacia do Médio Tocantins onde está inserida a UHE Luiz Eduardo Magalhães (sub bacia do Ribeirão da Água Fria, Córrego São João, Ribeirão do Lajeado e Ribeirão do São João), referentes aos usos do solo, cobertura vegetal, densidade populacional e as diferentes atividades humanas desenvolvidas mostraram que as sub-bacias que apresentam maior densidade demográfica, apresentam maiores impactos na bacia havendo diminuição da área de vegetação original, aumento da taxa de desmatamento, degradação dos sistema hídricos.

Reconhece-se neste trabalho que estas atividades tem sempre uma maior expansão em função do estímulo econômico gerado pela construção do reservatório e também pela expansão e diversificação das atividades econômicas nas sub-bacias hidrográficas e no reservatório em função da própria presença do empreendimento. Embora a disponibilidade da água tenha aumentado consideravelmente com a construção da represa, é evidente que a demanda também aumentará consideravelmente, principalmente para a água de irrigação e para abastecimento público.

Os impactos que ocorrem nas sub bacias e na represa da UHE Luiz Eduardo Magalhães, provenientes dos usos da bacia hidrográfica são as seguintes: 1) Despejos de esgotos domésticos dos municípios que se encontram na bacia e nas sub bacias; 2) Descargas de áreas agrícolas onde

se utilizam fertilizantes químicos; 3) Desmatamento para construção de residências, e para atividades agrícolas; 4) Descargas de pesticidas e herbicidas utilizadas em áreas agrícolas; 5) Atividades de mineração realizadas no reservatório (extração de areia); 6) Atividades de recreação nas praias e turismo no reservatório (usos de barcos e “jet-ski”).

Tundisi, 2003 em seu livro “Água no século XXI- enfrentando a escassez” enumera uma série de problemas mundiais da água e da degradação dos recursos hídricos no planeta, atribuindo como causa à gestão dos recursos hídricos que tem sido realizada de forma compartimental e não integrada seguindo o paradigma do estudo de um sistema setorial, local e de resposta a crises e não de uma forma integrada, preditiva e em nível de ecossistema. Nos últimos dez anos, a concepção de que a bacia hidrográfica é a unidade mais apropriada para o gerenciamento, otimização de usos múltiplos e o desenvolvimento sustentável consolidou-se de forma a ser adotada em muitos países e regiões.

A bacia hidrográfica tem certas características essenciais que a tornam uma unidade bem caracterizada e permite a integração multidisciplinar entre diferentes sistemas de gerenciamento, estudo e atividade (Margalef, 1983, 1994). Portanto, considerá-la como unidade de planejamento e gerenciamento de recursos hídricos, representa um avanço conceitual muito importante e integrado de ação que transpõe as barreiras políticas tradicionais (municípios, estados, países) para uma unidade física de gerenciamento e planejamento e desenvolvimento econômico e social (Schiavetti & Camargo, 2002).

A capacidade de desenvolver um conjunto de indicadores é um aspecto importante do uso dessa unidade no planejamento. Dentre os indicadores que fornecem o nível da qualidade da bacia hidrográfica destacam-se: ***qualidade da água dos rios; proporção de área de preservação ou de perda de áreas alagadas; proporção de preservação de florestas nativas; proporção relativa de urbanização (% de área da bacia hidrográfica); relação: população urbana/rural.***

Em conjunto com os indicadores de qualidade devem ser considerados os indicadores de vulnerabilidade da bacia hidrográfica (Ravenga et al., 1998, Tundisi et al., 2002) que são: carga de poluentes, poluentes tóxicos, descarga urbana, descarga agrícola, alterações na população em relação à taxa de crescimento e ou migração/imigração, efeito das atividades humanas (Tundisi, 1978) e o potencial de eutrofização (Tundisi, 1986a, Rocha et al, 2002).

A qualidade das quatro sub-bacias da bacia do Médio Rio Tocantins que foi analisada tendo como indicadores: *a fração da área total que está preservada e com vegetação nativa, o grau de urbanização e de atividades desenvolvidas na bacia tais como agricultura, pecuária, instalação de indústrias* evidencia que um dos principais fatores que promovem a degradação é a *expansão demográfica* e a *rápida taxa de urbanização* com inúmeros efeitos diretos e indiretos sobre a qualidade dos recursos hídricos. A sub-bacia do Ribeirão de Água Fria onde se localiza a cidade de Palmas, capital do Estado de Tocantins apresenta o maior percentual de atividades antropogênicas (55,5%) incluindo uma alta taxa de urbanização, com uma elevada expansão demográfica. Em 13 anos de existência (criada em 1992) a cidade conta com uma população de 136.500 habitantes. Conseqüentemente, a sub-bacia possui uma qualidade inferior à das outras sub-bacias tais como a sub-bacia do Córrego do São João que conta com a cidade de Porto Nacional, cidade que já existia no Estado de Goiás (há 142 anos) e que foi incorporada ao Estado de Tocantins. A cidade conta com 45.000 habitantes, porém a cidade não possui sistema de saneamento adequado o que implica na vulnerabilidade da bacia. Por ser uma cidade antiga a ocupação da bacia se deu inicialmente para o desenvolvimento principalmente da pecuária extensiva, resultando numa extensa área de campo utilizado e abandonado mais área de cultivo totalizando 61,31% e que influenciou na escala da qualidade da sub-bacia, a qual é relativamente semelhante ao da sub-bacia do Ribeirão da Água Fria.

As duas outras sub-bacias a do Ribeirão do Lajeado e a do Ribeirão do São João são menos impactadas do que as sub-bacias já referidas possuindo maior percentual de áreas de preservação natural, 56,1% e 53,8% respectivamente. Esta última não apresenta nenhum desenvolvimento urbano, enquanto que a sub-bacia do Ribeirão do Lajeado sofre a influência da cidade de Lajeado que possui cerca 2.343 habitantes.

Para a gestão das bacias hidrográficas, o ideal seria o desenvolvimento de um índice para os indicadores da qualidade de cada bacia o que não só possibilitaria uma comparação, mas serviria de base para uma aplicação das bases científicas. Neste trabalho foi feito um estudo para definir indicadores da qualidade das bacias hidrográficas, o que antecede a implantação de índices. Para elaboração destes índices estudos comparados mais profundos seriam necessários, em várias bacias (Tundisi-M et al., 2002).

2 Circulação das massas de água e heterogeneidade espacial da qualidade da água do reservatório.

A circulação vertical e horizontal das massas de água em reservatórios está relacionada com os seguintes fatores:

- Efeitos do aquecimento térmico da água nas camadas superficiais, pela radiação solar.
- Efeitos do vento (velocidade e direção) na movimentação vertical e horizontal das massas de água.
- Efeitos da intrusão de águas de montante e dos tributários, no reservatório.
- Efeitos da retirada de água do reservatório, seja pelas turbinas ou pelos vertedouros.
- Mecanismos de transporte ativo horizontal induzidos pela estratificação e que podem tornar-se intensos caso a estratificação aumente.

O balanço dinâmico de um reservatório, portanto, pode ser comparado ao de uma máquina: as forças que perturbam o sistema, contra o gradiente de energia potencial estabelecido pela radiação solar.

Segundo Imberger & Patterson (1990) a dinâmica interna desta máquina é extremamente ineficiente. Esta dinâmica inicia-se com grandes ondas internas, que se dissipam depois em inúmeras intrusões, pequenas ondas internas e um conjunto de instabilidade que produz turbulência em grande escala ou localizadas. Movimentos de massas de água de curta duração (minutos) ou em pequena escala espacial (20 metros a 100 metros) tem um papel fundamental no deslocamento de organismos planctônicos e na organização espacial das comunidades planctônicas. Segundo Margalef (1978) a combinação de sedimentação, turbulência e a movimentação horizontal das massas de água, tem um papel fundamental na produção primária do fitoplâncton e na diversidade do fitoplâncton.

Os processos de advecção, turbulência, segundo este autor, determinam até certo ponto o sucesso do desenvolvimento de certos grupos de fitoplâncton. Portanto, Margalef (1997) afirma

que o movimento das águas controla as comunidades planctônicas, e a sua sucessão espacial e temporal (Reynolds,1976).

Como outras represas, o movimento das massas de água na represa de UHE Luís Eduardo Magalhães é dinâmico e variável horizontalmente e verticalmente. Isto foi demonstrado no monitoramento em tempo real onde se verificou a influência do vento na corrosão das termoclinas secundárias e uma completa mistura vertical do reservatório. A circulação horizontal, é também, dinâmica e tem componentes de intensa circulação horizontal na intrusão das massas de água de montante e na intrusão dos tributários. Entretanto a presença de ponte sobre o reservatório, introduz um outro componente de circulação horizontal mais reduzido a montante e a jusante desta estrutura produzindo vórtices e circulação localizada que acumulam substâncias orgânicas, fitoplâncton, zooplâncton e bacterioplâncton nessas regiões.

A intrusão dos tributários das bacias hidrográficas estudadas, no reservatório, produz enriquecimentos que são demonstrados nas coletas realizadas: aumento de coliformes totais na represa nas áreas de interface entre a represa e a intrusão, aumento de nutrientes e condutividade.

No reservatório da UHE Luís Eduardo Magalhães, portanto, do ponto de vista da circulação horizontal e da hidrodinâmica, pode-se distinguir quatro regiões:

- a região a montante, onde ocorre a intrusão do rio Tocantins com toda a carga de matéria orgânica e cianobactérias de montante.
- a região imediatamente a montante da ponte sobre a represa onde ocorre circulação localizada e vórtices.
- a região imediatamente a jusante da ponte sobre a represa onde ocorre circulação localizada e vórtices.
- a região a jusante, próxima da barragem, onde há efeitos da turbinagem e dos vertedouros. A figura 55 mostra estas diferentes regiões e a concepção originada das medidas no campo. Nesta figura não foram colocadas as intrusões dos tributários.

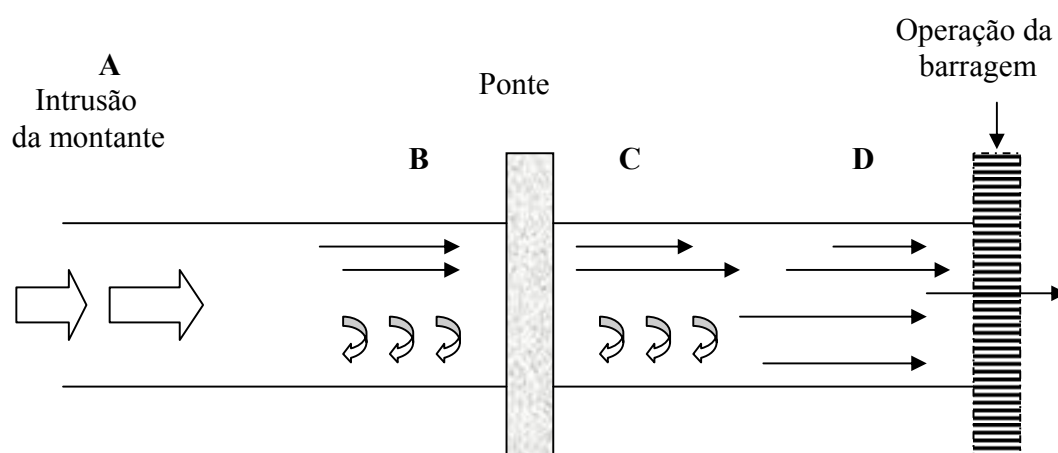


Fig 55. Principais características da circulação horizontal da UHE Luís Eduardo Magalhães em diferentes regiões do reservatório.

A intrusão dos tributários é do tipo “Intermediate Inflow” (Imberger & Hamblin, 1982) ocorrendo, portanto, intrusões abaixo da superfície.

Quanto à circulação vertical a dinâmica da camada da superfície, é, associada com os efeitos do vento e da radiação solar, combinada. Durante o dia há aquecimento térmico com estratificações e diferenças de temperatura de 1°C a $1,5^{\circ}\text{C}$. Uma estratificação térmica na coluna de água de 28 metros, registrou diferenças de até $2,5^{\circ}\text{C}$ o que, nestas temperaturas implica em grandes diferenças de densidade. Termoclinas secundárias, aparecem claramente na distribuição vertical. As alterações verticais da camada de superfície (neste reservatório caracterizadas pela maior homogeneidade térmica e corrosão da termoclina primária) por volta de 21 horas do dia 09/08/02, e como resultado dos efeitos do vento durante o final do período diurno mostram o caráter dinâmico deste processo vertical.

Atelomixia, o processo de formação e destruição diurna de termoclinas por resfriamento térmico e por ação do vento é um fenômeno discutido por Lewis (1983) e Barbosa & Padiak (2002) os quais apontaram as principais conseqüências desses processos na estrutura vertical do sistema: renovação das massas de água do ponto de vista dinâmico vertical e redistribuição de nutrientes e fitoplâncton na coluna de água, nestes dois metros de profundidade. Neste reservatório a atividade turbulenta, mostrou-se efetiva em profundidades de 0 a 12 metros no

máximo, mas comumente durante o período estudado esta atividade estabeleceu-se de 0 a 4 metros durante o período noturno e como resultado de ventos de 12 a 15 metros por segundo (m.s^{-1}).

Portanto, quanto à circulação horizontal e vertical das massas de água, a dinâmica do reservatório da UHE Luís Eduardo Magalhães é claramente dependente dos efeitos das intrusões da montante, da estrutura que separa o reservatório (ponte) e dos efeitos de operação de barragem. E no sistema vertical a camada diurna de mistura é dependente do aquecimento e do efeito do vento.

Esta dinâmica horizontal e vertical pode sofrer alterações estacionalmente, devido à precipitação, alterações na força e direção do vento e alterações no nível da operação do reservatório, embora esta seja mais constante, devido à manutenção de um baixo tempo de retenção, permanente de 25 dias, o que é baixo para um reservatório deste porte e volume.

As informações apresentadas nesta tese quanto à circulação horizontal e vertical, devem ser consideradas, portanto, um arcabouço do sistema principal de funcionamento do reservatório. Variações localizadas e estacionais nos eixos verticais e horizontais podem ser consideradas como detalhes de funcionamento sob a ação das principais funções de força que atuam neste reservatório: **intrusões, radiação solar, ventos e operação do sistema na barragem.**

A circulação horizontal e vertical da Represa da UHE Luiz Eduardo Magalhães, tem um papel importante não somente na circulação e deslocamento do material em suspensão e do fitoplâncton nele incluído, mas é de fundamental importância nos ciclos biogeoquímicos, especialmente no transporte vertical e horizontal de nitrogênio e fósforo, e de matéria orgânica dissolvida. Portanto, além dos nutrientes provenientes da produção regenerada “in situ” no reservatório, há o aporte de montante a partir da intrusão das águas do Rio Tocantins e os aportes devidos à intrusão dos tributários, o que caracteriza “produção nova” referindo-se àquela que é devida à intrusão de nutrientes inorgânicos ou nitrogênio e fósforo total. Esta “produção nova” pode ser a causa do aumento da eutrofização e aumento da energia no sistema (Reynolds, 1978, Estrada y Miyares, 1999, Jørgensen & Muller, 2000)

3. Interação entre a qualidade da bacia hidrográfica e a qualidade da água do reservatório.

A formação de um reservatório através da construção de uma barragem em um rio para geração de energia elétrica, produz uma série de conseqüências à natureza e ao homem cujos impactos podem ser positivos ou negativos. Os impactos positivos têm-se produção de energia que constitui a base do desenvolvimento sócio econômico da região, aumentando turismo, industrialização e agro-negócios. Impactos negativos referem-se principalmente aos danos ambientais, pois a maioria dos reservatórios de regiões tropicais são construídos em rios que percorrem regiões planas e o barramento produz extensas áreas de inundação destruindo a vegetação e a fauna de inúmeros biomas. Entretanto, o avanço do desenvolvimento de um país, à medida que a população demográfica aumenta, depende do poder decisório das autoridades vigentes que utilizando do bom senso saibam minimizar ao máximo, os impactos negativos.

As condições limnológicas de um rio ao sofrer um barramento são alteradas totalmente, passando por vários processos envolvendo decomposição das matas inundadas e acúmulo de matéria orgânica. Isso implica em maior consumo de oxigênio e assim, o reservatório pode perder esse importante elemento, principalmente nas camadas mais profundas, durante o final da fase de enchimento (Heide, 1976, Gunnison & Brannon, 1980). Segundo Straskraba & Tundisi, 2000 o termo “envelhecimento do reservatório” é utilizado para descrever as rápidas alterações e a qualidade da água deteriorada que ocorrem durante os primeiros anos após o “enchimento” do reservatório. Esse período é também chamado de *explosão trófica*, uma vez que nele ocorre uma alta produção biológica. A *evolução do reservatório* contempla alterações limnológicas muito mais lentas, que podem durar décadas ou mesmo séculos (Straskraba & Tundisi, 2000).

O processo de envelhecimento do reservatório é muito importante para o gerenciamento porque a qualidade das águas é prejudicada nesses primeiros anos. Os problemas e as causas que ocorrem durante esse processo são: a) aumento nas concentrações de matéria orgânica tendo como causas: liberação de matéria orgânica do solo; decomposição de vegetação submersa; intensificação da cor tendo como causas: concentração de matéria orgânica resistente; as alterações na cor ocorrem muito lentamente e as tonalidades mais forte são os últimos sinais de envelhecimento; baixas concentrações de oxigênio (principalmente no hipolimnio) tendo como

causas: o oxigênio é consumido durante a decomposição da matéria orgânica dissolvida ou particulada, originária das vazões afluentes, liberada pelo solo ou pela vegetação submersa; altas concentrações de nutrientes tendo como causas os nutrientes que provém do solo; crescimento excessivo de vegetação (principalmente planta aquáticas flutuantes) – os reservatórios tropicais novos são particularmente susceptíveis a esse problema; aumento da produção de fitoplâncton – Causas: As algas crescem rapidamente devido ao aumento de nutrientes; aumento de peixes – algumas espécies de peixes são capazes de se reproduzirem rapidamente quando há abundância de alimento disponível. Entretanto são necessários alguns anos para estabilizar as populações de peixes (Garzon, 1983).

A duração do período de envelhecimento difere entre reservatórios, entretanto, o intervalo médio varia entre 4 e mais de 10 anos. Os reservatórios amazônicos levam um mínimo de 10 anos para atingir a estabilização, e isto em função da taxa de decomposição da floresta úmida submersa. O envelhecimento do reservatório depende de dois tipos de processos, que são físicos químicos e biológicos. O processo físico- químico é controlado pela latitude, volume da água, tempo de retenção, total de matéria orgânica acumulada durante o enchimento, atividades existentes nas bacias hidrográficas e o total de material em suspensão. No referente aos processos biológicos, o elemento mais importante é a taxa de crescimento e o grau de desenvolvimento de peixes e o controle que esses animais podem exercer sobre o sistema. O processo de envelhecimento é mais curto em reservatórios com rápida corrente longitudinal que em outros com fraca corrente longitudinal e com estratificação térmica acentuada (Gunnison et al, 1981). A localização geográfica (o envelhecimento é mais rápido nos trópicos) e o tempo necessário ao enchimento são fatores decisivos no processo. A seqüência dos acontecimentos que normalmente ocorrem durante o envelhecimento do reservatório é a seguinte de acordo com Straskraba & Tundisi, 2000:

1 - Durante a fase do enchimento até a fase estabilização que pode durar de 2 anos a 2,5 ocorrem: aumento do zooplâncton; diminuição de oxigênio; baixa densidade de fitoplâncton; baixo estoque de peixes

2- Na fase de estabilização que pode durar de e 3 a 4 anos ocorrem: aumento de fósforo; aumento da concentração de oxigênio; aumento da densidade do fitoplancton; aumento do estoque de peixes e diminuição da biomassa de zooplâncton

3- Fase de envelhecimento ocorre 5 a 6 anos pós enchimento; é caracterizada pela alta densidade de fitoplancton estável; alto estoque de peixes com tendência à diminuição; concentração de oxigênio razoável com estabilização; diminuição da concentração de fósforo; baixa densidade de zooplâncton estabilizado.

No presente reservatório Usina hidrelétrica, Luiz Eduardo Magalhães, construída no Rio Tocantins, a vegetação da bacia hidrográfica por ser cerrado e também com uma parte do cerrado removida e queimada, a depleção do oxigênio no período de enchimento e logo após o enchimento não foi muito intensa como ocorreu em outros reservatórios da região amazônica, exemplo reservatório de Samuel, em Rondônia onde a inundação de uma grande massa de floresta tropical úmida, provocou uma depleção de oxigênio provocando uma completa anoxia, a partir de 6,0m de profundidade (Matsumura-Tundisi et al.,1991).

A fitomassa inundada da floresta amazônica em represas pode atingir de 320 a 340 toneladas/hectare.

A qualidade da água do reservatório como um todo pode ser considerada boa com as condições do estado trófico de oligotrofia para mesotrofia. A composição fitoplanctônica com dominância dos Chlorophyta na maioria dos pontos confere essa condição trófica. Somente algumas localidades tais como na desembocadura dos córregos e ribeirões que alimentam as sub bacias que compõe a bacia hidrográfica do Rio Tocantins, encontram-se comprometidas em virtude das descargas de esgotos aumentando consideravelmente o teor de fósforo, coliformes totais e coliformes fecais como foi verificado nas sub bacias do Ribeirão da Água Fria e do Córrego São João. Nessas localidades já se observa o início do processo de eutrofização, sem contudo apresentar florescimentos freqüentes de cianobactérias. Somente em algumas épocas do ano, principalmente no verão tem se observado a ocorrência de florescimento dessas algas (Reis-Pereira, 2002). As duas sub bacias mencionadas Ribeirão da Água Fria e Córrego São João onde se localizam respectivamente a cidade de Palmas, capital atual do Estado de Tocantins e a cidade de Porto Nacional a antiga capital, apresentam o nível de qualidade da bacia inferior ao

das outras sub bacias Ribeirão do Lajeado e Ribeirão do São João, devido ao desenvolvimento urbano que as duas ultimas sub bacias não apresentam. O desenvolvimento urbano que promove o aumento demográfico da bacia e conseqüente aumento das atividades humanas sem qualquer sistema de planejamento, sem duvida constitui a principal causa da deterioração da qualidade da bacia.

Conseqüentemente, o desenvolvimento de uma região, no século 21, deve estar calcado em uma forte consciência de preservação ambiental e antecipação de impactos analisando todas as conseqüências que um empreendimento pode causar a uma bacia hidrográfica e devem ser traçadas estratégias para minimizar impactos (MEA, 2005)

O modelo matemático de eutrofização aplicado com a finalidade de promover a gestão do reservatório da UHE Luis Eduardo Magalhães (Lajeado) deu condições para obter o prognóstico da qualidade da água. Este modelo possibilita ainda apresentar e discutir alternativas para solução dos problemas de eutrofização, nesse reservatório e acoplar o modelo de eutrofização ao modelo de gestão integrada de recursos hídricos da bacia hidrográfica e do reservatório.

Quando se analisa um ecossistema, sob as condições de grande variabilidade dos fatores externos, como foi utilizado no modelo Pamolare, verifica-se que os organismos e toda a rede de interações respondem de forma a conseguir a melhor solução para o crescimento e sobrevivência para todos os componentes da parte biótica do ecossistema.

Em um tempo $t + 1$ uma nova combinação de estruturas e funções de organismos responde às mudanças nos fatores externos (Jørgensen, 1999).

O reservatório da UHE Luiz Eduardo Magalhães apresenta as características de um reservatório na fase de enchimento até a estabilização que pode durar de 2 a 2,5 anos onde ocorrem aumento do zooplâncton, baixa densidade de fitoplâncton, diminuição de oxigênio e baixo estoque de peixes, referidas em Straskraba & Tundisi, 2000. Entretanto, essas características foram bem menos marcantes quando comparadas com outros reservatórios da região amazônica em sua fase de enchimento como o reservatório de Samuel em Rondônia (Matsumura-Tundisi et al., 1991, Falótico, 1993), Balbina e Tucuruí, respectivamente nos Estados do Amazonas e Pará (Moreno, 1996, Tundisi, et al., 1993). Nesses reservatórios, onde uma grande fitomassa (floresta tropical úmida) foi inundada, ocorreu um intenso consumo de

oxigênio causada pela rápida decomposição de matéria orgânica acelerada pela alta temperatura, produzindo uma camada anóxica a partir de 5,0 metros. Em ambos os reservatórios foi observada logo no início do enchimento a ocorrência de uma explosão de organismos que se alimentam de detritos tais como *Moina reticulata* e *Moinadaphnia macleayi* (cladóceros) no reservatório de Samuel e de *Macrobrachium amazonicum* (camarão) no reservatório de Tucuruí.

A matéria orgânica dissolvida e particulada presente em grandes quantidades nos reservatórios de Samuel, Balbina e Tucuruí provocou uma grande diminuição do oxigênio dissolvido especialmente devido ao fato de que há uma estabilização da coluna de água promovida pelo aquecimento solar e pouco efeito do vento nesses reservatórios. Esta matéria orgânica particulada e dissolvida, produz novos processos no fluxo de energia, baseada em microorganismos (bactérias heterotróficas, protozoários) e uma grande biomassa de detritívoros, como o demonstrado em Tucuruí por Tundisi et al., 1993.

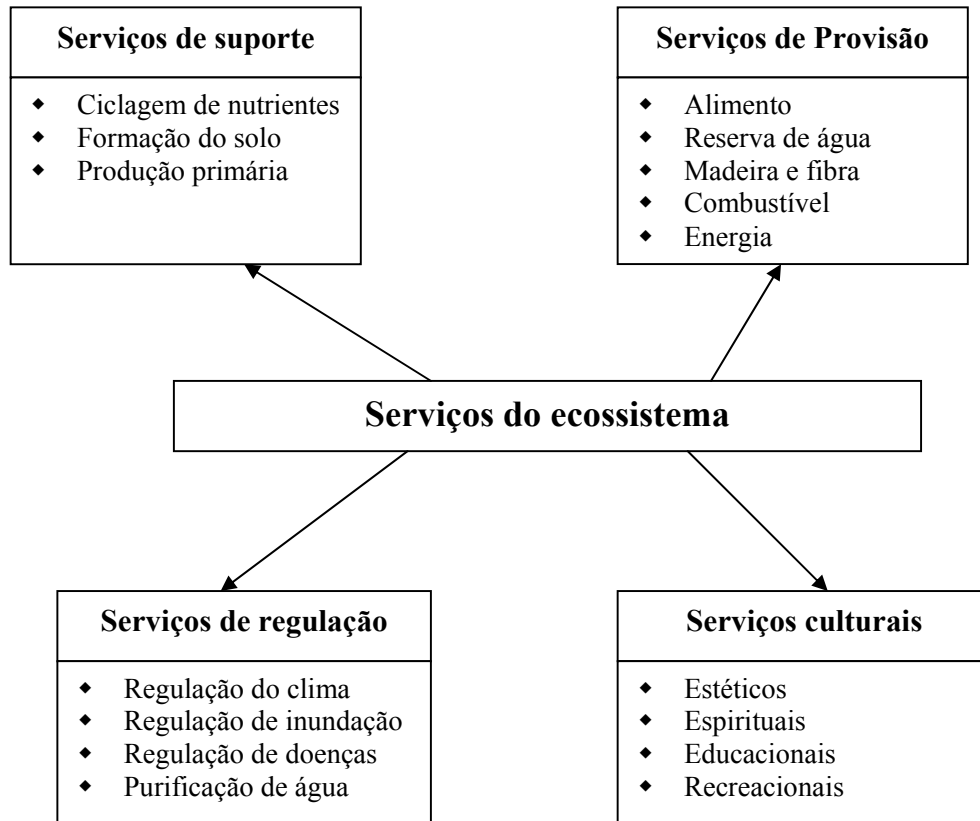
Quais as principais diferenças entre as Represas da UHE Luiz Eduardo Magalhães, Tucuruí, Samuel e Balbina, todas na Amazônia?

Estas diferenças estão principalmente baseadas na: 1- magnitude da fitomassa inundada nessas três represas 340 ton/ha em contraposição à fitomassa inundada na UHE Luiz Eduardo Magalhães 120 ton/ha; 2 - no tempo de retenção, maior em Tucuruí, Samuel e Balbina (respectivamente 45 dias, 3 meses e 11 meses), em contraposição ao tempo de retenção menor na UHE da Represa Luiz Eduardo Magalhães (25 dias) e na 3 - estabilidade da estratificação técnica e química que é muito maior nesses reservatórios do que na UHE da Represa Luiz Eduardo Magalhães. Ficou demonstrado pelo estudo realizado com o monitoramento em tempo real que a Represa da UHE Luiz Eduardo Magalhães apresenta períodos de circulação vertical mais eficientes durante o período noturno e que há menor estabilidade da termoclima nesse sistema.

Gestão Integrada e Preditiva

A Represa da UHE Luiz Eduardo Magalhães ocupa posição estratégica no Médio Tocantins, não só pela dimensão da obra e pelas suas características, mas, principalmente pela situação geográfica e inserção regional, incluindo inserção na cadeia de reservatórios do Rio Tocantins. A região apresenta uma perspectiva de desenvolvimento muito rápido havendo migração de população de várias regiões do país. Sendo assim é fundamental que os administradores locais tenham em mente a necessidade de elaborar um plano de preservação do meio ambiente a fim de que os recursos hídricos tão necessários à vida na entrem num processo de degradação irreversível.

Num plano de conservação é imprescindível compreender os serviços que um ecossistema pode proporcionar (MEA, 2005) e que se encontram no esquema abaixo:



Estes serviços proporcionam à população da região os seguintes fatores de bem-estar social: segurança coletiva; alimento e abrigo; energia; saúde: acesso à água, ar limpo; boas relações sociais: coesão social, respeito mútuo e capacidade de auxílio mútuo.

A aplicação do critério de desenvolvimento sustentável ao reservatório da UHE Luiz Eduardo Magalhães e à bacia hidrográfica, implica em uma avaliação estratégica dos recursos hídricos disponíveis, seu futuro uso na região e a mitigação e a correção de impactos. A capacidade preditiva de gerenciamento de recursos hídricos e o “princípio da precaução” no desenvolvimento econômico que poderá impactar estes recursos deve ser o ponto fundamental das ações.

O desenvolvimento sustentável implica na elaboração de programas de desenvolvimento que contribuam para a promoção das economias regionais e para dar capacidade de melhorar

substancialmente a qualidade de vida, a condição social e a saúde das populações humanas. É necessário um processo de longo prazo no planejamento de futuras ações para integrar sistemas sócio-econômicos com processos ecológicos. A redução da biodiversidade é uma das conseqüências mais importantes do processo de ocupação do solo e seus usos, e, como ficou demonstrado, bacias hidrográficas mais impactadas pela ação humana, são aquelas com maior perda da vegetação natural e, por conseqüência aquelas que apresentam maiores impactos nos reservatórios.

Trata-se, portanto, de estabelecer um equilíbrio entre o processo de desenvolvimento promovido pelo reservatório, e, o processo e recuperação da biodiversidade.

As várias sub-bacias do Rio Tocantins serão impactadas por um conjunto de reservatórios que muito se assemelha, “mutatis-mutandis” com o conjunto de sistemas do Rio Tietê no Estado de São Paulo. O modelo de desenvolvimento é muito similar: hidroeletricidade, navegação, irrigação, pesca, aquacultura e recreação, ou seja, cada reservatório de um total de sete deverá ser submetido a um conjunto de usos múltiplos de grande significado econômico e social (Tundisi, 2003).

O Plano de Conservação de usos múltiplos dos sistemas hídricos proposto para a Bacia do Médio Tocantins é caracterizado de uma estratégia geral e articulada para promover o planejamento e a implementação de um gerenciamento integrado, preditivo a nível de bacia hidrográfica e adaptativo. Propõe-se um arcabouço gerencial, com bases científicas e tecnológicas que tenham condições de implementar novos processos institucionais e de organização e que seja viabilizado através de instrumentos de gestão articulando ações e legislações locais, regionais, estaduais e federais. O plano estabelece fundamentalmente que o gerenciamento dos recursos hídricos e especificamente do reservatório e sua bacia hidrográfica, tem um conjunto de objetivos para a sociedade, considerando o empreendimento e seu futuro um recurso estratégico para a sociedade do Estado do Tocantins, e com reflexos regionais e nacionais.

O objetivo principal do Plano de Conservação aos usos múltiplos do Reservatório da UHE – Luis Eduardo Magalhães, Lajeado, Estado de Tocantins, é promover condições e estratégias

viáveis para a gestão sustentável da bacia hidrográfica e da represa, priorizando atividades de conservação e de otimização dos usos múltiplos.

Através do estudo de uso e ocupação de algumas das sub bacias que compõe a bacia do médio Tocantins tentou-se disponibilizar informações fundamentais para o estabelecimento de áreas de risco e fornecimento dos usos de reservatório e seu entorno.

Neste plano estabelecem-se as bases e os conceitos produzindo idéias que possam dar oportunidade para uma gestão adaptativa, preditiva, integrada e de alto nível com a participação e contribuição da sociedade local, seus órgãos representativos, setores público e privado.

Os usos múltiplos do reservatório, são diversificados e tornam complexa a gestão dos recursos hídricos. Estes usos múltiplos, que tendem a se diversificar à medida que a economia regional se consolida e se fortalece, incluem, no presente e no futuro as seguintes atividades: produção de hidroeletricidade, navegação, recreação, turismo, pesca, aquicultura, irrigação e apoio a atividades agrícolas, abastecimento público urbano e rural, atividades extrativas – areia e seixos no reservatório.

Estes usos múltiplos que ocorrem e ocorrerão na bacia hidrográfica e na represa, produzem um conjunto diversificado de impactos na bacia hidrográfica, nos tributários e na represa, com inúmeras conseqüências na qualidade da água – deterioração da qualidade da água, florescimentos de espécies de algas indesejáveis e nocivas à saúde humana, perda da biodiversidade e impactos nas atividades de recreação, turismo, pesca e navegação. Há perdas econômicas associadas à deterioração da qualidade da água.

Assim sendo, além dos estudos sobre o uso e ocupação da bacia que fornecem indicadores sobre a qualidade da bacia hidrográfica e características limnológicas dos sistemas hídricos são ainda necessários conhecimentos sobre:

1. Zoneamento ambiental do reservatório e seu entorno - Deve considerar a bacia hidrográfica, a região dos tributários, a zona de proteção exclusiva, as zonas de alto risco, médio risco e baixo risco, considerando-se os estudos, informações e os bancos de dados existentes,

provenientes dos Relatórios de Impacto Ambiental, dos Programas Básicos Ambientais e informações científicas e tecnológicas existentes.

A Fig 56 mostra as características do zoneamento ambiental promovido neste estudo e baseado fundamentalmente nos usos do solo, no disciplinamento e ordenação da atividade agrícola, na expansão urbana, nos usos múltiplos do reservatório, e na manutenção de seus “serviços” à população local e regional. Neste zoneamento ambiental deve-se destacar que a intensidade das diferentes atividades deve ser regulada por legislação específica; por monitoramento constante e adequado; por avaliações periódicas de risco e antecipação de impactos. Deve-se destacar neste zoneamento ambiental, dois aspectos extremamente importantes que são considerados pontos chave na região:

- o primeiro é a **vigilância sanitária permanente** para controle da saúde pública e que deve se estendido não só a Palmas e Porto Nacional, mas a outros municípios próximos do reservatório e onde os usos da água são mais diretos.
- o segundo, é a **faixa de proteção mais ampla** (zona de áreas tampão) localizada nas zonas de desenvolvimento agrícola mais intensiva. Nestas áreas tampão, com uma faixa de proteção mais ampla procura-se estabelecer um mecanismo de contenção mais efetiva dos impactos referentes aos usos do solo e aplicação de nutrientes, pesticidas e herbicidas.

Deve-se ainda considerar que este planejamento levou em conta a circulação horizontal no reservatório e o desenvolvimento de atividades de recreação e aquicultura nesse sistema. No caso da **aquicultura**, esta é indicada no terço à jusante, próximo a barragem onde a circulação é mais efetiva pelo efeito das turbinas e vertedouros, promovendo portanto, uma rápida recuperação da qualidade da água após impacto do acúmulo de ração para peixes e excreção. No caso da recreação, que é realizada nas praias de Palmas e Porto Nacional, devido à baixa circulação horizontal nestes pontos, é necessário um programa especial de monitoramento com um controle efetivo da contaminação e poluição.

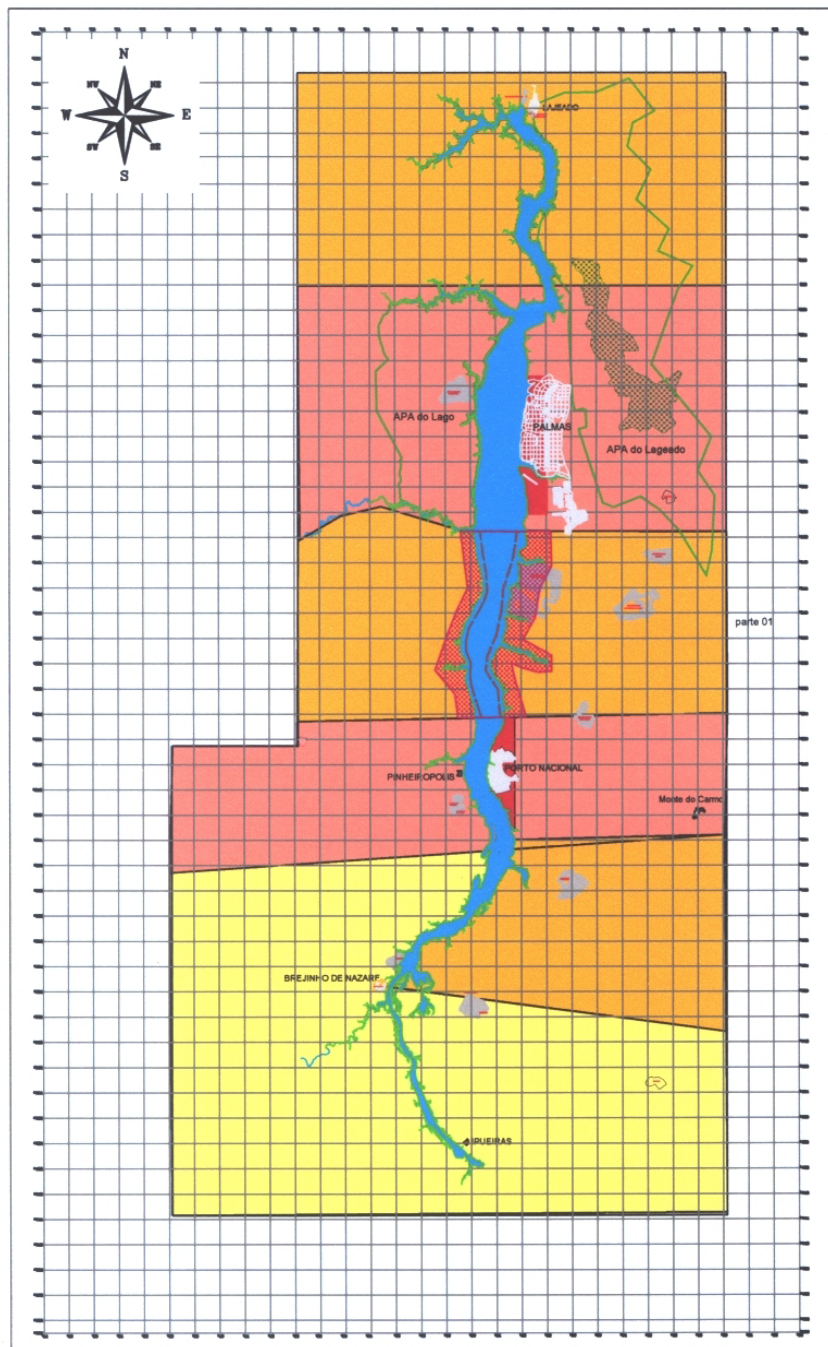
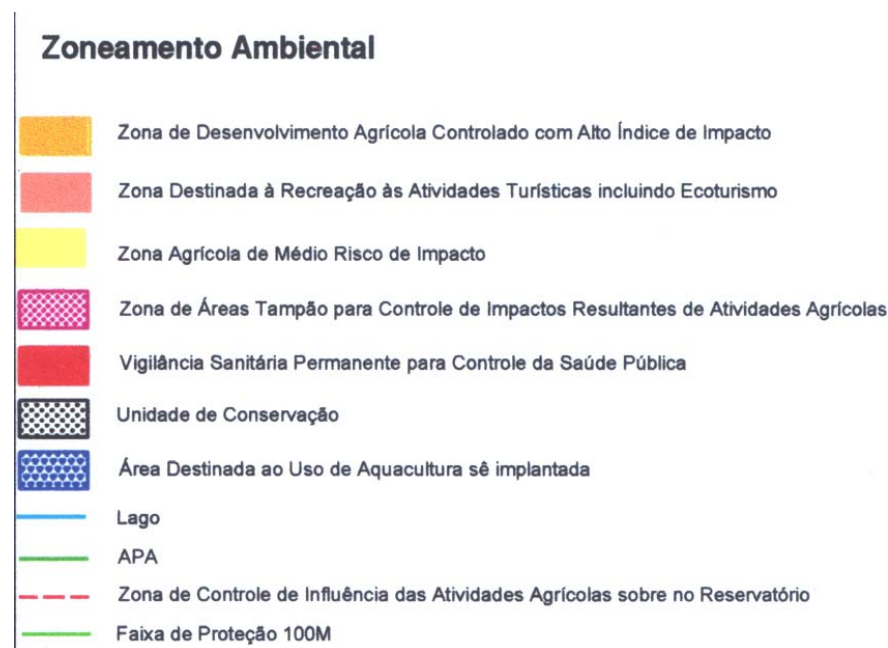


Fig 56. Características do zoneamento ambiental do reservatório e seu entorno.

O mapa de zoneamento mostrado na figura 56 refere-se às diversas atividades desenvolvidas na bacia do Médio Tocantins.



.2. Áreas de Risco do Reservatório e seu entorno:

As principais áreas de risco do reservatório da UHE – Luis Eduardo Magalhães e seu entorno, podem ser assim caracterizados como mostra a Fig 57. Por Risco entende-se o potencial de possível deterioração da qualidade da água com efeitos à saúde humana e comprometimento de usos múltiplos e atividades relacionadas a turismo, recreação, abastecimento público, irrigação. Foram detectadas as seguintes áreas de risco na bacia do Médio Tocantins.

Áreas de Alto Risco: - localizada entre as zonas urbanas de Palmas e Porto Nacional com grande deterioração das margens (margem direita) com impactos severos no reservatório

Áreas de Risco Moderado: - Aquelas localizadas a montante do reservatório, próximos a Ipeuira e Brejinho do Nazaré. situada à margem esquerda do reservatório, entre a Ponte Presidente Fernando Henrique Cardoso e localizada à frente da cidade de Porto Nacional.

Áreas de Risco Moderado a Alto: - Todas as áreas do reservatório localizadas na região lindeira às zonas urbanas devido à descarga de esgotos domésticos e de fontes não pontuais provenientes dos usos do solo nessas regiões.

Áreas de Risco Moderado a Baixo: - localizadas nas duas margens da região entre a barragem e a cidade de Palmas.

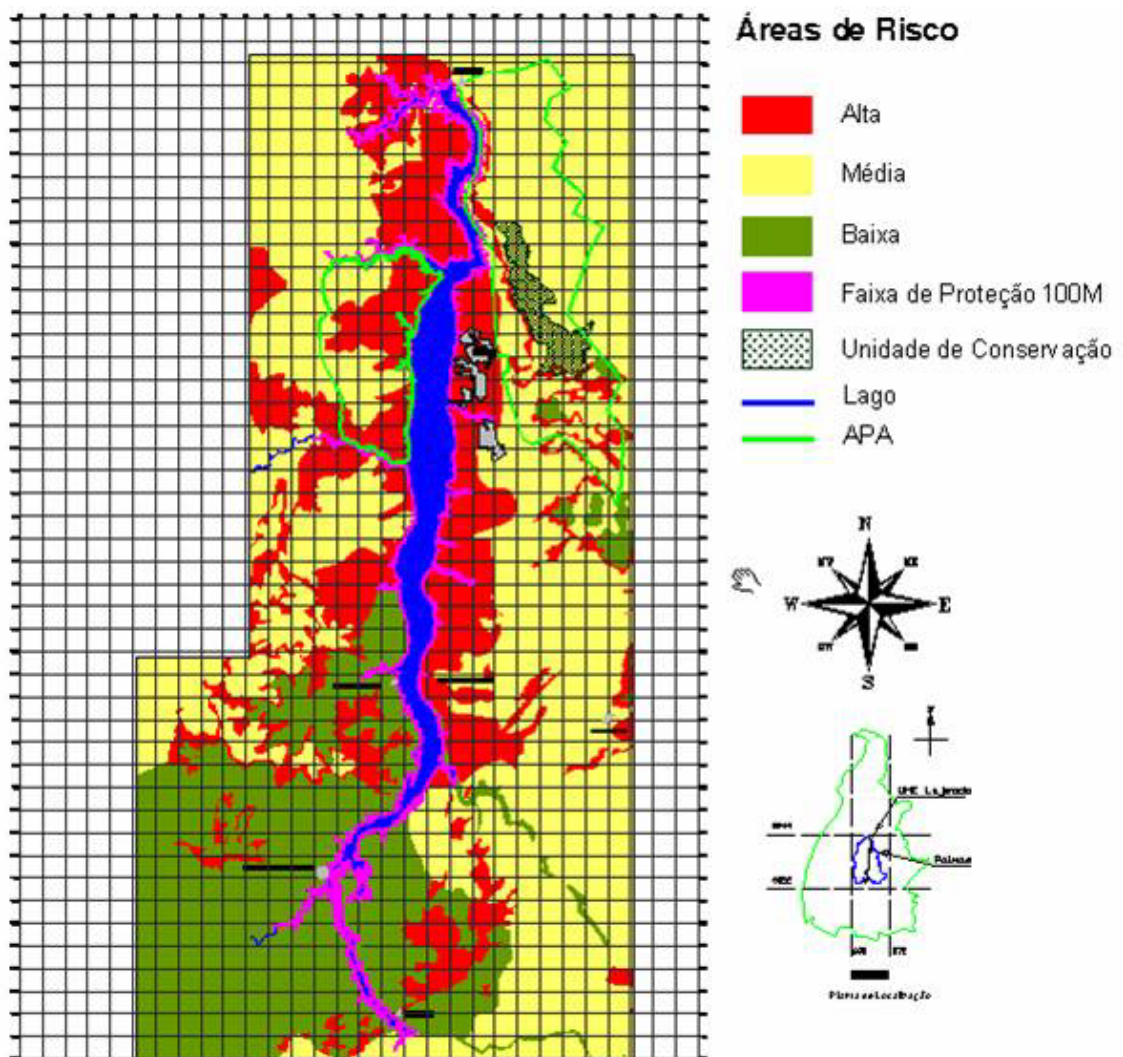


Fig 57. Caracterização das áreas de risco do reservatório UHE Luiz Eduardo Magalhães e do seu entorno.

Em síntese, o plano de gerenciamento integrado deve incluir:

- ♦ Áreas de risco ambiental
- ♦ Áreas de proteção ambiental
- ♦ Zoneamento ambiental, incluindo prevenção de impactos de usos múltiplos
- ♦ Planejamento territorial do uso das bacias hidrográficas e seus impactos nos recursos hídricos.
- ♦ Monitoramento permanente do ecossistema terrestre e aquático utilizando-se diferentes técnicas e ferramentas.

Há ainda três outros pontos que são fundamentais no plano de recuperação e conservação das bacias hidrográficas dos tributários e do reservatório:

- i) Disposição de resíduos sólidos nas áreas urbanas: tratamento, aterros sanitários, isolamento, impermeabilização.
- ii) Tratamento de esgotos e de resíduos industriais de forma eficiente e adequada para a região.
- iii) Educação do grande público para a sustentabilidade e educação e capacitação de gerentes.

Conclusões

1. Uma represa do porte da represa da UHE Luiz Eduardo Magalhães, com 630 Km² é um importante incentivo econômico, regional, abrindo novas perspectivas, oportunidades e alternativas. Por outro lado, esta atração pode resultar em um processo contínuo de degradação como foi demonstrado para duas sub-bacias, pondo em risco o empreendimento e seu entorno.
2. A água do reservatório atualmente se apresenta como sendo de boa qualidade sendo que o seu estado trófico é de oligotrófico a mesotrófico, com alguns pontos da desembocadura dos tributários das sub bacias impactadas (ribeirão da Água Fria e Córrego São João) que se apresentam eutróficos.
3. Os impactos dos usos múltiplos nas bacias hidrográficas e nas represas:
 - a) uso residencial para lazer nas proximidades do reservatório produzindo fontes pontuais e não pontuais de nitrogênio e fósforo e coliformes fecais.
 - b) despejos industriais com vários tipos de efluentes;
 - c) uso comercial permanente e uso comercial temporário – impactos não pontuais;
 - d) extração mineral;
 - e) irrigação em larga escala, com impactos no solo, transporte de material em suspensão;
 - f) aquacultura – impactos provenientes do uso excessivo de rações, da concentração de peixes em tanques rede e dos impactos dos efluentes das estações de piscicultura;
 - g) impactos da pecuária, da suinocultura e avicultura, caprinocultura e ovinocultura. Impactos pontuais e não pontuais produzidos pela geração de nutrientes (nitrogênio e fósforo).
4. Áreas de risco: foram analisadas áreas de baixo, médio e alto risco para a região do Médio Tocantins, mais especificamente na área de influência da represa da UHE Luiz Eduardo Magalhães. As áreas de risco foram associadas a risco de transporte de sedimentos e erosão e

fontes pontuais e não pontuais de nitrogênio e fósforo demonstradas a partir da análise de duas sub-bacias impactadas e de duas sub-bacias não impactadas.

Conclusões

5. Planejamento territorial e zoneamento ambiental : o **planejamento territorial** e o **zoneamento ambiental** foram preparados em função das seguintes características:

- ◆ Complexidade e intensidade das múltiplas atividades nas bacias hidrográficas e na represa.
- ◆ Complexidade da circulação horizontal hidrodinâmica e circulação vertical.
- ◆ Necessidade de zonas especiais de proteção e conservação da biodiversidade e da cobertura vegetal
- ◆ Complexidade e intensidade dos usos múltiplos do reservatório: abastecimento público, recreação, turismo, navegação e aquicultura.

6. Medidas de alta prioridade:

- Implantação de sistemas municipais de coleta e tratamento de esgotos;
- Controle das principais fontes de poluição pontual;
- Proteção dos tributários com reflorestamentos;
- Máxima carga poluente permitida para proteção da qualidade da água (Ideal é **zero**)
- Implantação imediata da Zona de Proteção do Lago (100m)
- Educação da população, autoridades, políticos e classes empresariais e do público em geral.
- Implementação de projetos de proteção ambiental em zonas urbanas dos municípios;
- Controle das fontes de poluição não pontual na zona agrícola
- Reflorestamento da bacia hidrográfica com espécies nativas
- Implantação de projetos de conservação da biodiversidade na bacia hidrográfica

7. Através da integração dos Poderes Públicos Federais, Estaduais, Municipais e a Sociedade organizada será possível a compatibilização das Leis Federais, Estaduais e Municipais para regulamentação dos usos múltiplos do reservatório da Usina Hidrelétrica Luiz Eduardo Magalhães – UHE Lajeado, utilizando-se como subsídios as informações científicas contidas neste documento.

8. Atelomixia é um processo que é muito importante para a re-oxigenação e recuperação das camadas superiores do reservatório. O estudo deste processo e suas conseqüências é fundamental para a compreensão dos mecanismos, de curta duração da represa de Lajeado.

Recomendações

1. Os principais impactos decorrentes dos usos da bacia hidrográfica da ocupação do solo e do desenvolvimento de atividades agrícolas, e da urbanização estão relacionados com a descarga dos esgotos domésticos não tratados, ou seja, fontes pontuais, as fontes não pontuais resultantes dos resíduos de fertilizantes nas áreas agrícolas, os herbicidas e pesticidas utilizados em agricultura. O controle destas fontes pontuais e não pontuais é fundamental para conter a expansão da eutrofização e da toxicidade no reservatório. Este controle é derivado do tratamento de esgotos, com as campanhas de educação em massa para tratamento das fontes não pontuais e para a aplicação de práticas agrícolas adequadas.

2. A proteção e conservação da região marginal do reservatório e da interface terrestre / lacustre deve ser feita através da legislação específica aplicada à zona de proteção exclusiva coibindo o uso do solo nesta faixa de proteção (com 10% de flexibilidade) aplicando legislação e fiscalização para impedir a proliferação de fossas negras e regulando e fiscalizando a disposição de resíduos sólidos. A implementação desta área deve ser acompanhada por campanhas maciças de esclarecimento e educação à população ribeirinha.

Também deve ocorrer regulamentação e fiscalização referentes à ocupação irregular do solo, ao desmatamento indiscriminado e à instalação de equipamentos de recreação que possam causar impacto na interface terrestre / lacustre. Esta interface pode ser protegida com um reflorestamento maciço com espécies nativas.

3. Em muitas represas, o início da deterioração, opera-se a partir dos tributários. Estes, começam a contribuir com resíduos, nutrientes (nitrogênio e fósforo) dissolvidos e particulados, material em suspensão. Proteção especial aos tributários deverá ser preparada através de medidas de incentivo, fiscalização e legislação adequada.

Recomendações

4. O controle da disposição e gerenciamento dos resíduos sólidos é fundamental. Cada área de despejo de resíduos sólidos transforma-se em uma fonte potencial de problemas e contaminações. O **chorume** proveniente destes resíduos contem matéria orgânica e metais pesados. Os resíduos sólidos devem ser tratados de forma adequada, legislação específica deve ser estabelecida, fiscalização periódica implementada. Coleta seletiva deve ser implementada em municípios, vilas e clubes para reduzir o volume de resíduos sólidos acumulados em áreas de lixões e outros locais de disposição. A prática de aterros sanitários em municípios deve ser incentivada e fiscalizada.

5. Controle das atividades de recreação nas praias deve ser realizado a partir das Prefeituras Municipais.

6. O controle da atividade pesqueira no reservatório acompanhado de medidas de restauração e manutenção da diversidade íctica é fundamental para o desenvolvimento econômico. Deve haver fiscalização rigorosa para impedir a introdução de espécies exóticas no reservatório, com a finalidade de proteger a diversidade íctica de espécies nativas.

7. O controle e regulamentação das atividades de aquicultura no reservatório é igualmente importante. Os projetos deverão passar por rigorosa análise, a aquicultura só poderá ser realizada com espécies nativas, e as atividades devem ser controladas para evitar deterioração do reservatório. Frequentemente, o uso de rações aumenta a eutrofização. Devem ter prioridade os projetos de aquicultura que destaquem ações sociais e de geração de empregos através do apoio a cooperativas com rigorosa fiscalização técnica e análise de impacto. A introdução de qualquer tipo de aquicultura com espécies exóticas deve ser terminantemente proibida no reservatório.

8. O controle das atividades de extração de areia e seixos no reservatório deverá ser realizado através de rigorosa fiscalização.

Recomendações

9. O controle das atividades náuticas no reservatório deve ser implementado, principalmente no que se refere aos problemas da segurança coletiva nas praias e segurança coletiva no transporte de passageiros para navegação.

10. As praias próximas a Porto Nacional e Palmas são áreas em que pode ocorrer risco para a saúde pública em caso de acúmulos de cianofíceas e de bactérias coliformes totais e fecais. Este acúmulo pode ocorrer em certos períodos, devido a mecanismos de circulação diferenciados ao longo do reservatório, mostrados pelo trabalho de hidrodinâmica. Nos períodos em que ocorrer índice excessivo de cianobactérias e coliformes acima dos limites estabelecidos pela Portaria 1469 há necessidade de suspensão das atividades de recreação. Monitoramento intensivo destas praias deve ocorrer permanentemente.

11. As áreas de matas ripárias ao longo dos tributários, devem ser consideradas como corredores ecológicos e mantidas intactas para estímulo à recomposição de fauna terrestre e manutenção dos processos ecológicos nos tributários. A ligação destas áreas com corredores transversais de espécies nativas pode ser uma solução para a região na manutenção de corredores ecológicos. As matas galeria dos tributários podem ser interligadas com matas de espécies nativas, reflorestadas nas margens do reservatório.

12. Monitoramento da qualidade da água, dos tributários, da represa e da regiões próximas às praias e a jusante da barragem da UHE – Luis Eduardo Magalhães é essencial para o conhecimento permanente do estado das águas e do impacto decorrente das atividades humanas e da ocupação do solo. Este monitoramento deve ser intenso na região das praias próximas a Palmas a montante e a jusante da ponte Presidente Fernando Henrique Cardoso. O Plano de Conservação e Usos Múltiplos deve contemplar o estímulo à ampla organização institucional

com participação efetiva de órgãos municipais, estaduais e federais. A legislação local deve prever uma integração das Prefeituras Municipais em um consórcio para gestão do reservatório, um estímulo à cooperação do reservatório, ampliação da capacidade de informação ao público, através da educação sanitária e ambiental, e ampliar a legislação específica sobre o controle e

Recomendações

gestão do reservatório e seu entorno. Uma “autoridade de gestão do reservatório” deve ser constituída para integrar e consolidar ações. Este grupo multidisciplinar deve acompanhar permanentemente o processo de gerenciamento a implementação de ações e o desenvolvimento tecnológico concomitantemente.

13. As represas artificiais constituem um grande atrativo para o desenvolvimento de atividades humanas. No Brasil, especificamente, estas represas são desencadeadoras para vários usos múltiplos que aceleram o desenvolvimento econômico. Entretanto, estas represas produzem impactos e perda da biodiversidade terrestre e aquática, degradação do solo; o desenvolvimento econômico por elas estimulado causa novos e irreversíveis impactos.

14 . A qualidade da bacia se encontra associada à: expansão demográfica , ao desenvolvimento urbano, à perda da vegetação original, utilização do solo para fins agro pecuárias. Estes fatores constituem indicadores que determinam a condição da qualidade da bacia.

15. A construção de reservatórios na bacia para geração de energia elétrica ocasiona dois fatos contrastantes. De um lado, perda da biodiversidade tanto da fauna como da flora devido à uma grande área da bacia que sofre inundação diminuindo a qualidade da bacia. Por outro lado esse empreendimento traz benefícios à população local oferecendo inúmeros serviços.

16. A concepção de “serviços” dos ecossistemas, deve ampliar a capacidade de conservação, proteção e recuperação das represas, tendo em vista a necessidade de preservar serviços essenciais como provisão de alimentos, segurança coletiva, saúde humana, bem estar social, e oportunidades de recreação, turismo e abastecimento de água.

17. Para que esta concepção de “serviços” esteja em consonância com a conservação, proteção e recuperação de represas, é necessário um equilíbrio entre o processo de desenvolvimento econômico com o desenvolvimento sustentável que inclui componentes sociais e de bem estar da população que pode usufruir dos “serviços” de forma mais longa e sustentável.

Recomendações

18. O gerenciamento consistente e efetivo destes ecossistemas artificiais deve ser dirigido de tal forma a manter o desenvolvimento e torná-lo responsável pela sustentabilidade. Portanto, um **gerenciamento integrado, preditivo** e a nível de bacia hidrográfica deve ser implementado com reflexos na economia regional e com capacidade para antecipar impactos. Este gerenciamento integrado, significa também, integrar águas atmosféricas, águas superficiais e águas subterrâneas.

19. Para o estabelecimento deste modelo de gestão, baseado na obtenção e tratamento de informações, os seguintes processos foram considerados, baseados em Straskraba & Tundisi (2000).

- Dinâmica do ecossistema (represa): circulação horizontal e vertical.
- Retenção das estruturais naturais nas bacias hidrográficas vegetação, heterogeneidade.
- Retenção da biodiversidade nas bacias hidrográficas.
- Gerenciamento da bacia hidrográfica e do reservatório como parte do sistema (no caso como parte do projeto para todos o Rio Tocantins).
- Avaliação dos riscos produzidos pelas opções de uso em longos períodos.
- Avaliar usos conflitivos para a melhor gestão.
- Determinar a capacidade de assimilação dos poluentes pelo reservatório e seu sistema e não excedê-la.

20. Os usos múltiplos na Represa da UHE Luiz Eduardo Magalhães deverão ampliar-se e diversificar-se à medida que a sócio-economia local e regional adaptar-se e integrar-se com o novo sistema aquático que substituiu o rio Tocantins. Assim um novo ciclo hidrosocial deverá ser organizado em função da represa. Os seguintes usos múltiplos deverão fazer parte do processo deste novo ciclo hidrosocial:

- abastecimento público para pequenas localidades: chácaras, pequenas vilas, zona rural, etc.;
- produção de alimento: pesca;

- irrigação em pequena escala;
- irrigação em larga escala (agronegócio);
- recreação em pequena e larga escala;
- turismo e atividades relacionadas;

Recomendações

- navegação e transporte em escala limitada e em larga escala dentro de alguns anos;
- usos industriais diversificados, além da produção de energia elétrica;
- aquacultura em condições limitadas e sob controle deverá ocorrer após estabilização.

21. Neste sentido, o gerenciamento deverá considerar totalmente os ecossistemas e as estruturas sócio-econômicas existentes na bacia hidrográfica, a fim de que os recursos hídricos sejam mantidos para os usos múltiplos como parte integral do processo de desenvolvimento econômico regional.

13 . Tópicos especiais:

a. – Recomenda-se a implementação de procedimentos e legislação especial voltados especificamente para o saneamento básico e o controle ambiental permanente.

b – Recomenda-se a formação de um grupo de trabalho específico voltado para a proteção e monitoramento de recursos hídricos subterrâneos.

c – Recomenda-se a implantação de um grupo permanente de trabalho para estimular pesquisa tecnológica em saneamento básico para apoio a pequenas áreas urbanas e zonas rurais.

d – Treinamento – O treinamento de gerentes de recursos hídricos, de gerentes municipais voltados especificamente para a gestão ambiental, de técnicos em meio ambiente, de legisladores e de especialistas em fiscalização e impacto ambiental deve ser permanente e em serviço de tal forma que priorize ações práticas voltadas para a solução dos problemas e com embasamento teórico suficiente para compreender a complexidade do processo ambiental e suas soluções. O treinamento em todos os níveis deve promover uma visão sistêmica, integrada e gerencial objetiva.

Referências

- APHA, (1989). Standard methods for the examination of water and wastewater. 19^a ed., Washington. American Public Health Association.
- BARBOSA, F. A. R., J. PADISÁK, J. ,(2002). The forgotten lake stratification pattern: atelomixis, and its ecological importance. In: International Association of Theoretical
- CARLSON, R.E., (1977). A trophic state index for lakes. Limnol. and Ocenogr. Vol 22 (2): 181-380.
- CARELLI FONTES, R.F. , 2003. Modelo hidrodinâmico em estudos de Qualidade de Água no reservatório UHE Luiz Eduardo Magalhães (TO). Relatório do IIE.
- ELETRONORTE (Centrais Elétricas do Norte do Brasil), (1986). Estudo de inventário do Médio Tocantins: Relatório de avaliação da qualidade da água. TOC – 06-050-RE. 108pp.
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária, (1976). Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. Planaltina, DF. S, Planaltina, 150 p.
- EPA (Environmental Protection Agency), (1997). The Index of Watershed Indicators. 56pp.
- ESTRADA I MYARES, M., (1999). Hidrodinâmica do Mar Mediterrâneo y distribución del fitoplancton. Real Academia de Ciencias da Espanha. pp. 1-25.

- FALÓTICO, M.H.B., (1993). Características limnológicas e aspectos da composição e distribuição da comunidade zooplanctônica em um reservatório da região amazônica em sua fase de enchimento (Reservatório de Samuel – Rondônia). Dissertação de Mestrado, USP- Escola de Engenharia de São Carlos,197pp
- GARZON, C.E., (1983). Water quality management strategies for the Alto Sinu hydro Project. Preliminary proposal (for) Coreia, Colombia. Hanover, New Hampshire. Dartmouth College, Thayer School of Engineering. 10p.
- GOEDERT, W.J. (1986). Solos dos Cerrados. São Paulo: Nobel, Brasília: EMBRAPA, 1986, 422 p.
- GOLTERMAN, H.L., R.S. CLYMO & M..A..M. OHMSTAD, (1978). Methods for physical and chemical analysis of fresh waters, IBP Handbook, **8**, Blackwell Scientific Publ. Oxford, 213 pp.
- GUNNISON, D. et al., (1981). Characterization of anaerobic chemical processes in reservoirs. In: Dames and Moore. Inc, 1982. Vicksburg, TR.E-81-6. U.S. Army Engineers waterways experiment station. (Report).
- GUNNISON, D. & J.M. BRANNON, (1980). Conceptual model depicting anaerobic geomicrobial processes in reservoirs. Proceedings of the Symposium on Surface Water Impoundments. New York, American Society of Civil Engineers (ASCE). June, 1079 p

HAKANSON, L. & R.H. PETERS, (1995). Predictive Limnology: Methods for Predictive Modelling. 464 pp.

Referências

HEIDE, J. VAN DER, (1976). Hydrobiology of the man made Brokopondo lake. In collaboration with Leentvaar, P. and Meyer, J. Utrecht. Brokopondo research report. Suriname. (2): 95 p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, (2000). Censo Agropecuário do Tocantins – nº 6. RJ. p. 1-197.

IIE - Instituto Internacional de Ecologia, (2003). Gerenciamento e otimização de usos múltiplos da bacia do Médio Tocantins (TO). Relatório para INVESTCO, 200pp

IMBERGER, J. (1994). Transport processes in lakes: A review. In: *Limnology Now: A Paradigm of Planetary Problems* pp.99-191

IMBERGER, J. & P. F. HA MBLIN, (1982). Dynamics of lakes, reservoirs and cooling ponds. *Ann. Rev. Fluid Mech.* 14, 153-187.

IMBERGER, J. & J.C. PATTERSON, (1990). Physical Limnology. In: Wu, T. (edit). 1990. *Advances Applied Mechanics*. Academic Press Boston. Vol. 27.

JØRGENSEN, S.E. & F. MULLER, (2000). *Handbook of Ecosystem Theories and Management*.

JØRGENSEN, S.E., (1999). Biomanipulation and Ecological Modelling. Pp-547-564. In: Tundisi, J.G. and Straskraba, M (Editorrs). *Theoretical Reservoir Ecology and its Applications*. IIE, ABC, Backhuys Publishers. 585 pp.

JØRGENSEN, S.E. & H.F. MEJER, (1983). Trends in Ecological Modelling. In: Lauenroth, W, Skogerboe G.V, Flug, M. (eds), Analysis of Ecological Systems: State-of-the-Art in Ecological Modelling, pp.21-26. Developments in Environmental Modelling, 5.

Referências

KELMAN, J., M.V.F. PEREIRA, T.A. ARARIPE NETO, & P.R. HOLANDA SALES, 1999. Hidreletricidade. In: REBOUÇAS, A., BRAGA, B. & TUNDISI, J. G.(eds) *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. Academia Brasileira de Ciências, Inst. de Estudos Avançados/USP, Escrituras Editora e Distribuidora de Livros, p. 371-418.

KOROLEFF, F., (1976). Determination of nutrients. In: *Methods of seawater analysis*. Chemikie Weinheim Grosshoff, K. p. 117-181.

KRATZER, C. R. & P.L.BREZONIK, (1981). A Carlson-type trophic state index for nitrogen in Florida Lakes. *Water Resources Bulletin*, vol 17(4): 713-715

LEWIS JR, W. M. ., (1983). A revised classification of lakes based on mixing. *Can. J. Fish. Aquatic. Sci.* 40: 1779-1787.

LIKENS, G.E. (ed),(1985). *An ecosystem approach to aquatic ecology: Mirror Lake and its environment*. New York: Springer-Verlag, 516pp.

LIKENS, G.E., (1992). *The ecosystem approach: its use and abuse*. Oldenhorf / Luhe: Ecology Institute, 166 pp.

LIKENS, G.E.,(2001). Biogeochemistry, the watershed approach: some uses and limitations. *Marine and Freshwater Research*. 52. 5-12

LIKENS, G.E. & F. H. BORMANN, (1985). An Ecosystem Approach. Chapter I. In: *An Ecosystem Approach to Aquatic Ecology. Mirror Lake and its Environment*. pp. 1-8.

LIKENS, G.E. & F. H. BORMANN. (1972). Nutrient cycling in ecosystems. In *Ecosystem Structure and Function*, ed. J. Wiens, 25-67. Corvallis: Oregon State Univ. Press.

Referências

LOPES, A.S. (1984). *Solos sob Cerrados*. 2 ed., Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo (POTAFOS), 1984. 162 p.

MACKERETH, F.S.H., J. HERON, & J.F. TALLING, (1978). *Water Analysis. Some revised methods for limnologists*. F.B.A. Scientific Publication **36**, Ambleside

MARGALEF, R. (1978). Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an instable environment. In: *Oceanologica Acta*, vol 1 nº 4, 493-507.

MARGALEF, R. (1994). *Limnology Now: A Paradigm of Planetary Problems*. 553pp.

MARGALEF, R. (1994). The place epicontinental waters in global ecology. In: Margalef, R. (ed.). (1994). *Limnology now: a paradigm of planetary problems*. Elsevier Science, Amsterdam, p.1-8.

MARGALEF, R., (1983). *Limnologia*. Barcelona: Ediciones Omega S.A., 1010pp.

MARGALEF, R., (1997). Our biosphere. In: KINNE, O. (Ed.). *Excellence in ecology*. Oldendorf, Luke: Ecology Institute, 176pp.

MATSUMURA-TUNDISI, T., J.G. TUNDISI, A. SAGGIO, A.L. OLIVEIRA NETO and E.G. ESPÍNDOLA. (1991). Limnology of Samuel Reservoir (Brazil, Rondônia) in the filling phase. In: *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 24. pp.1482-1488.

MEA (Millennium Ecosystem Assessment), (2005). Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, D.C

Referências

- MORENO, I.H., (1996). Estrutura da comunidade planctônica do reservatório da UHE Balbina (Floresta tropical úmida- Amazonas) e sua relação com as condições limnológicas apresentadas na fase de enchimento e pós-enchimento (1987-1990). Tese de Doutorado, UFScar, 229 pp.
- MORTIMER, C. H. (1942). The Exchange of dissolved substances between mud and water in lakes. *J. Ecol.* 30:147-201.
- NUSCH, E.A., (1980). Comparative of different methods for chlorophyll and phaeopigments determination. *Arch. Fur Hydrobiol.* Vol. 14: 14-36.
- REBOUÇAS, A.C., B. BRAGA & J.G. TUNDISI, (Eds.), (1999). *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. Academia Brasileira de Ciências, Inst. de Estudos Avançados/USP, Escrituras Editora e Distribuidora de Livros Ltda., 807pp.
- REIS-PEREIRA, V.L., (2002). A limnologia e o gerenciamento integrado do reservatório da UHE Luis Eduardo Magalhães – Represa do Lajeado, Tocantins. Tese de Doutorado USP, São Carlos, 262pp.
- REVENGA, C., S. MURRAY, J. ABRAMOVITZ, & A. HAMMOND, (1998). *Watersheds of the world: ecological value and vulnerability*. World Resources Institute Publ., 172 pp
- REYNOLDS, C.S., (1972). Nutrient cycling in ecosystems. In *Ecosystem Structure and Function*, ed. J. Wiens, 25-67. Corvallis: Oregon State Univ. Press.

REYNOLDS, C.S., (1976). Sinking movements of phytoplankton indicated by a simple trapping method. II. Vertical activity ranges in a stratified lake.Br. Phycol. J. **11**: 293-303.

Referências

REYNOLDS, C.S. (1978). Phosphorus and the eutrophication of lakes. A personal view. In: R. Porter and D. FitzSimons (eds.), *Phosphorus in the environment: its chemistry and biochemistry*, pp; 201-228. Excerpto Medica, Amsterdam

REYNOLDS, C.S. (1984). The ecology of freshwater phytoplankton. 384pp.

REYNOLDS, C.S., (1997). Vegetation processes in the pelagic: a model for ecosystem theory: In: KINNE, O. (Ed.). *Excellence in ecology*. v.10. Oldenhorf, Luke: Ecology Institute, 371pp.

ROCHA, O., T. MATSUMURA-TUNDISI, J.G. TUNDISI, M.J. SANTOS-WISNIEWSKI & A.M. GUNTZEL, (2002). Eutrophication of tropical reservoirs: effects on biodiversity and human health. ResLim – 4th International Conference on Reservoir Limnology and Water Quality, 286-289p

SCHIAVETTI, A., A.F.M. CAMARGO, (2002). *Conceitos de bacias hidrográficas*. Editora da UESC, 289pp.

STEEMANN-NIELSEN,S., (1975). Marine photosynthesis with special emphasis on the ecological aspects. In: Elsevier Oceanography Series, 13. 141pp

STRAKRABA, M. & J.G. TUNDISI, (2000). *Diretrizes para o gerenciamento de lagos. Vol. 9 – Gerenciamento da qualidade da água de represas*. Edição traduzida em português por Vannucci, D. ILEC/IIE Publ. 258 pp.

STRASKRABA, M. & J.G.TUNDISI, (1999). Water quality management of reservoirs. ILEC. 208 pp.

Referências

STRICKLAND, J.D.H. & T.R. PARSONS, (1965). A manual of sea water analysis. Fish. Res. Bd. of Canadá. Bull. nº 125, 203pp

THEMAG (ENGENHARIA E CONSULTORIA LTDA) , (1996). UHE Lajeado. Relatório de Impacto sobre o Meio Ambiente. 143pp.

TUNDISI, J.G., (1978). *O ecossistema como unidade ecológica*. Ibid. 3-13pp.

TUNDISI, J. G. (1986a). Limnologia de represas artificiais. Bol. de Hidráulica e Saneamento. USP/EESC, SP, 11: 1-46.

TUNDISI, J.G., (1986b). Ambiente, represas e barragens. *Ciência Hoje*, v.5; 49-54pp.

TUNDISI J. G., (2003a). *Água no século XXI: Enfrentando a escassez*. IIE. Rima: 247pp

TUNDISI, J.G., (2003b). *Plano de gerenciamento e otimização de usos múltiplos da bacia hidrográfica e do reservatório da UHE Luiz Eduardo Magalhães*. IIE/IEGA, FINEP. (1º relatório).

TUNDISI, J.G., T. MATSUMURA-TUNDISI & M.C. CALIJURI, (1993). Limnology and management of reservoirs in Brazil. In: Straskraba, M. J.G. Tundisi & A. Duncan (eds): *Comparative Reservoir Limnology and Water Quality Management*. Kluwer Academic Publishers. 291pp

Referências

TUNDISI, J.G., T. MATSUMURA-TUNDISI, V.L. REIS-PEREIRA, (2002) Sustainable water resources in South America: The Amazon and La Plata basins. In: JANSKY, L., M. NAKAYAMA & J. UITTO (eds): *Lakes and reservoirs as international water systems, towards world lake vision*. UNU University Press. 28-44pp.

TUNDISI-M, J.E., J.G. TUNDISI & O. ROCHA, (2002). A quality index for the Carlos Botelho (Lobo-Broa) watershed, São Paulo, Brazil. ResLim – 4th International Conference on Reservoir Limnology and Water Quality, 194-195p

UNEP-IETC/ILEC, (2003). Planning and Management of Lakes and Reservoirs: Pamolare Training Package for Eutrophication Management.