

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Instituto de Biociências
Programa de Pós-Graduação em Ecologia

**ALTERAÇÕES ESPACIAIS E TEMPORAIS DE CARACTERÍSTICAS
LIMNOLÓGICAS RESULTANTES DA TRANSFORMAÇÃO RIO-
RESERVATÓRIO NA ÁREA DO RESERVATORIO DA USINA
HIDRELÉTRICA DONA FRANCISCA, RS, BRASIL**

Dissertação de Mestrado

Leon Maximiliano Rodrigues

Porto alegre, 23 de Agosto de 2002

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA**

Dissertação de Mestrado

**ALTERAÇÕES DE CARACTERÍSTICAS
LIMNOLÓGICAS RESULTANTES DA
TRANSFORMAÇÃO RIO-RESERVATÓRIO (USINA
HIDRELÉTRICA DONA FRANCISCA, RS, BRASIL)**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ecologia, Instituto de Biociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ecologia, linha de pesquisa em Ecologia Aquática.

Mestrando:

Leon Maximiliano Rodrigues

Orientador:

Prof. Dr. Albano Schwarzbald

Comissão Examinadora:

**Dra. Catarina da Silva Pedroso
Dra. Maria Teresa Raya Rodriguez
Dr. Sidinei Magela Thomaz**

Porto Alegre, 23 de Agosto de 2002

AGRADECIMENTOS

Ao orientador Dr. Albano Schwarzbald pelas importantes contribuições na revisão dos originais e pelo aconselhamento nas diversas etapas, sendo muitas vezes decisivo na escolha da abordagem.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Ao CNPq pela concessão da Bolsa de Estudos

Ao Consórcio Dona Francisca pela disponibilização dos resultados das medidas de campo.

À Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE) pelo fornecimento de dados importantes para a descrição e contextualização do Reservatório de Dona Francisca, como mapas e informações técnicas do empreendimento.

Aos engenheiros e técnicos da CEEE, coordenadores e assessores do Plano Ambiental Básico (PBA) do empreendimento, especialmente Eng. Luis Airton Ferret, Arq. Maria Lúcia Mandelli Guaragna, Eng. Maria Aparecida Loss, Eng. Paulo Blessmann e Eng. Luiz Antônio Leão, pela colaboração em inúmeras situações, amizade e atitude profissional em todos os momentos do trabalho.

A todos que contribuíram com os trabalhos de campo: Eudimar Nascimento, Marco Antônio Barreto de Almeida, Ronaldo dos Santos Padilha, Carlos Eduardo Güntzel, Catarina Pedrozo, Nelson Augusto Flores Machado, Carina Michele Saraiva Portela, Linda Naura Macedo Silva, Flávia Montagner, Marcos Vinícius Daruy.

Aos pesquisadores Heinrich Hasenack, por ceder as cartas geográficas para a confecção dos mapas, Valério De Pata Pillar e Enio Egon Sosinski Junior pelos esclarecimentos sobre os métodos multivariados usados.

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar as modificações que ocorreram no ecossistema aquático pela transformação rio-reservatório devido à construção e operação da barragem Dona Francisca. Amostras sazonais foram coletadas para avaliar características físicas e químicas ao longo de dois anos em nove estações amostrais na área correspondente ao reservatório da Dona Francisca, compreendendo quatro períodos de amostragem antes da formação do reservatório e quatro períodos depois da formação do reservatório, totalizando 8 períodos.

No Capítulo 1 são apresentadas as bases teóricas sobre reservatório como ecossistemas complexos e compartimentalisados. O capítulo dois corresponde ao estudo experimental dos processos de estratificação e circulação baseado nos perfis verticais de temperatura, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e pH. No Capítulo 3 são comparados os padrões espaciais e temporais através da análise de alguns características físicas e químicas em duas fases, sendo uma compreendendo um ano antes de reservatório e outra compreendendo um ano depois da formação do reservatório. Por último, no Capítulo 4 é apresentada uma análise integrada das características físicas e químicas da água usando análise multivariada (agrupamento e ordenação).

Os resultados demonstraram que houve alterações das características limnológicas tanto no espaço como no tempo. As alterações compreendem mudanças nos padrões de fluxo unidirecional da antiga condição de rio para padrões anuais com períodos de estratificação com formação de termoclina no verão, deslocamento de massas de água sem homogeneização da coluna de água no outono e circulação com homogeneização da coluna de água no inverno e primavera. Tais padrões variaram nas diferentes regiões do reservatório, e conduziram à classificação do reservatório Dona Francisca como monomítico quente. A zonação em três regiões distintas baseada no gradiente longitudinal causado pela pressão da cunha fluvial do rio principal, e a formação de remansos são fenômenos comuns à maioria dos reservatórios sendo também constatados no reservatório dona Francisca.

As mudanças constatadas resultaram em processos de precipitação e sedimentação de materiais como ferro, manganês e sólidos suspensos, os quais eram carregados rio abaixo antes da formação do reservatório. Além disso, foram registradas mudanças no balanço térmico e químico, como o aumento da temperatura e a diminuição do oxigênio dissolvido devido ao aumento do tempo de residência. Também ocorreu aumento gradual da acidez e demanda química de oxigênio causada pela decomposição da vegetação submersa.

Palavras chave: Limnologia; Reservatório; Extratificação; Circulação; Transporte de nutrientes; Sazonalidade; Reservatório subtropical; Zonação de reservatórios.

ABSTRACT

The present study aim to evaluate the modifications that occurred in the aquatic ecosystem due to river-reservoir transformation caused by construction and operation of the Dona Francisca Dam. Seasonal samples were taken through two years at nine sampling stations in the Dona Francisca Reservoir area, comprising four periods before and four periods after reservoir formation, totalling eight periods.

In the Chapter 1 are presented the theoretic basis about reservoir as a complex and compartmentalised ecosystem. The Chapter 2 correspond to the study of stratification and circulation processes based on the vertical profiles of temperature, dissolved oxygen, electric conductivity and pH. In the Chapter 3 are compared the spatial and temporal patterns by means of physical and chemical characteristics in two phases, one before and other after the reservoir formation. At last, in the Chapter 4 is presented an integrated analysis of the physical and chemical characteristics of the water by means of a multivariate analysis (cluster and ordination).

The results demonstrated that occurred alterations of limnological characteristics in the space as well as in the time. The alterations include changes of the unidirectional flow pattern of original river condition to annual patterns with periods of vertical stratification in summer, deslocating of water masses without total mixing of water column in autumn and circulation with total mixing of water column in winter and spring. These patterns change at different regions of reservoir, and lead to classification of the Dona Francisca Reservoir as *warm monomictic*. The zonation of the reservoir into three distinct regions based on longitudinal gradient caused by fluvial wedge pressure of main river, and the slack water establishment are common phenomena to the most reservoir, which were found in Dona Francisca Reservoir.

The changes verified arise from precipitation and sedimentation processes as iron, manganese and suspended solids, which were loaded down the river after reservoir formation. Farther more, were recorded changes in the thermic and chemical balance as the increase of temperature and decrease of dissolved oxygen due to the increase of water retention time. Also were found gradual increase of acidity and chemical oxygen demand as a result of decomposition of the submerged vegetation.

Key Words: Limnology; Reservoir; Stratification; Circulation; Nutrient loading; Seasonal cycle; Subtropical reservoir; Reservoir zonation.

SUMÁRIO

Ítem	Página
Agradecimentos	II
Resumo	III
Abstract	IV
Lista de Tabelas	VI
Lista de Figuras	VII
Capítulo 1	
Introdução Geral	1
Capítulo 2	
Padrões de variação temporal e no espaço tridimensional da Represa Dona Francisca (Rio Jacuí, RS), baseado em algumas variáveis limnológicas	21
Capítulo 3	
Transformação rio-reservatório I: Alterações de algumas variáveis limnológicas após a formação do reservatório Dona Francisca (rio Jacuí, RS, Brasil).	46
Capítulo 4	
Transformação rio-reservatório II: Importância da variação espacial e temporal com base na análise integrada de alguns gradientes ambientais no reservatório Dona Francisca (rio Jacuí, RS, Brasil).	64
Considerações Finais	84
Anexo 1	
Tabela I. Dados globais correspondentes à fase AFR (Antes da Formação do Reservatório) do Capítulo 3, incluindo as 27 variáveis medidas em cada período nas nove estações amostrais.	87
Anexo 2	
Tabela II. Dados globais correspondentes à fase DFR (Depois da Formação do Reservatório) do Capítulo 3, incluindo as 27 variáveis medidas em cada período nas nove estações amostrais.	89

LISTA DE TABELAS

Item	Página
Capítulo 2	
Tabela I. Perfis de profundidade (Prof.) das variáveis temperatura (T), oxigênio dissolvido (O ₂), condutividade elétrica (Cond.) e pH, para cada período em cada estação amostral.	38
Capítulo 4	
Tabela I. Variância alcalinidade em cada estação amostral para as duas fases do experimento. (AFR) Antes da Formação do Reservatório; e (DFR) Depois da Formação do Reservatório.	77

LISTA DE FIGURAS

Item	Página
Capítulo 1	
Figura 1. Localização da Usina Hidroelétrica Dona Francisca na sub-bacia do Alto Jacuí e estado do Rio Grande do Sul.	2
Figura 2. Esquema das principais diferenças funcionais entre lagos e rios.	4
Figura 3. Modelo de zonação de rio: (A) zona de produção; (B) zona de transferência; (C) zona de armazenamento (adaptado de Schwarzbald, 2001).	7
Figura 4. (A) Modelo BROA, construído com o programa ECOPATH, e (B) modelo ELLOBO construído com o programa STELLA, desenvolvidos para a Represa do Broa (Pompêo, 1999).	11
Figura 5. Fluxo hídrico na bacia de um reservatório hipotético, antes e depois da construção da represa.	12
Figura 6. Esquema com os principais compartimentos e vetores de fluxos e trocas entre os compartimentos de reservatórios. (A) Zona fluvial; (B) Zona de transição; (C) Zona lacustre; (a) epilímnion e (b) hipolímnion.	13
Figura 7. Perfil térmico vertical da Represa de Pontal (MG), em fevereiro de 1987 (adaptado de Dabés <i>et al.</i> , 1990).	15
Figura 8. Estrutura interativa em rede, em uma cadeia alimentar complexa (adaptado de Tundisi, 1999).	16
Figura 9. Efeitos diretos e indiretos em um modelo de interações em represas (adaptado de Tundisi, 1999).	17
Capítulo 2	
Figura 1. Reservatório Dona Francisca, com a localização das estações amostrais.	39
Figura 2. Pesfis verticais das variáveis temperatura (T) oxigênio dissolvido (O ₂), condutividade elétrica (Cond.) e pH em cada estação amostral, correspondentes ao período de dezembro de 2000.	40
Figura 3. Pesfis verticais das variáveis temperatura (T) oxigênio dissolvido (O ₂), condutividade elétrica (Cond.) e pH em cada estação amostral,	41

correspondentes ao período de março de 2001.

Figura 4. Pesfis verticais das variáveis temperatura (T) oxigênio dissolvido (O₂), condutividade elétrica (Cond.) e pH em cada estação amostral, correspondentes ao período de julho de 2001. 42

Figura 5. Pesfis verticais das variáveis temperatura (T) oxigênio dissolvido (O₂), condutividade elétrica (Cond.) e pH em cada estação amostral, correspondentes ao período de setembro de 2001. 43

Figura 6. Diferenças entre os valores de superfície e fundo para as variáveis temperatura (T) oxigênio dissolvido (O₂), condutividade elétrica (Cond.) e pH ao longo do corpo principal, correspondentes aos períodos de dezembro de 2000 e março de 2001. 44

Figura 7. Diferenças entre os valores de superfície e fundo para as variáveis temperatura (T) e pH ao longo do corpo principal, correspondentes aos períodos de julho de 2001 e setembro de 2001. 45

Capítulo 3

Figura 1. Reservatório Dona Francisca, com a localização das estações amostrais; (AFR) Antas da Formação do Reservatório e (DFR) Depois da Formação do Reservatório. 61

Figura 2. Médias para cada fase (AFR e DFR) das variáveis temperatura, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, pH, alcalinidade, acidez, dureza, cloretos e sulfatos para cada estação amostral. Barras escuras correspondentes à fase AFR, e barras claras correspondentes à fase DFR. 62

Figura 3. Médias para cada fase (AFR e DFR) das variáveis transparência (Secchi), turbidez, absorvância de radiação ultra-violeta (UV-254 nm), sólidos dissolvidos, sólidos suspensos, sólidos totais, demanda bioquímica de oxigênio após cinco dias (DBO₅), demanda química de oxigênio (DQO) e nitrato para cada estação amostral. Barras escuras correspondentes à fase AFR, e barras claras correspondentes à fase DFR. 62

Figura 4. Médias para cada fase (AFR e DFR) das variáveis alumínio, cobre, cálcio, sódio, potássio, ferro e manganês para cada estação amostral. Barras escuras correspondentes à fase AFR, e barras claras correspondentes à fase DFR. 63

Figura 5. Médias das variáveis nitrogênio amoniacal (NA), nitrogênio orgânico (NO) e nitrogênio total (NT) para cada período (a) e para cada estação amostral em cada fase (b). 63

Capítulo 4

Figura 1. Reservatório Dona Francisca, com a localização das estações amostrais; (AFR) Antas da Formação do Reservatório e (DFR) Depois da Formação do Reservatório.	78
Figura 2. Seqüência temporal das médias das variáveis oxigênio dissolvido, temperatura, acidez, sódio e demanda química de oxigênio (DQO) em cada estação amostral. Barras escuras correspondentes à fase AFR, e barras claras correspondentes à fase DFR	79
Figura 3. Seqüência temporal da demanda bioquímica de oxigênio após cinco dias (DBO ₅) nas estações amostrais ATJZ1, ATDF3 e ATDF4. Barras escuras correspondentes à fase AFR, e barras claras correspondentes à fase DFR.	79
Figura 4. Seqüência temporal da alcalinidade em cada estação amostral. Barras escuras correspondentes à fase AFR, e barras claras correspondentes à fase DFR.	79
Figura 5. Gradientes longitudinais de sólidos dissolvidos (a) e sólidos suspensos (b) ao longo das estações amostrais localizadas no corpo principal do reservatório (antigo leito do rio Jacuí).	80
Figura 6. Variação das porcentagens das frações de sólidos dissolvidos e sólidos suspensos em relação aos sólidos totais.	80
Figura 7. Gradientes longitudinais de Condutividade Elétrica (a), Temperatura (b) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) (c) ao longo das estações amostrais localizadas no corpo principal do reservatório (antigo leito do rio Jacuí) para o período de dezembro de 2000.	80
Figura 8. Gradientes longitudinais de Turbidez (a) e Absorvância de radiação ultra violeta a 254nm (UV) (b) ao longo das estações amostrais localizadas no corpo principal do reservatório (antigo leito do rio Jacuí) para o período de dezembro de 2000.	80
Figura 9. Gradientes longitudinais da concentração de ferro ao longo das estações amostrais localizadas no corpo principal do reservatório (antigo leito do rio Jacuí) para cada período amostral.	81
Figura 10. Gradientes longitudinais da concentração de manganês ao longo das estações amostrais localizadas no corpo principal do reservatório (antigo leito do rio Jacuí) para cada período amostral.	81
Figura 11. Dendrograma de agrupamento das unidades amostrais (a) e curva de probabilidade $P(G^{\circ} \leq G^*)$ para partição em quatro grupos (b) correspondentes à fase AFR.	82
Figura 12. Diagrama de dispersão das unidades amostrais (a) e curva de	82

probabilidade $P(\theta \geq \theta^*)$ para o eixo 3 (b) correspondentes à fase AFR.

Figura 13. Dendrograma de agrupamento das unidades amostrais (a) e curva de probabilidade $P(G^o \leq G^*)$ para partição em dois grupos (b) correspondentes à fase DFR.

83

Figura 14. Diagrama de dispersão das unidades amostrais (a) e curva de probabilidade $P(\theta \geq \theta^*)$ para o eixo 1 (b) correspondentes à fase AFR.

83

Capítulo I

INTRODUÇÃO GERAL

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho está estruturado a partir da proposta de apresentação de um texto inicial introdutório, seguido de dois artigos científicos, com apresentação em formato de publicação de artigo científico. Todos os conteúdos da PARTE I são necessários à formatação de uma Dissertação, mas não necessariamente contidos nos textos mais enxutos dos artigos científicos. Atendem a condição de conteúdos integrados que possam ser examinados ou consultados em um único documento.

2. A USINA HIDRELÉTRICA DONA FRANCISCA

O empreendimento Usina Hidrelétrica Dona Francisca (UHDF) é formado pelo grupo Dona Francisca Eletricidade S.A. (DFESA), uma sociedade de empresas de capital privado e de empresas estatais de eletricidade do sul do País. A capacidade de produção de energia elétrica da usina é de 128,20 MW através de 2 turbinas de igual capacidade de geração elétrica.

Localiza-se no Rio Jacuí, a jusante de uma série de barragens/reservatórios em cascata: Passo Real, Salto do Jacuí e Itaúba (Fig. 1). A barragem encontra-se entre os municípios de Agudo e Dona Francisca, nas margens esquerda e direita, respectivamente. O Reservatório Dona Francisca inunda uma área de 19,0 Km² a uma cota de 94,5 m, da qual 5,63 Km² constituíam o antigo leito do rio. A área de drenagem do reservatório é de 13.200 Km². O volume total numa cota de 94,5 m é de 0,335 Km³.

3. REVISÃO DE CONCEITOS SOBRE RIOS E RESERVATÓRIOS

Historicamente, a maioria das populações se agregaram em torno de corpos de água (recursos hídricos). O homem precisa de constante abastecimento de água para desenvolver suas atividades, tais como: alimentação e higiene, navegação, extração de areia, pesca, irrigação e obtenção de energia elétrica, dentre outros usos, como o uso deles como via de descarga para resíduos industriais e esgoto doméstico.

Nesse contexto, os rios representam um dos mais importantes recursos hídricos do planeta. Dos diversos usos que o homem faz dos corpos hídricos, o represamento de rios para diversos fins está associado à história do desenvolvimento da sociedade até o estágio industrial em que se encontra. É, também, uma das mais antigas e importantes intervenções humanas nos sistemas naturais (Tundisi, 1999).

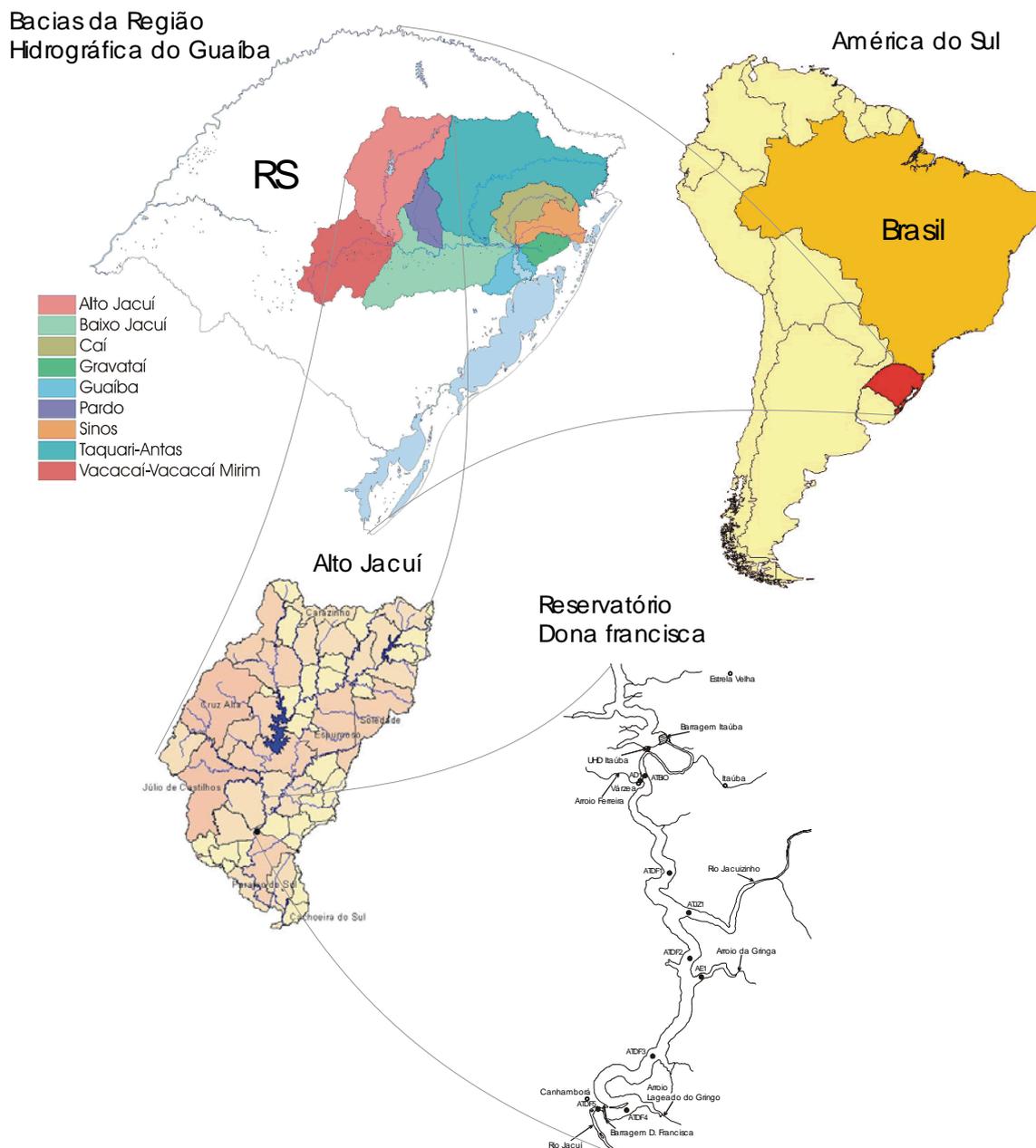


Figura 1. Localização da Usina Hidrelétrica Dona Francisca na sub-bacia do Alto Jacuí e estado do Rio Grande do Sul (Fonte: Programa Pró-Guaíba).

Além dos benefícios gerados pelos reservatórios para a população humana, esse tipo de intervenção causa modificações tanto do ponto de vista estrutural como funcional nos sistemas onde são executadas, e produzem impactos no ambiente natural e em comunidades nativas das áreas inundadas, bem como nas áreas a jusante e a montante. Para Tundisi (1999), reservatórios interferem com os rios em que são construídos alterando o fluxo e os sistemas terrestres e aquáticos de uma forma drástica e efetiva, daí porque se faz necessária uma melhor compreensão das bases teóricas de um rio como sistema de fluxos.

3. 1. TEORIAS DE RIOS

Para compreender a relevância de estudos limnológicos de reservatórios é preciso, primeiramente, entender alguns aspectos dos sistemas originais que são represados, os rios.

A partir dos conceitos clássicos de ecossistemas desde Tansley (1935), os tradicionais estudos em lagos eram feitos segundo uma visão de sistemas quase fechados, com circuitos de regulação e homeostasia entre os organismos e os materiais, mediante otimização de aproveitamento de energia com baixa entropia. A transferência de metodologias adotadas em lagos para estudos em rios constituiu uma grande dificuldade aos limnólogos de então, que realizavam suas pesquisas baseadas na verticalidade dos processos em sistemas confinados de circuitos, como são esses ambientes, mas, ao contrário, não dos efeitos da variável de fluxo longitudinal, que caracteriza os sistemas fluviais (Schwarzbald, 2001) (Figura 2).

Todavia, o questionamento dos cientistas sobre o que é um rio e de como ele funciona, passou a gerar importantes publicações (Margalef, 1974; Rzoska, 1978; Davies & Walker, 1986; Calow & Petts, 1994). Teorias de rios ou, de rio funcional, foram publicadas a partir de 1980, especialmente por Vannote *et al.* (1980), que lançaram o Conceito de Continuidade Fluvial (RCC) e Junk *et al.* (1989), com a Teoria de Pulso de Inundação em sistemas de rios de planícies de inundação. Entretanto, Cummins (1977), baseado na sucessão das comunidades biológicas ao longo do curso de um rio, incluindo a vegetação litorânea, já introduzia a discussão sobre a interdependência entre os diferentes trechos do curso fluvial.

O conceito de continuidade fluvial pressupõe que existe um gradiente das características físicas e químicas ao longo do corpo fluvial, e que esse gradiente reflete sobre as comunidades biológicas, as quais tendem a se adaptar formando um gradiente espacial. Devido às características de

fluxo contínuo de um sistema fluvial, os trechos a jusante são influenciados pelos trechos a montante. Com base nesse fato pode-se deduzir que os trechos de um rio estão intimamente relacionados e são interdependentes. Qualquer alteração, nesse caso, em qualquer parte, influencia os demais trechos do rio, a jusante. O pulso de inundação, por sua vez, está relacionado com o regime de precipitação ao longo do ano, gerando períodos de cheias e vazantes alternados que podem variar com a região geográfica. Durante as cheias, as regiões com planícies e várzeas podem ser alagadas. Tais inundações tendem a ser cíclicas e sazonais, sendo muitas vezes regulares. Apesar das discussões, ambos os modelos podem ser aplicados, dependendo da natureza dos rios ou de sua bacia hidrográfica.

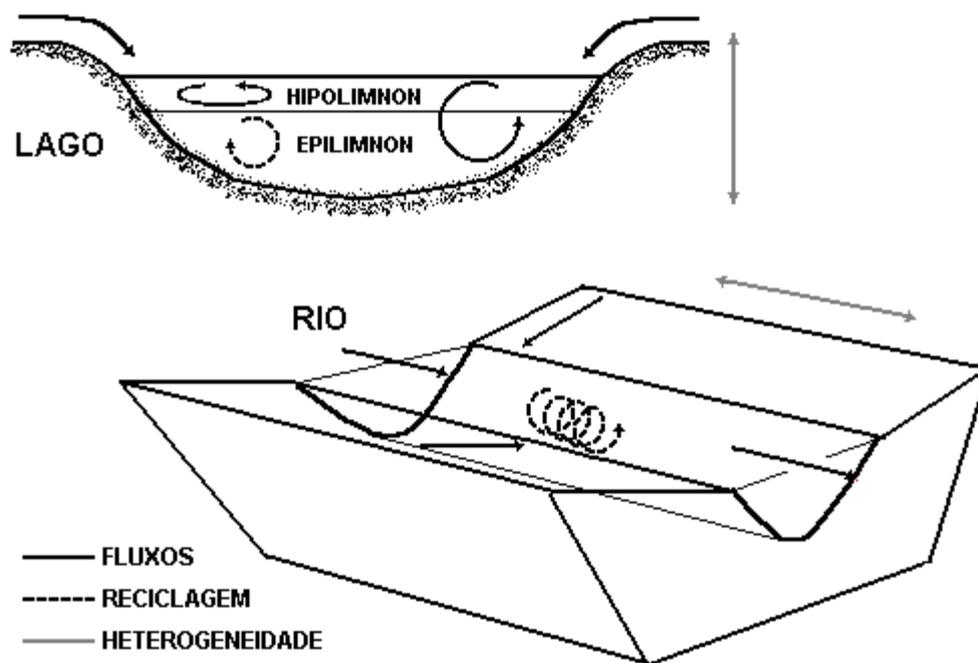


Figura 2. Esquema das principais diferenças funcionais entre lagos e rios.

A nova abordagem baseada numa visão sistêmica dos processos envolvidos nos ecossistemas de rios tem se dado em três escalas de abrangência: (1) processos envolvidos na calha do rio (Vannote *et al.*, 1980), (2) processos envolvidos na planície de inundação (Junk *et al.*, 1989) e, (3) num contexto mais amplo, processos envolvidos na bacia de drenagem ou bacia hidrográfica (Davies & Walker, 1986). A bacia hidrográfica, a rigor, é a unidade de macro escala para os estudos integrados e a compreensão daquilo que Sioli (1990) analogamente estabeleceu, que a função renal é o papel

primordial dos rios, no contexto ecológico de paisagem. Noutras palavras, o rio recebe cargas de diferentes naturezas da área da bacia de drenagem, depurando-as através dos filtros formados pelas redes biológicas e processos geoquímicos, transferindo a informação e as substâncias depuradas rio abaixo num processo contínuo.

Hidrologicamente, o rio é um sistema aberto com um fluxo contínuo da nascente à foz, cujo vetor é determinante das características de cada unidade fluvial e da comunidade biótica que a constitui (Schwarzbold, 2001). Neiff (1990) faz interessantes considerações teóricas para a interpretação ecológica do Rio Paraná. Segundo este autor, os rios se comportam como sistemas em permanente desequilíbrio, onde a variabilidade temporal é uma complexa função dependente das entradas e saídas de energia e materiais em distintos sítios da bacia hidrográfica, e das oportunidades combinatórias das populações na mesma, para ajustar sua distribuição e abundância.

As zonas climáticas, por sua vez, são responsáveis pelo regime das chuvas e, conseqüentemente, das características da descarga dos rios ao longo do tempo, determinando a sua sazonalidade. Portanto, facilmente pode-se deduzir que um rio é um sistema pulsátil, regulado pelo regime hidrológico de sua bacia hidrográfica. O condicionante básico da tipologia de cada rio, é sobretudo a variável precipitação, que define as condições hidrológicas e ecológicas (Schwarzbold, 2001).

Geomorfologicamente um rio é visto como uma etapa ou elo do ciclo hidrológico, como um 'locus' de erosão, transporte e deposição de material dissolvido, de material suspenso e de materiais geológicos ativamente carregados e, como um sistema físico completamente aberto, em equilíbrio hidrodinâmico, com energia distribuída, atuando ativamente na superfície das áreas terrestres (Curry, 1972). Da geomorfologia depende diretamente a dinâmica do rio ou o efeito da força da água, modificando o leito por erosão ou acumulação.

Ao contrário do que pareça, as expressões "equilíbrio dinâmico", usada por Curry (1972), e "permanente desequilíbrio", usada por Neiff (1990), representam o mesmo conceito. Ou seja, o de que o sistema tende a um equilíbrio nunca alcançado devido à constante flutuação de caráter irregular dos gradientes físicos e químicos, fazendo com que as populações necessitem estar em constante adaptação. O clima e regime de precipitação e de insolação são, em última análise, os determinantes do comportamento dos gradientes ambientais. O clima e insolação como determinantes de processos

biológicos (fotossíntese, respiração, decomposição, etc.), e precipitação como determinante de processos geológicos (erosão física e química, transporte de materiais, etc.).

A conjugação da geomorfologia e do clima com a hidrodinâmica dos rios, segundo Schwarzbald (2001), merece algumas considerações. O escoamento superficial da água é uma contínua transformação de energia potencial em energia cinética. Esta energia potencial – função da velocidade e da vazão da água – é parcial e continuamente dissipada, ponto a ponto, pelo atrito interno junto ao substrato de fundo e das margens. Estas propriedades, num trabalho contínuo ao longo de milhões de anos, estabelecem a configuração do leito dos rios e, principalmente, do modelado da paisagem, dentro de cada bacia hidrográfica.

Rios sem modificações provocadas pela ação humana tendem a apresentar um gradiente de velocidade, que é maior próximo à nascente e diminui em direção à foz. Isso ocorre pela diminuição da declividade nessa direção. Por isso o represamento normalmente é feito na zona de transporte, a qual apresenta maior declividade do que a zona de deposição e maior volume do que a zona de produção próxima das nascentes. Quanto mais baixa a vazão (durante a estiagem, por exemplo) mais as maiores velocidades encontram-se próximas das cabeceiras; quanto mais aumenta a vazão (durante as cheias) mais a velocidade se desloca em direção à foz – acompanhando o aumento da vazão –, implicando em aumento exponencial da energia a ser dissipada (Schwarzbald, 2001).

O aumento da velocidade da água tem efeito de erosão e transporte de materiais maior do que o efeito do volume da água. Deste modo, o mais importante fator que determina a energia de transporte é a declividade do leito. Devido a isso, numa grande bacia hidrográfica formada por vários rios de ordem inferior, cada um deles apresenta diferente estrutura e tamanho de grão do material depositado de fundo, ao longo de seu curso (Schwarzbald, 2001).

Em função das características geomorfológicas, do fluxo hídrico e dos materiais resultantes destas características, se estabelece a zonação de rios. Um modelo que explica essa zonação segundo Schwarzbald (2001), é aplicável à maioria dos rios brasileiros com planície de inundação e divide-os em três zonas primárias (Figura 3): (i) zona de produção, caracterizada por intenso aporte de matéria orgânica, intensa decomposição de rochas (aporte de material inorgânico) e maior declividade; (ii) zona de transferência ou transporte, com grande quantidade de material particulado e dissolvido acumulado em transporte na coluna de água ao longo do curso e declividade média; (iii) zona de

armazenamento ou deposição, com baixa declividade e intensa deposição desses materiais, com formação de planícies de aluviões. Esse modelo é útil para explicar a continuidade do corpo fluvial através da força de transporte e do fluxo de materiais. A zona de produção possui um intenso aporte de matéria orgânica alóctone, que é transportada rio abaixo, servindo como recurso para sustentação das comunidades nos trechos a jusante. Por outro lado, no que se refere à zona de planície de inundação (zona de deposição) o conceito de pulso de inundação adiciona a dimensão lateral, talvez mais importante do que o uso das sobras de montante pelos organismos de jusante (Thomaz, comunicação pessoal).

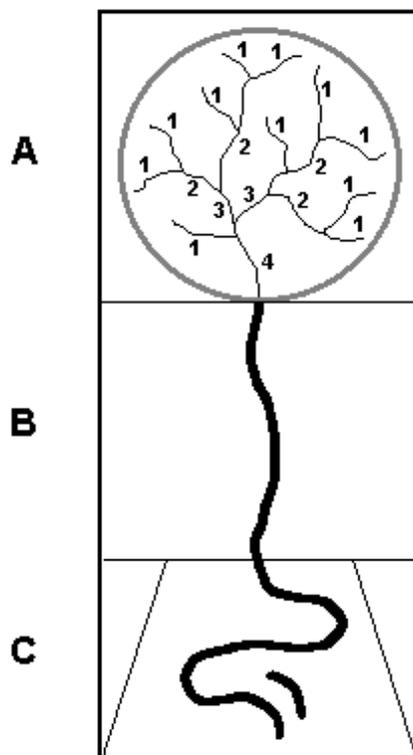


Figura 3. Modelo de zonation de rio: (A) zona de produção; (B) zona de transferência; (C) zona de armazenamento (adaptado de Schwarzbald, 2001).

O represamento de rios para obtenção de hidreletricidade normalmente se dá nas zonas de produção ou de transferência, devido à maior declividade e, conseqüentemente, à maior energia potencial. A modificação da hidrodinâmica e o aumento da profundidade, propiciadas pelo represamento, como na usina hidrelétrica de Segredo, são as principais determinantes das alterações das características físicas, químicas e biológicas (Júlio Jr. *et al.*, 1999) do ambiente original. Assim,

são afetados os padrões de distribuição dos fatores físicos (incidência de luz e temperatura da água), químicos (concentração de oxigênio dissolvido e nutrientes) e biológicos (distribuição e composição das comunidades aquáticas na coluna da água).

O represamento resulta também na interferência direta na dinâmica fluvial e, segundo a “teoria de continuidade fluvial” influencia não só o local de formação do reservatório, mas todo o curso do rio a jusante, alterando a configuração natural e, portanto, a zonação.

3. 2. ESTUDOS DE RESERVATÓRIOS NO BRASIL

No Brasil, a construção de grandes reservatórios de água, principalmente para fins de hidreletricidade e abastecimento público, atingiu seu máximo desenvolvimento nas décadas de 1960 e 1970 (Tundisi, 1999). Segundo Henry (1999) a limnologia contemporânea de represas teve início no Brasil na década de 1970, apesar dos trabalhos pioneiros de von Ihering em açudes nordestinos na década de 1930, e outras investigações de caráter mais temporário, quando da vinda de pesquisadores estrangeiros como, por exemplo, Stillman Wright e Herman Kleerekoper (1938) na Represa de Santo Amaro.

A Represa do Broa, no estado de São Paulo, é um dos ecossistemas aquáticos com maior volume de publicações científicas do Brasil. A partir dos dados de muitas dessas publicações foram desenvolvidos os modelos ELLOBO e BROA (Fig. 4)[Angelini (1995) e Angelini & Petrere (1996), respectivamente, citados por Angelini (1999)]. A elaboração deste modelo desencadeou inúmeras investigações em outras represas.

No início dos estudos a abordagem era basicamente seguir a maneira tradicional de fazer pesquisas limnológicas em lagos de zonas temperadas e consistia em duas etapas de investigação: a primeira etapa consistia em efetuar uma análise dos parâmetros físicos e químicos da água e de suas relações com a distribuição dos organismos aquáticos nos eixos espaço-temporais. A segunda etapa era proceder a avaliação da produção orgânica nos ecossistemas aquáticos e investigar todos os processos relativos à ciclagem de nutrientes (Henry, 1999). Porém, a segunda parte ainda constitui uma lacuna na compreensão de reservatórios como ecossistemas. O modelo da represa do Lobo (Broa) (Figura 4) é considerado o mais completo em função do volume de dados disponíveis sobre o sistema, mas não contempla em seu esquema a etapa da decomposição (reciclagem) e organismos decompositores, que possui complexas redes tróficas e grande importância em ambientes de águas

interiores.

Outro importante avanço na limnologia de represas brasileiras, segundo Henry (1999), foi o desenvolvimento do projeto “Tipologia de Reservatórios no Estado de São Paulo”, financiado pela FAPESP. Lançado em 1979, o programa de estudos consistia na comparação de 52 represas. Os trabalhos foram bastante produtivos, gerando várias publicações. Todos os estudos realizados neste projeto referiam-se a comparação da limnologia (comunidades, processos e estrutura) na zona lacustre dos vários reservatórios. É uma tendência persistente o enfoque dos estudos na zona lacustre como, por exemplo, em Júlio Jr. *et al.* (2000). Esse fato deve-se, principalmente, à maior complexidade dessa zona, mas também pela importância ambiental dos processos que nela ocorrem, como a precipitação e sedimentação de substâncias e a liberação de substâncias do sedimento devido à anoxia do hipolímnio quando há estratificação do perfil vertical da coluna de água.

Uma primeira tentativa de síntese de experiências adquiridas com estudos no Brasil diz respeito aos dois volumes editados por Tundisi (1988): “Limnologia e Manejo de Represas” onde o editor faz uma revisão do conhecimento sobre impactos ecológicos e dos aspectos aplicados da construção de represas. Outras importantes contribuições são as de Agostinho & Gomes (1999), que diz respeito aos trabalhos realizados no Reservatório de Segredo no Rio Iguaçu (PR), Henry (1999), que acrescenta a discussão sobre os aspectos sociais, e Tundisi & Straškraba (1999), com enfoque sobre a teoria ecológica de reservatórios e suas aplicações.

Atualmente as informações adquiridas permitem considerar os reservatórios como sistemas entre rios e lagos (Margalef, 1984; Tundisi, 1999), e seu estudo deve levar esta característica em consideração (Tundisi, 1999), quando se pode aplicar o que afirma Margalef (1984), de que os reservatórios reúnem os princípios ecológicos tanto de rios como de lagos.

A importância do fluxo longitudinal e regime hídrico do rio na organização do ecossistema constitui ponto chave na compreensão das suas alterações, em decorrência da construção e operação de uma represa (Figura 2). Nos reservatórios, a organização horizontal de rios é substituída por um estado intermediário entre esta e a vertical de lagos. Apesar dessa peculiaridade, possuem os mesmos princípios limnológicos de qualquer ambiente aquático (Margalef, 1984; Thomaz *et al.*, 1999). A construção de uma barragem implica no imediato aumento do tempo de residência da água do antigo ecossistema lótico. Essa transformação inicial é a principal responsável por uma série de

alterações nas características limnológicas observadas nas áreas represadas, assim como a jusante das mesmas. Dentre os fatores que mais se alteram podem ser citados o comportamento térmico da coluna de água, os padrões de sedimentação e circulação das massas de água, a dinâmica dos gases, a ciclagem de nutrientes e a estrutura das comunidades aquáticas (Agostinho *et al.*, 1992; Tundisi *et al.*, 1993).

A importância da matéria orgânica pode ser notada pela influência da vegetação submersa devido ao alagamento da área do reservatório quando da formação do lago. Júlio Jr. *et al.* (1997) em trabalho desenvolvido no reservatório da usina hidrelétrica de Segredo, constata diminuição da abundância e riqueza de táxons no segundo ano após o enchimento do reservatório, inclusive do fitoplâncton, tanto no corpo principal quanto nos remansos. Esse fato pode estar relacionado à decomposição de vegetação submersa, que é mais intensa nos primeiros estágios da decomposição da vegetação submersa. Espíndola *et al.* (2000), por sua vez, encontrou diferenças nas condições ambientais em função da presença ou não de áreas desmatadas antes da formação do lago.

Júlio Jr. *et al.* (1997), faz considerações sobre as implicações da incorporação de matéria orgânica terrestre na qualidade física e química da água e das novas condições sobre as comunidades. A incorporação de matéria orgânica contribuiria para a redução nas concentrações de oxigênio e poderia permitir, ainda, o aparecimento de componentes indesejáveis, como gases sulfídrico e metano, e aumento na concentração de gás carbônico. O que pode ser crítico no hipolímnio se houver formação de termoclina por períodos prolongados.

Thomaz *et al.* (1997) registraram para o reservatório de Segredo, que durante os primeiros meses de formação do reservatório, a camada profunda da coluna de água apresentou anoxia e altos valores de condutividade elétrica, indicativos de elevadas taxas de decomposição da matéria orgânica. O represamento determinou a elevação dos valores da condutividade ($> 65\mu\text{S}/\text{cm}$) na camada mais profunda, o que indica uma resposta imediata desse parâmetro ao alagamento. Esse fato é decorrente da decomposição do material vegetal submerso, que usualmente provoca o primeiro pulso que influencia o funcionamento de reservatórios.

Mesmo assim poucos estudos têm dado enfoque aos níveis de decomposição e organismos decompositores. Os modelos BROA e ELLOBO (Figura 4) são exemplos que ilustram esse problema, o qual constitui uma lacuna no conhecimento dos ecossistemas aquáticos continentais brasileiros.

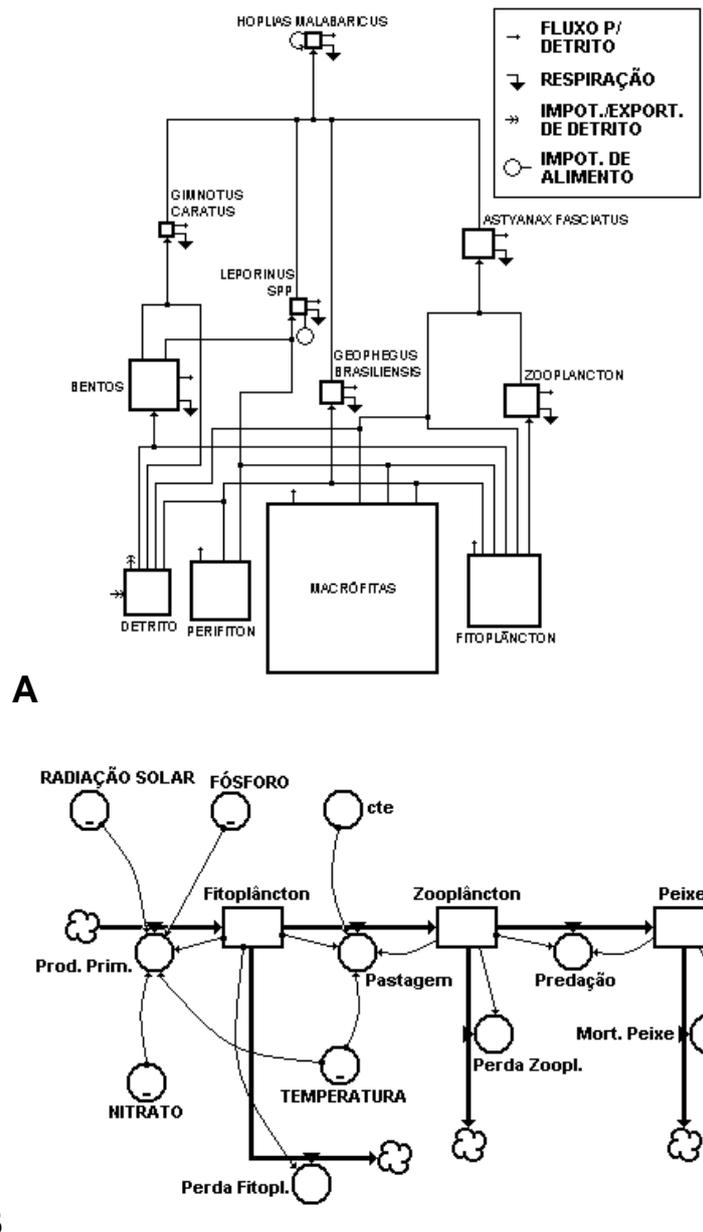


Figura 4. (A) Modelo BROA, construído com o programa ECOPATH, e (B) modelo ELLOBO construído com o programa STELLA, desenvolvidos para a Represa do Broa (Pompêo, 1999).

3. 3. RESERVATÓRIOS COMO SISTEMAS COMPARTIMENTALISADOS

A visualização de reservatórios como sistemas complexos e compartimentalisados, é mais recente. Em represas tropicais de grandes dimensões, como por exemplo, o Lago Kariba, a divisão e os estudos do ecossistema em vários compartimentos foram realizados a mais de duas décadas (Henry, 1999). No Brasil, entretanto, esta abordagem ainda está na fase inicial de execução. O fato de que o reservatório é considerado como um sistema multicompartmental, leva ao reconhecimento de

que, no seu interior, as massas de água podem apresentar diferentes tempos de residência (Henry, 1999). O que se dá pela mudança de comportamento lótico para um comportamento lântico, que se acentua em direção à barragem.

A identificação de um sistema com múltiplos compartimentos é decorrente de um padrão temporário na sua estrutura vertical (por exemplo, as massas de água superpostas durante o período de estratificação térmica) ou pode ter um caráter de maior duração (massas de águas isoladas devido ao padrão dendrítico da represa) (Figura 5) (Henry, 1999). Para Espíndola *et al.* (2000), a estrutura complexa dos reservatórios deriva do estado trófico (relacionado com o momento de formação e o enriquecimento artificial), a morfometria (relacionada com a forma e o tamanho) e o regime operacional (tempo de detenção e escoamento).

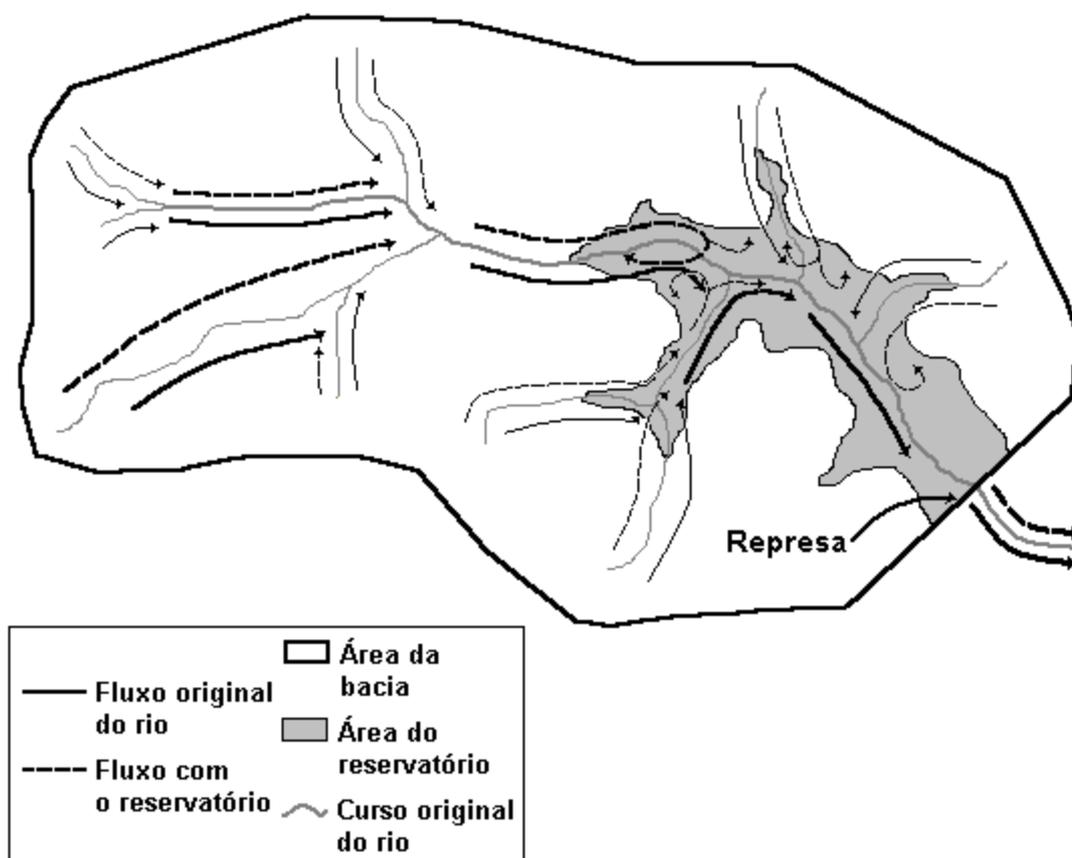


Figura 5. Fluxo hídrico na bacia de um reservatório hipotético, antes e depois da construção da represa.

Além disso, estão sujeitos à ação de forças climatológicas como precipitação, vento e radiação solar, estando também intimamente relacionados com os mecanismos de operação da represa (Espíndola *et al.*, 2000). Junto com a morfologia produzem diferenças na circulação horizontal e vertical, resultando num gradiente espacial, tornando-os ambientes extremamente dinâmicos, com alta variação espacial e temporal de suas características físicas e químicas (Tundisi, 1981, 1990; Armengol & Saab, 1990) e produzindo diferenças qualitativas e quantitativas na organização estrutural de suas comunidades (Burgis, 1969; Watson & Carpenter, 1974; Hart, 1978; Hayward & Van Der Avyle, 1995).

A figura 6 mostra um esquema dos principais processos que ocorrem num reservatório. Como conseqüência, pode-se observar a formação de três zonas distintas (Figura 6): (i) fluvial ou lótica, com características de ambiente de água corrente, (ii) intermediária ou de transição, com influência da cunha fluvial, mas podendo apresentar tendência à estagnação ou circulação vertical, e (iii) lacustre ou limnética, sem influência da cunha fluvial, com período de estratificação semelhante a lagos. Cada região apresenta um comportamento diferenciado quanto aos fatores limnológicos, tais como: taxas de sedimentação, concentrações de nutrientes, importância relativa dos aportes de material inorgânico e orgânico, fatores limitantes da produção primária e valores da produção primária (Kimmel *et al.*, 1990).

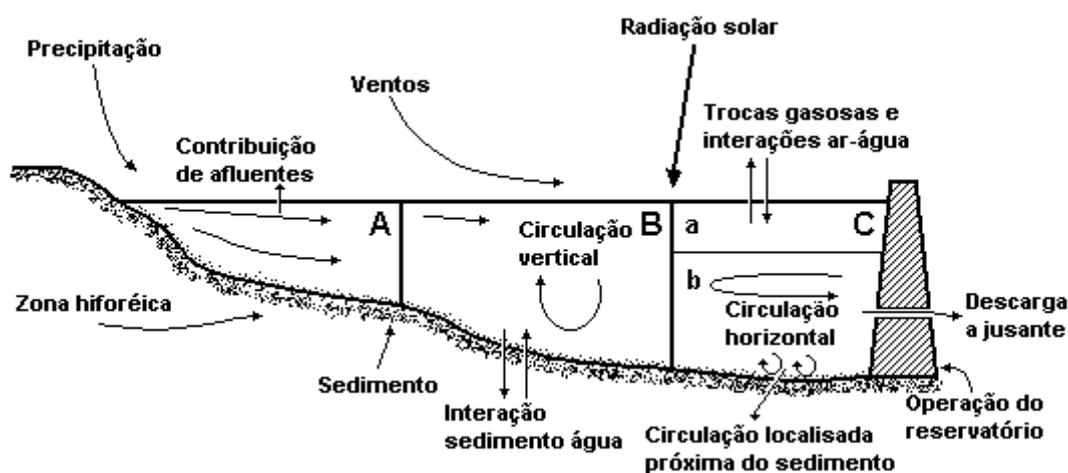


Figura 6. Esquema com os principais compartimentos e vetores de fluxos e trocas entre os compartimentos de reservatórios. (A) Zona fluvial; (B) Zona de transição; (C) Zona lacustre; (a) epilímnion e (b) hipolímnion (adaptado de Tundisi, 1999).

Segundo Thomaz *et al.* (1997) a capacidade de retenção de nutrientes que ocorre na maioria dos reservatórios é propiciada basicamente pela sedimentação de material particulado inorgânico, onde ficam adsorvidos carbono orgânico, ferro, manganês, carbonato de cálcio e fósforo. A redução da concentração de fósforo e ferro no sentido rio-barragem pode ser atribuída basicamente a três fatores: (1) absorção pelo fitoplâncton e sua posterior sedimentação, (2) adsorção ao material particulado inorgânico (Thornton *et al.*, 1990) e (3) precipitação do fósforo com compostos férricos (Wetzel, 1983). Esse processo acontece basicamente na zona lacustre do reservatório.

Considerando-se as perdas por precipitação, juntamente com a absorção dos elementos essenciais pela comunidade fitoplanctônica, pode-se concluir que ocorra, em geral, redução dos íons presentes na coluna de água no sentido rio-barragem. Esse fato pode ser confirmado pelos valores de condutividade elétrica, que refletem a totalidade dos íons presentes (Thomaz *et al.*, 1997). Estes autores constataram para o reservatório de Segredo (PR) que esse padrão foi registrado somente para os valores da superfície da coluna de água, sendo que os resultados de fundo tendem a se elevar na direção da região lacustre/intermediária. Por outro lado, se há sedimentação, e é constante durante a estratificação, é provável que haja maior concentração de material em direção ao fundo na zona lacustre. Além disso, ocorrem processos de decomposição e intercâmbio no fundo que podem provocar a elevação da condutividade. A precipitação de material particulado no sentido rio-barragem também pode ser evidenciada pela redução dos valores da turbidez (Thomaz *et al.*, 1999).

O processo de retenção de materiais por sedimentação, além de contribuir para a redução da concentração de fósforo e ferro, aumenta a extensão da zona eufótica. Esse padrão está de acordo com o proposto por Kimmel *et al.* (1990), que sugerem que a maior biomassa e produção fitoplanctônica devem ocorrer em geral, em zonas transicionais de reservatórios. Tal hipótese justifica-se pelo fato de que essas regiões combinam as melhores condições limnológicas para o desenvolvimento do fitoplâncton, visto que, além de receberem aportes consideráveis de nutrientes por advecção devido à influência da cunha fluvial, já não apresentam limitação pela luz, como ocorre nas zonas lólicas localizadas a montante.

Os padrões de estratificação térmica e mistura da coluna de água influenciam sobremaneira a distribuição vertical dos demais parâmetros limnológicos. A tomada de água e a profundidade de penetração da água do rio são consideradas os principais fatores determinantes dos gradientes verticais em reservatórios (Thomaz *et al.*, 1997). O gradiente vertical é observado nitidamente a partir

de variáveis como temperatura, (estratificação térmica), oxigênio dissolvido e condutividade elétrica (estratificação química), medidas em várias profundidades, gerando curvas de profundidade clinografadas características, como as obtidas para lagos (Figura 7).

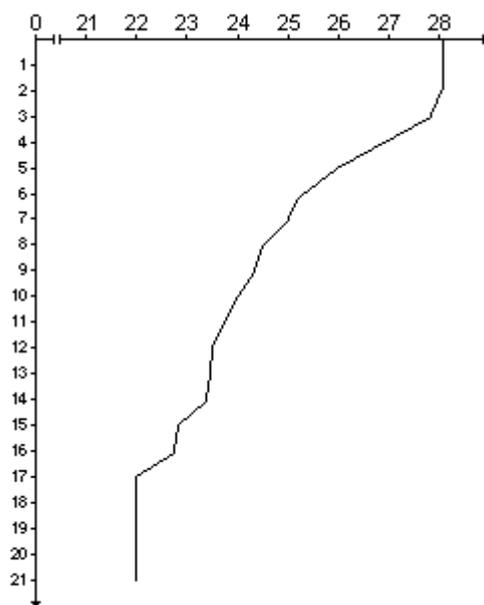


Figura 7. Perfil térmico vertical da Represa de Pontal (MG), em fevereiro de 1987 (adaptado de Dabés *et al.*, 1990).

A duração da estratificação da coluna de água pode variar com a morfologia e a região geográfica. Com relação à morfologia Espíndola *et al.*, (2000) em estudo no reservatório de Tucuruí (PA), usando como critério a presença de ilhas e de áreas previamente desmatadas ou não, constataram que cada compartimento tem peculiaridades físicas que influem no fluxo da água, no tempo de detenção de materiais, na incorporação de nutrientes, na produção de matéria orgânica e no estabelecimento de populações. O tempo de permanência da estratificação também está relacionado com a localização geográfica, aumentando em direção ao equador.

Do ponto de vista ecológico segundo Tundisi (1999), um reservatório constitui uma rede interativa complexa entre os componentes do ecossistema (Figura 8): espécies, populações, comunidades e o seu ambiente físico-químico. Esta rede está em estado dinâmico resultante de permanente processo de resposta às funções de força climatológicas e aos efeitos produzidos pela operação do sistema na barragem. Os organismos constituem os núcleos desta rede, enquanto os

fluxos de energia, massa e informação constituem as ligações entre os núcleos. O conceito de rede aplicado a reservatórios, implica não só no estudo de situações estáticas, mas no acompanhamento da sua dinâmica. Variações na função de força climatológica, ou no tempo de detenção alteram os núcleos da rede e os fluxos, produzindo novos estados de organização do sistema. A figura 9 mostra um modelo de rede aplicado a reservatórios com cinco variáveis de estado: *nutrientes*, *fitoplâncton*, *zooplâncton*, *bentos* e *sedimento*.

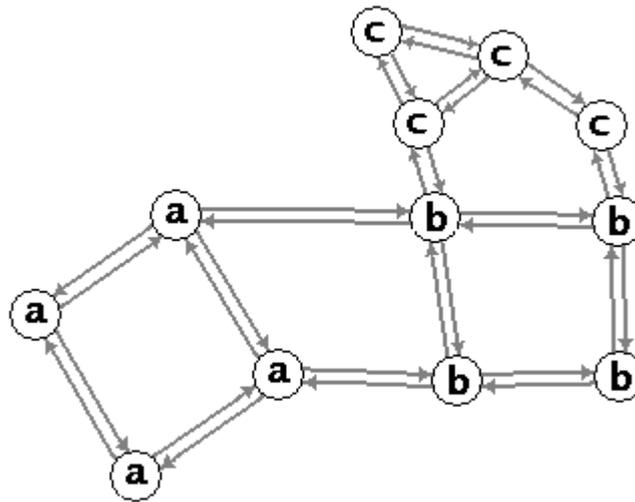


Figura 8. Estrutura interativa em rede, em uma teia alimentar complexa (adaptado de Tundisi, 1999).

As várias perturbações produzidas no sistema podem ser incorporadas, como efeito direto ou indireto, ao nível macroscópico e microscópico, produzindo modificações no fluxo de energia, na estrutura das comunidades e alterações em espécies, conseqüentemente alterando a organização da rede interativa. E, portanto, funcionam como “filtros” na diversidade e no patrimônio genético, sendo incorporadas no processo de “evolução” das represas, o qual varia para cada reservatório e depende da latitude, situação geográfica, volume e estágio da bacia hidrográfica na fase de inundação e enchimento da represa.

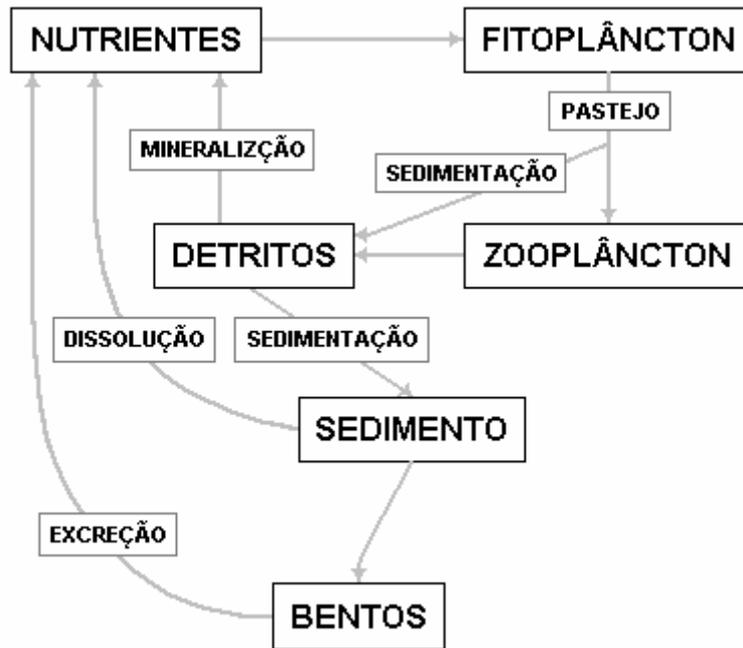


Figura 9. Efeitos diretos e indiretos em um modelo de interações em represas (adaptado de Tundisi, 1999).

Bibliografia

- Agostinho, A. A. & Gomes, 1997. Reservatório de Segredo e sua inserção na bacia do rio Iguazu. In: In: Agostinho, A. A. & Gomes, L. C. Reservatório de Segredo: bases ecológicas para o manejo. EDUEM, Maringá, 387p.
- Agostinho, A. A., Júlio Jr., H. F. & Borghetti, J. R. 1992. Considerações sobre os impactos dos represamentos na ictiofauna e medidas para sua atenuação. Um estudo de caso: reservatório de Itaipu. Revista UNIMAR, Maringá, 14: 89-107.
- Burgis, M. J. 1969. A preliminary study of the ecology of zooplankton in Lake George, Uganda. Verh. Internat. Verein. Limnology, 17: 297-302.
- Callow, P. & Petts, G.E. 1994. The river handbook. Oxford, Black.Scient. Publi. (V.I e V.II)
- Cummins, K.W. 1977. From Headwater Streams to Rivers. The American Biology Techer, p. 305-312.

- Davies, B. R. & Walker, K. F. 1986. The Ecology of river systems. Junk. Dordrecht.
- Dabés, M.B.G.S., França, R.C., Gomes, M.C.S., Junqueira, M.V., Rolla, M.E. & Rosa, S.G. 1990. Caracterização Limnológica da Represa de Pontal, Itabira (MG). Acta Limnol. Brasil. V. III: 173-199.
- Espíndola, E. L. G., Matsumura-Tundisi, T., Rietzler, A. C. & Tundisi, J. G. 2000. Spacial heterogeneity of the Tucuruí Reservior (State of Pará, Amazônia, Brasil) and the distribution of zooplanktoni species. Rev. Bras. Biol., May 2000, 60(2): 179-194.
- Hart, R. C. 1978. Horizontal distribution of the Copepod *Pseudodiaptomus hessei* in a subtropical Lake Sibaya. Freshwater Biology, 8(5): 415-422.
- Henry, R. Ecologia de Reservatórios: Estrutura, Função e Aspectos Sociais. – Botucatu: FUNDIBIO : FAPESP, 1999. 800p. :il.
- Júlio Jr., H. F., Bonecker, C. C. & Agostinho, A. A. 1997. Reservatório de Segredo e sua inserção na bacia do rio Iguaçu. In: Agostinho, A. A. & Gomes. Reservatório de Segredo: bases ecológicas para o manejo. EDUEM, Maringá, 387p.
- Junk, W., Bayle, P. B. & Spars, R. E. 1989. The flood pulse concept in river floodplain system. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 106: 110-127.
- Kimmel, B. L., Lind, O. T. & Paulson, L. J. 1990. Reservoir primary production. In: Thornton, K. W., Kimmel, B. L. & Payne, F. E. reservoir limnology: ecological perspectives. New York, John Wiley & Sons. 246p.
- Kleerekoper, H. 1939. Estudo limnológico da represa de Santo Amaro em São Paulo. B. Fac. Fil. Ci. Let. USP, Botânica, 2: 9-151.
- Margalef, R. 1984. Ecologia. Omega, 951p.
- Neiff, Juan Jose. 1990. Ideas para la interpretacion ecológica del rio Paraná. Interciencia, v.15, p. 424-441. (volume especial sobre Grandes rios Sulamericanos).

- Pomêo, M. L. M. 1999. *Perspectivas da Limnologia no Brasil*. São Luís: Gráfica da Editora da União, 191p.
- Rozska, J. 1978. *On the nature of rivers*. New York, Dr. Junk Publ. 67 p.
- Schwarzbold, A. 2001. *O que é um rio?* Ciência e Ambiente.
- Sioli, H. 1990. Introdução ao Simpósio Internacional sobre Grandes rios Latino-Americanos. *Interciência*, v. 15, n. 6, p. 331-333 (volume especial sobre Grandes Rios Sulamericanos).
- Tansley, A. G. 1935. The use and abuse of vegetational concepts and their terms. *Ecology*, 16: 284-307.
- Thornton, K. W., Kimmel, L. B. & Fonest, E. P. 1990. *Reservoir limnology: acological perspectives*. New York, John Wiley & Sons. 246p.
- Thomaz, S. M., Bini, L. M. & Alberti, S. M. 1999. Limnologia do reservatório de Segredo: padrões de variação espacial e temporal. In: Agostinho, A. A. & Gomes, L. C. *Reservatório de Segredo: bases ecológicas para o manejo*. EDUEM, Maringá, 387p
- Tundisi, J. G. 1988. *Limnologia e manejo de represas*. São Paulo, Academis de Ciências de São Paulo, xxp.
- Tundisi, J. G. 1990. Distribuição espacial, seqüência temporal e ciclo sazonal do fito plancton em represas: fatores limitantes. *Ver. Bras. Biol.* 50:937-955.
- Tundisi, J. G. 1999. Reservatórios como sistemas complexos: Teoria, Aplicações e perspectivas para usos múltiplos. In: Henry, R. (ed.) *Ecologia de Reservatpórios. Estrutura, função e aspectos sociais*. FUNDIBIO – FAPESP, Botucatu. 800p.
- Tundisi, J. G. 1981. Typology of reservoir in Southern Brasil. *Verh. Int. Verein. Limnol.*, 21: 1031-1039.
- Tndisi, J. G. & Stráskraba, M. 1999. *Theoretical reservoir ecology and its applications*. São Carlos, 585p.

- Tundisi, J. G., Matsumura-Tundisi, T. & Calijuri, M. C. 1993. Limnology and management of reservoirs in Brazil. In: Stráskraba, M., Tundisi, J. G., Duncan, A. Comparative reservoir limnology and watermanagement, Netherland, Kluwer Academic Publishers. p. 25-55.
- Vannote, R. L., Minshall, G. W., Cummings, K. W., Sedell, J. R. & Cushman, C. E. (1980) The river continuum concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 37: 120-137.
- Watson, N. H. F. & Carpenter, G. F. 1974. Seasonal abundance of crustacean zooplankton and net plankton biomass of lakes Heron, Erie and Ontario. *J. Fish. Res. Board. of Canada*, 31(3): 309-317.
- Wetzel, R. G. *Limnology*. Philadelphia: Saunders, 1983.
- Sioli, H. 1990. Introdução ao Simpósio Internacional sobre Grandes rios Latino-Americanos. *Interciência*, v. 15, n. 6, p. 331-333 (volume especial sobre Grandes Rios Sulamericanos).

Capítulo 2

PADRÕES DE VARIAÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DO RESERVATÓRIO DONA FRANCISCA (RIO JACUÍ, RS), BASEADO NAS VARIÁVEIS TEMPERATURA, OXIGÊNIO DISSOLVIDO, CONDUTIVIDADE ELÉTRICA E pH

Albano Schwarzbold; Leon Maximiliano Rodrigues

RESUMO: Padrões de variação temporal e espacial do Reservatório Dona Francisca (Rio Jacuí, RS), baseado em algumas variáveis limnológicas. A barragem Dona Francisca situa-se no rio Jacuí, a jusante de uma série de reservatórios. Até presentemente nenhum estudo em bases limnológicas havia sido realizado em reservatórios no Rio Grande do Sul. Este trabalho constitui a primeira contribuição, baseado na dinâmica dos principais processos envolvidos nesses tipos de ecossistemas. Os objetivos buscaram obter as respostas do comportamento que apresentam algumas variáveis limnológicas de um reservatório de latitude média, a partir de um modelo teórico para reservatórios. Foram medidas as variáveis oxigênio dissolvido, temperatura, pH e condutividade elétrica. Espacialmente foram feitas medidas em cinco estações ao longo do antigo eixo do rio, além de uma estação próxima à foz, no principal afluente. Em todas as estações de amostragem foram realizadas medidas das variáveis mencionadas a intervalos de 5m de profundidade da superfície até o fundo. Os períodos de amostragem foram trimestrais, correspondendo às estações do ano. Os resultados indicaram o comportamento complexo da dinâmica das massas de água ao longo do eixo principal do reservatório, conduzindo à formação de zonas longitudinais com características particulares de circulação e estratificação, além da influência exercida pelas massas de água do afluente principal sobre determinada extensão à jusante de sua foz. Os resultados de temperatura e oxigênio dissolvido demonstraram a condição de circulação das massas de água no inverno e primavera, estratificação térmica e química de determinados trechos nas condições de verão e deslocamento de massas de água sem homogeneização da coluna de água no outono. A condutividade elétrica indicou a maior concentração de minerais próximo às camadas mais profundas do reservatório, especialmente durante a estratificação. Conclui-se que o comportamento do reservatório se assemelha a outros estudados no país, mas com intervalo anual de tempo de

estratificação menos prolongada e amplitudes menos acentuadas, em parte, possivelmente, devido ao pequeno tempo de residência da água e à latitude, onde o verão é mais curto.

Palavras Chave: Reservatório subtropical; Estratificação; Circulação; Compartimentalização; Zonação de reservatório.

ABSTRACT: Patterns of temporal and spatial variation of the Dona Francisca Reservoir (Rio Jacuí, RS), based on some limnological variables. The Dona Francisca dam is located in the Jacuí river, upstream of a series of reservoirs. Until presently any study on limnological bases had not been accomplished in reservoirs in Rio Grande do Sul. This work constitutes the first contribution, based on the dynamics of the main processes involved in those types of ecosystems. The objectives looked for to obtain the answers of the behavior that present some limnological variable of a reservoir of medium latitude, starting from a theoretical model for reservoirs. The variables dissolved oxygen, temperature, pH and electric conductivity were measured. Spatially was made measures in five stations along the old axis of the river, besides a close station to the mouth, in the main tributary. In all the sampling stations measures of the mentioned variables were accomplished the intervals of 5m of depth of the surface to the fund. The sampling periods were quarterly, corresponding to the season. The results indicated the complex behavior of the dynamics of the masses of water along the main axis of the reservoir, driving to the formation of longitudinal zones with characteristics peculiar of circulation and stratification, besides the influence exercised by the masses of water of the main tributary on certain extension to the upstream of its mouth. The temperature results and dissolved oxygen demonstrated the condition of circulation of the masses of water in the winter and spring, thermal and chemical stratification of certain spaces in the summer conditions and displacement of masses of water without homogenization of the column of water in the autumn. The electric conductivity indicated the close largest concentration of minerals to the deepest layers of the reservoir, especially during the stratification. It is ended that the behavior of the reservoir resembles each other the others studied at the country, but with annual interval of time of less lingering stratification and less accentuated widths, partly, possibly, due to the small time of residence of the water and to the latitude, where the summer is shorter.

Words Key: Subtropical reservoir; Stratification; Circulation; Compartmentation; Reservoir zonation.

INTRODUÇÃO

Os ecossistemas aquáticos continentais, como reservatórios, caracterizam-se pela variabilidade e intensa dinâmica dos gradientes que descrevem as condições ambientais. Além do clima, regime hídrico, bem como de substâncias e materiais das áreas adjacentes, tais condições estão intimamente relacionadas com a hidrologia do sistema (Schäfer, 1985).

Baseado na dinâmica hídrica dos ecossistemas aquáticos continentais têm-se, num extremo, sistemas totalmente abertos, de fluxo contínuo e regimes de pulso marcantes, com ambientes que variam horizontalmente, como no caso dos rios e arroios (sistemas lóticos). No outro extremo, tem-se sistemas quase fechados, apresentando períodos intercalados de total estagnação e circulação da água, pouca variação do nível com variação espacial principalmente vertical das condições ambientais, como no caso de lagos profundos (sistemas lênticos). Os reservatórios por sua vez, situam-se, segundo Margalef (1984), entre esses dois casos, apresentando um gradiente de comportamento que varia longitudinalmente de uma condição fluvial, na cauda do reservatório, a uma condição lacustre, na região mais próxima à barragem.

O gradiente longitudinal de reservatórios resulta na compartimentalização tanto horizontal como vertical, devido aos diferentes tempos de residência das massas de água em cada região do reservatório (Henry, 1999). A partir desse gradiente Tundisi (1999) descreve a zonação de reservatórios, onde se diferenciam três zonas, sendo: (i) zona fluvial ou lótica, sob forte influência da cunha fluvial; (ii) zona intermediária, ainda com influência da cunha fluvial, mas com traços de ambiente lacustre; e (iii) zona lacustre ou lêntica, com ausência ou pouca influência da cunha fluvial, podendo ocorrer estratificação vertical da coluna de água. Além disso, podem ser destacadas outras formas de zonação, como a distinção entre zona epilimnética e zona hipolimnética, resultado da estratificação vertical da zona lacustre.

A dinâmica que se estabelece para diversos fatores em função da estrutura espacial é importante na caracterização de um reservatório, especialmente no que diz respeito à zona lacustre. De acordo como Tundisi (1984), os estudos de ecossistemas artificiais são extremamente importantes, a fim de proporcionar medidas e informações científicas que possibilitem prevenir a eutrofização e desenvolver projetos de uso múltiplo.

Entretanto, a caracterização de reservatórios no Brasil como função das diferentes situações

geográficas (clima, geologia, relevo, etc.) não está bem clara.

Com relação aos estudos de reservatórios no Brasil, é importante mencionar o pioneirismo de Hermann Kleerekoper. Este cientista, segundo Esteves (1998) veio para o Brasil em 1938 e logo iniciou suas pesquisas na Represa de Santo Amaro (hoje Guarapiranga), resultando num trabalho publicado já em 1939 (Kleerekoper, 1939). Esteves comenta que os estudos que resultaram nessa publicação podem ser considerados como as primeiras pesquisas sistematizadas e de cunho holístico realizadas em ecossistemas aquáticos continentais no Brasil.

Desde então a maioria dos estudos em reservatórios no Brasil têm se caracterizado principalmente pela abordagem sobre a estrutura de comunidades biológicas (Tundisi & Kozo Hino, 1981; Santos & Henry, 1997; Silva, 1999; Bechara *et al.*, 2000; Araújo & Santos, 2001). Outros temas também têm sido abordados, como produção primária (Esteves, 1981; Henry *et al.*, 1998; Pompêo *et al.*, 2001), sedimento de reservatórios (Esteves & Camargo, 1982; Esteves, 1983; Toledo & Lorandl, 1991*a, b*) e limnologia (Lopes & Bicudo, 2001), dentre outros. No Rio Grande do Sul, o único trabalho publicado sobre reservatório, foi o de Maizonave *et al.* (2000), no Reservatório da Lomba do Sabão, porém mais de caráter técnico do que científico, visando monitoramento da qualidade da água.

Portanto, a limnologia de reservatórios no Rio Grande do Sul ainda se encontra na fase de abordagem inicial. Nesse sentido, o presente estudo tem por objetivo avaliar a estrutura horizontal e vertical do Reservatório da Usina Hidrelétrica Dona Francisca num ciclo anual, com base nos perfis verticais das variáveis: temperatura, oxigênio dissolvido (O₂), condutividade elétrica e pH.

ÁREA DE ESTUDO

O Reservatório Dona Francisca é o último a jusante de uma seqüência de quatro reservatórios em cascata construídos ao longo da calha do Rio Jacuí (Fig. 1a,b): UHE Passo Real, UHE Jacuí, UHE Itaúba e UHDF. A bacia de drenagem abrange uma área de 13.200 km², sendo que a área superficial do reservatório é de 19,0 km². Deste, 5,63 km² correspondem à área original do leito do rio, e 13,37 km² correspondem às terras inundadas. O volume total do reservatório a uma cota de 94,5 m é de 335 x 10⁶ m³ ou 0,335 km³. A tomada de água é composta por duas turbinas, das quais apenas uma foi mantida em funcionamento durante a amostragem. Cada uma possui

vazão igual a 182 m³/s. A soleira da tomada de água localiza-se a uma profundidade de 16,5 m. A profundidade do reservatório na barragem é de 43,5 m. O vertedouro de superfície possui vazão máxima de 12.600 m³/s.

MATERIAIS E MÉTODOS

Com relação ao tempo, a amostragem correspondeu a 4 períodos de amostragens distribuídas ao longo de 1 ano. A amostragem foi sazonal, compreendendo os seguintes meses: dezembro de 2000, março de 2001, julho de 2001, e outubro de 2001.

As coletas foram feitas sempre durante o dia, utilizando uma garrafa de Van Dorn. Em campo foram coletadas amostras ao longo da coluna de água a cada 5 m de profundidade, nas quais foram analisados os parâmetros temperatura, oxigênio dissolvido (O₂), condutividade elétrica e pH. Para tanto foram utilizados os seguintes aparelhos: oxímetro YSI para oxigênio dissolvido e temperatura, condutivímetro WTW e pHmetro WTW.

As estações amostrais (Figs. 1a,b) foram distribuídas ao longo da área do reservatório, sendo locadas por GPS, descritas por coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator), conforme a lista abaixo:

ATBiØ: 6.759.135 N e 282.700 E (Rio Jacuí a jusante da UH Itaúba)

ATDF1: 6.755.700 N e 283.390 E (trecho do Rio Jacuí)

ATDF2: 6.748.490 N e 284.625 E (trecho do Rio Jacuí)

ATDF3: 6.744.800 N e 283.580 E (trecho do Rio Jacuí)

ATDF4: 6.739.650 N e 279.270 E (trecho do Rio Jacuí)

ATJZ1: 6.750.900 N e 284.680 E (foz do Rio Jacuizinho)

Alguns perfis para uma mesma estação amostral apresentaram profundidades diferentes devido às grandes diferenças de profundidade em pequenas distâncias e à impossibilidade de manter a embarcação exatamente no mesmo lugar de um período para outro.

RESULTADOS

A Tab. I reúne os dados para cada período amostral.

Em dezembro de 2000 observou-se, de um modo geral, a formação de estratificação térmica (Figs. 2), avaliada a partir das variáveis temperatura, oxigênio dissolvido (O₂) e condutividade elétrica ao longo do corpo do reservatório, exceto nas estações amostrais ATBiØ e ATDF1. Com

relação ao O₂, foram encontradas condições anaeróbicas nas estações ATDF3, nos 5m de maior profundidade, ATDF4, nos 25m de maior profundidade; e ATJZ1, somente no fundo. Em ATDF2 foi registrada forte estratificação, sendo a menor concentração de 1,90 mg/L no fundo.

A condutividade elétrica, para o mesmo período, acompanhou as tendências observadas para O₂ e temperatura, porém aumentando em direção ao fundo. Na estação ATDF2 a condutividade apresentou pequeno aumento a partir da profundidade de 10m. Já as estações ATDF3, ATDF4 e ATJZ1 apresentaram padrão similar entre si, com um trecho uniforme até a metade da coluna de água e o progressivo aumento da condutividade elétrica a partir dessa profundidade.

Com relação aos resultados de março de 2001 (Fig.3) observou-se perfil vertical bastante variável, porém não correspondendo ao padrão clássico de estratificação, como em dezembro de 2000. Tanto a temperatura como o O₂ e a condutividade não apresentaram nenhuma tendência aparente, o que pode ser notado pela curva irregular do perfil vertical. Já para o período de julho de 2001 (Fig. 4) os valores de temperatura foram em geral menores, enquanto o O₂ apresentou maiores concentrações. Em geral, tanto a temperatura como o O₂ e a condutividade elétrica apresentaram perfis verticais relativamente uniformes, quando comparado com os períodos anteriores. Assim como julho de 2001, em outubro de 2001 (Fig.5) foram registrados perfis verticais mais homogêneos.

Os resultados das diferenças entre superfície e fundo para dezembro de 2000 (Fig. 6), refletem o gradiente longitudinal do corpo principal do reservatório. Tanto para a temperatura, como para o O₂ e a condutividade elétrica, a diferença aumentou em direção à barragem. Com relação à temperatura, houve aumento em direção à barragem para os valores de superfície, enquanto para os valores de fundo houve diminuição em direção à barragem. Já com relação ao O₂ no mesmo período, os valores de superfície mantiveram-se próximos entre si, enquanto que no fundo houve diminuição em direção à barragem até condições anaeróbicas nas estações ATDF3 e ATDF4. A condutividade elétrica para o mesmo período, apresentou relação inversa à temperatura e O₂, sendo os valores de fundo maiores que os de superfície. A diferença aumentou em direção à barragem, sendo que os valores de superfície mantiveram-se próximos entre si, enquanto os valores de fundo apresentaram nítido aumento em direção à barragem.

Os resultados de março de 2001 (Fig. 6) expressam a perturbação do ambiente, não apresentando relação com o gradiente longitudinal, exceto pelas estações ATBiØ e ATDF1 que apresentam, para as quatro variáveis analisadas, valores próximos entre si e valores de superfície e fundo para cada estação também próximos entre si.

Com relação ao período de julho de 2001 (Fig. 7), os resultados refletem a mistura total das massas de água. Apenas a temperatura apresentou diferenças entre superfície e fundo, sendo que tais diferenças ocorreram apenas nas estações ATDF3 e ATDF4. Já setembro de 2001 (Figs. 7) apresentou variação pouco maior do que julho de 2001 devido a fenômenos pontuais como a baixa temperatura de fundo em ATDF1 e a variação do O₂ nas estações ATDF3 e ATDF4, porém com menor variação nas estações ATDF3 e ATDF4.

DISCUSSÃO

Os padrões dos perfis verticais variaram em cada região do reservatório. O fenômeno de estratificação, constatado para o período de dezembro de 2000 a partir das variáveis temperatura, O₂ e condutividade elétrica (Fig. 2), pode estar relacionada com o aumento da temperatura e do tempo de residência e menor pressão da cunha fluvial devido menor precipitação temperatura atmosférica caracterizando a estratificação térmica e química. Esse fenômeno resulta na formação de camadas de massas de água, podendo formar um hipolímnio anóxico, com temperatura mais baixas que as camadas mais próximas à superfície, na zona lacustre.

A formação de termoclina, neste caso, ocorre provavelmente entre 5 e 15 m de profundidade nas estações amostrais ATDF2, ATDF3 e ATDF4, e entre 10 e 15 m na estação ATJZ1. A diminuição mais acentuada da temperatura nesse período aparece na estação amostral ATDF4. É esperada estratificação mais acentuada nessa estação amostral por ser a mais profunda e por localizar-se na zona lacustre. Os padrões de estratificação térmica e mistura da coluna de água, segundo THOMAZ *et al.* (1997), influenciam sobremaneira a distribuição vertical dos demais parâmetros limnológicos. O O₂, por exemplo, acompanhou as estratificação térmica causada pela estagnação das águas, apresentando condição de anoxia no hipolímnion nas estações ATDF3 e ATDF4, a partir de 15 m até o fundo, e ATJZ1 somente no fundo.

A estagnação das águas em reservatórios está relacionada com a capacidade de retenção de

nutrientes que ocorre na maioria dos reservatórios, a qual propicia a sedimentação de material particulado inorgânico, onde ficam adsorvidos carbono orgânico, ferro, manganês, carbonato de cálcio e fósforo (THOMAZ *et al.*, 1997). Os perfis verticais de condutividade estão de acordo com essa hipótese. Os resultados obtidos para temperatura, O₂ e condutividade podem estar relacionado com dois fenômenos: (1) a precipitação e decantação de minerais devido à estagnação das águas, aumentando suas concentrações em direção ao fundo, pode influenciar a condutividade elétrica; e (2) o processo de decomposição da vegetação submersa após a formação do lago implicaria em consumo de oxigênio nas camadas de água inferiores e pode causar o aumento da carga de substâncias iônicas como produto da decomposição, além das próprias enzimas microbianas que permanecem no ambiente por certo tempo (PUSH *et al.*, 1998). ESTEVES *et al.* (1985) constataram o mesmo padrão no reservatório de Três Marias (MG).

A condutividade elétrica variou de 35,6 a 49,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na superfície, e 34,2 a 107,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no fundo. Os valores de superfície são relativamente baixos, comparados aos resultados obtidos por Esteves *et al.* (1985), para o reservatório de Três Marias, os quais variaram de de 30 a 55 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e foram considerados pelo autor como baixos.

Ainda com relação a dezembro de 2000, as estações amostrais ATBiØ e ATDF1 apresentaram perfis verticais homogêneos para as variáveis temperatura, pH e condutividade elétrica ao longo da coluna de água. São trechos com forte influência da cunha fluvial da descarga da UHE Itaúba, apresentando comportamento lótico estando, portanto, localizados na zona fluvial do reservatório. As demais estações a jusante correspondem à zona intermediária.

Em março de 2001 os perfis verticais (Fig.3) correspondem, provavelmente, ao período inicial de circulação, ainda sem mistura total das massas de água nas maiores profundidades. As estações ATDF3 e ATDF4 continuam apresentando queda na concentração O₂ a partir de 20 m de profundidade, mesmo que não em condições anóxicas. Porém, considerando o que acontece entre 5 e 20m de profundidade – nessa camada ocorre uma descontinuidade na relação esperada para a temperatura e o O₂ durante uma estratificação típica, em que a concentração de O₂ diminui enquanto a temperatura sobe e vice-versa – pode-se deduzir que inicia o fenômeno de circulação vertical. A estação amostral ATJZ1 apresentou aumento na concentração de O₂ nas camadas mais profundas, com a mesma repercussão na estação ATDF2, a jusante da confluência dos eixos dos dois rios.

Estes resultados podem ser interpretados como a influência da cunha fluvial do rio Jacuizinho, o principal afluente do rio Jacuí na área do reservatório (ver Fig. 1).

A cunha fluvial, por ser proveniente de ambiente lótico, possui maior concentração de oxigênio e menor temperatura, como o observado por MAIZONAVE *et al.* (2000), o que justifica a penetração da cunha fluvial pelas camadas inferiores da coluna de água do reservatório. Além disso, os resultados de condutividade nas estações ATJZ1 e ATDF2 coincidem com os de temperatura e O₂ para o mesmo período, apresentando uma diminuição nas camadas mais profundas. Esse fato está de acordo com a maior condutividade esperada para o reservatório devido à liberação de eletrólitos como produto da decomposição da vegetação submersa. As demais estações provavelmente refletem o deslocamento de massas de água dentro do reservatório. Tal hipótese deve-se ao fato de não haver relação entre as curvas obtidas para temperatura, O₂ e condutividade, demonstrando não corresponder a nenhum gradiente espacial, seja horizontal, pela pressão da cunha fluvial ou características morfológicas, ou vertical, pela estagnação das águas. Esse fato demonstra certa perturbação nesse período, fato que pode ser notado pela maior amplitude de variação comparado com os períodos de circulação (julho e setembro de 2001), os quais apresentaram perfis homogêneos, e pela irregularidade das curvas dos perfis verticais, os quais não refletiram nenhuma tendência.

Em julho de 2001 (Fig. 4), a maior uniformidade dos perfis verticais em comparação com os períodos anteriores corresponde à circulação das águas com intensa mistura da coluna de água. É esperado que não haja estratificação nesse período. Esse fato demonstra que a circulação ocorre mesmo na zona lacustre nos períodos de esfriamento da atmosfera. Os resultados de condutividade também confirmam essa hipótese, uma vez que apresenta menores valores nas camadas do fundo. Contudo na zona lacustre do reservatório, a profundidades maiores de 20 m, ainda ocorrem condições de menores concentrações de O₂, possivelmente devido ao mais intenso metabolismo da decomposição de fundo e menos devido à falta de circulação da água, visto que os valores de temperatura estão próximos aos de superfície.

Thomaz *et al.* (1997) constataram para o Reservatório de Segredo a permanência da estratificação entre junho e setembro, porém com menores diferenças de temperatura, em comparação ao verão. Segundo os mesmos autores, embora não tenha sido registrada uniformidade térmica, a circulação completa é sugerida pelo aumento das concentrações de oxigênio dissolvido nas camadas

profundas, bem como pela distribuição vertical mais homogênea de outros parâmetros limnológicos, como a condutividade elétrica. Dessa forma, os autores atribuíram os gradientes térmicos registrados durante o inverno à estratificação diurna, em que a circulação ocorreria durante a noite-madrugada ou em períodos irregulares. Tal análise corresponde a condições similares aos resultados de julho de 2001 para o Reservatório Dona Francisca. Os mesmos autores ainda consideraram esse comportamento (monomixia) como exceção, por ocorrerem em apenas alguns reservatórios da região sudeste do Brasil. Mas, os resultados do presente estudo demonstram que esta pode ser uma condição de reservatórios situados na região Sul do Brasil.

O fenômeno de circulação constatado para os períodos de julho e setembro de 2001 é esperado, e reflete a relação entre clima, altitude e morfologia lacustre, já propostos no clássico esquema de balanço térmico e classificação de lagos, de Hutchinson & Löffler (1956).

A estrutura térmica dos reservatórios, segundo Thomaz *et al.* (1997), juntamente com os padrões de circulação e transporte de material, é resultante não somente dos fenômenos meteorológicos (temperatura, vento e precipitação), mas também da interação com os influxos de água pelo rio principal, da razão vertida/turbinada, da tomada de água e da operação da barragem. O Reservatório de Dona Francisca, por exemplo, apresentou termoclina entre 5 e 15 m, coincidindo com a altura da tomada de água cuja soleira está localizada a 16,5 m de profundidade. (conseguir artigos de Tundisi sobre estratificação hidráulica).

O balanço térmico dos lagos, segundo Schäfer (1985), depende da região climática e tem sido utilizado como critério para classificação de lagos. Segundo o critério da classificação de Hutchinson & Löffler (1956), o Reservatório de Dona Francisca enquadra-se no tipo *monomítico quente*. Estudos realizados no reservatório de Segredo mostraram que o reservatório apresentou estratificação térmica com presença de termoclina com hipolimnio anóxico no verão e outono, principalmente próximo à barragem (Júlio Jr. *et al.*, 1999). Tais padrões são muito semelhantes aos constatados para o Reservatório de Dona Francisca. O Reservatório de Segredo está localizado na bacia do Rio Iguaçu (PR), portanto numa região geográfica e climática muito próxima da bacia do Rio Jacuí.

Por outro lado, em Itabira (MG) no Reservatório da Represa do Pontal, construída para a contenção de rejeito da lavagem do minério de ferro e o abastecimento do complexo industrial Vale do Rio Doce, a coluna de água apresentou-se termicamente extratificada nos meses de fevereiro a

outubro, enquanto foi observada uma isoterminia em junho (Dabés *et al.*, 1990). Nesse caso a estagnação das águas durou mais tempo do que em Dona Francisca (RS) e Segredo (PR), o que se deve à maior latitude desses dois reservatórios comparados com a Represa do Pontal. Por outro lado, o Reservatório de Três Marias (MG), caracteriza-se por um período de estratificação que se estende por quatro meses durante o verão (Esteves *et al.*, 1985), sendo semelhante aos resultados obtidos para Dona Francisca. Semelhante à Represa do Pontal e diferente de Dona Francisca é o reservatório de Valle de Bravo (Cidade do México) que, segundo Olvera *et al.* (1998), apresentou estratificação de março a novembro (durante 9 meses), mas, com termoclina em profundidade próxima à Dona Francisca. Na Colômbia, no reservatório de Punchiná, Ramirez (1995), através do acompanhamento da variação do perfil vertical num ciclo de 24 horas, constatou a tendência de uma estratificação de caráter não estável e de curta duração.

Thomaz *et al.* (1997), salientaram que outro aspecto é a elevação gradual das diferenças observadas entre as camadas superficiais e de fundo na medida em que se prossegue no sentido rio-barragem. Os gradientes verticais dos parâmetros limnológicos indicam maior estabilidade da estratificação térmica nas regiões mais próximas da barragem, onde a profundidade e o tempo de residência são maiores. Esse fato é confirmado pela variação longitudinal das diferenças de temperatura entre a superfície e a camada do fundo. As estações mais próximas da barragem desenvolvem estratificações térmicas mais acentuadas e, conseqüentemente, mais estáveis, mesmo durante os meses de inverno.

Os padrões de estratificação térmica das regiões fluviais são afetados pelo contínuo aporte de água do rio principal, como no caso do Reservatório de Segredo, onde o influxo da água do Rio Iguaçu deve promover a mistura da coluna de água na maior parte do ano (Thomaz *et al.*, 1997).

Nas condições de verão, em dezembro de 2000 (Fig. 6), as diferenças de temperatura entre superfície e fundo ao longo do corpo principal do reservatório além de refletir a tendência à estratificação térmica, acompanha o gradiente longitudinal do reservatório, cujos resultados refletem o comportamento lótico da zona fluvial e lacustre no trecho próximo à barragem. O oxigênio dissolvido para o mesmo período, expressa de forma marcante o gradiente longitudinal, apresentando anoxia no fundo, caracterizando o comportamento lêntico da zona lacustre; a estação amostral ADTF2 apresentou diferenças de concentração de O₂, mas sem anoxia no fundo. Esse

local corresponde à zona intermediária no critério de Tundisi (1999), com influência da cunha fluvial do afluente.

Com relação à condutividade elétrica, para o mesmo período (dezembro de 2000), também refletiu o gradiente longitudinal do reservatório. Porém, com maiores valores para o fundo, o que é esperado uma vez que a precipitação de minerais produz um gradiente de concentração que tende a aumentar a condutividade elétrica em direção ao fundo. A zonação longitudinal está usualmente associada ao aumento da sedimentação de material particulado (incluindo nutrientes dissolvidos e adsorvidos) no sentido rio-barragem (Thomaz *et al.*, 1997), o que está de acordo com a interpretação das curvas de diferenças entre os resultados de superfície e fundo e os perfis verticais para dezembro de 2000. Da maioria das características de reservatórios, parece claro que a hidrodinâmica é a mais importante delas (Dabés *et al.*, 1990).

Com relação ao pH, em geral foram obtidos valores próximos à neutralidade. Além disso, não foi registrada variação considerável tanto no espaço como no tempo, exceto pelos perfis verticais da estação ATDF3, em dezembro de 2000, e da estação ATDF2, em março de 2001. Entretanto trata-se de casos pontuais. Esteves *et al.* (1985) e Dabés *et al.* (1990) também encontraram valores de pH em torno do neutro e pouco variáveis. Ramírez *et al.* (2001) obtiveram pouca variação do pH num dos quatro reservatórios tropicais analisados na Colômbia, o que foi atribuído ao fato de estar situado mais abaixo numa cascata de reservatórios, em que aqueles situados a montante servem como armadilhas de sedimentação, regulando o aporte de materiais nos reservatórios a jusante. Essa situação é semelhante ao caso do Reservatório de Dona Francisca, que é o último de uma seqüência de quatro reservatórios.

Além disso, a variação do pH não acompanhou as tendências registradas para as demais variáveis. Segundo Esteves (1998), o pH pode ser considerado uma das variáveis ambientais mais importantes em ambientes naturais, e ao mesmo tempo uma das mais difíceis de se interpretar, devido à sua complexidade em função de ser uma variável influenciada por um grande número de fatores. Isso pode resultar no comportamento aparentemente caótico dessa variável, como no caso do presente estudo. Além das características físico-químicas da solução da água, o pH, segundo Thomaz *et al.* (1997) é diretamente afetado pela comunidade fitoplanctônica.

Do ponto de vista da qualidade da água e do tempo de vida do reservatório, o fato de ocorrer

um longo período de circulação e curto período de estratificação têm conseqüências importantes. De acordo com Tundisi (1984), reservatórios com estratificação permanente tem um tempo de vida mais curto, aceleração do processo de eutrofização devido a presença de um hipolímnio anóxico e diminuição do potencial do reservatório para usos múltiplos. O reservatório Dona Francisca, nesse caso, tende a não apresentar problemas com o aumento da concentração amônia, cianofíceas, H₂S e outros gases no hipolímnio, apesar da estratificação constatada no verão, as quais são, segundo Tundisi (1984), características típicas de sistemas com longos períodos de estratificação.

CONCLUSÕES

Espacialmente, o reservatório apresentou gradiente longitudinal acentuado, evidenciado principalmente por meio dos resultados de dezembro de 2000. A zonação do reservatório foi a seguinte: (i) zona fluvial, correspondente às estações amostrais ATBiØ e ATDF1; (ii) zona intermediária, correspondente às estações ATDF2, ATDF3 e ATJZ1; e (iii) zona lacustre, correspondente à estação ATDF4.

A análise dos perfis de profundidade indicam tendência à estratificação térmica e química em dezembro de 2000. Março de 2001 correspondeu ao início da desestratificação, exceto na região lacustre que manteve a estratificação, porém menos acentuada. Nesse período ocorreu o deslocamento de massas de água sem a mistura total. Julho de 2001 e setembro de 2001 apresentaram maior homogeneidade das características limnológicas no espaço, portanto, correspondendo ao período de circulação com mistura total das massas de água.

Esses eventos demonstram que o reservatório apresentou variação temporal correspondente a três períodos: (i) período de estratificação com anoxia do hipolímion na zona lacustre, correspondendo à estação quente do ano; (ii) período de circulação sem mistura total das massas de água, no final do verão; e (iii) período de circulação com mistura total das massas de água, correspondendo ao inverno e à primavera.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela concessão da Bolsa de Estudos. Ao Consórcio Dona Francisca pela disponibilização dos resultados das medidas de campo. À Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE) pelo fornecimento de dados importantes para a descrição e contextualização do Reservatório de Dona Francisca, como mapas e informações técnicas do empreendimento. Aos

engenheiros e técnicos da CEEE, coordenadores e assessores do Plano Ambiental Básico (PBA) do empreendimento, especialmente Eng. Luis Airton Ferret, Arq. Maria Lúcia Mandelli Guaragna, Eng. Maria Aparecida Loss, Eng. Paulo Blessmann e Eng. Luiz Antônio Leão, pela colaboração em inúmeras situações, amizade e atitude profissional em todos os momentos do trabalho. Ao “pelotão de frente” de todas as situações de campo: Eudimar Nascimento, Marco Antônio Barreto de Almeida, Ronaldo dos Santos Padilha, Carlos Eduardo Güntzel, Catarina Pedrozo, Nelson Augusto Flores Machado, Carina Michele Saraiva Portela, Linda Naura Macedo Silva.

BIBLIOGRAFIA

- Araújo, F. G. & Santos, L. N. 2001. Distribution of fish assemblages in Lages reservoir, Rio de Janeiro, Brazil. *Braz. J. Biol.*, 61(4): 563-576.
- Bechara, J. A., Roux, J. P., Sánchez, S., Terraes, J. C. & Domitrovic, H. A. 2000. Fish community variation below Yacyretá Dam (Paraná River, Argentina): the relative contribution of microhabitat, hydrology and limnology. *Acta Limnol. Bras.*, 12: 23-38.
- Braga, F. M. de S. 2000. Biologia e pesca de *Pimelodus maculatus* (Siluriformes, Pimelodidae), no reservatório de Volta Grande, Rio Grande (MG-SP). *Acta Limnol. Bras.*, 12 : 1-14.
- Brandimarte, A. L., Anaya, M. & Shimizu, G. Y. 1999. Comunidades de Invertebrados bentônicos nas fases pré-e-pós enchimento em reservatórios: Um estudo de caso no reservatório de aproveitamento múltiplo do rio Mogi-Guaçu (SP). In: Henry, R. (ed.) *Ecologia de Reservatpórios. Estrutura, função e aspectos sociais*. FUNDIBIO – FAPESP, Botucatu. 800p.
- Dabés, M.B.G.S., França, R.C., Gomes, M.C.S., Junqueira, M.V., Rolla, M.E. & Rosa, S.G. 1990. Caracterização Limnológica da Represa de Pontal, Itabira (MG). *Acta Limnol. Brasil*. V. III, p.173-199.
- De Fillipo, R., Gomes, E. L., Lenz-César, J., Soares, C. B. P. & Menezes, C. F. S. 1999. As alterações na qualidade da água durante o enchimento do reservatório de UHE Serra da Mesa – GO. In: Henry, R. (ed.) *Ecologia de Reservatpórios. Estrutura, função e aspectos sociais*. FUNDIBIO – FAPESP, Botucatu. 800p.

- Espíndola, E. L. G., Matsumura-Tundisi, T., Rietzler, A. C. & Tundisi, J. G. 2000. Spatial heterogeneity of the Tucuruí Reservoir (State of Pará, Amazônia, Brasil) and the distribution of zooplankton species. *Rev. Bras. Biol.*, May 2000, 60(2): 179-194.
- Esteves, F. A. 1981. Biomass and analysis of the major inorganic components of floating aquatic macrophyte (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) in six reservoirs of Sao Paulo State (Brazil). *Ciência e Cultura*, 34(9): 1196-1200.
- Esteves, F. A. 1983. Levels of phosphate, calcium, magnesium and organic matter in the sediments of some Brazilian reservoir and implications for the metabolism of the ecosystems. *Arch. Hydrobiol.*, 96(2): 129-138.
- Esteves, F. A. 1998. *Fundamentos de Limnologia*. – 2ª ed. – Interciência, Rio de Janeiro. 602p.
- Esteves, F. A. & Camargo, A. F. M. 1982. Caracterização de sedimentos de 17 reservatórios do estado de São Paulo com base no teor de feopigmentos, carbono orgânico e nitrogênio orgânico. *Ciência e Cultura*, 34(5): 669-674.
- Esteves, F. A., Amorim, J. C., Cardoso, E. L. & Barbosa, F. A. R. 1985. Caracterização limnológica preliminar da represa de Três Marias (MG) com base em alguns parâmetros ambientais básicos. *Ciência e Cultura*, 37(4): 608-617.
- Henry, R. *Ecologia de Reservatórios: Estrutura, Função e Aspectos Sociais*. – Botucatu: FUNDIBIO : FAPESP, 1999. 800p. :il.
- Henry, R., Nunes, M. A., Mitsuka, P. M., Lima, N. de & Casanova, S. M. C. 1998. Variação espacial e temporal da produtividade primária pelo fitoplâncton na represa de Jurumirim (rio Paranapanema, SP). *Ver. Bras. Biol.*, 58(4): 571-590.
- Hutchinson, G. E. & Löffler, H. 1956. The thermal classification of lakes. *Proc. Nat. Acad.* 42: 84-86.
- Junk, W. J. & Nunes de Mello, J. A. S. 1987. Impactos ecológicos das represas hidrelétricas na bacia amazônica brasileira. *Tübingen Geographische Studien*, 95 : 367-385.

- Kleerekoper, H. 1939. Estudo limnológico da represa de Santo Amaro em São Paulo. B. Fac. Fil. Ci. Let. USP, Botânica, 2: 9-151.
- Landa, G. G. & Mourgués-Schurter, L. R. 2000. Composição e dinâmica do zooplâncton de duas represas do Campus da Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, Brasil. Acta Limnol. Bras., 12 : 29-43.
- Lopes, M. R. M. & Bicudo, C. E. M. 2001. Short term variation of physical characteristics of a shallow subtropical oligotrophic reservoir, southeast Brazil. Acta Limnol. Bras., 13(2): 87-98.
- Maizonave, C. R. M., Morandi, I. C., Soares, P. R. & Junqueira, I. C. 2000. Reservatório da Lomba do Sabão: Qualidade da água e problemas operacionais no tratamento. Ecos Pesquisa, N° 3, 25p.
- Margalef, R. 1984. Limnologia. Barcelona, Omega, 1010p.
- Olvera, V. V., Bravo, L. I. & Sánchez, J. C. 1998. Aquatic ecology and management in Valle de Bravo reservoir and its watershed. Aquatic Ecosystem Health and Management, 1: 277-290.
- Ponpêo, M. L. M., Henry, R. & Moschini-Carlos, V. 2001. The water level Influence on Biomass of *Echinochloa polystachya* (Poaceae) in the Jurumirim Reservoir (São Paulo, Brazil). Ver. Bras. Biol., 61(1): 19-26.
- Push, M., Fiebig, D., Brettar, I. Eisenmann, H., Ellis, B. K., Kaplan, L. A., Lock, M. A., Naegeli, M. W. & Traunspurger, W. 1998. The Role of Micro-organisms in the Ecological Connectivity of Running Waters. Freshwater Biology, 40: 453-195.
- Ramirez, J. J. 1995. Variaciones verticales de temperatura y factores químicos em em cilco de 24 horas em el embalse Punchiná, Antioquia, Colombia. Acta. Limnol. Brasil., VII: 23-34.
- Ramírez, J. J., Bicudo, C. E. M., Roldán, P. G. & García, L. C. 2001. Variación vertical de parámetros físicos e químicos em quatro embalses tropicales y su ralación com el área, la altitud y el tiempo de retención hidráulica. Acta Limnol. Bras., 13(2): 19-34.
- Santos, C. M. & Henry, R. Análise da densidade e diversidade da fauna bentônica da represa de Jurumirim (rio Paranapanema – SP) em dois períodos do ano. Anais do VIII Sminário Regional de Ecologia, VIII: 151-162.

- Schäfer, A. 1984. Fundamentos de ecologia e biogeografia das águas continentais. Editora da Universidade, UFRGS, Porto Alegre. 532p.
- Silva, L. H. S. 1999. Fitoplâncton de um reservatório eutrófico (lago Monte Alegre), Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil. 59(2): 281-303.
- Thomaz, S. M., Bini, L. M. & Alberti, S. M. 1999. Limnologia do reservatório de Segredo: padrões de variação espacial e temporal. In: AGOSTINHO, A. A. & GOMES, L. C. Reservatório de Segredo: bases ecológicas para o manejo. EDUEM, Maringá, 387p.
- Toledo, A. P. P. & Lorandi, R. 1991a. Sedimentos da Represa do Lobo. Parte I. Relações entre granulometria, mineralogia de argila, matéria orgânica e etc. Na. Sem. Reg. Ecol. VI: 391-405.
- Toledo, A. P. P. & Lorandi, R. 1991b. Sedimentos da Represa do Lobo. Parte II. Relações entre granulometria, mineralogia de argila, matéria orgânica e etc. Na. Sem. Reg. Ecol. VI: 407-414.
- Tundisi, J. G. 1999. Reservatórios como sistemas complexos: Teoria, Aplicações e perspectivas para usos múltiplos. In: Henry, R. (ed.) Ecologia de Reservatpórios. Estrutura, função e aspectos sociais. FUNDIBIO – FAPESP, Botucatu. 800p.
- Tundisi, J. G. & Kozo Hino. 1981. List of species and growth seasons of phytoplankton from Lobo (Broa) Reservoir. Ver. Brasil. Biol., 41(1): 63-68.

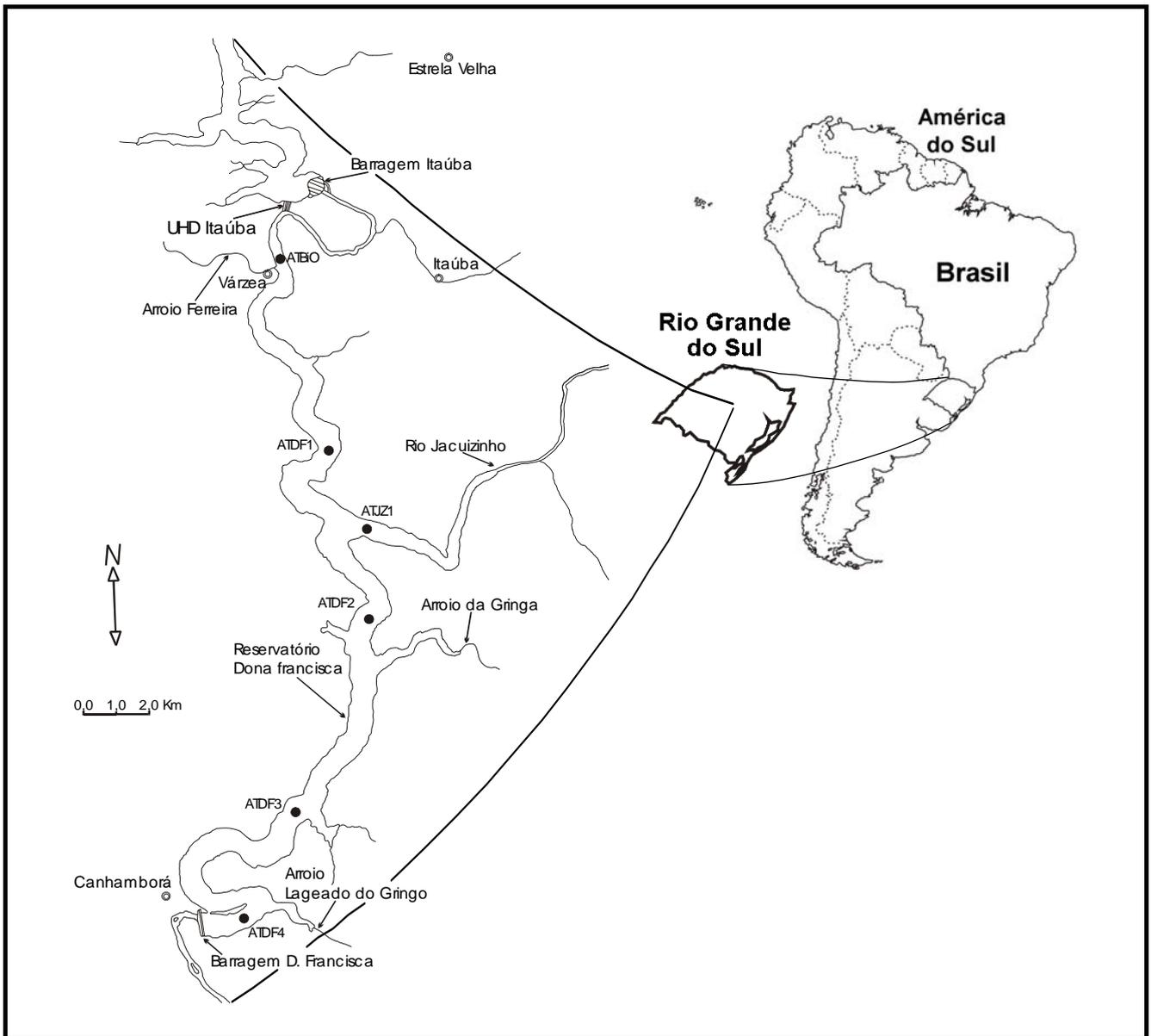


Figura 1. Reservatório Dona Francisca, com a localização das estações amostrais.

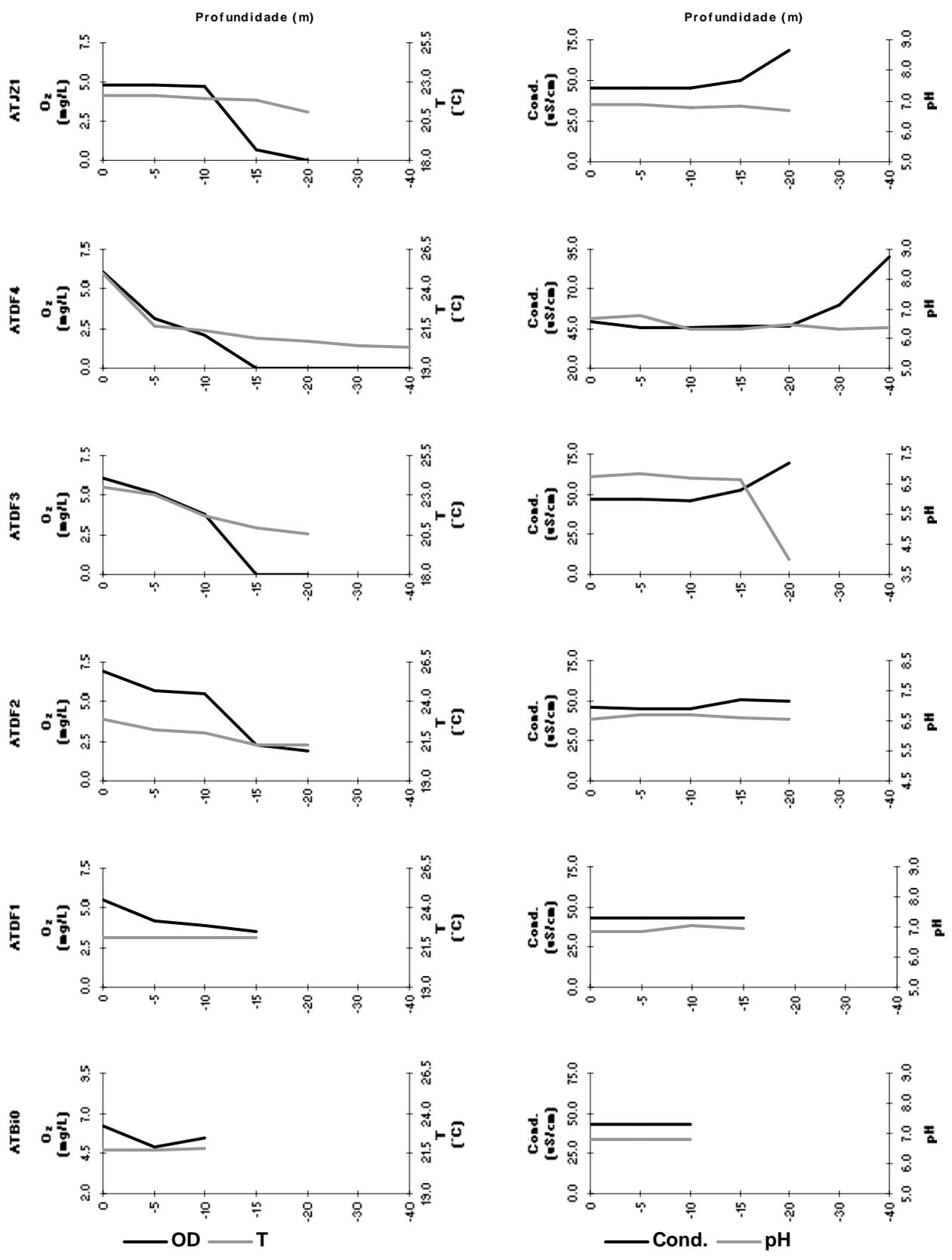


Figura 2. Perfis verticais das variáveis temperatura (T) oxigênio dissolvido (O_2), condutividade elétrica (Cond.) e pH em cada estação amostral, correspondentes ao período de dezembro de 2000.

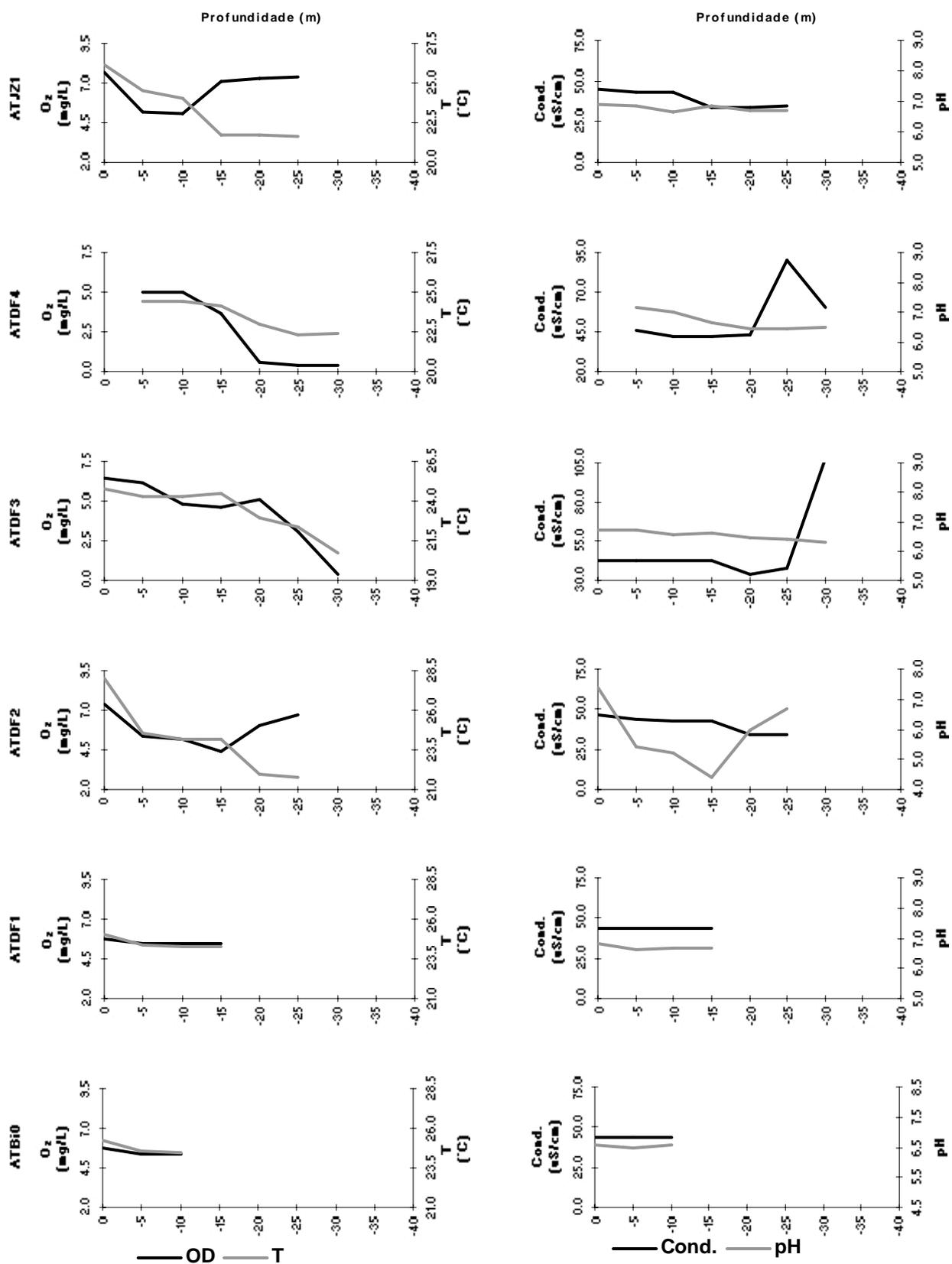


Figura 3. Perfis verticais das variáveis temperatura (T) oxigênio dissolvido (O₂), condutividade elétrica (Cond.) e pH em cada estação amostral, correspondentes ao período de março de 2001.

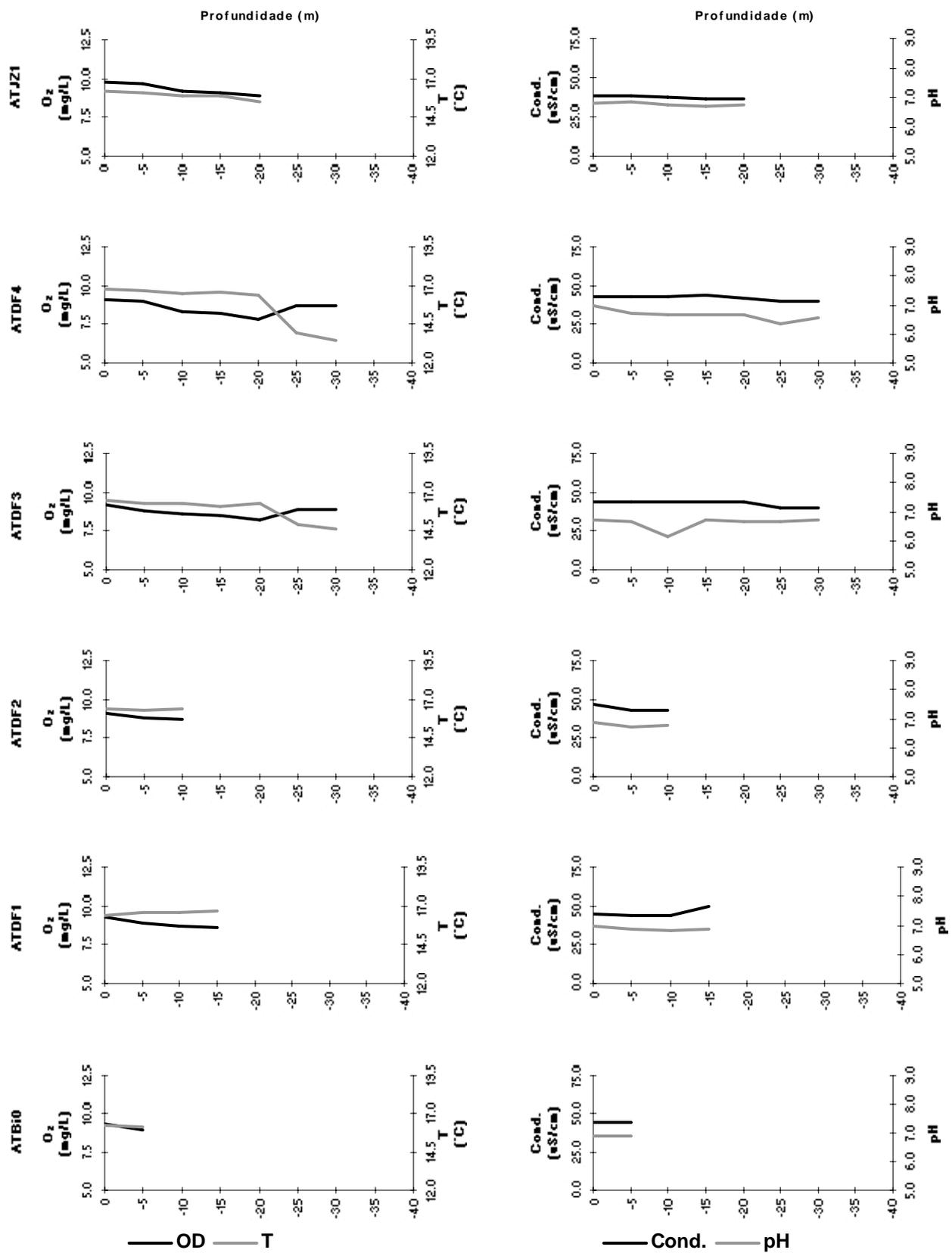


Figura 4. Perfis verticais das variáveis temperatura (T) oxigênio dissolvido (O₂), condutividade elétrica (Cond.) e pH em cada estação amostral, correspondentes ao período de julho de 2001.

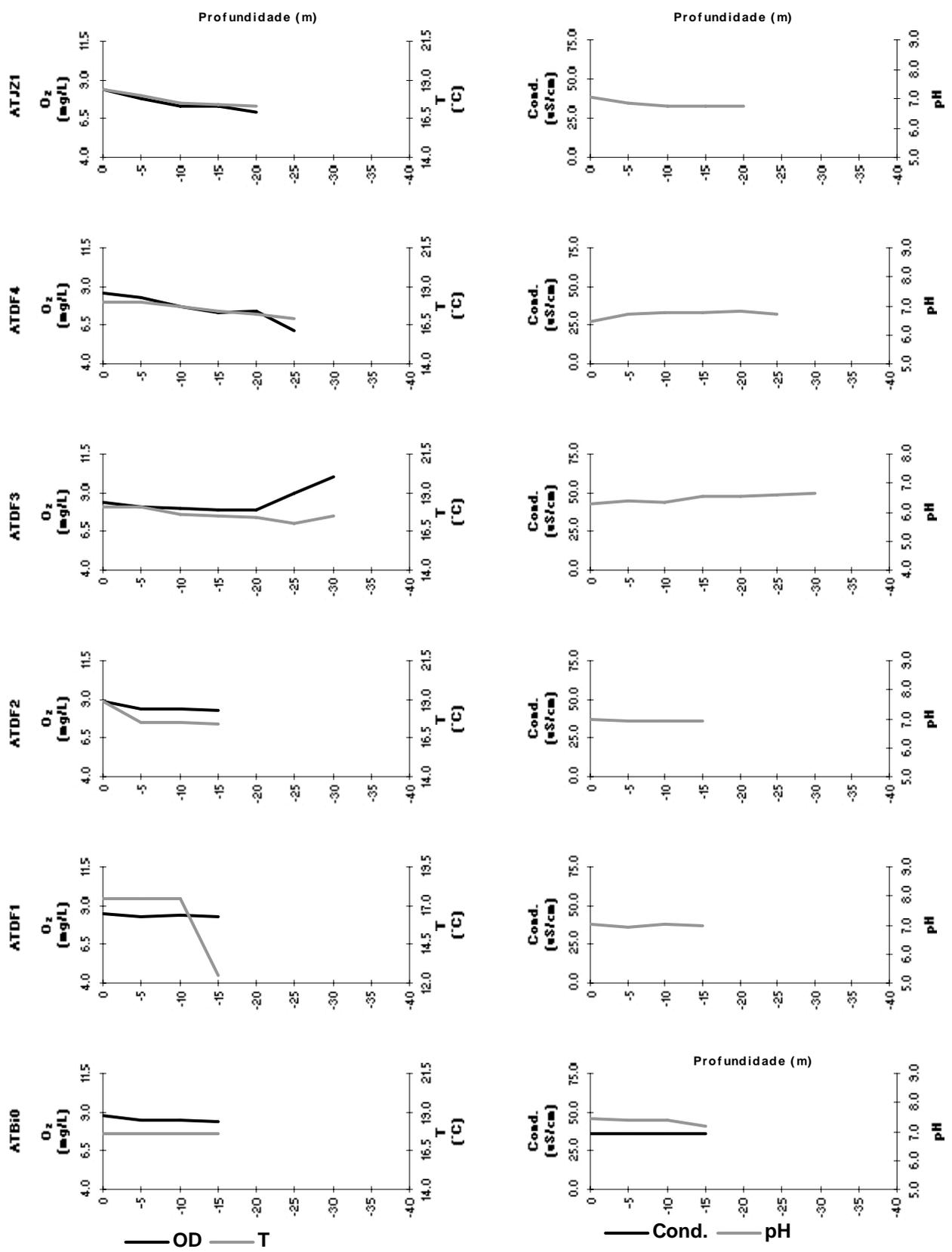


Figura 5. Perfis verticais das variáveis temperatura (T) oxigênio dissolvido (O₂), condutividade elétrica (Cond.) e pH em cada estação amostral, correspondentes ao período de setembro de 2001.

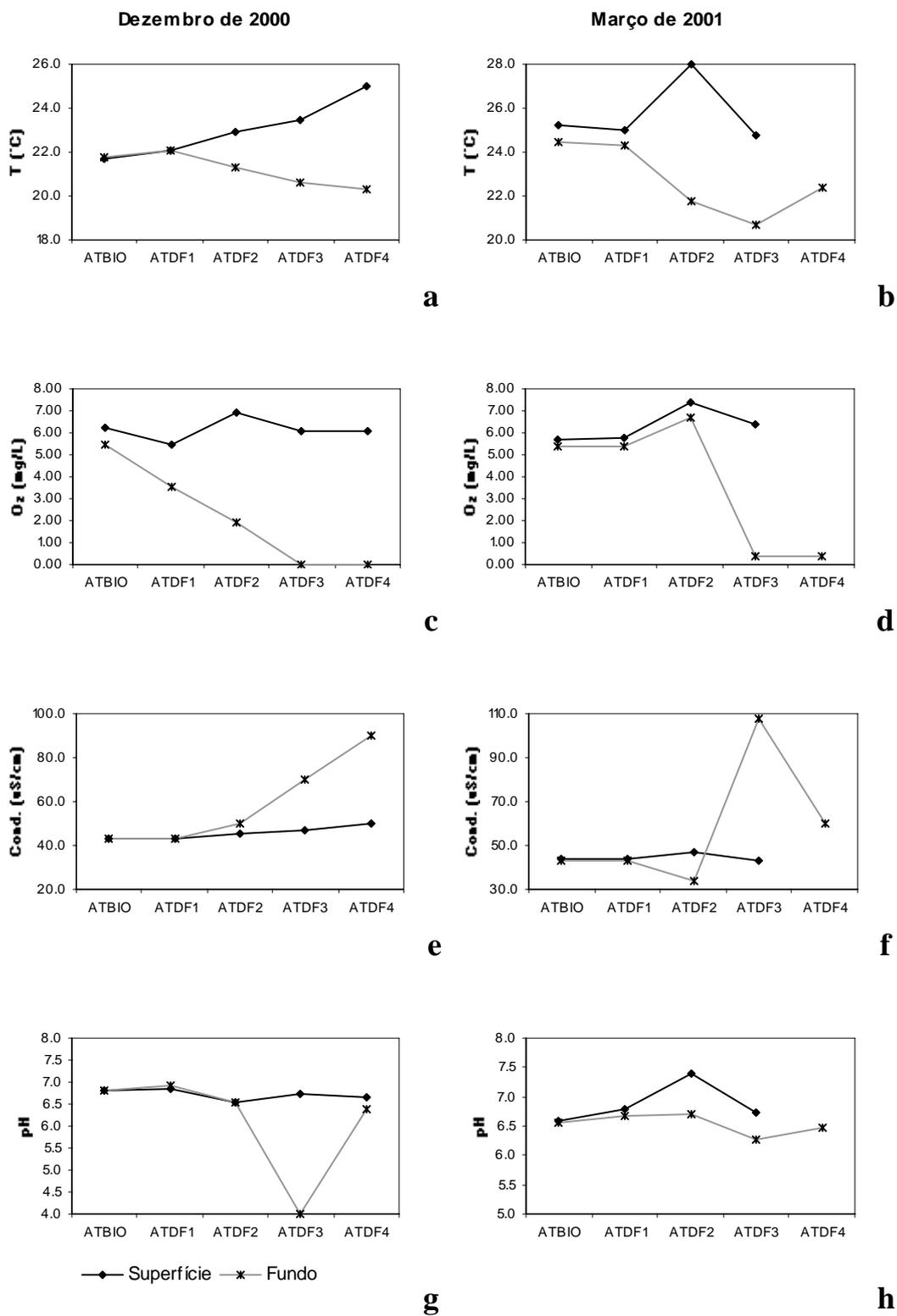


Figura 6. Valores de superfície e fundo para as variáveis temperatura (T) oxigênio dissolvido (O₂), condutividade elétrica (Cond.) e pH ao longo do corpo principal, correspondentes aos períodos de dezembro de 2000 e março de 2001.

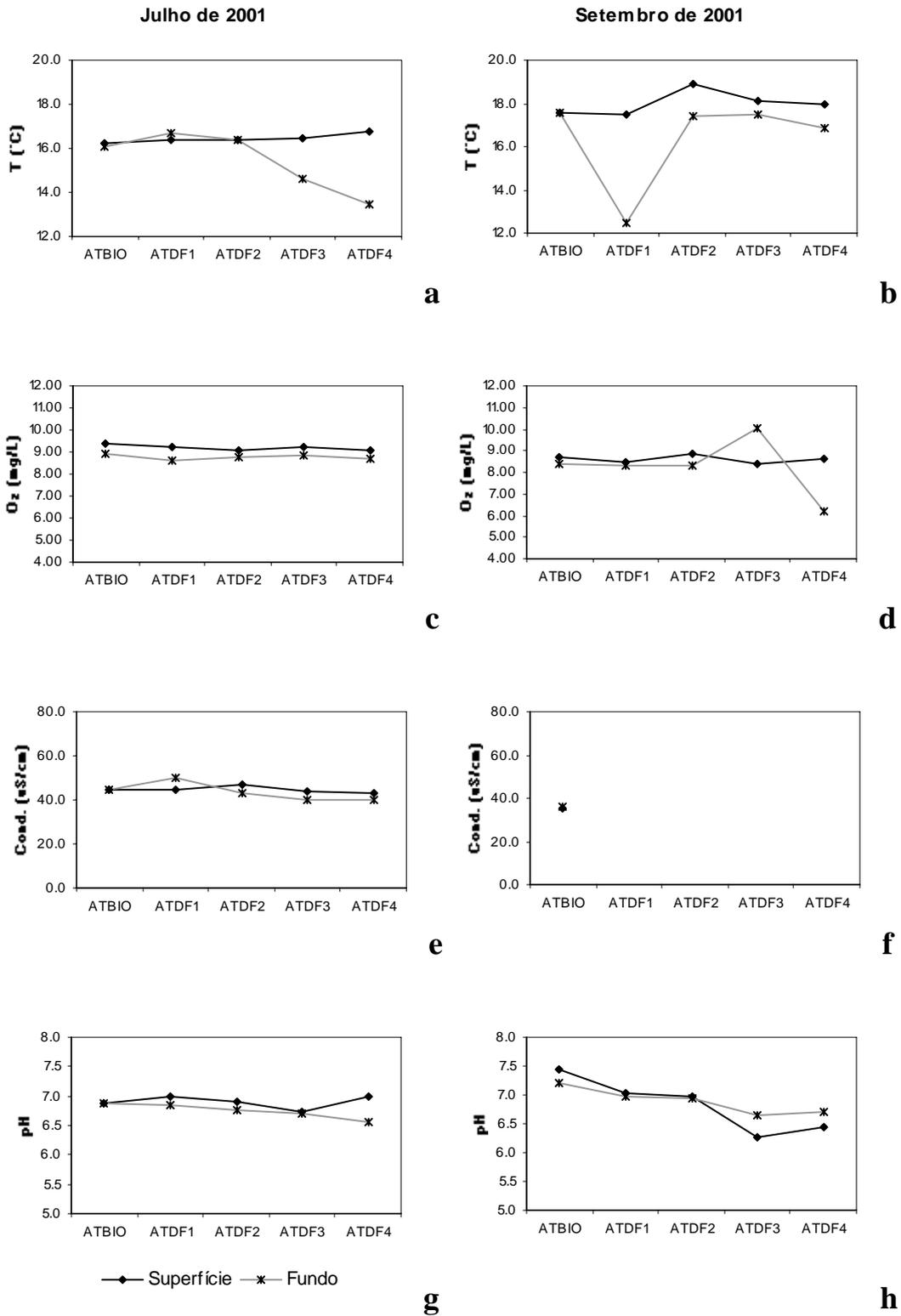


Figura 7. Valores de superfície e fundo para as variáveis temperatura (T) oxigênio dissolvido (O₂), condutividade elétrica (Cond.) e pH ao longo do corpo principal, correspondentes aos períodos de julho de 2001 e setembro de 2001.

Capítulo 3

Transformação rio-reservatório I: Alterações de algumas variáveis limnológicas após a formação do reservatório Dona Francisca (rio Jacuí, RS, Brasil).

Leon Maximiliano Rodrigues; Albano Schwarzbald

RESUMO: Transformação rio-reservatório I: Alterações de algumas variáveis limnológicas após a formação do reservatório Dona Francisca (rio Jacuí, RS, Brasil). As mudanças que ocorreram pela implementação do reservatório da Usina Hidrelétrica Dona Francisca foram avaliadas através das médias anuais de algumas variáveis físicas e químicas durante duas fases, sendo um ano antes e um ano após a formação do reservatório (AFR e DFR, respectivamente). Foram registradas mudanças como o aumento da temperatura média e diminuição da concentração média do oxigênio dissolvido após a formação do reservatório. Também constatou-se a formação de gradientes longitudinais com aumento de algumas variáveis no sentido montante-jusante como temperatura, condutividade elétrica e potássio, e diminuição de outras como turbidez, sólidos suspensos e ferro, principalmente em dezembro de 2000. Além disso, foram constatadas diferenças entre os braços formados pelos tributários e o corpo principal do reservatório. As mudanças de uma fase (AFR) para outra (DFR) foram causadas pelo aumento do tempo de residência, o qual associado à pressão da cunha fluvial da descarga da UHE Itaúba produz o gradiente longitudinal de certas variáveis. Diferenças entre os braços formados pelos tributários e o corpo principal do reservatório foram constatadas e estão relacionados com as características geológicas de cada sub-bacia.

Palavras chave: Reservatório; Limnologia; Heterogeneidade espacial; Compartimentalização; Mudanças físicas e químicas.

Key Words: Reservoir; Limnology; Spatial heterogeneity; Compartmentation; Physical and chemical changes.

ABSTRACT: Rio-reservoir transformation I: Changes in some limnological variables after Dona Francisca Reservoir formation (Jacuí River, RS, Brazil). The changes that occurred due to the implementation of the Usina Hidrelétrica Dona Francisca were evaluated through annual averages of some physical and chemical variables during two phases, being before one year and one year after the formation of the reservoir (AFR and DFR, respectively). Changes were registered, as the increase of medium temperature and decrease of medium concentration of dissolved oxygen after the formation of the reservoir. The formation of longitudinal gradient was also verified with increase in some variables in the upstream-downstream direction as temperature, electric conductivity and potassium, and decrease of another as turbidity, suspended solids and iron, mainly in December of 2000. Furthermore, differences were verified among the arms formed by the tributary ones and the main body of the reservoir. The changes of a phase (AFR) for other (DFR) were caused by the increase of the retention time, which associated to the pressure of the fluvial wedge pressure of the UHD Itaúba discharge it produces the longitudinal gradient of certain variables. Differences among the arms formed by the tributary ones and the main body of the reservoir were verified and they are related with the geological characteristic of each sub-basin.

INTRODUÇÃO

O estudo de reservatórios no Brasil é recente, porém de grande importância, devido à riqueza dos recursos hídricos e potencial para uso hidrelétrico dos cursos de água. O primeiro estudo mais consistente de represas no Brasil foi realizado na Represa de Santo Amaro (SP) por Kleerekoper (1939). Anteriormente apenas haviam sido feitos estudos em açudes no Nordeste. Segundo Henry (1999) a limnologia contemporânea de reservatórios iniciou-se na década de 1970. Vale destacar que, entre os seis países do mundo de dimensões continentais, o Brasil é o único que se encontra em condições dominantes de clima tropical úmido, resultando na maior descarga de água doce, distribuída numa rede hidrográfica perene das mais extensas e densas (Rebouças *et al.*, 1999). O setor elétrico nacional é o responsável por grandes alterações ocorridas em curto prazo no meio ambiente, pelo represamento de rios (Braga, 2000). Os 154 maiores reservatórios do país cobrem uma área de 18.970 km², conferindo-lhes o “status” de ecossistemas lacustres mais representativos do Brasil (ESTEVES *et al.*, 1985), área esta subestimada, visto que após esse período, outros grandes reservatórios foram construídos no país, como o de Tucuruí (PA), de Itá (RS-SC), de Segredo (PR) entre outros.

A implementação de reservatórios para diversos fins implica em transformações marcantes na estrutura e funcionamento do ecossistema original, tanto na área inundada como nos trechos do rio a montante e a jusante do reservatório (Junk & Nunes de Mello, 1987). As alterações geradas pela construção de barragens influenciam tanto o ambiente físico e químico (De Fillipo *et al.*, 1999) como as comunidades biológicas (Xavier, 1993; Brandimarte *et al.*, 1999; Landa & Mourgués-Schurter, 2000). As alterações se dão pela substituição da organização horizontal de rios por outra intermediária entre rios e lagos, na qual a assimetria é um elemento importante da cauda do reservatório à barragem (Margalef, 1984). Esse fato, associado à forma dendrítica do relevo da área alagada pelos reservatórios, bem como ao padrão dinâmico, conferem ao sistema grande complexidade devido à formação de diversas fronteiras (compartimentalização) e às rápidas mudanças, resultando em alta variabilidade espacial e temporal (Tundisi, 1999).

Segundo Thomaz *et al.* (1997), a construção de uma barragem implica no imediato aumento do tempo de residência da água do antigo ecossistema lótico. Essa transformação inicial seria a principal responsável por uma série de alterações nas características limnológicas observadas nas áreas represadas e a jusante das mesmas. Dentre os fatores que mais se alteram, podem ser citados o comportamento térmico da coluna de água, os padrões de sedimentação, a circulação das massas de água, a dinâmica dos gases, a ciclagem de nutrientes e a estrutura das comunidades aquáticas.

As alterações mais marcantes que se dão, em função do aumento do tempo de residência, são a formação de termoclina durante o período de estagnação das águas, caracterizando a estratificação vertical à semelhança de lagos (Schäfer, 1985) e o gradiente longitudinal, em função do qual se estabelece a zonação de reservatórios (Tundizi, 1999). Um outro aspecto importante é a formação de remansos que se diferenciam do eixo principal do reservatório pelo tempo de residência ainda maior, como resultado dos padrões morfométricos do corpo de água (Espíndola, 2000), os quais refletem as características de cada sub-bacia.

Objetivando avaliar algumas transformações que presumivelmente ocorrem no sistema devido à construção e operação de uma represa, um programa de amostragens e análises foi conduzido. Foram utilizados resultados disponibilizados pelo Consórcio Dona Francisca, referentes ao Programa de Monitoramento da Qualidade da Água Superficial (Plano Básico Ambiental), englobando o período de um ano da fase de construção da barragem e um ano correspondendo aos períodos da fase de enchimento e de estabilização do reservatório (pós-enchimento).

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A barragem da Usina Hidrelétrica Dona Francisca (UHDF) foi construída sobre a calha do Rio Jacuí (RS), a jusante da Usina Hidrelétrica Itaúba, entre os municípios de Dona Francisca, na margem direita, e de Agudo, na margem esquerda (Fig. 1).

A bacia de drenagem abrange uma área de 13.200 km², sendo a área superficial do reservatório de 19,0 km². Destes, 5,63 km² correspondem à área original do leito do rio, e 13,37 km² correspondem às terras inundadas. O volume total do reservatório a uma cota de 94,5 m é de 335 x 10⁶ m³ ou 0,335 km³. A tomada de água é composta por duas turbinas. Cada uma possui vazão igual a 182 m³/s. A soleira da tomada de água localiza-se a uma profundidade de 16,5 m. A profundidade do reservatório na barragem é de 43,5 m. O vertedouro de superfície possui vazão máxima, segundo o projeto, de 12.600 m³/s. As estações de amostragem foram locadas por GPS, descritas por coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator), conforme fig. 1 e a lista abaixo:

ATBIØ:	6.759.135 N, 282.700 E (rio Jacuí a jusante da UH Itaúba)
ATDF1:	6.755.700 N, 283.390 E (trecho do rio Jacuí)
ATDF2:	6.748.490 N, 284.625 E (trecho do rio Jacuí)
ATDF3:	6.744.800 N, 283.580 E (trecho do rio Jacuí)
ATDF4:	6.739.650 N, 279.270 E (trecho do rio Jacuí)
ATDF5:	6.737.450 N, 278.500 E (trecho do rio Jacuí)
AD1:	6.759.255 N, 281.600 E (rio Ferreira, afluente margem direita)
ATJZ1:	6.750.900 N, 284.680 E (foz do rio Jacuizinho)
AE1:	6.746.900 N, 284.280 E (Arroio da Gringa, margem esquerda),

As seis primeiras estações listadas correspondem às estações amostrais localizadas no eixo principal do rio Jacuí e as três últimas a três tributários (arroio Ferreira, rio Jacuizinho e Lajeado da Gringa).

Amostragem

Com relação ao tempo, o experimento foi dividido em duas fases de amostragem: (1) Antes da Formação do Lago (AFR) e (2) Depois da Formação do Lago (DFR), compreendendo um ano antes e um ano depois do fechamento da represa, totalizando 2 (dois) anos de coletas. Cada fase correspondeu a quatro períodos de amostragem, compreendendo oito períodos de coleta no total,

como segue: dezembro de 1999, fevereiro de 2000, junho de 2000, e outubro de 2000 em AFR; e dezembro de 2000, março de 2001, julho de 2001, e outubro de 2001 em DFR.

As coletas foram feitas sempre durante o dia. Os parâmetros temperatura, oxigênio dissolvido (O_2), condutividade elétrica, pH e transparência Secchi foram medidos em campo, usando os seguintes aparelhos: oxímetro YSI para oxigênio dissolvido e temperatura, condutivímetro WTW, pHmetro WTW e disco de Secchi, respectivamente.

Amostras de água superficial foram coletadas para análise dos parâmetros limnológicos em laboratório, os quais compreendem: acidez, alcalinidade, dureza, sólidos suspensos, dissolvidos e totais, turbidez, alumínio, cálcio, cobre, ferro, manganês, magnésio, potássio, sódio, cloretos, sulfato, nitrogênio total, nitrato, nitrogênio amoniacal, nitrogênio orgânico, demanda biológica de oxigênio (DBO_5), demanda química de oxigênio (DQO) e leitura da absorbância de radiação ultravioleta a 254 nm (UV). As análises mencionadas acima seguiram os métodos descritos no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, 1989).

Análise estatística

Para a análise estatística foi utilizada estatística descritiva como o uso de tabelas e histogramas de barras para ilustrar os gradientes espaciais e temporais. Foi calculada a correlação entre sólidos dissolvidos, sólidos suspensos e sólidos totais. Também foi calculada a variância para comparar as duas fases do experimento para alcalinidade, ferro e manganês.

Para testar o contraste entre as duas fases do experimento foi feito um teste de aleatorização com os dados centralizados e normalizados. Foram feitas 1000 iterações usando como critério a soma dos quadrados e um nível de confiança de 95 % ($\alpha = 0.05$).

RESULTADOS

O teste de aleatorização indicou contraste entre as fases AFR e DFR com probabilidade $P = 0,001$.

A temperatura aumentou após a formação do reservatório em todas estações amostrais, exceto na estação AE1 (Fig. 2). As estações AD1 e AE1 apresentaram menores valores do que as estações localizadas no corpo principal do reservatório. A fase DFR apresentou menores

concentrações de O₂ do que a fase AFR, em quase todas as estações amostrais, exceto nas estações AD1, AE1 e ATDF5, onde houve aumento e foram registradas as maiores concentrações, principalmente na fase DFR (Fig. 2).

A condutividade elétrica aumentou após a formação do reservatório em todas as estações amostrais (Fig. 2). A estação AE1 destacou-se pelos maiores valores de condutividade elétrica nas duas fases e menor diferença entre as duas fases. O pH, por sua vez, aumentou após a formação do reservatório em quase todas as estações amostrais, exceto na estação ATDF3 (Fig. 2). A alcalinidade aumentou em quase todas estações amostrais, exceto na estação AE1 (Fig. 2). Ainda para a alcalinidade, as estações AD1 e ATJZ1 apresentaram menores valores em relação às demais estações nas duas fases. A acidez, por sua vez, aumentou consideravelmente após a formação do lago em todas estações amostrais (Fig. 2).

A transparência aumentou após a formação do reservatório em todas as estações amostrais (Fig. 3). AD1 e AE1 não apresentam resultados para a fase AFR devido à baixa profundidade nessa fase, sendo menor do que a transparência. As estações ATJZ1 e especialmente AE1 apresentaram os menores valores de transparência após a formação do reservatório. A turbidez, por sua vez, diminuiu após a formação reservatório (Fig. 3). Nas estações ATJZ1 e AE1 a queda nos valores de turbidez foi menor, acompanhando as tendências da transparência. Assim como a turbidez, a absorvância da radiação UV também diminuiu em todas as estações amostrais (Fig. 3). As estações ATJZ1 e AE1 destacaram-se pelos maiores valores nas duas fases. Na fase DFR, houve nítida diferenciação entre os valores registrados para o corpo principal (valores mais baixos) e para as demais estações amostrais (valores mais altos).

Com relação aos sólidos dissolvidos, ocorreu aumento da concentração após a formação do reservatório em quase todas as estações amostrais, exceto nas estações ATDF2 e AD1 (Fig. 3). Ao contrário dos sólidos dissolvido, os sólidos suspensos diminuíram após a formação do reservatório, principalmente na estação ATDF3, a qual destacou-se pela grande concentração na fase AFR (Fig. 3). Os sólidos totais apresentaram comportamento semelhante aos suspensos (Fig. 3).

A DBO₅ apresentou pequena diminuição após a formação do reservatório em quase todas as estações amostrais, exceto nas estações ATJZ1, AE1 e ATDF4, onde foi registrado aumento (Fig.

3). Já a DQO aumentou após a formação do reservatório em quase todas as estações amostrais, exceto na estação ATBiØ. A Estação ATDF5 destaca-se pelo grande aumento (Fig. 3).

O nitrato apresentou aumento considerável com a formação do reservatório (Fig. 3).

A variável cálcio aumentou com a formação do reservatório na maioria das estações amostrais, exceto nas estações AD1, ATDF1 e ATJZ1 (Fig. 4). A estação AE1 destacou-se das demais estações pela maior concentração de cálcio nas duas fases, enquanto que as estações AD1 e ATJZ1 apresentaram os menores valores nas duas fases. O sódio, por sua vez, apresentou diminuição em todas estações amostrais, apesar de pequena na maioria delas (Fig. 4). Também ocorreu diminuição da concentração de potássio em quase todas estações amostrais, exceto nas estações ATBiØ, AE1 e ATDF5 (Fig. 4). Tanto o potássio como o sódio apresentaram maiores concentrações nas estações AD1, ATJZ1 e principalmente AE1 nas duas fases.

Os resultados de ferro revelam diminuição em quase todas estações amostrais, exceto em ATBiØ, AE1 e ATDF5, como o potássio (Fig. 4). A estação AE1 apresentou grande concentração de ferro na fase DFR destacando-se dos demais valores. A concentração do manganês também diminuiu em quase todas estações amostrais, exceto nas estações ATJZ1, AE1 e ATDF5 (Fig. 4). A concentração de alumínio (Fig. 4) aumentou na maioria das estações amostrais, apesar do aumento ser pequeno, exceto nas estações ATDF1, ATDF3 e ATDF4. As estações ATJZ1, AE1 e ATDF5 destacam-se pelos maiores valores nas duas fases, no caso de ATJZ1, e na fase DFR, no caso de AE1 e ATDF5. A estação AE1 destaca-se das demais. O cobre diminuiu após a formação do reservatório (Fig. 4). A maior diferença foi registrada nas estações ATDF3 e ATDF4, e a estação ATDF5 foi a única que apresentou pequeno aumento.

As três formas de nitrogênio estudadas além do nitrato (nitrogênio amoniacal, orgânico e total) não apresentaram tendência em relação às duas fases (Fig. 5). Porém as formas de nitrogênio orgânico e total na estação ATDF5 apresentaram altas concentrações na fase DFR.

A dureza apresentou tendência à diminuição após a formação do reservatório, a não ser pelas estações ATDF1 e ATDF3 onde ocorreu um pequeno aumento (Fig. 2).

A concentração de cloretos diminuiu em quase todas as estações amostrais, exceto em ATBiØ (Fig. 2). A estação ATDF4 apresentou valores nas duas fases próximos entre si, e AE1

destacou-se pela maior concentração nas duas fases. A concentração de sulfatos também diminuiu em quase todas as estações amostrais após a formação do reservatório, exceto na estação ATDF2 (Fig. 2). ATDF5 apresentou valores muito próximos para as duas fases.

DISCUSSÃO

Os resultados de temperatura indicam que o aumento do tempo de residência e do volume do corpo de água podem estar influenciando a capacidade de retenção de calor do corpo de água. Isso é reforçado pelo fato de as estações AD1 e AE1, localizadas no rio Ferreira e no Arroio da Gringa, respectivamente, as quais apresentaram menores temperaturas, correspondem a corpos de água com volume bem menor do que os demais formadores do reservatório. O oxigênio também respondeu diretamente às mudanças de volume e tempo de residência. As estações AD1, AE1 e ATDF5 foram as únicas que conservaram características lólicas marcantes, por isso não apresentaram diminuição da concentração de oxigênio.

Já o aumento da condutividade pode estar sendo causado pela decomposição da vegetação submersa, a qual representa um incremento de biomassa disponível. A diferença registrada para a estação AE1 pode estar relacionada com a maior atividade decompositora no local, resultando em maior liberação de íons na coluna de água, ou, de acordo com Dabés *et al.* (1990), com a presença de efluentes orgânicos. Assim como a condutividade elétrica, a maior concentração de cloretos na estação AE1 pode estar relacionada com a maior carga orgânica do Arroio da Gringa. A maior presença de cloretos nessa estação também pode estar relacionada ao aporte de esgoto doméstico (Schäfer, 1985). Portanto, este tributário caracteriza-se por apresentar maior carga orgânica, provavelmente devido à atividade antrópica, sofrendo pouca influência da formação do reservatório.

No que diz respeito às variáveis cloretos e sulfatos, Schäfer (1985) menciona que há proporcionalidade entre elas e a condutividade. Porém, o aumento da condutividade constatado no presente estudo não foi acompanhado pelos resultados de cloretos e sulfatos. Isso reforça a hipótese da influência da decomposição da vegetação submersa.

O aumento da acidez pode estar sendo influenciado pelo processo de decomposição da vegetação submersa, uma vez que a mineralização da matéria orgânica tem como resultado final a formação de substâncias húmicas (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e ácidos orgânicos de menor peso molecular (VER COM DÉBORA DICK). O aumento do pH foi pequeno, mantendo-se próximo do

neutro. Os resultados de pH não concordam com os de acidez em primeira análise. Entretanto, enquanto a acidez está relacionada com a carga de íons hidrogênio, o pH é influenciado por diversos íons além do hidrogênio, podendo estar sendo influenciado pelo aumento da alcalinidade, o que está de acordo com os resultados de Dabés *et al.* (1990). Todavia, o pequeno aumento constatado na maioria das estações pode ser explicado pelo fato de as coletas terem sido feitas durante o dia, e com o aumento da zona eufótica a produção fitoplanctônica pode ter provocado o aumento do pH pelo consumo de CO₂. Thomaz *et al.* (1997) registraram para o pH também foi diferente porque para Dona Francisca não houve gradientes espaciais, enquanto no reservatório de Segredo foi registrado aumento para essa variável no sentido rio-barragem.

O aumento da alcalinidade, por sua vez, pode estar relacionado com o acúmulo de sólidos dissolvidos após a formação do reservatório. A diferença em relação à alcalinidade registrada para as estações AD1, ATJZ1 e AE1 reflete as diferenças das características de cada sub-bacia correspondente, como já observado para a condutividade elétrica.

O maior tempo de residência da água proporcionana a decantação de materiais e, portanto, causou o aumento da transparência e a diminuição da turbidez. As diferenças encontradas nas estações ATJZ1 e AE1 devem-se, provavelmente, à maior carga de substâncias minerais, no caso de ATJZ1, e orgânica, no caso de AE1, dissolvidas. Tal afirmação, no que diz respeito à estação AE1, é reforçada pelos resultados de condutividade elétrica, alcalinidade e cloretos. Os resultados de UV estão de acordo com a análise feita para a transparência e para a turbidez.

Com relação aos sólidos dissolvidos, é provável que o aumento após a formação do reservatório se deve a um efeito cumulativo devido ao aumento do tempo de residência. Assim sendo, o material arrastado dos solos circundantes pelas chuvas permanecerá no reservatório por mais tempo propiciando o acúmulo. A maior diferença entre as dias fases (AFR e DFR) registrada na estação ATDF4 reforça essa hipótese. O aumento do tempo de residência também causou a diminuição da concentração de sólidos suspensos na coluna de água. A menor força de transporte deve ter proporcionado a decantação do material suspenso, o que está de acordo com a análise das variáveis transparência, turbidez e UV. As diferenças registradas para transparência, turbidez e UV em relação às estações AE1 e ATJZ1 não foram registradas para os sólidos suspensos. O fato deve-se provavelmente ao tipo de substância que aporta no corpo hídrico em cada sub-bacia.

Os resultados de sólidos totais demonstram que os sólidos suspensas têm importância relativa maior para a carga total de sólidos do que os sólidos dissolvidos. Provavelmente a diminuição dos sólidos suspensos causou o aumento da transparência e a diminuição da turbidez e da absorvância de UV.

A diminuição da DBO_5 foi pequena, porém esperava-se um aumento pelo aporte que representa a submersão da vegetação das áreas inundadas pela formação do reservatório. Por outro lado, a DBO_5 é um variável dependente do metabolismo biológico e, portanto, responde às mudanças ambientais de forma complexa e não linear, sendo, assim como o pH, de difícil interpretação (em menor escala).

O aumento da DQO se deve à matéria orgânica liberada na coluna de água pela decomposição da vegetação submersa. O auto valor registrado na estação ATBiØ na fase AFR se deve provavelmente à influência da tomada de água de Itaúba. O mesmo pode estar acontecendo na estação ATDF5, a qual pode estar sendo influenciada pela descarga de Dona Francisca. O aumento da temperatura média e a maior disponibilidade de matéria orgânica podem favorecer a atividade de microorganismos decompositores, levando a um aumento da carga orgânica mineralizada na coluna de água. O que explicaria em parte o aumento dos sólidos dissolvidos. Esta explicação está de acordo com os resultados obtidos por Esteves (1983) para reservatórios localizados nas principais bacias hidrográficas de São Paulo (Rio Grande, Rio Tietê, Rio Paranapanema, Rio Pardo e Rio Paraná), onde o autor registrou baixa quantidade de matéria orgânica no sedimento, o que estaria associada às altas taxas de atividade microbiana (reciclagem) em função das altas temperaturas.

A concentração de nitrato aumentou, corroborando para a hipótese da influência da decomposição da vegetação submersa nas características da água, concordando com os resultados das variáveis condutividade elétrica, acidez, cloretos, DQO e sólidos dissolvidos. O nitrato, segundo Kleerekoper (1939), deve ser considerado principalmente como produto da mineralização de matéria orgânica e, de acordo com Margalef (1986) é a forma de nitrogênio mais abundante na água.

A concentração de cálcio aumentou após a formação do reservatório, e pode estar relacionado com o aumento da concentração de sólidos dissolvidos. Parte desses sólidos provavelmente são minerais ou resíduo de insumos agrícolas lixiviados dos solos adjacentes. As

maiores concentrações de cálcio na estação AE1 e menores nas estações AD1 e ATJZ1 se devem provavelmente a diferenças nas características e usos dos solos de cada sub-bacia, concordando com os resultados de outras variáveis já analisadas, tais como transparência, turbidez e UV. Apesar do aumento do cálcio, a dureza diminuiu, indicando que outros compostos sem cálcio podem influenciar mais esta variável.

Assim como as variáveis mencionadas acima, os resultados de sódio e potássio, bem como a alcalinidade e o cálcio, indicam que as sub-bacias dos dos tributários: rio Ferreira (AD1), rio Jacuizinho (ATJZ1) e principalmente Arroio da Gringa (AE1) apresenta diferenças comparada com as demais. Duas hipóteses podem explicar o que ocorreu: Pode estar ocorrendo a complexação e retenção do sódio e do potássio no reservatório; ou o consumo devido ao intenso metabolismo microbiano devido à grande disponibilidade de matéria orgânica em função da submersão da vegetação da área inundada.

As diferenças entre o corpo principal do reservatório e os braços formados pelos tributários, se devem à forma dendrítica do relevo, o que é evidenciado por diferenças em parâmetros que dependem dos aspectos geológicos e de uso e ocupação dos solos nas áreas das sub-bacias de cada tributários. Diferenças entre remansos e corpo principal relacionada com as características de sub-bacias de tributários foram constatadas por Olvera *et al.* (1998), no reservatório de Valle de Bravo (Cidade do México), e Maizonave *et al.* (2000), no reservatório da Lomba do Sabão (Porto Alegre/Viamão, RS).

A retenção do ferro em reservatórios é fato comprovado e confirma-se em Dona Francisca pela diminuição após a formação do reservatório. A retenção do ferro também é reforçada pelo fato de que as estações amostrais ATBiØ e AE1 não apresentaram diminuição, o que ocorre porque são locais onde as características de ambiente lótico foram mantidas apesar do aumento da profundidade. É provável que também esteja ocorrendo a retenção do manganês. A diferença nos valores de ferro e manganês registrada para a estação AE1 reforça as diferenças registradas para essa estação. O aumento da concentrações de ferro e manganês após a formação do reservatório na estação ATDF5 deve-se ao fato de ser a única localizada a jusante do reservatório e sofrer influência da altura da tomada de água.

Com relação ao cobre é provável que esteja ocorrendo a precipitação como o ferro e o manganês. Isso justificaria as maiores diferenças na região lacustre do reservatório. O aumento do cobre na estação ATDF5, semelhante ao ferro e o manganês, explica-se pela localização da tomada de água em profundidade intermediária. Esses metais nessa profundidade seriam mais concentrados caso seja verdadeira a hipótese da precipitação.

As diferenças entre ATJZ1 e AE1 e as demais estações amostrais registrada para a variável alumínio se devem provavelmente às diferenças entre as características das sub-bacias.

Com relação às formas nitrogenadas (nitrogênio amoniacal, orgânico e total), o fato de não corresponderem a nenhuma tendência se deve à influência do metabolismo biológico no balanço de nitrogênio no ambiente. Portanto, responde de forma não linear, como a DBO_5 , devido à complexidade da rede de relações que determinam o metabolismo biológico. As altas concentrações de nitrogênio orgânico e total após a formação do reservatório na estação ATDF5 pode estar relacionada à liberação desses compostos a partir da decomposição da vegetação submersa, o que se justificaria pela influência da tomada de água em profundidade intermediária, sendo mais próxima da profundidade onde ocorre a decomposição, e conseqüentemente a liberação dessas substâncias.

As variáveis DBO_5 , nitrogênio amoniacal, nitrogênio orgânico e nitrogênio total apresentaram comportamento variado ao longo do tempo e do espaço. Isso resulta provavelmente do fato de serem variáveis relacionadas com o metabolismo do ecossistema, e as respostas aparentemente irregulares dessas variáveis tanto no espaço como no tempo refletem a complexidade das relações ecológicas. Estudos em diferentes escalas devem ser conduzidos para a compreensão do comportamento dessas variáveis.

Conclusões

Os resultados das variáveis medidas, com base nas médias para cada fase indicam aumento de temperatura, condutividade elétrica, transparência, sólidos dissolvidos, pH, alcalinidade, acidez, DQO e nitrato, após a formação do reservatório. Para as variáveis O_2 , turbidez, UV-254 nm, sólidos totais, sólidos suspensos, dureza e DBO_5 os resultados indicam diminuição após a formação do reservatório.

O maior tempo de residência propiciou o acúmulo de sólidos dissolvidos na coluna de água e a sedimentação de sólidos suspensos após a formação do reservatório. A redução de sólidos suspensos pode estar influenciando os resultados das variáveis transparência, turbidez UV no corpo principal do reservatório, sendo do menor importância nos braços correspondentes às estações AE1 e ATJZ1.

O aumento da condutividade elétrica, da acidez, da DQO e da concentração de nitrato deve-se ao incremento de matéria orgânica para decomposição, em função da submersão da vegetação das áreas inundadas, enquanto que a elevação da alcalinidade pode estar ligada ao aumento de sólidos dissolvidos como um incremento de minerais que podem influenciar nessas variáveis, como carbonatos e bicarbonatos.

As mudanças que ocorrem da AFR para a fase DFR não ocorrem para todas as variáveis em todas as estações. Na maioria dos casos, as estações que não acompanham as tendências observadas para o corpo principal do reservatório são aquelas correspondentes aos tributários (AD1, ATJZ1 e AE1), à descarga de Itaúba (ATBiØ) ou ao rio Jacuí logo a jusante da barragem de Dona Francisca (ATDF5), como no caso das variáveis temperatura, DQO, O₂, ferro, alumínio, cálcio, sódio, potássio, transparência, turbidez e UV. As diferenças registradas entre o corpo principal do reservatório e as demais estações estão relacionadas com características de cada sub-bacia, como no caso de ATJZ1, a qual apesar de apresentar características lânticas diferencia-se do corpo principal, como foi visto para a turbidez e transparência.

No caso das demais estações localizadas fora do corpo principal do reservatório, avaliadas principalmente a partir das variáveis alcalinidade, cálcio, sódio e potássio dentre outras, o fato de continuarem apresentando características lânticas explicaria as principais diferenças após a formação do reservatório. Por outro lado, as estações correspondentes à descarga de Itaúba e de Dona Francisca (ATBiØ e ATDF5, respectivamente) respondem aos processos de precipitação de substâncias na zona lacustre devido à altura da tomada de água das represas de Itaúba e Dona Francisca.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela concessão da Bolsa de Estudos. Ao Consórcio Dona Francisca pela disponibilização dos resultados das medidas de campo. À Companhia Estadual de Energia Elétrica

(CEEE) pelo fornecimento de dados importantes para a descrição e contextualização do Reservatório de Dona Francisca, como mapas e informações técnicas do empreendimento. Aos engenheiros e técnicos da CEEE, coordenadores e assessores do Plano Ambiental Básico (PBA) do empreendimento, especialmente Eng. Luis Airton Ferret, Arq. Maria Lúcia Mandelli Guaragna, Eng. Maria Aparecida Loss, Eng. Paulo Blessmann e Eng. Luiz Antônio Leão, pela colaboração em inúmeras situações, amizade e atitude profissional em todos os momentos do trabalho. A todos que contribuíram com os trabalhos de campo: Eudimar Nascimento, Marco Antônio Barreto de Almeida, Ronaldo dos Santos Padilha, Carlos Eduardo Güntzel, Catarina Pedrozo, Nelson Augusto Flores Machado, Carina Michele Saraiva Portela, Linda Naura Macedo Silva, Flávia Montagner, Marcos Vinícius Daruy. Aos pesquisadores Heinrich Hasenack, por ceder as cartas geográficas para a confecção dos mapas, e Valério De Pata Pillar pelos esclarecimentos sobre os métodos multivariados.

BIBLIOGRAFIA

- APHA, AWWA and WPCF. 1989. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 17^a ed. Washington: American Public Health Association.
- Braga, F. M. de S. 2000. Biologia e pesca de *Pimelodus maculatus* (Siluriformes, Pimelodidae), no reservatório de Volta Grande, Rio Grande (MG-SP). *Acta Limnol. Bras.*, 12 : 1-14.
- Brandimarte, A. L., Anaya, M. & Shimizu, G. Y. 1999. Comunidades de Invertebrados bentônicos nas fazes pré-e-pós enchimento em reservatórios: Um estudo de caso no reservatório de aproveitamento múltiplo do rio Mogi-Guaçu (SP). In: Henry, R. (ed.) *Ecologia de Reservatpórios. Estrutura, função e aspectos sociais. FUNDIBIO – FAPESP, Botucatu. 800p.*
- Dabés, M. B. G. S., França, R. C., Gomes, M. C. S., Junqueira, M. V., Rolla, M. E. & Rosa, S. G. 1990. Caracterização limnológica da Represa de Pontal, Itabira (MG). *Acta Limnol. Brasil.*, iii: 173-199.
- De Fillipo, R., Gomes, E. L., Lenz-César, J., Soares, C. B. P. & Menezes, C. F. S. 1999. As alterações na qualidade da água durante o enchimento do reservatório de UHE Serra da Mesa – GO. In: Henry, R. (ed.) *Ecologia de Reservatpórios. Estrutura, função e aspectos sociais. FUNDIBIO – FAPESP, Botucatu. 800p.*
- Espíndola, E. L. G., Matsumura-Tundisi, T., Rietzler, A. C. & Tundisi, J. G. 2000. Spacial heterogeneity of the Tucuruí Reservoir (State of Pará, Amazônia, Brasil) and the distribution of zooplanktoni species. (Editora, páginas: pedir para Ana)
- Esteves, F. A. 1983. Levels of phosphate, calcium, magnesium and organic matter in the sediments of some Braziliam reservoirs and implications for the metabolism of the ecosystems. *Arch. Hydrobiol.*, 96(2): 129-138.

- Júlio Jr., H. F., Bonecker, C. C. & Agostinho, A. A. 1999. Reservatório de Segredo e sua inserção na bacia do rio Iguaçu. In: Agostinho, A. A. & Gomes. Reservatório de Segredo: bases ecológicas para o manejo. EDUEM, Maringá, 387p.
- Junk, W. J. & Nunes de Mello, J. A. S. 1987. Impactos ecológicos das represas hidrelétricas na bacia amazônica brasileira. *Tübinger Geographische Studien*, 95 : 367-385.
- Kleerekoper, H. 1939. Estudo limnológico da represa de Santo Amaro em São Paulo. *B. Fac. Fil. Ci. Let. USP, Botânica*, 2: 9-151.
- Landa, G. G. & Mourgués-Schurter, L. R. 2000. Composição e dinâmica do zooplâncton de duas represas do Campus da Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, Brasil. *Acta Limnol. Bras.*, 12 : 29-43.
- Maizonave, C. R. M., Morandi, I. C., Soares, P. R. & Junqueira, I. C. 2000. Reservatório da Lomba do Sabão: Qualidade da água e problemas operacionais no tratamento. *Ecos Pesquisa*. V. 3: p. 1-25.
- Margalef, R. 1984. *Limnologia*. Barcelona, Omega, 1010p.
- Margalef, R. 1986. *Ecologia*. Ediciones Omega, Barcelona, 951p.
- Olvera, V. V., Bravo, L. I. & Sánchez, J. C. 1998. Aquatic ecology and management in Valle de Bravo reservoir and its watershed. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, 1: 277-290.
- Rebouças, A.C., Braga, B. & Tundisi, J.G. 1999. *Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. Escrituras Editora, São Paulo, ... p.
- Schäfer, A. 1985. *Fundamentos de ecologia e biogeografia das águas continentais*. Editora da Universidade, UFRGS, Porto Alegre. 532p.
- Thomaz, S. M., Bini, L. M. & Alberti, S. M. 1997. Limnologia do reservatório de Segredo: padrões de variação espacial e temporal. In: Agostinho, A. A. & Gomes, L. C. Reservatório de Segredo: bases ecológicas para o manejo. EDUEM, Maringá, 387p.
- Tundisi, J. G. 1999. Reservatórios como sistemas complexos: Teoria, Aplicações e perspectivas para usos múltiplos. In: Henry, R. (ed.) *Ecologia de Reservatpórios*. Estrutura, função e aspectos sociais. FUNDIBIO – FAPESP, Botucatu. 800p.
- Xavier, M. B. 1993. Distribuição vertical de Euglenaceae pigmentadas do Rio Grande, Represa Billings, São Paulo, Brasil. *Acta Limnol. Brasil.*, VI: 11-30.

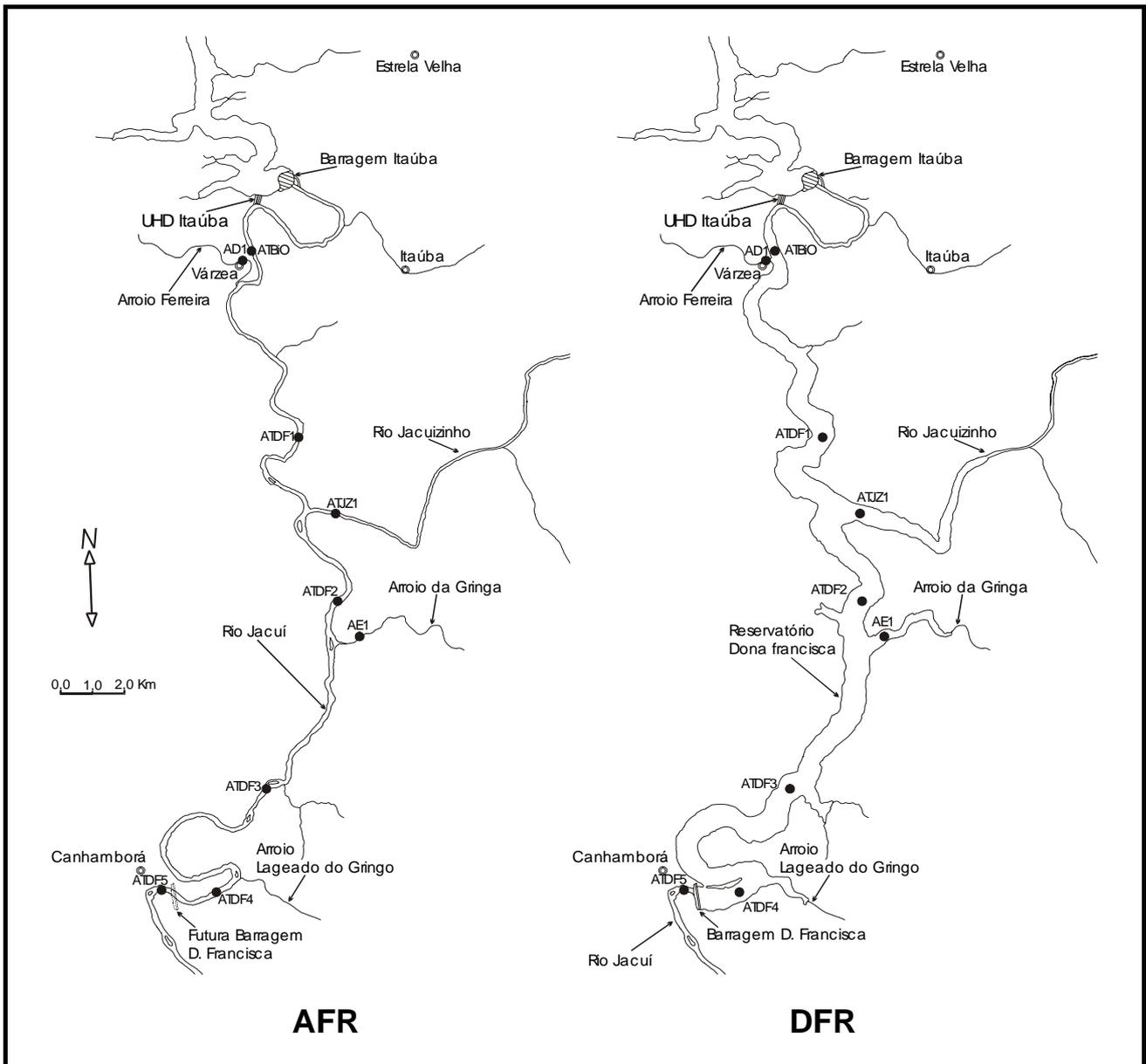


Figura 1. Reservatório Dona Francisca, com a localização das estações amostrais; (AFR) Antes da Formação do Reservatório e (DFR) Depois da Formação do Reservatório.

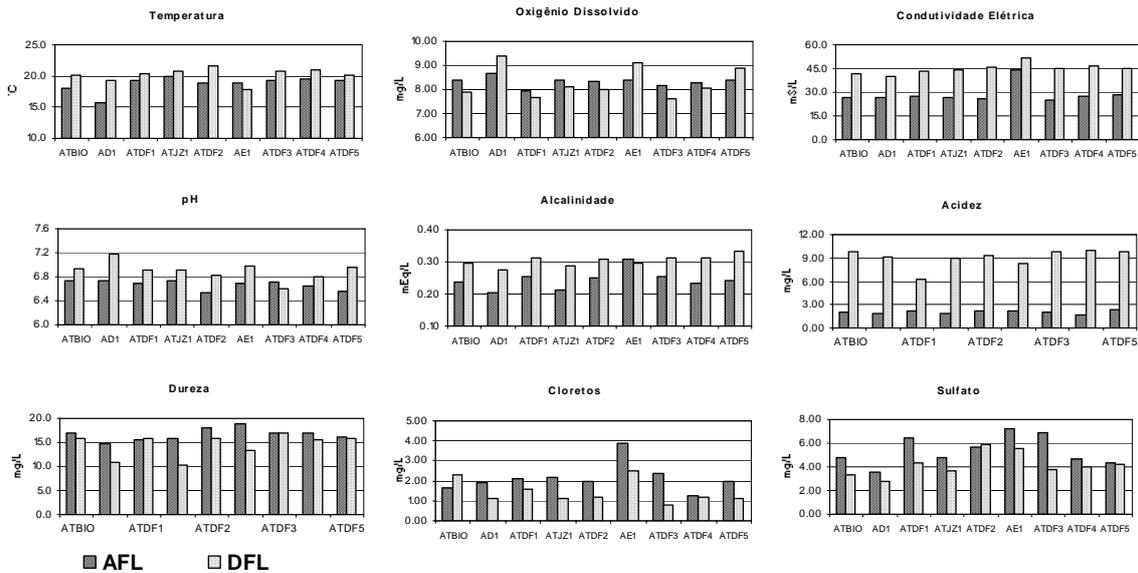


Figura 2. Médias para cada fase (AFR e DFR) das variáveis temperatura, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, pH, alcalinidade, acidez, dureza, cloretos e sulfatos para cada estação amostral. Barras escuras correspondentes à fase AFR, e barras claras correspondentes à fase DFR.

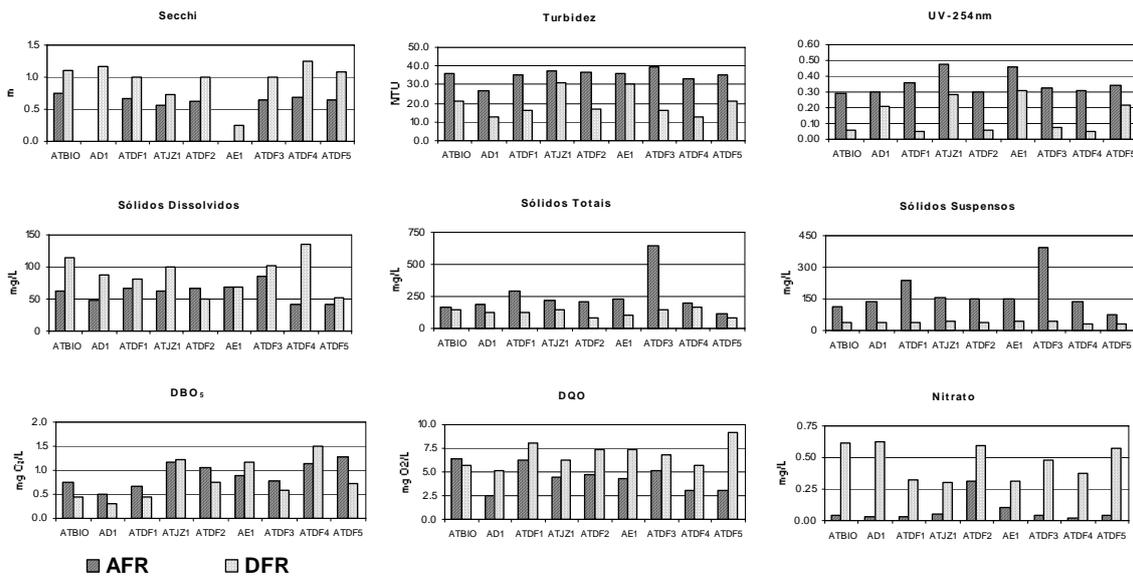


Figura 3. Médias para cada fase (AFR e DFR) das variáveis transparência (Secchi), turbidez, absorvância de radiação ultra-violeta (UV-254 nm), sólidos dissolvidos, sólidos suspensos, sólidos totais, demanda bioquímica de oxigênio após cinco dias (DBO₅), demanda química de oxigênio (DQO) e nitrato para cada estação amostral. Barras escuras correspondentes à fase AFR, e barras claras correspondentes à fase DFR.

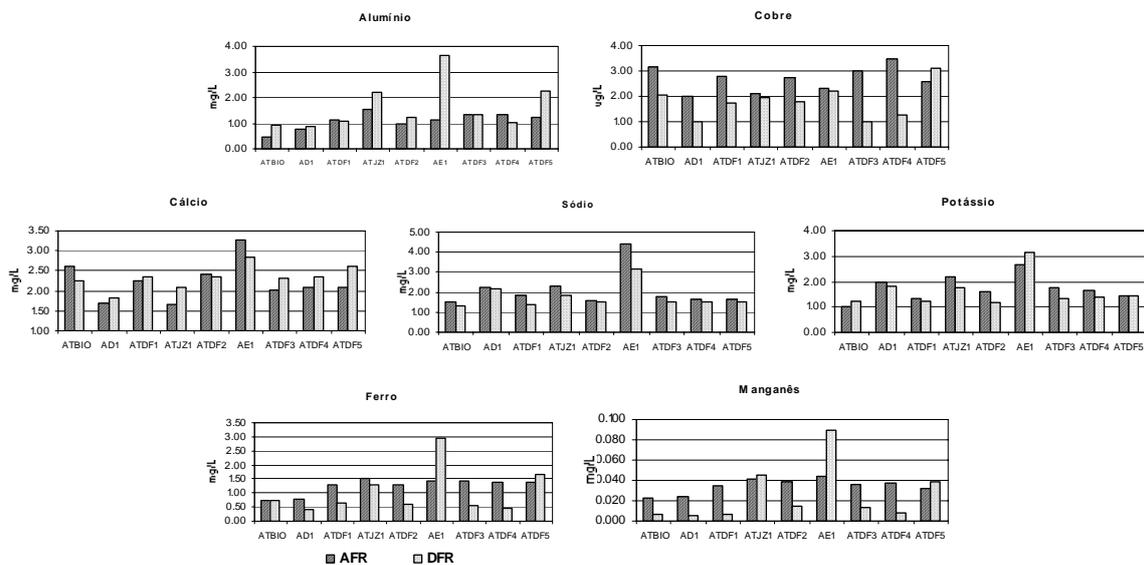


Figura 4. Médias para cada fase (AFR e DFR) das variáveis alumínio, cobre, cálcio, sódio, potássio, ferro e manganês para cada estação amostral. Barras escuras correspondentes à fase AFR, e barras claras correspondentes à fase DFR.

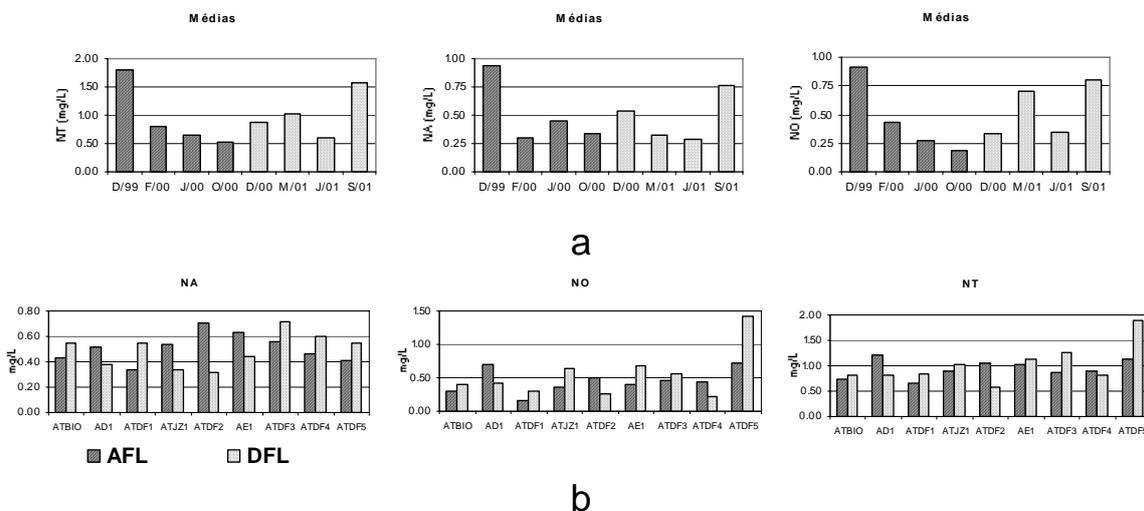


Figura 5. Médias das variáveis nitrogênio amoniacal (NA), nitrogênio orgânico (NO) e nitrogênio total (NT) para cada período (a) e para cada estação amostral das em cada fase (b).

Capítulo 4

Transformação rio-reservatório II: Importância da variação espacial e temporal com base na análise integrada de alguns gradientes ambientais no reservatório Dona Francisca (rio Jacuí, RS, Brasil).

Leon Maximiliano Rodrigues; Albano Schwarzbald

RESUMO: Transformação rio-reservatório II: Importância da variação espacial e temporal com base na análise integrada de alguns gradientes ambientais no reservatório Dona Francisca (rio Jacuí, RS, Brasil). Com o objetivo de avaliar a variabilidade espacial e temporal do ambiente aquático de um reservatório, uma análise integrada de alguns gradientes ambientais foi conduzida a partir da utilização de métodos estatísticos de ordenação e agrupamento. Dois grupos de dados foram analisados, correspondente a duas fases: fase antes da formação do reservatório (AFR) e fase depois da formação do reservatório (DFR), sendo um ano antes e um ano depois da formação do reservatório, respectivamente. Coletas sazonais foram conduzidas, completando um total de oito períodos amostrais, quatro para a fase AFR e quatro para a fase DFR. Os resultados das análises de agrupamento e ordenação mostraram que o maior tempo de residência e o maior volume estabelecidos com a formação do reservatório atuaram como fator de resistência às mudanças climáticas, tornando o sistema mais estável ao longo do tempo. Porém, heterogêneo espacialmente devido ao gradiente longitudinal avaliado a partir de variáveis como acidez, demanda química de oxigênio, ferro, dentre outras, e às diferenças entre os braços formados pelos tributários e o corpo principal do reservatório.

Palavras chave: Reservatório; Limnologia; Heterogeneidade espacial; Gradiente longitudinal; Compartimentalização.

ABSTRACT: Transformation river-reservoir II: Importance of the spatial and temporal variation based on the integrated analysis of some environmental gradients in the reservoir Dona Francisca (Jacuí River, RS, Brazil). With the objective of evaluating the spatial and temporal variation of the aquatic environment of a reservoir, an integrated analysis of some environmental gradients was driven starting from the use of statistical methods of ordination and cluster analysis. Two groups of data were analyzed, corresponding to two phases: phase before the

formation of the reservoir (AFR) and phase after the formation of the reservoir (DFR), being before one year and one year after the formation of the reservoir, respectively. Seasonal collections were driven, completing a total of eight sampling periods, four for the phase AFR and four for the phase DFR. The results of the cluster and ordination analysis showed that the largest time of residence and the largest volume established with the formation of the reservoir acted as resistance factor to the climatic changes, turning the stablest system along the time. Even so, spacially heterogeneous due to the longitudinal gradient evaluated starting from variables as acidity, chemistry oxygen demand, iron, among another, and to the differences among the arms formed by the tributary ones and the main body of the reservoir.

Key Words: Reservoir; Limnology; Spatial heterogeneity; Physical and chemical changes; Compartmentation.

INTRODUÇÃO

Estudos ecológicos produzem quantidades substanciais de informações contidas em extensos conjuntos de dados, geralmente de natureza multivariada (Podani, 2000). Isso ocorre porque os ecossistemas são caracterizados por apresentarem grande complexidade tanto estrutural como funcional. Além disso, o estudo desses sistemas deve levar em consideração não só a multiplicidade de fatores envolvidos, mas também a organização resultante das interações entre os diferentes fatores (Margaf, 1986). Para explicar a complexa trama de relações que se estabelece deve-se lançar mão da teoria de redes ecológicas (Tundisi, 1999). Essa teoria pressupõe que os diferentes componentes de um ecossistema estão inter-relacionados funcionalmente e, portanto, são interdependentes.

No caso de ecossistemas aquáticos continentais, a intensa dinâmica temporal dos gradientes ambientais produz um constante rearranjo dessa rede (Tundisi, 1999). E devido à compartimentalização resultante do gradiente longitudinal e vertical e da formação de remanços do reservatórios (Olvera *et al.*, 1998; Henry, 1999; Maizonave *et al.*, 2000; Schwarbold & Rodrigues, Cap. II dessa dissertação) a trama das relações dessa rede varia tanto no espaço como no tempo. A intensidade das alterações que ocorrem no ambiente ao longo do tempo devem repercutir no conjunto de indicadores ecológicos.

Diversos autores têm discutido aspectos da variação temporal (sazonalidade, estações seca e chuvosa, etc.) em ecossistemas de reservatórios. Porém, os padrões temporais têm sido estabelecidos através de análise direta e comparação dos gradientes em cada período (p. ex., Taylor, 1972; Kimmel & Lind, 1972; Dabés *et al.*, 1990; Santos & Henry, 1997; Viascán *et al.*, 1998, dentre outros). A análise direta dos gradientes ambientais pode dar informações sobre o tipo de alteração que se processa. Entretanto, a avaliação da importância das mudanças para a dinâmica e estrutura do ecossistema como um todo, levando em consideração o aspecto multivariado, deve se dar a partir de uma análise integrada dos gradientes ambientais. Para interpretar um conjunto de dados multidimensional é necessário lançar mão da estatística multivariada (Podani, 2000). Através da análise de agrupamento e/ou ordenação, dentre outras, é possível explorar aspectos da complexidade tanto espacial como temporal.

Entretanto, só recentemente alguns autores vêm discutindo métodos estatísticos aplicados análise de conjuntos de dados multivariados em limnologia, como por exemplo Bini & Dinis-Filho (1995) e Valentin (1995). E mais recentemente, tem-se empregado métodos estatísticos multivariados para avaliar a distribuição de comunidades de fitoplâncton e peixes no corpo do reservatório (Suzuki *et al.*, 1997; Falco & Calijuri, 2002), bem como a variação da estrutura de comunidades de peixes tanto do ponto de vista temporal como espacial (Bini *et al.*, 1997; Bechara *et al.*, 2000). Bini *et al.* (1997), estudando comunidades de peixes no reservatório de Segredo (Paraná), avalia as variações temporais e espaciais na abundância de peixes na pesca experimental do reservatório e compara com fatores ambientais.

O presente trabalho, por sua vez, buscou avaliar as variações espaciais e temporais das características físicas e químicas da coluna de água com base numa abordagem multivariada do que ocorreu antes e depois da formação do reservatório.

MATERIAL E MÉTODOS

A descrição da área de estudos e do delineamento amostral segue a metodologia descrita em Rodrigues & Schwarzbald (Capítulo 3 desse volume).

Análise estatística

Para a análise estatística foi utilizada estatística descritiva como o uso de tabelas e histogramas de barras para ilustrar os gradientes espaciais e temporais.

Para avaliar a ordenação das unidades amostrais e a importância de cada variável na ordenação foi feita uma Análise de Coordenadas Principais com os dados padronizados pela amplitude. O número de dimensões de ordenação significantes foi testado a partir do método baseado em auto-reamostragem (*bootstrap*) proposto por Pillar (1999a). Foi considerada correlação (positiva ou negativa) entre os descritores originais e eixos de ordenação valor superior a 0,5. Também foi conduzida uma análise de agrupamento, usando como critério a soma de quadrados. A nitidez de grupos foi testada usando o método baseado em auto-reamostragem (*bootstrap*) proposto por Pillar (1999b). Para a estatística multivariada foi usado o software para análise multivariada MULTIV (Pillar, 2001).

RESULTADOS

Análise de Gradientes

Os resultados de O₂, temperatura, acidez e sódio (Fig. 2) permitem separar cada fase em dois períodos, sendo um com valores menores de O₂ e acidez e maiores de temperatura e sódio (dezembro de 1999 e fevereiro de 2000 na fase AFR e dezembro de 2000 e março de 2001 na fase DFR), e outro período com maiores valores de O₂ e acidez e menores de temperatura e sódio (junho e outubro de 2000 na fase AFR e julho e setembro de 2001 na fase DFR). Uma tendência de aumento progressivo da acidez e DQO (Fig. 2) ocorreu especialmente na fase DFR.

Com relação à DBO₅ (Fig. 3), as estações localizadas nas regiões com características lacustres mais marcantes (ATDF3, ATDF4 e ATJZ1, segundo Shwarzbold & Rodrigues, nesse volume) apresentaram altos valores no período logo após o fechamento da barragem.

A alcalinidade apresentou maior estabilidade após a formação do reservatório indicada pelas seqüências temporais e pela variância em cada fase (Fig. 4 e Tab. 1). Essa estabilidade foi precedida por uma elevação logo após a formação do reservatório, em dezembro de 2000, baixando posteriormente e mantendo-se nos períodos seguintes.

Os sólidos suspensos apresentaram diminuição no sentido rio-barragem, repercutindo nos valores de sólidos totais (Fig. 5). A importância relativa das frações de sólido dissolvidos e suspensos (Fig. 6) demonstra uma diminuição da importância de sólidos suspensos em relação aos sólidos dissolvidos com a formação do reservatório. Na fase AFR os sólidos suspensos representavam a maior fração, já na fase DFR a maior fração foi de sólidos dissolvidos.

Algumas variáveis apresentaram aumento progressivo no sentido rio-barragem. No caso da condutividade elétrica e da temperatura (Fig. 7), o aumento foi expressivo com uma diminuição de ATDF4 para ATDF5. Tendência semelhante também foi constatada para a DQO (Fig. 7).

Outras variáveis apresentaram diminuição no mesmo sentido (rio-barragem). No caso da turbidez (Fig. 8) houve diminuição com certo aumento de ATDF4 para ATDF5. Já com relação a absorvância de radiação UV (Fig. 8), a diminuição se deu a partir da estação ATDF2 com aumento substancial de ATDF4 para ATDF5.

Com relação ao ferro, os resultados obtidos para dezembro de 2000 demonstram nitidamente uma diminuição no sentido rio-barragem (Fig. 9). Nos demais períodos, assim como em dezembro de 2000, a estação ATDF5 apresentou a maior concentração, o que não ocorreu na fase AFR. O manganês também apresentou tendência a maiores concentrações na estação ATDF5 na fase DFR, exceto no período de julho de 2001, em que ATDF5 foi superada apenas por ATDF2 (Fig. 10).

Análise Multivariada

A estatística multivariada para a fase AFR, baseada na análise de agrupamento, conduz à organização dessa fase em função tempo (Fig. 11a), com a separação de quatro grupos nítidos ($P = 0,02$) (Figura 11b). Cada grupo correspondeu ao conjunto de amostras de um período. Entretanto, a separação em dois grupos pode resultar em importante informação, contendo 59,2 % dessa informação. Nesse caso, um dos grupos correspondeu aos períodos de dezembro de 1999 e fevereiro de 2000, e outro aos períodos de junho e outubro de 2000. Esses grupos coincidem com a análise dos gradientes temporais de temperatura, O_2 , acidez e cálcio.

A análise de coordenadas principais para a fase AFR resultou em ordenação com três dimensões (eixos) significativas ($P = 0,4$) com base no teste de auto-reamostragem (Fig. 12a e b). Através da ordenação (PCA), em que se pode separar visualmente os quatro grupos formados na análise de agrupamento, o período de dezembro de 1999 deslocou-se dos outros períodos em função do primeiro eixo de ordenação, o qual apresentou maior correlação positiva com as variáveis turbidez, alcalinidade e sulfato, e maior correlação negativa com as variáveis pH, nitrogênio total, acidez DQO, nitrogênio amoniacal e cloretos.

O período de junho de 2000 deslocou-se dos demais períodos em função do segundo eixo de ordenação, o qual apresentou maior correlação positiva com as variáveis O_2 , transparência, dureza e manganês, e maior correlação negativa com as variáveis temperatura, UV-254nm e ferro. Fevereiro de 2000 deslocou-se dos demais períodos em função do terceiro eixo de ordenação, o qual apresentou maior correlação positiva com a acidez, e maior correlação negativa com as variáveis alcalinidade, dureza, cálcio, magnésio e sólidos dissolvidos.

A fase DFR, por sua vez, apresentou nitidez de até cinco grupos ($P = 0,04$) na análise de agrupamento (Fig. 13a e b), porém a separação em apenas dois grupos reúne 56,7 % da informação, sendo considerada adequada. Um grupo corresponde aos períodos de dezembro de 2000 e março de 2001, e o outro aos períodos de julho e setembro de 2001. A ordenação dos resultados dessa fase resultou em apenas um eixo significativo ($P = 0,2$) (Figuras 14a e b), o qual apresentou maior correlação positiva com as variáveis O_2 e acidez, e maior correlação negativa com as variáveis temperatura, alcalinidade, condutividade elétrica, sólidos suspensos, cálcio, magnésio e DQO.

Visualmente nota-se menor tendência a agregação dos grupos (períodos), principalmente em função do segundo eixo.

DISCUSSÃO

Análise de Gradientes

Os padrões temporal constatados para as variáveis temperatura, O₂, acidez e sódio se devem à influência das mudanças climáticas (sazonalidade). Isso constitui uma característica importante para a caracterização de reservatórios do sul do Brasil, uma vez que, no caso da região equatorial a variação ao longo do dia é mais importante do que a sazonalidade (Straškraba & Tundisi, 1999). Já o aumento da acidez e da DQO ao longo do tempo e principalmente após a formação do reservatório se deve à decomposição da vegetação submersa. A acidez está sendo influenciada pelo incremento de matéria orgânica além do regime climático, o que se deduz pelos maiores valores registrados após a formação do reservatório. O que comprova isso são os resultados de DQO, indicadora da concentração de substâncias orgânicas mais refratáveis (Schäfer, 1985), que apresentaram aumento semelhante.

A maior estabilidade da alcalinidade na fase DFR reflete a maior estabilidade do sistema em função das características lânticas comparadas com as de sistemas de fluxo contínuo.

Os altos valores de DBO₅ registrados para as estações ATDF3, ATDF4 e ATJZ1 após a formação do reservatório se devem à primeira fase de decomposição da vegetação submersa, caracterizada pela presença de material refratário de fácil decomposição (Junke & Nunes de Mello, 1987).

A diminuição do tempo de residência das águas do reservatório de Dona Francisca repercutiu diretamente sobre o balanço de sólidos. O aumento dos sólidos dissolvidos se deve ao aumento do tempo de residência que faz com que materiais lixiviados de áreas adjacentes permaneçam mais tempo no reservatório podendo acumular. Também devem estar sendo influenciado pela decomposição da vegetação submersa, cuja primeira fase é caracterizada por uma grande perda de biomassa devido à lixiviação de substâncias intracelulares solúveis. Por outro lado, a diminuição dos sólidos suspensos deve-se à deposição possibilitada pela menor força de transporte em função da diminuição do tempo de residência da água. O aumento e diminuição dos

sólidos dissolvidos e suspensos, respectivamente, resultaram numa inversão da importância dessas variáveis, como mostram os resultados da importância relativa de cada fração.

O aumento da condutividade elétrica no sentido rio-barragem pode estar relacionado com o acúmulo de matéria orgânica dissolvida transportada das regiões com características fluviais para se acumularem na região com características lânticas, como mostram os resultados de DQO ao longo do corpo principal do reservatório. O gradiente de temperatura também pode estar respondendo às diferenças de tempo de residência e volume, em que há menor perda de energia onde há menor movimentação e maior volume das massas de água.

Por outro lado, a diminuição da turbidez no sentido rio-barragem pode estar relacionada com o gradiente de sólidos suspensos, enquanto que o gradiente registrado para a absorvância de radiação UV, além dos sólidos suspensos, pode estar sofrendo influência por aportes vindos do rio Jacuizinho (ATJZ1) cuja desembocadura localiza-se entre as estações ATDF1 e ATDF2. Daí o aumento a partir da estação ATDF2, mostrando que pode haver diferenças nos materiais aportados daquela bacia (rio Jacuizinho).

Com relação aos metais a diminuição da concentração de ferro em direção à barragem em dezembro de 2000 se deve à retenção do metal pela precipitação em forma de compostos e decantação propiciada pela estagnação das águas. Também pode estar havendo retenção do manganês devido às diferenças entre ATDF5 e as estações localizadas no reservatório. Todavia, tanto o ferro como o manganês apresentaram maiores concentrações na estação ATDF5 em todos os períodos da fase DFR, demonstrando poder estar havendo retenção em períodos de circulação à menor força de transporte. O magnésio também apresentou tendência à diminuição no sentido montante-jusante em todos os períodos da fase DFR. As demais variáveis provavelmente não sofreram influência da formação do reservatório.

Thomaz *et al.*(1997) registraram comportamento semelhante para o reservatório de Segredo tanto para o ferro como para a turbidez, que está relacionada com a decantação de materiais da coluna de água. Para os autores, isso está relacionado com a capacidade de retenção que ocorre na maioria dos reservatórios, que propicia a sedimentação de material particulado inorgânico, onde ficam adsorvidos carbono orgânico, ferro, manganês, carbonato de cálcio e fósforo. Já a alta concentração de manganês em julho de 2001 na estação ATDF2 se deve provavelmente a um

fenômeno pontual. O ferro pode atuar como fator limitante secundário (Henry & Simão, 1988), podendo afetar a estrutura das comunidades biológicas. Porém, a diminuição de nutrientes na zona lacustre pode ser compensado pelo constante aporte a partir da zona fluvial (Henry *et al.*, 1998).

Análise Multivariada

A formação de quatro grupos, separando os quatro períodos amostrais na fase AFR, expressa a importância da variação temporal para o trecho do rio estudado. Isto é esperado por corresponder a um trecho homogêneo do ponto de vista geográfico. Contendo 59,2 % da informação, a separação em dois grupos confirma a análise temporal dos gradientes de temperatura, O₂, acidez e cálcio. A ordenação nessa fase corresponde à formação de quatro grupos na análise de agrupamento. A análise dos três eixos significativos e dos descritores originais demonstra que o período de dezembro de 1999 foi o período que mais se diferenciou, devido às diferenças constatadas para as variáveis pH, alcalinidade, turbidez, nitrogênio amoniacal, orgânico e total, DQO, cloretos e sulfatos.

Os baixos valores de turbidez, alcalinidade e sulfato indicam menor aporte de material mineral alóctone nesse período. Por outro lado, os maiores valores de pH, nitrogênio amoniacal, orgânico e total, acidez, DQO e cloretos nesse período indicam a maior atividade biológica desse período, o que é favorecido pelo aumento da temperatura média constatado por Rodrigues & Schwarzbald (Esse volume). As formas de nitrogênio orgânico e amoniacal são o resultado da produção e metabolismo biológico, o aumento da acidez e da DQO pode ser o resultado da liberação de matéria orgânicas mineralizada dissolvida resultante da atividade decompositora.

Com relação à fase DFR, o fato de a separação em dois grupos conter 56,7 % da informação significa que nessa fase houve menor importância da sazonalidade após a formação do reservatório. A explicação para isso é a substituição da antiga homogeneidade do trecho original do rio Jacuí por um gradiente espacial, principalmente ao longo do eixo longitudinal do reservatório. Também deve ser mencionada a maior resistência do corpo hídrico do reservatório às variações climáticas (sazonalidade) devida ao maior tempo de residência e ao maior volume.

Com relação à ordenação dos dados da fase DFR, a correspondência entre os gradientes de O₂ e temperatura, acidez e DQO descritos na análise dos gradientes temporais dessas variáveis é confirmada pela ordenação e pela importância dessas variáveis nessa análise. A diminuição das

variáveis alcalinidade, cálcio, magnésio, condutividade elétrica e sólidos suspensos com o tempo deve-se à crescente depuração do sistema pela precipitação e sedimentação de materiais. Já o aumento da DQO com o tempo deve-se ao acúmulo de matéria orgânica mineralizada pela decomposição da vegetação submersa na coluna de água. Também deve ser levado em consideração o fato de que esse período corresponde ao de estratificação em que as estações amostrais ATDF3, ATDF4 e ATJZ1 apresentaram anoxia em camadas mais profundas da coluna de água (Schwarzbold & Rodrigues, nesse volume).

Conclusões

Um gradiente longitudinal se estabeleceu ao longo do corpo principal do reservatório, repercutindo principalmente nas variáveis: condutividade elétrica, DQO, temperatura, turbidez, sólidos suspensos, ferro e magnésio, as quais apresentaram gradientes que acompanharam a heterogeneidade espacial que existe da cauda do reservatório à barragem constatada por Schwarzbold & Rodrigues (nesse volume).

Entretanto, o gradiente longitudinal constitui um elemento secundário na organização do sistema, uma vez que a análise multivariada revelou ser a variação temporal mais importante. Por outro lado, o maior tempo de residência e o maior volume conferiram ao sistema, em comparação com o corpo original do rio, maior resistência às mudanças climáticas. Ou seja, antes da formação do reservatório o ciclo anual era dividido em quatro estações definidas. Com a formação do reservatório, essa separação não foi nítida.

As variáveis acidez e DQO apresentaram aumento progressivo após a formação do reservatório devido à influência da decomposição da vegetação submersa pelo enchimento do reservatório.

As novas condições lânticas propiciam a precipitação e decantação de algumas substâncias como: ferro, manganês, magnésio e sólidos suspensos.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela concessão da Bolsa de Estudos. Ao Consórcio Dona Francisca pela disponibilização dos resultados das medidas de campo. À Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE) pelo fornecimento de dados importantes para a descrição e contextualização do

Reservatório de Dona Francisca, como mapas e informações técnicas do empreendimento. Aos engenheiros e técnicos da CEEE, coordenadores e assessores do Plano Ambiental Básico (PBA) do empreendimento, especialmente Eng. Luis Airton Ferret, Arq. Maria Lúcia Mandelli Guaragna, Eng. Maria Aparecida Loss, Eng. Paulo Blessmann e Eng. Luiz Antônio Leão, pela colaboração em inúmeras situações, amizade e atitude profissional em todos os momentos do trabalho. A todos que contribuíram com os trabalhos de campo: Eudimar Nascimento, Marco Antônio Barreto de Almeida, Ronaldo dos Santos Padilha, Carlos Eduardo Güntzel, Catarina Pedrozo, Nelson Augusto Flores Machado, Carina Michele Saraiva Portela, Linda Naura Macedo Silva, Flávia Montagner, Marcos Vinícius Daruy. Aos pesquisadores Heinrich Hasenack, por ceder as cartas geográficas para a confecção dos mapas, e Valério De Pata Pillar e Enio Egon Sosinski Junior pelos esclarecimentos sobre os métodos multivariados.

BIBLIOGRAFIA

- Bechara, J. A., Roux, J. P., Sánchez, S., Terraes, S. C. & Domitrovic, H. A. 2000. Fish community variation below Yacyretá Dam (Paraná River, Argentina): the relative contribution of microhabitat, hydrology and limnology. *Acta Limnol. Bras.*, 12:23-38.
- Bini, L. M. & Diniz-Filho, J. A. F. 1995. Spectral decomposition in cluster analysis with applications to limnological data. *Acta Limnol. Brasil.*, vii: 35-40.
- Dabés, M. B. G. S., França, R. C., Gomes, M. C. S., Junqueira, M. V., Rolla, M. E. & Rosa, S. G. 1990. Caracterização limnológica da Represa de Pontal, Itabira (MG). *Acta Limnol. Brasil.*, iii: 173-199.
- Falco, P. B. de & Calijuri, M. C. 2002. Longitudinal phytoplanktonic community distribution in a tropical reservoir (Americana, São Paulo, Brazil). *Acta Limnol. Bras.*, 14(2): 27-37.
- Henry, R. & Simão, C. A. 1988. Aspectos Sazonais da Limitação Potencial por N, P e Fé no Fitoplâncton da Represa de Barra Bonita (Rio Tietê, SP). *Ver. Brasil. Biol.*, 48(1): 1-14.
- Henry, R., Nunes, M. A., Mitsuka, P. M., Lima, N. de & Casanova, S. M. C. 1998. Variação Espacial e Temporal da Produtividade Primária pelo Fitoplâncton na Represa de Jurumirim (Rio Paranapanema, SP). *Rev. Bras. Biol.* 58(4): 571-590.

- Junk, W. J. & Nunes de Mello, J. A. S. 1987. Impactos Ecológicos das Represas Hidrelétricas na Bacia Amazônica Brasileira. *Tübingen*, 95: 367-385.
- Kimmel, B. L. & Lind, O. T. 1972. Factors Affecting Phytoplankton Production in a Eutrophic Reservoir. *Arch. Hydrobiol.*, 71(1): 124-141.
- Maizonave, C. R. M., Morandi, I. C., Soares, P. R. & Junqueira, I. C. 2000. Reservatório da Lomba do Sabão: Qualidade da água e problemas operacionais no tratamento. *Ecos Pesquisa*. V. 3: p. 1-25.
- Margalef, R. 1986. *Ecologia*. Ediciones Omega, Barcelona, 951p.
- Olvera, V. V., Bravo, L. I. & Sánchez, J. C. 1998. Aquatic ecology and management in Valle de Bravo reservoir and its watershed. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, 1: 277-290.
- Pillar, V. P. 1999a. The bootstrapped ordination re-examined. *Journal of Vegetation Science*, 10: 895-902.
- Pillar, V. P. 1999b. How sharp are classifications? *Ecology*, 80(8): 2508-2516.
- Pillar, V. P. 2001. *MULTIV – Multivariate Exploratory Analysis, Randomization Testing and Bootstrap Resampling*.
- Podani, J. 2000. *Introduction to the Exploration of Multivariate Biological Data*. Backhuys Publishers, Leiden, 407p. conjunto de dados multidimensionais
- Rodrigues, L. M. & Schwarzbald, A. Esse volume. Transformação rio-reservatório I: Alterações de algumas variáveis limnológicas após a formação do reservatório Dona Francisca (rio Jacuí, RS, Brasil). Cap. 3, p. 10-22.
- Santos, C. M. & Henry, R. 1997. Análise da Densidade e Diversidade da Fauna Bentônica da Represa de Jurumirim (Rio Paranapanema – SP) em Dois Períodos do Ano. Na. VIII Semin. Reg. Ecol., viii: 151-162.

- Schwarzbold, A. & Rodrigues, L. M. Esse volume. Padrões de variação temporal e espacial do reservatório Dona Francisca (rio Jacuí, RS), baseado nas variáveis temperatura, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e pH. p.17-34.
- Straškraba, M. & Tundisi, J. G. 1999. Reservoir Ecosystem Functioning: Theory and Application. In: Tundisi, J. G. & Straškraba, M. Theoretical Reservoir Ecology and its Applications. 800p.
- Suzuki, H. I., Pavanelli, C. S., Fugi, R., Bini, L. M. & Agostinho, A. A. Ictiofauna de quatro tributários do reservatório de Segredo. In: Agostinho, A. A. & Gomes, L. C. 1997. Reservatório de Segredo: bases ecológicas para o manejo. Eduem, Maringá, 387p.
- Taylor, M. P. 1972. Seasonal Plankton Changes and Primary Productivity in Beech Reservoir. J. Tennessee Acad. Sc., 47(3): 103-111.
- Tundisi, J. G. 1999. Reservatórios como sistemas complexos: Teoria, Aplicações e perspectivas para usos múltiplos. In: Henry, R. (ed.) Ecologia de Reservatpórios. Estrutura, função e aspectos sociais. FUNDIBIO – FAPESP, Botucatu. 800p.
- Valentin, J. L. 1995. Agrupamento e ordenação. In: Peres-Neto, P. R., Valentin, J. L. & Fernandez, F. A. S. (ed.). Oecologia Brasiliensis. V. II: Tópicos em Tratamento de Dados Biológicos, p.27-65.
- Viascán, V. O., Inclán, L. B. & Chávez, J. S. 1998. Aquatic ecology and management assesment in Valle de Bravo reservoir and its watershed. Aquatic Ecosystem Health & Management, 1: 277-290.

Tabela I. Variância alcalinidade em cada estação amostral para as duas fases do experimento. (AFR) Antes da Formação do Reservatório; e (DFR) Depois da Formação do Reservatório.

Estação Amostral	ATBIØ	AD1	ATDF1	ATJZ1	ATDF2	AE1	ATDF3	ATDF4	ATDF5
Fase AFR	0.04	0.02	0.04	0.02	0.04	0.05	0.04	0.03	0.03
Fase DFR	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01

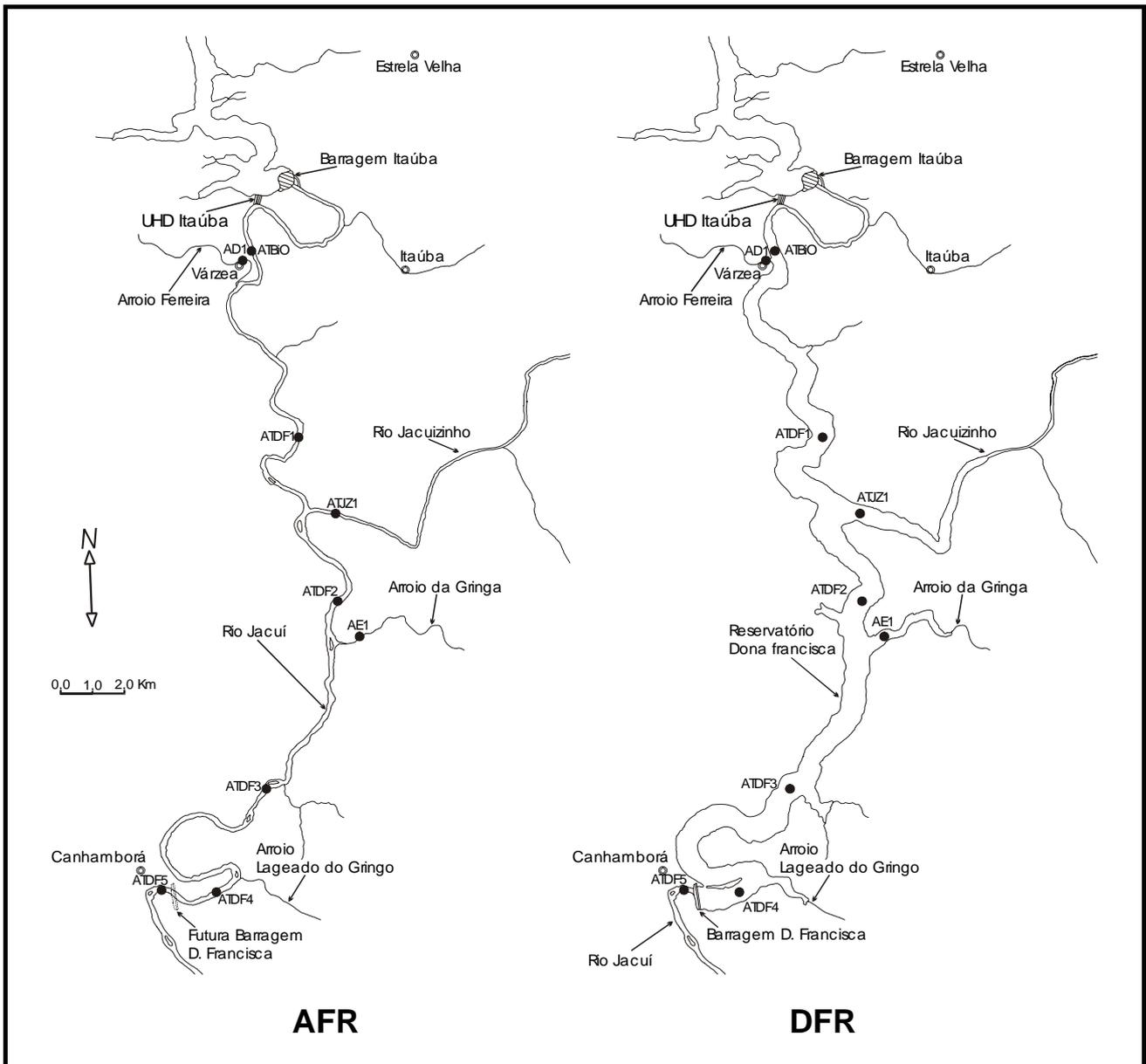


Figura 1. Reservatório Dona Francisca, com a localização das estações amostrais; (AFR) Antes da Formação do Reservatório e (DFR) Depois da Formação do Reservatório.

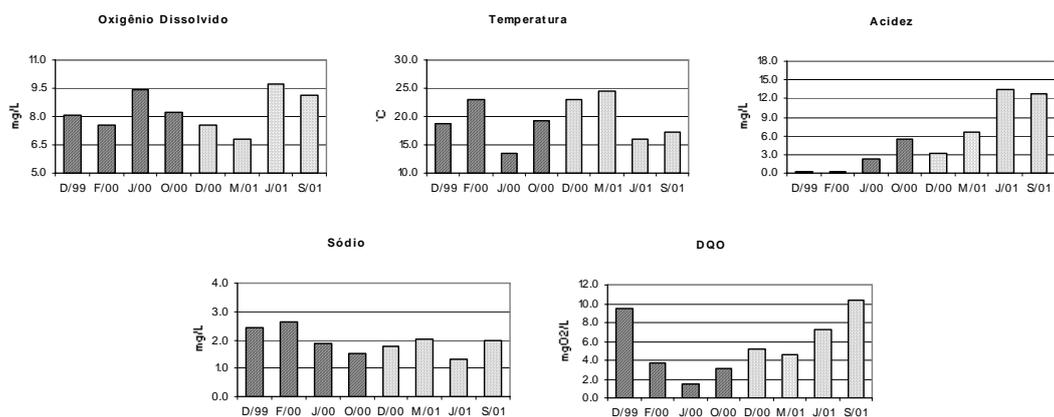


Figura 2. Seqüência temporal das médias das variáveis oxigênio dissolvido, temperatura, acidez, sódio e demanda química de oxigênio (DQO) em cada estação amostral. Barras escuras correspondentes à fase AFR, e barras claras correspondentes à fase DFR.

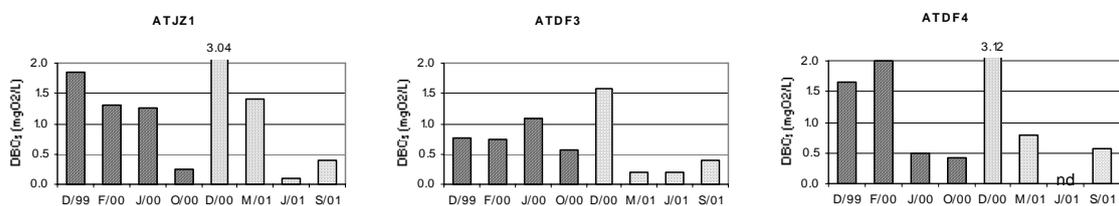


Figura 3. Seqüência temporal da demanda bioquímica de oxigênio após cinco dias (DBO₅) nas estações amostrais ATJZ1, ATDF3 e ATDF4. Barras escuras correspondentes à fase AFR, e barras claras correspondentes à fase DFR.

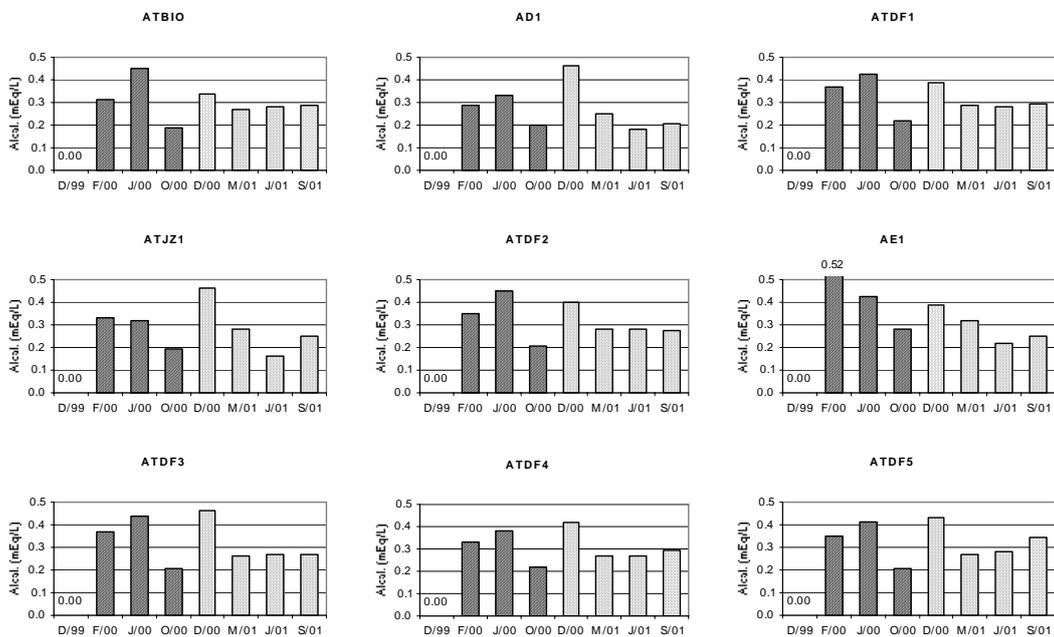


Figura 4. Seqüência temporal da alcalinidade em cada estação amostral. Barras escuras correspondentes à fase AFR, e barras claras correspondentes à fase DFR.

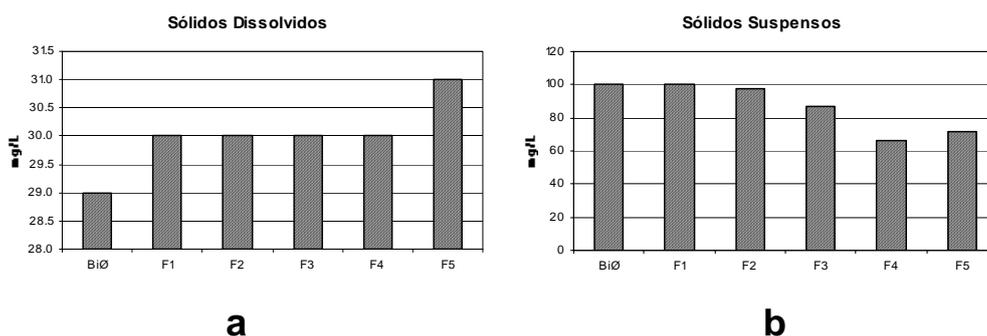


Figura 5. Gradientes longitudinais de sólidos dissolvidos (a) e sólidos suspensos (b) ao longo das estações amostrais localizadas no corpo principal do reservatório (antigo leito do rio Jacuí).

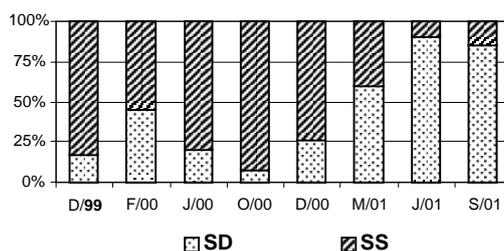


Figura 6. Variação das porcentagens das frações de sólidos dissolvidos e sólidos suspensos em relação aos sólidos totais.

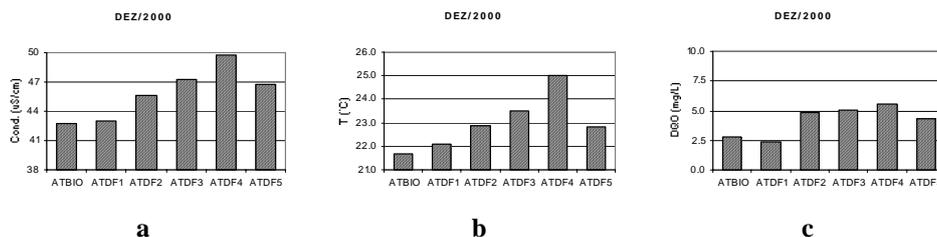


Figura 7. Gradientes longitudinais de Condutividade Elétrica (a), Temperatura (b) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) (c) ao longo das estações amostrais localizadas no corpo principal do reservatório (antigo leito do rio Jacuí) para o período de dezembro de 2000.

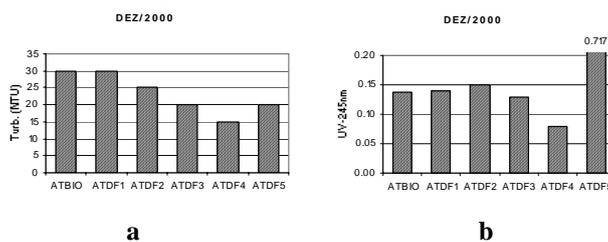


Figura 8. Gradientes longitudinais de Turbidez (a) e Absorvância de radiação ultra violeta a 254nm (UV) (b) ao longo das estações amostrais localizadas no corpo principal do reservatório (antigo leito do rio Jacuí) para o período de dezembro de 2000.

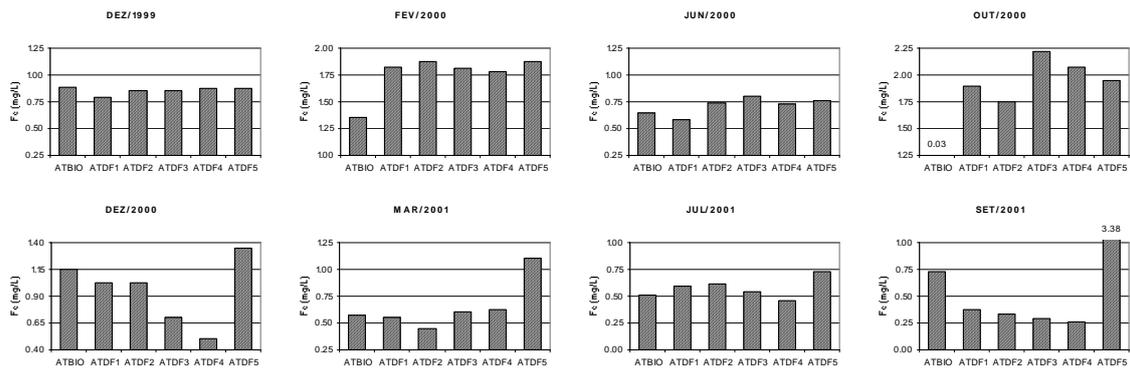


Figura 9. Gradientes longitudinais da concentração de ferro ao longo das estações amostrais localizadas no corpo principal do reservatório (antigo leito do rio Jacuí) para cada período amostral.

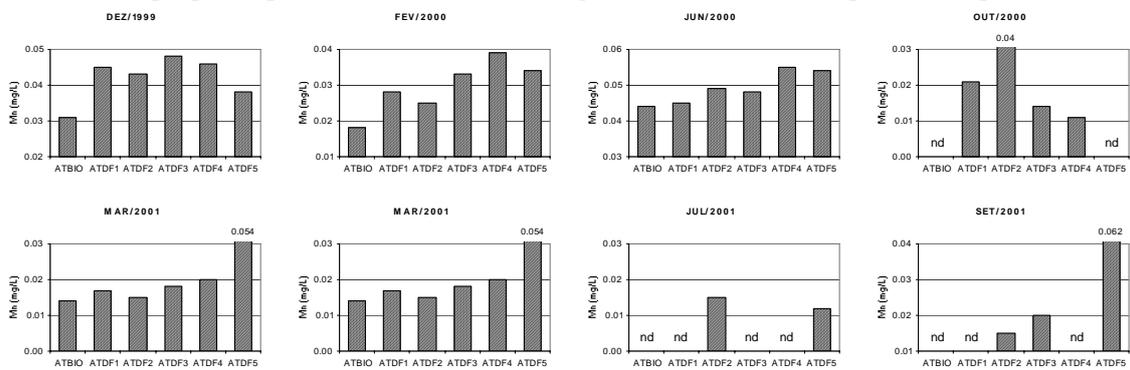


Figura 10. Gradientes longitudinais da concentração de manganês ao longo das estações amostrais localizadas no corpo principal do reservatório (antigo leito do rio Jacuí) para cada período amostral.

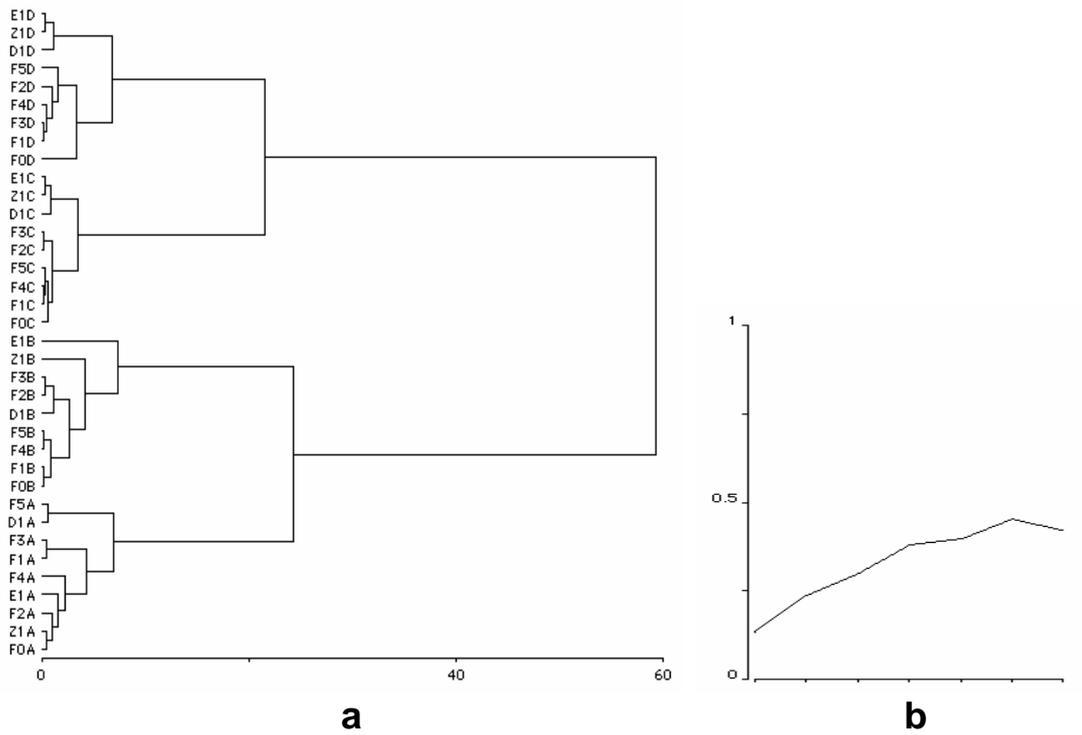


Figura 11. Dendrograma de agrupamento das unidades amostrais (a) e curva de probabilidade $P(G^\circ \leq G^*)$ para partição em quatro grupos (b) correspondentes à fase AFR.

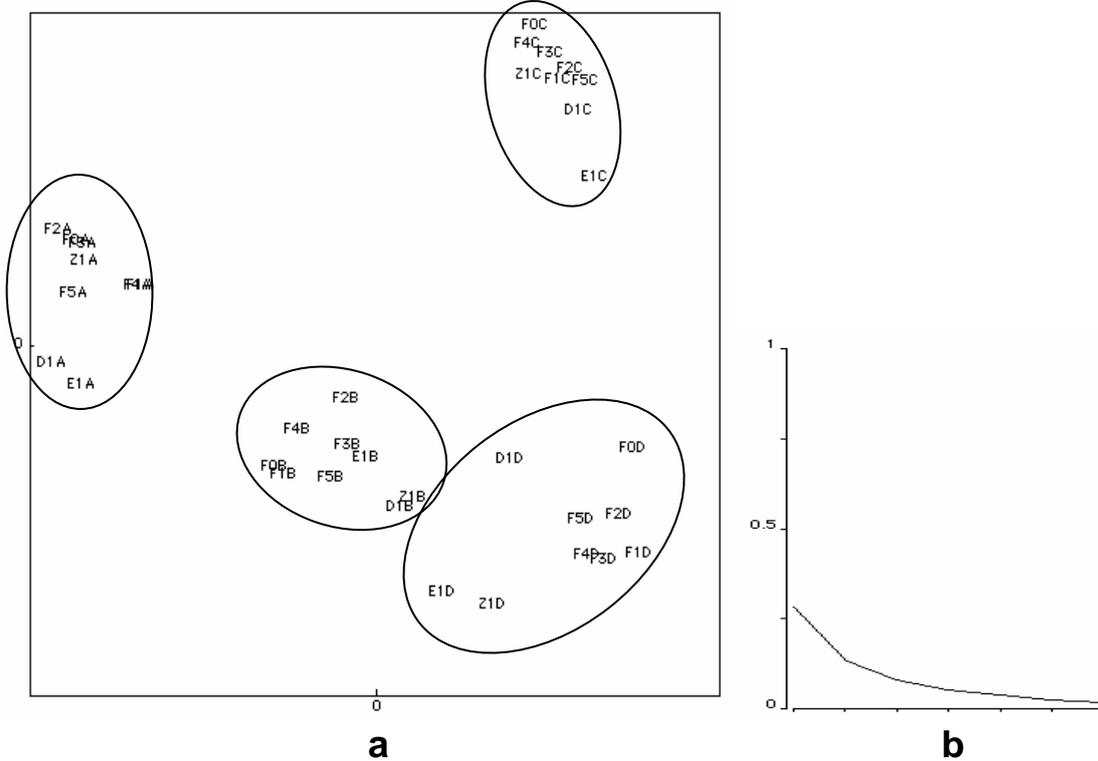


Figura 12. Diagrama de dispersão das unidades amostrais (a) e curva de probabilidade $P(\theta \geq \theta^*)$ para o eixo 3 (b) correspondentes à fase AFR.

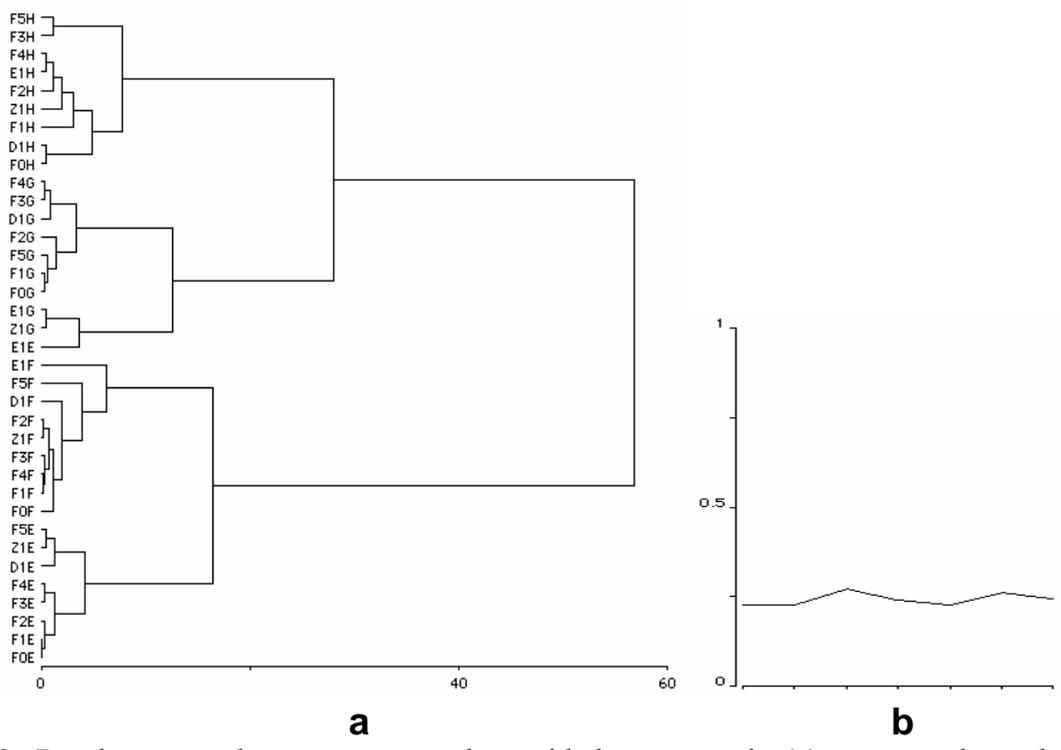


Figura 13. Dendrograma de agrupamento das unidades amostrais (a) e curva de probabilidade $P(G^\circ \leq G^*)$ para partição em dois grupos (b) correspondentes à fase DFR.

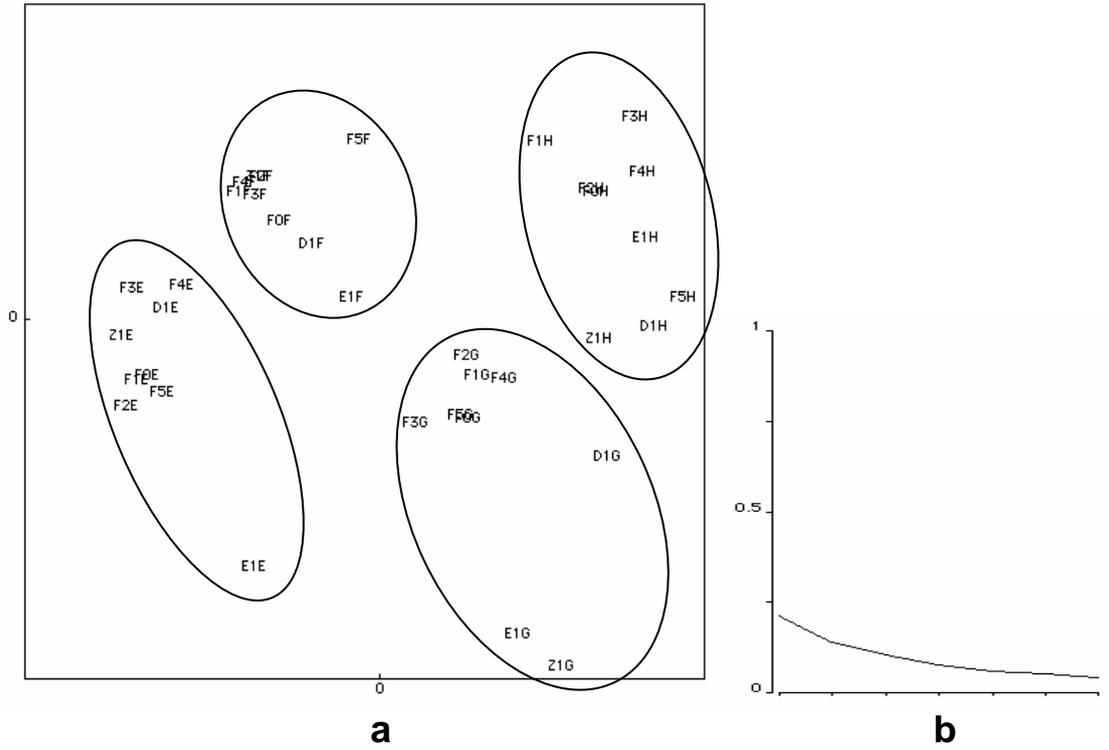


Figura 14. Diagrama de dispersão das unidades amostrais (a) e curva de probabilidade $P(\theta \geq \theta^*)$ para o eixo 1 (b) correspondentes à fase AFR.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O reservatório Dona Francisca foi classificado como monomítico quente, com curto período de estratificação, ficando restrito ao verão, quando as Estações ATDF3 e ATDF4 apresentaram hipolimnio anóxico. No outono ocorreu circulação sem homogeneização da coluna de água, exceto na estação ATDF4, onde manteve-se certa estabilidade da coluna, porém com menor amplitude de variação. Nos períodos correspondentes às estações de inverno e primavera foi constatada intensa circulação com homogeneização da coluna de água, inclusive na estação amostral ATDF4.

A cunha fluvial da descarga de Itaúbs exerceu influência apenas nas estações próximas à sua foz (ATBiØ e ATDF2) no verão. Nas demais estações amostrais para o mesmo período ocorreu tendência a extratificação térmica e química, avaliadas a partir dos perfis verticais de temperatura e oxigênio dissolvido. A sedimentação e precipitação de minerais avaliada através dos perfis verticais de condutividade elétrica, que apresentaram aumento em direção ao fundo. No outono a pressão da cunha fluvial passou a exercer influência em quase toda a extensão do reservatório, menos na estação ATDF4. As estações ATDF2 e ATDF3 também sofreram influência da cunha fluvial do rio Jacuzinho nesse período. O comportamento do reservatório num ciclo anual demonstrou ser bastante clara a formação das três zonas típicas, ou seja: zona fluvial (ATBiØ e ATDF1), zona intermediária (ATDF2 e ATDF3) e zona lacustre (ATDF4).

A nova organização espacial e temporal – descrita acima – provocou diversas mudanças em características físicas e químicas do antigo sistema (rio Jacuí). Além das mudanças nas forças de fluxo causada pela diminuição do tempo de residência no sentido rio-barragem, ocorreu em função dessa mudança a retenção de materiais como ferro, manganês e sólidos suspensos. Foi registrado também o aumento da temperatura média devido ao aumento do tempo de residência, o que repercutiu na diminuição da concentração média de oxigênio dissolvido. A relação do tempo de residência com o balanço térmico também estabeleceu-se em função do espaço, já que a temperatura aumentou no sentido rio-barragem.

A compartimentalização horizontal foi constatada pelas diferenças químicas e suas mudanças ao longo do tempo entre o corpo principal e os braços correspondentes aos tributários (AD1, AE1 e ATJZ1). A estação AE1 destacou-se pelas grandes diferenças em relação às demais

estações nas duas fases de amostragem (AFR e DFR). As variáveis que mais explicam o comportamento do sistema registradas para cada fase são principalmente: temperatura, turbidez, pH, alcalinidade, acidez, dureza, sulfato, magnésio, sólidos dissolvidos, nitrogênio amoniacal e total e DQO para a fase AFR, e temperatura, O₂, condutividade elétrica, alcalinidade, acidez, cálcio, magnésio, sólidos suspensos e DQO.

ANEXO I

Tabela I. Dados globais correspondentes à fase AFR (Antes da Formação do Reservatório) dos capítulos 3 e 4, incluindo as 27 variáveis medidas: acidez (Ac.), alcalinidade (Alc.), dureza (Dur.), pH, condutividade elétrica (Cond.), turbidez (Turb.), transparência (Secchi), temperatura (T), oxigênio dissolvido (O₂), sólidos dissolvidos (SD), sólidos suspensos (SS), absorvância de radiação ultravioleta a 254 nanômetros (UV), nitrogênio total (NT), nitrogênio orgânico (NO), nitrogênio amoniacal (NA), demanda bioquímica de oxigênio após cinco dias (DBO₅), demanda química de oxigênio (DQO), ferro (Fe), alumínio (Al), magnésio (Mg), manganês (Mn), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca), cobre (Cu), cloretos (Clor.) e sulfato (Sulf.).

Var.	Dezembro de 1999										Fevereiro de 2000										Junho de 2000										Outubro de 2000									
	BiO	D1	F1	Z1	F2	E1	F3	F4	F5	BiO	D1	F1	Z1	F2	E1	F3	F4	F5	BiO	D1	F1	Z1	F2	E1	F3	F4	F5	BiO	D1	F1	Z1	F2	E1	F3	F4	F5				
Ac.	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.1	1.5	1.5	2.5	1.5	3.0	2.5	1.5	1.5	4.5	6.0	5.5	6.0	5.5	5.5	5.5	6.0	5.00	5.00					
Alc.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	0.29	0.37	0.33	0.35	0.52	0.37	0.33	0.35	0.45	0.33	0.42	0.32	0.44	0.42	0.44	0.38	0.41	0.19	0.207	0.22	0.19	0.21	0.28	0.21	0.22	0.21				
Dur.	18.0	11.0	16.0	14.0	10.0	17.0	17.0	13.0	14.0	14.8	11.8	15.8	11.8	31.6	25.7	17.8	19.8	15.4	23.2	19.8	21.2	27.2	21.3	22.2	20.8	24.2	22.2	12.0	16.0	9.0	10.0	9.5	10.5	12.5	10.5	13.0				
pH	7.0	7.1	7.0	7.2	6.9	6.8	6.8	6.8	6.8	6.7	6.8	6.8	6.8	6.6	6.8	6.7	6.6	6.9	6.6	6.4	6.7	6.5	6.7	6.6	6.6	6.6	6.3	6.5	6.5	6.3	6.0	6.6	6.6	6.4	6.3					
Cond.	30.0	29.7	30.4	28.7	30.7	48.2	29.4	30.4	30.0	36.0	31.8	36.5	35.3	28.4	63.6	28.8	38	38.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.3	38.5	33.5	37.3	34.8	55.2	34.7	34.6	36.2					
Turb.	15	10	13	12	17	12	15	12	15	22	32	26	58	35	54	34	27	24	58	55	50	58	50	58	58	54	52	50	10	50	20	45	20	50	40	50				
Secc	0.85	-	0.80	0.80	0.80	-	0.80	0.80	0.75	-	-	-	-	-	-	-	-	1.23	-	1.00	0.60	0.90	-	0.90	1.00	1.00	0.20	-	0.20	0.30	0.20	-	0.25	0.25	0.20					
T	18.5	19	18.5	21.5	16.0	18.5	18.5	19.0	19.0	22.0	22.5	23.5	23.0	24.0	23.0	23.5	24.0	11.9	10.5	16.0	13.0	15.5	11.5	15.0	14.5	14.5	19.3	10.5	20.0	21.3	20.8	21.2	20.8	20.7	19.7					
O ₂	8.22	7.68	7.91	9.06	7.91	8.22	7.56	8.06	8.06	7.68	8.60	6.60	7.14	7.30	7.76	7.53	7.45	7.76	8.90	10.15	8.90	9.82	9.73	9.98	9.57	8.90	8.90	8.74	8.32	8.32	7.49	8.32	7.49	7.90	8.74	8.74				
SD	40	40	61	36	39	42	39	38	44	158	106	135	168	177	176	252	81	66	40	40	61	36	39	42	39	38	44	10	8	9	9	9	18	8	9	9				
SS	18	18	644	50	100	91	846	52	88	55	170	113	254	118	246	358	191	57	287	314	36	201	169	194	74.3	203	68	89	58	159	120	205	81	307	104	84				
UV	0.170	0.200	0.170	0.140	0.150	0.250	0.170	0.170	0.350	0.320	0.680	0.370	1.220	0.440	1.060	0.500	0.460	0.470	0.145	0.138	0.135	0.238	0.136	0.237	0.176	0.153	0.138	0.527	0.169	0.742	0.315	0.473	0.273	0.454	0.436	0.422				
NT	1.25	3.14	0.47	1.57	2.35	1.56	1.41	1.50	2.94	0.54	0.54	1.22	0.82	0.82	1.09	0.54	1.09	0.54	0.56	0.72	0.48	0.80	0.48	0.88	0.72	0.56	0.64	0.57	0.42	0.42	0.42	0.57	0.57	0.85	0.42	0.42				
NO	0.30	2.19	0.37	0.62	0.44	0.61	0.79	0.55	2.38	0.41	0.27	0.18	0.55	0.55	0.55	0.27	0.82	0.27	0.27	0.24	0.01	0.22	0.82	0.20	0.24	0.27	0.16	0.23	0.08	0.08	0.08	0.23	0.23	0.51	0.08	0.08				
NA	0.95	0.95	0.10	0.95	1.91	0.95	1.12	0.95	0.56	0.13	0.27	0.40	0.27	0.27	0.54	0.27	0.27	0.27	0.29	0.49	0.49	0.59	0.29	0.68	0.49	0.29	0.49	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34				
DBO ₅	0.92	0.38	0.54	1.84	1.11	1.02	0.76	1.66	1.26	1.19	0.34	0.89	1.31	0.81	1.27	0.73	1.99	1.27	0.58	1.00	0.58	1.25	1.33	0.74	1.08	0.5	0.75	0.34	0.25	0.67	0.25	0.92	0.50	0.58	0.42	1.84				
DQO	14.50	6.21	16.60	10.40	8.30	8.30	10.40	6.21	4.14	5.92	1.31	2.96	3.28	5.26	5.26	1.31	2.63	1.29	1.00	1.7	1.7	1.79	1.49	1.5	1.29	1.89	3.88	1.67	3.68	2.63	3.73	1.92	3.18	3.48	3.63					
Fe	0.89	0.48	0.79	0.63	0.85	0.75	0.85	0.88	0.88	1.35	1.61	1.82	2.42	1.87	2.76	1.81	1.78	1.87	0.64	0.52	0.58	1.23	0.74	1.28	0.80	0.73	0.76	0.03	0.54	1.90	1.73	1.75	0.97	2.22	2.07	1.95				
Al	0.91	0.76	1.68	1.00	1.33	1.26	1.43	1.62	1.74	0.59	1.08	0.55	1.79	0.77	0.51	0.78	0.85	0.75	0.44	0.45	0.52	1.52	0.58	1.58	0.82	0.72	0.57	nd	0.83	1.78	1.77	1.20	1.24	2.26	2.14	1.92				
Mg	1.32	0.85	1.31	0.75	1.15	1.28	1.17	1.18	1.18	1.48	0.9	1.5	1.0	1.56	2.05	1.49	1.54	1.47	1.45	0.77	1.53	0.78	1.41	1.20	1.22	1.52	1.39	0.08	0.77	0.96	0.79	0.95	1.08	0.95	0.95	0.96				
Mn	0.031	0.036	0.045	0.036	0.043	0.049	0.048	0.046	0.038	0.018	0.022	0.028	0.054	0.025	0.053	0.033	0.039	0.034	0.044	0.037	0.045	0.06	0.049	0.053	0.048	0.055	0.054	nd	nd	0.021	0.014	0.040	0.023	0.014	0.011	nd				
K	1.14	1.98	1.08	2.11	1.26	1.96	1.93	1.96	1.24	1.34	2.29	1.4	2.57	1.95	3.72	1.88	1.43	1.52	1.35	1.75	1.34	1.95	1.51	2.45	1.50	1.46	1.44	0.15	1.85	1.61	2.13	1.73	2.58	1.70	1.69	1.63				
Na	2.22	2.51	2.75	2.53	2.32	3.81	2.30	1.73	1.77	1.86	2.61	1.68	2.88	1.01	7.86	1.93	1.81	1.85	1.64	1.89	1.59	1.88	1.73	3.20	1.62	1.58	1.57	0.23	1.82	1.29	1.95	1.37	2.78	1.36	1.40	1.36				
Ca	2.51	2.07	2.57	1.92	2.33	3.34	2.26	2.48	2.27	2.86	2.14	3.00	2.48	3.88	5.45	2.85	2.59	2.80	2.48	1.67	2.39	1.35	2.37	2.16	2.00	2.27	2.21	nd	0.94	0.98	0.82	1.10	2.08	1.02	0.98	1.04				
Cu	1.89	1.02	2.73	1.04	1.91	1.44	2.91	5.05	1.93	1.70	3.25	2.28	3.32	2.77	3.46	2.67	2.65	2.39	3.02	1.88	2.82	1.85	3.28	2.36	2.70	2.81	3.03	5.93	1.77	3.23	2.15	2.92	2.04	3.63	3.33	2.95				
Clor.	3.96	3.96	4.95	3.96	4.95	3.46	4.46	2.47	3.46	0.49	1.48	0.99	0.49	0.49	9.42	0.99	0.49	0.99	0.48	0.72	1.44	1.92	1.67	0.26	2.39	1.19	1.91	1.78	1.52	1.01	2.28	0.76	2.28	1.52	0.76	1.52				
Sulf.	2.94	2.39	3.25	2.49	3.29	5.60	2.97	3.57	2.17	1.18	2.36	1.45	5.73	2.31	9.15	2.84	2.67	2.27	4.05	6.66	3.29	5.95	5.15	9.42	4.64	3.59	3.93	10.80	2.70	17.8	4.77	11.70	4.80	17.00	8.94	9.03				

nd – Não detectado.

ANEXO II

Tabela II. Dados globais correspondentes à fase DFR (Depois da Formação do Reservatório) do Capítulo 3, incluindo as 27 variáveis medidas: acidez (Ac.), alcalinidade (Alc.), dureza (Dur.), pH, condutividade elétrica (Cond.), turbidez (Turb.), transparência (Secchi), temperatura (T), oxigênio dissolvido (O₂), sólidos dissolvidos (SD), sólidos suspensos (SS), absorvância de radiação ultravioleta a 254 nanômetros (UV), nitrogênio total (NT), nitrogênio orgânico (NO), nitrogênio amoniacal (NA), demanda bioquímica de oxigênio após cinco dias (DBO₅), demanda química de oxigênio (DQO), ferro (Fe), alumínio (Al), magnésio (Mg), manganês (Mn), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca), cobre (Cu), cloretos (Clor.) e sulfato (Sulf.).

Var.	Dezembro de 2000										Março de 2001										Julho de 2001										Setembro de 2001									
	BiØ	D1	F1	Z1	F2	E1	F3	F4	F5	BiØ	D1	F1	Z1	F2	E1	F3	F4	F5	BiØ	D1	F1	Z1	F2	E1	F3	F4	F5	BiØ	D1	F1	Z1	F2	E1	F3	F4	F5				
Ac.	3.3	2.2	3.3	3.3	3.3	3.3	4.4	3.3	3.3	6.6	5.5	6.6	7.7	5.5	6	5.5	7.7	7.7	13.5	13	14	14.5	13.5	13.5	12.5	14.0	13.0	16.0	16.0	1.4	10.0	15.0	10.0	17.0	15.0	15.0				
Alc.	0.34	0.46	0.39	0.46	0.40	0.39	0.46	0.42	0.43	0.27	0.25	0.29	0.28	0.28	0.32	0.26	0.27	0.27	0.28	0.18	0.28	0.16	0.28	0.22	0.27	0.27	0.28	0.29	0.21	0.30	0.25	0.28	0.25	0.27	0.30	0.35				
Dur.	13.5	16.5	14.5	15.0	14.5	11.0	17.0	14.5	14.5	22.7	18.2	20.9	19.9	19.9	21.8	19.9	21.8	19.9	13.6	7.27	12.7	5.4	11.8	9.1	11.8	11.8	13.6	1.8	15.0	0.9	17.3	11.8	19.1	13.6	17.3					
pH	6.8	7.1	6.8	6.9	6.5	6.9	6.7	6.6	6.4	6.6	7.2	6.8	6.9	6.9	7.0	6.7	7.2	7.5	6.9	6.9	7.0	6.8	6.9	7.0	6.7	7.0	7.4	7.4	7.0	7.0	7.0	7.0	6.3	6.4	6.6					
Cond.	42.7	49.9	43.0	45.5	45.6	54.2	47.3	49.7	46.8	43.8	38.3	43.8	45.0	46.8	56.0	42.9	46.0	44.1	44.7	42.9	44.4	42.9	44.2	45.0	43.8	43.4	43.7	35.6	30.5	-	-	-	-	-	-					
Turb.	30	9	30	15	25	14	20	15	20	33	13	13	13	13	40	16	16	19	10	15	10	65	10	46	10	9	10	11	15	11	31	19	21	20	12	35				
Secchi	0.80	1.80	0.75	1.10	0.70	0.10	0.95	1.15	1.00	1.05	1.00	1.05	1.10	1.10	0.35	1.10	1.10	0.75	1.44	0.80	1.28	0.25	1.35	0.30	1.20	1.50	1.50	1.14	1.04	0.94	0.48	0.86	-	0.72	-	-				
T	21.7	25.9	22.1	22.1	22.9	20.6	23.5	25.0	22.8	25.2	21.8	25.0	26.2	28.0	20.5	24.8	24.4	24.0	16.2	14.6	16.4	16.2	16.4	15.1	16.5	16.2	16.5	17.6	15.2	17.5	18.4	18.9	14.9	18.1	18.0	17.5				
O₂	7.11	7.99	7.07	6.86	6.66	7.49	6.91	9.19	8.99	6.40	8.20	5.80	7.40	7.40	8.40	6.00	5.20	6.20	9.39	10.90	9.25	9.77	9.08	10.58	9.20	9.11	9.91	8.73	10.45	8.50	8.43	8.87	9.88	8.37	8.67	10.39				
SD	29	34	30	33	30	49	30	30	31	40	47	41	45	42	51	43	44	43	300	185	162	215	52	143	324	408	90	91	82	94	105	77	31	12	62	41				
SS	100	100	100	100	98	100	87	66	72	25	45	38	33	19	23	11	32	33	13	5	19	33	12	45	65	7	2	11	5	3	21	11	9	6	14	25				
UV	0.137	0.74	0.14	0.707	0.15	0.416	0.13	0.08	0.717	0.005	0.005	0.003	0.008	0.006	0.224	0.036	0.04	0.072	0.037	0.023	0.01	0.312	0.039	0.371	0.03	0.037	0.033	0.07	0.063	0.059	0.097	0.036	0.211	0.09	0.049	0.056				
NT	0.69	0.57	0.42	1.20	0.57	2.12	0.71	0.8	0.71	0.49	0.70	0.63	0.84	0.49	0.42	0.63	0.77	4.36	0.42	0.70	0.98	0.70	0.70	0.42	0.56	0.42	0.56	1.66	1.25	1.38	1.38	0.55	1.52	3.19	1.25	1.94				
NO	0.05	0.22	0.08	0.68	0.14	1.26	0.19	0.16	0.19	0.32	0.53	0.12	0.67	0.15	0.34	0.29	0.09	3.85	0.42	0.53	0.13	0.36	0.36	0.25	0.39	0.25	0.39	0.82	0.41	0.88	0.88	0.38	0.85	1.00	0.41	1.00				
NA	0.64	0.34	0.34	0.52	0.43	0.86	0.52	0.69	0.52	0.17	0.17	0.51	0.17	0.34	0.08	0.34	0.68	0.51	nd	0.17	0.85	0.17	0.34	0.17	0.17	0.17	0.51	0.84	0.84	0.50	0.50	0.17	0.67	1.85	0.84	0.67				
DBO₅	0.58	0.42	0.84	3.04	0.67	nd	1.58	3.12	1.29	0.40	0.60	0.20	1.40	1.40	2.40	0.20	0.80	0.80	0.40	0.10	0.30	0.10	0.10	0.70	0.20	nd	0.10	0.36	0.16	0.48	0.40	0.88	0.44	0.40	0.56	0.72				
DQO	2.78	3.28	2.37	4.64	4.89	14.20	5.10	5.60	4.29	4.19	3.81	4.19	4.96	4.58	4.58	4.96	3.82	5.72	6.87	9.92	6.11	8.38	7.63	6.87	8.39	6.11	5.34	8.96	3.58	19.70	7.17	12.50	3.58	8.96	7.17	21.50				
Fe	1.15	0.29	1.02	0.50	1.02	7.4	0.70	0.50	1.35	0.57	0.44	0.55	0.46	0.45	0.42	0.60	0.62	1.10	0.51	0.78	0.59	3.61	0.61	3.14	0.54	0.45	0.73	0.73	0.11	0.38	0.64	0.33	0.89	0.29	0.26	3.38				
Al	1.05	0.12	1.59	0.70	2.09	7.08	1.99	2.21	1.50	0.78	0.69	0.60	0.45	0.49	1.50	1.02	0.72	1.36	1.15	1.61	1.51	5.68	1.38	5.92	1.06	0.63	1.89	0.66	0.97	0.64	2.03	1.04	0.11	1.21	0.59	4.36				
Mg	1.38	1.03	1.40	1.29	1.39	1.61	1.28	1.29	1.40	1.61	1.02	1.60	1.59	1.67	1.34	1.50	1.47	1.50	1.65	1.07	1.61	0.99	1.65	1.34	1.55	1.53	1.60	0.68	0.72	0.65	1.69	0.99	1.17	0.58	0.60	0.20				
Mn	0.013	0.014	0.012	0.011	0.012	0.275	0.013	0.012	0.025	0.014	0.008	0.017	0.015	0.015	0.016	0.018	0.020	0.054	nd	nd	nd	0.032	0.015	0.067	nd	nd	0.012	nd	nd	nd	0.126	0.015	nd	0.020	nd	0.062				
K	1.15	1.75	1.18	2.08	1.18	4.24	1.42	1.46	1.33	1.59	2.95	1.56	1.71	1.57	3.92	1.85	1.88	1.91	1.36	2.06	1.45	2.72	1.43	3.92	1.48	1.43	1.46	0.72	0.44	0.72	0.49	0.62	0.55	0.59	0.70	1.02				
Na	1.34	2.16	1.53	1.97	1.57	2.95	1.41	1.50	1.41	1.62	3.06	1.51	1.53	1.52	4.16	1.63	1.70	1.64	0.97	1.64	1.03	1.30	1.00	2.56	1.05	1.02	1.20	1.46	1.91	1.46	2.62	1.92	2.84	2.04	1.71	1.86				
Ca	2.70	2.21	2.85	3.20	2.71	5.81	2.77	2.90	2.85	2.67	2.56	2.64	2.59	2.76	2.89	2.63	2.69	2.57	2.84	1.91	3.00	1.85	3.10	2.60	2.95	2.97	3.32	0.82	0.63	0.87	0.76	0.76	0.02	0.89	0.85	1.76				
Cu	2.71	2.35	2.93	3.46	4.45	5.03	1.89	2.47	3.01	0.77	0.26	0.50	0.38	0.37	0.42	0.29	1.02	1.13	4.01	1.34	3.22	3.28	2.00	2.55	1.45	1.20	4.98	nd	nd	0.74	0.78	0.72	nd	0.59	nd	1.30				
Clor.	0.51	1.52	0.51	0.51	1.02	1.52	0.51	0.51	0.51	3.44	0.98	1.96	0.98	2.46	3.93	0.98	1.47	0.98	3.07	1.02	2.39	1.70	1.02	2.39	0.68	1.37	1.37	2.09	1.05	1.39	1.39	0.35	2.09	1.05	1.39	1.74				
Sulf.	4.93	0.30	5.37	1.14	3.95	2.20	3.13	3.07	4.38	2.36	2.20	2.68	4.94	3.13	10.60	3.90	3.35	6.36	3.12	4.17	5.10	3.86	13.20	5.32	2.93	6.18	3.11	3.14	4.32	4.12	4.91	3.19	3.95	5.17	3.21	3.09				

nd – Não detectado.