

ANDERSON ANTONELLO

**INFLUÊNCIA DAS VARIAÇÕES SAZONAIS E ESPACIAS NAS
VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS DO RESERVATÓRIO DE BOA
ESPERANÇA, RIO PARNAÍBA, PI-MA**

**Recife
2006**

ANDERSON ANTONELLO

**INFLUÊNCIA DAS VARIAÇÕES SAZONAIS E ESPACIAS NAS
VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS DO RESERVATÓRIO DE BOA
ESPERANÇA, RIO PARNAÍBA, PI-MA**

Dissertação apresentada ao **Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Aqüicultura** da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de **Mestre em Recursos Pesqueiros e Aqüicultura**.

Orientador: **Profº Dr. William Severi**, Depto. de Pesca e Aqüicultura, da UFRPE.

**Recife
Maio de 2006**

Dedico a meus pais, Vanda e Odamar, pela maravilhosa convivência, compreensão e orientação com muito amor.

Aos meus grandes irmãos Rafael e Rodrigo, pela importante ajuda apesar da distância.

E principalmente ao meu amor eterno Chell, pela sua presença em minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus, força maior que por si só explica a necessidade de nossa existência.

À Companhia Hidro Elétrica do São Francisco – CHESF, pelo financiamento do monitoramento realizado no reservatório de Boa Esperança, através do qual foram obtidos os dados para elaboração dessa dissertação.

À Fundação Apolônio Salles de Desenvolvimento Educacional – FADURPE, pela bolsa de estudos tão importante para a realização dos trabalhos.

Ao Departamento de Pesca e Aqüicultura – DEPAq da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, que foi durante muito tempo, minha segunda casa.

Ao Prof^o. William Severi, pela importante orientação direcionada ao trabalho e pela paciência dispensada nos momentos mais complicados durante a pesquisa e redação desta dissertação.

Aos integrantes do Laboratório de Limnologia, Sérgio Catunda, Aureliano Calado, Bruno Dourado e estagiários, pelos trabalhos desenvolvidos em conjunto, as amizades e importante aprendizado neste tempo de convivência.

À Dona Eliane e Socorro da copa, pelos momentos de descontração e cafezinhos para tirar o sono.

A meus pais queridos, Vanda e Odamar, que desde cedo me guiaram, apontando as escolhas verdadeiramente corretas.

Aos meus grandes irmãos Rafael e Rodrigo, pela amizade e incentivo especiais.

À minha cara metade e companheira Chell, pela compreensão e cuidado dispensados a mim em todos os momentos.

A todos os amigos que, através de uma simples palavra, me incentivaram a continuar, me permitindo transpor os obstáculos que ainda estavam por vir e todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para o desfecho deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| 1. RESUMO | 01 |
| 2. ABSTRACT | 02 |
| 3. INTRODUÇÃO | 03 |
| 4. OBJETIVOS | 06 |
| 4.1 GERAL | 06 |
| 4.2 ESPECÍFICOS | 06 |
| 5. REVISÃO DE LITERATURA | 07 |
| 5.1. Disponibilidade e uso múltiplo dos recursos hídricos | 07 |
| 5.2. Reservatórios | 08 |
| 5.3. Aspectos limnológicos | 09 |
| 5.4. Eutrofização | 10 |
| 6. ARTIGO I PARA SUBMISSÃO | 11 |
| 6.1. Resumo | 12 |
| 6.2. Abstract | 13 |
| 6.3. Introdução | 14 |
| 6.4. Área de estudo | 15 |
| 6.5. Metodologia | 16 |
| 6.6. Resultados | 17 |
| 6.7. Discussão | 28 |
| 6.8. Referências bibliográficas | 31 |
| 7. ARTIGO II PARA SUBMISSÃO | 36 |
| 7.1. Resumo | 37 |
| 7.2. Abstract | 38 |
| 7.3. Introdução | 39 |
| 7.4. Metodologia | 40 |
| 7.5. Resultados | 41 |
| 7.6. Discussão | 44 |
| 7.7. Referências bibliográficas | 46 |
| 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 50 |
| 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 51 |

LISTA DE TABELAS

Artigo I

- Tabela I** – Valores das análises estatísticas descritivas, das variáveis analisadas, nas diferentes estações e meses de amostragem do reservatório de Boa Esperança, durante 2004, incluindo seus respectivos níveis de significância entre as estações, meses e profundidades. 21

Artigo II

- Tabela I** – Valores de máximo, mínimo, média, mediana, desvio padrão e variância, das variáveis utilizadas nos cálculos dos IET e IETM. 44

LISTA DE FIGURAS

Artigo I

- Figura 1** – A. Mapa do Brasil com a localização da bacia do rio Parnaíba; B. Mapa da bacia do rio Parnaíba e localização do reservatório de Boa Esperança; C. Mapa do reservatório de Boa Esperança com localização das estações. 16
- Figura 2** – Variação do nível do reservatório de Boa Esperança e precipitação mensal acumulada em 2004 (Dados do DORH, 2006). 18
- Figura 3** – Amplitude de variação e mediana dos valores de temperatura (A), pH (B), condutividade elétrica (C), oxigênio dissolvido (D) e sólidos totais suspensos (E), nos meses de amostragem do reservatório de Boa Esperança, durante o ano de 2004. 19
- Figura 4** – Amplitude de variação e mediana dos valores de temperatura (A), pH (B), condutividade elétrica (C), oxigênio dissolvido (D) e sólidos totais suspensos (E), nas estações de amostragem do reservatório de Boa Esperança, durante o ano de 2004. 20
- Figura 5** – Amplitude de variação e mediana dos valores de alcalinidade (A) e dureza (B) totais, cloretos (C), clorofila-a (D) e turbidez (E), nos meses de amostragem do reservatório de Boa Esperança, para os trimestres de 2004. 22
- Figura 6** – Amplitude de variação e mediana dos valores de alcalinidade (A) e dureza (B) totais, cloretos (C), clorofila-a (D) e turbidez (E), nas estações de amostragem do reservatório de Boa Esperança, para o período entre janeiro e outubro/2004. 23
- Figura 7** – Valores da transparência da água e profundidade da zona eufótica, com as variações de cada estação, nos diferentes trimestres amostrados em 2004. 24
- Figura 8** – Valores das concentrações dos sólidos suspensos totais (SST), orgânicos (SSO) e inorgânicos (SSI), com as variações de cada estação, nos trimestres amostrados em 2004. 25

- Figura 9** – Amplitude de variação e mediana dos valores de nitrogênio amoniacal (A), nitrito (B), nitrato (C), fosfato inorgânico (D), fosfato total (E) e fósforo total (F), nas estações de amostragem do reservatório de Boa Esperança, para o período entre janeiro e outubro/2004. 26
- Figura 10** – Amplitude de variação e mediana dos valores de nitrogênio amoniacal (A), nitrito (B), nitrato (C), fosfato inorgânico (D), fosfato total (E) e fósforo total (F), nos meses de amostragem do reservatório de Boa Esperança, para o período entre janeiro e outubro/2004. 27

Artigo II

- Figura 1** – A. Mapa do Brasil com a localização da bacia do rio Parnaíba; B. Mapa da bacia do rio Parnaíba e localização do reservatório de Boa Esperança; C. Mapa do reservatório de Boa Esperança com localização das estações. 41
- Figura 2** – Variação do nível do reservatório e precipitação mensal total em 2004. 42
- Figura 3** – Valores dos índices de estado trófico de transparência da água (DS), clorofila-a (CHL) e fósforo total (PT), com as variações de cada estação, nos trimestres amostrados em 2004. Indicando os limites de classificação trófica: Oligotrófico (←·····), Mesotrófico (←----) e Eutrófico(←——). 42
- Figura 4** – Valores dos índices de estado trófico modificado de transparência da água (DS), clorofila-a (CHL), fósforo total (PT), fósforo solúvel reativo (PSR) e Médio, com as variações de cada estação, nos trimestres amostrados em 2004. Incluindo as classificações: Oligotrófico, Mesotrófico e Eutrófico. 43

1. RESUMO

Atualmente, a elevada demanda hídrica exigida pela sociedade determina o aumento gradativo nos efeitos negativos gerados pela interferência antrópica nos corpos d'água. Considerando a importância da disponibilidade hídrica para o desenvolvimento humano social, enfatiza-se a região Nordeste, pela maior escassez do recurso água, sendo notória a necessidade da realização de monitoramentos, objetivando o manejo sustentado dos corpos d'água existentes na região. Assim, a importância de estudos limnológicos para reservatórios do Nordeste é demonstrada pelos poucos monitoramentos realizados, em comparação com as demais regiões do País. Nesta região, o rio Parnaíba, onde a barragem de Boa Esperança foi construída é o segundo mais importante, após o São Francisco. Neste estudo, as características limnológicas foram analisadas a partir de coletas realizadas em quatorze estações, nos trimestres de janeiro a outubro de 2004. Através de alguns dos parâmetros limnológicos analisados (transparência, clorofila-a, fósforo e fósforo solúvel reativo) foi possível inferir também sobre os graus de trofia apresentados. A avaliação foi realizada a partir dos índices de estado trófico de Carlson (IET) e Carlson Modificado (IETM). Assim, as águas foram caracterizadas por baixas concentrações de nutrientes, com distintas características entre as principais regiões do reservatório. As variações temporais foram influenciadas principalmente pelos índices pluviométricos regionais, caracterizando dois períodos anuais distintos, chuvoso e seco. A heterogeneidade espacial correspondeu, principalmente, às diferentes regiões lótica, de transição e lêntica, independente da época do ano. De acordo com o IET, as águas do reservatório apresentaram uma predominância hipereutrófica. Pôde-se observar a diferenciação existente entre os níveis de enquadramento trófico apresentados pelo IET e IETM, tendo o último demonstrado ser mais adequado a estudos direcionados a ambientes tropicais, apresentando valores menores que o primeiro. O reservatório de Boa Esperança apresentou características de um ambiente limnologicamente estável, sem grandes variações espaciais e temporais, tendo baixa densidade demográfica no seu entorno, conseqüentemente, reduzida influência antrópica no ecossistema aquático.

2. ABSTRACT

The high water demand by modern society determines the gradual increase of the negative effects derived from anthropic interference on water bodies. Owing to the importance of water availability for human social development, Brazilian Northeast region may be emphasized for its water scarcity, where there is an urgent need of environmental monitoring, aiming at a sustained management of water bodies in the region. Therefore, the importance of limnological studies in reservoirs of this region derives from the relative few monitoring undertaken, compared to other regions in the country. In this region, the Parnaíba river, where the Boa Esperança dam was built, is the second most important one, following the São Francisco river. In the present study, limnological characteristics were analysed from samples collected quarterly, from January to October 2004, at fourteen stations along the reservoir. Based on some of the parameters analysed (water transparency, chlorophyll-a, total and reactive soluble phosphorous), it was possible to evaluate the trophic status presented. This evaluation was based on the Carlson trophic state (IET) and Carlson modified (IETM) indexes. As a result, the reservoir water was characterized by low nutrient concentration, with distinct features along the main regions of the reservoir. Seasonal variation was mainly influenced by regional rainfall pattern, thus characterizing two conspicuous seasonal periods: dry and rainy. The spatial heterogeneity corresponded mostly to the different lotic, transition, and lentic regions, independently of period of the year. According to the IET, the reservoir water was mainly hypereutrophic. A difference among IET and IETM levels was recorded, and the latter was considered more appropriate for tropical environment studies, presenting lower values than the former. The Boa Esperança reservoir is characterized as a typical stable limnological environment, without significant seasonal and spatial variation, what may be attributed to its low marginal demographic density, with a consequent reduced anthropic influence over the aquatic environment.

3. INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com a disponibilidade mundial de água vem exigindo da sociedade contemporânea uma nova consciência em relação à utilização desse recurso. A água potável encontrada na natureza é essencial para a vida no planeta, no entanto, este recurso tem se tornado cada vez mais escasso.

Cerca de 70% do planeta Terra é coberto por água, sendo que 97,5% da disponibilidade mundial da água estão nos oceanos e mares (água salgada), ou seja, água imprópria para o consumo humano direto. Apenas 2,5% é doce, sendo que 68,9% encontra-se em regiões polares e geleiras, enquanto 29,9% são de águas subterrâneas (aquíferos) de difícil acesso. Somente 0,3% da água doce disponível está em rios e lagos e 0,9% em outros reservatórios (TUNDISI, 2003).

O Brasil possui uma das maiores reservas hídricas do mundo, concentrando cerca de 12% da água doce superficial disponível no planeta, sendo cerca de 80% da produção hídrica total localizada nas bacias do Amazonas, São Francisco e Paraná (REBOUÇAS et al., 2002).

A distribuição espacial hídrica dos recursos brasileiros não coincide com as demandas da população. A região Norte, com apenas 7% da população brasileira, reúne 68% da água doce do país na bacia amazônica. O Nordeste, com 29% da população tem apenas 3% da água doce. No Sudeste, 43% da população têm menos de 6% da água doce de superfície (MIRANDA, 2004).

Por ser um dos poucos países que possuem numerosos rios com potencial de aproveitamento hidrelétrico, é compreensível que o Brasil tenha implantado um parque gerador de energia elétrica de base predominantemente hídrica, sendo um dos maiores do mundo, em termos absolutos e relativos. Atualmente, as usinas hidroelétricas dão sustentação ao desenvolvimento nacional e ao parque industrial brasileiro, respondendo, nos últimos anos, por quase 97% do total de energia gerada no País, tornando-se altamente dependente da energia hídrica (REBOUÇAS et al., 2002).

No Brasil, as bacias hidrográficas, em sua grande maioria, englobam diversas regiões com características geomorfológicas e sócio-econômicas diferentes. Essas diferenças regionais, bem como a diversidade de impactos ambientais ocorridos e a pequena base de dados existentes, sobretudo para a maioria dos ecossistemas aquáticos,

constituem um dos maiores problemas para as comunidades circunvizinhas, principalmente quanto ao uso e ao manejo desses sistemas (ESPÍNDOLA, 2003).

Os reservatórios têm um importante papel econômico, ecológico e social, produzindo muitas mudanças em bacias e rios. Um reservatório causa uma série de impactos significantes na bacia onde é construído. O entendimento de impactos causados por grandes ou pequenas represas, requer o conhecimento prévio das condições originais dos sistemas terrestre e aquático, da diversidade, e mecanismo de funcionamento da flora e fauna, da hidrogeoquímica e flutuações sazonais (TUNDISI, 1987). As características mais importantes de um reservatório relacionam-se com a sua morfometria, tempo de retenção (dependente dos usos, ciclos hidrológicos e fluxo de exigências), padrões térmicos de estratificação e circulação, flutuações no nível de água, tipo e tamanho da área inundada, associando os efeitos e/ou relação com o trecho à jusante do ecossistema (TUNDISI e STRAŠKRABA, 1999).

A região do semi-árido brasileiro apresenta grandes diferenças inter-regionais, tanto em termos de desenvolvimento econômico e social, quanto em relação à disponibilidade hídrica (REBOUÇAS, 1997). A escassez de água tem sido historicamente apontada como um dos principais motivos para seu baixo índice de desenvolvimento econômico e social. Entretanto, os aquíferos dessa região apresentam o maior potencial hídrico de toda a região Nordeste e podem, se explorados de maneira sustentada, representar um grande diferencial em relação às demais áreas do Nordeste brasileiro, no que se refere à possibilidade de promover o desenvolvimento econômico e social (REBOUÇAS et al., 2002). No Nordeste brasileiro, o rio Parnaíba é o mais importante depois do rio São Francisco. Sua bacia hidrográfica é a de maior extensão superficial dentre as 25 bacias do Nordeste e abrange o estado do Piauí e parte do Maranhão e do Ceará (AGUIAR, 2004).

O reservatório de Boa Esperança foi formado a partir do represamento do rio Parnaíba, com a implantação da Usina Hidro Elétrica (UHE) em 1970. Apesar de seus mais de 30 anos de operação, as características limnológicas do reservatório não têm sido estudadas sistematicamente. Atividades de monitoramento limnológico foram realizadas, de forma descontínua, no período de 1994 e 1998-2000 (UFMA, 1998a,b; 2000).

Um dos principais processos causadores da degradação da qualidade das águas em ambientes lênticos tem sido a eutrofização (VIEIRA et al., 1998), que consiste no enriquecimento das águas por substâncias fertilizantes que propiciam o crescimento vegetal excessivo, tanto por fitoplâncton quanto macrófitas (TOLEDO et al., 1984; VON SPERLING, 1995; HARREMOES, 1998).

Dentre os diversos fatores causadores do processo de eutrofização, podem ser citados como principais, os lançamentos de efluentes domésticos e industriais ricos em nutrientes, decorrentes do processo desordenado de urbanização das grandes cidades e a inadequada cobertura de coleta e tratamento desses efluentes; características edáficas das regiões onde se encontram os mananciais, por muitas vezes em solos ricos em micro e macro nutrientes e o uso indiscriminado de fertilizantes ou de defensivos agrícolas, que terminam sendo carregados para o corpo d'água (OENEMA & ROESTI, 1998).

Portanto, o conhecimento das influências do ciclo hidrológico e as variações de vazão nos rios que abastecem os reservatórios sobre suas variáveis limnológicas, contribuem para o gerenciamento da qualidade física, química e biológica da água, em trechos de rio e reservatório, que permite reconhecer alterações ocorridas, seus fatores causadores e seus efeitos sobre as comunidades naturais, bem como, subsidiar trabalhos relativos às intervenções associadas ao manejo e gestão ambiental ao nível local, regional e da bacia hidrográfica (ANDREOLI & CARNEIRO, 2005).

4. OBJETIVOS

4.1. GERAL

- ✓ Caracterizar as características limnológicas do reservatório de Boa Esperança, visando estabelecer um referencial sobre as principais características da qualidade da água do reservatório e suas diferenças espaciais e sazonais.

4.2. ESPECÍFICOS

- ✓ Analisar as características limnológicas do Reservatório de Boa Esperança, a partir do estudo de variáveis físicas, químicas e biológica, coletadas nos meses de janeiro, abril, julho e outubro de 2004.
- ✓ Verificar a existência de diferenças sazonais e espaciais em suas principais variáveis limnológicas.
- ✓ Avaliar o estado trófico do reservatório.

5. REVISÃO DE LITERATURA

5.1. DISPONIBILIDADE E USO MÚLTIPLO DOS RECURSOS HÍDRICOS

A água é um bem vital para a sobrevivência da espécie humana e de todas as outras em nosso planeta, sendo também considerada como um recurso finito, escasso e, que ainda, enfrenta problemas de quantidade e de qualidade.

Apesar do Brasil estar em uma situação privilegiada com relação à disponibilidade hídrica, cerca de 70% da água doce do País encontra-se na região Amazônica, enquanto os outros 30% são distribuídos para 95% da população, que habitam o resto do território nacional (SETTI et al., 2001). Tal situação favorece o surgimento de problemas de escassez hídrica causados, fundamentalmente, pela combinação de um crescimento populacional exagerado em grandes centros urbanos e a degradação da qualidade das águas, conseqüência de desordenados processos de urbanização, industrialização e expansão agrícola (TUNDISI, 2003).

A água é um bem comum, social e estratégico, apresentando-se frágil diante dos diversos usos requeridos. Esta situação é uma conseqüência direta dos efeitos adversos do crescimento e adensamento populacional, do aumento da produção e da diversificação de bens e serviços (ASSUNÇÃO & BURSZTYN, 2001).

O problema de alocação da água entre os diversos usos e usuários de uma bacia hidrográfica pode ser minimizado quando prevalecem os seguintes atributos: o recurso é abundante, sua qualidade é compatível com os usos requeridos, a oferta do bem é garantida no espaço e no tempo e o recurso é utilizado de forma sustentável. Além disso, deve haver um equilíbrio relativo entre os atributos para que o problema de alocação não se torne complexo (ROBERTO & PORTO, 1999).

A necessidade de acúmulo de água para diversos fins determinou o barramento de rios, criando lagos artificiais ou reservatórios, sendo que usos preponderantes ou múltiplos têm influência fundamental em sua morfometria, morfologia e limnologia (TUNDISI et al., 2002). Isto equivale dizer, que aspectos como profundidade média, tempo de residência e a qualidade da água influenciam os usos ao qual o ambiente se destina (XAVIER, 2005).

5.2. RESERVATÓRIOS

Os reservatórios são sistemas aquáticos modificados, extremamente complexos e dinâmicos, que apresentam as funções principais de manutenção da vazão dos cursos de água e atendimento às variações da demanda dos usuários (PRADO, 2002). São construídos pelo barramento artificial de um vale natural ou pela formação artificial de lagos, associados a uma bacia de drenagem natural e com vazões defluentes sujeitas a controle (CRUZ & FABRIZY, 1995).

A construção dessas obras propicia ao homem a estratégica energia elétrica, renovável e não-polvente, ao mesmo tempo em que regulariza rios e possibilita a implantação de corredores hidroviários, por outro lado, altera o equilíbrio ambiental e o uso e ocupação do solo no interior da área de inundação e nos entornos do lago (ALBUQUERQUE FILHO, 2002).

Por causa de características como o tempo de residência de reservatórios, estes podem ter uma capacidade de amortecimento, ou seja, podem resistir a certos níveis de poluição. Contudo, esta capacidade de assimilação é limitada e o surgimento de problemas pode ocorrer durante um período relativamente curto, como consequência de uma entrada de poluentes, que pode durar por muito tempo em função do uso e ocupação do solo na bacia de contribuição (JORGENSEN & VOLLENWEIDER, 1989).

De acordo com Tundisi (2003), as principais causas da deterioração dos recursos hídricos do planeta são:

- a) crescimento populacional e rápida urbanização;
- b) diversificação dos usos múltiplos;
- c) gerenciamento não coordenado dos recursos hídricos disponíveis;
- d) não reconhecimento de que a saúde humana e a qualidade da água são interativas;
- e) peso excessivo das políticas governamentais nos “serviços de água” (fornecimento de água e tratamento de esgotos);
- f) degradação do solo por pressão da população, aumentando a erosão e a sedimentação de rios, lagos e reservatórios;
- g) a água é tratada exclusivamente como um bem social e não econômico, resultando em uso ineficiente e desperdício com irrigação após o tratamento (na distribuição);
- h) problemas sociais, ambientais e econômicos referentes aos recursos hídricos são tratados separadamente e de forma pouco eficiente.

5.3. ASPECTOS LIMNOLÓGICOS

Corpos de água são classificados por seus três componentes principais: hidrologia, características físico-químicas e biologia (MEYBERCK & HELMER, 1992). Quanto à hidrologia, diferenciam-se em lóticos, ou seja, de água corrente como rios, e lânticos cuja velocidade é pequena ou nenhuma, e cujo tempo de residência da água pode variar de poucas semanas a várias décadas, os quais são representados por lagos naturais. Entre estes dois tipos de ambiente, existe um intermediário, lagos artificiais construídos para diferentes usos, cuja velocidade e tempo de residência dependem tanto das características hidrológicas da bacia hidrográfica, quanto de regras operativas e de manejo (HUTCHINSON, 1957; VOLLENWEIDER, 1968; WETZEL, 1981).

De acordo com Tundisi e Straškraba (1999), as características mais importantes de um reservatório relacionam-se com a sua morfometria, tempo de retenção, padrões térmicos de estratificação e circulação, flutuações no nível de água, tipo e tamanho da área.

Segundo Leonardo (2003), o monitoramento tem como um de seus produtos principais a reorientação técnica e científica da prática de uso dos recursos naturais, com vista à busca da sustentabilidade.

O reservatório de Boa Esperança pode ser observado como uma bacia dentro da bacia hidrográfica do rio Parnaíba e a compreensão de variáveis limnológicas e hidrológicas, da quantidade de sólidos suspensos e dissolvidos na água e do seu regime de vazão, permite averiguar a qualidade da água desta microbacia, possibilitando uma melhor compreensão de toda a bacia hidrográfica e o gerenciamento sustentável dos recursos hídricos.

A heterogeneidade espacial e temporal das características limnológicas apresentada em reservatórios, influencia fundamentalmente a estrutura ecológica e o funcionamento destes ecossistemas. As progressivas trocas físicas, químicas e biológicas ao longo do eixo principal do reservatório (transição rio-lago) frequentemente incluem fortes gradientes espaciais (NOGUEIRA et al. 1999). Nos ecossistemas aquáticos localizados em regiões tropicais e subtropicais, as variações temporais são comumente induzidas pelo padrão sazonal de precipitação e ação dos ventos (TUNDISI, 1980; GROOT, 1981; NILSSEN, 1984; TALLING & LEMOALLE, 1998). Além disso, eventos sazonais podem tornar a estrutura espacial mais complexa, vertical e horizontalmente.

5.4. EUTROFIZAÇÃO

A poluição das águas origina-se principalmente de efluentes domésticos, efluentes industriais e da exploração agrícola, associada, principalmente, ao tipo de uso e ocupação do solo (HOLMES, 1996; VARIS, 1996).

Segundo Wetzel (1993), a eutrofização é um dos estados da sucessão natural dos ecossistemas aquáticos. À medida que o tempo passa e os nutrientes vão se acumulando, havendo um desenvolvimento cada vez maior das populações de fitoplâncton, observa-se com frequência o florescimento de algas. Quando acontece naturalmente, a eutrofização é gradual e muito lenta (demorando anos para se estabelecer).

Entretanto, quando este processo é acelerado, há um aumento desordenado na produção de biomassa, impossibilitando a sua incorporação pelo sistema aquático com a mesma velocidade e provocando, assim, um desequilíbrio ecológico. Denomina-se este processo de eutrofização cultural (SOUZA, 1993).

O nitrogênio e o fósforo são apontados como principais nutrientes responsáveis pelo processo, no entanto, outros fatores externos como luz e temperatura da água também atuam como controladores do fenômeno da eutrofização (TOLEDO et al., 1984; TUNDISI et al., 1988; WETZEL, 1993; ESTEVES & BARBOSA, 1986).

O monitoramento do teor de clorofila, em lagos e reservatórios, é particularmente importante, uma vez que é um indicador de condições tróficas e indiretamente da presença de fertilizantes, pesticidas e herbicidas (GOODIN et al., 1993).

O índice de Carlson (1977) é uma das ferramentas mais empregadas para a estimativa do estado trófico em ambientes aquáticos. O mesmo tem sido usado em diferentes ecossistemas aquáticos, incluindo lagoas costeiras (SCHÄFER, 1988) e reservatórios (MATSUMURA-TUNDISI et al., 1986; CALEFFI et al., 1994). A modificação proposta por Toledo et al. (1983), para este índice, também tem sido amplamente empregada para estimar o estado trófico, principalmente de lagos e reservatório de regiões tropicais e subtropicais (MERCANTI & TUCCI-MOURA, 1999; TUNDISI et al., 1988).

6. ARTIGO PARA SUBMISSÃO À ACTA LIMNOLOGICA BRASILIENSIA

CARACTERIZAÇÃO LIMNOLÓGICA SUAS VARIAÇÕES ESPACIAS E SAZONAIS DO
RESERVATÓRIO DE BOA ESPERANÇA, RIO PARNAÍBA.

LIMNOLOGICAL CHARACTERIZATION AND THEIR SPATIAL AND SEASONAL
VARIATION IN THE BOA ESPERANÇA RESERVOIR, RIO PARNAÍBA

AUTORES:

Anderson ANTONELLO ¹

William SEVERI ¹

Aureliano de Vilela CALADO NETO ¹

Bruno Dourado Fernandes da COSTA ¹

Sérgio Catunda MARCELINO ¹

1- Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE

Departamento de Pesca e Aqüicultura – DEPAq

Laboratório de Limnologia

Rua Dom Manoel de Medeiros, S/N – Dois Irmãos – Recife – PE

CEP: 52171-900

E-mail: anderson_antonello@yahoo.com.br

1. RESUMO

A importância da realização de estudos limnológicos para reservatórios da região Nordeste é demonstrada pelos poucos monitoramentos realizados, considerando-se as demais regiões do país. Nesta região, o rio Parnaíba, onde a barragem de Boa Esperança foi construída, é o segundo mais importante, após o São Francisco, sua usina hidro elétrica (UHE) foi implantada em 1968, e atualmente só esta a responsabilidade da CHESF. As características limnológicas foram determinadas a partir de quatro coletas realizadas em quatorze estações, nos meses de janeiro, abril, julho e outubro de 2004. As águas foram caracterizadas por apresentarem baixas concentrações de nutrientes, com médias anuais de 177,33 µg/L para fósforo total, 32,31 µg/L, para nitrato e 2,36 µg/L para clorofila-a. Foram apresentadas distintas características entre os principais trechos do reservatório, tendo o rio Balsas apresentado os valores mais elevados de nitrogênio amoniacal, nitrato, alcalinidade e dureza totais, condutividade elétrica, salinidade e sólidos totais dissolvidos. O rio Parnaíba, por sua vez, apresentou valores mais elevados que no Balsas, apenas para sólidos suspensos. As variações temporais foram influenciadas, principalmente, pelos índices pluviométricos regionais, caracterizando dois distintos períodos anuais, chuvoso e seco. A heterogeneidade espacial correspondeu principalmente com as diferentes regiões lótica, transição e lêntica, ao longo do reservatório, independente da época do ano. O reservatório de Boa Esperança apresentou características de um ambiente limnologicamente estável, sem grandes variações espaciais e temporais, tendo baixa densidade demográfica no seu entorno, conseqüentemente, reduzida influência antrópica no ecossistema aquático.

Palavras-chave: características limnológicas, reservatório de Boa Esperança, rio Parnaíba, variação espacial e sazonal.

2. ABSTRACT

The importance of the accomplishment of limnol6gicos studies for reservoirs of the Northeast region is demonstrated by the few carried through monitoramentos, considering the too much regions of the country. In this region, the river Parna6ba, where the barrage of Good Hope was constructed, is as more important, after the San Francisco, its electric plant hidro (UHE) was implanted in 1968, and currently alone this the responsibility of the CHESF. The limnol6gicas characteristics had been determined from four collections carried through in fourteen stations, in the months of January, April, July and October of 2004. The waters had been characterized by presenting low concentrations of nutrients, with 177,33 annual averages of $\mu\text{g/L}$ for total match, 32.31 $\mu\text{g/L}$, for nitrate and 2,36 $\mu\text{g/L}$ for clorofila it. Distinct characteristics between the main stretches of the reservoir had been presented, having the total river Rafts presented the raised values more of ammoniac nitrogen, nitrate, alkalinity and hardness, electric condutividade, dissolved salinity and total solids. The river Parna6ba, in turn, presented values higher than in the Rafts, only for suspended solids. The secular variations had been influenced, mainly, for the regional pluviom6tricos indices, characterizing two distinct annual periods, rainy and dry. The space heterogeneidade corresponded mainly with the different regions l6tica, transistion and l6ntica, to the long one of the reservoir, independent of the time of the year. The reservoir of Good Hope presented characteristics of a limnologicamente steady environment, without great space and secular variations, having low demographic density in its entorno, consequently, reduced antr6pica influence in the aquatic ecosystem.

Key-words: limnologic characteristics, space variation and season, river Parna6ba, Northeast and reservoir of Boa Esperan7a.

3. INTRODUÇÃO

Os reservatórios têm um importante papel econômico, ecológico e social, produzindo muitas mudanças em bacias e rios. Um reservatório causa uma série de impactos significativos na bacia onde é construído. O entendimento dos impactos causados por grandes ou pequenas represas, requer o conhecimento prévio das condições originais dos sistemas terrestre e aquático, da diversidade e mecanismo de funcionamento da flora e fauna, da hidrogeoquímica e flutuações sazonais (Tundisi, 1987). As características mais importantes de um reservatório relacionam-se com a sua morfometria, tempo de retenção (dependente dos usos, ciclos hidrológicos e fluxo de exigências), padrões térmicos de estratificação e circulação, flutuações no nível de água, tipo e tamanho da área inundada, associa aos efeitos e/ou relação com o trecho a jusante do ecossistema (Tundisi e Straškraba, 1999).

A heterogeneidade espacial e temporal das características limnológicas apresentada em reservatórios, influencia fundamentalmente a estrutura ecológica e o funcionamento destes ecossistemas. As progressivas trocas físicas, químicas e biológicas ao longo do eixo principal do reservatório (transição rio-lago) freqüentemente incluem fortes gradientes espaciais (Nogueira *et al.* 1999). Nos ecossistemas aquáticos localizados em regiões tropicais e subtropicais, as variações temporais são comumente induzidas pelo padrão sazonal de precipitação e ação dos ventos (Tundisi, 1980; Groot, 1981; Nilssen, 1984; Talling & Lemoalle, 1998). Além disso, eventos sazonais podem tornar a estrutura espacial mais complexa, vertical e horizontalmente.

Portanto, o conhecimento das influências do ciclo hidrológico e as variações de vazão nos rios que abastecem os reservatórios sobre suas variáveis limnológicas, contribui para o gerenciamento da qualidade física, química e biológica da água, em trechos de rio e reservatório, que permite reconhecer alterações ocorridas, seus fatores causadores e efeitos sobre as comunidades naturais, bem como, subsidiar trabalhos relativos às intervenções associadas ao manejo e gestão ambiental ao nível local, regional e da bacia hidrográfica (Andreoli & Carneiro, 2005).

A importância da realização de estudos limnológicos para reservatórios da região Nordeste é demonstrada pelos poucos monitoramentos realizados, em comparação com as outras regiões do país, sobretudo Sul e Sudeste. No Nordeste brasileiro, o rio Parnaíba é o mais importante depois do rio São Francisco. Sua região hidrográfica é a de maior extensão superficial dentre as 25 bacias do Nordeste e abrange o estado do Piauí e parte do Maranhão e do Ceará (Aguiar, 2004). Nele foi construída a barragem de Boa Esperança, para formação do reservatório, com a implantação da Usina Hidro Elétrica (UHE) em 1968. Apesar dos seus mais de 30 anos de operação, as características limnológicas do reservatório não têm sido monitoradas sistematicamente, o que determina a necessidade de realização de estudos limnológicos, que caracterizem a atual situação da água. Tal aspecto assume importância mais relevante, haja vista a previsão de implantação de outras cinco hidroelétricas na bacia do Parnaíba, sendo duas acima e três abaixo de Boa Esperança (ANEEL, 2005). A sua implantação deverá modificar significativamente as características limnológicas do reservatório, por sua posição intermediária dentre um sistema de cascata de reservatórios.

4. ÁREA DE ESTUDO

O reservatório de Boa Esperança possui uma área máxima normal de 363 km², tendo sido formado a partir do represamento do rio Parnaíba, com a implantação da UHE (Usina Hidro Elétrica) Companhia Hidro Elétrica de Boa Esperança (COHEBE), a partir de 1964, posteriormente transferida para a CHESF, localizada no município de Guadalupe, tendo como coordenadas 43° 30' de Longitude Oeste e 6° 50' de Latitude Sul, com capacidade de gerar 237 mil kW de energia, é a maior usina da CHESF fora do circuito do Rio São Francisco, com capacidade de gerar 237 mil kW de energia sendo o único reservatório em toda bacia do Parnaíba (CHESF, 2006).

O reservatório é formado pelos rios Balsas e Parnaíba, estando localizado numa região de transição entre rios de regime equatorial e aqueles do nordeste, recebendo pela margem esquerda, afluentes perenes e pela margem direita predominam os tributários temporários,

oriundos do sertão semi-árido. O clima regional da bacia do Parnaíba varia de árido e semi-árido, a leste, para úmido a norte e oeste. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw, caracterizado por temperaturas elevadas com chuva no verão e seca no inverno.

Quatorze (14) estações de coleta foram distribuídas ao longo do eixo central do reservatório, levando-se em consideração as diferentes regiões – lótica (BOA01 a BOA03), transição (BOA04 a BOA06) e lântica (BOA07 a BOA14) (Fig. 1).

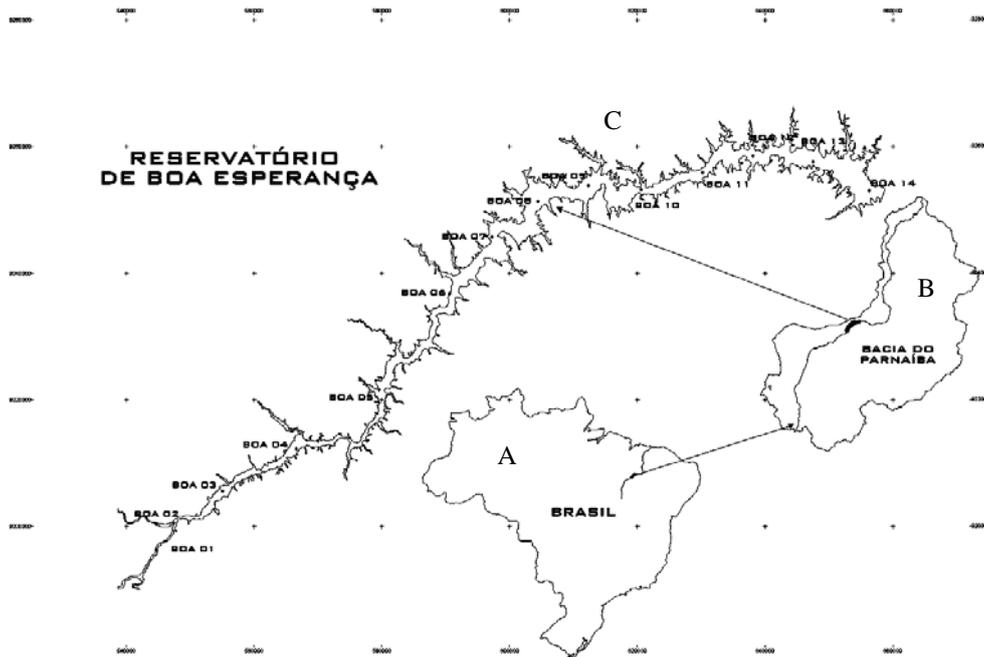


Figura 1 – A. Mapa do Brasil com a localização da bacia do rio Parnaíba; B. Mapa da bacia do rio Parnaíba e localização do reservatório de Boa Esperança; C. Mapa do reservatório de Boa Esperança com localização das estações.

5. METODOLOGIA

Coletaram-se amostras com garrafa de Van Dorn em duas profundidades (superfície e fundo), em cada estação, para determinação de variáveis físicas, químicas e biológicas, em campanhas foram realizadas nos meses de janeiro, abril, julho e outubro de 2004. Após determinação *in situ* das variáveis, as amostras foram acondicionadas em gelo e transportadas para base de apoio, sendo filtradas e congeladas, posteriormente levadas ao Laboratório de

Limnologia, onde foram analisadas, localizado no Departamento de Pesca e Aqüicultura (DEPAq), da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), em Recife-PE.

As variáveis *in situ* temperatura, pH, condutividade elétrica, salinidade, sólidos totais dissolvidos e oxigênio dissolvido da água, foram mensuradas com um multiparâmetro YSI-556. A transparência da água foi estimada através da leitura da profundidade média de extinção de disco de Secchi, medida à sombra.

A radiação solar subaquática, foi determinada por leitura direta através de um quantômetro LI-COR 250, calculando da profundidade da zona eufótica, correspondente a 1% da radiação sub-superficial.

A alcalinidade e dureza totais (CaCO_3) foram determinadas segundo Golterman *et al.* (1978). A concentração de nitrato (NO_3) e nitrito (NO_2), segundo Mackereth *et al.* (1978), e o nitrogênio amoniacal total ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4$), segundo Koroleff (1976). O fósforo (P) e fosfato totais (PO_4) e o fosfato inorgânico (PO_4) dissolvido, segundo Strickland & Parsons (1965). O cloreto (Cl) foi analisado segundo APHA (1996). O material em suspensão foi analisado pelo método gravimétrico (Teixeira *et al.*, 1965 e Tundisi, 1969), calculando-se os sólidos totais e frações orgânica e inorgânica. A turbidez (UNT) foi analisada através do turbidímetro OBERCO-HELLIGE modelo 966. A concentração de clorofila-a, foi determinada através do método proposto por Nusch (1980).

Dados hidrológicos (precipitação pluviométrica, cota do reservatório e vazão afluyente e defluente) e climatológicos foram fornecidos pela DORH/CHESF, visando caracterizar a precipitação na área de influência do reservatório e aspectos relacionados ao mesmo.

6. RESULTADOS

Durante o período de estudo – janeiro a outubro de 2004 -, as chuvas tem início entre outubro e novembro, terminando entre março e abril, com precipitação máxima nos meses de janeiro (370,7 mm) e fevereiro (202,9 mm). A precipitação total em 2004 foi de 1004,6 mm (Fig. 2).

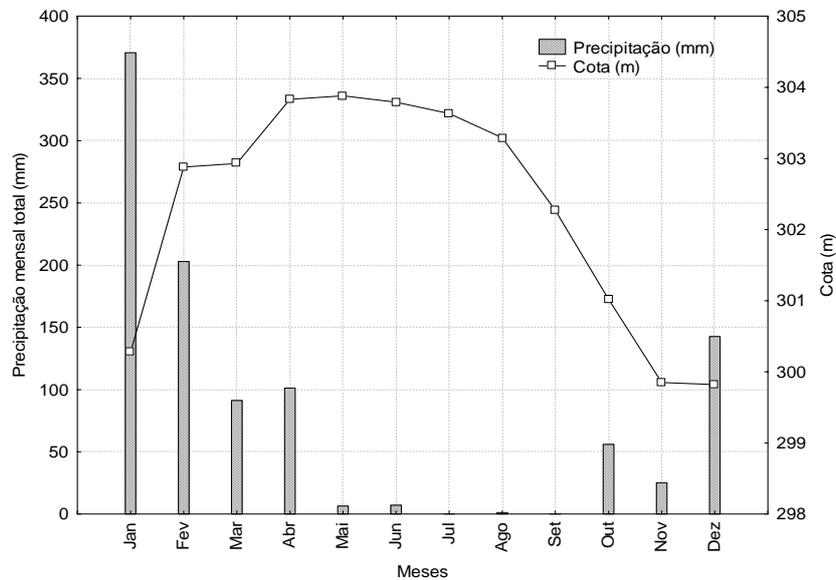


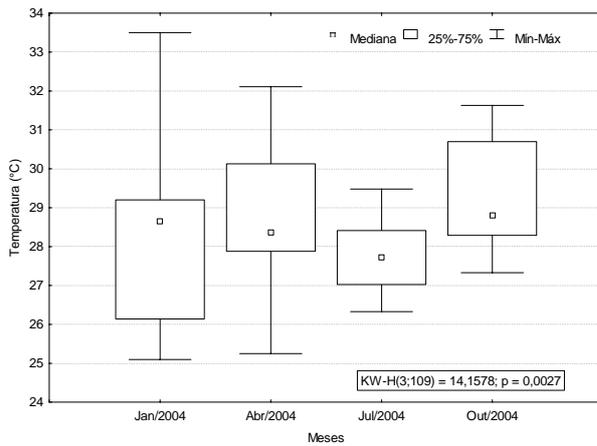
Figura 2 – Variação do nível do reservatório de Boa Esperança e precipitação mensal acumulada em 2004 (Dados do DORH, 2006).

A temperatura média anual da água foi de 28,62 °C, variando entre 25,10 e 33,50 °C (Tab. I), com valores máximo e mínimo em janeiro, provocados pela alta pluviosidade logo após um período de elevadas temperaturas, como ocorrido em outubro, com as maiores médias (Fig. 3A), diferindo estatisticamente entre meses ($p = 0,0027$, Tab. I). Em julho, período de seca, registrou-se as menores oscilações ao longo do reservatório. Diferindo espacialmente ($p = 0,0041$, Tab. I), com menores valores na região lótica e maiores na lântica (Fig. 4A).

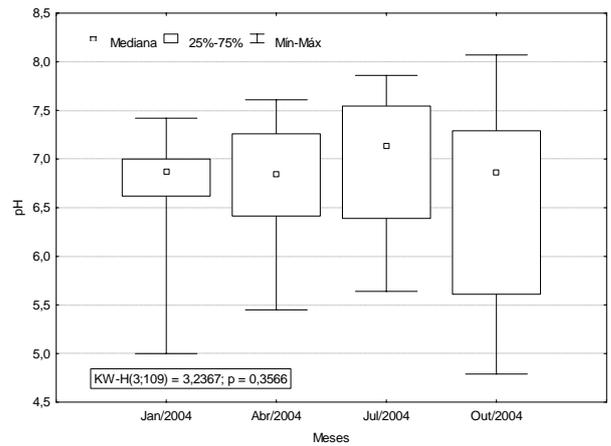
Com um padrão de distribuição sazonal e espacial inverso ao da temperatura, o oxigênio dissolvido (OD), apresentou menores valores próximos da barragem (Fig. 4D), local de maiores profundidades, no mês de abril (Fig. 3D), coincidindo com o máximo nível do reservatório (Fig. 2). Apesar de alguns valores extremamente baixos, de 0,46 mg/L, a média anual de OD foi de 5,92 mg/L, com variância e desvio padrão, de 2,25 e 1,50, respectivamente, diferindo significativamente entre estações e meses (Tab. I).

A média anual de pH foi 6,76, com desvio padrão de 0,72, variando de 4,79 a 8,07 (Tab. I), mostrando uma homogeneidade no período de estudo, sem diferença estatística sazonal. Observou-se uma tendência de aumento do pH no sentido rio-barragem, o qual diferiu entre as estações, passando a ser ligeiramente alcalino (Fig. 4B).

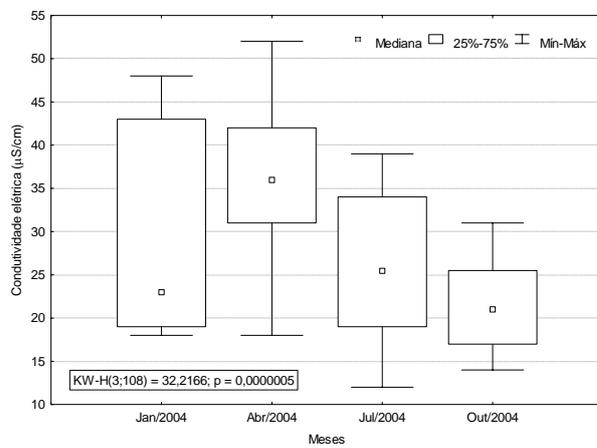
A



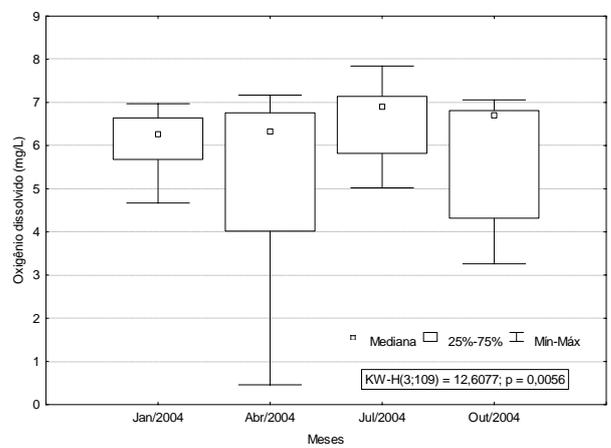
B



C



D



E

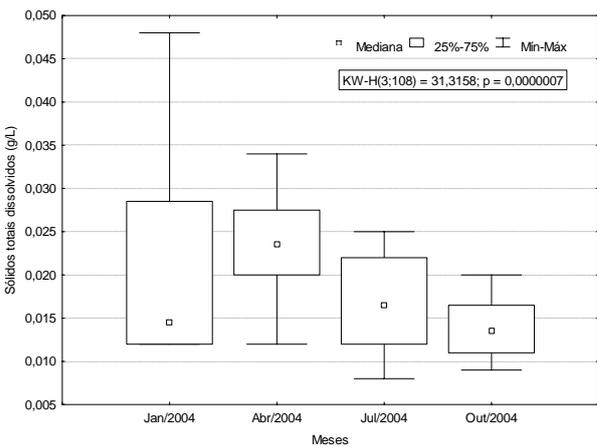


Figura 3 – Amplitude de variação e mediana dos valores de temperatura (A), pH (B), condutividade elétrica (C), oxigênio dissolvido (D) e sólidos totais suspensos (E), nos meses de amostragem do reservatório de Boa Esperança, durante o ano de 2004.

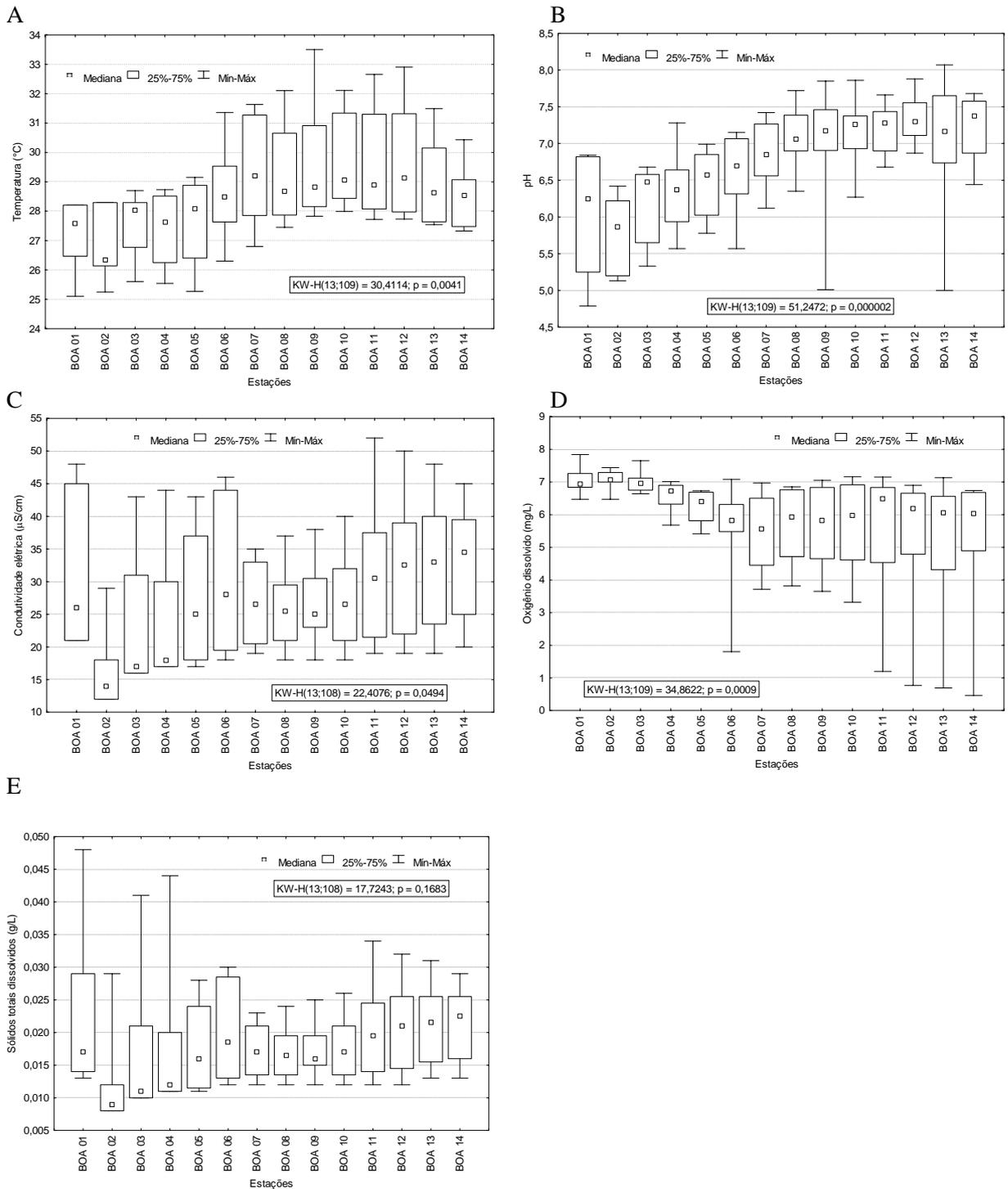


Figura 4 – Amplitude de variação e mediana dos valores de temperatura (A), pH (B), condutividade elétrica (C), oxigênio dissolvido (D) e sólidos totais suspensos (E), nas estações de amostragem do reservatório de Boa Esperança, durante o ano de 2004.

Tabela I – Valores das análises estatísticas descritivas, das variáveis analisadas, nas diferentes estações e meses de amostragem do reservatório de Boa Esperança, durante 2004, incluindo seus respectivos níveis de significância entre as estações, meses e profundidades.

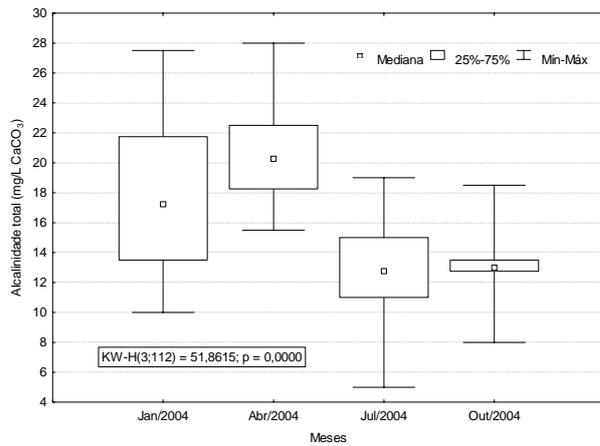
| Variável | Unidade | n | Máximo | Mínimo | Média | Mediana | Desvio padrão | Variância | p (Estações) | p (Meses) | p (Profundidade) |
|-------------------------------|------------------------|-----|--------|--------|--------|---------|---------------|-----------|--------------|------------|------------------|
| Nitrogênio amoniacal | µg/L | 112 | 56,74 | 0,00 | 10,13 | 6,76 | 11,42 | 130,52 | 0,0009 | 0,581 | 0,3235 |
| Nitrito | µg/L | 111 | 3,57 | 0,00 | 0,91 | 0,89 | 0,68 | 0,47 | 0,8648 | 0,0000004 | 0,002 |
| Nitrato | µg/L | 111 | 155,52 | 0,67 | 32,31 | 29,68 | 24,72 | 610,87 | 0,6531 | 0,0 | 0,9835 |
| Fosfato inorgânico | µg/L | 112 | 12,37 | 0,00 | 3,88 | 3,71 | 2,50 | 6,24 | 0,7046 | 0,00000003 | 0,1615 |
| Fosfato total | µg/L | 112 | 92,51 | 3,96 | 21,77 | 15,86 | 15,23 | 231,87 | 0,00002 | 0,038 | 0,2742 |
| Fósforo total | µg/L | 112 | 612,88 | 0,00 | 177,33 | 148,37 | 117,20 | 13735,80 | 0,9148 | 0,0 | 0,5489 |
| Alcalinidade total | mg/L CaCO ₃ | 112 | 28,00 | 5,00 | 16,17 | 15,00 | 4,90 | 24,00 | 0,6456 | 0,0 | 0,6941 |
| Dureza total | mg/L CaCO ₃ | 112 | 24,82 | 2,80 | 12,48 | 11,91 | 5,58 | 31,18 | 0,7615 | 0,0 | 0,6966 |
| Cloretos | mg/L | 112 | 20,00 | 8,50 | 13,30 | 12,80 | 2,40 | 5,78 | 0,9985 | 0,0 | 0,9512 |
| Clorofila-a | µg/L | 112 | 12,28 | 0,00 | 2,36 | 2,23 | 1,98 | 3,94 | 0,1351 | 0,0161 | 0,0011 |
| Turbidez | UNT | 112 | 169,00 | 1,40 | 32,66 | 11,90 | 41,00 | 1680,86 | 0,2749 | 0,0 | 0,1401 |
| Sólidos suspensos totais | g/L | 56 | 0,47 | 0,00 | 0,05 | 0,00 | 0,11 | 0,01 | 0,0012 | 0,0019 | - |
| Sólidos suspensos orgânicos | g/L | 56 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,0026 | 0,0029 | - |
| Sólidos suspensos inorgânicos | g/L | 56 | 0,45 | 0,00 | 0,05 | 0,00 | 0,10 | 0,01 | 0,001 | 0,0019 | - |
| Temperatura | °C | 109 | 33,50 | 25,10 | 28,62 | 28,31 | 1,78 | 3,17 | 0,0041 | 0,0027 | 0,000002 |
| pH | - | 109 | 8,07 | 4,79 | 6,76 | 6,87 | 0,72 | 0,51 | 0,000002 | 0,3566 | 0,0014 |
| Condutividade elétrica | µS/cm | 108 | 52,00 | 12,00 | 28,16 | 26,50 | 10,00 | 100,02 | 0,0494 | 0,0000005 | 0,6732 |
| Oxigênio dissolvido | mg/L | 109 | 7,84 | 0,46 | 5,92 | 6,49 | 1,50 | 2,25 | 0,0009 | 0,0056 | 0,00000001 |
| Salinidade | - | 109 | 0,02 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,0824 | 0,0004 | 0,4943 |
| Sólidos dissolvidos totais | g/L | 108 | 0,05 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,00 | 0,1683 | 0,0000007 | 0,4948 |
| Transparência (Secchi) | m | 56 | 4,00 | 0,10 | 1,06 | 0,73 | 0,98 | 0,96 | 0,074 | 0,00005 | - |
| Zona eufótica | m | 47 | 10,38 | 1,06 | 4,05 | 3,25 | 2,65 | 7,00 | 0,3435 | 0,0005 | - |

Os valores de alcalinidade e dureza totais apresentaram uma variação espacial e temporal semelhante (Fig. 5A e B e Fig. 6A e B). Os valores de ambas as variáveis foram baixo ao longo do reservatório, durante o período de estudo. Com valores ligeiramente mais elevados no rio Balsas (BOA01), que no Parnaíba (BOA02), para ambas as variáveis (Fig. 6A e B).

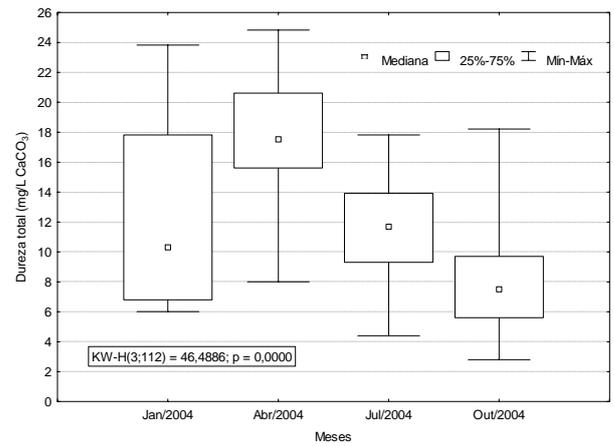
As variáveis condutividade elétrica, salinidade e concentração de sólidos totais dissolvidos (STD), apresentaram variações temporais e espaciais semelhante. Os rios Balsas e Parnaíba apresentaram diferentes características, para as três variáveis (Fig. 4C, E e F). Dentre elas, porém, apenas a condutividade elétrica diferiu significativamente entre as estações ($p = 0,0494$), apresentando as maiores variações dentre as três variáveis, com máximo e mínimo de 52 e 12 µS/cm, respectivamente (Tab. I). Sazonalmente, todas tiveram diferença estatística, porém a salinidade e o STD apresentaram pequenas variações para o período de estudo, como mostra os dados da Tabela I.

A concentração de cloretos variou entre 8,50 e 20,00 mg/L, tendo um comportamento homogêneo ao longo do reservatório, com desvio padrão de 2,40 (Tab. I). Em outubro/2004 foram registrados os valores mais elevados (Fig. 5C), que também diferiram entre os meses.

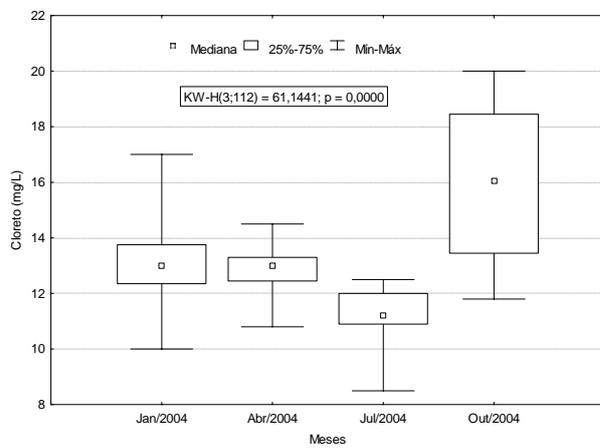
A



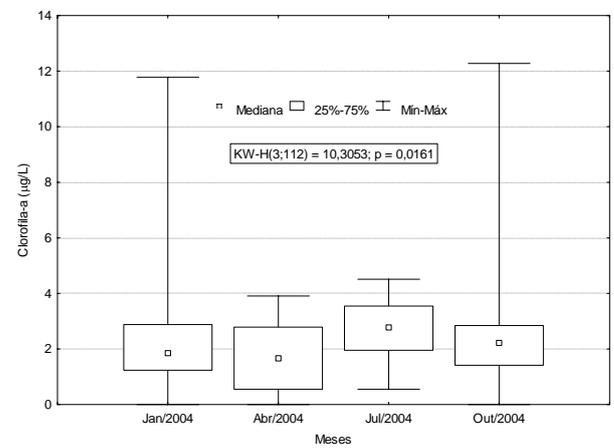
B



C



D



E

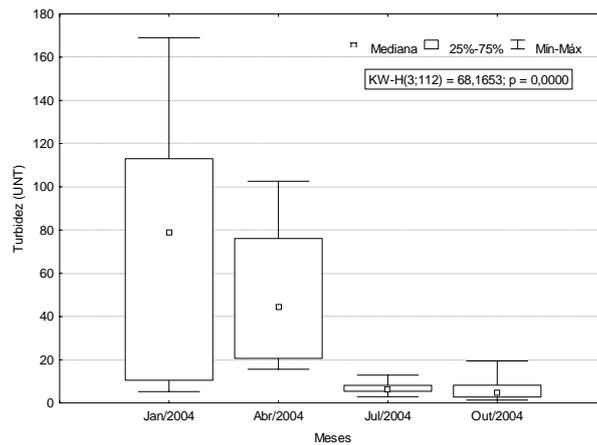


Figura 5 – Amplitude de variação e mediana dos valores de alcalinidade (A) e dureza (B) totais, cloratos (C), clorofila-a (D) e turbidez (E), nos meses de amostragem do reservatório de Boa Esperança, para os trimestres de 2004.

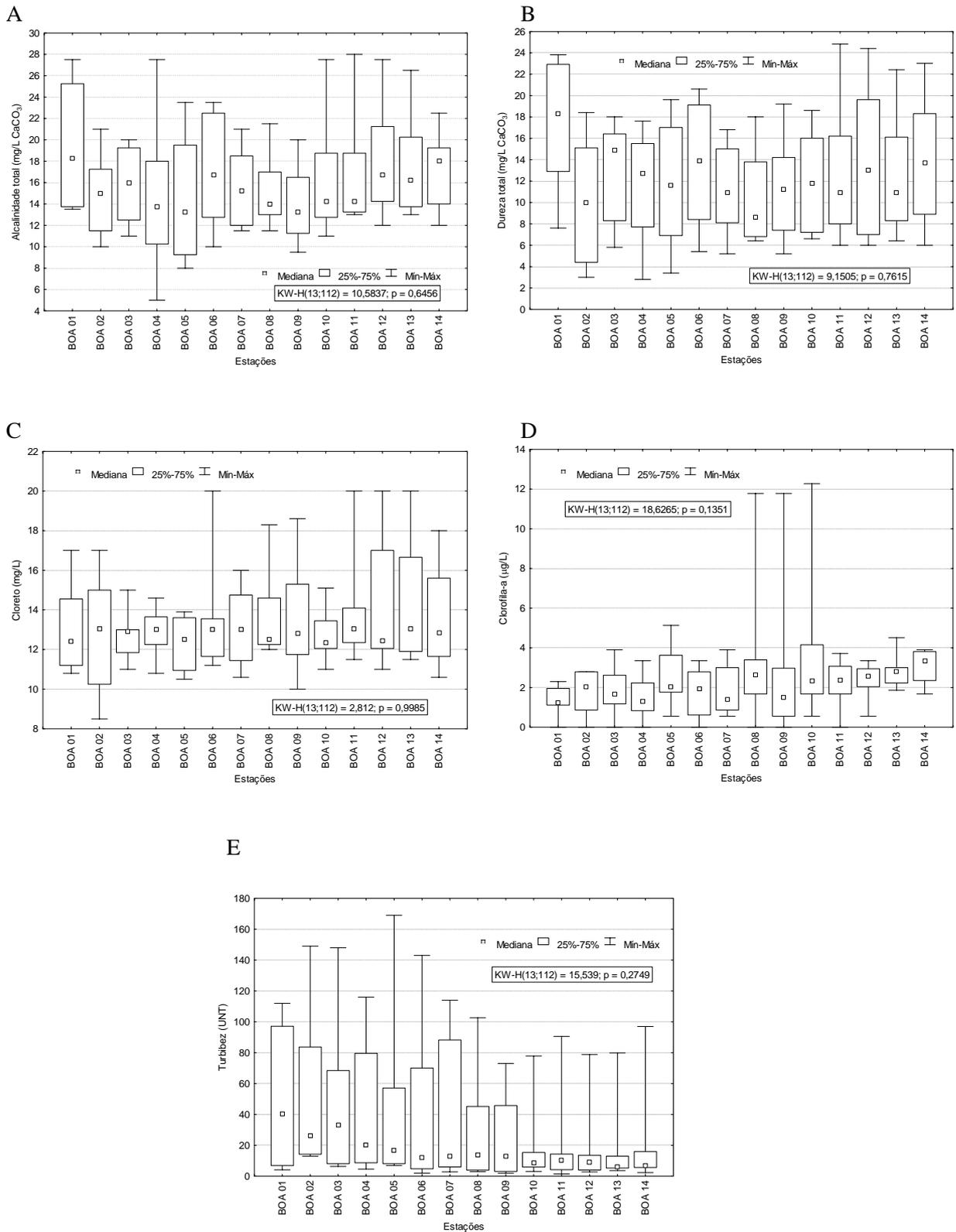


Figura 6 – Amplitude de variação e mediana dos valores de alcalinidade (A) e dureza (B) totais, cloratos (C), clorofila-a (D) e turbidez (E), nas estações de amostragem do reservatório de Boa Esperança, para o período entre janeiro e outubro/2004.

A transparência da água e a profundidade da zona eufótica variaram entre 0,10 a 4,00 m e 1,06 a 10,38 m (Tab. I), respectivamente, apresentando um aumento evidente da região lótica para a lêntica (Fig. 7). Além das semelhanças espaciais, ambas as variáveis tiveram a mesma distribuição sazonal, com os menores valores registrados em janeiro e abril, e os maiores nos meses de julho e outubro, correspondendo com os períodos de enchente e vazante do reservatório (Fig. 2), diferindo apenas entre os meses (Tab. I).

No mês de janeiro/2004, quando foram registrados os valores mais elevados de turbidez (Fig. 5E) e sólidos em suspensão (Fig. 8) e os menores níveis de transparência (Fig. 7), no trecho entre BOA01 e BOA06, não foi possível a calcular a zona eufótica, devido à extinção total da radiação a menos de 1m de profundidade.

De modo inverso à transparência, os valores de turbidez diminuiram no mesmo sentido espacial, principalmente a partir da estação BOA10 (Fig. 6E), apresentando diferenças marcantes entre o período de elevação e redução do nível do reservatório (Fig. 5E).

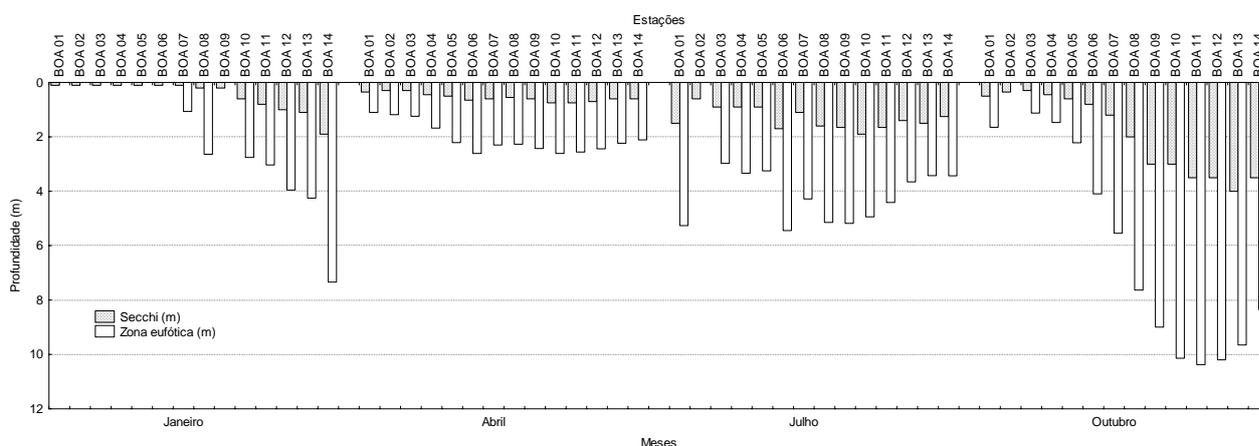


Figura 7 – Valores da transparência da água e profundidade da zona eufótica, com as variações de cada estação, nos diferentes trimestres amostrados em 2004.

As concentrações de sólidos em suspensão, sejam totais (SST), orgânicos (SSO) ou inorgânicos (SSI) (Fig. 8), apresentaram uma forte correlação com a transparência e a turbidez. Seus valores apresentaram diferença significativa entre os meses e estações (Tab. I). As três formas de sólidos suspensos ocorram predominantemente no trecho entre BOA01 e BOA06,

com exceção de janeiro/2004, quando houve um registro de sólidos suspensos até a estação BOA09, devido às elevadas chuvas neste período.

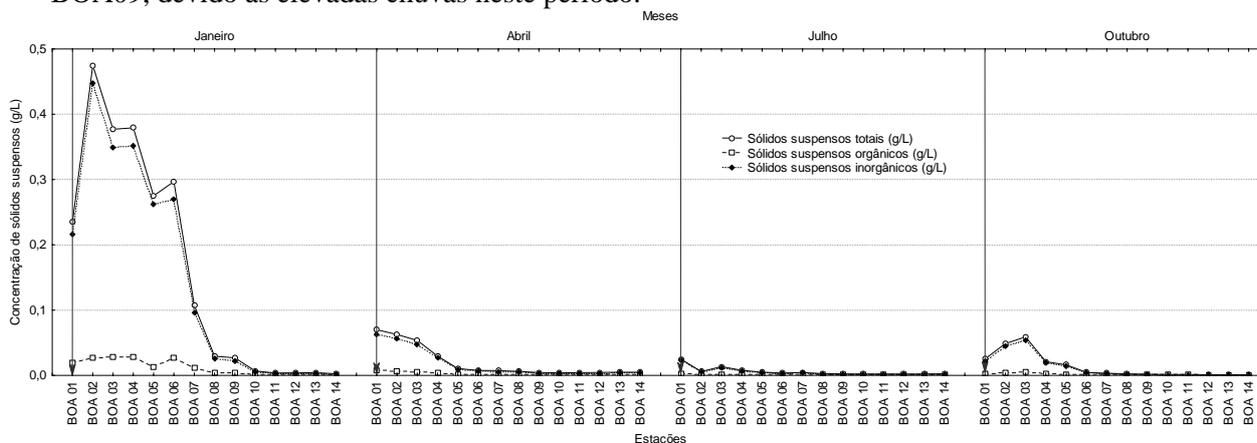


Figura 8 – Valores das concentrações dos sólidos suspensos totais (SST), orgânicos (SSO) e inorgânicos (SSI), com as variações de cada estação, nos trimestres amostrados em 2004.

Em relação às variações espaciais e sazonais das formas nitrogenadas analisadas (nitrito, nitrato e nitrogênio amoniacal), evidenciou-se uma diferença entre os rios Balsas e Parnaíba, apenas para o nitrogênio amoniacal.

O nitrogênio amoniacal variou de 0,0 a 56,74 $\mu\text{g/L}$ (Tab. I), sendo o único dentre os compostos nitrogenados analisados a diferir estatisticamente entre as estações ($p = 0,0009$), devido sobretudo à marcante diferença entre as estações BOA01 e BOA02, principalmente entre o rio Balsas (Fig. 9A).

O nitrito apresentou valores extremamente baixos durante todo o período de estudo, variando entre 0,0 e 3,57 $\mu\text{g/L}$ (Tab. I), com uma distribuição homogênea ao longo do reservatório (Fig. 9B), e diferindo entre os meses, com picos isolados em abril (Fig. 10B).

Os valores de nitrato foram os mais elevados entre todos os compostos nitrogenados analisados, principalmente em janeiro (Fig. 10C), quando ocorreu o máximo valor de 155,52 $\mu\text{g/L}$ (Tab. I), na estação BOA07 (Fig. 9C), ressaltando ainda a diferença entre BOA01 e BOA02.

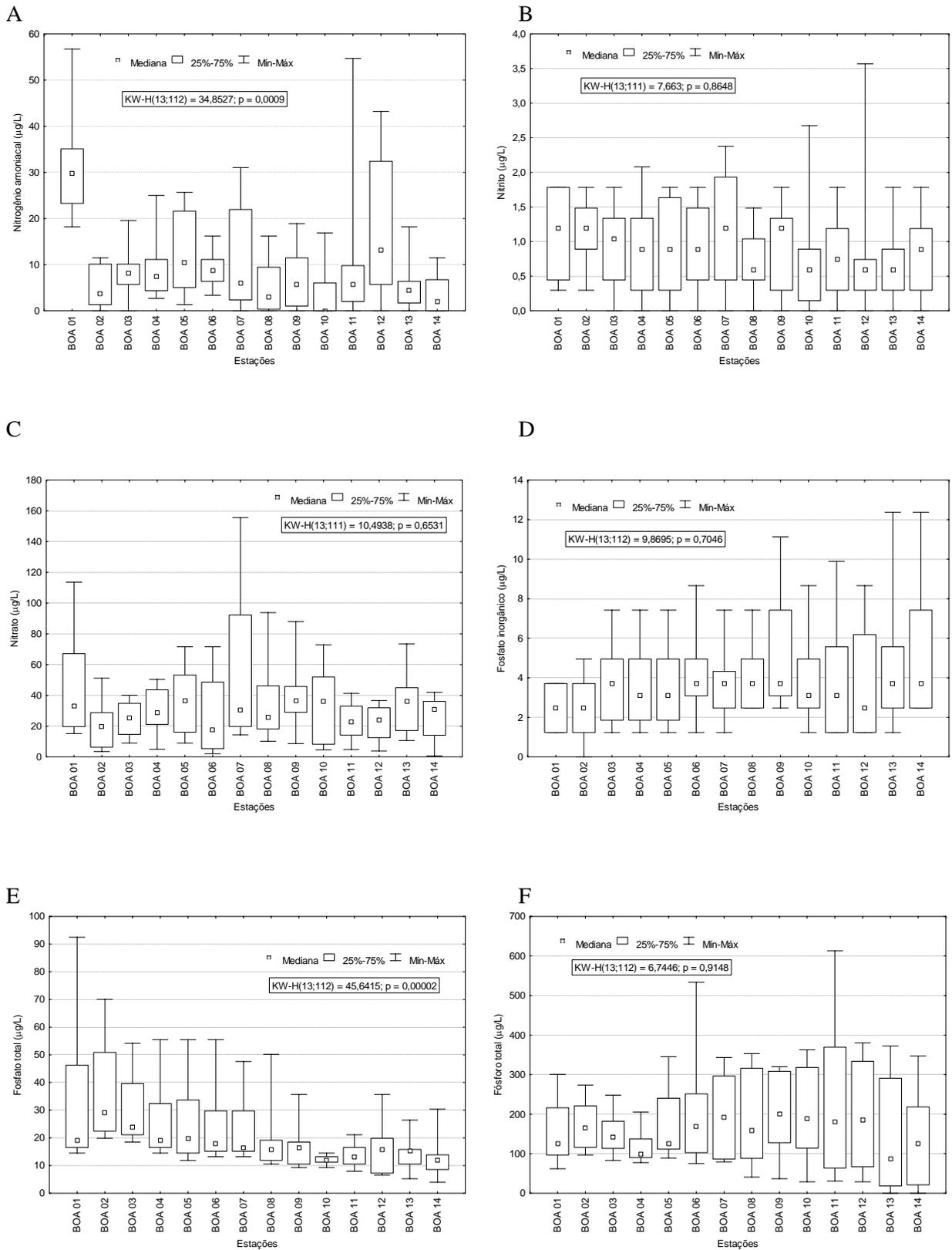


Figura 9 – Amplitude de variação e mediana dos valores de nitrogênio amoniacal (A), nitrito (B), nitrato (C), fosfato inorgânico (D), fosfato total (E) e fósforo total (F), nas estações de amostragem do reservatório de Boa Esperança, para o período entre janeiro e outubro/2004.

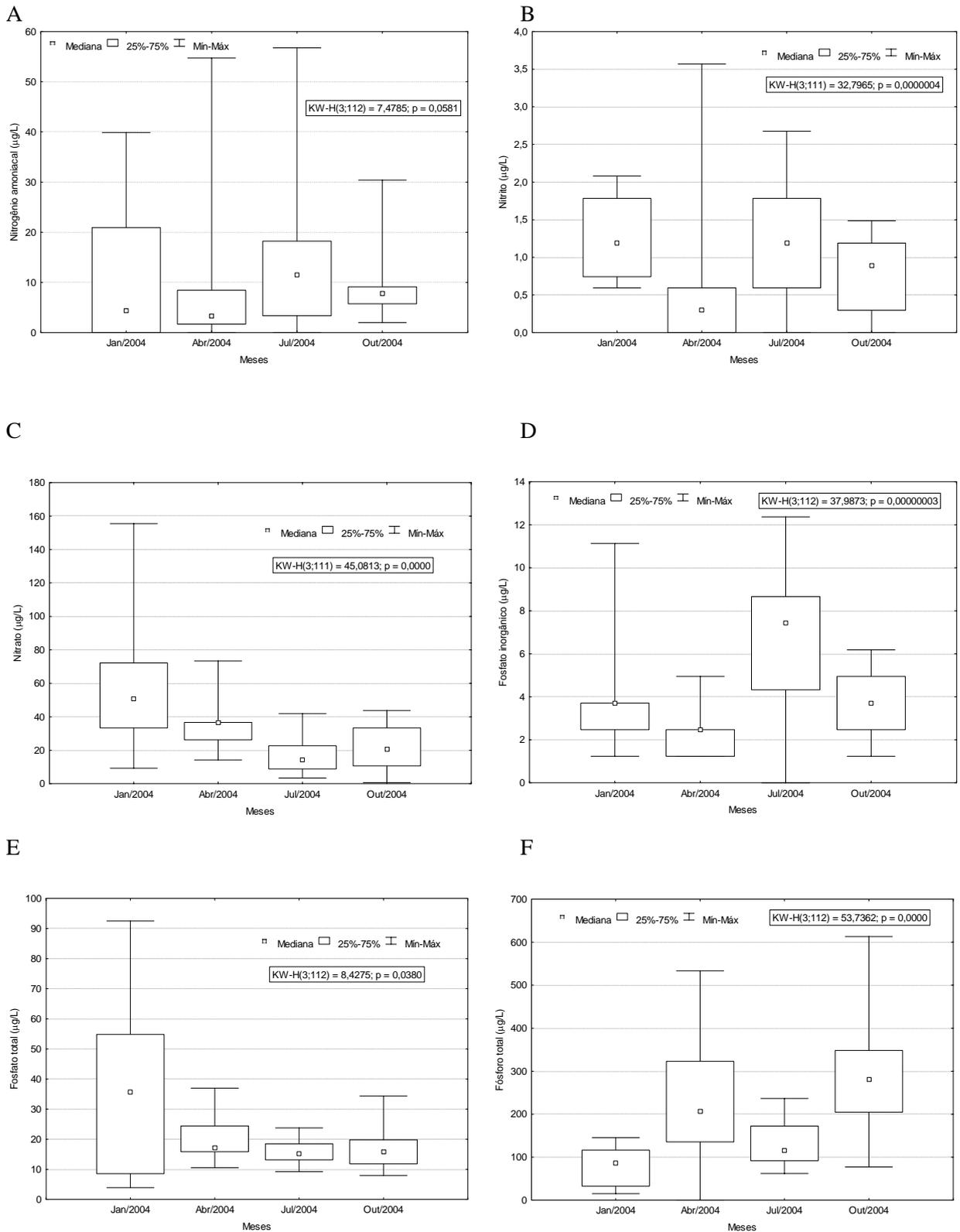


Figura 10 – Amplitude de variação e mediana dos valores de nitrogênio amoniacal (A), nitrito (B), nitrato (C), fosfato inorgânico (D), fosfato total (E) e fósforo total (F), nos meses de amostragem do reservatório de Boa Esperança, para o período entre janeiro e outubro/2004.

Com um leve aumento dos valores no sentido rio-barragem (Fig. 9D), o fosfato inorgânico apresentou os menores valores dentre os compostos fosfatados analisados, variando entre 0,0 e 12,37 $\mu\text{g/L}$ e média anual de 3,88 $\mu\text{g/L}$ (Tab. I), registrando baixos valores em abril e outubro/2004 (Fig. 10D).

O fosfato total teve uma distribuição espacial inversa ao fosfato inorgânico (Fig. 9E), com valores mais elevados em janeiro que nos demais meses (Fig. 10E), diferindo entre estações e meses (Tab. I).

O fósforo total teve os maiores valores e amplitudes de variação dentre os compostos fosfatados, com desvio padrão de 117,20, chegando ao máximo de 612,88 $\mu\text{g/L}$ (Tab. I), em BOA11 (Fig. 9F). Com uma distribuição temporal inversa à do fosfato inorgânico, os maiores valores ocorreram em abril e outubro (Fig. 10F).

A concentração de clorofila-a apresentou níveis relativamente baixos (Tab. I) nas estações e meses, com exceção de picos isolados em BOA08, BOA09 e BOA10 (Fig. 6D) e nos meses de janeiro e outubro (Fig. 5D).

Diferenças significativas entre as profundidades, superfície e fundo, foram registradas apenas temperatura, OD, pH, clorofila-a e nitrito (Tab. I).

7. DISCUSSÃO

A amplitude de variação sazonal de temperatura dos corpos d'água depende diretamente da temperatura do ar, de modo que reservatórios localizados em latitudes elevadas apresentam maior variação durante o ano, que aqueles situados em regiões tropicais. Dentre estes, características como profundidade, tempo de residência, ventos e turbidez influenciam no balanço térmico e na transferência de calor entre as diferentes profundidades, deste modo condicionando a estrutura térmica e os processos de estratificação, mistura e desestratificação térmica das camadas d'água (Henry, 2004).

A amplitude de variação temporal da temperatura de superfície em reservatórios brasileiros apresenta uma relação direta com a latitude. Assim, por exemplo, o reservatório de

Tucuruí (4° S) apresentou uma temperatura média da água de superfície de 29,87 °C e uma amplitude térmica da coluna d'água de 1,7 °C, enquanto o de Itaipu (25° 33' S) apresentou uma amplitude da coluna de 5,3 °C (Henry, 1999). Em Boa Esperança (06° 45' S), a temperatura média de superfície foi de 29,34 °C e a amplitude térmica média da coluna d'água, para todo o período amostrado, foi de 1,57°C, valores compatíveis com ambientes de baixas latitudes.

Níveis elevados de turbidez, com conseqüente redução da transparência e limite da zona eufótica restringem, não apenas a distribuição de calor, favorecendo a estratificação (Esteves, 1998), bem como processo fotossintético, grandemente responsável pelo aporte de oxigênio para o meio aquático, valores mais elevados tendem a ocorrer no corpo central (Leite, 1998), entretanto, a região lótica apresentou os maiores valores de OD em Boa Esperança, ocasionados pelas fortes correntezas neste trecho.

Ecosistemas aquáticos localizados em regiões áridas e semi-áridas, onde predomina um balanço hídrico negativo (precipitação menor que evaporação), usualmente apresentam valores elevados de pH (alcalinos) (Esteves, 1998). Apesar ecossistema estudado estar inserido numa zona de transição entre estas regiões, o pH teve valores ligeiramente ácidos no trecho lótico, com valores alcalinos apenas próximos à barragem (com média anual de 6,76, relativamente neutra).

Águas naturais exibem amplas variações na quantidade de material dissolvido, responsável pela acidez ou alcalinidade, refletindo nos valores de pH. A concentração destas substâncias e a razão entre elas determinam o pH e a capacidade de tamponamento de uma determinada água (Wetzel, 2001). As maiores variações na alcalinidade e dureza totais em Boa Esperança ocorreram em janeiro e abril/2004, meses nos quais o pH esteve mais homogêneo.

De acordo com Esteves (1998), a condutividade elétrica em ambientes aquáticos tropicais apresenta estreita relação com as características geoquímicas da região e as condições climáticas. Em Boa Esperança a marcante diferença na condutividade elétrica entre os rios Balsas e Parnaíba, mostra características distintas entre os principais tributários do reservatório.

Segundo Arcova (1996), a condutividade elétrica poder ser muito útil para detectar variações nas características qualitativas da água, pois está diretamente relacionada com a

concentração total de íons. Os valores encontrados no reservatório de Boa Esperança foram baixos, semelhante ao reservatório de Jurumirim (Nogueira *et al.*, 1999), indicando baixas influências antrópicas no ambiente aquático.

A salinidade em ambientes aquáticos continentais, por sua vez, deve-se à presença dos íons cálcio, magnésio, sódio, potássio, bicarbonato, cloreto e sulfato (Esteves, 1998). Dentre os íons mencionados, foram quantificados cálcio e magnésio, através da dureza e cloreto. A exceção da concentração de cloretos, a alcalinidade e durezas totais apresentaram semelhanças espaciais e sazonais com a salinidade, condutividade e STD.

Com um padrão temporal característico de reservatórios submetidos a intensa variação de nível, os sólidos suspensos (SST, SSO e SSI) apresentaram uma relação direta com o período de chuva, mostrando semelhança com outros reservatórios brasileiros (Calijuri & Tundisi, 1990 & Nogueira *et al.*, 1999), com uma predominância da fração inorgânica sobre a orgânica, independente do período seco ou chuvoso.

Segundo Nogueira *et al.* (1999), os efeitos causados pela alta concentração de sólidos, são o aumento de nutrientes e sólidos suspensos na coluna d'água, como também a diminuição da transparência. Tais eventos fundamentalmente influenciam a estrutura e funcionamento do reservatório. Em Boa Esperança, tais influências foram mais intensas em janeiro/2004, impossibilitando o cálculo da zona eufótica nas primeiras estações. Entretanto, o aporte de sólidos suspensos ocorreu durante todo o período de estudo. Porém, a sedimentação desse material é intensificada ao longo do reservatório, (Henry & Maricatto, 1996), com uma significativa diminuição em direção à barragem (Nogueira *et al.*, 1999).

Nogueira & Matsumura-Tundisi (1994) observaram influência dos sólidos em reservatórios pequenos e rasos. Em estudos realizados no reservatório Jurumirim (São Paulo, Brasil), por Nogueira *et al.* (1999), a zona lacustre foi ligeiramente afetada pelo aumento de sólidos, durante a estação chuvosa, provavelmente devido à associação de um volume elevado com o alto tempo de retenção hidráulica. Fenômeno parecido ocorreu em no reservatório de Boa Esperança em janeiro, mês no qual a vazão foi reduzida e o volume do reservatório aumentava.

A turbidez é causada pela presença de materiais suspensos na água que interferem na incidência dos raios luminosos (Braga *et al*, 2002). As atividades de agricultura entre outras contribuem para a turbidez de rios e lagos. Os efluentes domésticos e até mesmo industriais que ocasionalmente venham a ser despejados nos cursos d'água também favorecem a turbidez, pois aumentam as cargas orgânica e inorgânica (Santos, 2005). A turbidez do reservatório de Boa Esperança é praticamente composta de partículas inorgânicas, pois esta associada à alta pluviosidade e conseqüentemente a lixiviação de material alóctone para o corpo hídrico, devido aos baixos valores de clorofila-a encontrados e pequenas densidades populacionais no seu entorno.

A transparência da água e a zona eufótica foram marcadamente influenciadas pelos fatores climáticos e regimes hidrológicos que o reservatório foi submetido, proporcionando padrões espaciais e sazonais característicos com as flutuações destes fatores e interações com as demais variáveis analisadas neste estudo.

Os principais tributários do reservatório de Boa Esperança, os rios Balsas e Parnaíba, apresentaram um padrão de variação espacial diferenciado em algumas variáveis, demonstrando distintas características geológicas e pedológicas em suas bacias de drenagem. O mesmo tipo de diferenciação foi observado por Nogueira *et al.* (1999), no reservatório de Jurumirim, entre os rios Paranapanema e Taquari.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A.P.H.A./A.W.W.A./W.E.F. 1995. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19^a ed., Washington: A.P.H.A.

Arcova, F.C.S. 1996. **Balanço hídrico, características do deflúvio e calibragem de duas microbacias hidrográficas na Serra do Mar, SP**. Piracicaba. 130p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

Armengol, J., Sabater, F., Rieira, J.L. & Mourgui, J.A. 1990. **Annual and longitudinal changes in the environmental conditions in three consecutive reservoirs of Guadiana River (W. Spain)**. Arch. Hydrobiol. Beih. Egebn Limnol. 33, 679-87.

Braga, B. 2002. **Introdução À Engenharia Ambiental**. São Paulo: Prentice Hall.

Calijuri M. C. & Tundisi J. G. 1990. **Limnologia comparada das Represas do Lobo (Broa) e Barra Bonita**. Estado de São Paulo: Mecanismos de funcionamento e bases para o gerenciamento. *Rev. Bras. Biol.* 50, 893–913.

CHESF. 2006. **Descrição do Aproveitamento de Boa Esperança**. Disponível em: <http://www.chesf.gov.br/energia_usinas_boa_esperanca.shtml>. Acessado em: 10 de janeiro de 2006.

Cruz, H. C. & Fabrizzy, N. L. P. 1995. **Impactos Ambientais de Reservatórios e Perspectivas de Uso Múltiplo**. Revista Brasileira de Energia, v. 4, n. 1. Disponível em: <<http://www.sbpe.org.br/v4n1/v4n1t1.htm>>. Acessado em: 07 de maio de 2005.

Esteves, F.A. 1998. **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro, Interciência/FINEP. 575p.

Ford, D.E. 1990. Reservoir transport processes. In: Thornton, K.W., Kimmel, B.L. & Payne, F.E. (eds) *Reservoir Limnology: Ecological Perspective*. John Wiley & Sons, New York, p. 15-41.

Groot W. T. 1981. Phosphate and wind in a shallow lake. *Arch. Hydrobiol.* 91, 475-89.

Henry R. & Maricatto F. E. (1996) Sedimentation rates of tripton in Jurumirim Reservoir (São Paulo, Brazil). *Limnologica* 26, 15–25.

Henry, R. 1999. Heat budgets, thermal structure and dissolved oxygen in Brazilian reservoirs. In: Tundisi, J.G. & Straskraba, M. **Theoretical reservoir ecology and its applications**. São Carlos, IIE, p. 125-151.

Henry, R. 2004. A variabilidade de alguns fatores físicos e químicos da água e implicações para amostragem: estudos de caso em quatro represas do Estado de São Paulo. In: Bicudo, C.E.M. & Bicudo, D.C. (org.). **Amostragem em limnologia**. São Carlos, RIMA, p. 245-262.

Koroleff, F. 1976. **Determination of nutrients**. In: Grasshoff, K. (ed.) *Methods of seawater analysis*. Weinheim: Verlag Chemie, p.117-187.

Lind O. T., Terrel T. & Kimmel B. L. 1993. **Problems in reservoir trophic-state classification and implications for reservoir management**. In: Straskraba M, Tundisi J. G. & Duncan A. (eds) *Comparative Reservoir Limnology and Water Quality Management*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 57–67.

Mackereth, F.J.H.; Heron, J.; Talling, J.F. 1978. **Water analysis: some revised methods for limnologists**. London: Scient. Public., 121p.

Nilssen J. P. 1984. Tropical lakes: functional ecology and future development: the need for a process-orientated approach. *Hydrobiologia* 113, 231–42.

Nogueira, M.G., Henry, R., & Maricatto F.E. 1999. **Spatial and temporal heterogeneity in the Jurumirim Reservoir, São Paulo, Brazil**. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*. 4: 107-120.

NUSCH, E.A. 1980. **Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigment determination.** Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol., v. 14, p.14-36.

Straskraba M., Tundisi J. G. & Duncan A. 1993. **State-of-the-art of reservoir limnology and water quality management.** In: Straskraba M., Tundisi J. G. & Duncan A. (eds) *Comparative Reservoir Limnology and Water Quality Management*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 213–288

PDEE, 2006. Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica 2006-2015. Ministério de Minas e Energia.

Prado, R. B. 2002. **Manejo integrado de reservatórios destinados a uso múltiplo como perspectiva de recuperação da qualidade da água.** Recursos hidroenergéticos: usos, impactos e planejamento integrado. Ed. RiMa, São Carlos.

Strickland, J.D.H. & Parsons, T.R. 1965. **A manual of sea water analysis.** Ottawa: Fish. Res. Board Canada, 202p.

Talling J. F. & Lemoalle J. (1998) *Ecological Dynamics of Tropical Inland Waters*. Cambridge University Press, Cambridge UK.

Teixeira, C. *et al.* 1965. **Plankton studies in a mangrove.** II. The standing-stock and some ecological factors. Bolm. Inst. Oceanogr., v. 24, p. 23-41.

Tundisi J. G. 1980. **Ecology of a shallow tropical reservoir in Brazil.** In: Furtado J. I. (ed.) *Tropical Ecology & Development* (Part. 2). Proceeding of the 5th International Symposium of Tropical Ecology. International Society of Ecology, Kuala Lumpur, pp. 893–906.

Tundisi J. G., Matsumura-Tundisi T. & Calijuri M. C. 1993. **Limnology and management of reservoirs in Brazil**. In: Straskraba M., Tundisi J. G. & Duncan A. (eds) *Comparative Reservoir Limnology and Water Quality Management*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 25–55.

Wetzel, R.G. 2001. **Limnology**: lake and river ecosystems. 3rd. ed., San Diego, Academic Press, 1006p.

7. ARTIGO PARA SUBMISSÃO À ACTA LIMNOLOGICA BRASILIENSIA

AVALIAÇÃO DO ESTADO TRÓFICO DO RESERVATÓRIO DE BOA
ESPERANÇA, RIO PARNAÍBA, PI-MA

AUTORES:

Anderson Antonello ¹

William Severi ¹

Aureliano de Vilela Calado Neto ¹

Bruno Dourado Fernandes da Costa ¹

Sérgio Catunda Marcelino ¹

1- Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE

Departamento de Pesca e Aquicultura – DEPAq

Laboratório de Limnologia

Rua Dom Manoel de Medeiros, S/N – Dois Irmãos – Recife – PE

CEP: 52171-900

E-mail: anderson_antonello@yahoo.com.br

AVALIAÇÃO DO ESTADO TRÓFICO DO RESERVATÓRIO DE BOA ESPERANÇA, RIO PARNAÍBA, PI-MA

1. RESUMO

Atualmente, a elevada demanda hídrica exigida pela sociedade determina o aumento gradativo nos efeitos negativos gerados pela interferência antrópica nos corpos d'água. Considerando a importância da disponibilidade hídrica para o desenvolvimento humano social, enfatiza-se a região Nordeste, pela maior escassez do recurso água, sendo notória a necessidade da realização de monitoramentos, objetivando o manejo sustentado dos corpos d'água existentes na região. Assim, a importância de estudos limnológicos para reservatórios do Nordeste é demonstrada pelos poucos monitoramentos realizados, em comparação com as demais regiões do País. Nesta região, o rio Parnaíba, onde a barragem de Boa Esperança foi construída é o segundo mais importante, após o São Francisco. Neste estudo, foram realizadas quatro amostragens em épocas sazonalmente distintas (janeiro, abril, julho e outubro) no ano de 2004. Através de alguns parâmetros limnológicos analisados, como: transparência da água (DS), clorofila-a (CHL), fósforo total (PT) e fósforo solúvel reativo (PSR), foram possíveis avaliar os diferentes estados tróficos do reservatório, a partir dos Índices de Estado Trófico de Carlson (IET) e Carlson Modificado (IETM). De acordo com o índice de Carlson, as águas do reservatório apresentaram uma predominância hipereutrófica. No entanto, pôde-se observar a diferenciação existente entre os níveis de enquadramento trófico apresentados pelo IET e IETM, onde este último, demonstra que a equação do PSR e principalmente a ponderação (IET Médio), foram de fundamental importância na avaliação do estado trófico do reservatório, classificando-o como mesotrófico. Mostrando, portanto uma melhor adequação deste índice, que o índice de Carlson.

Palavras-chave: Água, estado trófico, limnologia, monitoramento, reservatório.

2. ABSTRACT

Currently, the raised hidric demand demanded by the society determines the gradual increase in the negative effect generated by the antrópica interference in the body's water. Considering the importance of the hidrica availability for the social human development, it is emphasized Northeast region, for the biggest scarcity of the resource water, being well-known the necessity of the accomplishment of monitoring, objectifying the supported handling of the existing bodies water in the region. Thus, the importance of limnológicos studies for reservoirs northeast is demonstrated by the few carried through monitoring, in comparison with the too much regions of the Country. In this region, the river Parnaíba, where the barrage of Good Hope was constructed is as the most important one, after the San Francisco. In this study, four samplings at seasonal distinct times (January, April, July and October) in the year of 2004 had been carried through. Through some analyzed limnológicos parameters, as: transparency of the water (DS), chlorophyll it (CHL), total match (PT) and reactive soluble match (PSR), had been possible to evaluate the different tróficos states of reservoir, from the Indices of State Trófico de Carlson (IET) and Carlson Modification (IETM). In accordance with the index of Carlson, the waters of the reservoir had presented a hipereutrófica predominance. However, the existing differentiation could be observed enters the levels of trófico framing presented by the IET and IETM, where this last one, mainly demonstrates that to the equation of the PSR and the balance (Average IET), had been of basic importance in the evaluation of the trófico state of the reservoir, classifying it as mesotrófico. Showing, therefore one better adequacy of this index, that the index of Carlson.

Key-words: Traffic state, limnology, water, monitoring, reservoir.

3. INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com a disponibilidade mundial de água vem exigindo da sociedade contemporânea uma nova consciência em relação à utilização desse recurso. A água potável encontrada na natureza é essencial para a vida no planeta. No entanto, esta riqueza tem se tornado cada vez mais escassa.

Apesar de o Brasil estar em uma situação privilegiada com relação à disponibilidade hídrica, cerca de 70% da água doce do País encontra-se na região Amazônica, enquanto os outros 30% são distribuídos para 95% da população, que habitam o resto do território nacional (Setti *et al.*, 2001). Tal situação favorece o surgimento de problemas de escassez hídrica causados, fundamentalmente, pela combinação de um crescimento populacional exagerado em grandes centros urbanos e a degradação da qualidade das águas, conseqüência de desordenados processos de urbanização, industrialização e expansão agrícola (Tundisi, 2003).

Entre os diversos sistemas aquáticos, os reservatórios apresentam fundamental importância no desenvolvimento da região do nordeste brasileiro (Rebouças *et al.*, 2002), porém sua característica de usos múltiplos, como produção de energia elétrica, irrigação, criação de peixes, abastecimento de água para consumo, navegação e recreação, tem gerado diversos conflitos (Assunção & Bursztyn, 2001). No entanto, para a perfeita relação entre o uso e conservação faz-se necessário conhecer os processos físicos, químicos e biológicos que interagem nesses ecossistemas, gerando informações, sobre sua estrutura e funcionamento, para posterior implantação de planos de manejo adequados (Tundisi *et al.*, 2002).

A eutrofização de lagos e reservatórios é seu enriquecimento com nutrientes para plantas, principalmente fósforo e nitrogênio, que entram como soluto e se transformam em partículas orgânicas e inorgânicas. O crescimento acelerado e uma maior abundância de vegetais aquáticos (micro e macroscópicos) freqüentemente causam a deterioração da qualidade hídrica. As condições ambientais dentro dos corpos hídricos e dos mananciais influenciam a eutrofização. Os fatores dentro de um lago ou reservatório que modulam os impactos gerados pelo aumento de nutrientes incluem a estrutura da rede alimentar, trocas entre os sedimentos e a água, forma da bacia e movimentos da água dentro do ecossistema aquático. Além disso, as condições climáticas e hidrológicas ajudam a alterar os impactos da eutrofização (UNEP-IETC, 2001).

O índice de Carlson (1977) é uma das ferramentas mais empregadas para a estimativa do estado trófico em ambientes aquáticos. O mesmo tem sido usado em diferentes ecossistemas aquáticos, incluindo

lagoas costeiras (Schäfer, 1988) e reservatórios (Matsumura-Tundisi *et al.*, 1986; Caleffi *et al.*, 1994). A modificação proposta por Toledo *et al.* (1983), para este índice, também tem sido amplamente empregada para estimar o estado trófico, principalmente de lagos e reservatório de regiões tropicais e subtropicais (Mercanti & Tucci-Moura, 1999; Tundisi *et al.*, 1988).

O processo de eutrofização tornou-se um problema amplamente reconhecido de deterioração da qualidade de água em reservatórios (Toledo *et al.*, 1983, Henry *et al.*, 2004, Ribeiro *et al.*, 2005). Assim, a avaliação do estado trófico do reservatório de Boa Esperança, permite uma melhor compreensão desse ecossistema aquático caracterizado por ser de uma região de transição entre o semi-árido e a floresta amazônica. Tal aspecto assume importância mais relevante, haja vista a previsão de implantação de outras cinco hidroelétricas na bacia do Parnaíba, sendo duas acima e três abaixo de Boa Esperança (ANEEL, 2005). A sua implantação deverá modificar significativamente as características limnológicas do reservatório, por sua posição intermediária dentre um sistema de cascata de reservatórios.

4. METODOLOGIA

A área de estudo é o reservatório de Boa Esperança, no trecho do Rio Parnaíba compreendido entre as localidades de Uruçuí/PI - Benedito Leite/MA até a barragem em Guadalupe/PI. Foi estabelecido um total de quatorze (14) estações de coleta, distribuídas ao longo do eixo central do reservatório, levando-se em consideração suas diferentes regiões: lótica, transição e lêntica (Fig. 1), amostradas nos meses de janeiro, abril, julho e outubro de 2004.

Amostras de água para determinação de variáveis químicas e biológicas foram coletadas com uma garrafa de Van Dorn, em duas profundidades relativas a cada estação (superfície e fundo). Estas foram acondicionadas em gelo para seu transporte até a base de apoio no campo, onde foram filtradas e congeladas para posterior análise no Laboratório de Limnologia, do Departamento de Pesca e Aqüicultura (DEPAq) da Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE.

A transparência da água em cada estação foi estimada através da leitura da profundidade média de extinção de disco de Secchi (DS), medida à sombra. Para a avaliação do estado trófico foram analisadas as seguintes variáveis químicas: fósforo total (PT) e o fosfato inorgânico dissolvido (PSR) determinados segundo Strickland & Parsons (1965). A concentração de clorofila-a (CHL) foi determinada

através do método proposto por Nusch (1980), empregando-se membrana filtrante HAWP da Millipore™ para filtração das amostras de água e posterior extração com etanol.

A avaliação do estado trófico do reservatório de Boa Esperança foi efetuada empregando-se o índice de Carlson (1977), sendo utilizados os limites de Kratzer & Brezonick (1981) para a classificação e o índice modificado por Toledo *et al.* (1983), para o uso de lagos e reservatório de regiões tropicais e subtropicais.

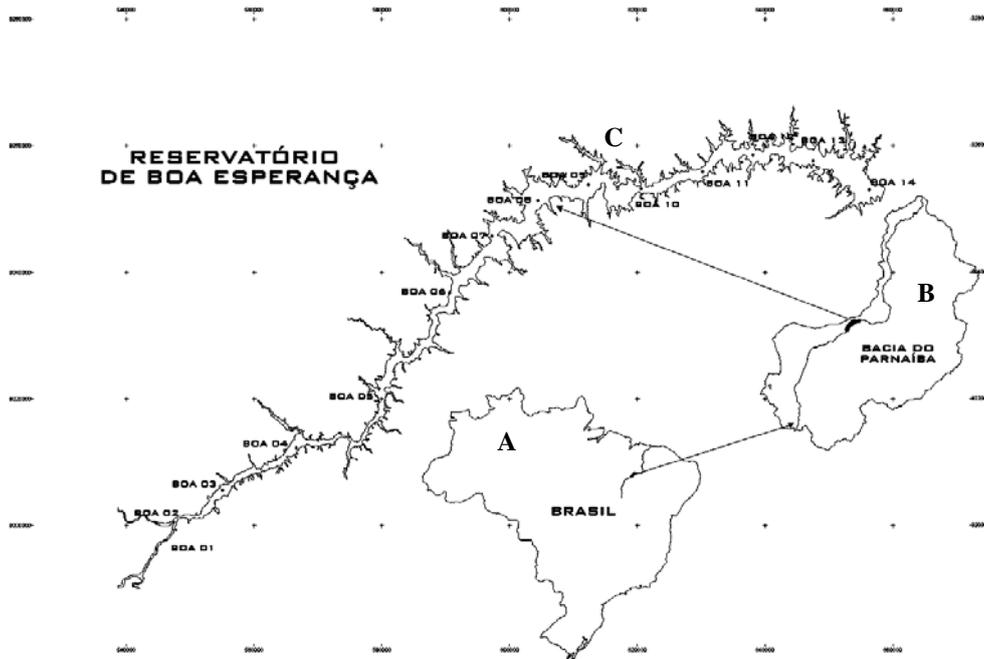


Figura 1 – A. Mapa do Brasil com a localização da bacia do rio Parnaíba; B. Mapa da bacia do rio Parnaíba e localização do reservatório de Boa Esperança; C. Mapa do reservatório de Boa Esperança com localização das estações.

5. RESULTADOS

Durante o período de estudo – janeiro a outubro de 2004 -, as chuvas têm início entre outubro e novembro, terminando entre março e abril, com precipitação máxima nos meses de janeiro (370,7 mm) e fevereiro (202,9 mm), estes períodos de maior precipitação pluviométrica, provocam um aumento na quantidade de material alóctone carregado para o reservatório. A precipitação total em 2004 foi de 1004,6 mm (Fig. 2).

Os resultados dos IET e IETM, obtidos a partir das médias da coluna d'água, exceto para a transparência (DS), calculada para cada estação, nos diferentes meses de amostragem, estão apresentados nas figuras 3 e 4, respectivamente.

De acordo com os resultados obtidos através do índice de estado trófico desenvolvido por Carlson (1977), o reservatório de Boa Esperança apresentou diferentes características, dependendo da variável em questão, tipo de ambiente (lótico, transição ou lêntico) e época do ano. No entanto, houve uma predominância de características hipereutróficas no ambiente.

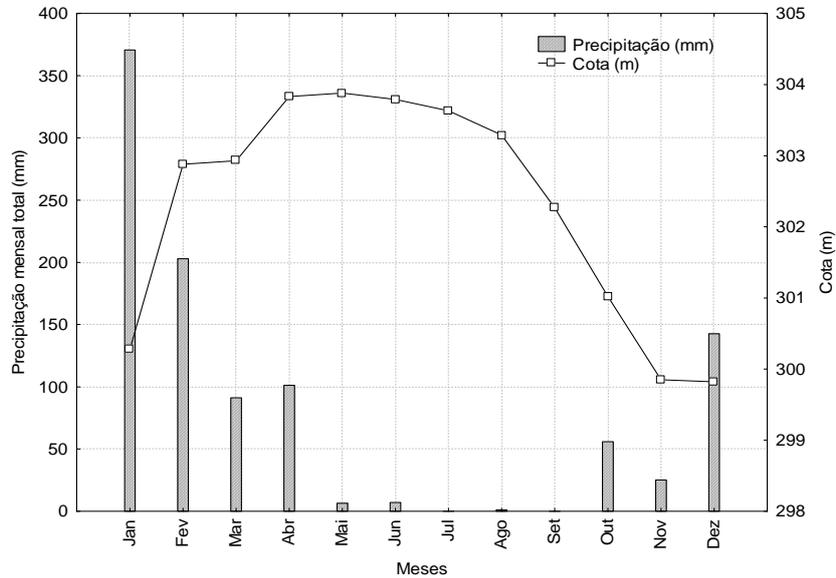


Figura 2 – Variação do nível do reservatório e precipitação mensal total em 2004.

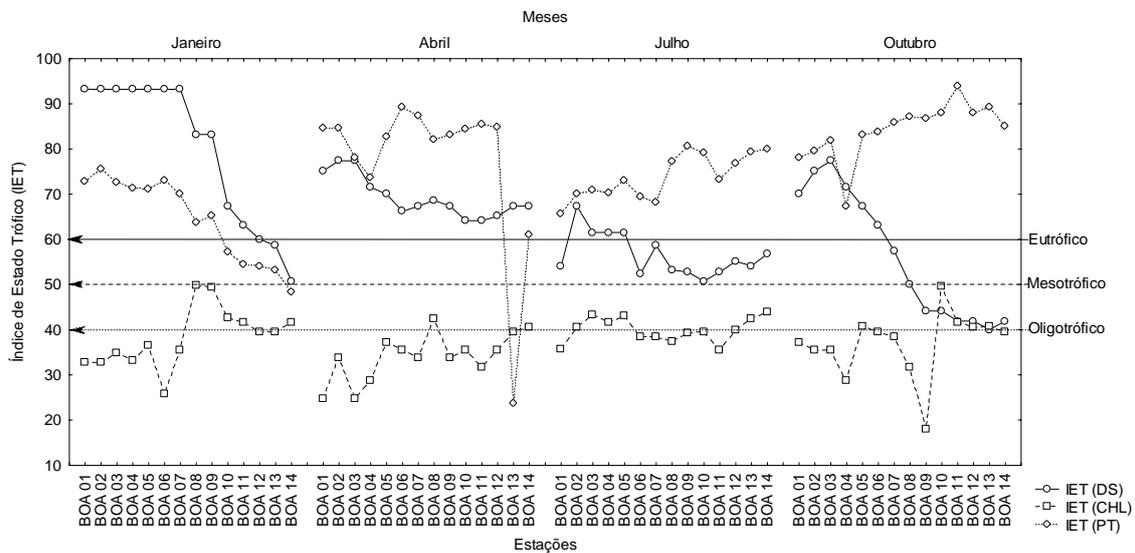


Figura 3 – Valores dos índices de estado trófico de transparência da água (DS), clorofila-a (CHL) e fósforo total (PT), com as variações de cada estação, nos trimestres amostrados em 2004. Indicando os limites de classificação trófica: Oligotrófico (←.....), Mesotrófico (← - -) e Eutrófico (←—).

O IET (DS) apresentou valores hipereutróficos na região lótica de todos os períodos de amostragem, estando totalmente hipereutrófico em abril/2004, apresentando uma tendência de diminuição

entre a região lótica e a lêntica, registrando valores eutróficos em janeiro e, principalmente, outubro/2004, variando de mesotrófico ao máximo grau de trófia em outubro/2004 (Fig. 3).

Com uma distribuição diferenciada do IET (DS) ao longo do reservatório, o IET (CHL) apresentou valores mais elevados na região lêntica, que na lótica, com exceção de julho/2004, com valores praticamente homogêneos ao longo do reservatório. O IET (CHL) variou entre oligotrófico e mesotrófico, durante o período de estudo, tendo valores máximos em janeiro e outubro/2004 (Fig. 3).

Dentre os índices desenvolvidos por Carlson (1977), o IET (PT) foi o que apresentou os valores mais elevados, com diferentes variações ao longo do reservatório durante o período de estudo, permanecendo quase sempre acima do limite eutrófico, com características de hipereutrofização (Fig. 3).

Na modificação proposta por Toledo *et al.* (1983), os IETM (DS), (CHL) e (PT), apresentaram uma grande semelhança espacial e temporal com os respectivos IET (DS), (CHL) e (PT), contudo, as modificações propostas neste índice, proporcionam valores mais reduzidos para estas três variáveis, em comparação com o índice anterior.

O IETM (DS) apresentou uma distribuição diferenciada do IET (DS), sendo eutrófico em abril e na maioria das estações de janeiro/2004, praticamente mesotrófico em julho/2004, passando pelos três estados tróficos em outubro/2004 (Fig. 4).

A mesma diferença ocorre entre IET (CHL) e IETM (CHL), onde este apresentou valores oligotróficos em todo período de estudo, a exceção de picos mesotróficos em janeiro e outubro (Fig. 4).

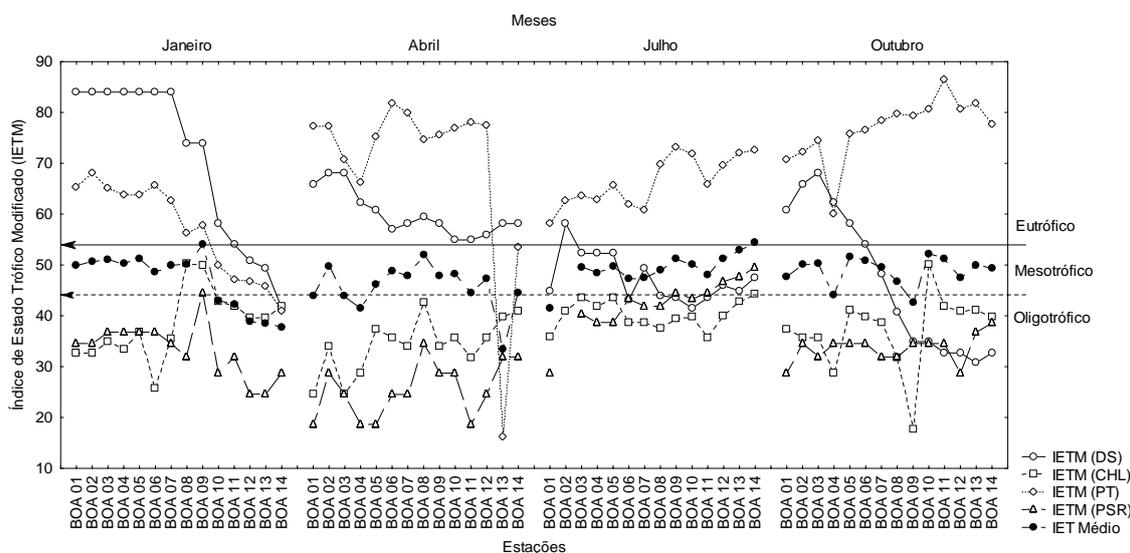


Figura 4 – Valores dos índices de estado trófico modificado de transparência da água (DS), clorofila-a (CHL), fósforo total (PT), fósforo solúvel reativo (PSR) e Médio, com as variações de cada estação, nos trimestres amostrados em 2004. Incluindo as classificações: Oligotrófico, Mesotrófico e Eutrófico.

Para o IETM (PT), os valores registrados foram semelhantes ao do IET (PT), sendo ambos classificados no máximo grau de trofia de cada índice (Figs. 3 e 4).

O IET (PSR) não apresentou padrão característico de variação espacial entre as regiões lótica e lêntica, nos diferentes meses, entretanto, este é um índice de grande importância na avaliação geral do estado trófico do reservatório, pois o mesmo apresentou-se oligotrófico em todo o ambiente, independente da época do ano (Fig. 4).

A equação de ponderação (IET Médio) enquadra o reservatório de Boa Esperança como um ambiente mesotrófico (Fig. 4).

A modificação proposta para o Índice de Carlson (1977), usada em lagos e reservatório de regiões tropicais e subtropicais, pode apresentar um resultado mais coerente para estes ecossistemas estudados.

Os resultados apresentados na Tabela I mostram que algumas das variáveis que podem influenciar diretamente no processo de eutrofização de um ambiente aquático, apresentaram valores relativamente baixos, como a clorofila-a e o fósforo inorgânico, com seus respectivos valores médios de 2,36 e 3,88 µg/L e variância de 3,94 e 6,24. O fósforo total teve os valores mais elevados dentre as variáveis analisadas, com máximo de 612,88 µg/L, e média de 177,33 µg/L. A transparência da água, apresentou uma variação entre 0,10 e 4,00m, com média de 1,06m.

Tabela I – Valores de máximo, mínimo, média, mediana, desvio padrão e variância, das variáveis utilizadas nos cálculos dos IET e IETM.

| Variável | Unidade | n | Máximo | Mínimo | Média | Mediana | Desvio padrão | Variância |
|------------------------|---------|-----|--------|--------|--------|---------|---------------|-----------|
| Fosfato inorgânico | µg/L | 112 | 12,37 | 0,00 | 3,88 | 3,71 | 2,50 | 6,24 |
| Fósforo total | µg/L | 112 | 612,88 | 0,00 | 177,33 | 148,37 | 117,20 | 13735,80 |
| Clorofila-a | µg/L | 112 | 12,28 | 0,00 | 2,36 | 2,23 | 1,98 | 3,94 |
| Transparência (Secchi) | m | 56 | 4,00 | 0,10 | 1,06 | 0,73 | 0,98 | 0,96 |

6. DISCUSSÃO

A disponibilidade de água de boa qualidade, capacidade de conservação e proteção dos recursos hídricos de um país é de fundamental importância para seu desenvolvimento econômico e social. É necessária à ampliação dos conhecimentos dos principais processos e mecanismos que afetam a qualidade da água, para uma melhor compreensão destes recursos, dando fundamentação para a recuperação de

ecossistemas degradados e a proteção daqueles ainda não ameaçados pela deterioração da quantidade e qualidade da água (Tundisi, 1999).

Os usos da água são dependentes do estado trófico e conseqüentemente da sua qualidade (Salas & Martino, 1990). Segundo o mesmo autor, o uso de um sistema de classificação do estado trófico para lagos ou reservatórios tem interesse científico, mas também possui uma aplicação gerencial.

Segundo Nogueira & Matsumara-Tundisi (1994), o processo de eutrofização em reservatórios pode ser determinado a partir de diversos fatores, dentre eles a entrada de nutrientes, radiação solar incidente, temperatura, vazão, processo de mistura, pastagem por predadores, química da água, características morfológicas do corpo d'água e sua localização geográfica.

Na prática, a caracterização do estado trófico pode ser feita através de variáveis que se relacionam diretamente com esse processo, em geral, clorofila-a, transparência do disco de Secchi e as concentrações de nutrientes (Toledo *et al.*, 1983; Haydée, 1997).

De acordo com os resultados encontrados, o reservatório de Boa Esperança mostrou características de um ambiente hipereutrófico, através do IET de Carlson (1977), e mesotrófico, pelo IETM proposto por Toledo *et al.* (1983). Assim como Mercante & Tucci-Moura (1999), registraram diferentes classificações tróficas, aplicando ambos os índices no Açude Jacaré e na Lagoa das Garças.

Na análise de estado trófico do reservatório de Salto Grande, realizada por Dornfeld (2002), foi verificada uma tendência de diminuição dos valores de IETM (PSR) no sentido do rio para a barragem. Apenas em janeiro ocorreu este mesmo comportamento no reservatório de Boa Esperança. Porém, quando analisada a transparência do disco de Secchi, independentemente do índice utilizado, esta tendência foi observada durante todo o ano.

Geralmente, a eutrofização é acelerada por ações antrópicas, levando à quebra do equilíbrio natural das cadeias tróficas e causando alterações nos ciclos químicos dos ecossistemas lacustres, tal como a alteração do oxigênio dissolvido na água, que pode ser devido à espessa camada de algas formada na superfície ou através de uma grande quantidade de material alóctone carregado para o reservatório (Toledo *et al.*, 1983; Tundisi *et al.*, 1988).

Segundo Vollenweider & Kerekes (1981), reservatórios hipereutróficos têm altíssimas quantidades de matéria orgânica, fósforo total (700-1200 mg/m³) e clorofila-a, com baixa profundidade do disco de Secchi (0,4-0,5 m), contrariando aos resultados obtidos para o ambiente em estudo, bem como, a classificação trófica do índice de Carlson.

Apesar de nitrogênio e fósforo serem os nutrientes responsáveis pelo processo de eutrofização, outros fatores externos devem ser levados em consideração, como a luz e a temperatura da água, que também atuam como controladores do fenômeno da eutrofização (Toledo *et al.*, 1983; Tundisi *et al.*, 1988; Esteves & Barbosa, 1986). Mercante & Tucci-Moura (1999), completam que fatores como a dinâmica temporal e espacial das variáveis físicas, químicas e biológicas, também devem ser elevados em consideração. O que sugere uma avaliação mais cautelosa em ecossistemas aquáticos tropicais, contudo, a aplicação de tais índices funciona como indicador do potencial estado trófico

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A.P.H.A./A.W.W.A./W.E.F. 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater. 19^a ed., Washington: A.P.H.A.

CALEFFI, S.; ZANARDI, E.; BEYRUTH, Z. 1994. Trophic state of Guarapiranga reservoir in 1991-1992. *Verh. Int. Ver. theor. Angew. Limnol.*, v. 25, p. 1306-1310.

CARLSON, R.E. 1977. The trophic state concept: a lake management perspective. In: 3rd. Annual Conference. EPA – US Environmental Protection Agency – Lake and Reservoir. P. 427-430.

ESTEVES, F.A.; BARBOSA, F.A.R., 1986. A doença dos lagos; *Ciência Hoje*, volume 5, número 27.

DORNFELD, C.B., 2002. Utilização de análises limnológicas, bioensaios de toxicidade e macroinvertebrados bentônicos para o diagnóstico ambiental do reservatório de Salto Grande (Americana, SP). São Carlos, USP, 211p

GOLTERMAN, H.J.; CLYMO, R.S.; OHNSTAD, M.A.M. 1978. Methods for physical and chemical analysis of freshwaters. London: Blackwell Sci. Pub., 214p. (IBP Handbook, 8)

HAYDÉE, T.O., 1997. Aplicação de índices de estado trófico e de qualidade da água na avaliação da qualidade ambiental de um reservatório artificial (Reservatório de Barra Bonita, estado de São Paulo, Brasil).

KOROLEFF, F. 1976. Determination of nutrients. In: Grasshoff, K. (ed.) *Methods of seawater analysis*. Weinheim: Verlag Chemie, p.117-187.

KRATZER, C.R. & BREZONICK, P.L.A. 1981. A Carlson type trophic state index for nitrogen in Florida lakes. *Water Res. Bull.*, v. 17, p. 713-714.

HENRY, R., CARMO, C.F. DO & BICUDO, D.C. 2004. Trophic status of a Brazilian urban reservoir and prognosis about the recovery of water quality. *Acta Limnologia Brasiliensia*, 16(3):251-262.

MACKERETH, F.J.H.; HERON, J.; TALLING, J.F. 1978. *Water analysis: some revised methods for limnologists*. London: Scient. Public., 121p.

MATSUMURA-TUNDISI, T.; HINO, K.; ROCHA, O. 1986. Características limnológicas da Lagoa do Taquaral (Campinas, SP), um ambiente hipereutrófico. *Ciênc. Cult.*, v. 38, p. 420-425.

MERCANTE, C.T.J. & TUCCI-MOURA, A. 1999. Comparação entre os índices de Carlson e de Carlson modificado aplicados a dois ambientes aquáticos subtropicais, São Paulo, SP. *Acta Limnologia Brasiliensia*, 11(1), 1-14.

NOGUEIRA, M.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. (1994). Limnologia de um sistema artificial raso represa do Monjolinho, São Carlos, SP. I – dinâmica das variáveis físicas e químicas. *Ver. Bras. Biol.* v. 54 (1). P. 147-159.

NUSCH, E.A. 1980. Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigment determination. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.*, v. 14, p.14-36.

RIBEIRO, L.H.L., BRANDIMARTE, A.L. & KISHI, R.T. 2005. Formation of the Salto Caxias Reservoir (PR) – an approach of the eutrophication process. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 17(2):155-165.

SALAS, H. & MARTINO, P. (1990). Metodologías simplificadas para la evaluación de eutroficación en lagos cálidos tropicales. Programa Regional CEPIS/HEP/OPS 1981-1990. Lima, CEPIS. Segunda edición 1996.

SETTI, A.A., LIMA, J.F.W., CHAVES, A.G.M., PEREIRA, I.C. (2001). Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos. Brasília. Agência Nacional de Energia Elétrica, Agência Nacional de Águas. 328 p.

SCHÄFER, A. 1988. Tipificação ecológica das lagoas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 2, p. 29-55.

STRICKLAND, J.D.H. & PARSONS, T.R. 1965. A manual of sea water analysis. Ottawa: Fish. Res. Board Canada, 202p.

TEIXEIRA, C. *et al.* 1965. Plankton studies in a mangrove. II. The standing-stock and some ecological factors. *Bolm. Inst. Oceanogr.*, v. 24, p. 23-41.

TOLEDO Jr., A.P.; TALARICO, M.; CHINEZ, S.J.; AGUDO, E.G. 1983. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação e processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In: Anais do 12º. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária. P. 1-34.

TUNDISI, J.G. 1969. Produção primária, “standing crop” e fracionamento do fitoplâncton na região lagunar de Cananéia. 131f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

TUNDISI, J.G.; MATSUMARA-TUNDISI, T.; HENRY, R.; ROCHA, O.; HINO, K., 1988. Comparação do estado trófico de 23 reservatórios do estado de São Paulo: eutrofização e manejo, *Limnologia e manejo de represas, série: monografias em limnologia*, vol 1.

TUNDISI, J.G. (1999) Limnologia no século XXI: perspectivas e desafios. Conferência de abertura do VII Congresso Brasileiro de Limnologia. Instituto Internacional de Ecologia 24p.

UNEP-IETC. 2001. Planejamento e gerenciamento de lagos e represas: uma abordagem integrada ao problema de eutrofização. São Carlos, IIE, 385p.

VOLLENWEIDER, R.A.;KEREKES,J.J.,1981. Background and summary results of the OECD cooperative program on eutrophication. In restoration of Lakes and Inland Waters, EPA/ 440/5-81-010: 25-36

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Foram apresentadas distintas características entre os principais tributários do reservatório de Boa Esperança
- As variações temporais foram influenciadas principalmente pelos índices pluviométricos regionais, caracterizando dois distintos períodos anuais, chuvoso e seco.
- A heterogeneidade espacial correspondeu principalmente com as diferentes regiões lótica, transição e lântica, ocorridas no reservatório, independente da época do ano.
- O reservatório de Boa Esperança apresentou características de um ambiente limnologicamente estável, sem grandes variações espaciais e temporais, tendo baixa densidade demográfica no seu entorno, conseqüentemente, reduzida influência antrópica no ecossistema aquático;
- O reservatório de Boa Esperança apresentou predominância de características hipereutróficas, de acordo com o IET de Carlson e características oligotróficas a mesotróficas, de acordo com o de Carlson Modificado (IETM);

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, R. B. de. 2004. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, estado do Piauí: diagnóstico do município de Guadalupe. Fortaleza: CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/rehi/atlas/piaui/relatorios/090.pdf>>. Acessado em: 05 de fevereiro de 2005.

ALBUQUERQUE FILHO, J. L. 2002. Previsão e análise da elevação do lençol freático no processo de Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) de reservatórios hidrelétricos. 223p. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências de Ciências Exatas, UEP, Rio Claro).

ANDREOLI, C. V. & CARNEIRO, C. 2005. Gestão Integrada de Mananciais de Abastecimento Eutrofizados. Curitiba: Sanepar. Finep. 500p.

ASSUNÇÃO, F. N. A. & BURSZTYN, M. A. A. 2001. **Conflitos pelo uso dos recursos hídricos, in Conflitos e uso sustentável dos recursos naturais**. Org. por Theodoro, S. H., Garamond/CDS, Rio de Janeiro.

CRUZ, H. C. & FABRIZY, N. L. P. 1995. **Impactos Ambientais de Reservatórios e Perspectivas de Uso Múltiplo**. Revista Brasileira de Energia, v. 4, n. 1. Disponível em: <<http://www.sbpe.org.br/v4n1/v4n1t1.htm>>. Acessado em: 07 de maio de 2005.

ESPÍNDOLA, E. L. G., BRIGANTE, J. 2003. **Limnologia fluvial: um estudo no rio Mogi-Guaçu**. 1ª Ed. São Carlos: RiMa. 278p.

ESTEVES, F. A., BARBOSA, F. A. R. 1986. A doença dos lagos; Ciência Hoje, volume 5, número 27.

DATSENKO, I. S., SANTANA, S. T., ARAÚJO, J. C., 2000. Peculiaridades do Processo de eutrofização dos açudes da região do semi-árido. 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental: 2220-2226.

GOODIN, D.G.; HAN, L.; FRASER, R.N.; RUNDQUIST, D.C.; STEBBINS, W.A.; SCHALLES, J.F., 1993. "Analysis of suspended solids in water using remotely sensed high resolution derivative spectra." *Photogrammetric Engineering e Remote Sensing*. 59(4): 505-510.

HARREMOES, P., 1998. The challenge of managing water and material balances in relation to eutrophication, *Water Scienc and Thechnolog*, 37(3): 9-17, IAWQ.

HOLMES, P.R., 1996. Measuring success in water pollution control; *Wat.Res.*, 34(12): 155-164.

HUTCHINSON, G. E. 1957. **A treatise on limnology: I.** geography, physics and chemistry. New York: John Wiley. p.1015.

JORGENSEN, S. E. & VOLLENWEIDER, R. A. 1989. **Guidelines of Lake Management.** Vol. 1. Principles of Lake Management. ILEC/UNEP. Japan. p.199.

MEYBECK, M. & HELMER, R. 1992. An Introduction to Water Quality. In Chapman, D. (ed.). **Water Quality assessment: a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring.** Cambridge: UNESCO/WHO/UNEP. p. 1-17.

MIRANDA, E. E. de. 2004. **Água na natureza, na vida e no coração dos homens.** Campinas. Disponível em: <<http://www.aguas.cnpm.embrapa.br>>. Acessado em: 02 de setembro de 2004.

OENEMA, O. ROEST, W.J. 1998. Nitrogen and phosphorus losses from agriculture into surface waters; The effects of policies and measures in the Netherlands. *Water Scienc and Thechnolog*. 37(2):19-30, IAWQ.

PRADO, R. B. 2002. **Manejo integrado de reservatórios destinados a uso múltiplo como perspectiva de recuperação da qualidade da água.** Recursos hidroenergéticos: usos, impactos e planejamento integrado. Ed. RiMa, São Carlos.

REBOUÇAS, A. DA C. 1997. **Água na região Nordeste: desperdício e escassez**. Vol.11, n° 29 p.127-154. ISSN 0103-4014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40141997000100007&lng=en&nrm=iso>. Acessado em: 22 de setembro de 2005.

REBOUÇAS, A. DA C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. 2002. **Águas Doces no Brasil – Capital ecológico, uso e conservação**. 2ª Ed. São Paulo: Escrituras Editora.

ROBERTO, A. N. PORTO, R. LA L. 1999. Alocação da água entre múltiplos usos em uma bacia hidrográfica, in *Água em quantidade e qualidade: o desafio do próximo milênio*. ABRH, Belo Horizonte, 1 CD.

SETTI, A. A. 2001. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. 3. Ed. Brasília: ANEEL/ANA. 328p.

SOUZA, D.A. 1993. **Bacia do Riberão e Represa do Lobo: Bases Ecológicas para o Planejamento Regional, Manejo e Conservação**. São Carlos. 158 p. Tese (Dissertação de Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

TOLEDO, A.P; AGUDO, E.G.;TOLARICO,M.; CHINEZ, S.J., 1984. Aplicação de modelos simplificados para avaliação da eutrofização em lagos e reservatórios tropicais; CETESB.

TUNDISI, JOSÉ GALIZIA. **Ecologia, limnologia e aspectos socioeconômicos da construção de hidrelétricas nos trópicos**. In: Encontro de Tropicologia, 4, 1987, Recife. **Anais...** Recife: Universidade de Brasília; CNPq, 1990. p. 47-85. Disponível em: <http://www.tropicologia.org.br/conferencia/1987ecologia_limnologia.html>. Acesso em: 28 mai. 04.

TUNDISI, J.G. MATSUMARA-TUNDISI,T. HENR, Y. R. ROCHA, O. HINO, K. 1988. Comparação do estado trófico de 23 reservatórios do estado de São Paulo: eutrofização e manejo, *Limnologia e manejo de represas, série: monografias em limnologia*, vol 1.

TUNDISI, J. G. E STRAŠKRABA, M. **Theoretical Reservoir Ecology and its Applications**. São Carlos. 1999. 592p.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; ROCHA, O. Limnologia de águas interiores: impactos, conservação e recuperação de ecossistemas aquáticos. In: Rebouças, A; Braga, B; Tundisi, J.G. **Uso e conservação**. 2. ed. São Paulo: Academia Brasileira de Ciências, Instituto de Estudos Avançados, USP, 2002. 195-225 p.

TUNDISI, JOSÉ GALIZIA. **Águas no Século XXI: Enfrentando a Escassez**. 2ª Ed. São Carlos: RiMa, 2003. 248p.

UFMA. 1998a. **Caracterização física, química e biológica do Reservatório de Boa Esperança (MA-PI): 1º Relatório técnico - Novembro/97 – Março/98**. São Luís, UFMA. 39+22p.

UFMA. 1998b. **Caracterização física, química e biológica do Reservatório de Boa Esperança: 2º Relatório técnico - Agosto a Novembro/98**. São Luís, UFMA. 38p.

UFMA. 2000. **Caracterização física, química e biológica do reservatório de Boa Esperança (MA-PI): Base para o gerenciamento - 4º Relatório Técnico/Coleta - março 2000**. São Luís, UFMA. 50p.

VARIS, O., 1996; Water quality models: typologies for environmental impact assessment; Wat. Res. 34 (12):109-117.

VIEIRA, J.M.P. PINHO, J.L.S. DUARTE, A.A.L.S. 1998. Eutrophication vulnerability analysis: a case study. Water Scienc and Thechnolog.37(3):121-128, IAWQ.

VOLLENWEIDER, R. A. **Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication**. Paris: OECD, 1968. 220 p. (Report DAS/CSI/68.27).

VON SPERLING, M., 1995. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos; vol 1, SEGRAC, Minas Gerais.

XAVIER, C. DA F. 2005. Avaliação da Influência do uso e Ocupação do Solo e de Características Geomorfológicas sobre a Qualidade das Águas de dois Reservatórios da Região Metropolitana de Curitiba – Paraná. Curitiba. 167p. (Dissertação de mestrado, UFPR).

WETZEL, R. G. **Limnologia**. Barcelona: Ediciones Omega, 1981. 679 p.

WETZEL, R.G. 1993. **Limnologia**. Fundação Calouste Gulbenkian. 1011 p.