

AVALIAÇÃO DO GRAU DE TROFIA DE UM BRAÇO DO RESERVATÓRIO DE ITAIPU

CARDOSO, E.T.S.¹; BENASSI, R.F.²; BENASSI, S.F.³; FREIRE, R.H.F.⁴

¹*Programa de Pós-Graduação em Energia (UFABC). Bolsista pelo Parque Tecnológico de Itaipu – PTI/Itaipu Binacional (ellen.cardoso@ufabc.edu.br)*

²*Universidade Federal do ABC (UFABC). Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas (roseli.benassi@ufabc.edu.br)*

³*Itaipu Binacional, Divisão de Reservatórios, Programa de Monitoramento e Avaliação Ambiental (simonefb@itaipu.gov.br)*

⁴*Programa de Pós-Graduação em Energia (UFABC). Bolsista pela Universidade Federal do ABC (rogerioherlon@gmail.com)*

Abstract

The intense and diversified uses of the reservoirs built to the power generation may cause a decreasing in the quality of the stored water. Therefore, there is an increasing necessity of managing these systems for ensuring their multiple uses. Under this point of view, this research had as the main goal to evaluate the space-temporal variability of the trophic status at an Itaipu reservoir's compartment (Paraná, Brazil) between 1985 and 2006. The analyzed dataset was corresponding to the sites E11 and E14. The index of trophic state proposed by Carlson and modified by Toledo et al. (1983) was used to classify the reservoir in relation to its enrichment degree. The results showed that both sampled sites were classified, during the most part of the analyzed period, as oligotrophic, although the E14 had been classified as mesotrophic in some occasions. This status trophic, although may indicate alterations in water quality, it is not enough, in most of times, to put the manager system in alert. This research also showed that in recent years there was a reduction in trophic status of the Itaipu reservoir, showing the great importance of the anthropic activities and soil uses management along its hydrographic basin.

Keywords: Trophic status, space-temporal variability, Itaipu Reservoir.

1. Introdução

Na matriz energética brasileira há uma significativa participação de fontes renováveis, as quais representam aproximadamente 85% da eletricidade no Brasil, com a energia hidráulica correspondendo a 77% dentre estas fontes (Ben, 2010). O desenvolvimento máximo de centrais hidrelétricas ocorreu entre as décadas de 1960 e 1970 e muitas ainda estão em funcionamento até os dias atuais, gerando benefícios locais e regionais, como é o caso da Usina Hidrelétrica de Itaipu, localizada no rio Paraná, na fronteira entre o Brasil e o Paraguai, sendo considerada, atualmente, a maior usina do mundo em geração de energia, fornecendo 16,4% da energia consumida no Brasil (Itaipu, 2010).

Os reservatórios formados pelas construções de hidrelétricas são ecossistemas artificiais de grande importância estratégica por serem utilizados para diversos e variados usos (Tundisi *et. al.*, 2008). No reservatório de Itaipu, por exemplo, além do uso energético, são realizadas outras atividades como irrigação, captação de água para abastecimento, criação de tanques-redes e de praias artificiais (Itaipu, 2010). Desta maneira, estes empreendimentos favorecem o desenvolvimento sócio-econômico por meio destas atividades, ao mesmo tempo em que impõem considerável impacto aos ecossistemas aquáticos

devido a sua permanente manipulação pelo homem através dos seus usos múltiplos (Revenga *et. al.*, 2000; Tundisi, 1999).

A redução da qualidade da água de rios e reservatórios pode, em alguns casos, ter efeito sobre a capacidade de geração de energia elétrica e o abastecimento para consumo humano. Nas bacias hidrográficas que formam os reservatórios, as atividades antrópicas podem exercer influência direta sobre a qualidade da água e o tempo de vida útil de empreendimentos desta natureza. Muitos rios e reservatórios têm apresentado condições típicas de desequilíbrio ecológico causadas principalmente pela grande carga de nutrientes, especialmente de nitrogênio e fósforo, provenientes do lançamento de efluentes domésticos e industriais brutos ou ainda provenientes de fontes difusas, com destaque para a agricultura (Velini *et. al.*, 2005).

O enriquecimento de corpos d'água por nutrientes essenciais favorece, num estágio inicial, a produção de matéria orgânica nova no sistema, resultando, principalmente, no aumento da biomassa algal e de macrófitas aquáticas - processo conhecido como eutrofização. Num estágio posterior, pode haver um desequilíbrio entre os processos de produção e decomposição, com sérias implicações ao ecossistema aquático com reflexo direto sobre a qualidade da água. Diminuição da transparência da coluna d'água, depleção da concentração de oxigênio dissolvido, aumento na densidade, bem como na frequência de ocorrência de *blooms* de cianobactérias, são algumas das consequências indesejáveis da eutrofização acelerada de ecossistemas aquáticos (Ansari *et. al.*, 2011; Sperling, 2006; Tundisi *et. al.*, 2008).

Desta forma, conforme se tornam mais intensos e diversificados os usos de um reservatório, maior é a necessidade de se realizar um manejo integrado dos recursos naturais de sua bacia de drenagem para que a água armazenada mantenha uma qualidade compatível com os usos a quais será destinada. Como uma das mais importantes ferramentas da gestão de recursos hídricos, o monitoramento sistemático de ecossistemas aquáticos tem como principal objetivo a geração de séries temporais de dados que podem ser utilizadas para a avaliação da qualidade da água armazenada. Dentro deste contexto, o conhecimento do estado trófico de corpos d'água, bem como de sua variação espaço-temporal, torna-se uma das mais importantes ferramentas para o gerenciamento da qualidade de águas interiores tanto para a comunidade científica, quanto para os sistemas gestores de recursos hídricos (Borges, 1998).

Dentre os indicadores de qualidade de água disponíveis, os índices de qualidade de água, os quais resumem em um único ou em poucos valores um grande conjunto de variáveis analisadas (Gastaldini & Souza, 1994). Um dos índices mais utilizados é o Índice de Estado Trófico (IET) proposto por Carlson e modificado por Toledo *et. al.* (1983), que tem por finalidade avaliar a qualidade da água frente ao enriquecimento por nutrientes e a resposta da comunidade fitoplanctônica em termos de aumento de biomassa. Este índice utiliza-se de três variáveis limnológicas para sua determinação: clorofila *a*, transparência da coluna d'água estimada com disco de Secchi e fósforo total (Ribeiro Filho, 2006). Segundo Duarte *et. al.* (2008), um IET funciona como um registro das atividades humanas nas bacias hidrográficas, podendo servir de base para o planejamento, o controle da eutrofização e dos usos dos recursos hídricos.

Diante do exposto e, tendo como base a questão dos usos múltiplos, este trabalho teve como objetivo principal avaliar a evolução do estado trófico do reservatório de Itaipu – Brasil, mais especificamente, de um de seus compartimentos, o braço do rio Passo Cuê, visando gerar informações que possam ser utilizadas no gerenciamento preventivo do processo de eutrofização.

2. Material e Métodos

A área de estudo compreende o reservatório da Hidrelétrica de Itaipu, localizado na sub-bacia do Paraná, na fronteira entre o Brasil e o Paraguai (Figura 1). O reservatório apresenta compartimentalização horizontal, podendo ser caracterizadas três regiões ecologicamente diferenciadas ao longo do seu eixo longitudinal principal: região fluvial, de transição e lacustre. Uma das principais características morfológicas do reservatório de Itaipu é sua conformação dendrítica, com um corpo principal alongado e ramificações ao longo do mesmo que resultam em “braços”, os quais apresentam características próprias e representam, considerando suas extensões e volume de água armazenada, sistemas quase independentes do corpo central (IAP, 2004).

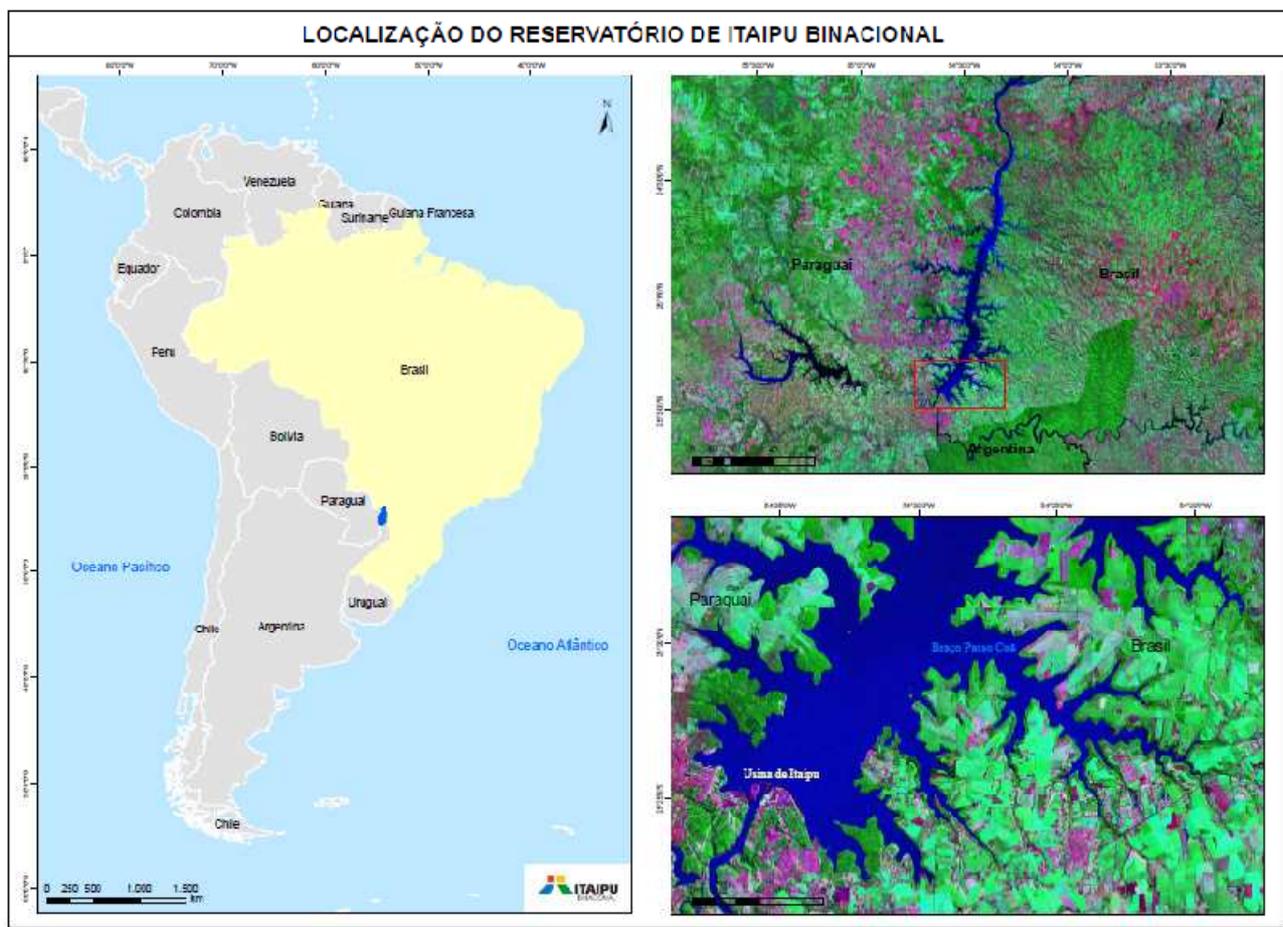


Figura 1: Localização do reservatório de Itaipu e do braço do rio Passo Cuê.

O reservatório possui uma rede de monitoramento de qualidade de água, totalizando 13 estações de amostragem distribuídas entre o corpo central e os braços principais. Entre elas estão as estações E11 e E14, situadas no braço do rio Passo Cuê, afluente pela margem esquerda do reservatório (Figura 2). Na região da sub-bacia do rio Passo Cuê, o uso da terra é predominantemente agrícola, possuindo também algumas agroindústrias, frigorífico e fecularia. As culturas agrícolas dominantes são as do milho, soja, trigo e aveia (Loenardo, 2003).

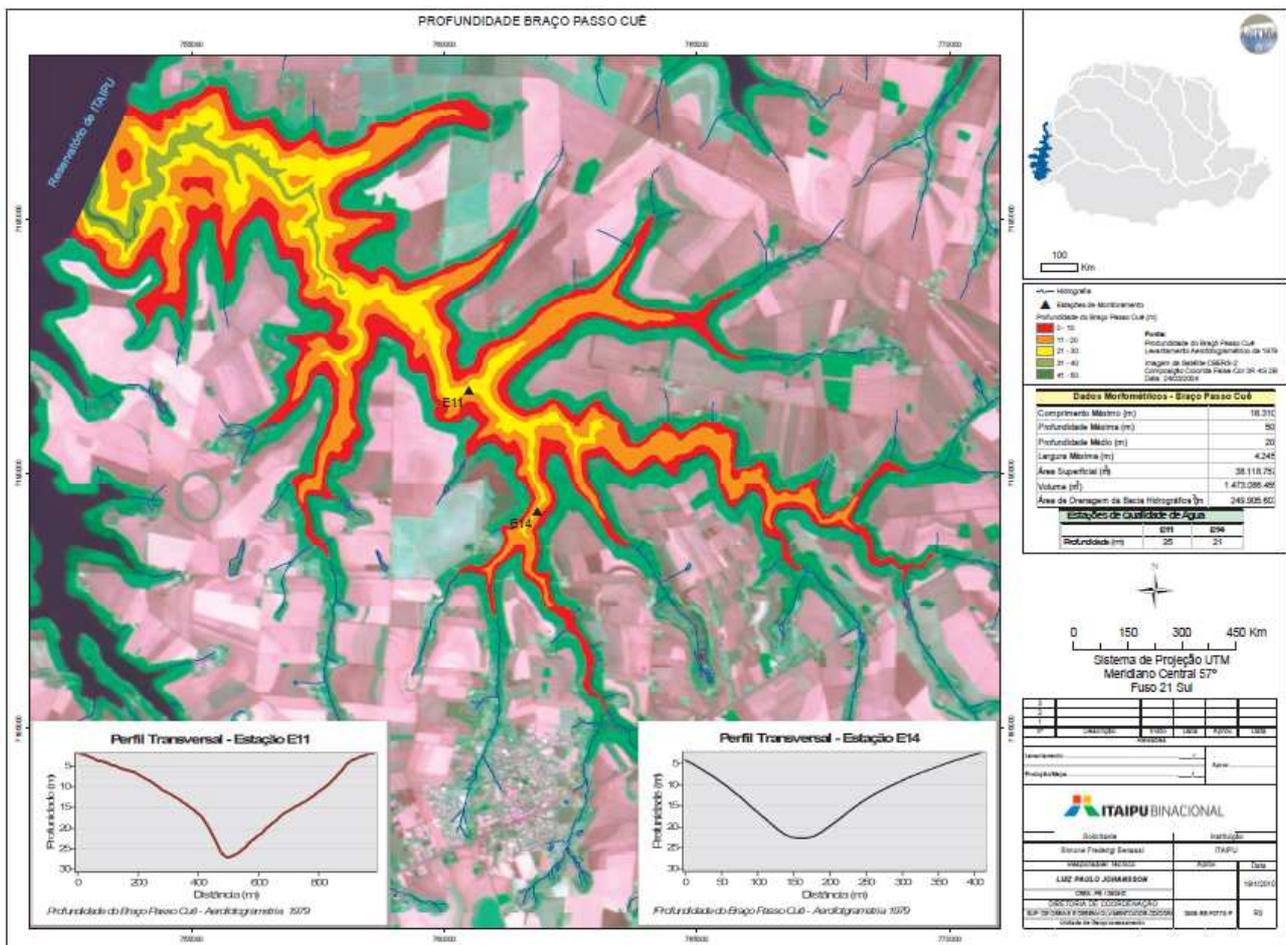


Figura 2: Localização das estações de monitoramento E11 e E14 no braço do rio Passo Cuê, reservatório de Itaipu

FONTE: ITAIPU BINACIONAL, 2010

Os dados utilizados neste trabalho são referentes às estações E11 e E14 e correspondem ao período de coleta entre 1985 e 2006. No entanto, para a E11, foram utilizados dois subconjuntos de dados (1985-1988 e 1997-2006), já que houve um período com ausência de amostragem para esta estação, ao contrário da E14, que apresentou série completa de dados (1985-2006).

Para estimar o grau de trofia do braço do rio Passo Cuê optou-se pela utilização do Índice de Estado Trófico (IET) proposto por Carlson, modificado por Toledo *et. al.* (1983). Este índice faz uso de três variáveis em seu sistema de classificação: clorofila a, transparência da água (disco de Secchi) e fósforo total (Ribeiro Filho, 2006).

As equações a seguir são utilizadas para obtenção do IET relativo a cada variável.

$$IET(Secchi) = 10 \left[6 - \left(\frac{0,64 + \ln Secchi}{\ln 2} \right) \right] \quad \text{Equação 1}$$

$$IET(Fósforo Total) = 10 \left[6 - \left(\frac{\ln\{80,32 / Fósforo Total\}}{\ln 2} \right) \right] \quad \text{Equação 2}$$

$$IET(Clorofila) = 10 \left[6 - \left(\frac{2,04 - 0,695 * \ln Clorofila}{\ln 2} \right) \right] \quad \text{Equação 3}$$

Após a determinação dos IETs individuais, determina-se um IET médio ponderado, atribuindo-se menor peso à variável transparência da água. Para o cálculo do IET médio utiliza-se a seguinte equação:

$$IET(Médio) = \frac{IET(Secchi) + 2[IET(Fosfato) + IET(Cloração)]}{5} \quad \text{Equação 4}$$

De acordo com o resultado destes cálculos, os reservatórios são classificados conforme os limites estabelecidos por Toledo (1990) (Tabela 1):

Tabela 1 - Limites para as classes de estado trófico, segundo o sistema de classificação proposto por Toledo, 1990.

Critério	Classe de Trofia	Transparência (m)	Fósforo Total (mg.L⁻¹)	Clorofila a (µg.L⁻¹)
IET ≤ 24	Ultraoligotrófico	DS ≥ 7,8	PT ≤ 0,006	CL ≤ 0,51
24 < IET ≤ 44	Oligotrófico	7,8 > DS ≥ 2	0,006 < PT ≤ 0,026	0,51 < CL ≤ 3,81
44 < IET ≤ 54	Mesotrófico	2 > DS ≥ 1	0,026 < PT ≤ 0,052	3,81 < CL ≤ 10,34
54 < IET ≤ 74	Eutrófico	1 > DS ≥ 0,3	0,052 < PT ≤ 0,211	10,34 < CL ≤ 76,06
IET > 74	Hipereutrófico	DS < 0,3	PT > 0,211	> 76,06

As variáveis limnológicas e os IETs resultantes foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) por meio do software SYSTAT para testar a hipótese de diferenças entre as estações de amostragem E11 e E14, entre os anos e entre as estações do ano, adotando-se um nível de significância de 5%.

3. Resultados

Com relação ao fósforo total, a análise das médias anuais mostrou pequena diferença entre as estações E11 e E14, com exceção do ano de 1999, quando a E14 apresentou a maior concentração média durante o período de estudo (Figura 3). Apesar de, na maioria dos anos, a estação E11 apresentar concentrações médias de fósforo total inferiores a E14, as diferenças não foram consideradas estatisticamente significativas após ANOVA (F= 0,18), ratificando a pequena variabilidade espacial desta variável. No entanto, considerando os anos amostrados como principal fator de variabilidade, a análise de variância mostra diferenças interanuais significativas nas concentrações médias de fósforo total (F=2,16). Quanto à classificação trófica proposta por Toledo (1990), as águas do reservatório, com base nas concentrações de fósforo total, foram consideradas, na maioria dos anos, oligotróficas.

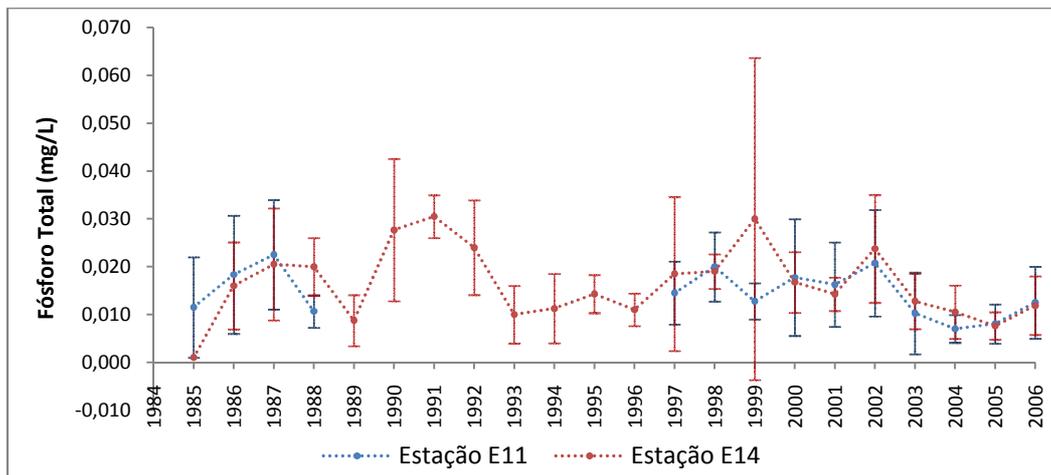


Figura 3: Concentrações médias anuais de Fósforo Total (\pm desvio padrão) nas estações E11 e E14, entre 1985 e 2006.

Quanto ao efeito da sazonalidade sobre a variabilidade espacial, não foram constatadas diferenças significativas entre as concentrações de fósforo total entre as estações. Da mesma forma, não houve diferença significativa entre as estações do ano ($F=0,2$), indicando pequena variabilidade sazonal (Figura 4).

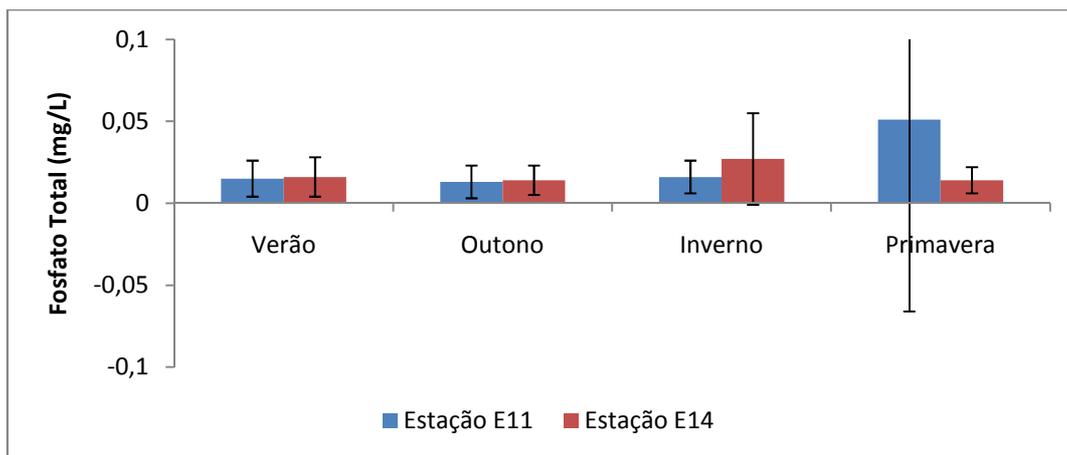


Figura 4: Variação sazonal das concentrações médias de Fósforo Total nas estações E11 e E14 entre 1985 e 2006.

A Figura 5 mostra a variação espaço-temporal dos valores médios de transparência da água. Durante todo o período de estudo, houve pequena diferença entre os valores médio das estações E11 e E14, como ratificado pela análise de variância, a qual apontou semelhança estatística entre as mesmas e, portanto, pequena variabilidade espacial ($F=0,41$). Os valores máximos de transparência da coluna d'água foram observados no ano de 2006: 2,75 m e 3,0 m nas estações E11 e E14, respectivamente. Este comportamento seguiu um padrão de variação, com os valores tendendo a um aumento de 2002 a 2006, com uma descontinuidade em 2005. Considerando os valores absolutos, o reservatório de Itaipu foi classificado, quanto à transparência da coluna d'água, como mesotrófico ($2 > DS \leq 1$). No entanto, a partir de 2002, com o aumento destes valores, o reservatório tendeu a oligotrofia ($7,8 < DS \leq 2$). A análise de variância mostrou que os valores de transparência foram estatisticamente diferentes entre os anos ($F=6,29$).

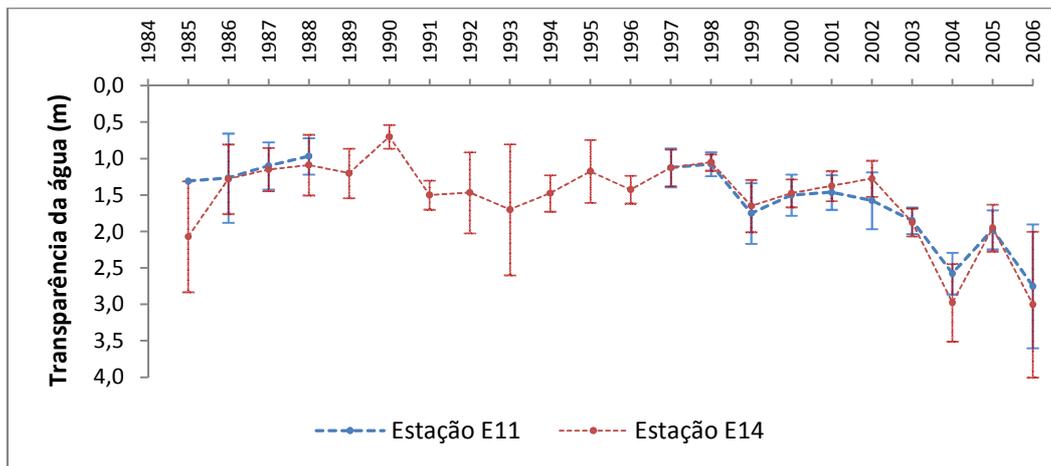


Figura 5 - Valores médios anuais da transparência da coluna d'água nas estações E11 e E14 entre 1985 e 2006.

Em relação às estações do ano, os valores médios de transparência da água foram maiores para E11 e E14 durante os períodos mais quentes do ano (verão e primavera; Figura 6). A análise de variância, considerando a sazonalidade como fator de variação, mostrou que os valores de transparência são estatisticamente diferentes entre as estações do ano ($F=2,71$). Com exceção da primavera, em que os valores médios foram praticamente iguais (1,66 m e 1,68 m para E11 e E14, respectivamente), nas demais estações do ano, os valores para E11 foram superiores. No entanto, estas diferenças foram consideradas estatisticamente não significativas pela análise de variância ($F=3,29$).

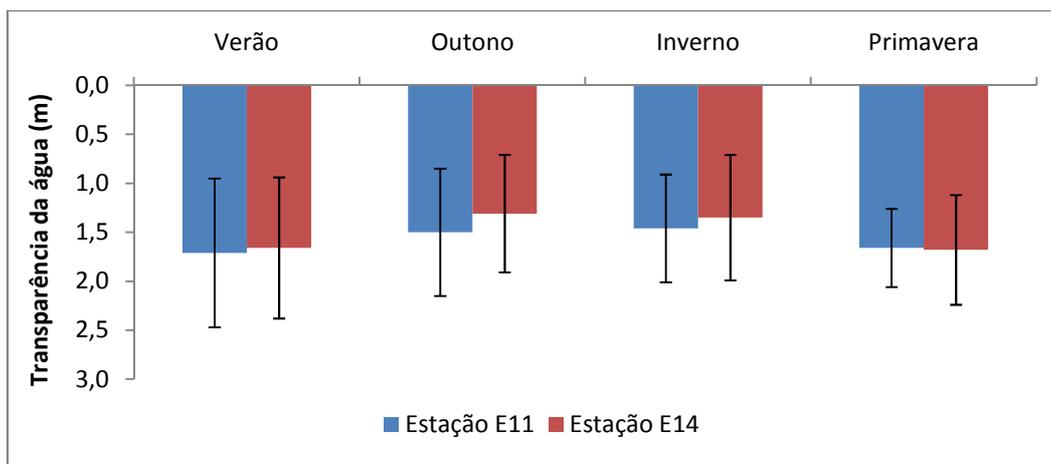


Figura 6 - Valores médios sazonais de transparência da coluna d'água nas estações E11 e E14 entre 1985 e 2006.

As médias anuais de clorofila *a* evidenciaram uma tendência à diminuição ao longo do período de estudo, atingindo os menores valores nos anos 2000. Este comportamento foi observado tanto para E11 quanto para E14. No entanto, apesar das médias anuais ligeiramente superiores para E14, não houve diferença estatisticamente significativa entre as duas estações amostradas ($F= 3,58$). Considerando os anos como fator de variação temporal, as médias anuais foram consideradas estatisticamente diferentes para E11 e E14 (4,31).

Analisando a variabilidade dos valores médios anuais de clorofila *a* para as estações E11 e E14, observou-se um deslocamento do estado trófico do reservatório de Itaipu de mesotrófico e, em alguns anos, eutrófico, principalmente durante o início do período de estudo, para oligotrófico nos anos finais da série de dados analisada (Figura 7).

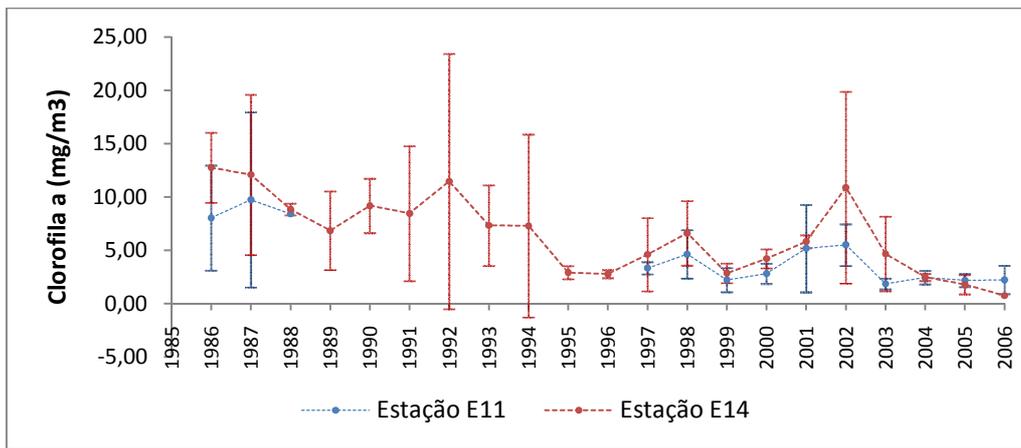


Figura 7: Concentrações médias anuais de clorofila a nas estações E11 e E14 entre 1985 e 2006.

Espacialmente, a estação E14, com exceção da primavera, apresentou concentrações de clorofila \underline{a} superiores à E11 (Figura 8). A análise de variância ratificou este comportamento, retornando diferença estatística significativa entre os pontos amostrados ($F= 4,81$). No entanto, considerando as estações do ano como fator de variação, as diferenças entre as médias mensais foram consideradas estatisticamente não significativas ($F= 1,48$).

Quanto à classificação trófica, a E14 foi classificada como mesotrófica em todas as estações do ano, enquanto que a E11 foi enquadrada como oligotrófica durante o verão e o outono ($0,51 < \text{Clor. } \underline{a} < 3,81$), e como mesotrófica durante o inverno e a primavera ($3,81 < \text{Clor. } \underline{a} < 10,34$).

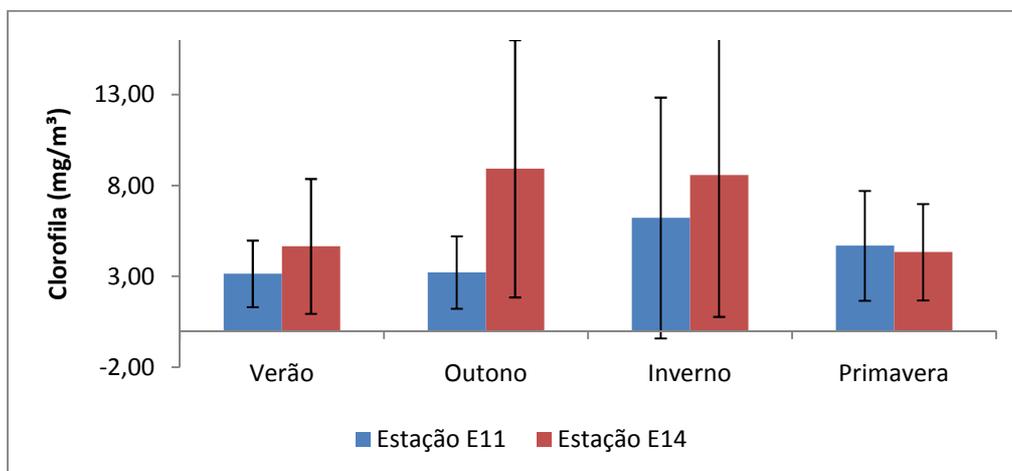


Figura 8: Variação sazonal das concentrações médias de clorofila a nas estações E11 e E14 entre 1985 e 2006.

Considerando os valores do IET médio ponderado, a estação E11 esteve sempre dentro da classe oligotrófica ($24 < \text{IET} \leq 44$), com exceção do ano de 1987, quando foi classificada como mesotrófica ($44 < \text{IET} \leq$). A E14, apesar de apresentar valores superiores à E11, também foi classificada, na maioria dos anos, como oligotrófica, apresentando alguns picos de mesotrofia (Figura 9). Apesar dos IETs superiores em E14, a análise de variância não apontou diferença estatística significativa entre os pontos amostrados ($F= 0,53$).

A tendência de diminuição nas concentrações de fósforo total e clorofila \underline{a} refletiu-se nos menores valores dos IETs a partir de 2002, atingindo o valor mínimo durante o período de estudo em 2006, na estação E14. Considerando os anos como principal fator temporal de variabilidade, os IETs médios anuais foram considerados estatisticamente diferentes entre si. ($F=3,51$).

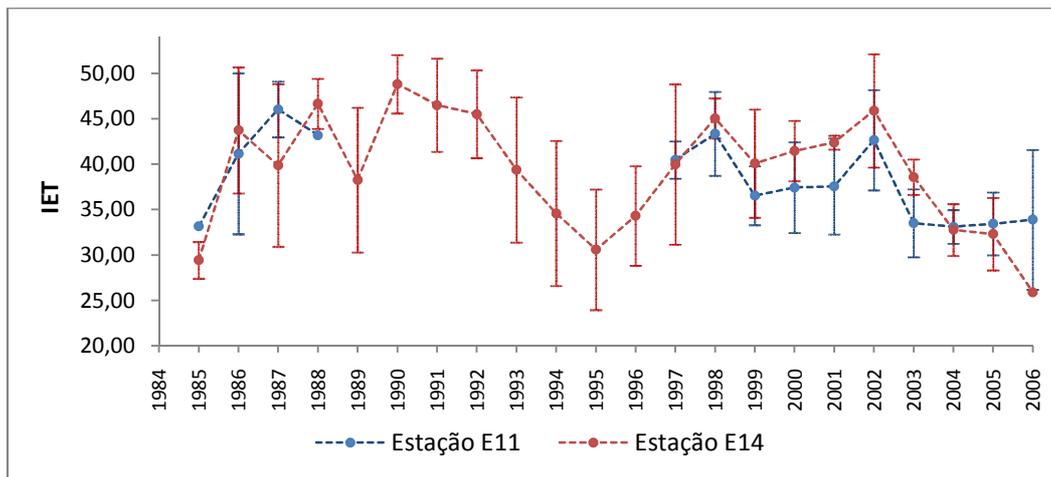


Figura 9: Variação temporal das médias anuais e desvios padrão de IET nas estações E11 e E14, entre o período de 1985 e 2006

A Figura 10 mostra a variação sazonal dos IETs, revelando pequena variabilidade entre E11 e E14 para todas as estações do ano, com E11 apresentando estado trófico superior durante o verão/primavera e E14 durante o outono/inverno. No entanto, ambas foram classificadas como oligotróficas pelo IET médio ponderado. A análise de variância ratificou a pequena variabilidade entre os pontos amostrados, retornando diferenças estatisticamente não significativas ($F= 0,35$).

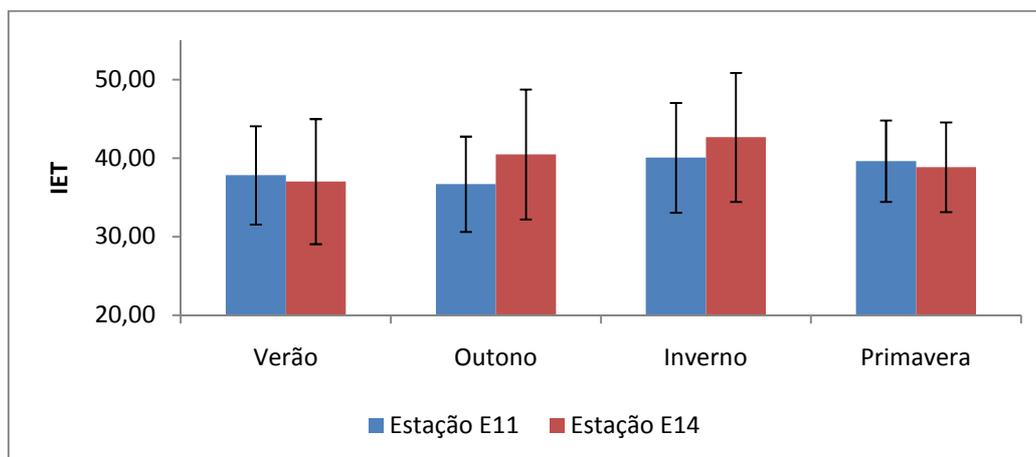


Figura 10: Variação sazonal e desvios padrão do IET nas estações E11 e E14, entre o período de 1985 e 2006

4. Discussão

O acompanhamento da evolução do processo de eutrofização em reservatórios é de fundamental importância para os sistemas gestores de recursos hídricos, já que pode refletir, indiretamente, mudanças nos padrões de uso e ocupação do solo ao longo de suas bacias de drenagem. Sob esta perspectiva, reservatórios podem ser considerados como sistemas de informação dentro das bacias onde estão inseridos.

O processo de eutrofização pode ser visto como o resultado de alterações no estado nutricional de corpos d'água pelo aumento da carga de nutrientes ao mesmo, especialmente de nitrogênio e fósforo, embora fontes de carbono orgânico também contribuam para o estado trófico de ecossistemas aquáticos.

Atualmente, uma das grandes preocupações dos sistemas gestores de recursos hídricos é com a aceleração da eutrofização de reservatórios de usos múltiplos causada pela grande carga de nutrientes e

matéria orgânica afluenta a estes ecossistemas através de fontes pontuais e difusas. Algumas características morfológicas, hidrológicas e até mesmo hidráulicas dos reservatórios artificiais contribuem para o processo de eutrofização.

Dentre as características hidráulicas, as quais são dependentes também do regime de operação de reservatórios, o tempo de residência destaca-se como variável-chave, pois define o tempo de renovação das águas, estando diretamente associado ao balanço de matéria e energia no sistema. A diminuição do tempo de residência, por exemplo, pode favorecer o aumento da biomassa líquida de produtores primários, principalmente representados pelo fitoplâncton e macrófitas aquáticas, enquanto sua diminuição pode causar perda de biomassa através do processo de *washout*, em que uma grande quantidade de biomassa pode ser perdida.

Em grandes reservatórios de usos múltiplos, a magnitude e variabilidade do tempo de residência variam não somente com o regime de chuvas, responsável pelo aporte de água e, portanto, por alterações do volume armazenado, mas também com as decisões resultantes do operador do sistema, o qual decide a magnitude das vazões liberadas para cada uso.

O reservatório de Itaipu, apesar de ter sido concebido inicialmente com a função principal de geração de energia, teve seus usos diversificados com o tempo, atendendo as demandas de consumo humano, irrigação, piscicultura e lazer da região.

Com o aumento da pressão urbana sobre a bacia hidrográfica do reservatório ao longo dos anos, bem como da diversificação dos usos do solo, verificou-se um aumento da carga poluidora afluenta proveniente de fontes pontuais, representadas principalmente pelo lançamento de esgotos domésticos, e fontes difusas, causando uma diminuição da qualidade da água armazenada.

Na região de drenagem do rio Passo Cuê, onde se localizam as estações de amostragem E11 e E14, as contribuições são principalmente difusas em razão das atividades antrópicas da região serem predominantemente agrícolas.

A série de dados explorada nesta pesquisa pode ser considerada um retrato da evolução das atividades de uso e ocupação do solo da bacia de drenagem do reservatório, particularmente no braço do Rio Passo Cuê, objeto de estudo nesta pesquisa. Os resultados revelaram, de uma forma geral, um padrão de variação caracterizado pela menor transparência da coluna d'água, maior concentração de fósforo total e maior biomassa algal no início da série para as duas estações amostradas, com tendência de reversão destas condições ao longo da série, com o passar dos anos.

Apesar de não ser considerada, quando analisada individualmente, uma variável indicadora do processo de eutrofização, a transparência da coluna d'água tomada pelo disco de Secchi pode ser considerada uma resultante das condições óticas da coluna d'água, a qual, por sua vez, é função da turbidez biogênica e abiótica e também da interferência causada pela presença de substâncias que absorvem na região visível do espectro eletromagnético, responsáveis pela absorção de parte da radiação incidente.

A partir dos resultados, verificou-se que E11 e E14 apresentaram padrão de variação da transparência da coluna d'água semelhante, indicando que as duas regiões do braço Passo Cuê sentem os efeitos das contribuições difusas na mesma intensidade, resultando em pequena variabilidade espacial, como ratificado pela análise de variância.

O aumento da transparência da coluna d'água ao longo do tempo pode ser atribuída, principalmente, às medidas de gerenciamento corretivo e preventivo planejadas e executadas para minimizar os impactos à qualidade da água do reservatório resultantes das atividades agrícolas desenvolvidas na região de drenagem do Rio Passo Cuê. Aqui, cabe destacar a existência de uma Área de Proteção Permanente (APP), criada com o objetivo de proteger a diversidade biológica local e funcionar como área tamponante ao aporte de cargas poluidoras que chegam ao reservatório. Além de amortecer os pulsos de nutrientes às águas do braço Passo Cuê, a APP também cumpre a função de atenuar a carga de material em suspensão ao reservatório proveniente principalmente das atividades de movimentação do solo.

De acordo com Bini (2002), o aumento da transparência da coluna d'água do reservatório de Itaipu ao longo dos anos pode estar associado também à adoção da técnica do plantio direto, prática agrícola menos impactante, que reduz os riscos de perda da camada fértil do solo.

De modo geral, o padrão de variação temporal das variáveis fósforo total e clorofila *a* foi semelhante àquele observado para a transparência da coluna d'água, com os maiores valores correspondentes aos anos iniciais da série de dados e os valores mínimos sendo registrados em direção ao final da mesma. Este comportamento pode ser indicativo de que as práticas conservacionistas adotadas visando minimizar os impactos das atividades antrópicas à qualidade da água deste compartimento do reservatório tiveram efeito

direto na redução da carga de fósforo e, conseqüentemente, na desaceleração do crescimento da comunidade fitoplanctônica nas águas do braço do rio Passo Cuê, resultando em menores valores da biomassa fitoplanctônica.

Analisando os valores absolutos de fósforo total, as concentrações estiveram próximas àquelas encontradas por Konrad *et. al.* (2009) na sub-bacia do rio Ocoí, um tributário do reservatório de Itaipu, atribuindo a carga de fósforo nesta região à presença de fontes pontuais e difusas, ressaltando principalmente a influência de descargas de resíduos animais provenientes de explorações agrícolas. Em outro trabalho, Silva *et. al.* (2010) encontraram correlação positiva entre a precipitação pluviométrica e as concentrações de fósforo no Rio São Francisco Falso, tributário do reservatório de Itaipu, atribuindo este fato à existência de fontes poluidoras de natureza difusa na bacia de drenagem do rio.

Cabe ressaltar que, mesmo durante a série inicial de dados, quando as concentrações de fósforo total foram superiores, nenhum valor excedeu o limite máximo permitido pela Resolução CONAMA 357/05 para as águas da Classe 2.

A redução da biomassa fitoplanctônica nas águas do braço Passo Cuê acompanhou a tendência de diminuição nas concentrações de fósforo ao longo da série temporal analisada, fato que suscitou a hipótese deste nutriente atuar como fator limitante ao crescimento algal, apesar deste fato, isoladamente, não servir de indicador para a determinação do nutriente limitante nas águas do reservatório de Itaipu.

O deslocamento dos IETs para valores inferiores ao longo da série analisada, especialmente durante os anos finais (2002-2006), mostra que as medidas de gerenciamento do uso e ocupação do solo tiveram influência direta sobre a qualidade da água do braço do rio Passo Cuê, fato que pode servir de base para a proposição e adoção de medidas semelhantes em outras sub-bacias de domínio do reservatório de Itaipu.

5. Referências Bibliográficas

ANSARI, A.A.; GILL, S.S.; LANZA, G.R.; RAST, W., 2011. **Eutrophication: Causes, Consequences and Control**. Índia: Editora Springer.387p.

BEN - BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2010. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2010.pdf>. Acesso em: 01 de maio de 2010.

BINI, L.M., 2002. Monitoramento da qualidade da água no reservatório de Itaipu. Relatório de atividades - Novembro de 2002 – Goiânia - Brasil.

BORGES, J. T., 1998. Avaliação do estado trófico e sanitário e a adsorção de fósforo no sedimento da Lagoa do Taquaral – Campinas – SP.120f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

GASTALDINI,M.C.C.; SOUZA,M.D.S.,1994. Diagnóstico do Reservatório do Vacacaí-Mirim através de Índices de Qualidade de Água. 1º Seminário sobre Qualidade de Águas Continentais no Mercosul, Porto Alegre. *apud* CPRH – AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE, 2010. Índice e indicadores

de qualidade de água – Revisão da Literatura. Disponível em:
<<http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/indice-agua-volume1.pdf>> Acesso em: 20 de abril de 2010.

IAP - INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. 2004. **Estudos Limnológicos do Reservatório de Itaipu.** Relatório técnico não publicado. Curitiba.

ITAIPU BINACIONAL, 2010. Disponível em: <<http://www.itaipu.gov.br/?q=node/356>>. Acesso em: 23 de setembro de 2010.

KONRAD, C.; SILVA, G.S.; SOUSA, E.R.; BEM, C.C.; PAULI, J.; PEREIRA, A., 2009. Phosphorus and nitrogen in waters of the Ocoí River Sub-basin, Itaipu Reservoir Tributary. *Journal of Brazilian Chemical Society*. 20(9): 1580-1588.

LEONARDO, H. C.L., 2003. *Indicadores de qualidade de solo e água para a avaliação do uso sustentável da microbacia hidrográfica do rio Passo Cuê, região oeste do Estado do Paraná.* Dissertação de Mestrado em Recursos Florestais apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Universidade de São Paulo.

REVENGA, C. *et. al.*, 2009. **Pilot Analysis of Global Ecosystems: Freshwater Systems.** Disponível em: <<http://www.wri.org/publication/pilot-analysis-global-ecosystems-freshwater-systems>>. Acesso em: 3 de fevereiro de 2011.

RIBEIRO FILHO, R.A., 2006. *Relações tróficas e limnológicas no reservatório de Itaipu: uma análise do impacto da biomassa pesqueira nas comunidades planctônicas.* Tese (doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

SILVA, G.S.; MIOLA, S.; SOUZA, E.R., 2010. Avaliação da qualidade das águas do rio São Francisco Falso, tributário do reservatório de Itaipu, Paraná. *Eclética Química*. 35(3):117-122.

SPERLING von, M., 2006. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3ed. Belo Horizonte. DESA-UFMG. V 1. 243p.

TOLEDO Jr, A.P.; TALARICO, M.; CHINEZ, S.J., 1983. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação de processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. *In: Anais do 12 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária*. Comboriú, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária.

TOLEDO Jr, A.P., 1990. Informe preliminar sobre os estudos para a obtenção de um índice para a avaliação do estado trófico de reservatórios de regiões quentes tropicais. São Paulo, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. *Relatório interno – CETESB*.

TUNDISI, J.G., 1999. Reservatórios como Sistemas Complexos: Teoria, Aplicações e Perspectivas para Usos Múltiplos: 19-38 *In* HENRY, R. **Ecologia de Reservatórios: Estrutura, Função e Aspectos Sociais**. Botucatu: FUNDIBIO: FAPESP.

TUNDISI, J.G.; TUNDISI, M.T., 2008. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos.

VELINI, E.D.; NEGRISOLI, E.; CAVENAGHI, A.L.; CORRÊA, M.R., BRAVIN, L.F.N.; DE MARCHI, S.R.; TRINDADE, M.L.B.; ARRUDA, D.P.; PADILHA, F.S., 2005. Caracterização da qualidade de água e sedimento na UHE Americana relacionados à ocorrência de plantas aquáticas. *Planta Daninha*, 23(2): 215-223.