

# REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:  
Investigación, desarrollo y práctica.

## UMA ANÁLISE DE REGRESSÃO PARA DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE EUTROFIZAÇÃO DE UM RESERVATÓRIO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Carlos Henrique Andrade Pacheco<sup>1</sup>  
Beatriz Susana Ovruski de Ceballos<sup>2</sup>  
\* Iran Eduardo Lima Neto<sup>3</sup>

*A REGRESSION ANALYSIS TO DETERMINE THE LEVEL OF  
EUTROPHICATION OF A RESERVOIR IN THE BRAZILIAN  
SEMIARID*

*Recibido el 8 de enero de 2016; Aceptado el 30 de junio de 2016*

### Abstract

This study aimed to analyze the relation between physicals, chemicals and biological parameters, and their influence on the level of eutrophication in an aquatic ecosystem, using linear regression analysis to identify the best explanatory correlations of trophic characteristics. The Acarape do Meio supply reservoir, located in the metropolitan area of Fortaleza in Ceará, Brazil, was the site chosen for development of the field study. The monitoring of water quality occurred on a monthly basis, during the period from January 2008 to December 2008, with subsurface sampling distributed in seven stations to cover the full reservoir. This dam has a large seasonal variability, with rainfall being one of the most influential factors in the dynamics of limnological characteristics. Regression analysis provided an adjusted model with good correlation ( $R^2=0.95$ ), that showed to be effective for prediction of the eutrophication state in the reservoir and demonstrated to have a good capacity to estimative the Trophic State Index, so the modeled results approached those measured in situ. Thus, this model can be used as a tool for assessing water quality in the selected reservoir.

**Keywords:** water quality, trophic state index, water pollution, water resources.

<sup>1</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE, Brasil.

<sup>2</sup> Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Brasil.

<sup>3</sup> Universidade Federal do Ceará – UFC, Brasil.

\*Autor correspondente: Iran Eduardo Lima Neto - Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental/UFC, Campus do Pici, Bloco 713, 1º. andar, CEP 60.451-970, Fortaleza, Ceará, Brasil. Email: [iran@deha.ufc.br](mailto:iran@deha.ufc.br)

## Resumo

O presente estudo objetivou analisar a relação entre variáveis físicas, químicas e biológicas e sua influência no nível de eutrofização do reservatório de abastecimento Acarape do Meio, localizado na região metropolitana de Fortaleza-CE, Brasil, utilizando análise de regressão linear para identificação das melhores correlações explicativas das características de trofia. O monitoramento da qualidade da água ocorreu com frequência mensal no período janeiro a dezembro de 2008, com amostragens na subsuperfície em sete estações de coleta distribuídas de forma a abranger todo o manancial. O açude apresenta grande variabilidade sazonal, sendo o volume de água armazenado e a precipitação pluviométrica os fatores de maior influência na dinâmica das características limnológicas. Através de análise de regressão foi possível obter um modelo simples ajustado aos dois parâmetros supracitados, que forneceu boa correlação com os dados de campo ( $R^2=0.95$ ). O modelo demonstrou ser aplicável para previsão do estado de eutrofização do reservatório, apresentando boa capacidade de estimativa do Índice de Estado Trófico para diferentes períodos. Portanto, o modelo proposto apresenta-se como uma ferramenta de fácil aplicação para avaliação da qualidade das águas do reservatório em estudo.

**Palavras chave:** qualidade de água, índice de estado trófico, poluição hídrica, recursos hídricos.

## Introdução

Tundisi *et al.* (1993) fazem considerações sobre a forma de regulação das principais bacias hidrográficas do Brasil, através da construção de reservatórios, os quais isoladamente ou em cascata geram importantes impactos qualitativos e quantitativos nos ecossistemas de águas interiores. Inicialmente a construção de hidrelétricas e a reserva de água para diversos fins foi o propósito central, destacando-se o abastecimento humano, entretanto os usos desses sistemas diversificaram, ampliando a sua importância econômica e social.

Os reservatórios utilizados para abastecimento público apresentam em geral deterioração progressiva da qualidade de suas águas. O crescimento demográfico associado ao desenvolvimento de práticas impactantes tem causado redução do potencial hídrico, tornando-se cada vez maiores as preocupações com a qualidade das águas (Mendiguchía *et al.* 2004; Silva *et al.* 2009).

O Estado do Ceará possui 86.8% de sua área inserida na região do semi-árido brasileiro, com risco de seca superior a 60% (CEARÁ, 1995). Alterna duas estações climáticas distintas: chuvosa (janeiro a maio) e seca (junho a dezembro) (FUNCEME, 1994). Seus rios em sua grande parte estão secos durante o segundo semestre do ano e a garantia de água vem dos açudes que acumulam água na estação chuvosa. A região cearense possui cerca de 139 reservatórios estratégicos, com capacidade para 17 bilhões de  $m^3$ , podendo regularizar  $128.73 m^3s^{-1}$  (Pacto das Águas, 2009).

A eutrofização é considerada um grande problema ambiental, devido aos impactos negativos sobre a ecologia, a saúde e a economia. Esse processo é agravado por vários fatores, destacando-se o crescimento populacional e ocupação desordenada da bacia hidrográfica (Chandra *et al.*, 2005; Esteves, 2011).

Sendo, assim, a eutrofização é um dos mais importantes impactos qualitativos e quantitativos em reservatórios. As principais causas deste fenômeno estão relacionadas com as entradas de águas residuárias domésticas e industriais, a drenagem superficial, a contribuição de fertilizantes utilizados na agricultura, a erosão do solo e o uso de detergentes não-biodegradáveis (Tundisi & Tundisi, 2008; Rabalais, 2009).

Em função das concentrações de nutrientes e/ou das manifestações ecológicas verificadas em lagos e reservatórios, esses ambientes podem ser classificados de forma genérica, como ultra-oligotrófico, oligotróficos, mesotrófico, eutrófico ou hipereutrófico, e para a caracterização do seu estado trófico vários índices são utilizados destacando-se Carlson (1977), Kratzer & Brezonik (1981), Toledo Jr. *et al.* (1983), Salas & Martino (1991) e Lamparelli (2004).

Deve-se ressaltar que fatores morfométricos, hidrológicos e climatológicos também influenciam nas condições de trofia de ecossistemas aquáticos (Odum, 1971; Smith & Schindler, 2009).

Devido ao crescimento da poluição ambiental registrada nas últimas décadas, a eutrofização vem recebendo maior atenção por parte da comunidade científica, órgãos de controle ambiental, concessionárias de energia e saneamento. Esta preocupação decorre da necessidade do controle desse processo, como forma de garantir a disponibilidade de água para os usos múltiplos a que os recursos hídricos são destinados (Xavier *et al.*, 2005; Esteves, 2011).

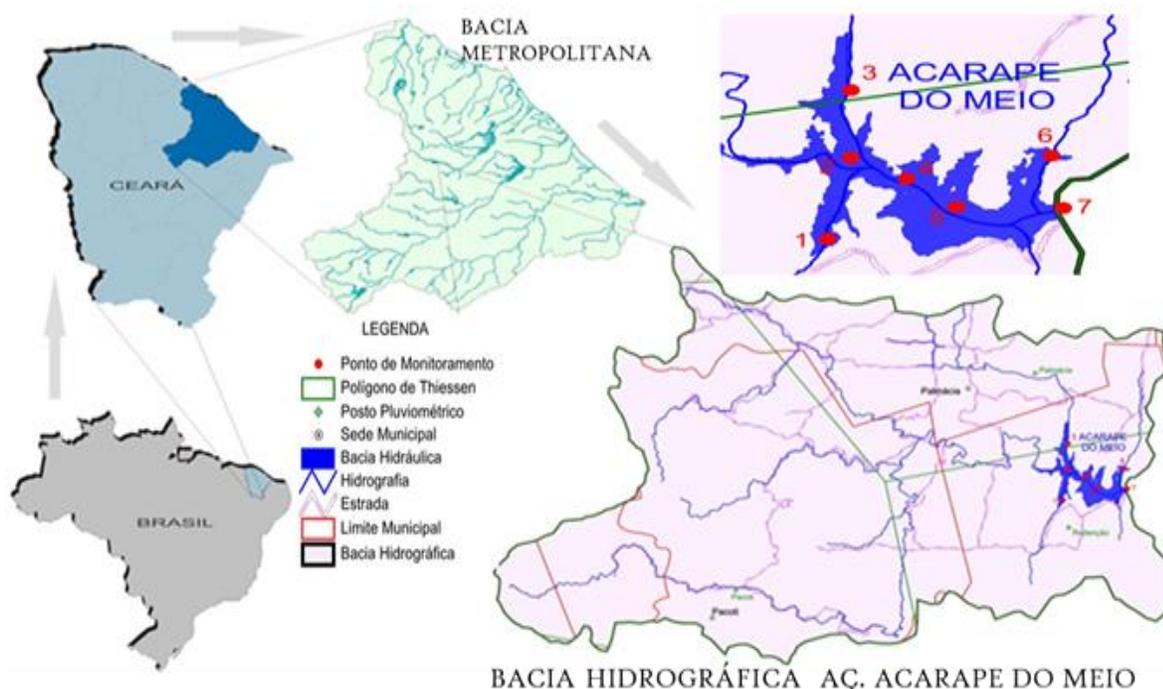
O objetivo principal deste trabalho foi obter uma equação que utilizasse apenas dados hidrométricos para inferência do estado trófico do ecossistema, não sendo observado na literatura este tipo de correlação. Além disso, buscou-se validar o modelo obtido através da análise de parâmetros limnológicos, obtidos através de estudos de campo.

### **Metodologia**

O açude Acarape do Meio foi selecionado para o desenvolvimento do estudo por ser um dos principais reservatórios de abastecimento da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), Estado do Ceará. O referido açude foi formado a partir do barramento do rio Pacoti (Figura 1) (SRH-CE, 2001).

O açude está localizado no município de Redenção, nas coordenadas geográficas 04°11,601'S/38°47,949'W, e sua bacia hidrográfica cobre uma área de 210.01 km<sup>2</sup>. Atualmente é gerenciado pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará (COGERH), que é responsável por mais de 90% das águas acumuladas no Estado (COGERH, 2014).

Para o levantamento das variáveis físicas, químicas e biológica foram definidas 7 estações de amostragem, de forma a abranger todo o ecossistema (PT1- Riacho Brenha; PT2 - Rio Pacoti; PT3 - Riacho Canabrava; PT4 - Centro 01; PT5 - Centro 02; PT6 - Próximo ao Sangradouro; PT7 - Próximo ao ponto de captação) (Figura 1).



**Figura 1.** Localização da área de estudo e pontos de amostragem.

O transporte entre as estações de amostragem ocorreu com barco a motor e as coletas realizadas utilizando garrafa de Van Dorn, a água foi coletada de forma subsuperficial, sempre no período da manhã, entre 8:00 h e 11:30 h. Foram realizadas 12 campanhas, com frequência mensal, entre janeiro e dezembro de 2008.

Foram determinadas as seguintes variáveis: profundidade (PROF.), temperatura da água (TEMP.), velocidade do vento (VELOC.), transparência (TRANSP.), zona eufótica (Zeuf.), fósforo total (PT), ortofosfato solúvel (OPS) e clorofila "a" (Cl "a"). As determinações realizadas seguiram as diretrizes de coleta, preservação e análise estabelecidas no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005) e sempre realizadas em triplicata, isto é, em cada ponto foram coletados três frascos e de cada frasco foi analisada uma alíquota. Salienta-se que o disco de Secchi foi utilizado tanto para avaliação da transparência como da zona eufótica, seguindo o padrão adotado pela COGERH (multiplicação por 3).

Para caracterização pluviométrica do reservatório o estudo considerou dois períodos climáticos distintos: chuvoso (janeiro a maio de 2008) e seco (junho a dezembro de 2008), sendo os meses de janeiro e dezembro considerados de transição entre as estações climáticas. Foram selecionadas três estações pluviométricas, devido ao fato de que Palmácia e Pacoti serem os municípios onde estão localizados os principais tributários do reservatório e Redenção onde se localizada o ecossistema monitorado. Os dados pluviométricos e os volumes acumulados do reservatório foram fornecidos pela COGERH.

Para determinação do estado de eutrofização do manancial foram utilizados os Índices de Estado Trófico estabelecidos por Carlson, (1977) modificado por Toledo *et al.*, (1983), utilizando as seguintes equações:

$$IET_{(TRANSP.)} = 10 \times \left\{ 6 - \left[ \frac{0.64 + \ln_{TRANP.}}{\ln 2} \right] \right\} \quad (1)$$

$$IET_{(PT)} = 10 \times \left\{ 6 - \left[ \frac{\ln \left( \frac{80.32}{PT} \right)}{\ln 2} \right] \right\} \quad (2)$$

$$IET_{(OPS)} = 10 \times \left\{ 6 - \left[ \frac{\ln \left( \frac{21.67}{OPS} \right)}{\ln 2} \right] \right\} \quad (3)$$

$$IET_{(Cl"a")} = 10 \times \left\{ 6 - \left[ \frac{2.04 - 0.695 \times \ln(Cl"a")}{\ln 2} \right] \right\} \quad (4)$$

em que:

$IET_{(TRANSP)}$  - índice de estado trófico para transparência (adimensional)

TRANSP - valor de transparência medido com disco de Secchi (m)

$IET_{(PT)}$  - índice de estado trófico para fósforo total (adimensional)

PT - concentração de fósforo total ( $\mu\text{gL}^{-1}$ )

$IET_{(OPS)}$  - índice de estado trófico para ortofosfato solúvel (adimensional)

OPS - concentração de ortofosfato solúvel ( $\mu\text{gL}^{-1}$ )

$IET_{(Cl\ "a")}$  - índice de estado trófico para clorofila "a" (adimensional)

Cl "a" - concentração de clorofila "a" ( $\mu\text{gL}^{-1}$ )

De acordo com Toledo et al. (1983), a transparência medida através do disco de Secchi é afetada pela elevada turbidez da água na maior parte do ano. Para compensar este problema, sugere-se ponderar o IET médio, de forma a dar menor peso a variável transparência da água, da seguinte forma:

$$IET_{\text{médio}} = \frac{\{IET_{(TRANSP.)} + 2 \times [IET_{PT} + IET_{OPS} + IET_{Cl\ "a"}]\}}{7} \quad (5)$$

em que:

$IET_{(m)}$  - índice de estado trófico médio (adimensional)

Os valores utilizados para caracterização do estado trófico foi oligotrófico ( $IET \leq 44$ ), mesotrófico ( $44 < TSI \leq 54$ ) e eutrófico ( $IET > 54$ ).

Inicialmente, os dados referentes às variáveis físicas, químicas e biológica foram analisados para verificação da presença de "outliers". Em uma etapa posterior, a normalidade dos dados foi verificada com a utilização dos testes estatísticos Kolmogorov-Smirnov e Shapiro Wilk e o teste gráfico "Normal Probability Plot", executados pelo pacote estatístico SPSS versão 15.

A partir dos resultados, foram determinados os testes estatísticos não paramétricos a serem empregados para verificação da existência de diferenças significativas entre as medianas dos dados relativos às variáveis físicas, químicas e biológica coletadas nas diversas estações de amostragem. Quando os dados foram considerados diferentes nos testes Kruskal-Wallis ANOVA e no teste de medianas, ao nível de significância ( $\alpha$ ) de 5%, foram empregados os testes de comparações múltiplas. Estes testes permitem uma comparação simultânea entre todos os resultados obtidos e a verificação de quais constituintes apresentam comportamentos diferenciados dentre as sete estações de coleta. O teste não paramétrico de comparações múltiplas de classes para todos os grupos (Siegel & Castellan, 1988) foi empregado após a aplicação do teste de Kruskal-Wallis ANOVA e teste de medianas.

Foi efetuada, ainda, a verificação de diferenças significativas entre as concentrações medidas nos períodos seco e chuvoso em todas as estações amostradas, por meio do teste estatístico de Mann-Whitney, considerando o nível de significância ( $\alpha$ ) de 5 %.

A matriz de correlação de Spearman foi também calculada, já que é útil para apontar associações entre variáveis que podem mostrar a coerência global do conjunto de dados e evidenciar a participação de parâmetros individuais em vários fatores de influência.

Utilizou-se o método de regressão linear, para o entendimento da relação entre a variável resposta e as variáveis independentes, na forma de probabilidade de ocorrência. Sendo este método amplamente utilizado para a busca do entendimento da dinâmica da qualidade das águas de ecossistemas aquáticos (Henry-Silva & Camargo, 2005; Ferreira *et al.*, 2010; Siqueira *et al.*, 2012).

Foram aplicados os Testes "F" e "T" para avaliar a importância das variáveis explicativas e como suas interações influenciaram de forma significativa na variável-resposta.

Finalmente, ajustou-se uma equação empírica obtida a partir de uma análise de regressão linear para obtenção do IET em função de um parâmetro  $\phi$  que depende de duas variáveis adimensionais: percentagem do volume armazenado (V) e percentagem da chuva total precipitada em relação à média histórica (P):

$$IET = f(\phi) \quad (6)$$

em que:

IET – índice de estado trófico (adimensional)

$\phi$  = parâmetro a ser ajustado em função de V(%) e P(%) (adimensional)

A validação do modelo foi efetuada empregando-se dados fornecidos pela COGERH, referentes ao monitoramento da qualidade das águas do reservatório (Acarape do Meio), realizado pela companhia entre os anos de 2009 a 2014.

### Resultados e discussão

A partir dos dados registrados nas três estações pluviométricas monitoradas (Figura 2), foi possível observar que no período chuvoso foi registrada precipitação pluviométrica acumulada de 2,633 mm, aproximadamente 72% acima da média histórica da região. Ao longo de 2008, a precipitação total acumulada foi de 3,222 mm, concentrada no período chuvoso em 81,7%. No mês de abril se verificou a precipitação máxima (1,086 mm) (Tabela 1). Este comportamento climatológico influenciou diretamente no volume armazenado no reservatório, que apresentou

elevação gradual ao longo dos meses chuvosos e redução nos secos. O açude atingiu o volume máximo de acumulação em Maio/08 e permaneceu com 100% de sua capacidade até Junho/08; ao final do estudo (Dezembro/08) atingiu aproximadamente 47% de seu volume máximo (Figura 3).

Tabela 1. Precipitação pluviométrica mensal (2008) e média histórica (1974 – 2014), observadas na bacia hidrográfica do açude Acarape do Meio.

Período	Jan		Fev		Mar		Abr		Mai		Jun		Jul		Ago		Set		Out		Nov		Dez		Total Anual mm
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	
2008	362	11	119	4	708	22	1,086	34	358	11	219	7	151	5	130	4	1	0.1	0	0.0	19	0.6	69	2	3,222
Média Histórica	133	10	171	13	263	20	275	20	183	14	118	9	63	5	21	2	16	1	14	1	17	1	38	3	1,312

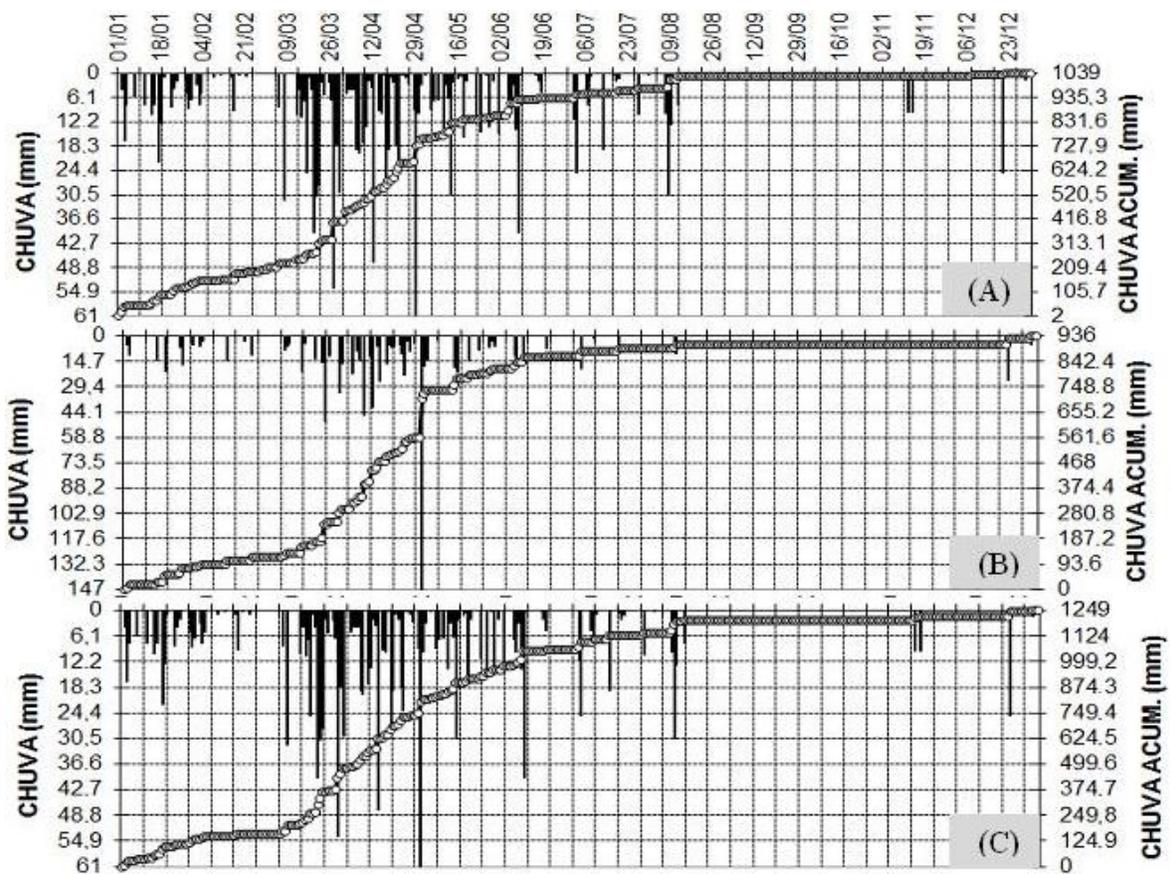


Figura 2. Evolução da precipitação pluviométrica (gráfico de barras) e da chuva acumulada (círculos) nas cidades de Palmácia (A), Pacoti (B) e Redenção (C) no período de jan/08 a dez/08.

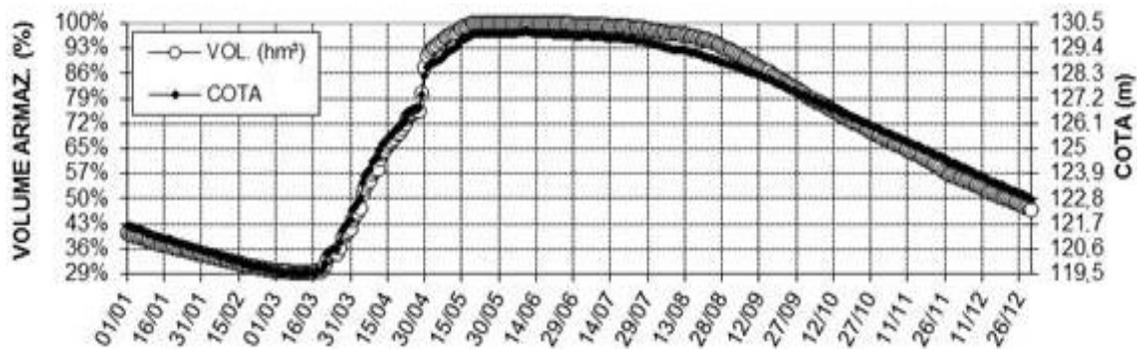


Figura 3. Evolução do volume armazenado no açude Acarape do Meio do período de jan/08 a dez/08.

A Figura 4 apresenta a variação temporal da profundidade de extinção do disco de Secchi médio entre os pontos amostrados. Pode ser observado que as maiores transparências e, por conseguinte, maior penetração de luz ocorreram nos meses de Junho a Outubro (período seco). Desta forma a zona eufótica dos meses do período seco foi maior que no período chuvoso. Esse comportamento foi semelhante em todas as estações de amostragem, não apresentando diferenças significativas entres os pontos ( $\alpha=5\%$ ,  $p>0.05$ ). Entretanto, os valores de transparência apresentaram diferenças sazonais significativas ( $\alpha=5\%$ ,  $p<0.05$ ) em todos os pontos de amostragem e correlação inversa com clorofila "a" em ambos os períodos climáticos ( $r = -0.74$  chuvoso;  $r = -0.69$  seco;  $p<0.05$ ). A turbulência causada pelas chuvas, associada ao carregamento de material em suspensão e florações de algas, podem ser os fatores responsáveis pela menor transparência no período chuvoso.

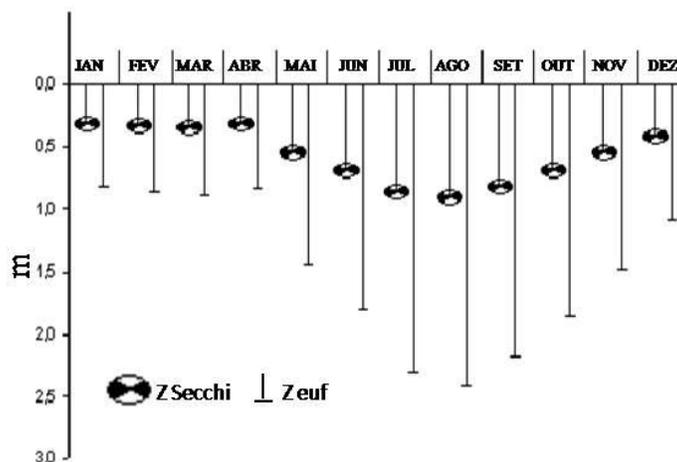


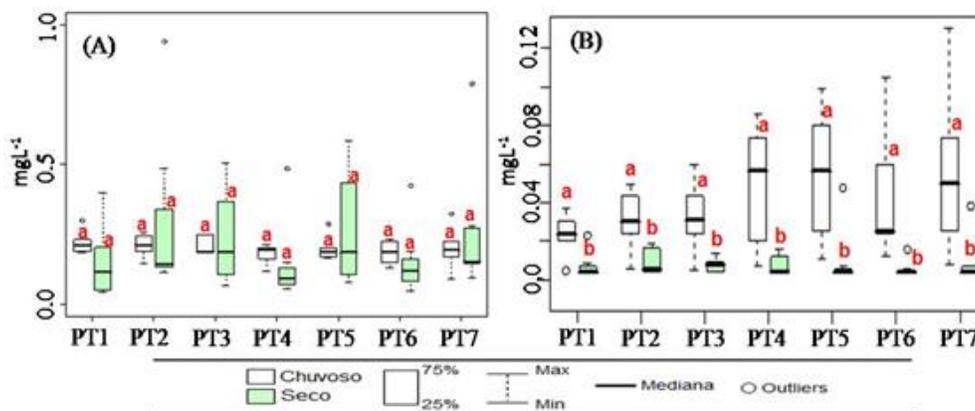
Figura 4. Evolução da transparência de Secchi média e zona eufótica média nos pontos de amostragem no período de jan/08 a dez/08.

O fósforo é um dos elementos de grande importância nos sistemas biológicos, pois participa de processos fundamentais no metabolismo dos seres vivos, como o armazenamento de energia e estruturação da membrana celular. Mundialmente, a entrada de fósforo nos corpos aquáticos aumentou de forma considerável a partir da II Guerra Mundial, como consequência do intenso uso de adubos químicos e detergentes não biodegradáveis (Thornton & Rast, 1993; Tundisi, 2005; Esteves, 2011).

Os resultados obtidos para o fósforo total demonstram que de uma forma geral as maiores concentrações foram registradas no período chuvoso, variando de  $\bar{x} = 0.179$  mg/L PT-4 a  $\bar{x} = 0.225$  mg/L PT-1 e nos meses secos houve uma variação de  $\bar{x} = 0.150$  mg/L PT-4 a  $\bar{x} = 0.308$  mg/L PT-2 (Figura 5A). Este mesmo padrão dinâmico do fósforo foi observado por estudos realizados por Freire (2007) e Vidal (2014), nos açudes Pacajus e Gavião, respectivamente, ambos localizados na região metropolitana de Fortaleza, onde os maiores aportes de fósforo ocorreram no período chuvoso. As maiores variações foram registradas no período seco com destaque para um dos pontos centrais (CV=101% PT-4). Não foram identificadas diferenças espaço-temporal estatisticamente significativas ( $p > 0.05$ ). Pode-se verificar a influência dos tributários principais com relação ao aporte de fósforo total, no período chuvoso, a partir dos valores registrados nestes pontos de amostragens ( $\bar{x} = 0.225$  mg/L PT-1;  $\bar{x} = 0.211$  mg/L PT-2 e  $\bar{x} = 0.214$  mg/L PT-3).

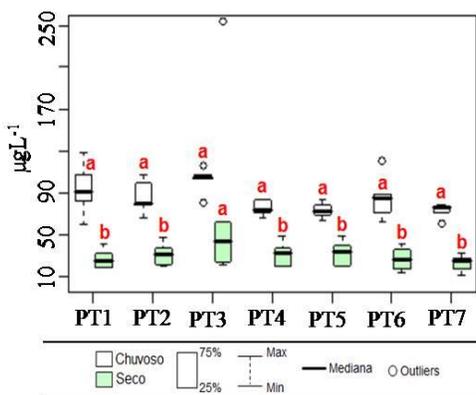
Todas as formas de fósforo presentes nas águas naturais são importantes, porém do ponto de vista limnológico, o ortofosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) é a fração que assume maior relevância por ser a principal forma de fosfato assimilada pelos vegetais aquáticos (Wetzel, 2001).

As maiores concentrações foram registradas no período chuvoso variando de  $\bar{x} = 0.023$  mg/L PT-1 a  $\bar{x} = 0.057$  mg/L PT-6 e nos meses secos houve uma variação de  $\bar{x} = 0.006$  mg/L PT-6 a  $\bar{x} = 0.011$  mg/L PT-5. As maiores variações ocorreram também na estação chuvosa (CV=83.9% PT-6). Na Figura 5B podem-se evidenciar oscilações mensais, seguindo um padrão sazonal com concentrações mais elevadas nos meses chuvosos e quentes, seguido de decréscimo acentuado durante todo o período seco e com temperaturas um pouco menores. Houve uma maior concentração de ortofosfato nos pontos da região limnética (PT-4  $\bar{x} = 0.049$  mg/L e PT-5  $\bar{x} = 0.054$  mg/L). Pode-se verificar uma grande influência das condições climatológicas na dinâmica desta variável, todos os pontos de amostragem apresentaram variação sazonal estatisticamente significativa ( $p < 0.05$ ), porém não foi observada variação espacial significativa ( $p > 0.05$ ).



**Figura 5.** Variação espacial e temporal do Fósforo Total (A) e Ortófosfato Solúvel (B) no período seco e chuvoso. Teste estatístico de Mann-Whitney, letras diferentes acima de cada par de “Box Plot” representam diferenças significativas ( $p < 0.05$ ) entre o período seco e chuvoso.

A biomassa algal, representada pelos teores de clorofila “a”, não apresentou variação espacial estatisticamente significativa ( $p > 0.05$ ), porém quanto à variação sazonal em todos os pontos, com exceção do PT-3, foram verificadas oscilações significativas ( $p < 0.05$ ) (Figura 6). É possível observar que as maiores concentrações foram registradas nos meses chuvosos, apresentando variação de  $59 \mu\text{g/L}$  (Maio/08-PT-1) a  $116 \mu\text{g/L}$  (Jan/08-PT-3). A clorofila “a” esteve correlacionada negativamente com a transparência ( $r = -0.74$ ;  $p < 0.05$ ) e positivamente com temperatura da água ( $r = 0.35$ ;  $p < 0.05$ ). Nos meses chuvosos foram registradas as menores variações temporais, atingindo uma variação máxima de 28.2% no ponto PT-1.



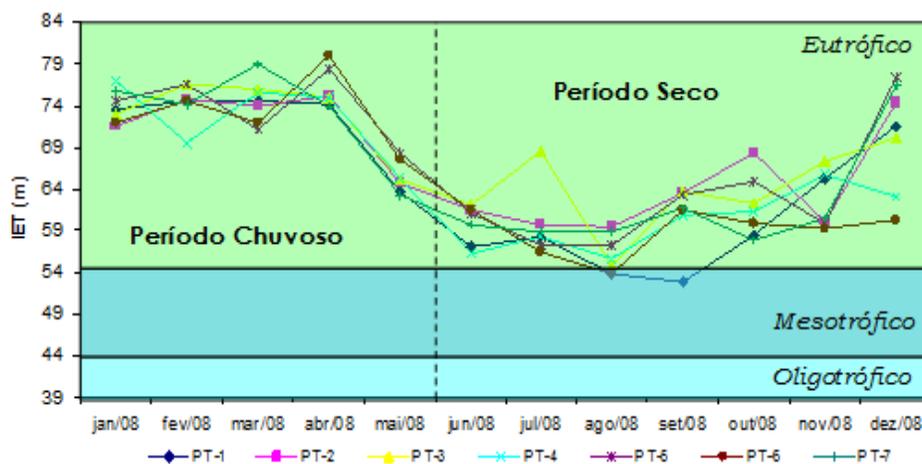
**Figura 6.** Variação espacial e temporal de Clorofila “a” no período de Jan/08 a Dez/08. Teste estatístico de Mann-Whitney, letras diferentes acima de cada par de “Box Plot” representam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre o período seco e chuvoso.

O período seco caracterizou-se por concentrações relativamente menores, quando comparado a estação chuvosa, ocorreu uma variação de 11  $\mu\text{g/L}$  (out/08-PT-7) a 62  $\mu\text{g/L}$  (nov/08-PT-3). Os pontos amostrados apresentaram correlação negativa com a transparência ( $r = -0.61$ ;  $p < 0.05$ ) e velocidade do vento ( $r = -0.69$ ;  $p < 0.05$ ). No período chuvoso foram registradas as maiores variações temporais atingindo valores de até 38.2% no ponto PT-6.

A classificação de um ecossistema aquático com relação ao seu estado trófico envolve o estabelecimento de níveis ou limites, esses se baseiam na determinação da intensidade do processo de eutrofização associado as suas consequências. Deve-se ressaltar que a utilização dos modelos simplificados para avaliação do estado trófico é apenas uma linha de abordagem do problema da eutrofização. Desta forma, através do IET pode-se obter uma primeira abordagem, que associado aos outros parâmetros limnológicos se obtêm uma avaliação do estado de eutrofização de ecossistemas aquáticos (Toledo Jr *et al.*, 1983).

Frequentemente, o estabelecimento de fronteiras rígidas para a classificação do processo de eutrofização é difícil, pois, dependendo dos critérios utilizados os ambientes aquáticos podem ser enquadrados em diferentes categorias (UNEP-IETC, 2001).

A variação temporal do IET médio é apresentada nas Figuras 7. O IET<sub>(m)</sub> de Toledo, demonstrou que 100% dos pontos amostrados estão classificados como eutróficos (IET<sub>(m)</sub> > 54) no período chuvoso, classificação máxima para esta metodologia.



**Figura 7.** Classificação do Açude Acarape do Meio através da aplicação do Índice de Estado Trófico de Carlson modificado por Toledo, no período de jan/08 a dez/08.

A partir do mês de maio/08, o sistema apresentou uma redução gradativa do IET<sub>(m)</sub>, mesmo com este comportamento, apenas o ponto PT-1 apresentou mudança quanto à classificação trófica, nos meses de agosto/08 e setembro/08 esta estação de amostragem foi classificada como mesotrófica, retornando para a condição de eutrófica a partir do mês de outubro/08. Nos meses secos foram registradas variações temporais superiores quando comparadas ao período chuvoso, variando de 4.8% PT-6 a 11.1% PT-1.

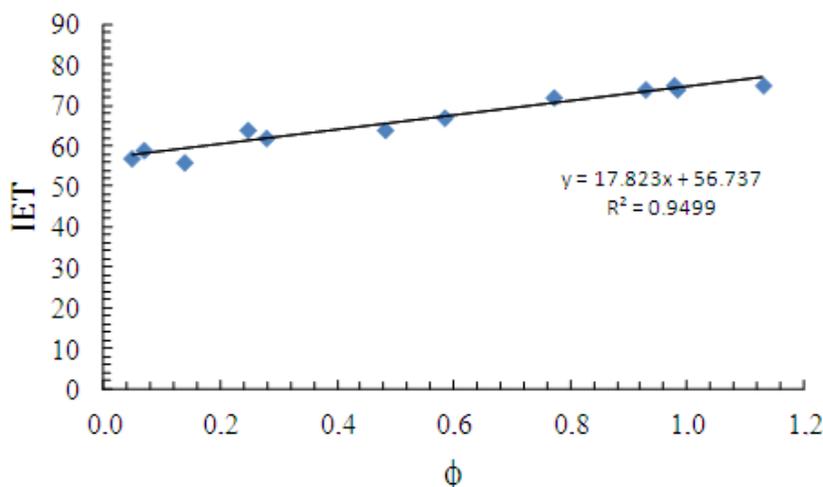
A partir dos testes de normalidade aplicados Shapiro-Wilk e Kolmogorov-Smirnov, os dados obtidos para análise de correlação, apresentaram distribuição normal (Shapiro-Wilk  $\rho = 0.4860$  e Kolmogorov-Smirnov  $\rho = 0.4555$ ).

A partir de ajuste do IET aos seus respectivos valores de V(%) e P(%) (ver Figura 8), obteve-se a seguinte correlação adimensional em função do parâmetro  $\phi$  ( $R^2 = 0.9499$ ):

$$IET = 17.823\phi + 56.737 \quad (7)$$

Sendo  $\phi$  dado pela seguinte expressão:

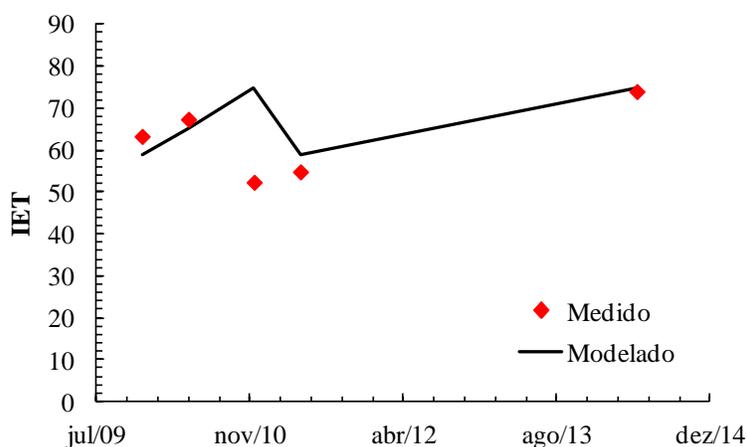
$$\phi = 1 + P(\%) - [V(\%)]^2 \quad (8)$$



**Figura 8.** Análise de correlação para obtenção do IET a partir do parâmetro  $\phi$

A Equação (8) sugere que o impacto do volume do reservatório [V(%)] no IET é maior que o da precipitação [P(%)]. Consistentemente, nota-se também que o IET é diretamente proporcional à precipitação e inversamente proporcional ao volume do reservatório, conforme observado através dos testes “T” e “F” aplicados com nível de significância de 95%.

A Figura 9 apresenta comparações efetuadas entre os valores de IET estimados pelo modelo (Equações 7 e 8) e o IET medido através de estudos de campo realizados pela COGERH. Pode-se observar que os valores gerados pelo modelo se aproximam em geral dos medidos, sendo o desvio médio de 12.5%. Assim, os dados hidrológicos utilizados (chuva e volume do açude) indicam boa capacidade de determinação do IET, devido à elevada correlação observada. Cabe ressaltar que os dados da COGERH são referentes apenas ao açude selecionado (Acarape do Meio). Portanto, estudos futuros serão necessários para testar a capacidade de previsão do modelo para outros reservatórios.



**Figura 9.** Valores de IET medidos e modelados referentes aos períodos seco e chuvoso.

Com a análise de regressão, utilizando o modelo obtido, foi observado que quanto maior o volume acumulado no reservatório, ou seja, quanto maior a sua capacidade de diluição de nutrientes, menores os valores de IET para o período monitorado. Esta mesma dinâmica foi observada por Batista et al. (2014), estudando a sazonalidade e variação espacial do IET do açude Orós, localizado no Estado do Ceará. Estes verificaram ainda que os maiores valores de IET foram registrados no período chuvoso, quando ocorreu um maior aporte de nutrientes para o interior do ecossistema, corroborando assim os resultados obtidos no presente trabalho.

## Conclusões

1. O açude Acarape do Meio apresentou grande variabilidade espaço-temporal do seu estado trófico, devido à influência direta dos fatores climáticos, morfológicos e antropogênicos. As precipitações pluviométricas e os volumes acumulados exerceram grande impacto sobre a qualidade das águas, sendo estes as principais causas das variações qualitativas do reservatório.
2. Em relação ao nível de eutrofização, observou-se que no período chuvoso, o reservatório se manteve nas categorias mais críticas, demonstrando a forte influência climatológica. Verificou-se também que quanto menor o volume do reservatório, mais elevado o seu estado trófico.
3. Foi possível através do modelo de regressão linear aplicado, obter uma equação simples que identifica a influência da precipitação e do volume do açude na dinâmica do estado trófico do mesmo.
4. O modelo proposto foi validado com dados de campo obtidos para diferentes períodos e apresenta-se como uma ferramenta de fácil aplicação para previsão do estado trófico do açude Acarape do Meio.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (COGERH) pelo apoio logístico na realização das atividades de campo e pelo fornecimento de dados e informações para o desenvolvimento da pesquisa.

## Referências bibliográficas

- APHA, American Public Health Association (2005) *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21ª ed. Washington, APHA/WEF/AWWA.
- Batista, A.A., Meireles, A.C.M., Andrade, E.M., Izidio, N.S.C., Lopes, F.B. (2014) Sazonalidade e variação espacial do índice de estado trófico do açude Orós, Ceará, Brasil. *Revista AgroAmbiente On-line*, Roraima, **8**(1), 39-48.
- Carlson, R.E. (1977) A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*. *Mach*, **22**(2), 361-369.
- CEARÁ. (1995) Fundação Instituto de Planejamento do Estado do Ceará (IPLANCE), *Atlas do Ceará*. Fortaleza, IPLANCE, 64p.
- Chandra, S., Zanden, M.J.V., Heyvaert, A.C., Richards, B.C., Allen, B.C., Goldman, C.R. (2005) The effects of cultural eutrophication on the coupling between pelagic primary producers and benthic consumers. *Limnology and Oceanography*. **50**, 1368-1376.
- COGERH, Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (2014) Acesso em: 2 nov. 2014. Disponível em [www.cogerh.com.br](http://www.cogerh.com.br)
- Esteves, F.A. (2011) *Fundamentos de limnologia*. Rio de Janeiro: Interciência /FINEP, 790p.
- Ferreira, F.A. Mormul, R P., Pedralli, G., Pott, V. J., Pott, A. (2010) Estrutura da comunidade de macrófitas aquáticas em três lagoas do Parque Estadual do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. *Hoehnea*, São Paulo, **37**(1), 43-52.
- Freire, R.H.F. (2007) *Contribuição ao conhecimento limnológico de reservatórios do semi-árido brasileiros que abastecem a região metropolitana de Fortaleza: Açude Pacajus e Gavião (Ceará, Brasil) São Carlos- SP*. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, 407 pp.
- FUNCEME (1994) *Redimensionamento da região semi-árida do Nordeste do Brasil*. Fortaleza. 112p.
- Henry-Silva, G.G., Camargo, A.F.M. (2005) Interações ecológicas entre as macrófitas aquáticas flutuantes *Eichhorniacrassipes* e *Pistiastratiotes*. *Hoehnea*, São Paulo, **32**(3), 445-452.

- Kratzer, C.R., Brezonik, P.L.A (1981) Carlson-type trophic state index for nitrogen in Florida lakes. In: TUNDISI J. G. 2003. *Água no Século XXI: Enfrentando a Escassez*. São Carlos – São Paulo. 246p.
- Lamparelli, M.C. (2004) *Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento*. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, 238 pp.
- Mendiguchía, C., Moreno, C., Galindo-Riano, M.D., García-Vargas, M. (2004) Using chemometric tools to assess antropogenic effects in river water a case study: Guadalquivir river (Spain), *AnalyticaChimicaActa, Amsterdam*, **515**, 143-149.
- Odum, E.P. (1971) *Fundamentals of Ecology*. 3ed. – W.B - Saunders Company. Philadelphia. London. Toronto. 574p.
- Pacto das Águas (2009) *Compromisso socio-ambiental compartilhado – continuando o dialogo*. Assembléia Legislativa do Ceará. Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos. Fortaleza-Ce, 30p.
- Rabalais, N.N., Turner, R.E., Diaz, R.J., Justic, D. (2009) Global change and eutrophication of coastal waters. *ICES Journal of Marine Science*, **66**, 1528-1537.
- Salas, H.J., Martino, P. (1991) A simplified trophic state model for warm water tropical lakes. *Water Research*. **25**(3), 341-350.
- Siegel, S., Castellan, N. (1988) *Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences*, Second edition, New York: McGraw-Hill, 399 p.
- Silva, A.P.S., Dias, H.C.T., Bastos, R.K.X., Silva E. (2009) Qualidade da água do reservatório da Usina 471 Hidrelétrica (UHE) de Peti, Minas Gerais. *Revista Árvore*, **33**, 1063-1069.
- Siqueira, G.W., Aprile, F., Miguéis, A.M. (2012) Diagnóstico da qualidade da água do rio Parauapebas (Pará – Brasil). *Acta Amazonica, Amazônia, Brasil*, **42**(3), 413-422.
- Smith, V.H., Schindler, D.W. (2009) Eutrophication science: where do we go from here? Elsevier. **24**(4), 201-207.
- SRH-CE, Secretaria de recursos hídricos do estado do Ceará (2001) Plano de Gerenciamento de Águas das Bacias Metropolitanas, Ceará.
- Thornton, J.A., Rast, W. (1993) A test of hypotheses relating to the comparative limnology and assessment of eutrophication in semi-arid man-made lakes. In: Straskraba, M.; Tundisi, J.G., and Duncan, A., *Comparative reservoir limnology and water quality management, developments in hydrobiology* 77, p. 1-24: Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers.
- Toledo JR. A.P., Talarico, M., Chinez, S.J., Agudo, E.G. (1983) *A aplicação de modelos simplificados para a avaliação de processos de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais*. In: Congresso Brasileiro 483 de Engenharia Sanitária. Anais. Camboriú, Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, p.1-34.
- Tundisi, J.G. (2005) *Água no século XXI: Enfrentando a escassez*. São Carlos: RIMA / Instituto Internacional de Ecologia, 256 pp.
- Tundisi, J.G., Matsumura-Tundisi, T. (2008) *Limnologia*. São Paulo: Oficina de Textos, 631p.
- 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. (ed.) *Comparative reservoir Limnology and Water Quality Management*, Kluwer Academic Publisher. Printed in the Netherlands, p. 25-55.
- Vidal, T.F., Neto, J.C. (2014) Dinâmica de nitrogênio e fósforo em reservat6ria regi6o semi6rida utilizando balanço de massa. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande-PB*, **18**(4), 402-407.
- UNEP-IETC, United Nations Environment Programme-International Environmental Technology Centre (2001). *Planejamento e Gerenciamento de Lagos e Reservat6rios: Uma Abordagem Integrada ao Problema da Eutrofizaç6o*. S6ries de Publicaç6es T6cnicas, 385 pp.
- Wetzel, R.G. (2001) *Limnology: Lake and river ecosystems*. San Diego: Academic Press. 1006 pp.
- Xavier, C.F., Dias, L.N., Brunkow, R.F. (2005) *Eutrofizaç6o*. In: Andreoli, C. & Carneiro, C. *Gest6o Integrada de Mananciais de Abastecimento Eutrofizados*. Curitiba: Sanepar.