



IV-023 - DETERMINAÇÃO DO ESTADO DE EUTROFIZAÇÃO DE UM LAGO RASO – ESTUDO DE CASO DO LAGO BARIGUI: CURITIBA

Carla Cristina Bem⁽¹⁾

Tecnóloga Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pela Universidade Federal do Paraná (UFPR).

Maria Cristina Borba Braga⁽²⁾

Professora Adjunto do Departamento de Hidráulica e Saneamento e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental/UFPR.

Endereço⁽¹⁾: Centro Politécnico, Bloco 5, Departamento de Hidráulica e Saneamento - Bairro Jardim das Américas – Curitiba - PR, Caixa postal: 19011 - CEP: 81531-990 – Brasil – Tel +55(41)-3361-3707 – e-mail: carlacristina.bem@gmail.com

RESUMO

Como decorrência do aporte de contaminação por fontes pontuais e difusas, os recursos hídricos têm sofrido impactos significativos em relação à qualidade das suas águas. Um destes impactos é a eutrofização, fenômeno observado principalmente em ambientes lênticos, que ocorre devido à carga excessiva de nutrientes, fósforo e nitrogênio, que contribuem para o desenvolvimento de fitoplâncton e macrófitas aquáticas em níveis acima do crescimento natural. Esta pesquisa estudou a dinâmica do processo de eutrofização em um lago urbano raso, tendo sido utilizado o lago do rio Barigui como estudo de caso, o qual construído com o objetivo de drenagem superficial. Para identificar o estado de trofia do lago, foi utilizado o Índice do Estado Trófico (IET). As análises na coluna d'água permitiram observar que há elevada disponibilidade do nutriente fósforo no sistema, cuja concentração, esteve acima do especificado pela legislação. As análises de clorofila-*a* possibilitaram estimar a biomassa fitoplanctônica e o nível trófico, sendo que as concentrações variaram em cada ponto e campanha, caracterizando o sistema de oligotrófico (0,14 µg/L, P1) a eutrófico (34,79 µg/L, P2B). A aplicação do IET(PT) classificou o sistema em categorias que variaram de supereutrófico a hipereutrófico, enquanto o IET(Cla) classificou de ultraoligotrófico a supereutrófico.

PALAVRAS-CHAVE: Fósforo, Clorofila-*a*, Eutrofização, Índice do Estado Trófico.

INTRODUÇÃO

A gestão dos recursos hídricos no âmbito da bacia hidrográfica como unidade de planejamento, deve considerar as diversidades físicas, bióticas, demográficas, sociais, econômicas e culturais de cada região. Estas heterogeneidades causam impactos em diversos níveis na qualidade da água, o comprometimento da qualidade ocorre tanto por fontes difusas como por pontuais. Por isso faz-se necessário a implementação de medidas de controle do uso do solo e do planejamento da sua ocupação.

Portanto, a qualidade da água depende das substâncias orgânicas e inorgânicas que são introduzidas em corpos aquáticos em concentrações variáveis no espaço e no tempo. Entre as substâncias que estão presentes em fontes pontuais e difusas de poluição encontram-se o nitrogênio e o fósforo.

O fósforo e o nitrogênio são macronutrientes essenciais ao crescimento de plantas aquáticas e ao metabolismo de seres vivos. Um elevado aporte destes nutrientes, especialmente o fósforo, pode ocasionar o processo de eutrofização. Apesar de ser um processo natural em corpos aquáticos, quando ocorre de forma acelerada devido a fatores antropogênicos, é chamado de eutrofização cultural, este fenômeno é caracterizado pelo crescimento excessivo de fitoplâncton e macrófitas aquáticas aderidas ou suspensas. É característico de ambientes lênticos, entretanto, há ambientes lóticos que, devido ao elevado aporte de nutrientes aliados a outros fatores contribuintes, possuem características de ambientes eutrofizados.

A eutrofização cultural pode ocasionar diversos impactos na qualidade dos recursos hídricos, segundo Thomann e Mueller (1987), os principais efeitos indesejáveis são problemas estéticos e recreacionais, grandes variações diurnas na concentração de oxigênio dissolvido que podem resultar em concentrações baixas à noite e ocasionar a morte de peixes; diatomáceas e algas filamentosas podem bloquear o fluxo de tratamento de



filtros, o crescimento excessivo de macrófitas aquáticas podem interferir na navegação, aeração e capacidade de transporte do canal.

Além da presença de nutrientes para o metabolismo do fitoplâncton, outros fatores como a radiação solar, penetração da radiação solar na coluna d'água, temperatura da água e os movimentos de transporte e dispersão influenciam no desenvolvimento da biomassa no sistema.

Uma das formas mais utilizadas para classificar um ambiente quanto o nível de trofia é a utilização do Índice do Estado Trófico – IET, foi introduzido por Carlson em 1977, e foi modificado por Toledo (1983) e por Lamparelli (2004), que alterou as expressões originais para adequá-las a ambientes subtropicais. Esta modificação foi proporcionada pela aplicação de um método estatístico baseado em regressão linear. O índice utiliza dois parâmetros para avaliar o estado trófico, a concentração de clorofila-*a* e de fósforo total na coluna d'água.

Ferramentas de gestão como o IET, permitem avaliar o estado de degradação, facilitando a tomada de decisão em relação ao recurso hídrico.

MATERIAIS E MÉTODOS

PRIMEIRA ETAPA: DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

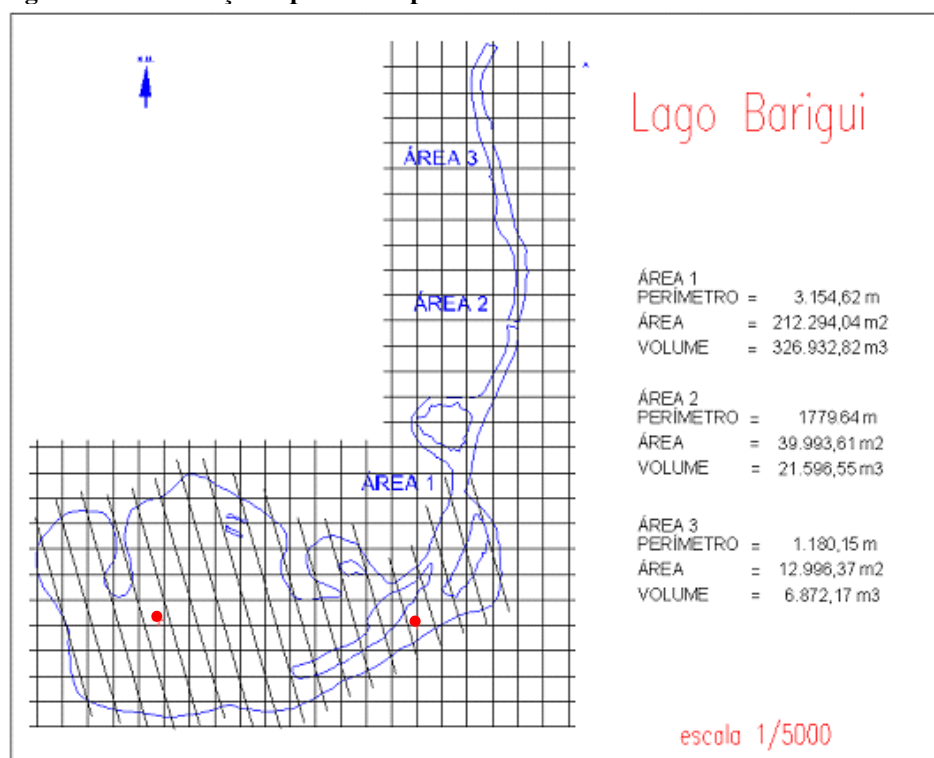
A bacia do rio Barigui, uma das principais bacias da Região Metropolitana de Curitiba, está situada em área de intensa urbanização, industrialização e atividades agrícolas. Localizado na bacia do rio Barigui, está o lago Barigui, criado em 1972, o qual teve como objetivo de construção o controle de enchentes urbanas.

O lago Barigui possui um volume médio de, aproximadamente, de 356 mil m³ e área de 270 mil m². Caracteriza-se por pequenas profundidades, que variam de 0,10 m a 1,85 m, com profundidade média de 1 m. Segundo Villa (2005), o tempo de residência do lago Barigui, considerando a vazão afluente média, é de aproximadamente 2 dias. Possui um comportamento hidrodinâmico caracterizado por baixas velocidades, com forças externas. A velocidade média do lago não sofre influência significativa das vazões, sendo que apenas devido à ação de ventos com velocidade a partir de 10 ms⁻¹, classificados como “muito frescos” segundo a escala de Beaufort, ocorre uma maior mistura do lago (Villa, 2005). Devido as suas particularidades de construção e situar-se numa área de elevada influência antrópica, este lago foi adotado como objeto de estudo.

Para a identificação do grau de trofia no lago Barigui foram realizadas quatro campanhas para coletas de amostras em dois pontos no lago Barigui. A figura 1 apresenta a localização dos pontos de coleta. No ponto P1 foram coletadas amostra da superfície da coluna d'água, este ponto apresenta características de ambiente lótico e baixa profundidade (0,5 metros), e no ponto P2, foram coletas amostras na superfície da coluna d'água, nomeado de P2A e a 0,5 m de profundidade da lâmina superficial chamado de P2B, localizado no interior do lago, apresenta característica lênticas e profundidade de 1,5 metros.



Figura 1 – Localização espacial dos pontos de coleta



Fonte: Adaptado de Oliveira e Silva, 2002.

SEGUNDA ETAPA: DESCRIÇÃO DAS METODOLOGIAS EMPREGADAS

Em cada campanha foram realizadas as análises de clorofila-*a* (extração com acetona 90%) e fósforo total (digestão com persulfato de potássio e ácido sulfúrico, método colorimétrico do ácido ascórbico) segundo a metodologia descrita no Standard Methods (APHA, 1998).

A avaliação do grau de trofia do lago Barigui foi baseada no Índice do Estado Trófico. Para a determinação do IET foi utilizada a metodologia definida por Toledo em 1990 e modificada por Lamparelli (2004), cujo resultado é composto pelo Índice do Estado Trófico para o fósforo - IET(PT) e o Índice do Estado Trófico para a clorofila-*a* - IET(Cla). As equações 1 e 2 foram utilizadas para o cálculo do IET.

$$IET(Cla) = 10 \times \left(6 - \frac{(0,92 - 0,34 \times (\ln Cla))}{\ln 2} \right) \quad (1)$$

$$IET(PT) = 10 \times \left(6 - \frac{(1,77 - 0,42 \times (\ln PT))}{\ln 2} \right) \quad (2)$$

em que:

PT = concentração de fósforo total medida à superfície da água, em $\mu\text{g.L}^{-1}$

Cla = concentração de clorofila-*a* medida à superfície da água, em $\mu\text{g.L}^{-1}$

ln = logaritmo natural

Para a determinação deste índice foram adotados os estados de trofia ultraoligotrófico, oligotrófico, mesotrófico, eutrófico, supereutrófico e hipereutrófico, cujos limites, para lagos, para cada nível de trofia, são apresentados na tabela 1.



Tabela 1 – Classificação do estado trófico segundo o Índice do Estado Trófico modificado por Lamparelli

Estado Trófico	Critério	P-total (mg PO ₄ ³⁻ /m ³)	Clorofila- <i>a</i> (mg/m ³)
Ultraoligotrófico	$IET \leq 47$	$P \leq 8$	$Cla \leq 1,17$
Oligotrófico	$47 < IET \leq 52$	$8 < P \leq 19$	$1,17 < Cla \leq 3,24$
Mesotrófico	$52 < IET \leq 59$	$19 < P \leq 52$	$3,24 < Cla \leq 11,03$
Eutrófico	$59 < IET \leq 63$	$52 < P \leq 120$	$11,03 < Cla \leq 30,55$
Supereutrófico	$63 < IET \leq 67$	$120 < P \leq 233$	$30,55 < Cla \leq 69,05$
Hipereutrófico	$IET > 67$	$233 < P$	$69,05 < Cla$

Fonte: Adaptado de Cetesb (2006)

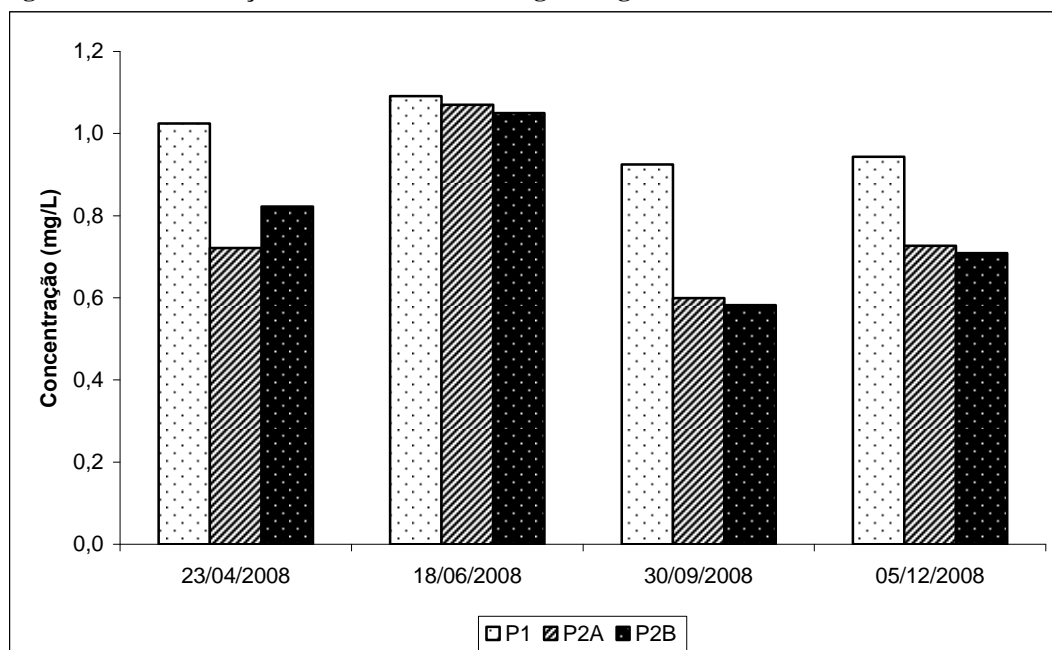
Para a determinação do IET, os resultados correspondentes ao fósforo, IET(P), devem ser entendidos como uma medida do potencial de eutrofização, pois este nutriente atua como o agente causador do processo. A avaliação correspondente à clorofila-*a*, IET(Cla), por sua vez, deve ser considerada como uma medida da resposta do corpo hídrico ao agente causador, indicando de forma adequada o nível de crescimento de algas no corpo aquático.

Deve-se considerar que em um corpo hídrico, no qual o processo de eutrofização encontra-se plenamente estabelecido, o estado trófico determinado pelo índice da clorofila-*a* coincidirá com o estado trófico determinado pelo índice do fósforo. Já nos corpos hídricos em que o processo esteja limitado por fatores ambientais, como a temperatura da água ou a baixa transparência, o índice relativo à clorofila-*a* irá refletir este fato, resultando em um estado trófico em um nível inferior àquele determinado pelo índice do fósforo.

RESULTADOS DAS DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS

Os resultados das análises de fósforo total permitiram identificar que há uma elevada concentração deste nutriente disponível na coluna d'água e foram superiores ao estabelecido pela Resolução CONAMA n° 357/05 nos três pontos de coleta, que impõe, para ambientes lênticos com tempo de residência de 2 a 4 dias e águas de classe 2, a concentração de fósforo total menor ou igual a 0,025 mg/L P. A figura 2 apresenta as concentrações de fósforo total.

Figura 2 – Concentrações de fósforo total no lago Barigui





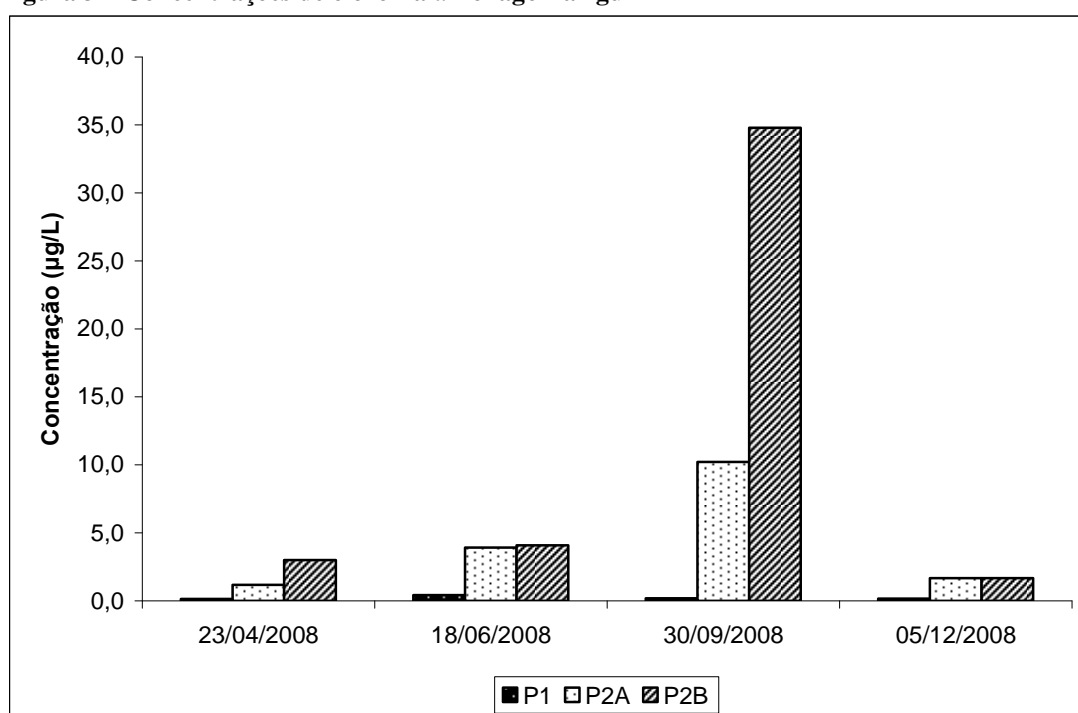
O P1 apresentou concentrações superior aos demais, tal fato pode ser devido a sua localização, próximo à entrada do rio no lago, os pontos P2A e P2B apresentaram concentrações inferiores ao que pode ser justificado pelo efeito de mistura e diluição, uma vez que, estão localizados no interior do lago.

Os valores das concentrações de fósforo total do P2A foram inferiores aos do P1, mas da mesma forma estão acima da concentração especificada na Resolução CONAMA nº 357/05. Os valores referentes à terceira campanha apresentaram concentração superior às demais, como foi observado para o P1.

Para o ponto P2B, os resultados para a concentração de fósforo total na coluna d'água foram superiores aos do P2A. Estes resultados podem ser justificados pela liberação de fósforo pelo sedimento e/ou sedimentação, uma vez que a deposição do fósforo da coluna d'água ocorre por processos físicos, químicos ou biológicos.

As análises de clorofila-*a* apresentaram valores de concentrações diferentes em função da estação do ano, localização dos pontos e profundidade da coluna d'água. A figura 3 apresenta as concentrações de clorofila-*a*.

Figura 3 – Concentrações de clorofila-*a* no lago Barigui



No P1 não houve crescimento significativo de biomassa fitoplanctônica, tendo sido determinada a concentração mínima de 0,14 µg/L (primeira campanha) e a máxima de 0,42 µg/L (segunda campanha). O baixo crescimento de fitoplâncton nesta área do lago provavelmente deve-se às características hidráulicas, ambiente lótico, com correnteza e à baixa profundidade da coluna d'água, que variou de 0,50 metros, na 1ª campanha, a 0,70 metros, na 3ª campanha.

O ponto P2A, apresentou resultados diferentes daqueles encontrados no P1. Este ponto possui características de ambiente lântico e profundidade maior da coluna d'água. As concentrações de fósforo total neste ponto também foram elevadas, para o fósforo total (0,18 mg/L a 0,34 mg/L), fato observado nas quatro campanhas. Na terceira campanha foi observada a maior concentração de biomassa (10,22 µg/L de clorofila-*a*). A concentração de 10,22 µg/L segundo Wetzel (1983), ambientes aquáticos com concentração acima de 10 µg/L de clorofila-*a* podem ser considerados como eutrofizados. Deve-se ressaltar que a terceira campanha foi realizada na estação da primavera, período em que o florescimento de algas ocorre naturalmente.

As análises do P2B, localizado abaixo 0,50 m da coluna d'água, apresentaram valores superiores para clorofila-*a* nas três primeiras campanhas em relação aos demais pontos de coleta. Estas características favorecem o crescimento e desenvolvimento de algas. Na terceira campanha foi constatado uma concentração



de 34,79 $\mu\text{g/L}$ de clorofila-*a*, podendo considerar que durante o período da primavera o lago Barigui apresentou-se como um sistema eutrofizado.

RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO ÍNDICE DO ESTADO TRÓFICO

Aplicando-se as equações 1 e 2, para cálculo do Índice do Estado Trófico, para as concentrações de fósforo total e de clorofila-*a*, foi possível determinar o nível trófico de cada ponto de coleta, para as quatro campanhas realizadas. Os valores foram interpretados de acordo com a classificação do estado trófico apresentado na tabela 1.

Portanto, o P1 apresentou-se, em relação à concentração de fósforo (IET-PT), com variação de Supereutrófico a Hipereutrófico. Entretanto, para o parâmetro clorofila-*a*, apresentou-se, nas quatro campanhas, como ultraoligotrófico. A tabela 2 apresenta o estado de trofia do ponto P1 para as quatro campanhas.

Tabela 2 – Classificação trófica do ponto P1 baseada no IET

Ponto P1	IET (PT)	Classificação	IET (Cla)	Classificação
Campanha 1	67	Hipereutrófico	42	Ultraoligotrófico
Campanha 2	65	Supereutrófico	42	Ultraoligotrófico
Campanha 3	71	Hipereutrófico	39	Ultraoligotrófico
Campanha 4	66	Supereutrófico	38	Ultraoligotrófico

Dos resultados apresentados na figura 2, pode-se observar uma elevada concentração de fósforo total disponível no sistema. Entretanto, embora existisse disponibilidade de nutrientes, não foi observado crescimento significativo de algas durante o período de desenvolvimento da pesquisa.

Os resultados do IET para o P2A são apresentados na tabela 3. Da mesma forma que para o ponto P1, em função das elevadas concentrações de fósforo total, os resultados referentes ao IET(PT) classificaram o sistema nas categorias supereutróficas e hipereutróficas.

Tabela 3 – Classificação Trófica do ponto P2A baseada no IET

Ponto P2A	IET (PT)	Classificação	IET (Cla)	Classificação
Campanha 1	66	Supereutrófico	47	Ultraoligotrófico
Campanha 2	65	Supereutrófico	53	Mesotrófico
Campanha 3	70	Hipereutrófico	58	Mesotrófico
Campanha 4	65	Supereutrófico	46	Oligotrófico

Em relação às concentrações de clorofila-*a*, o estado de trofia do ponto P2A, variou de ultraoligotrófico, na 1ª campanha, em abril de 2008, a mesotrófico, na 2ª e 3ª campanhas, em junho e setembro de 2008, respectivamente. Este crescimento de biomassa superior ao observado no ponto P1 pode ser devido, principalmente, às características do ponto de coleta.

Em relação às quatro campanhas, o P2B apresentou valores para a concentração de clorofila-*a* superiores aos demais pontos de coleta, principalmente na terceira campanha, quando foi observado o período de florescimento de algas. Da mesma forma que ocorreu em relação aos pontos P1 e P2A, o cálculo do IET (PT) permitiu classificar o lago em categorias tróficas que indicam estados de eutrofização avançados, conforme apresentado na tabela 4.

Tabela 4 – Classificação trófica do ponto P2B baseada no IET

Ponto P2B	IET (PT)	Classificação	IET (Cla)	Classificação
Campanha 1	67	Hipereutrófico	52	Oligotrófico
Campanha 2	75	Hipereutrófico	53	Mesotrófico
Campanha 3	71	Hipereutrófico	64	Supereutrófico
Campanha 4	66	Supereutrófico	49	Oligotrófico

Na terceira campanha, o ponto P2B apresentou em relação o IET (Cla) nível Supereutrófico. Corpos aquáticos que se enquadrem neste nível apresentam como característica alta produtividade primária e associação a



episódios de floração de algas. A concentração de clorofila-*a* nesta campanha foi de 34,79 µg/L. O aumento da concentração deste pigmento ocorreu durante a estação da primavera, período em que há maior crescimento e desenvolvimento natural das algas, devido às condições propícias como luz e temperatura.

A avaliação dos resultados dos cálculos do IET (PT) e do IET (Cla), para os pontos P1, P2A e P2B, para as quatro campanhas, possibilitou observar que o sistema não se encontra com o processo de eutrofização estabelecido, uma vez que, os estados tróficos indicados pelo IET (PT) não coincidem com IET (Cla), exceto no P2B, na terceira campanha.

Os estados de trofia classificados em relação ao IET(PT) nos três pontos de coleta, para as quatro campanhas (supereutrófico e hipereutrófico), se considerados em relação às descrições das características dos efeitos nos corpos aquáticos, não condizem com o estado de degradação indicado na categoria trófica. O IET(Cla) apresentou maior sensibilidade no enquadramento da categoria trófica do lago do que o IET(PT) em relação as implicações na qualidade da água de acordo com o nível trófico em que foi enquadrado.

Dessa forma, a afirmação de que o lago Barigui encontra-se eutrofizado permanentemente, deve ser considerada com cautela, uma vez que o sistema apresentou florescimento de algas apenas no período da primavera.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, foi possível concluir que:

- Havia elevada concentração de fósforo total na coluna d'água disponível para o desenvolvimento de algas e que a concentração estava acima do valor estipulado pela Resolução CONAMA 357/05;
- Durante a estação da primavera, por meio da concentração de clorofila-*a*, foi verificado florescimento de algas;
- A aplicação do IET(PT) classificou o sistema em categorias que variaram de supereutrófico a hipereutrófico enquanto que o IET(Cla) classificou o sistema entre os níveis ultraoligotrófico a supereutrófico.
- O IET(Cla) foi de grande importância para avaliar o nível trófico durante o florescimento das algas, identificando que o lago encontrou-se eutrofizado a nível supereutrófico durante a terceira campanha de acordo com a classificação proposta por Lamparelli (2004);
- Deve ser considerado que o sistema não se encontra com o processo de eutrofização plenamente estabelecido, pois os resultados das categorias tróficas não coincidem.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem à CAPES pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA; AWWA; WPC – American Public Health Association, American Water Works Association and Water Pollution Control. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th Ed., 1998.
2. BRASILa. Resolução CONAMA 357, 17 de março de 2005. Diário Oficial da Republica Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2006. Disponível em [Http://www.mma.gov.br/conama](http://www.mma.gov.br/conama). Acesso em 12 de fev. de 2006.
3. CETESB, (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). Relatório da qualidade das águas do Estado de São Paulo – 2005. Anexo V: Índice de Qualidade das Águas. São Paulo: 23 p, 2006.



4. LAMPARELLI, M. C. Grau de Trofia em Corpos D'Água do Estado de São Paulo: Avaliação dos Métodos de Monitoramento. São Paulo. 2004. Tese (Doutorado)- Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo.
5. OLIVEIRA, J. R. B. de; SILVA, R. R. da. Estudos Batimétricos dos Lagos dos Principais Parques da Cidade de Curitiba - Paraná. Curitiba: [s.n.]. Curitiba. 2002. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil – Faculdade de Ciências Exatas e de Tecnologia – Universidade Tuiuti do Paraná.
6. THOMANN, R. VB., MUELLER, J. A. Principles of surface water quality modeling and control. Harper & Row. New York, United States of América, 1987.
7. TOLEDO Jr., A. P.; TALARICO, M.; CHINEZ, S. J.; AGUDO, E.G. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação de processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. Anais do 12º CONGRESSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 1983. Anais. Balneário Camboriú SC, 1983.
8. VILLA, A. T. Avaliação Ambiental da Qualidade da Água do Lago do Parque Barigui: Potencial de Poluição Orgânica. Curitiba. 2005. Dissertação (Mestrado)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná..
9. WETZEL, R. G. Limnology. Saunders College Publishing, 2º ed. Philadelphia, United State of America, 1983.