

Avaliação da eficiência de um índice de estado trófico na determinação da qualidade da água de reservatórios para abastecimento público

Assessment of the efficiency of a trophic state index in determining the water quality of public water supply reservoirs

**Daniel Clemente Vieira Rêgo da Silva^{1*}, Lucas Gonçalves Queiroz¹,
Douglas Alvarez Alamino², Juliana Gonçalves Fernandes¹,
Sheila Cardoso da Silva³, Teresa Cristina Brazil de Paiva¹, Marcelo Luiz Martins Pompêo¹**

RESUMO

O objetivo deste estudo consiste na avaliação da eficácia do uso de um índice de estado trófico (IET) como ferramenta na análise da qualidade das águas de três reservatórios. O IET foi calculado baseado na transparência do reservatório e nas concentrações de clorofila-*a* e fósforo total (P total). Para identificar a correlação do uso do solo com a poluição aquática das represas, o IET calculado para cada represa foi comparado ao mapeamento temático de cobertura do solo com base em imagens do satélite Landsat TM 5 do ano de 2010. A análise dos componentes principais (ACP), focada na correlação dos dados, foi realizada utilizando o software PAST[®], versão 2.16. Inicialmente, o comportamento dos parâmetros associados ao IET foi avaliado de forma isolada (P total, clorofila-*a* e transparência) sobre os reservatórios. Em seguida, foram aplicados à ACP os demais parâmetros físicos e químicos associados à qualidade da água dos reservatórios (sem o IET). Por fim, todos os parâmetros foram submetidos à ACP (IET e todos os outros parâmetros em conjunção). O IET utilizado nesta pesquisa demonstrou ser autossuficiente na predição da qualidade de água com a utilização de apenas três parâmetros (P total, clorofila-*a* e transparência). A análise das imagens de satélite, em conjunto com os dados provenientes do IET, foi suficiente para apontar a redução da qualidade das águas por fontes pontuais de poluição, mesmo em ambientes com maior cobertura vegetal preservada.

Palavras-chave: limnologia; reservatórios; índice de estado trófico.

ABSTRACT

The aim of this study consists in the evaluation of the trophic state index (IET) efficacy as a tool in the water quality analysis of three reservoirs. The IET was calculated based on water transparency in the reservoir and on the surface concentrations of chlorophyll-*a* and total phosphorus (total P). To identify the correlation of the soil use with the reservoir aquatic pollution, the IET calculated for each reservoir was compared to the thematic mapping of land cover based on Landsat TM 5 satellite images from 2010. The main components analysis (ACP), focused on data correlation, was made using the software PAST[®], version 2.16. Initially, the behavior of the parameters associated with the IET was evaluated alone (total P, chlorophyll-*a* and transparency) on the reservoirs. Then, the other chemical and physical parameters associated with the reservoirs water quality (without the IET) were applied to the ACP. Finally, all the parameters underwent the ACP (IET and all the other parameters in conjunction). The IET used in this research seemed to be self-sufficient in the prediction of water quality using only three parameters (total P, chlorophyll-*a* and transparency). The satellite images analysis, in conjunction with the IET data, was sufficient to point out the water quality reduction by punctual sources of pollution even in environments with larger preserved vegetal coverage.

Keywords: limnology; reservoirs; trophic state index.

¹Universidade de São Paulo (USP) - Lorena (SP), Brasil.

²Universidade Federal Tecnológica do Paraná - Pato Branco (PR), Brasil.

³Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - Sorocaba (SP), Brasil.

*Autor correspondente: clemente.daniel@ib.usp.br

Recebido: 29/08/2016 - Aceito: 30/03/2017 - Reg. ABES: 168445

INTRODUÇÃO

A eutrofização é um dos principais problemas que afetam a qualidade das águas em mananciais de todo o mundo. Esse fenômeno é causado pelo enriquecimento de nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio, na coluna d'água. Em ecossistemas aquáticos, o aumento no grau de trofia é um processo que pode ocorrer naturalmente. Entretanto, nos últimos anos, as atividades humanas têm contribuído significativamente para o aumento das concentrações de nutrientes, levando à ocorrência do processo de eutrofização (CHEN; CHEN; DONG., 2016).

Existem diferentes metodologias para a determinação do grau de trofia em reservatórios, baseando-se principalmente nas concentrações de nitrogênio, fósforo e clorofila-*a* e na transparência da coluna d'água. Segundo Galvez-Cloutier e Sanchez (2007), os principais critérios utilizados são descritos por Carlson (1977), OECD (1982), Nürnberg (2001) e Environment Canada (2004).

Os índices de estado trófico (IET) são ajustados para diferentes ambientes, sendo a temperatura, a luminosidade e a vazão importantes fatores que influenciam na escolha da melhor metodologia. O metabolismo dos ecossistemas aquáticos tropicais se diferencia dos temperados, daí a importância do uso adequado de determinado IET. Dentre os estudos envolvendo a eutrofização, se destacam os de Galvez-Cloutier e Sanchez (2007) e Liu, Pan e Chen (2016) em ambientes temperados; e de Lamparelli (2004), Hennemann e Petrucui (2011), Cunha, Calijuri e Lamparelli (2013) e Ganguly (2015) em ambientes tropicais.

Liu, Pan e Chen (2016) apontam a importância dos estudos de estado trófico, uma vez que podem ajudar no entendimento das mudanças no estado de qualidade das águas nos corpos hídricos. Além disso, esses estudos são capazes de prover dados valiosos que demonstram a variação dos indicadores de qualidade das águas e das características tróficas desses locais.

O objetivo deste estudo consiste na avaliação da eficácia do uso de um IET como ferramenta na análise da qualidade das águas de três reservatórios. Dados provenientes do Sistema de Informação Geográfica (SIG) das bacias hidrográficas desses reservatórios foram levantados para estabelecer correlações entre o tipo de uso do solo e os IET observados.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A área avaliada neste estudo compreendeu os reservatórios Guarapiranga (S 23°40'43,0" e W 046°43'11,3"), Billings (S 23°46'09,4" e W 046°31'59,9") e Paiva Castro (S 23°21'57,9" e W 046°40'07,2"), que compõem a Bacia do Alto Tietê na região. Essa bacia está localizada em uma região altamente

industrializada e urbanizada que engloba a Região Metropolitana de São Paulo. Sendo assim, dentre os principais fatores que impactam essa bacia estão a elevada demanda hídrica, o lançamento de efluentes industriais e domésticos sem tratamento adequado, a má disposição de resíduos sólidos, barramento, erosão e assoreamento (PIZA, 2013).

Coleta e análise de amostras

As amostras foram coletadas em tubo de PVC de 3 m de comprimento e 7,2 cm de diâmetro, com o intuito de captar água da região fótica do reservatório. Em cada reservatório, foram amostrados cinco pontos. Em cada ponto, o tubo foi lançado três vezes e, em seguida, as réplicas foram misturadas para obtenção de uma amostra integrada. As amostras foram transferidas para frascos de polietileno de 5 L, previamente descontaminados com ácido clorídrico 10%.

As coletas foram realizadas nos meses de maio de 2011 e janeiro de 2012. Dados pluviométricos foram utilizados para caracterizar esses períodos como seco e chuvoso, respectivamente, conforme apresentado na Figura 1.

Para avaliação da qualidade da água desses reservatórios foram determinados, no momento da coleta, pH, temperatura e condutividade, utilizando uma sonda YSI (modelo 63/100 FT), profundidade utilizando uma trena e transparência da água a partir do disco de Secchi. Em laboratório foram determinadas as seguintes variáveis: oxigênio dissolvido (OD; sonda AT150/160), demanda bioquímica de oxigênio (DBO; CETESB, 1978), demanda química de oxigênio (DQO; APHA, 1999), sólidos totais (ST; WETZEL & LIKENS, 1991), material suspenso orgânico e inorgânico (MSO e MSI; TEIXEIRA; TUNDISI; KUTNER, 1965; TUNDISI, 1969), nitrogênio total (NT; VALDERRAMA, 1981), nitrato (MACKERETH; HERON; TALLING, 1978), nitrito (MACKERETH; HERON; TALLING, 1978), amônio (KOROLEFF, 1976), fósforo total (P total; VALDERRAMA, 1981) e clorofila-*a* (LORENZEN, 1967).

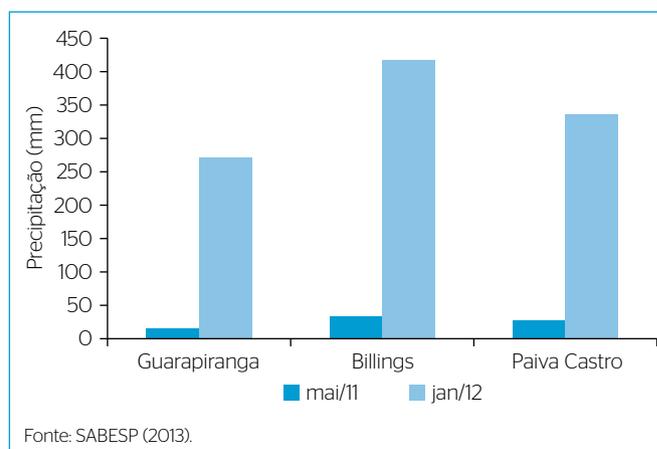


Figura 1 - Valores acumulados de precipitação (mm) nos reservatórios Guarapiranga, Billings e Paiva Castro em maio de 2011 e janeiro de 2012.

Determinação do índice de estado trófico

O IET foi calculado baseado na transparência dos reservatórios e nas concentrações de clorofila-*a* (em $\mu\text{g.L}^{-1}$) e P total (em mg.L^{-1}). Para classificar o estado trófico dos corpos hídricos, utilizou-se o IET para ambientes lóticos, segundo Lamparelli (2004), nas frações dos reservatórios onde são feitas as captações de água para abastecimento, onde ocorre maior movimentação da massa d'água.

Avaliação do uso e ocupação do solo

Para identificar a correlação do uso do solo com a trofia das represas, o IET calculado para cada represa foi comparado ao mapeamento temático de cobertura do solo de cada sub-região onde estão inseridos os reservatórios avaliados neste estudo, com base em imagens do satélite Landsat TM 5 do ano de 2010, na escala 1:100.000 (SMA-SP, 2013).

Análises estatísticas

A análise dos componentes principais (ACP) foi feita utilizando o software PAST[®], versão 2.16 (HAMMER; HARPER; RYAN, 2001). Inicialmente foi avaliado o comportamento dos parâmetros associados ao IET de forma isolada (P total, clorofila-*a* e transparência) sobre os reservatórios. Em seguida foram aplicados à ACP os demais parâmetros físicos e químicos associados à qualidade da água dos reservatórios (sem o IET). Por fim, todos os parâmetros foram submetidos à ACP (IET e todos os outros parâmetros em conjunção).

Essas análises foram realizadas para contrapor os dados de IET com os parâmetros analíticos de qualidade da água, a fim de observar a diferenciação entre as estações seca e chuvosa nesses reservatórios.

Os dados referentes aos teores de P total, clorofila-*a* e transparência, obtidos para os três reservatórios, em período chuvoso e de seca, foram submetidos à análise de variância, sendo as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de significância, através do aplicativo ASSISTAT 7.7 Beta (SILVA, 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Poluição hídrica dos reservatórios

Índice do estado trófico

Os reservatórios são ecossistemas artificiais que suprem diversas necessidades humanas. O fato de estarem associados ao homem os torna suscetíveis a uma série de impactos. Muitas vezes esses reservatórios estão em áreas com usos múltiplos do solo, recebendo efluentes não tratados diretamente em seus cursos de água. O lançamento desses efluentes contribui para o enriquecimento de nutrientes nesses locais e leva a um maior potencial de eutrofização (SOARES, 2009; KARADZIC; KRIZMANIC; NATI, 2010).

A partir da determinação do IET, observou-se um aumento no grau de trofia nos reservatórios Guarapiranga e Billings no período de maior precipitação pluviométrica. Esse processo, registrado durante o período chuvoso, foi decorrente de uma alteração proporcional nas três variáveis que compõem o IET (Tabela 1).

A água da chuva pode influenciar tanto na diluição quanto no aumento da concentração de poluentes nos corpos hídricos, dependendo das características da bacia hidrográfica e de seu estado de preservação/ocupação. Dellamano-Oliveira *et al.* (2008) detectaram variações nas concentrações de nitrogênio e fósforo entre o período seco e chuvoso, demonstrando um efeito diluidor causado pela precipitação. No presente estudo, o efeito de diluição causado pela precipitação não foi observado nos reservatórios avaliados.

De acordo com o teste de Tukey (Tabela 1), a diferença entre os valores de clorofila-*a* ($\mu\text{g.L}^{-1}$) do reservatório Paiva Castro e dos demais foi significativa tanto no período seco como no período chuvoso. Como observado, as concentrações de clorofila-*a* na represa Paiva Castro apresentaram-se bem abaixo daquelas obtidas nos demais corpos hídricos durante as duas estações. Esse comportamento também foi observado sobre as concentrações de P total no período chuvoso, sendo que Paiva Castro apresentou valores bem abaixo dos demais reservatórios.

Com relação às análises dos parâmetros entre as estações seca e chuvosa, Guarapiranga foi o único reservatório a apresentar diferença significativa nos três parâmetros avaliados, o que explicaria a mudança do IET de eutrófico para supereutrófico para a clorofila-*a*. Billings apresentou diferença significativa nos parâmetros P total e transparência. A variação obtida nesses dois parâmetros foi suficiente para alterar o grau de trofia desse reservatório. Paiva Castro, por sua vez, só apresentou diferença significativa na transparência da coluna d'água. Essa variação não foi suficiente para a alteração do IET mesotrófico.

Tabela 1 - Valores de fósforo total, clorofila-*a*, transparência e índice do estado trófico determinados nos reservatórios Guarapiranga, Billings e Paiva Castro no período seco e chuvoso.

Reservatório		Guarapiranga	Billings	Paiva Castro	
Fósforo total (mg.L^{-1})	Seco	0,041±0,006*	0,016±0,005	0,021±0,021	
	Chuvoso	0,061±0,012	0,045±0,010*	0,019±0,007	
Clorofila- <i>a</i> ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Seco	28,58±7,62*	28,58±7,62*	7,95±3,23	
	Chuvoso	53,24±10,49	50,47±23,75*	5,28±0,81	
Transparência (m)	Seco	1,44±0,28*	1,66±0,11*	1,64±0,12*	
	Chuvoso	1,06±0,09	1,42±0,13	1,21±0,13	
Índice de estado trófico médio	Seco	58,29	55,71	54,22	
	Chuvoso	61,59	59,48	54,81	
		Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Supereutrófico

*Não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Características físicas e químicas dos reservatórios

A grande preocupação em relação à poluição dos grandes reservatórios está relacionada à utilização desses corpos hídricos para o abastecimento público e ao fato de que um maior grau de eutrofização demandaria maiores gastos com o tratamento de água. Outro importante aspecto que deve ser considerado é o impacto negativo relativo à sua qualidade e à demanda para a manutenção da vida aquática nesses ecossistemas (CUNHA; CALIJURI; LAMPARELLI, 2013).

O Anexo 1 apresenta uma tabela com os resultados da determinação das variáveis físicas e químicas associadas à qualidade da água das represas Guarapiranga, Billings e Paiva Castro, durante o período seco e chuvoso.

Análise dos componentes principais

Para avaliação de cada ACP gerada foram selecionados os dois primeiros componentes principais, uma vez que ambos apresentaram variância acumulada maior que 51% (Tabela 2).

A partir da análise utilizando somente as variáveis de IET, observou-se que os três reservatórios avaliados mantiveram suas características distintas entre as estações seca e chuvosa. Essa distinção pode ser demonstrada pelo gráfico, no qual não há sobreposição dos grupos formados (Figura 2).

A ACP gerada mostrou que o primeiro componente principal explicou 68,24% do arranjo formado. A correlação obtida para P total foi de 0,903, seguido pela clorofila-a, com 0,852. A transparência, por sua vez, apresentou correlação negativa (-0,712). Esse comportamento pode ser explicado pelo aumento nas concentrações de P total e, conseqüentemente, crescimento de biomassa algal, uma vez que esse nutriente é essencial para o crescimento fitoplanctônico (HENRY & SIMÃO, 1988), refletindo, portanto, em maiores teores para clorofila-a.

Ao realizar a análise a partir das variáveis físicas e químicas, com exceção daquelas associadas ao IET, observou-se que os grupos referentes à estação seca e chuvosa também permaneceram distintos entre si, não havendo sobreposição dos mesmos (Figura 3).

Tabela 2 - Autovalores e variâncias explicadas e acumuladas da análise dos componentes principais aplicada às variáveis do índice de estado trófico, variáveis físicas e químicas e todas as variáveis avaliadas neste estudo.

	Componente	Autovalor	% variância	% acumulada
Variáveis do índice de estado trófico	1	2,05	68,24	68,24
	2	0,67	22,46	90,70
Variáveis físicas e químicas	1	4,72	33,70	33,70
	2	2,94	20,99	54,69
Todas as variáveis analisadas	1	6,45	37,95	37,95
	2	3,27	19,23	57,18

As análises utilizando somente os dados de IET e somente as variáveis físicas e químicas apresentaram arranjos semelhantes, nas quais os reservatórios mantiveram suas características distintas entre as estações.

A partir da ACP constituída por todas as variáveis avaliadas neste estudo, também foi possível observar que os reservatórios apresentaram uma conformação semelhante às ACP anteriores. No gráfico, os grupos referentes à seca apresentaram-se distanciados daqueles referentes ao período de maior precipitação (Figura 4).

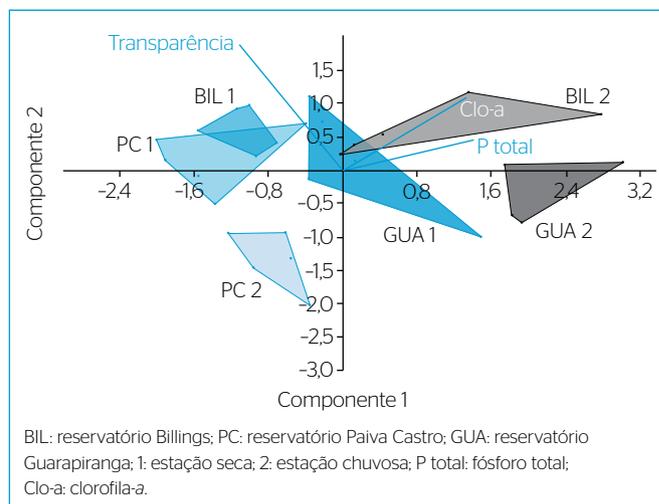


Figura 2 - Análise dos componentes principais da correlação medida nas variáveis utilizadas para determinação do índice de estado trófico nos reservatórios Guarapiranga, Billings e Paiva Castro durante as estações seca e chuvosa.

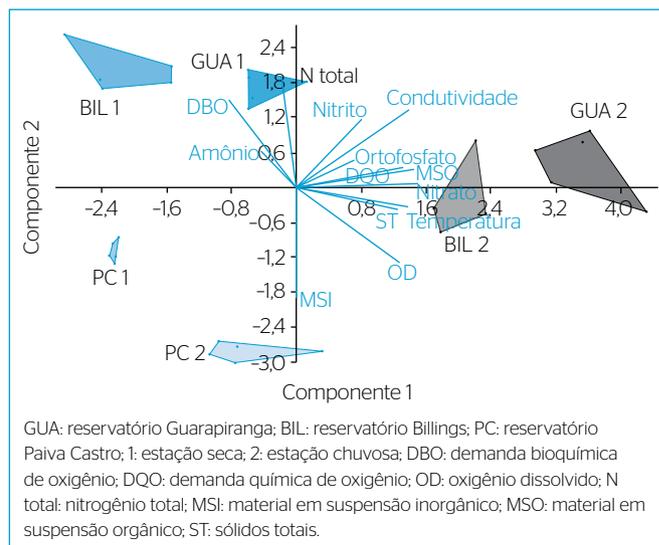


Figura 3 - Análise dos componentes principais da correlação medida a partir de todas as variáveis avaliadas nos reservatórios Guarapiranga, Billings e Paiva Castro durante as estações seca e chuvosa, exceto as variáveis relacionadas ao índice de estado trófico: demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, oxigênio dissolvido e nitrogênio total, ortofosfato, nitrito, nitro, amônio, pH, condutividade, temperatura, material em suspensão inorgânico, material em suspensão orgânico e sólidos totais.

Os reservatórios avaliados mantiveram suas características distintas entre as estações seca e chuvosa em todas as situações propostas por este estudo. Devido à semelhança entre os arranjos formados pelas ACPs, sugere-se que seja possível expressar essa distinção entre as estações utilizando somente as variáveis de IET.

Análise da cobertura vegetal e ocupação do solo

A utilização de imagens de satélite tem se mostrado um método rápido e efetivo no monitoramento da qualidade da água de reservatórios (HSU, 2016). A partir da imagem de satélite da Bacia do Alto Tietê, é possível observar o intenso processo de urbanização dessa região, sobretudo próximo às margens dos reservatórios Guarapiranga e Billings (Anexo 2).

A partir da imagem gerada pelo satélite Landsat TM 5, foi possível calcular as frequências relativas das classes de cobertura do solo das sub-regiões Billings Tamanduateí, Juqueri Cantareira e Cotia Guarapiranga, onde estão inseridos os reservatórios Billings, Paiva Castro e Guarapiranga, respectivamente (Tabela 3).

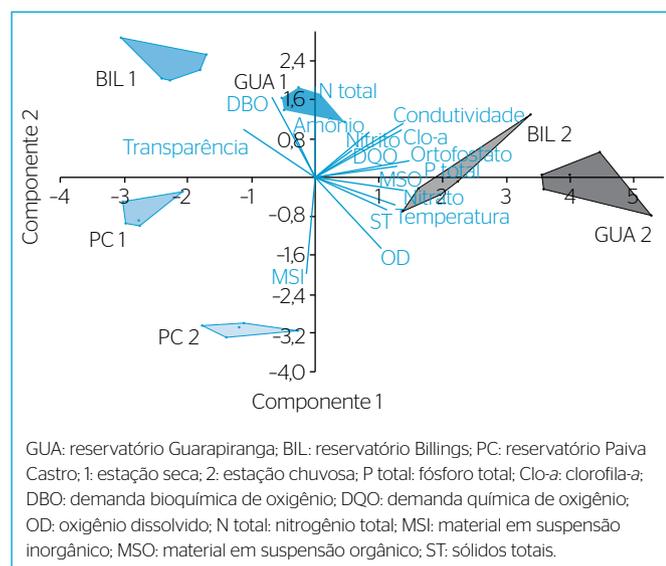


Figura 4 - Análise dos componentes principais da correlação medida a partir de todas as variáveis avaliadas nos reservatórios Guarapiranga, Billings e Paiva Castro durante as estações seca e chuvosa, incluindo as variáveis relacionadas ao índice de estado trófico: fósforo total, clorofila-a, transparência, ortofosfato, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, oxigênio dissolvido, nitrogênio total, nitrito, amônio, pH, condutividade, temperatura, material em suspensão inorgânico e orgânico e sólidos totais.

Dentre os reservatórios avaliados, foi possível observar que Guarapiranga e Paiva Castro estão localizados em uma sub-região com maior índice de cobertura arbórea e herbácea arbustiva. Diferentemente, o reservatório Billings sofre com a intensa urbanização próxima às suas margens, contando com o maior índice de área construída.

Bacias que apresentam maior cobertura vegetal e áreas ripárias protegidas apresentam melhor qualidade de água. A vegetação preservada pode atuar na redução do arraste de poluentes para o corpo hídrico e ainda potencializar o processo de percolação da água pelo solo (RHODES; NEWTON; PUFALL, 2001, TRAN *et al.*, 2010). Além disso, a conservação da vegetação ripária contribui significativamente para a manutenção das comunidades aquáticas e dos processos ecológicos (CASOTTI *et al.*, 2015).

A urbanização e a consequente retirada da vegetação ripária tendem a degradar as margens de corpos hídricos e alterar as características físicas e químicas de suas águas (LI *et al.*, 2015). Bacias que apresentam rápido processo de urbanização mostram-se mais impactadas devido à impermeabilização do solo. Solos impermeáveis podem causar mudanças físicas em rios urbanos e propiciar o arraste de poluentes para o corpo hídrico de forma difusa (MAY *et al.*, 1999, TRAN *et al.*, 2010). Além disso, o desenvolvimento de áreas urbanas resulta no aumento de efluentes domésticos e industriais gerados. Esses efluentes, quando não são devidamente tratados, potencializam o processo de degradação da qualidade da água (LI *et al.*, 2015).

Franz, Cunha e Gobbi (2007) avaliaram, através de simulações computacionais, quais seriam os efeitos da implementação da coleta e do tratamento de esgoto para remoção de nutrientes sobre o reservatório de Iraí, no Paraná. Os autores estimaram uma redução em 70% do aporte de P total ao reservatório. As estações de tratamento de esgoto apresentam um papel fundamental na redução das concentrações de nutrientes em águas superficiais. Deste modo, a ampliação da rede de tratamento de esgoto nos municípios pode contribuir para a redução do IET de reservatórios em processo de eutrofização.

Relação entre índice de estado trófico e a cobertura vegetal

A represa Guarapiranga, embora apresente um elevado percentual de cobertura arbórea ou arbustiva, apresentou a maior variação do IET entre a estação seca e a estação chuvosa. Diferentemente, o reservatório Paiva Castro, que possui um índice de cobertura vegetal próximo ao observado no reservatório Guarapiranga, manteve o grau de trofia nos dois períodos avaliados.

Tabela 3 - Frequência relativa (%) das classes de cobertura do solo nas sub-regiões hidrográficas das represas Guarapiranga, Billings e Paiva Castro.

Reservatório	Corpo d'água	Cobertura arbórea	Cobertura herbácea arbustiva	Solo exposto	Área úmida	Área construída
Guarapiranga	3,96	61,46	18,78	2,21	0,67	12,82
Billings	12,63	42,88	7,30	1,41	0,04	35,52
Paiva Castro	0,94	62,53	16,54	5,57	0,09	14,13

Como a presença da vegetação tende a atenuar a poluição difusa, os resultados obtidos sugerem que a poluição pontual, associada ao lançamento de efluentes sem tratamento adequado, é o principal tipo de poluição que impacta o reservatório Guarapiranga.

Devido à facilidade e à pequena quantidade de variáveis necessárias para sua obtenção, a determinação do IET pode ser utilizada como um instrumento eficaz e econômico para a avaliação dos efeitos da sazonalidade da eutrofização sobre esses reservatórios.

CONCLUSÕES

O IET utilizado nesta pesquisa demonstrou ser autossuficiente nas predições de qualidade de água de reservatórios com a utilização de apenas três parâmetros (P total, clorofila-*a* e transparência), independente da sazonalidade.

A análise dos dados de IET associada às imagens de satélite permitiu atribuir a redução da qualidade das águas dos reservatórios a fontes pontuais de poluição, mesmo em ambientes com maior cobertura vegetal preservada.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). (1999) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20. ed. Nova York: APHA.
- CARLSON, R. (1977) A Trophic State Index for Lakes. *Limnology and Oceanography*, v. 22, p. 361-369. <https://doi.org/10.4319/lo.1977.22.2.0361>
- CASOTTI, C.G.; KIFFER JR., W.P.; COSTA, L.C.; RANGEL, J.V.; CASAGRANDE, L.C.; MORETTI, M.S. (2015) Assessing the importance of riparian zones conservation for leaf decomposition in streams. *Natureza & Conservação*, v. 13, p. 178-182. <https://doi.org/10.1016/j.ncon.2015.11.011>
- CHEN, C.; JU, Y.; CHEN, C.; DONG, C. (2016) Evaluation of organic pollution and eutrophication status of Kaohsiung Harbor, Taiwan. *International Biodeterioration and Biodegradation*, v. 13, p. 318-324. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.03.024>
- CUNHA, D.G.F.; CALIJURI, M.C.; LAMPARELLI, M.C. (2013) A trophic state index for tropical/subtropical reservoirs (TSI_{tr}). *Ecological Engineering*, v. 60, p. 126-134. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.07.058>
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). (1978) *Norma Técnica L5.169 - Determinação de oxigênio dissolvido em águas - método de Winkler modificado pela azida sódica: método de ensaio*. São Paulo: Cetesb. 8 p.
- COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (SABESP). *Situação dos Mananciais: índice de armazenamento e pluviometria das represas que abastecem a Região Metropolitana de São Paulo*. Disponível em: <<http://www2.sabesp.com.br/mananciais/DivulgacaoSiteSabesp.aspx>>. Acesso em: 7 abr. 2013.
- DELLAMANO-OLIVEIRA, M.J.; VIEIRA, A.A.H.; ROCHA, O.; COLOMBO, V.; SANTANNA, C.L. (2008) Phytoplankton taxonomic composition and temporal changes in a tropical reservoir. *Fundamental and Applied Limnology*, v. 171, p. 27-38. <https://doi.org/10.1127/1863-9135/2008/0171-0027>
- ENVIRONMENT CANADA. (2004) *National Guidelines and Standards Office*. Water Policy and Coordination Directorate.
- Canadian Guidance Framework for the Management of Phosphorus in Freshwater system. Report No. 1-18. Canadá.
- FRANZ, G.A.S.; CUNHA, C.L.N.; GOBBI, M.F. (2007) Eutrofização em um reservatório destinado ao abastecimento público: o caso do reservatório do Iraí-PR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007, São Paulo. *Anais...*
- GALVEZ-CLOUTIER, R.; SANCHEZ, M. (2007) Trophic Status Evaluation for 154 lakes in Quebec, Canada: Monitoring and Recommendations. *Water Quality Research Journal of Canada*, v. 42, p. 252-268.
- GANGULY, D.; PATRA, S.; MUDULI, P.R.; VARDHAN, K.V.; R., A.K.; ROBIN, R.S.; SUBRAMANIAN, B.R. (2015) Influence of nutrient input on the trophic state of a tropical brackish water lagoon. *Journal of Earth System Science*, v. 124, p. 1005-1017. <https://doi.org/10.1007/s12040-015-0582-9>
- HAMMER, Ø.; HARPER, D.A.T.; RYAN, P.D. (2001) PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, v. 4, n. 1, p. 1-9.
- HENNEMANN, M.C.; PETRUCUI, M.M. (2011) Spatial and temporal dynamic of trophic relevant parameters in a subtropical coastal lagoon in Brazil. *Environmental Monitoring Assessment*, v. 181, p. 347-361. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1833-5>
- HENRY, R.; SIMÃO, C.A. (1988) Aspectos sazonais da limitação potencial por N, P e Fe no fitoplâncton da Represa Barra Bonita (Rio Tietê, SP). *Revista Brasileira de Biologia*, v. 48, p. 1-14.
- HSU, P. (2016) Using SPOT Images for Monitoring Water Quality of Reservoir. *Sensors and Materials*, v. 28, p. 455-462. <https://doi.org/10.18494/SAM.2016.1301>
- KARADZIC, V.; KRIZMANIC, J.; NATI, D. (2010) Phytoplankton and eutrophication development in the water supply reservoirs Garaši and Bukulja (Serbia). *Desalination*, v. 255, p. 91-96. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.01.009>
- KOROLEFF, F. (1976) Determination of nutrients. In: GRASSHOFF, K. (Org.) *Methods of seawater analysis*: Verlag Chemie Weinheim. Weinheim: Wiley-VCH. p. 117-181.

- LAMPARELLI, M.C. (2004) *Grau de Trofia em Corpos D'Água do Estado de São Paulo: Avaliação dos Métodos de Monitoramento*. 238 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- LI, Y.; LI, Y.; QURESHI, S.; KAPPAS, M.; HUBACEK, K. (2015) On the relationship between landscape ecological patterns and water quality across gradient zones of rapid urbanization in coastal China. *Ecological Modelling*, v. 318, p. 100-108. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2015.01.028>
- LIU, H.B.; PAN, D.; CHEN, P. (2016) A two-year field study and evaluation of water quality and trophic state of a large shallow drinking water reservoir in Shanghai, China. *Desalination and Water Treatment*, v. 57, n. 20, p. 13829-13838. <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1059370>
- LORENZEN, C.J. (1967) Determination of chlorophyll and pheopigments: Spectrophotometric equations. *Limnology and Oceanography*, v. 12, p. 343-346. <https://doi.org/10.4319/lol.1967.12.2.0343>
- MACKERETH, F.J.H.; HERON, J.; TALLING, J.F. (1978) *Water analysis: some revised methods for limnologists*. Dorset: Freshwater Biology Assessment. 121 p.
- MAY, C.W.; HORNER, R.R.; KARR, J.R.; MAR, B.W.; WELCH, E.B. (1999) Effects of urbanization on small streams in the Puget Sound ecoregion. *Watershed Protection Techniques*, v. 2, p. 483-494.
- NÜRNBERG, G. (2001) Eutrophication and Trophic State. *Lakeline*, v. 21, n. 1, p. 29-33.
- ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OECD). (1982) *Eutrophication of waters*. Monitoring, assessment and control. Final report, OECD Cooperative Program on Monitoring of Inland Waters (eutrophication control), Environment Directorate. Paris: OECD. 154 p.
- PIZA, F.J.T. (2013) *Relatório de Situação dos Recursos Hídricos Bacia Hidrográfica do Alto Tietê - UGRHI 06*. São Paulo. 162p.
- RHODES, A.L.; NEWTON, T.M.; PUFALL, A. (2001) Influences of land use on water quality of a diverse New England watershed. *Environmental Science Technology*, v. 35, p. 3640-3645. <https://doi.org/10.1021/es002052u>
- SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO (SMA-SP). (2013) *Mapa de Cobertura da Terra do Estado de São Paulo na Escala de 1:100.000*. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/cpla/mapa-de-cobertura-da-terra-do-estado-de-sao-paulo/>>. Acesso em: 20 mar. 2016.
- SILVA, F.A.S. (2014) *ASS/STAT: Versão 7.7 beta*. DEAG-CTRN-UFMG. Disponível em <<http://www.assistat.com/>>. Acesso em: 10 jun. 2016.
- SOARES, Z.M.L. (2009) Uso e ocupação da terra nas áreas de entorno do açude Orós com vistas ao ordenamento territorial. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. *Anais...* Natal: INPE. p. 4417-4424.
- TEIXEIRA, C.; TUNDISI, J.G.; KUTNER, M.B. (1965) Plankton studies in a mangrove environment II: the standing stock and some ecological factors. *Boletim do Instituto Oceanográfico*, v. 24, p. 13-41.
- TRAN, C.P.; BODE, R.W.; SMITH, A.J.; KLEPPEL, G.S. (2010) Land-use proximity as a basis for assessing stream water quality in New York State (USA). *Ecological Indicators*, v. 10, p. 727-733. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.12.002>
- TUNDISI, J.G. (1969) *Produção primária, "standing stock" e fracionamento do fitoplâncton na região lagunar de Cananéia*. 131 f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo.
- VALDERRAMA, J.C. (1981) The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorus in natural waters. *Marine Chemistry*, v. 10, p. 109-122. [https://doi.org/10.1016/0304-4203\(81\)90027-X](https://doi.org/10.1016/0304-4203(81)90027-X)
- WETZEL, R.G.; LIKENS, G.E. (1991) *Limnological Analyses*. Nova York: Springer-Verlag. 391 p.

Anexo 1 - Valores das análises físicas, químicas e biológicas determinados nos reservatórios Guarapiranga, Billings e Paiva Castro.

	Prof	Temp	pH	OD	Cond	ST	MSO	MSI	NT	Nitrato	Nitrito	Amônio	PT	Ortof	Clo-a	DBO	DQO	Transp
GUA 1.1	3,36	19,7	6,00	5,73	104	74,4	4,0	0,6	1,254	0,049	0,049	0,187	0,036	0,021	16,27	2,12	7,44	1,45
GUA 1.2	3,72	19,7	6,46	6,32	105	69,2	3,4	0,0	1,458	0,083	0,049	0,215	0,039	0,007	29,64	1,68	5,67	1,43
GUA 1.3	4,88	19,7	6,96	5,64	106	68,0	3,8	1,2	1,302	0,055	0,048	0,153	0,050	0,006	36,25	1,80	6,03	1,00
GUA 1.4	11,60	19,5	6,56	5,82	108	68,8	4,0	0,4	1,132	0,052	0,047	0,140	0,035	0,005	33,04	1,11	4,07	1,60
GUA 1.5	13,28	19,8	6,78	5,77	108	77,2	3,8	1,8	1,761	0,398	0,045	0,132	0,043	0,001	27,72	2,38	6,85	1,73
GUA 2.1	5,21	26,7	8,73	7,73	132	125,2	17,8	4,8	1,027	0,541	0,025	0,225	0,074	0,000	67,24	1,75	6,73	1,05
GUA 2.2	6,28	26,2	8,90	7,62	139	80,4	7,4	0,4	0,875	0,535	0,024	0,205	0,044	0,000	55,52	1,03	5,55	0,95
GUA 2.3	7,12	27,6	9,30	7,37	136	73,2	7,8	0,6	0,923	0,513	0,027	0,167	0,071	0,029	53,34	1,25	6,15	1,06
GUA 2.4	11,80	27,4	9,32	8,66	139	75,2	7,0	1,2	0,961	0,318	0,026	0,131	0,056	0,010	52,32	0,66	3,78	1,20
GUA 2.5	13,70	27,7	9,22	8,27	136	78,8	6,2	0,0	0,853	0,451	0,040	0,103	0,062	0,012	37,80	1,22	5,55	1,05
BIL 1.1	10,28	21,7	7,14	3,92	79	9,2	2,2	0,0	1,470	0,020	0,001	0,178	0,016	0,001	16,27	7,05	5,08	1,74
BIL 1.2	11,48	22,1	6,94	4,25	78	19,2	2,0	0,0	1,350	0,030	0,001	0,181	0,012	0,002	29,64	4,67	4,49	1,54
BIL 1.3	11,85	22,3	7,07	2,90	77	13,6	2,4	0,0	1,150	0,020	0,001	0,134	0,014	0,000	36,25	3,61	8,04	1,55
BIL 1.4	12,30	22,3	7,04	4,14	77	24,0	3,6	0,2	1,100	0,030	0,005	0,091	0,014	0,010	33,04	4,78	16,32	1,73
BIL 1.5	12,27	22,4	7,10	4,96	76	14,4	3,6	0,0	0,704	0,050	0,013	0,202	0,024	0,020	27,72	6,70	13,96	1,75
BIL 2.1	11,16	22,98	8,41	6,76	108	64,0	8,4	0,0	0,344	0,141	0,017	0,174	0,059	0,053	85,83	0,78	20,35	1,19
BIL 2.2	11,85	22,94	9,05	8,02	109	64,4	7,8	0,8	0,300	0,126	0,017	0,100	0,052	0,000	62,08	0,43	16,79	1,48
BIL 2.3	12,27	23,01	8,65	8,6	111	72,4	7,2	0,6	0,369	0,149	0,018	0,169	0,038	0,000	43,50	0,98	13,25	1,46
BIL 2.4	12,80	23,05	9,22	8,76	112	60,8	4,8	1,2	0,302	0,138	0,018	0,122	0,038	0,034	33,74	0,37	18,57	1,48
BIL 2.5	12,70	23,07	8,85	8,5	112	63,2	2,6	1,8	0,355	0,136	0,012	0,082	0,039	0,025	27,18	0,87	19,75	1,48
PC 1.1	3,85	20,9	7,59	6,56	10	12,0	3,0	2,4	0,665	0,002	0,002	0,356	0,011	0,002	8,00	1,53	2,71	1,77
PC 1.2	1,70	21	7,07	6,83	10	2,8	3,8	2,4	0,579	0,003	0,001	0,303	0,014	0,002	3,09	1,12	2,71	1,70
PC 1.3	6,00	21	7,00	6,75	10	16,0	3,6	1,6	0,579	0,011	0,002	0,335	0,058	0,005	6,92	1,57	3,31	1,70
PC 1.4	4,23	20,6	6,88	6,60	9	14,4	4,0	2,0	0,511	0,000	0,006	0,292	0,011	0,001	11,20	1,03	2,71	1,58
PC 1.5	4,67	21	6,47	6,16	9	27,6	3,2	2,2	0,374	0,004	0,007	0,252	0,010	0,005	10,52	2,08	3,89	1,46
PC 2.1	4,20	23	5,23	7,00	34	63,2	1,2	3,6	0,300	0,183	0,004	0,025	0,012	0,002	5,83	0,23	4,96	1,35
PC 2.2	1,95	23	6,35	6,47	34	48,0	2,0	3,4	0,190	0,139	0,004	0,018	0,019	0,004	5,53	0,35	4,37	1,00
PC 2.3	6,50	23	6,80	7,32	34	171,2	1,0	3,4	0,260	0,131	0,003	0,041	0,028	0,011	6,10	1,02	5,55	1,30
PC 2.4	4,75	23	6,49	7,66	34	46,0	2,8	3,0	0,220	0,127	0,003	0,022	0,025	0,000	4,79	0,46	3,78	1,20
PC 2.5	5,12	23	6,66	7,72	34	45,2	1,4	4,2	0,220	0,130	0,004	0,030	0,013	0,000	4,13	0,83	6,75	1,20

Prof: profundidade; Temp: temperatura; OD: oxigênio dissolvido; Cond: condutividade; ST: sólidos em suspensão; MSO: material em suspensão orgânico; MSI: material em suspensão inorgânico; NT: nitrogênio total; PT: fósforo total; Ortof: ortofosfato; Clo-a: clorofila-a; DBO: demanda bioquímica de oxigênio; DQO: demanda química de oxigênio; Transp: transparência; GUA: reservatório Guarapiranga; BIL: reservatório Billings; PC: reservatório Paiva Castro; 1: estação seca; 2: estação chuvosa.

Anexo 2 - Ocupação do solo por áreas urbanizadas e tipos de cobertura vegetal nos reservatórios Billings, Guarapiranga e Paiva Castro, obtida a partir de imagens de satélite Landsat TM 5 do ano de 2010.

