

Análise de variação e comparação de índices de estado trófico: reservatórios dos aproveitamentos hidrelétricos de Rio Bonito e Suíça

Variance analysis and comparison of trophic state indexes: Rio Bonito and Suíça power plants reservoirs

Daniela Rodrigues Araújo¹, Antonio Sérgio Ferreira Mendonça², José Antonio Tosta dos Reis³

RESUMO

Reservatórios têm sido construídos em todo o mundo para regularização de vazões, com vistas à melhoria de condições de uso dos recursos hídricos de bacias hidrográficas para diferentes propósitos, como abastecimento humano e industrial, irrigação e geração de energia elétrica. Águas de rios e córregos, que transportam nutrientes em excesso provenientes de esgotos sanitários e fertilizantes, quando represadas, podem estar sujeitas a grandes alterações qualitativas decorrentes de processos de eutrofização. Diversos índices foram criados por pesquisadores para classificação de estados de trofia de corpos d'água. No presente estudo foram analisados e comparados três índices de estado trófico (IETs) a partir da aplicação aos reservatórios da Pequena Central Hidrelétrica de Rio Bonito e da Usina Hidrelétrica Suíça, localizados na bacia do Rio Santa Maria da Vitória, no estado do Espírito Santo, considerando resultados de monitoramentos de qualidade de água em 20 campanhas realizadas entre outubro de 2008 e julho de 2014. Os reservatórios recebem aporte de nutrientes provenientes de esgotos domésticos, cultivos agrícolas e granjas. Foram considerados, especificamente, índices desenvolvidos por Carlson (1977), Lamparelli (2004) e Cunha, Calijuri e Lamparelli (2013). Concluiu-se que diferentes modelos podem resultar em classificações de estado trófico muito diferentes. O modelo de Carlson (1977), desenvolvido para reservatórios de clima temperado, resultou em classificação mais rigorosa, classificando os reservatórios principalmente como eutróficos e mesotróficos. Os modelos de Lamparelli (2004) e Cunha, Calijuri e Lamparelli (2013), desenvolvidos para reservatórios de clima tropical/subtropical, apresentaram resultados mais próximos, classificando os reservatórios principalmente como oligotróficos. Concluiu-se também que a sazonalidade e as precipitações pluviométricas nas bacias hidrográficas dos reservatórios podem influenciar de forma muito significativa os parâmetros de qualidade de água e a classificação do estado trófico de reservatórios. A grande variedade de classes de estado trófico escolhidas a partir dos diferentes modelos indica a importância da escolha adequada de modelos e índices, de acordo com as condições prevalentes nos corpos hídricos de interesse.

Palavras-chave: eutrofização; índice de estado trófico; nutrientes; reservatórios.

ABSTRACT

Reservoirs have been built worldwide to regularize flows for improvement of watersheds water resources use conditions for different purposes, such as human and industrial supply, irrigation and power generation. Waters of rivers and streams that carry excessive nutrients from sewage and fertilizers, when dammed, may be subject to significant qualitative changes resulting from eutrophication processes. Several indexes have been created by researchers for trophic state classification of water bodies. In this study three trophic state indexes (TSIs), developed by Carlson (1977), Lamparelli (2004) and Cunha, Calijuri and Lamparelli (2013), were analyzed and compared, through the application to two power plant reservoirs, denominated Rio Bonito and Suíça, located in the Santa Maria da Vitoria river watershed, Espírito Santo state, Brazil. Results from 20 water quality monitoring campaigns were considered, conducted between October 2008 and July 2014. The reservoirs receive nutrient loads originated from domestic sewage, agricultural crops and chicken farms. It was concluded that application of different models may result in very different trophic state class definition. The application of the Carlson model (1977), developed for temperate climate reservoirs, resulted into higher eutrophic class level, classifying the reservoirs mainly as eutrophic and mesotrophic. Lamparelli (2004) and Cunha, Calijuri and Lamparelli (2013) models, developed for tropical/subtropical climate reservoirs, presented closer results, classifying the reservoirs mostly as oligotrophic. It was also concluded that seasonality and rainfall in reservoirs catchment areas may influence very significantly the reservoirs water quality parameters and trophic state classification. The wide variety of trophic classes chosen for the reservoirs, in this work, indicates the importance of the proper choice of models and indexes, according to the prevailing conditions in the water bodies of interest.

Keywords: eutrophication; trophic state index; nutrients; reservoir.

¹Mestranda do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) - Vitória (ES), Brasil.

²Professor Titular do Departamento de Engenharia Ambiental da UFES - Vitória (ES), Brasil.

³Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Ambiental da UFES - Vitória (ES), Brasil.

Endereço para correspondência: Antônio Sérgio Ferreira Mendonça - Avenida São Paulo, 1.890, apto. 104 - Praia da Costa - 29101-308 - Vila Velha (ES), Brasil -

E-mail: anserfm@terra.com.br

Recebido em: 13/04/16 - **Aceito em:** 19/12/16 - **Reg. ABES:** 162462

INTRODUÇÃO

Em muitas regiões e países, sistemas de reservatórios são construídos à medida que suas populações e demandas hídricas aumentam e suas economias se fortalecem (JORGENSEN; RAST; STRASKRABA, 2006).

Um dos fenômenos que se desenvolve em reservatórios, e que é determinante para a qualidade de água, é a eutrofização, decorrente de processo natural que ocorre em lagos e reservatórios ou de intervenção humana, pelo aumento da quantidade de nutrientes no corpo hídrico, provocando crescimento exagerado de organismos aquáticos autotróficos (algas e cianobactérias planctônicas e macrófitas aquáticas) (ARAÚJO; SALES; SOUZA, 2013).

A eutrofização pode acarretar a deterioração dos ecossistemas aquáticos, e seu controle implica no emprego de diferentes técnicas de manejo e recuperação que devem ser aplicadas tanto na totalidade da bacia hidrográfica quanto no reservatório que se deseja recuperar. Geralmente, a recuperação do ambiente aquático é obtida lentamente, sendo necessário o acompanhamento contínuo do ambiente, o que acarreta custos elevados (VON SPERLING; FERREIRA; GOMES, 2008).

Notadamente no Brasil, tem-se verificado uma crescente preocupação com o rápido processo de degradação dos ambientes aquáticos. O reservatório da Usina Hidrelétrica Foz do Areia, no Paraná, por exemplo, tem apresentado alto grau de eutrofização, cuja ocorrência mais preocupante foi registrada nos meses de outubro de 2006 a abril de 2007 (PEREIRA; VEIGA; DZIEDZIC, 2013).

A implementação de estudos de avaliação trófica em sistemas aquáticos tem como relevância a detecção e a predição dos processos de eutrofização, bem como a busca por propostas de soluções que viabilizem o aumento da vida útil desses ecossistemas (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

O Índice do Estado Trófico (IET) tem por objetivo classificar corpos hídricos em diferentes graus de trofia, avaliando a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes. Dessa forma, pode fornecer subsídios para a formulação de planos de manejo e gestão de ecossistemas aquáticos, por meio de estratégias que visem à sustentabilidade dos recursos hídricos (LAMPARELLI, 2004).

Cunha (2012), em sua tese, propôs um índice para avaliação do estado trófico em reservatórios tropicais/subtropicais a partir de dados bimestrais de reservatórios de São Paulo, de 1996 a 2009. Esse índice foi aplicado ao reservatório de Itupararanga, em São Paulo, no qual se mostrou eficiente diante de outros modelos presentes na literatura. Cunha, Calijuri e Lamparelli (2013) adicionaram a classe hipereutrófica aos níveis de trofia propostos por Cunha (2012), aumentando assim a amplitude de classificação de estado trófico.

Liu, Pan e Chen (2016) utilizaram os índices de estado trófico de Carlson (1977) e de Cunha, Calijuri e Lamparelli (2013) para avaliar o grau de trofia em reservatório raso localizado na cidade de Xangai, na China. Os autores relataram que o IETrs desenvolvido por Cunha,

Calijuri e Lamparelli (2013) apresentou-se mais estável em relação ao de Carlson (1977).

A Pequena Central Hidrelétrica (PCH) Rio Bonito e a Usina Hidrelétrica (UHE) Suíça estão localizadas na bacia do Rio Santa Maria da Vitória, um dos principais mananciais de abastecimento de água da Região Metropolitana da Grande Vitória, no Espírito Santo. Os reservatórios dessas hidrelétricas recebem esgotos domésticos e efluentes de áreas agrícolas e granjas, ou seja, nutrientes que podem contribuir para o processo de eutrofização nesses ambientes (EDP, 2014a; 2014b).

Neste contexto, o presente estudo avaliou e comparou as classificações de estado trófico a partir dos IETs desenvolvidos por Carlson (1977), Lamparelli (2004) e Cunha, Calijuri e Lamparelli (2013), considerando resultados de monitoramentos realizados nos dois reservatórios entre outubro de 2008 e julho de 2014. Adicionalmente, verificou a influência de precipitações pluviométricas e da sazonalidade sobre as definições de classes de trofia.

METODOLOGIA

A barragem da PCH Rio Bonito está instalada no Rio Santa Maria da Vitória, no Espírito Santo, originando um reservatório com área 2,2 km² e volume aproximado 13.600.000 m³. A barragem da UHE Suíça, situada a jusante do reservatório de Rio Bonito, localiza-se imediatamente acima de uma queda d'água no Rio Santa Maria da Vitória, produzindo um reservatório com área 0,6 km² e volume aproximado 1.300.000 m³ (EDP, 2014a; 2014b).

A Figura 1 apresenta mapa com localização das barragens da PCH Rio Bonito e UHE Suíça, na bacia do Rio Santa Maria da Vitória.

Resultados de monitoramentos limnológicos da qualidade de água realizados nas áreas da UHE Suíça e PCH Rio Bonito foram obtidos junto à empresa EDP, que gerencia diversos aproveitamentos hidrelétricos no estado do Espírito Santo. As descrições e coordenadas geográficas, em UTM SAD-69, dos pontos monitorados para estudo, situados no interior dos reservatórios, são apresentados na Tabela 1.

Precipitações pluviométricas registradas no período de estudo em postos pluviométricos localizados nas proximidades do Rio Santa Maria da Vitória, a montante dos respectivos reservatórios, foram analisadas.

A partir de resultados do monitoramento das variáveis limnológicas (fósforo total, clorofila a e transparência) em campanhas realizadas entre outubro de 2008 e julho de 2014 no interior dos reservatórios da PCH Rio Bonito e da UHE Suíça, foram calculados os IET propostos por Carlson (1977), Lamparelli (2004) e Cunha (2012).

O índice de Carlson (1977) engloba lagos em uma escala numérica de 0 a 100, sendo que cada divisão (10, 20, 30 etc.) representa a capacidade de dobrar a biomassa algal. O índice é calculado para fósforo total, clorofila a e transparência da água, conforme as Equações 1, 2 e 3, respectivamente.

$$IET(PT) = 10 \left(6 - \left(\frac{\ln 48}{\ln 2} \right) \right) \quad (1)$$

$$IET(cia) = 10 \left(6 - \left(\frac{2,04 - 0,68 \ln Cia}{\ln 2} \right) \right) \quad (2)$$

$$IET(DS) = 10 \left(6 - \left(\frac{\ln DS}{\ln 2} \right) \right) \quad (3)$$

Onde:

In PT é o logaritmo neperiano de fósforo total (mg.L⁻¹);

In Cia é o logaritmo neperiano da clorofila a (mg.m⁻³); e

In DS é o logaritmo neperiano da transparência da água medida através de disco de Secchi (m).

O IET de Carlson original não objetivava a classificação de estado trófico dos corpos d'água. Para tal finalidade, Kratzer e Brezonick (1981 *apud* XAVIER, 2005) classificaram níveis tróficos em função de valores de IET, conforme mostra a Tabela 2.

As Equações 4, 5 e 6 foram propostas por Lamparelli (2004) para o cálculo de IET, fósforo total, clorofila a e global.

$$IET(PT) = 10 \left\{ 6 - \left[1,77 - 0,42 \chi \left(\frac{\ln PT}{\ln 2} \right) \right] \right\} \quad (4)$$

Tabela 1 - Pontos situados no interior dos reservatórios da Pequena Central Hidrelétrica (Rio Bonito e Usina Hidrelétrica Suíça).

Localização	Latitude (UTM)	Longitude (UTM)
Interior do reservatório de Rio Bonito, próximo à barragem	7781.626,53	327.489,38
Interior do reservatório Suíça, próximo à barragem	7778.608,00	335.034,00

UTM: Universal Transversa de Mercator.

Tabela 2 - Classificação do Índice de Estado Trófico de Carlson (1977).

Categoria Estado trófico	IET
Ultraoligotrófico	IET < 20
Oligotrófico	21 < IET ≤ 40
Mesotrófico	41 < IET ≤ 50
Eutrófico	51 < IET ≤ 60
Hipereutrófico	IET > 61

IET: Índice de Estado Trófico.

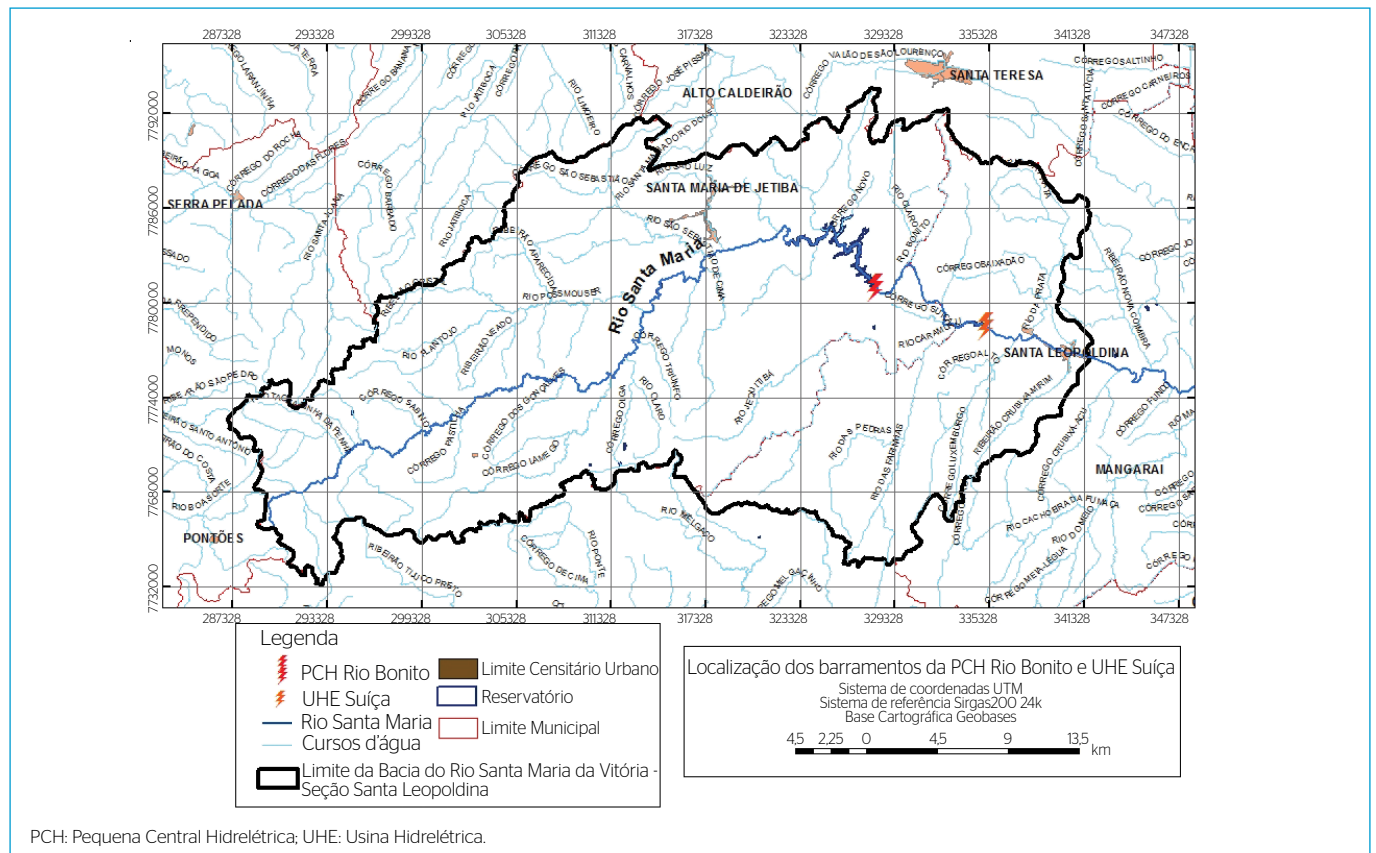


Figura 1 - Localização da Pequena Central Hidrelétrica Rio Bonito e da Usina Hidrelétrica UHE Suíça.

$$IET(Cla) = 10 \left\{ 6 - \left[0,92 - 0,34 \chi \left(\frac{\ln Cla}{\ln 2} \right) \right] \right\} \quad (5)$$

$$IET = \left[\frac{IET(PT) + IET(Cla)}{2} \right] \quad (6)$$

Onde:

Cla é a clorofila total ($\mu\text{g.L}^{-1}$); e

PT é o fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$).

A Tabela 3 apresenta as classes de IET modificado por Lamparelli (2004) para reservatórios, de acordo com transparência, concentrações de fósforo total e clorofila a, e ponderação.

As Equações 7, 8 e 9 foram propostas por Cunha (2012) para o cálculo de IETs para fósforo total, clorofila a e cálculo do IET global.

$$IET(Cla)_{rs} = 10 \left[6 - \left(\frac{-0,2512 \ln Cla + 0,842257}{\ln 2} \right) \right] \quad (7)$$

$$IET(PT)_{rs} = 10 \left[6 - \left(\frac{-0,27637 \ln PT + 1,329766}{\ln 2} \right) \right] \quad (8)$$

$$IET_{rs} = \frac{IET(Cla)_{rs} + IET(PT)_{rs}}{2} \quad (9)$$

Onde:

Cla é a clorofila total ($\mu\text{g.L}^{-1}$); e

PT é o fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$).

A Tabela 4 apresenta os valores de IET associados com as diferentes categorias de grau de trofia, conforme proposto por Cunha, Calijuri e Lamparelli (2013).

Com intuito de analisar a ocorrência do nutriente limitante no processo de eutrofização nos corpos d'água, foi aplicado o método de Redfield, Ketchum e Richards (1963) nos dois reservatórios (Rio Bonito e Suíça), considerando os resultados de campanhas de monitoramento realizadas entre outubro de 2008 e julho de 2014.

Nutriente limitante, de acordo com Von Sperling (2005), é aquele que limita o crescimento de uma determinada população, ou seja, em baixas concentrações do nutriente limitante, o crescimento populacional apresenta-se baixo e vice-versa. A constituição da biomassa algal normalmente pode ser obtida pela relação de Redfield, Ketchum e Richards (1963), que indica que as algas, usualmente, demandam 16 vezes mais do nutriente nitrogênio (N) do que do fósforo (P). As concentrações totais desses dois nutrientes devem ser divididas pelas suas respectivas massas atômicas (14 e 31), sendo depois realizada a razão de N e P para se obter o nutriente limitante. Caso o resultado seja superior a 16, há indicação de que o P será o nutriente limitante, caso contrário, o N será o limitante.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores das precipitações pluviométricas registradas entre janeiro de 2008 e dezembro de 2014 nos pontos pluviométricos localizados a montante dos reservatórios de Rio Bonito e Suíça são apresentados na Figura 2.

Tabela 3 – Classificação segundo Índice de Estado Trófico modificado por Lamparelli (2004).

Categoria Estado trófico	Ponderação	Transparência (m)	Fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Clorofila a ($\mu\text{g.L}^{-1}$)
Ultraoligotrófico	$IET \leq 47$	$S \geq 2,4$	$P \leq 8$	$Cl a \leq 1,17$
Oligotrófico	$47 < IET \leq 52$	$2,4 > S \geq 1,7$	$8 < P \leq 19$	$1,17 < Cl a \leq 3,24$
Mesotrófico	$52 < IET \leq 59$	$1,7 > S \geq 1,1$	$19 < P \leq 52$	$3,24 < Cl a \leq 11,03$
Eutrófico	$59 < IET \leq 63$	$1,1 > S \geq 0,8$	$52 < P \leq 120$	$11,03 < Cl a \leq 30,55$
Supereutrófico	$63 < IET \leq 67$	$0,8 > S \geq 0,6$	$120 < P \leq 233$	$30,55 < Cl a \leq 69,05$
Hipereutrófico	$IET > 67$	$0,6 > S$	$233 <$	$69,05 < Cl a$

IET: Índice de Estado Trófico; S: transparência; P: fósforo; Cla: clorofila a.

Tabela 4 – Classificação segundo Índice de Estado Trófico proposto por Cunha, Calijuri e Lamparelli (2013).

Categoria Estado trófico	IET	Fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Clorofila a ($\mu\text{g.L}^{-1}$)
Ultraoligotrófico	$IET \leq 51,1$	$P \leq 15,9$	$Cl a \leq 2,0$
Oligotrófico	$51,2 < IET < 53,1$	$16 \leq P \leq 23,8$	$2,1 \leq Cl a \leq 3,9$
Mesotrófico	$53,2 < IET \leq 55,7$	$23,9 \leq P \leq 36,7$	$4,0 \leq Cl a \leq 10,0$
Eutrófico	$55,8 < IET \leq 58,1$	$36,8 < IET \leq 63,7$	$10,1 \leq Cl a \leq 20,2$
Supereutrófico	$58,2 \leq IET \leq 59$	$63,8 \leq P \leq 77,6$	$20,3 \leq Cl a \leq 27,1$
Hipereutrófico	$IET \geq 59,1$	$P \geq 77,1$	$Cl a \geq 27,2$

IET: Índice de Estado Trófico; P: fósforo; Cla: clorofila a.

No posto pluviométrico mais próximo do reservatório de Rio Bonito, nos meses de outubro de 2009, dezembro de 2010 e dezembro de 2013 foram registrados os maiores totais mensais precipitados (383, 528 e 799 mm, respectivamente). No posto mais próximo do reservatório de Suíça, os meses que apresentaram os maiores totais mensais precipitados foram: novembro de 2008 (491,80 mm), janeiro de 2009 (346,50 mm) e novembro de 2010 (463,6 mm).

Trindade e Mendonça (2014), ao analisar a série histórica de precipitações pluviométricas para a estação mais próxima do reservatório Suíça, que abrange o período 1960 a 2009, constatou que o semestre com maior precipitação pluviométrica corresponde aos meses de outubro a março, e o semestre com menores precipitações abrange os meses de abril a setembro. No presente estudo, verificou-se que o mesmo pode ser afirmado para o período 2010 a 2014.

A Tabela 5 apresenta os resultados da aplicação do método de Redfield nos reservatórios de Rio Bonito e Suíça.

Para 89,5% das campanhas realizadas no reservatório Rio Bonito, o P resultou como nutriente limitante. Para todas as campanhas realizadas no reservatório Suíça, o P apresentou-se como nutriente limitante.

A Tabela 6 apresenta as classificações de estado trófico segundo os IET médios de Carlson (1977), Lamparelli (2004) e Cunha, Calijuri e Lamparelli (2013) para o reservatório de Rio Bonito.

Números e percentagens de campanhas correspondentes a diferentes classes de estado trófico para o reservatório de Rio Bonito, segundo os IETs de Carlson (1977), Lamparelli (2004) e Cunha, Calijuri e Lamparelli (2013), são apresentados na Tabela 7.

O IET de Carlson (1977) classificou o reservatório Rio Bonito como eutrófico para 57,9% das campanhas.

Os IETs de Lamparelli (2004) e Cunha, Calijuri e Lamparelli (2013) classificaram o estado trófico de Rio Bonito predominantemente como ultraoligotrófico ou oligotrófico (63,2% para ambos modelos).

Os valores de concentrações de P total no interior do reservatório de Rio Bonito nas campanhas realizadas em novembro de 2010, fevereiro de 2011, maio de 2011, fevereiro de 2012, maio de 2012, abril de 2013 e outubro de 2013 foram superiores a $0,030 \text{ mg.L}^{-1}$, limite máximo preconizado pela Resolução Conama nº 357/05 para as águas doces de classe 2 em ambientes léticos.

As campanhas para as quais o IET médio (IETm) de Carlson (1977) indicou condições eutróficas para o reservatório de Rio Bonito ocorreram predominantemente no semestre chuvoso (outubro a março).

O IET de Lamparelli (2004) classificou o reservatório de Rio Bonito como eutrófico nas campanhas realizadas em novembro de 2010 e outubro de 2013, em períodos de altas precipitações pluviométricas. Para as demais campanhas, os estados tróficos foram classificados como ultraoligotrófico (principalmente em períodos de estiagem), oligotrófico ou mesotrófico.

Pelo IET de Cunha, Calijuri e Lamparelli (2013), para a campanha de outubro de 2013, na qual foi registrada a maior concentração de clorofila a, o reservatório foi classificado como supereutrófico. Para a mesma campanha, os IETs de Lamparelli (2004) e Carlson (1977) classificaram o corpo d'água como eutrófico.

O IET proposto por Cunha, Calijuri e Lamparelli (2013) indicou cinco níveis de trofia para o reservatório de Rio Bonito. A classe

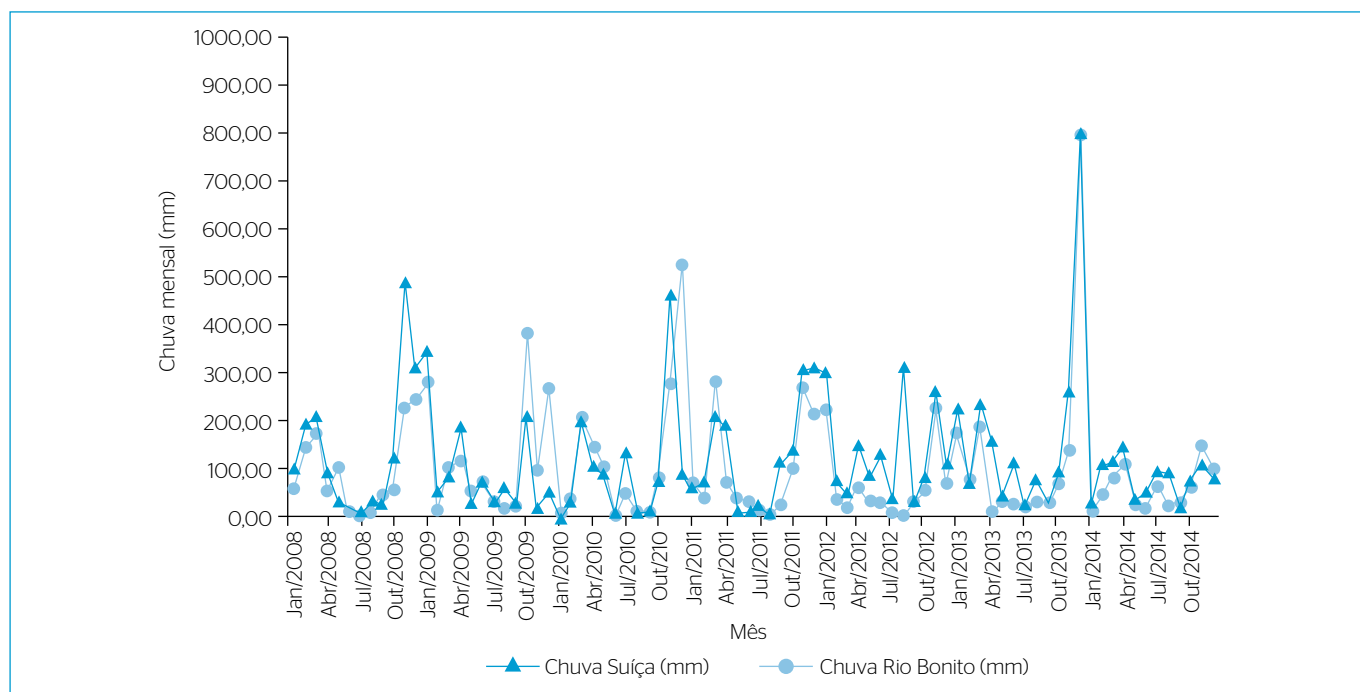


Figura 2 - Precipitação pluviométrica nas proximidades dos reservatórios da Pequena Central Hidrelétrica Rio Bonito e Usina Hidrelétrica Suíça, de 2008 a 2014.

correspondente à maior percentagem foi ultraoligotrófica (47,4%). Considerando os valores calculados pelo IET de Carlson (1977), a classe eutrófica predominou (57,9% das campanhas).

A Tabela 8 apresenta as classificações dos estados tróficos segundo os IETm de Carlson (1977), Lamparelli (2004) e Cunha, Calijuri e Lamparelli (2013) para o reservatório de Suíça.

Números e percentagens de campanhas correspondentes a diferentes classes de estado trófico para o reservatório de Suíça, segundo os IETs de Carlson (1977), Lamparelli (2004) e Cunha, Calijuri e Lamparelli (2013), são apresentados na Tabela 9.

O IET de Carlson (1977) classificou o reservatório Suíça como ultraoligotrófico ou oligotrófico para 30% das campanhas e como eutrófico para 40% das campanhas.

Os IETs de Lamparelli (2004) e Cunha, Calijuri e Lamparelli (2013) classificaram o estado trófico de Suíça predominantemente como ultraoligotrófico ou oligotrófico (85 e 90%, respectivamente).

O IET de Cunha, Calijuri e Lamparelli (2013) classificou o reservatório Suíça como ultraoligotrófico, na maioria das campanhas (80%).

Somente para as campanhas de maio de 2011 e janeiro de 2014, os estados tróficos foram classificados como mesotróficos.

Os IETs de Cunha, Calijuri e Lamparelli (2013) e de Lamparelli (2004) enquadraram o reservatório Suíça em três níveis de trofia, destacando-se a classificação ultraoligotrófica (45 e 80% das campanhas, respectivamente). O IET de Carlson (1977) classificou em quatro categorias, destacando-se o estado eutrófico (40%).

As campanhas realizadas no reservatório Suíça em dezembro de 2008, fevereiro de 2009, abril de 2009, novembro de 2010, maio de 2011, agosto de 2012 e janeiro de 2014 apresentaram valores de concentração de P total superiores a 0,030 mg.L⁻¹, limite máximo preconizado pela Resolução Conama nº 357/05 para as águas doces de classe 2 em ambientes lênticos.

As campanhas para as quais o IETm de Carlson (1977) indicou condições eutróficas para o reservatório Suíça ocorreram predominantemente no semestre seco (abril a setembro).

As campanhas para as quais o IET de Lamparelli (2004) indicou condições mesotróficas (maio de 2011, agosto de 2012 e janeiro de 2014) ocorreram em períodos de baixas precipitações.

Tabela 5 - Nutriente limitante, de acordo com o método Redfield, nos reservatórios de Rio Bonito e Suíça.

Mês/ano	Reservatório Rio Bonito		Reservatório Suíça	
	NT/PT	Classificação	NT/PT	Classificação
Out/2008	15,74	Nitrogênio	16,85	Fósforo
Dez/2008	100,53	Fósforo	155,67	Fósforo
Fev/2009	216,4	Fósforo	71,22	Fósforo
Abr/2009	94,95	Fósforo	74,73	Fósforo
Jun/2009	205,71	Fósforo	207,08	Fósforo
Ago/2009	13.447,4	Fósforo	2.265,2	Fósforo
Nov/2010	31,63	Fósforo	110,71	Fósforo
Fev/2011	166,07	Fósforo	221,43	Fósforo
Maio/2011	332,14	Fósforo	254,64	Fósforo
Ago/2011	302,62	Fósforo	903,43	Fósforo
Out/2011	974,29	Fósforo	1.091,6	Fósforo
Fev/2012	221,43	Fósforo	318,86	Fósforo
Maio/2012	3.764,29	Fósforo	221,43	Fósforo
Ago/2012	-	-	361,52	Fósforo
Abr/2013	276,79	Fósforo	235,27	Fósforo
Jul/2013	2.878,57	Fósforo	243,57	Fósforo
Out/2013	13,22	Nitrogênio	6687,1	Fósforo
Jan/2014	398,57	Fósforo	118,41	Fósforo
Abr/2014	2.081,43	Fósforo	175,3	Fósforo
Jul/2014	387,5	Fósforo	2.568,6	Fósforo

NT: nitrogênio total (mg.L⁻¹); PT: fósforo total (mg.L⁻¹).

CONCLUSÕES

Os resultados de classificação do estado trófico dos reservatórios de Rio Bonito e Suíça, por meio de diferentes modelos matemáticos e IET, a partir de resultados de campanhas de monitoramento realizadas entre outubro de 2008 e julho de 2014, indicaram que as classes resultantes podem ser muito diferentes, mesmo a partir de valores de parâmetros registrados em um mesmo ponto e em uma mesma campanha. Em alguns casos, as classes escolhidas pelos diferentes

modelos variaram, para um mesmo ponto e em uma mesma campanha, entre ultraoligotrófico e hipereutrófico.

O IET de Carlson (1977) indicou, predominantemente, maiores graus de eutrofização para os reservatórios de Rio Bonito e Suíça. Cabe observar que esse modelo foi desenvolvido para ambientes temperados. Os demais modelos e índices, desenvolvidos para ambientes subtropicais/tropicais (LAMPARELLI, 2004; CUNHA, 2012), classificaram os estados tróficos principalmente entre oligotrófico e mesotrófico.

Tabela 6 - Classificação dos estados tróficos no Reservatório de Rio Bonito, de outubro de 2008 a julho de 2014.

Mês/ano	PT (mg.L ⁻¹)	Cl _a (µg.L ⁻¹)	IET-Carlson	IET-Lamparelli	IET-Cunha
Out/2008	0,019	1,092	E	O	UO
Dez/2008	0,029	0,819	E	O	UO
Fev/2009	0,009	4,875	E	O	M
Abr/2009	0,017	5,144	E	M	M
Jun/2009	0,010	3,997	M	O	O
Ago/2009	0,001	0,546	O	UO	UO
Nov/2010	0,070	12,600	E	E	E
Fev/2011	0,040	3,700	E	M	O
Mai/2011	0,040	1,300	M	M	UO
Ago/2011	0,030	9,100	E	M	E
Out/2011	0,010	0,270	E	UO	UO
Fev/2012	0,050	2,050	E	M	UO
Mai/2012	0,010	0,320	M	UO	UO
Abr/2013	0,012	1,400	E	O	UO
Jul/2013	0,001	10,400	O	UO	E
Out/2013	0,067	20,200	E	E	SE
Jan/2014	0,002	4,096	M	UO	O
Abr/2014	0,002	6,000	M	O	M
Jul/2014	0,008	0,810	M	UO	UO

UO: ultraoligotrófico; O: oligotrófico; M: mesotrófico; E: eutrófico; SE: supereutrófico; HE: hipereutrófico; PT: fósforo total; Cl_a: clorofila a; IET: Índice de Estado Trófico.

Tabela 7 - Número e percentagem de campanhas correspondentes a diferentes classes de estado trófico no Reservatório de Rio Bonito, índices de estado trófico de Carlson (1977), Lamparelli (2004) e Cunha, Calijuri e Lamparelli (2013).

Classificação	IET-Carlson	IET-Lamparelli	IET-Cunha
Ultraoligotrófico	-	6 (31,6%)	9 (47,4%)
Oligotrófico	2 (10,5%)	6 (31,6%)	3 (15,8%)
Mesotrófico	6 (31,6%)	5 (26,3%)	3 (15,8%)
Eutrófico	11 (57,9%)	2 (10,5%)	3 (15,8%)
Supereutrófico	-	-	1 (5,3%)
Hipereutrófico	-	-	-

IET: Índice de Estado Trófico.

Tabela 8 - Classificação dos estados tróficos no Reservatório de Suíça, de outubro de 2008 a julho de 2014.

Mês/ano	PT (mg.L ⁻¹)	Cl _a (µg.L ⁻¹)	IET-Carlson	IET-Lamparelli	IET-Cunha
Out/2008	0,0184	1,3651	E	O	UO
Dez/2008	0,0330	0,0010	O	UO	UO
Fev/2009	0,0370	0,5460	E	O	UO
Abr/2009	0,0320	0,6060	E	O	UO
Jun/2009	0,0108	1,6380	E	O	UO
Ago/2009	0,0010	0,0100	UO	UO	UO
Nov/2010	0,0400	0,6000	M	O	UO
Fev/2011	0,0100	1,4000	M	O	UO
Mai/2011	0,0400	2,8000	E	M	M
Ago/2011	0,0100	4,9000	E	O	O
Out/2011	0,0100	0,1300	M	UO	UO
Fev/2012	0,0300	0,1000	M	UO	UO
Mai/2012	0,0200	0,1000	M	UO	UO
Ago/2012	0,0490	1,0500	E	M	O
Abr/2013	0,0160	0,5460	M	O	UO
Jul/2013	0,0010	0,8100	O	UO	UO
Out/2013	0,0010	1,0920	O	UO	UO
Jan/2014	0,0380	3,2760	E	M	M
Abr/2014	0,0180	0,0010	O	UO	UO
Jul/2014	0,0010	0,5400	O	UO	UO

UO: ultraoligotrófico; O: oligotrófico; M: mesotrófico; E: eutrófico; SE: supereutrófico; HE: hipereutrófico; PT: fósforo total; Cl_a: clorofila a; IET: Índice de Estado Trófico.

Tabela 9 - Número e percentagem de campanhas correspondentes a diferentes classes de estado trófico no Reservatório de Suíça, índices de estado trófico de Carlson (1977), Lamparelli (2004) e Cunha, Calijuri e Lamparelli (2013).

Classificação	IET-Carlson	IET-Lamparelli	IET-Cunha
Ultraoligotrófico	1 (5,0%)	9 (45,0%)	16 (80,0%)
Oligotrófico	5 (25,0%)	8 (40,0%)	2 (10,0%)
Mesotrófico	6 (30,0%)	3 (15,0%)	2 (10,0%)
Eutrófico	8 (40,0%)	-	-
Supereutrófico	-	-	-
Hipereutrófico	-	-	-

IET: Índice de Estado Trófico.

Os resultados quantitativos, do IET desenvolvido por Cunha (2012), e qualitativos, propostos por Cunha, Calijuri e Lamparelli (2013), para os reservatórios da PCH Rio Bonito e UHE Suíça, apresentaram-se próximos daqueles obtidos por meio do IET de Lamparelli (2004) (modelo de referência adotado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB).

A classificação de estado trófico variou significativamente em função das precipitações pluviométricas nos períodos de tempo anteriores às campanhas e com os parâmetros de qualidade de água considerados pelos modelos.

O fato de o reservatório Suíça se localizar a jusante do reservatório Rio Bonito conduziu a classificação em graus e classes de trofia geralmente inferiores às correspondentes a esse último, considerando mesmos modelos e parâmetros, muito provavelmente pelo fato desse último reservatório funcionar como um sistema de tratamento precário, causando redução da carga poluidora que aflui ao reservatório a jusante.

A grande variedade de classes escolhidas por meio dos diferentes modelos indica a importância da escolha adequada de modelos e índices, de acordo com as condições prevalentes nos corpos hídricos de interesse.

Considerando diversas classificações, por diferentes modelos, para diferentes pontos e campanhas, dos estados tróficos dos reservatórios como eutróficos, hipereutróficos e supereutróficos, recomenda-se implantação de estações de tratamento eficientes na remoção de nutrientes e controle de fontes de poluição difusa na parte da bacia do Rio Santa Maria da Vitória, cujas águas drenadas se dirigem para os reservatórios.

Recomenda-se, ainda, o desenvolvimento de estudos semelhantes para outros reservatórios brasileiros para escolha ou desenvolvimento de modelos ou índices mais apropriados para classificação de estados tróficos de reservatórios localizados no estado.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, J.A.F.; SALES, R.J.M.; SOUZA, R.O. (2013) Risco de eutrofização em reservatórios de regiões semiáridas com uso da teoria dos conjuntos difusos. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, v. 10, n. 1.
- CARLSON, R.E. (1977) A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*, v. 22, n. 2, p. 361-369.
- CUNHA, D.G.F. (2012) *Heterogeneidade espacial e variabilidade temporal do reservatório de Itupararanga: uma contribuição ao manejo sustentável dos recursos hídricos da bacia do Rio Sorocaba (sp)*. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Carlos.
- CUNHA, D.G.F.; CALIJURI, M. do C.; LAMPARELLI, M.C. (2013) A Trophic State Index for Tropical/subtropical Reservoirs (TSI_{tr}). *Ecological Engineering*, v. 60, p. 126-134.
- EDP. *Monitoramento limnológico e da qualidade da água da área de influência da PCH de Rio Bonito*. Vitória: Escelsa, 2014a.
- _____. *Monitoramento limnológico e da qualidade da água da área de influência da UHE Suíça*. Vitória: Escelsa, 2014b.
- JORGENSEN, S.E.; RAST, H.L.W.; STRASKRABA, M. (2006) *Lake and reservoir management*. Estados Unidos: Elsevier Science.
- LAMPARELLI, M.C. (2004) *Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento*. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo.
- LIU, H.; 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. 29, p. 13829-13838.
- PEREIRA, P.S.; VEIGA, B.V.; DZIEDZIC, M. (2013) Avaliação da Influência do Fósforo e do Nitrogênio no Processo de Eutrofização de Grandes Reservatórios. Estudo de Caso: Usina Hidrelétrica Foz do Areia. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 18, n. 1, p. 43-52.
- REDFIELD, A.C.; KETCHUM, B.H.; RICHARDS, F.A. (1963) The Influence of organisms on the composition of sea water. In: HILL, M.N. (Org.). *The sea*. New York: Interscience.
- TRINDADE, P.B.C.B.; MENDONÇA, A.S.F. (2014) Eutrofização em Reservatórios: Estudo de Caso: Reservatório de Rio Bonito (ES). *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 19, n. 3, p. 275-282.
- TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. (2008) *Limnologia*. São Paulo: Oficina de Textos.
- VON SPERLING, E.; FERREIRA, A.C.S.; GOMES, L.N.L. (2008) Comparative Eutrophication Development in Two Brazilian Water Supply Reservoirs with Respect to Nutrient Concentrations and Bacteria Growth. *Desalination*, v. 226, n. 1-3, p. 169-174.
- VON SPERLING, M. (2005) *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais. v. 1. 452 p.
- XAVIER, C. da F. (2005) *Avaliação da influência do uso e ocupação do solo e de características geomorfológicas sobre a qualidade das águas de dois reservatórios da região metropolitana de Curitiba - Paraná*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.