

VARIAÇÃO ESPAÇO TEMPORAL DA QUALIDADE DA ÁGUA DE RESERVATÓRIO  
EM EMPREENDIMENTO HIDRELÉTRICO

DOI: <https://doi.org/10.56041/9786599841804-5>

BROL, Assis F.\*

Aquática Consultoria Ambiental

<https://orcid.org/0000-0003-1906-6141>

DELMORAL, Ana Paula G.

Universidade do Contestado

<https://orcid.org/0000-0001-9245-1519>

LONGO, Izaquiel

Companhia Brasileira de Alumínio

<https://orcid.org/0000-0003-2640-6589>

WASKIEWIC, Maikon E.

Aquática Consultoria Ambiental

<https://orcid.org/0000-0002-1747-2640>

\*Autor correspondente: [afbassisfbrol@gmail.com](mailto:afbassisfbrol@gmail.com), Aquática Consultoria Ambiental, Travessa Lamonatto, 154, Concórdia-SC, 89700-000.

## RESUMO

A qualidade da água é um dos tópicos da agenda dos Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável, e em diversas atividades o monitoramento dos ambientes aquáticos é a ferramenta chave para uma gestão assertiva, especialmente quando envolve grandes empreendimentos como usinas hidrelétricas. Usinas hidrelétricas são construídas por meio do barramento de rios, transformando ambientes lóticos em lênticos, e conseqüentemente alterando a biodinâmica da vida aquática e a qualidade deste ambiente. Para identificar estes impactos, monitora-se a qualidade da água destes reservatórios. Para que os fenômenos limnológicos sejam compreendidos eficientemente, são necessários estudos de longo prazo. Diante disso, o presente estudo objetivou avaliar a qualidade da água temporalmente e na área de influência (espaço) do reservatório da Usina Hidrelétrica Ourinhos (SP). Para isso avaliaram-se dados referentes ao monitoramento da qualidade da água do lago, no período de 2012 a 2018, os quais foram agrupados para gerar o Índice de Estado Trófico (IET) e Índice de Qualidade da Água (IQA). Os resultados indicaram que quanto ao IET, 72% das amostras de água analisadas classificaram-se como meso e oligotróficas. Já para o IQA, 1,7% das amostras classificaram-se como de qualidade regular, enquanto as demais apresentaram qualidade boa ou ótima. De forma geral, a qualidade da água na entrada e na saída do reservatório é semelhante, mostrando que a utilização do monitoramento como ferramenta para a intervenção imediata, quando da ocorrência de perturbações que comprometam tal qualidade, é essencial.

**Palavras-Chave:** UHE Ourinhos; IQA; IET; monitoramento

## 1. INTRODUÇÃO

O aumento da demanda de energia nos últimos anos no Brasil pode ser atribuído ao crescimento populacional, ao processo intensivo de urbanização, ao aumento do poder aquisitivo e a implantação de indústrias de grande porte. Dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (EPE, 2019) indicam um aumento de 1,1% no consumo de energia elétrica no país em 2018 em relação ao ano anterior, totalizando 467.161 gigawatts/hora (GWh).

A maior parte (60,3%) da energia gerada no Brasil é proveniente de usinas hidrelétricas (Silvera et al., 2018). Isso deve-se ao fato de o Brasil possuir um potencial hídrico que favorece a implantação de empreendimentos hidrelétricos visando gerar energia, e desta forma são construídas barragens para o

represamento de rios (Alfredsen et al., 2022). Estes reservatórios transformam ambientes lóticos (rios) em ambientes lênticos (lagos), o que conseqüentemente altera de maneira considerável a biodinâmica da vida aquática e também a qualidade deste ambiente (Jawad, 2021). Essas alterações ocorrem a montante e a jusante da barragem, e também verticalmente na coluna d'água (Beck et al., 2012). No entanto, a qualidade da água pode ser influenciada pelas atividades desenvolvidas no entorno do reservatório, as quais podem ser responsáveis pela entrada de poluentes no lago (Samiotis et al., 2018).

Alguns estudos mostram que os poluentes podem acumular-se mais facilmente em ambientes lênticos do que em ambientes lóticos, devido ao tempo de retenção destas águas (Jawad, 2021), porém é apontado que os reservatórios têm grande capacidade de autodepuração (de Groot et al., 2002).

Para minimizar os impactos negativos desencadeados pelo barramento dos rios, a companhia responsável pela administração de cada barragem monitora estratégica e constantemente a qualidade da água, incluindo avaliação de parâmetros físicos, químicos e biológicos da água do reservatório. A vigilância desses ambientes é importante para a compreensão dos processos limnológicos, e também para atividades econômicas realizadas com essa água, como irrigação, pesca ou atividades recreativas (Galizia Tundisi, 2018). Monitorar a qualidade da água, e melhorar esta qualidade quando houver necessidade é um dos tópicos da agenda dos Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável (Bhaduri et al., 2016). Uma vez que o ambiente aquático é ponto de conexão entre diversos ecossistemas, teias alimentares, dispersão de patógenos, e outras inúmeras atividades.

Os parâmetros de qualidade da água podem ser analisados individual ou matematicamente integrados por meio de índices ambientais como o Índice de Estado Trófico (IET) e o Índice de Qualidade da Água (IQA), estes permitem a avaliação espacial e temporal do ambiente (CETESB, 2017; Lamparelli, 2004). Além disso, estudos a longo prazo são de grande importância para entender o comportamento ecológico do ambiente e também uma ferramenta para tomar decisões que melhorem a qualidade da água.

Neste contexto, o rio Paranapanema torna-se objeto de estudo por ser um importante afluente do alto Rio Paraná, localizado na divisa dos estados de São Paulo e Paraná, com 11 barragens construídas ao longo dos 929 km de extensão. A mais recente das barragens construídas neste rio foi a Usina Hidrelétrica de Ourinhos, a qual começou a operar em 2005 (Arcifa et al., 2012). Considerando a importância de estudos de longo prazo em reservatórios construídos, o presente estudo teve como objetivo analisar as mudanças

espaço-temporais na qualidade da água do reservatório da Usina Hidrelétrica de Ourinhos (SP) durante sete anos.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo e amostragem de água

O objeto deste estudo é a água do reservatório da barragem da Usina Hidrelétrica de Ourinhos (SP), construída pelo barramento do rio Paranapanema, tendo entrado em operação em 2005. As amostras de água foram coletadas durante as estações de outono (maio) e primavera (novembro) de 2012 a 2018. Para o monitoramento foram elencadas oito estações de coleta (Figura 1), de modo a representar os diferentes ambientes aquáticos do reservatório. As características de cada estação de coleta estão descritas na Tabela 1. As estações de coleta são descritas seguindo o fluxo do rio: EC04, EC05, EC03, EC01, EC07, EC08, EC02, EC06.

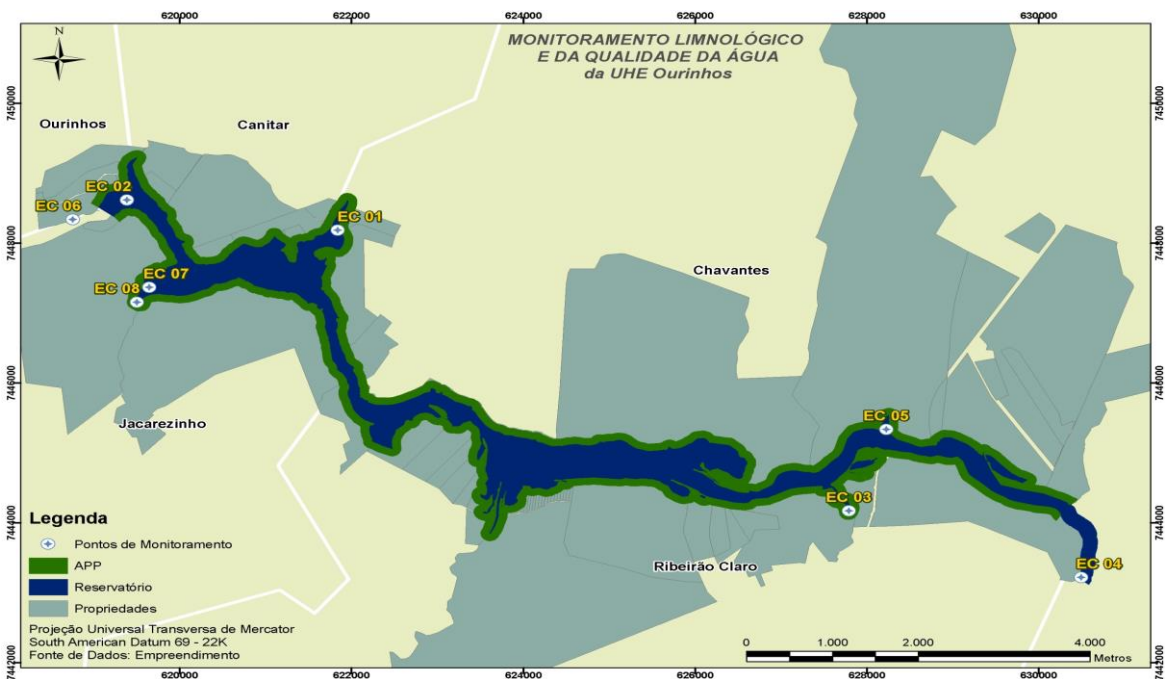


Figura 1 – Estações de coleta de água distribuídas na área do reservatório da Usina Hidrelétrica de Ourinhos (SP).

Tabela 1 – Características das estações de coleta, na área do reservatório da Usina Hidrelétrica de Ourinhos (SP).

Estações	Coordenada (UTM 22K)	Características das Estações de Coleta
EC 04	630498 7443214	Ambiente profundo, lótico, com vegetação marginal preservada; substrato arenoso e pedregoso; troncos submersos presentes nas margens. Amostragem realizada no corpo do reservatório.
EC 05	628229 7445331	Ambiente raso, lântico, com vegetação marginal pouco preservada; substrato arenoso, plantas aquáticas presentes. Amostragem realizada na zona de mistura do afluente e o rio Paranapanema.
EC 03	627793 7444168	Ambiente raso, intermediário, com vegetação marginal preservada; substrato arenoso, plantas aquáticas presentes em quase toda sua extensão; troncos submersos evidentes em toda área. Amostragem realizada na zona de mistura do afluente e o rio Paranapanema.
EC 01	621840 7448181	Ambiente lântico, com vegetação marginal moderadamente preservada; substrato arenoso, com presença de macrófitas flutuantes e enraizadas (ligação do rio realizada com duto); presença de troncos submersos. Amostragem realizada na zona de mistura do afluente e o rio Paranapanema.
EC 07	619645 7447361	Ambiente raso, lântico, com vegetação marginal preservada; substrato arenoso, plantas aquáticas presentes nas margens. Amostragem realizada na zona de mistura do afluente e o rio Paranapanema.
EC 08	619501 7447151	Ambiente raso, intermediário, com vegetação marginal preservada; substrato arenoso, plantas aquáticas presentes em toda a extensão. Amostragem realizada na lagoa do córrego antes da mistura com o rio Paranapanema.
EC 02	619387 7448611	Ambiente lântico, com vegetação marginal preservada; substrato pedregoso (área de bota-fora); presença de troncos submersos e plantas aquáticas nas margens. Amostragem realizada no reservatório.
EC 06	618758 7448333	Ambiente lótico, com substrato pedregoso; pouca vegetação marginal; área utilizada para lazer. Amostragem realizada no reservatório.

## 2.2 Parâmetros avaliados para qualidade da água

Para a realização deste estudo foram utilizados laudos de análises físico-químicas e microbiológicas da água, já disponíveis no acervo técnico de uma empresa de consultoria e assessoria ambiental. Todos os parâmetros avaliados estão apresentados na Tabela 2. As análises foram realizadas

em laboratório com credenciamento quanto a NBR ISO/IEC 17025, seguindo metodologia do Standard Methods (APHA, 2012).

Tabela 2 - Parâmetros avaliados nas estações de coleta e os métodos utilizados no monitoramento das águas do reservatório da Usina Hidrelétrica de Ourinhos (SP).

	Parâmetros	Métodos analíticos
Microbiológico	Coliformes termotolerantes	SMWW 9222D
Físico-químico	Carbono Total	SMWW 5310A/5310B
	DBO <sub>5</sub>	SMWW 5220D
	Clorofila- <i>a</i>	SMWW 10200H
	Cor	SMWW 2120C
	Fósforo Total	USEPA 6010C
	Oxigênio Dissolvido	OXÍMETRO (DIRETO)
	pH	PHMETRO (DIRETO)
	Sólidos Totais	SMWW 2540 B
	Temperatura da água	TERMISTER (DIRETO)
	Turbidez	SMEWW 2130B
	Transparência da água	DISCO DE SECCHI (DIRETO)
Ambiental	Precipitação	ESTAÇÃO UHE OURINHOS

### 2.3 Índices de qualidade ambiental – IET

Para o cálculo do IET foram consideradas as concentrações de fósforo total e clorofila *a* (Lamparelli, 2004), seguindo as relações matemáticas descritas nas equações I, II, para as estações de coleta localizadas em ambiente de rio e as equações III, IV e V para as estações de coleta localizadas em ambiente do reservatório.

#### Rios

$$\text{IET (CL)} = 10 \times (6 - ((-0,7 - 0,6 \times (\ln \text{CL})) / \ln 2)) - 20 \quad (\text{Eq. I})$$

$$\text{IET (PT)} = 10 \times (6 - ((0,42 - 0,36 \times (\ln \text{PT})) / \ln 2)) - 20 \quad (\text{Eq. II})$$

#### Reservatórios

$$\text{IET (CL)} = 10 \times (6 - ((0,92 - 0,34 \times (\ln \text{CL})) / \ln 2)) \quad (\text{Eq. III})$$

$$\text{IET (PT)} = 10 \times (6 - (1,77 - 0,42 \times (\ln \text{PT})) / \ln 2)) \quad (\text{Eq. IV})$$

onde:

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

CL: concentração de clorofila a medida à superfície da água, expressa em  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ;

ln: logaritmo natural.

A expressão final do índice é:

Equação V.

$$IET = \frac{IET(CL) + IET(PT)}{2}$$

Conforme os resultados obtidos por meio dos cálculos, o ambiente aquático avaliado recebe classificação distinta referente ao seu nível trófico (Tabela 3).

Tabela 3 – Classificação para determinação de nível trófico com base no cálculo de IET.

Nível Trófico	IET	Características
Ultraoligotrófico	$<47$	Corpos d'água limpos, com baixíssimas concentrações de nutrientes.
Oligotrófico	$47 < IET \leq 52$	Corpos d'água limpos, baixa produtividade primária, sem interferir no uso da água.
Mesotrófico	$52 < IET \leq 59$	Corpos d'água limpos, com produtividade primária intermediária podendo interferir na qualidade e uso da água.
Eutrófico	$59 < IET \leq 63$	Corpos d'água com alta produtividade primária, redução da transparência da água ao longo da coluna d'água, comprometimento dos múltiplos usos da água.
Supereutrófico	$63 < IET \leq 67$	Corpos d'água com alta produtividade primária, baixa transparência da água ao longo da coluna d'água, floração de algas e interferência nos usos da água.
Hipereutrófico	$>67$	Corpos d'água com altas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, comprometimentos no uso da água e da comunidade ictiofaunística.

Fonte: (Lamparelli, 2004).

## 2.4 Índice de qualidade ambiental - IQA

O Índice da Qualidade da Água (IQA) constitui-se da integração de variáveis físicas (temperatura, turbidez e sólidos totais), químicas (pH, nitrogênio e fósforo total, DBO e oxigênio dissolvido) e microbiológicas (coliformes termotolerantes) (CETESB, 2017). Os dados de sub superfície das estações de

coleta foram utilizados para o cálculo do Índice de Qualidade de Água (IQA). Para tanto, considerou-se o nível de importância de cada parâmetro abordado, atribuindo-os pesos distintos previstos na literatura (Libânio, 2016), conforme descrito na Tabela 4.

Tabela 4 - Parâmetros utilizados para o cálculo do Índice de Qualidade da Água (IQA) com seus respectivos pesos.

Parâmetros (unidades)	Pesos
Oxigênio dissolvido (mg·L <sup>-1</sup> )	17
Coliformes termotolerantes (NMP 100·mL <sup>-1</sup> )	15
pH	12
Fósforo total (mg·L <sup>-1</sup> )	10
Nitrogênio total (mg·L <sup>-1</sup> )	10
Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO (mg·L <sup>-1</sup> )	10
Temperatura (°C)	10
Turbidez (UNT)	08
Sólidos totais (mg·L <sup>-1</sup> )	08

Fonte: (CETESB, 2017; Libânio, 2016).

O IQA é calculado a partir das relações matemáticas descritas na Equação I.

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$$

Equação I.

onde:

IQA: Índice de Qualidade das Águas, um número entre 0 e 100;

qi: qualidade do i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida.

wi: peso correspondente ao i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade.

n: número de variáveis utilizadas no cálculo do IQA.



Conforme os valores obtidos no cálculo, as águas podem ser classificadas em cinco categorias que classificam as águas em: Ótima, Boa, Regular, Ruim e Péssima (Tabela 5)(CETESB, 2017), a partir do cálculo efetuado.

Tabela 5 - Categorias do Índice de Qualidade da Água baseadas nos limites ponderais calculados.

<b>Categoria</b>	<b>Ponderação</b>
Ótima	79 < IQA ≤ 100
Boa	51 < IQA ≤ 79
Regular	36 < IQA ≤ 51
Ruim	19 < IQA ≤ 36
Péssima	IQA ≤ 19

Fonte: (CETESB, 2017).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A constante ampliação na demanda de energia no Brasil, necessária ao seu desenvolvimento, implica em um maior aproveitamento dos rios para fins energéticos. A formação de reservatórios com tal finalidade tem potencial de causar alterações nos parâmetros de qualidade das águas, através das características pedológicas, declividade, tipo de uso e cobertura do solo do entorno do lago e regime pluviométrico que carrega sedimentos e compostos químicos para o reservatório (Badar et al., 2013).

Conhecer as mudanças espaciais e temporais da qualidade da água, pelo acompanhamento de processos físicos, químicos e biológicos auxilia no gerenciamento integrado dos usos múltiplos do recurso, o monitoramento da qualidade da água uma ferramenta importante para subsidiar a elaboração de planos de manejo para o sistema de gestão.

Os resultados para os parâmetros analisadas no presente estudo mostram que, de modo geral, 90% das amostras coletadas apresentaram valores no limite permitido pela legislação ambiental brasileira (CONAMA, 2005). Ao longo do período amostrado a temperatura média da água foi de 22 ( $\pm 3,2$ ) e 23,8 °C ( $\pm 2,6$ ) para as campanhas realizadas nos períodos de outono e primavera, respectivamente. O potencial hidrogeniônico (pH), na totalidade das campanhas amostrais, manteve-se nos limites estabelecidos pela resolução (CONAMA, 2005), a qual determina que este deve ser igual ou superior a 6 e igual ou inferior a 9. A pouca variação na temperatura deve-se ao fato do reservatório localizar-se em uma região de clima tropical, com inverno seco, onde em períodos frios a temperatura média permanece acima de 18,0°C (Da Silva e Souza et al., 2019).

Já a faixa média de penetração luminosa na coluna d'agua no período de outono foi de 2,53 m, variando de 1,39 m (EC08) a 4,01 m (EC04). Para as amostragens realizadas durante a primavera, a média foi de 1,98 m ( $\pm 0,74$ ), variando de 0,7 (EC08) a 3,16 m (EC04). Os dados referentes a turbidez apresentaram valores médios de 4,22 ( $\pm 0,72$ ) e 6,3 ( $\pm 3,6$ ) NTU no outono e na primavera, respectivamente. A profundidade de penetração luminosa é inversamente proporcional a quantidade de material particulado suspenso, sendo este último geralmente associado ao aporte de material proveniente do entorno do lago, carregado durante eventos hidrológicos (Pilla et al., 2018). Desta forma, o acompanhamento destes parâmetros ajudam a entender diversos processos ecológicos do reservatório (Chen et al., 2007), uma vez que a luminosidade é fundamental para processos de produção primária de fitoplâncton, o qual representa a base da cadeia alimentar de todo o ecossistema aquático (Davies et al., 2008; Lee et al., 2015).

#### 4.1 Índice de qualidade ambiental - IET

Quanto aos parâmetros relacionados a eutrofização, como a concentração de clorofila  $\alpha$ , os resultados apresentaram-se abaixo do limite máximo determinado pela legislação ( $30 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ) (CONAMA, 2005) durante todo o período de monitoramento. No entanto, a concentração de fósforo apresentou desconformidade com a mesma legislação (máximo  $0,05 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  para ambientes lóticos e  $0,03 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  para ambientes lênticos) em 40% das amostras (Figura 2).

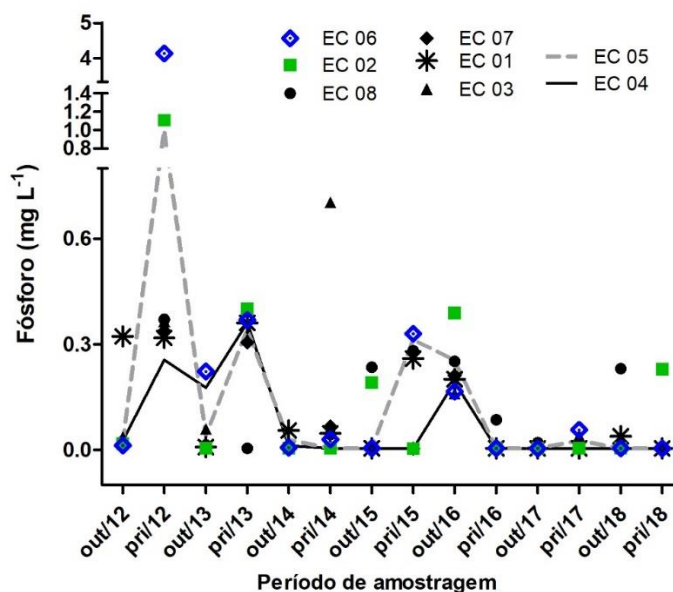


Figura 2 - Concentração de fósforo nas amostras de água coletadas ao longo do período de estudo.

Considerando que o fósforo é o principal fator limitante para a floração de algas, esse parâmetro é utilizado para os cálculos de IET com a clorofila *a* para indicar a magnitude do grau de eutrofização (Libânio, 2016). No presente estudo, este índice foi calculado de modo a avaliar cada estação de coleta ao longo de todo o período amostral, sendo os resultados apresentados no Quadro 1. Observa-se que, de forma geral, os valores de IET encontrados, permitem a classificação das amostras de água das estações de coleta como Oligotróficas e Mesotróficas, sendo estas classificações observadas em 72% das amostras.

Entre as estações de coleta, destaca-se negativamente a EC08, como a mais eutrofizada, apresentando uma piora sistemática e gradativa ao longo do tempo, o que pode estar relacionado ao ciclo de vida das macrófitas presentes neste ambiente. As características ambientais desta estação diferenciam-na das demais estações de coleta por localizar-se em uma lagoa marginal a qual conecta-se ao corpo principal do reservatório por meio de uma tubulação, permitindo apenas o fluxo de água e restringindo a comunidade de macrófitas. Esta condição de restrição, aliada a disponibilidade de nutrientes provida pelo córrego Laranjal (afluente desta lagoa marginal), favorecem a reprodução das macrófitas. As macrófitas, independentemente de sua espécie, desempenham funções importantes em ecossistemas represados como produtoras primárias, na estocagem e ciclagem de nutrientes, na liberação de detritos orgânicos e utilizadas como abrigo e alimento para a fauna aquática (Jones et al., 2020). Ademais, quando completam o ciclo de vida, a biomassa resultante da morte das plantas acumula-se ao sedimento, tornando-se fonte de nutrientes para novas gerações de macrófitas. Dependendo da quantidade de biomassa (g), haverá alteração em diversos parâmetros da qualidade da água, como pH, OD, formas nitrogenadas e fosfatadas, além de servirem como fonte de carbono para micro-organismos e alterar significativamente a comunidade bacteriana responsável pela decomposição desta biomassa (Libânio, 2016)

Na campanha amostral realizada na primavera de 2012, cinco estações de coleta, entre as oito monitoradas, foram classificadas como supereutróficas. Considerando que todas as estações de coleta apresentaram alteração na qualidade da água, atribui-se a um fator comum como elevado nível de precipitação em toda a área de abrangência do reservatório, que possivelmente carregou nutrientes de áreas adjacentes, que neste período estavam sendo preparadas para o cultivo agrícola, onde são utilizados fertilizantes a base de fósforo (Viancelli et al., 2015), uma vez que 34,5% da área da bacia é ocupada com áreas agrícolas (culturas temporárias e permanentes); 36,3% com pastagens; e 8,3% com silvicultura,

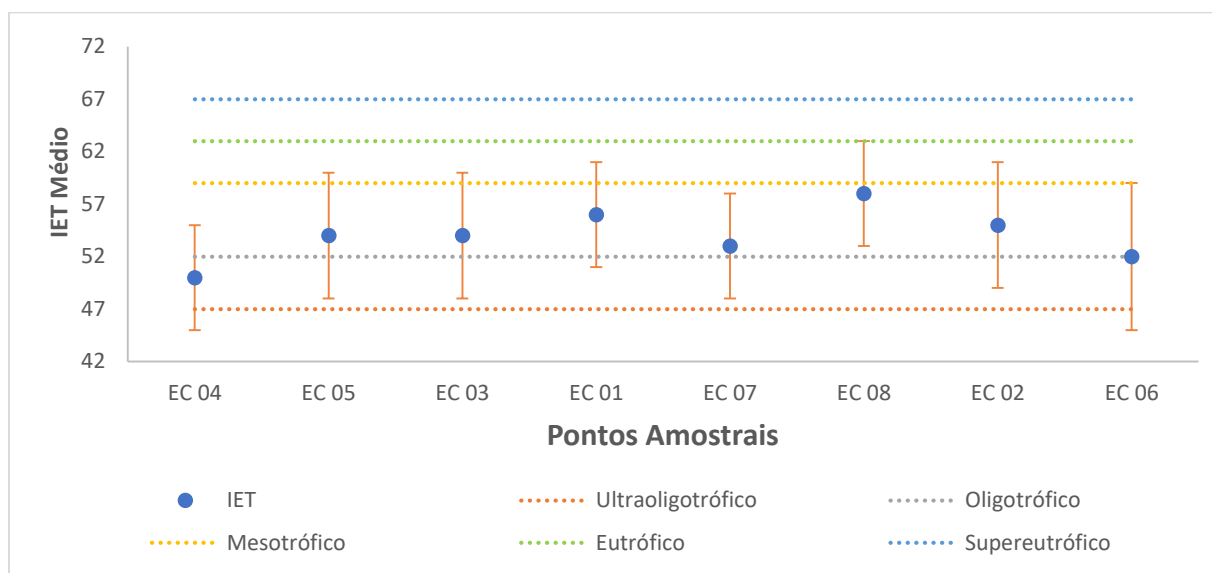
totalizando 79,1%, indicando um alto grau de uso agropecuário (Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema, 2016).

**Quadro 1** - Valores de IET e suas respectivas classificações para as amostras de água coletadas nos diferentes pontos ao longo do período de estudo. Out= Outono, Pri= Primavera.

	2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018	
	Out	Pri	Out	Pri	Out	Pri	Out	Pri	Out	Pri	Out	Pri	Out	Pri
EC 01	60	63	52	64	58	57	50	62	50	51	50	55	57	51
EC 02	48	67	51	64	51	50	61	50	50	51	55	55	50	62
EC 03	52	64	58	63	52	66	50	50	50	51	50	55	50	51
EC 04	42	58	57	59	51	48	47	47	47	48	47	52	50	48
EC 05	52	67	57	63	56	50	50	63	50	51	50	55	50	51
EC 06	40	66	58	59	49	53	47	59	47	48	47	52	50	48
EC 07	48	63	52	63	52	58	50	50	50	51	50	55	50	51
EC 08	51	64	54	51	51	57	62	63	59	59	55	55	62	68
<b>Nível Trófico</b>									<b>IET</b>					
<b>Ultraoligotrófico</b>									<b>&lt;47</b>					
<b>Oligotrófico</b>									<b>47&lt;IET≤52</b>					
<b>Mesotrófico</b>									<b>52&lt;IET≤59</b>					
<b>Eutrófico</b>									<b>59&lt;IET≤63</b>					
<b>Supereutrófico</b>									<b>63&lt;IET≤67</b>					
<b>Hipereutrófico</b>									<b>&gt;67</b>					

No entanto, quando observados os valores médios de IET ao longo de todo o período amostral (Figura 3), é possível inferir que o grau trófico na entrada (EC04) e saída (EC06) do reservatório é semelhante.

Isso demonstra que o ambiente deste reservatório está propenso a mudança em sua qualidade, no entanto, devido ao programa de monitoramento é possível observar essas alterações e intervir pontualmente identificando o que está causando estas alterações, e no caso de contribuições antrópicas, tomar medidas que cessem tais contribuições. Em casos de crescimento excessivo de macrófitas, pode-se realizar a remoção mecânica das plantas, para reestabelecer a boa qualidade e manutenção da vida aquática.



**Figura 3** – Índice de Estado Trófico médio e desvio padrão nos diferentes pontos de amostragem ao longo do período de estudo.

### 3.2 Índice de qualidade ambiental – IQA

No quadro 2 estão apresentados os valores do IQA nas estações de coletas, e suas respectivas classificações.

**Quadro 2** – Índice da qualidade da água (IQA) das diferentes estações amostrais ao longo do tempo. Out= outono, Pri = primavera.

	2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018	
	Out	Pri	Out	Pri	Out	Pri	Out	Pri	Out	Pri	Out	Pri	Out	Pri
EC 04	94	86	85	83	84	89	85	89	85	88	87	87	89	75
EC 05	84	72	76	83	80	80	82	80	78	84	80	80	82	74
EC 03	86	82	51	80	75	68	84	83	78	82	81	81	80	79
EC 01	87	83	86	76	82	76	84	66	78	90	85	85	84	83
EC 07	87	82	84	80	84	76	80	76	81	91	82	82	80	82
EC 08	81	69	56	54	80	73	76	72	72	62	80	80	65	70
EC 02	87	74	85	76	82	85	82	81	74	84	83	83	84	76
EC 06	94	63	80	78	84	80	80	51	78	86	84	84	76	83

Categoria (Cetesb, 2015)	Ponderação
Ótima	80 < IQA ≤ 100
Boa	52 < IQA ≤ 79
Regular	37 < IQA ≤ 51
Ruim	20 < IQA ≤ 36
Péssima	IQA ≤ 19

Essa variação poderia estar associada a influência negativa da DBO (Figura 4), cuja concentração foi de 65 e 54 ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) em 2013 e 2015, respectivamente, valores estes, acima do limite máximo ( $5\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) estabelecido pela resolução CONAMA 357/2005; e também pela concentração de fósforo, o qual na campanha amostral realizada em 2015, observou-se em concentração de  $0,330\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  na EC06 (Figura 2) extrapolando o limite estabelecido pela legislação (CONAMA, 2005) que determina concentração máxima de  $0,05\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  para ambientes lóticos.

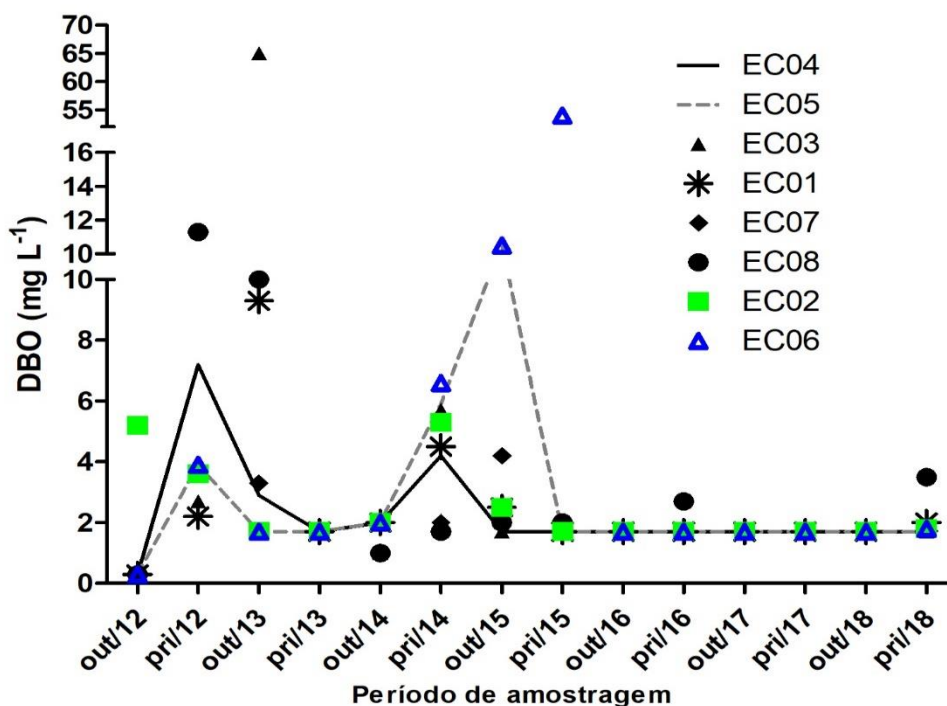


Figura 4 - Concentração de DBO nos diferentes pontos amostrais durante o período de estudo.

A EC03 recebe contribuições negativas provenientes do município de Ribeirão Claro, uma vez que este ponto amostral localiza-se na foz do córrego de mesmo nome. Além disso, a concentração de coliformes termotolerantes ( $430\text{UFC}\cdot 100\text{mL}^{-1}$ ) também pode ter contribuído para a classificação regular

na EC03, uma vez que também são indicadores de aporte de matéria fecal e que se registra a presença de criação de bovinos às margens próximas. A concentração de coliformes termotolerantes observado nas amostras de água das outras estações de coleta permaneceram abaixo de 120 UFC 100 mL<sup>-1</sup>).

A EC06, localizada à jusante do barramento, caracteriza-se como um ambiente lótico, com substrato rochoso e recebe contribuições advindas de todos os outros setores a montante do barramento. A concentração de fósforo total nas amostras de água coletadas na primavera de 2015 pode ser resultado do escoamento superficial ocasionado pelos índices de precipitações, acima de 40 mm, ocorridos no período que antecedeu a coleta. Vale ressaltar que, o fósforo total pode ser encontrado naturalmente em corpos hídricos, através da dissolução de compostos do solo e decomposição da matéria orgânica, ou proveniente de ações antrópicas como despejos de efluentes domésticos e industriais, detergentes, excremento de animais e fertilizantes (Von Sperling, 2014). Além do carreamento de substâncias presentes no solo da área de drenagem, a precipitação leva ao aumento da vazão, a qual acelera a velocidade da água, revolvendo o sedimento e ressuspensando compostos fosfatados, contribuindo para qualidade da água observada na EC06.

Observando-se a média do IQA para todo o período amostral, seguindo a linearidade do reservatório em relação às ECs, pode-se inferir que a água atingiu a área de influência do reservatório (EC04 - a jusante da UHE Chavantes) com qualidade ótima, sofreu em geral algumas alterações, e deixou o sistema (EC06) com qualidade semelhante a que entrou (Figura 5).

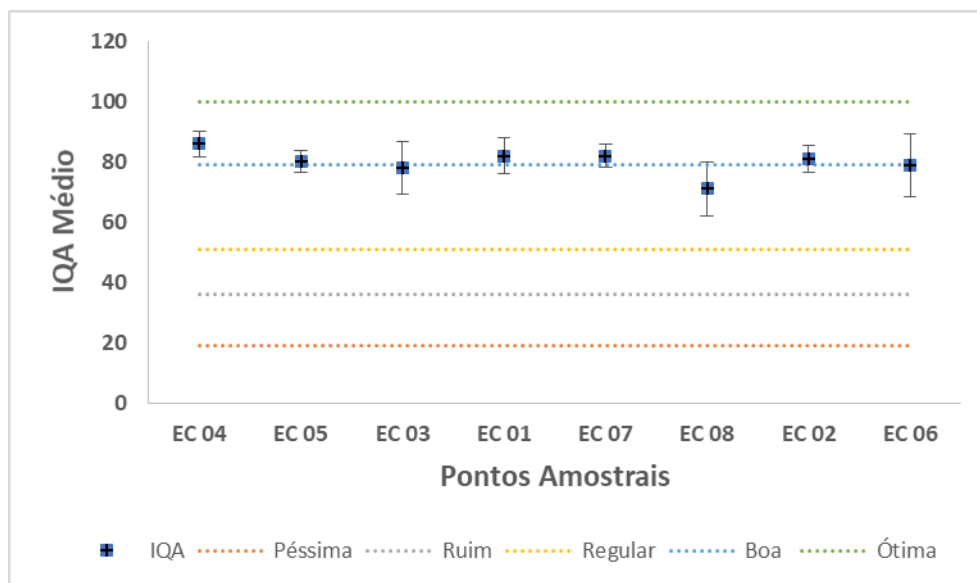


Figura 5 - Média de IQA observado em todo o reservatório ao longo do período amostral.

#### 4. CONCLUSÃO

- ✓ 72% das amostras de água analisadas classificaram-se como meso e oligotróficas.
- ✓ A EC08 apresenta um ambiente que destoa dos demais em qualidade, e que por conta dessas características peculiares necessita de um acompanhamento diferenciado.
- ✓ A maioria (98,3%) das amostras de água analisadas classificaram-se como de qualidade boa ou ótima.
- ✓ De forma geral, a qualidade da água na entrada e na saída do reservatório é semelhante, mostrando que a utilização do monitoramento como ferramenta, para a intervenção imediata quando da ocorrência de perturbações que comprometam tal qualidade, é essencial, contribuindo assim para alcançar os objetivos para o desenvolvimento sustentável.

#### CONFLITO DE INTERESSE

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

#### REFERÊNCIAS

- Alfredsen, K, Amundsen, P.-A, Hahn, L, Harrison, P. M, Helland, I. P., Martins, E G, Twardek, W M, & Power, M (2022). A synoptic history of the development, production and environmental oversight of hydropower in Brazil, Canada, and Norway. *Hydrobiologia*, 849(2), 269–280. doi: 10.1007/s10750-021-04709-4
- APHA (2012). *Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater* (A W W A American Public Health Association (ed.); 22nd ed). Washington, DC: Water Environment Federation.
- Arcifa, M S, & Esguícero, A L H (2012). The fish fauna in the fish passage at the Ourinhos Dam, Paranapanema River. *Neotropical Ichthyology*, 10(4), 715–722.
- Badar, B, Romshoo, S A, & Khan, M A (2013). Modelling catchment hydrological responses in a Himalayan Lake as a function of changing land use and land cover. *Journal of Earth System Science*, 122(2), 433–449. doi: 10.1007/s12040-013-0285-z
- Beck, M W, Claassen, A H, & Hundt, P. J. (2012). Environmental and livelihood impacts of dams: common lessons across development gradients that challenge sustainability. *International Journal of River Basin Management*, 10(1), 73–92. doi: 10.1080/15715124.2012.656133
- Bhaduri, A, Bogardi, J, Siddiqi, A, Voigt, H, Vörösmarty, C, Pahl-Wostl, C, Bunn, S E, Shrivastava, P., Lawford, R, Foster, S, Kremer, H, Renaud, F. G, Bruns, A, & Osuna, V. R. (2016). Achieving Sustainable Development Goals from a Water Perspective. *Frontiers in Environmental Science*, 4 doi: 10.3389/fenvs.2016.00064



CETESB (2017). *Apêndice D Índices de Qualidade das Águas Brasil*.

Chen, Z, Muller-Karger, F. E., & Hu, C. (2007). Remote sensing of water clarity in Tampa Bay. *Remote Sensing of Environment*, 109(2), 249–259. doi: 10.1016/j.rse.2007.01.002

Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema. (2016). *RELATÓRIO DE SITUAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO* Retrieved from <https://sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/CEH-ALPA/11989/relatorio-de-situacao-2016-vfinal.pdf>

CONAMA (2005). *Resolução 357 - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE*

Da Silva e Souza, C, Dodonov, P., & Bécheri Cortez, R. (2019). DIVERSIDADE, FITOSSANIDADE E ADEQUAÇÃO DA ARBORIZAÇÃO AO AMBIENTE URBANO EM UM BAIRRO NA CIDADE DE OURINHOS, SP, BRASIL. *Revista Da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, 7(4), 77. doi: 10.5380/revsbau.v7i4.66545

Davies, P. M, Bunn, S. E., & Hamilton, S. K. (2008). Primary Production in Tropical Streams and Rivers. In *Tropical Stream Ecology* (pp. 23–42). Elsevier. doi: 10.1016/B978-012088449-0.50004-2

de Groot, R. S, Wilson, M. A., & Boumans, R. M. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41(3), 393–408. doi: 10.1016/S0921-8009(02)00089-7

EPE (2019). *Empresa de Pesquisa Energética (EPE)*. Retrieved from <https://www.epe.gov.br/pt>

Galizia Tundisi, J. (2018). Reservoirs: New challenges for ecosystem studies and environmental management. *Water Security*, 4–5, 1–7. doi: 10.1016/j.wasec.2018.09.001

Jawad, L. A. (2021). Impacts of Dams on Aquatic Biodiversity, Fisheries, Fishes and Their Environment: Problems that Could Be Present in Iraq with Recommendations. In *Tigris and Euphrates Rivers: Their Environment from Headwaters to Mouth* (pp. 369–382). Cham: Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-030-57570-0\_15

Jones, P. E, Consuegra, S, Börger, L, Jones, J., & Garcia de Leaniz, C. (2020). Impacts of artificial barriers on the connectivity and dispersal of vascular macrophytes in rivers: A critical review. *Freshwater Biology*, 65(6), 1165–1180. doi: 10.1111/fwb.13493

Lamparelli, M. C. (2004). *Gravidade de trófia em corpos d'água do estado de São Paulo*. Universidade de São Paulo.

Lee, Z, Shang, S, Hu, C, Du, K, Weidemann, A, Hsu, W, Lin, J., & Lin, G. (2015). Secchi disk depth: A new theory and mechanistic model for underwater visibility. *Remote Sensing of Environment*, 169, 139–149. doi: 10.1016/j.rse.2015.08.002

Libânio, M. (2016). *Fundamentos de qualidade e tratamento de água*.

Pilla, R. M, Williamson, C. E, Zhang, J, Smyth, R. L, Lenters, J. D, Brentrup, J. A, Knoll, L. B., & Fisher, T. J. (2018). Browning-Related Decreases in Water Transparency Lead to Long-Term Increases in Surface Water Temperature and Thermal Stratification in Two Small Lakes. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 123(5), 1651–1665. doi: 10.1029/2017JG004321

Saniotis, G, Trikolidou, E, Tsikritzis, L., & Amanatidou, E. (2018). Comparative water quality assessment between a young

and a stabilized hydroelectric reservoir in Aliakmon River, Greece. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(4), 234. doi: 10.1007/s10661-018-6602-x

Silvera, V., Cantane, D A, Reginato, R, Ledesma, J. J. G, Schimdt, M H, & Ando Junior, O H (2018). Energy Storage Technologies towards Brazilian Electrical System *Renewable Energy and Power Quality Journal*, 1, 380-386. doi: 10.24084/repqj16.319

Viancelli, A, Deuner, C W, Rigo, M, Padilha, J, Marchesi, J. A P., & Fongaro, G. (2015). Microbiological quality and genotoxic potential of surface water located above the Guarani aquifer. *Environmental Earth Sciences*, 74(7), 5517-5523. doi: 10.1007/s12665-015-4561-x

Von Sperling, M (2014). *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*(4th ed.). Editora UFMG