

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ANA CAROLINA CANOSSA BECKER

**ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA EM RESERVATÓRIOS E AVALIAÇÃO DA
REPRESENTATIVIDADE DO IQAR: ESTUDO DE CASO DO RESERVATÓRIO
VOSSOROCA, PR**

CURITIBA

2018

ANA CAROLINA CANOSSA BECKER

**ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA EM RESERVATÓRIOS E AVALIAÇÃO DA
REPRESENTATIVIDADE DO IQAR: ESTUDO DE CASO DO RESERVATÓRIO
VOSSOROCA, PR**

Trabalho Final de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito à obtenção do título de Engenheira Civil.

Orientador: Cristovão V. S. Fernandes, Ph.D.

Co-Orientadora: Marianne S. F. Sieciechowicz, M.Sc.

CURITIBA

2018

AGRADECIMENTOS

Ao orientador e amigo Cristovão Fernandes, pelas ideias inovadoras, pela atenção disponibilizada na orientação deste trabalho e pela amizade.

À coorientadora Marianne Schaefer França Sieciechowicz, por toda a ajuda, sugestões construtivas e pelo tempo disponibilizado para minha orientação.

Às chefes, Marianne, Nicole Brassac de Arruda, Ana Carolina Wosiack e Gheysa Pires, pelo imenso aprendizado ao longo do estágio nos Institutos Lactec, pela confiança e por tanto valorizarem meu trabalho.

À COPEL, na pessoa de Giovanni Fedalto, pela disponibilização dos dados do reservatório Vossoroca.

Ao Julio Werner Bernardo, pelas contribuições de ideias e interesse no tema.

À Heloise Knapik, pela contribuição na metodologia da análise de sensibilidade pelas contribuições na banca.

À Priscila Tremarin, pelas sugestões na banca, em especial pelo auxílio na discussão referente ao fitoplâncton.

A todos os estagiários do Lactec, pelo bom humor diário e pela parceria, em especial ao estagiário de estatística Alcides Conte Neto, pela imensurável contribuição na compreensão da estatística e da programação envolvida neste trabalho.

Aos meus pais, Marcia e Sergio Becker, pela oportunidade de estudar, pelo investimento nos meus estudos e por acreditarem na minha capacidade.

À minha irmã Bruna Becker pela assessoria na revisão textual.

Ao meu namorado Henrique pelos momentos de descontração e por me ajudar sempre que possível.

“Happiness lies in the joy of achievement
and the thrill of creative effort”

Franklin D. Roosevelt

RESUMO

Reservatórios são ambientes complexos, visto que existem muitas variáveis que interagem na sua dinâmica espacial e temporal. Uma estratégia bastante utilizada para a gestão de recursos hídricos é a de sintetizar diversas variáveis em índices de qualidade da água, como o Índice de Qualidade da Água em Reservatórios (IQAR) e o Índice de Estado Trófico (IET). Neste trabalho, estes índices foram aplicados tendo-se como estudo de caso o reservatório Vossoroca, no estado do Paraná, o qual teve sua série histórica de dados de qualidade da água avaliada. Para que fosse possível avaliar se o IQAR realmente traz uma imagem do reservatório condizente com a realidade, foi necessário diagnosticar o reservatório por meio de ferramentas da estatística descritiva, como *box plots*, coeficientes de variação e percentual de diferença entre medianas dos parâmetros nas profundidades e também da estatística inferencial, como o teste de permutação. Adicionalmente, foi realizada uma investigação sobre a representatividade do IQAR, utilizando a análise de sensibilidade. O estudo dos dados históricos do reservatório apontou tendência à estratificação da coluna d'água especialmente no verão e na primavera. O IET indicou a característica majoritariamente mesotrófica do reservatório ao longo do período avaliado. O IQAR refletiu as características sazonais do reservatório, indicando maior degradação no verão e na primavera. Foi verificado que os parâmetros que mais contribuíram para que o reservatório seja classificado como “moderadamente degradado” e “criticamente degradado a poluído” foram déficit de oxigênio dissolvido, clorofila-a, DQO e tempo de residência. A análise de sensibilidade indicou que alterações extremas nos valores das variáveis podem ser ocultadas no resultado do índice devido às suas propriedades compensatórias. Além disso, foi verificado que, nessa situação, o índice não refletiu uma imagem do reservatório condizente com a realidade e seu uso não isenta o avaliador de estudar as variáveis e suas séries históricas individualmente.

Palavras-chave: Reservatório Vossoroca. Índices de Qualidade da Água. IQAR.

ABSTRACT

Reservoirs are complex environments, seeing that there are many variables that interact in their spatial and temporal dynamics. A notorious and acknowledged strategy for water resources management is synthesizing several variables into a water quality index, as the Reservoir Water Quality Index (IQAR) and the Trophic State Index (IET). In this work, those indexes were applied for the case study of Vossoroca reservoir, in Brazil, which had their water quality historical series evaluated. In order to evaluate if IQAR represents accurately the situation of the reservoir, it was necessary to make the reservoir diagnosis. The method involved statistical tools of the descriptive statistics, such as box plots, coefficient of variation and the percentage difference between the parameters medians on the depths, and inferential statistics, as the permutation test. In addition, an investigation about the IQAR representativeness was made, using the sensibility analysis. The study of the reservoir historic data pointed out tendency to stratification of the water column especially on summer and spring. The IET indicated the mesotrophic characteristic of the reservoir. The IQAR reflected the reservoir seasonal characteristics, indicating bigger degradation on summer and spring. It was verified that the parameters that most contributed to the index result as “moderately degraded” and “critically degraded to polluted” are dissolved oxygen deficit, chlorophyll-a concentration, COD and residence time. The sensibility analysis showed that extreme changes on variables values can be eclipsed from the index result due to the compensatory properties. Besides, it was verified that, in this situation, the index did not represented accurately the situation of the reservoir and its use does not exempt the user of studying the variables and their historical series individually.

Keywords: Vossoroca Reservoir. Water Quality Index. IQAR.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	JUSTIFICATIVA.....	9
1.2	EVIDÊNCIAS DE INTERESSE.....	10
1.3	OBJETIVO GERAL	10
1.4	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
1.5	MÉTODO	11
1.6	ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO	11
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1	RESERVATÓRIOS	12
2.2	ESTRATIFICAÇÃO.....	13
2.3	ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA	16
2.3.1	<i>Construção de índices de qualidade da água.....</i>	<i>17</i>
a)	<i>Seleção das variáveis</i>	<i>17</i>
b)	<i>Transformação da escala.....</i>	<i>18</i>
c)	<i>Atribuição de pesos.....</i>	<i>18</i>
d)	<i>Agregação dos subíndices.....</i>	<i>19</i>
2.3.2	<i>Índices para avaliação da qualidade da água em diversos países.....</i>	<i>19</i>
2.4	<i>Índice de Qualidade de Água em Reservatórios (IQAR)</i>	<i>24</i>
2.5	<i>Índice de Estado Trófico (IET).....</i>	<i>25</i>
2.6	<i>Síntese do capítulo.....</i>	<i>26</i>
3	MATERIAIS E MÉTODOS	27
3.1	ÁREA DE ESTUDO	27
3.2	PERÍODO E PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUA A SEREM AVALIADOS	31
3.3	FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS	32
3.3.1	<i>Estatística descritiva</i>	<i>32</i>
a)	<i>Método dos coeficientes de variação</i>	<i>33</i>
b)	<i>Método dos percentuais de diferença de medianas.....</i>	<i>34</i>
3.3.2	<i>Estatística inferencial - Teste de permutação.....</i>	<i>35</i>
3.3.3	<i>Análise de sensibilidade</i>	<i>36</i>
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1	AVALIAÇÃO DAS PROFUNDIDADES DE COLETA.....	37
4.2	AVALIAÇÃO DOS PERFIS DE TEMPERATURA E OXIGÊNIO DISSOLVIDO	40
4.3	AVALIAÇÃO DAS DEMAIS VARIÁVEIS OBTIDAS NAS PROFUNDIDADES I, II E III	43

a)	Temperatura da Água	44
b)	Oxigênio Dissolvido.....	45
c)	Potencial de Hidrogênio (pH).....	45
d)	Condutividade Elétrica.....	46
e)	Sólidos Totais	47
f)	Turbidez	47
g)	Profundidade Secchi	48
h)	Nitrato	49
i)	Nitrito	49
j)	Nitrogênio Amoniacal	50
k)	Nitrogênio Inorgânico Total.....	50
l)	Nitrogênio Total.....	51
m)	Fósforo Total.....	51
n)	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	52
o)	Demanda Química de Oxigênio (DQO)	53
p)	Coliformes Totais	54
q)	Coliformes Termotolerantes.....	56
r)	Densidade de Fitoplâncton	57
s)	Clorofila-a	58
t)	Densidade de Cianobactérias	59
u)	Densidade de Cianobactérias Potencialmente Tóxicas.....	59
4.4	DIFERENÇA ENTRE AS CAMADAS DE ÁGUA.....	61
a)	<i>Coeficientes de variação</i>	61
b)	<i>Percentuais de diferença das medianas</i>	62
c)	<i>Teste de permutação</i>	63
d)	<i>Comparação dos resultados</i>	66
4.5	ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO (IET)	67
4.6	ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA EM RESERVATÓRIOS (IQAR).....	71
4.7	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	74
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
	REFERÊNCIAS.....	79
	ANEXOS	83
	ANEXO 1.....	84
	ANEXO 2.....	86

1 INTRODUÇÃO

“What we see depends mainly on what we look for”

- John Lubbock

Reservatórios são lagos artificiais que represam o fluxo de um ou mais rios por meio da construção de uma barragem (CUSHMAN-ROISIN, 2013). Quando represado, o corpo hídrico deixa de ser conduzido apenas pela gravidade e seus movimentos passam a depender dos ventos incidentes na superfície e das forças de empuxo (CUSHMAN-ROISIN, 2013).

Rodrigues et al. (2005) afirmam que o amplo espectro de interações ecológicas, econômicas e sociais com a bacia torna o reservatório extremamente complexo, pois existem muitas variáveis que interagem na sua dinâmica espacial e temporal (TUNDISI; TUNDISI, 2008). Uma potencial e interessante estratégia é de que as variáveis podem ser sintetizadas por meio de índices para estabelecer uma avaliação global mais didática em relação à melhora ou piora dos aspectos qualitativos da água. Uma desvantagem, que merece sempre reflexão, é a possível perda de informações individuais das variáveis de qualidade da água e consequente desconhecimento dos processos físicos, químicos e biológicos.

1.1 JUSTIFICATIVA

A Lei nº 9433/1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, traz como objetivo dos órgãos gestores dos recursos hídricos brasileiros a viabilização da água para as gerações atuais e futuras, o uso racional dos recursos hídricos visando à sustentabilidade e também à prevenção da ocorrência de desastres hidrológicos, tanto de origem natural quanto ocasionados pelo ser humano.

Tendo isso em vista, torna-se necessário o estudo de ferramentas que possibilitem a gestão de recursos hídricos de forma cada vez mais eficiente. Para isso, deve-se compreender a dinâmica do reservatório, visto que os ecossistemas aquáticos artificiais são complexos e diversificados estacionalmente (RODRIGUES et al., 2005).

A proposição de formas alternativas de análise de reservatórios se torna essencial para a evolução das técnicas de gestão de recursos hídricos, visto que traduzir a grande variedade de dados de qualidade da água em índices é uma importante ferramenta didática com potencial uso para a Gestão Sócio-Ambiental, pois esclarece de forma simples como a qualidade da água varia geograficamente e temporalmente. O Índice de Qualidade de Água

em Reservatórios (IAP, 2009) e o Índice de Estado Trófico (LAMPARELLI, 2004) refletem esta importância e sua representatividade é relevante para a gestão de recursos hídricos.

1.2 EVIDÊNCIAS DE INTERESSE

O estado do Paraná abrange 16 sub bacias e rios predominantemente de planalto, com muitas quedas (IAP, 2009). O grande potencial hidrelétrico do estado, que em 2013 foi responsável por 19,3% da eletricidade produzida no país (GAZETA DO POVO, 2018) é, majoritariamente, composto por usinas hidrelétricas. Além dos reservatórios produzidos para a geração de energia, ainda existem os reservatórios de abastecimento, recreação e paisagismo (IAP, 2009).

Este panorama levou à necessidade do desenvolvimento de um sistema de avaliação da qualidade da água de ambientes lânticos. O IAP desenvolveu o Índice de Qualidade da Água em Reservatórios (IQAR) para esta finalidade e é amplamente utilizado no país para avaliação espacial e temporal da qualidade de diversos reservatórios.

O estudo do índice será aplicado ao caso do reservatório Vossoroca, que se situa em uma área de preservação ambiental em Tijucas do Sul, na Região Metropolitana de Curitiba. A partir da década de 1980, a crescente demanda populacional e industrial de Curitiba e sua Região Metropolitana levou a preocupações relativas ao comprometimento da qualidade da água de seus mananciais (SUDERHSA, 2018). O reservatório Vossoroca foi criado com a função de regularizar vazões para a usina hidrelétrica de Chaminé e segundo a Copel (1999), a água do reservatório possui boa qualidade para fins de potabilização para abastecimento doméstico. Por isso, o conhecimento de sua dinâmica pode trazer benefícios econômicos e sociais futuramente.

1.3 OBJETIVO GERAL

A popularidade do uso de índices no país levou ao questionamento: os resultados desses índices realmente trazem uma imagem do reservatório condizente com a realidade? Para responder essa pergunta, é necessário conhecer o reservatório do estudo de caso, que terá suas séries históricas de qualidade da água avaliadas, e também conhecer o índice aplicado, que nesse caso é o IQAR.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

No presente trabalho, por meio de ferramentas estatísticas, pretende-se:

- Identificar a variabilidade dos parâmetros ao longo da coluna d'água e do tempo;
- Verificar a influência da sazonalidade nos perfis químicos e térmicos do reservatório;
- Apontar os parâmetros de qualidade da água que mais se alteram com a profundidade e com a sazonalidade do reservatório;
- Avaliar a representatividade do Índice de Qualidade da Água de Reservatórios (IQAR) no reservatório do Vossoroca.

1.5 MÉTODO

Para a compreensão da dinâmica temporal do reservatório, foram realizados *box plots* das variáveis examinadas. Nesses gráficos, os dados foram separados pela estação do ano e pela profundidade na qual ocorreu a coleta.

Para avaliar as diferenças entre as camadas de água, foram utilizadas ferramentas da estatística descritiva, como o cálculo do percentual de diferença de medianas e o coeficiente de variação, e da estatística inferencial, como o teste de permutação.

A avaliação da série histórica dos índices IQAR e IET ocorreu por meio da identificação dos parâmetros que mais influenciaram no aumento do índice.

Por fim, a análise de sensibilidade do IQAR foi utilizada para demonstrar como o índice varia se cada parâmetro se alterar isoladamente, de modo a revelar como o índice se comportaria em situações extremas.

1.6 ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

O item 2 desenvolve a fundamentação teórica sobre reservatórios, padrões de estratificação e índices de qualidade da água.

O item 3 (materiais e métodos) apresenta a área do estudo de caso, os dados de qualidade da água estudados e as ferramentas estatísticas utilizadas para o diagnóstico da qualidade da água do reservatório e para a exploração do IQAR.

O item 4 (resultados e discussão) traz a avaliação da influência da profundidade de coleta, o diagnóstico do reservatório baseado nos parâmetros de qualidade da água, incluindo o estudo relativo à diferença entre as camadas de água. Além disso, também conta com as séries históricas dos índices IQAR e IET e a análise de sensibilidade do IQAR.

O item 5 expõe as considerações finais relativas à qualidade do reservatório e à representatividade dos índices.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

“Great things are done by a series of small things brought together”

- Vincent Van Gogh

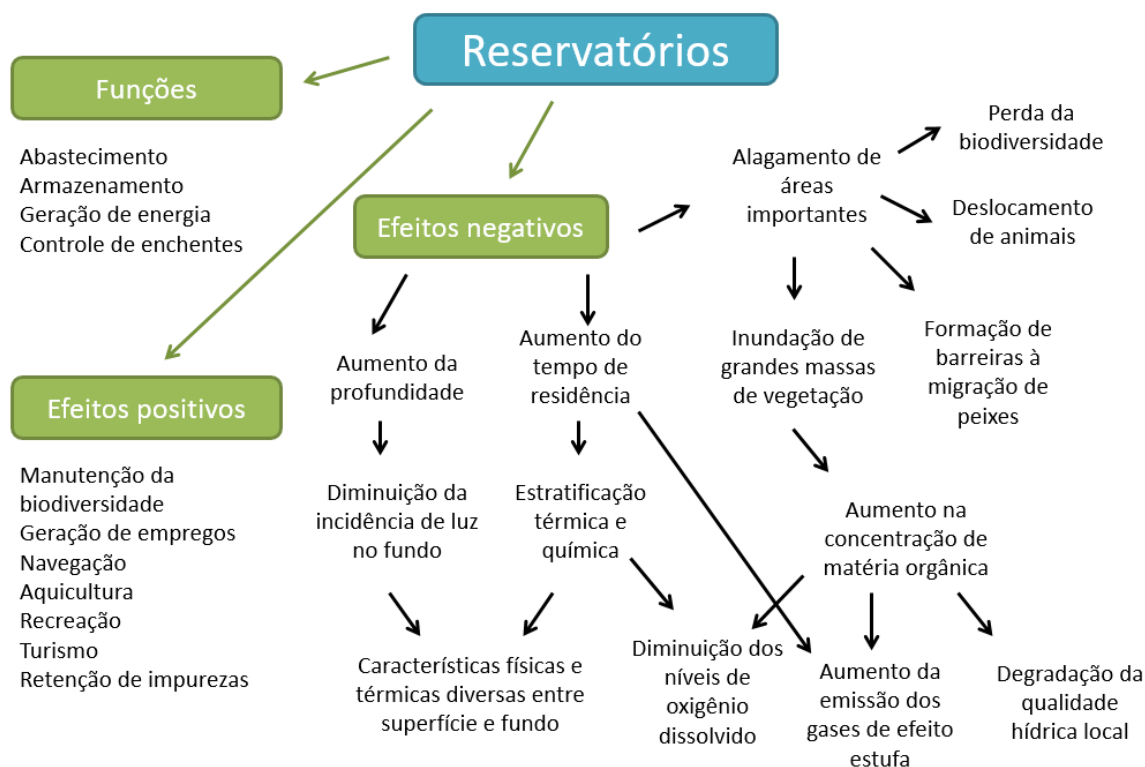
Neste item são apresentadas referências teóricas relativas aos aspectos qualitativos de reservatórios e à teoria de construção de índices de qualidade da água. São apresentados os principais índices utilizados mundialmente. Além disso, também são explanados os índices avaliados neste trabalho: IQAR e IET.

2.1 RESERVATÓRIOS

Reservatórios são acumulações de água construídas pela humanidade há milhares de anos com diversas finalidades: abastecimento e armazenamento de água potável, geração de energia elétrica e controle de enchentes. Além dessas principais funções, Tundisi e Tundisi (2008) citam outras vantagens dos reservatórios, entre elas: manutenção da biodiversidade, geração de empregos, navegação, aquicultura, recreação, turismo e retenção de impurezas, de forma a purificar a água efluente. Os autores também citam efeitos negativos, como alagamento de áreas com importância econômica, social e cultural, perda de biodiversidade e deslocamento de animais, degradação da qualidade hídrica do local, formação de barreiras à migração de peixes e aumento da emissão de gases do efeito estufa.

Ao se construir um reservatório, o local sofre algumas alterações, como por exemplo o aumento na concentração de matéria orgânica, causado pela inundação de grandes massas de vegetação e isso faz com que os níveis de oxigênio dissolvido diminuam de forma rápida e drástica (TUNDISI; TUNDISI, 2008). Além disso, a mudança de ambiente lótico para lêntico, devido ao aumento do tempo de residência, aumenta a tendência do reservatório à estratificação térmica e química. Ainda, o aumento da profundidade diminui a incidência de luz na parcela mais profunda da coluna d'água, o que também proporciona características físicas e químicas diversas entre a superfície e o fundo. Estes fatores estão ilustrados na Figura 1.

FIGURA 1 – SÍNTESE DAS CARACTERÍSTICAS DOS RESERVATÓRIOS



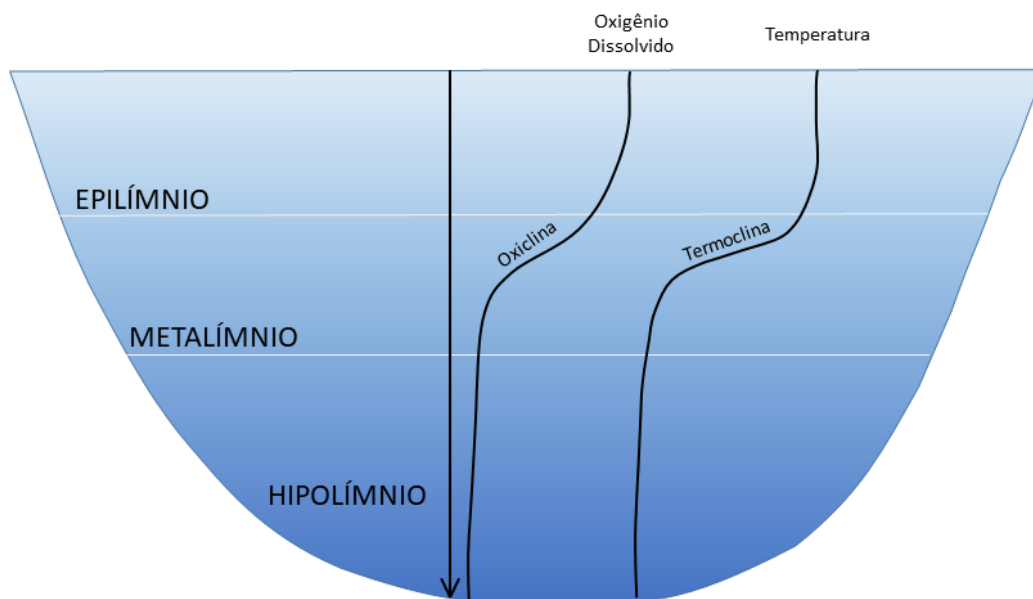
FONTE: A AUTORA (2018)

2.2 ESTRATIFICAÇÃO

De acordo com Tundisi e Tundisi (2008), algumas estruturas são comuns tanto a lagos como reservatórios e devem sempre ser determinadas no início dos estudos.

Quando o reservatório está estratificado, é possível dividi-lo em 3 principais camadas, conforme Figura 2. A primeira camada é o epilímnio, definido da superfície até a profundidade alcançada por 1% da luz solar incidente. Nessa camada, devido à temperatura mais elevada, a densidade é menor. A água mais fria e densa situa-se no fundo do reservatório, em uma região denominada hipolímnio. Entre o epilímnio e o hipolímnio, existe uma camada intermediária, o metalímnio. Na região do metalímnio é onde ocorre a termoclina, definida pela região em que a temperatura cai pelo menos 1° C por metro (TUNDISI; TUNDISI, 2008).

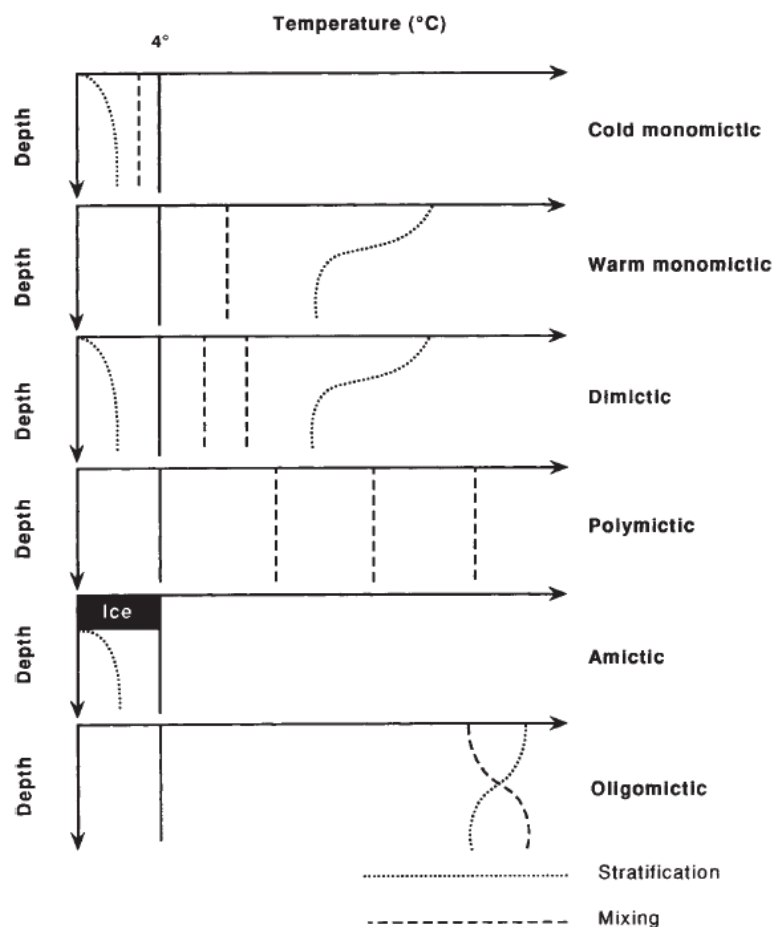
FIGURA 2 – ESQUEMA DA ESTRATIFICAÇÃO EM RESERVATÓRIOS



FONTE: A AUTORA (2018)

Essas camadas podem se misturar sazonalmente de acordo com as características do local. Os lagos são classificados dependendo da temperatura e da frequência de circulação, conforme apresentado por Tundisi e Tundisi (2008). Quando ocorre só uma circulação por ano, o lago é classificado como monomítico. Podem existir lagos monomíticos quentes e frios. Os lagos monomíticos quentes circulam durante o inverno. Já os lagos monomíticos frios, estratificam no inverno e circulam no verão e na primavera. Quando ocorrem duas circulações, o lago é chamado de dimítico. Se ocorrem mais de duas misturas, é polimítico. Quando as circulações não ocorrem em intervalos regulares e a estratificação não é estável, os lagos são chamados de oligomíticos. Lagos amíticos ocorrem quando há uma constante camada de gelo na superfície da água. Existem ainda os lagos meromíticos, que não circulam completamente, fazendo com que haja uma camada inferior que não circula chamada monimolímnio. A Figura 3 esquematiza as diversas classificações dos lagos. As linhas pontilhadas representam as situações ao longo do ano em que houve estratificação da coluna d'água. Já as linhas tracejadas mostram as situações nas quais houve circulação. Em lagos monomíticos quentes, por exemplo, houve um período de circulação e um de estratificação, sendo ambos acima de 4°C.

FIGURA 3 - ESQUEMA DAS DIFERENTES FORMAS DE CIRCULAÇÃO EM LAGOS



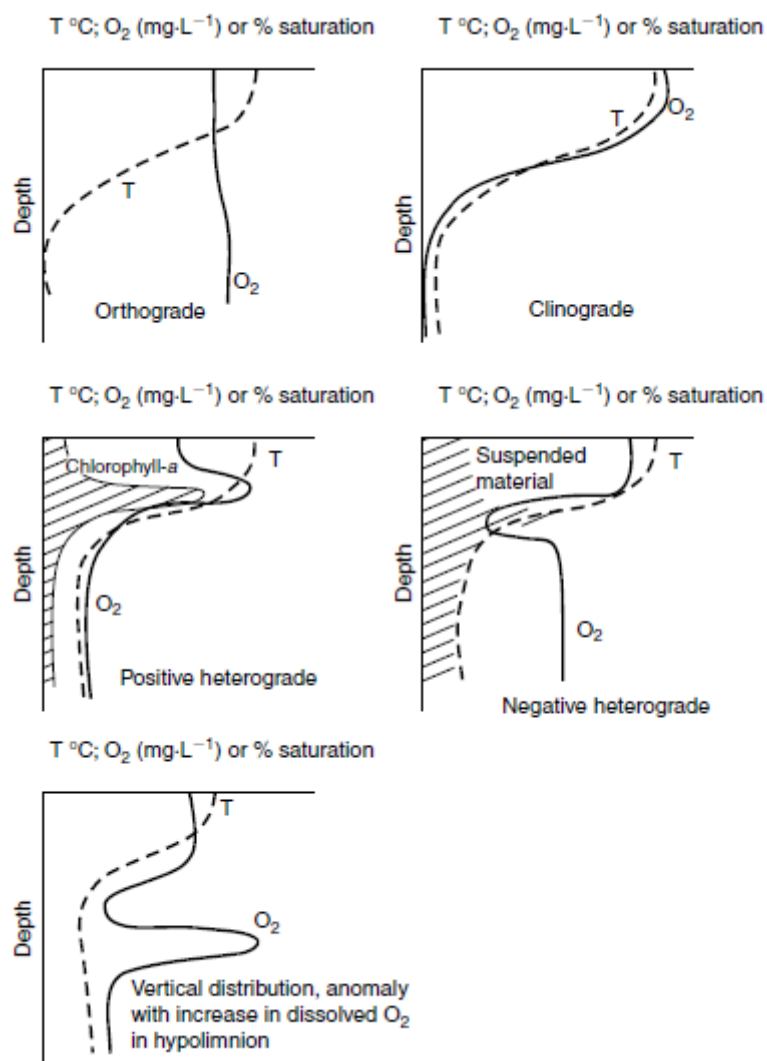
FONTE: UNEP E WHO (1996)

Em lagos monomíticos quentes, ocorre a estratificação no verão, quando as temperaturas da superfície são mais altas. Durante o inverno, devido às menores temperaturas superficiais, a densidade da água aumenta e a água que estava na região superior tende a descer, de forma a criar a circulação entre as camadas (TUNDISI; TUNDISI, 2008).

Tundisi e Tundisi (2008) explicam que a distribuição do perfil de oxigênio dissolvido pode ser de várias formas diferentes, conforme ilustrado na Figura 4. Quando a concentração de oxigênio apresenta tendência uniforme desde a superfície até o fundo, o perfil é denominado de ortogrado (quadro superior esquerdo). Nesse tipo de situação, ainda é possível ocorrer um leve aumento da concentração no fundo do reservatório. O perfil é clinogrado (quadro superior direito) quando na superfície as concentrações de oxigênio são próximas à saturação e ocorre anóxia no hipolímnio. Existem ainda os perfis heterogradados positivos (quando ocorre um súbito aumento do oxigênio na parte superior do metalímnio e posterior diminuição) e negativos (quando ocorre um súbito decréscimo da concentração de

oxigênio, que logo se eleva para as concentrações normais), representados nos quadros centrais esquerdo e direito, respectivamente. O quadro inferior representa o aumento anormal de oxigênio no hipolímnio.

FIGURA 4 – PERFIS DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO



FONTE: TUNDISI E TUNDISI (2012)

2.3 ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA

Abbasi e Abbasi (2012) afirmam que a utilização de índices de qualidade da água facilita e elucida a compreensão do público, resumindo uma grande variedade de dados de qualidade em apenas um índice. Os autores apontam que o uso de índices para o monitoramento da qualidade da água facilita a alocação de recursos pelos órgãos gestores de recursos hídricos. Além disso, explicam que por meio de índices é possível comparar geograficamente e temporalmente a variação da qualidade. Eles também citam que os índices

podem auxiliar na pesquisa científica, pois indicam como o corpo hídrico se comporta diante de medidas estratégicas para melhora da água.

A construção de índices pode acarretar algumas dificuldades, entre elas os efeitos de **ambiguidade, eclipse, compensação e rigidez**, conforme explicado por Abbasi e Abbasi (2012). A **ambiguidade** ocorre quando o indicador excede o nível crítico sem nenhuma das variáveis ter atingido seu limite máximo. A **eclipse**, pelo contrário, é quando o valor crítico não é excedido apesar de uma ou mais variáveis resultarem acima do permitido. A **compensação** evita que o resultado seja excessivamente tendencioso quando ocorrem valores extremos. Esta propriedade deve ser adequadamente equilibrada com a ambiguidade e a eclipse, para que o índice não seja tão sensível a valores extremos, mas também não os oculte. Por fim, os autores relatam que a **rigidez** é a inflexibilidade do índice à necessidade de adição de novas variáveis conforme a demanda dos usuários. A inclusão de novos parâmetros causa a diminuição do valor global e acentua o efeito de ambiguidade.

A proposição de indicadores exige uma ponderação adequada de todos os aspectos citados. Caso contrário, seu uso pode provocar a perda de informações.

2.3.1 Construção de índices de qualidade da água

A compreensão do processo de construção de índices de qualidade da água é essencial para o estudo de sua representatividade. A criação dos índices passa por quatro fases: seleção das variáveis, transformação da escala, atribuição de pesos e agregação de subíndices (ABBASI; ABBASI, 2012), conforme descrito na Figura 5.

FIGURA 5 – FASES DA CONSTRUÇÃO DE UM ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA



FONTE: A AUTORA (2018)

a) Seleção das variáveis

A escolha das variáveis mais representativas da qualidade da água é necessária para que o processo de análise seja menos custoso. No entanto, a determinação dos parâmetros apresenta alguns desafios de natureza subjetiva. Segundo Abbasi e Abbasi (2012), a estatística envolvida na escolha de variáveis pode não ser adequada dependendo do propósito para qual o índice foi determinado. Incertezas relativas à omissões e erros nos dados históricos de qualidade da água utilizados como base para a formação do índice podem

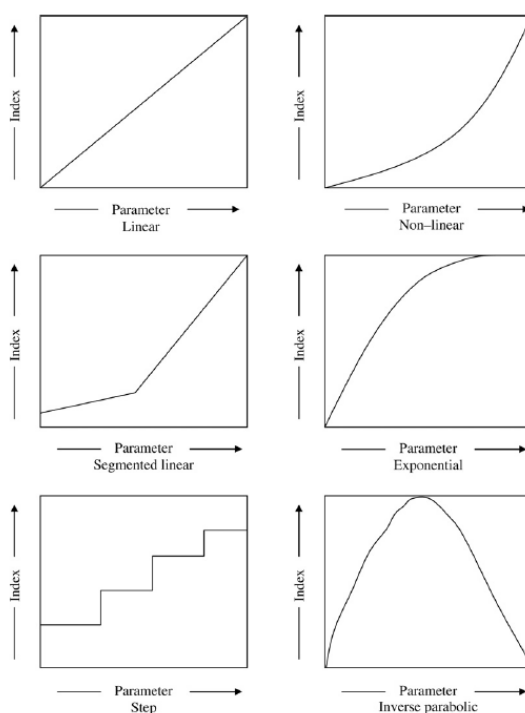
ser reduzidas por meio de técnicas estatísticas, como a análise de componentes principais (ACP), análise fatorial (AF), lógica difusa (LD) e teoria probabilística (TP), podendo ser aplicadas com técnicas de inteligência artificial.

Além disso, os autores destacam que as definições e graus de aceitabilidade podem ser vagos. A significância dos resultados pode ser interpretada de formas diferentes em razão dos níveis socioeconômicos e origens culturais de cada povo. Portanto, nenhum índice é utilizado em escala global.

b) Transformação da escala

Devido à diferença de unidades e faixas de valores aceitáveis, são criados subíndices que variam de 0 a 1 ou 0 a 100, para que todas as unidades fiquem na mesma escala. Esta transformação ocorre por meio de uma função, que pode ser linear, não linear, segmentada, exponencial, em degraus ou parabólica, conforme ilustrado na Figura 6.

FIGURA 6 – FUNÇÕES TÍPICAS PARA SUBÍNDICES



FONTE: ABBASI E ABBASI (2012)

c) Atribuição de pesos

Mesmo após a identificação dos parâmetros mais importantes, ainda é necessário identificar quais, entre as variáveis selecionadas, devem receber maior peso. Para reduzir a subjetividade e ampliar a credibilidade do índice, o método Delphi de pesquisa de opinião foi

aplicado pela National Sanitation Foundation (NSF) para a construção de seu índice de qualidade da água, em 1970.

O método consistiu na avaliação da opinião de 142 especialistas, que avaliaram a importância de uma grande variedade de parâmetros. A partir disso, foi selecionada uma lista de nove parâmetros com seus respectivos pesos e foi solicitado aos especialistas que criassem gráficos que transformassem o valor da variável em um subíndice, que deveria ser um número na faixa de 0 a 100, que seria mais elevado quanto melhor fosse a qualidade da água (WALSH; WHEELER, 2012).

d) Agregação dos subíndices

A última fase consiste na agregação dos subíndices para formar um resultado final. Isso pode ser feito por métodos aditivos, multiplicativos, lógicos (mínimo e máximo) ou pela combinação de operações diversas (ABBASI; ABBASI, 2012). Cada um desses processos de agregação promove vantagens e desvantagens na construção do índice, conforme demonstrado na Tabela 1.

TABELA 1 – MÉTODOS DE AGREGAÇÃO DE SUBÍNDICES

Métodos comuns	Fórmula	Características
Aditivo sem pesos	$I = \sum_{i=1}^n I_i$	Promove ambiguidade.
Aditivo com pesos	$I = \sum_{i=1}^n W_i I_i$	Reduz ambiguidade, mas promove eclipse.
Multiplicativo	$I = \prod_{i=1}^n I_i^{W_i}$	Reduz ambiguidade e eclipse.
Raiz da soma	$I = \left[\sum_{i=1}^n I_i^p \right]^{1/p}$	Reduz ambiguidade e eclipse, mas sua aplicação é mais complexa.
Máximo	$I = \max \{I_1, I_2, \dots, I_n\}$	Aplicável especificamente para indicar se alguma das variáveis está acima dos limites aceitáveis, para índices de escala crescente.
Mínimo	$I = \min \{I_1, I_2, \dots, I_n\}$	Aplicável especificamente para indicar se alguma das variáveis está acima dos limites aceitáveis, para índices de escala decrescente.

FONTE: A AUTORA (2018)

2.3.2 Índices para avaliação da qualidade da água em diversos países

Foram pesquisados índices utilizados para a classificação de corpos d'água em vários países. Cada órgão gestor de recursos hídricos adapta seu índice com as variáveis que considera importantes na água de sua região. As informações dos diversos índices

pesquisados constam no Quadro 1. Entre os 45 índices pesquisados, 8 possuem suas variáveis indefinidas, visto que seus autores apresentaram a metodologia de modo a permitir a escolha das variáveis avaliadas pelo usuário do índice. Na última linha, constam os percentuais em que cada variável aparece no total de índices avaliados.

Entre os índices pesquisados, destacam-se os índices de Horton e de Dinius, que foram os primeiros índices criados. Posteriormente, o índice criado por Brown et al. (1970) se popularizou por ser utilizado pela NSF e até hoje o índice é utilizado ou adaptado por muitos autores. No Brasil, a adaptação do NSF-WQI é o IQA.

QUADRO 1 – ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA

[illegible]

FONTE: A AUTORA (2018)

Considerando os 45 índices expostos no Quadro 1, observou-se que as variáveis mais presentes nos índices são: Potencial de Hidrogênio (57%), Oxigênio Dissolvido (50%), Fósforo Total (38%), Turbidez (36%), Demanda Bioquímica de Oxigênio (33%), Nitrato (31%) e Coliformes Fecais (26%).

Além disso, foram encontrados artigos que aplicam os índices de qualidade da água em ambientes lênticos, conforme mostra o Quadro 2.

QUADRO 2 – ÍNDICES APLICADOS EM RESERVATÓRIOS E AMBIENTES LÊNTICOS (CONTINUA)

Autor	Índice	País	Área de Estudo	Tipo	Área (km²)	Profundidade (m)
Hou et al. (2016)	H-WQI	China	Langmaoshan	Reservatório	82	-
			Wohushan	Reservatório	557	-
			Jinxiuchuan	Reservatório	166	-
			Queshan	Reservatório	-	-
			Yuqing	Reservatório	-	-
Sánchez et al. (2007)	SZ-WQI	Espanha	Lagoas Paris Park	Lagoa	-	-
Yogendra e Puttaiah (2008)	YP-WQI	Índia	Gopishettykere	Reservatório	0,15	-
Rubio-Arias et al. (2012)	RA-WQI	México	Luis L. Leon	Reservatório	19	-
Castilla-Hernández et al. (2014)	CH-WQI	México	Atlanga	Reservatório	12	-
Shokuhi et al. (2012)	NSF-WQI	Irã	Aydughmush	Reservatório	-	-
Mhlongo et al. (2018)	Cpk	África do Sul	WitbankDamReservoir	Reservatório	12,112	-
Naveedullah et al. (2016)	N-WQI e N-WQI _{min}	China	Siling	Reservatório	-	78
Yousefi et al. (2018)	Y-WQI, Multiple-criteria decision making (MCDM)	Irã	29 poços na planície Karaj	Poços	-	-
Lobato et al. (2015)	WQI, QI	Brasil	Tucuruí	Reservatório	0,00285	62 a 72
Maymandi et al. (2018)	IRWQIsc(Iran Surface Water Quality Index)	Irã	Karkheh	Reservatório	162	-

QUADRO 2 – ÍNDICES APLICADOS EM RESERVATÓRIOS E AMBIENTES LÊNTICOS (CONCLUSÃO)

Autor	Índice	País	Área de Estudo	Tipo	Área (km ²)	Profundidade (m)
Cunha et al. (2013)	IET _{Lamparelli} (2004)	Brasil	Arrependido	Reservatório	< 1	
			Barra Bonita	Reservatório	310	25
			Billings	Reservatório	127	35
			Capivari-Monos	Reservatório	7	-
			Cascata	Reservatório	< 1	-
			Graças	Reservatório	< 1	-
			Guarapiranga	Reservatório	27	15
			Itupararanga	Reservatório	936	20
			Jaguari	Reservatório	56	50
			Juqueri	Reservatório	314	-
			Jurumirim	Reservatório	449	40
			Rio Grande	Reservatório	7	-
			Rio Jundiáí	Reservatório	17	-
			Rio Preto	Reservatório	< 1	-
			Santa Branca	Reservatório	27	46
			Taiacupeba	Reservatório	20	12
			Tanque Grande	Reservatório	< 1	-
			Três Irmãos	Reservatório	785	-
Mamun (2017)	IET _{Carlson} (1977)	Coréia do Sul	182 reservatórios	Reservatório	-	-
Yang et al. (2016)	IET _{Xu et al.} (2001)	China	Lake Chaohu	Lago	770	3,06
Davies (2006)	CCME-WQI	Canadá	Pasqua	Lago	-	-
			Echo	Lago	-	-
			Mission	Lago	-	-
			Katepwa	Lago	-	-
			Crooked	Lago	-	-
			Round Lakes	Lago	-	-
Bouslah et al. (2017)	B-WQI	Argélia	KoudiatMedouar	Reservatório	-	-
Pimenta et al. (2012)	IQA _{ANA} , IQAR _{IAP} , IET _{Lamparelli} (2004)	Brasil	Monte Claro	Reservatório	1,4 a 2,5	25

FONTE: A AUTORA (2018)

Neste trabalho, o enfoque foi no Índice de Qualidade da Água de Reservatórios (IQAR) e no Índice de Estado Trófico (IET), que serão explicados nos itens 2.4 e 2.5, respectivamente.

2.4 Índice de Qualidade de Água em Reservatórios (IQAR)

O IQAR foi criado pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP, 2009), sendo utilizado no diagnóstico da qualidade da água de corpos d'água lênticos. Como resultado, o reservatório é classificado como “não impactado a muito pouco degradado” (Classe I), “pouco degradado” (Classe II), “moderadamente degradado” (Classe III), “criticamente degradado ou poluído” (Classe IV), “muito poluído” (Classe V) ou “extremamente poluído” (Classe VI).

Cada resultado obtido experimentalmente no reservatório possibilita a atribuição de uma classe para cada variável, de acordo com a Tabela 3. Os limites entre as classes foram obtidos por meio do cálculo dos percentis de 10, 25, 50, 75 e 90% de cada uma das variáveis selecionadas em um banco de dados com 22 reservatórios paranaenses de diferentes características tróficas, morfométricas e hidrológicas (IAP, 2004).

TABELA 3- CLASSES PARA CADA VARIÁVEL

VARIÁVEIS	CLASSE I	CLASSE II	CLASSE III	CLASSE IV	CLASSE V	CLASSE VI
Déficit de oxigênio (%)	≤ 5	06-20	21-35	36-50	51-70	> 70
Fósforo Total (P-mg/L)	≤ 0,010	0,011-0,025	0,026-0,040	0,041-0,085	0,086-0,210	> 0,21
Nitrogênio Inorgânico Total (N-mg/L)	≤ 0,15	0,16-0,25	0,26-0,60	0,61-2,00	2,00-5,00	> 5
Clorofila-a (µg/L)	≤ 1,5	1,5-3,0	3,1-5,0	5,1-10,0	11,0-32,0	> 32
Disco de Secchi (m)	≥ 3	3-2,3	2,2-1,2	1,1-0,6	0,5-0,3	< 0,3
Demanda Química de Oxigênio (mg/L)	≤ 3	03-05	06-08	09-14	15-30	> 30
Tempo de residência (dias)	≤ 10	11-40	41-120	121-365	366-550	> 550
Profundidade média (m)	≥ 35	34-15	14-07	6-3,1	3-1,1	< 1
Cianobactérias (nº de células/mL)	≤ 1.000	1.001-5.000	5.001-20.000	20.001-50.000	50.001-100.000	> 100000

FONTE: ADAPTADO DE IAP (2009)

É necessário que sejam feitas coletas em 3 profundidades do ponto. A profundidade I é calculada como $Z_s \times 0,54$, sendo Z_s a profundidade do Disco de Secchi. A profundidade II é calculada por $(Z_{\text{máx}} + 3Z_s)/2$, onde $Z_{\text{máx}}$ é a profundidade máxima do ponto. A profundidade III ocorre apenas quando há anóxia na coluna d'água e é dada pela média entre as profundidades de início e de término da zona anóxica.

O cálculo do IQAR considera as 10 variáveis ponderadas pelos seus respectivos pesos, descritos na Tabela 4.

TABELA 4- VARIÁVEIS QUE CONSTITUEM O IQAR E SEUS RESPECTIVOS PESOS

Variáveis	Pesos
Média do déficit de oxigênio dissolvido ao longo da coluna d'água (%)	17
Média da concentração de fósforo total nas profundidades I e II (mg/L)	12
Média da concentração de nitrogênio inorgânico total nas profundidades I e II (mg/L)	8
Concentração de clorofila-a (µg/L)	15
Profundidade Secchi (m)	12
Média da demanda química de oxigênio nas profundidades I e II (mg/L)	12
Concentração de cianobactérias na profundidade I (nº de células/mL)	8
Tempo de residência (dias)	10
Profundidade média (m)	6

FONTE: ADAPTADO DE IAP (2009)

Levando em consideração os pesos (W_i) e a classe atribuída a cada variável (q_i), é possível calcular o IQAR para cada campanha utilizando o método aditivo com pesos descrito pela Equação 1, que terá como resultado um número de 1 a 6. O resultado nunca ultrapassará estes limites como consequência do uso de uma função degrau formada pelos percentis descritos na Tabela 3 para a transformação da escala. Ressalta-se que quanto mais alto o resultado do índice, pior é a qualidade da água.

$$\text{IQAR} = \frac{\sum (W_i q_i)}{\sum W_i} \quad (1)$$

2.5 Índice de Estado Trófico (IET)

A eutrofização acontece em ambientes lênticos e se dá pela elevação das concentrações de nutrientes, como fósforo e nitrogênio. Isso faz com que a ocorrência de fitoplâncton e macrófitas aquáticas aumente. Segundo Esteves (1998), o fósforo é o principal responsável pela eutrofização de ecossistemas e atua como fator limitante da produtividade na maioria das águas continentais. O IET possibilita a avaliação dos efeitos do enriquecimento de nutrientes na qualidade da água. O índice classifica o corpo d'água em graus de trofia, conforme Tabela 5.

TABELA 5 – ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO E GRAUS DE TROFIA

Categoria	Ponderação
Ultraoligotrófico	$\text{IET} \leq 47$
Oligotrófico	$47 < \text{IET} \leq 52$
Mesotrófico	$52 < \text{IET} \leq 59$
Eutrófico	$59 < \text{IET} \leq 63$
Supereutrófico	$63 < \text{IET} \leq 67$
Hipereutrófico	$\text{IET} > 67$

FONTE: LAMPARELLI (2004)

O índice corresponde à média entre as componentes de clorofila-a (Equação 2) e fósforo total (Equação 3). Estas equações são propostas para reservatórios por LAMPARELLI (2004). Ressalta-se que para rios, as equações são diferentes.

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

$$\text{IET (PT)} = 10 \left[6 - \left(\frac{1,77 - 0,42 \ln \text{PT}}{\ln 2} \right) \right] \quad (3)$$

Onde:

PT é a concentração de fósforo total na superfície da água em µg/L;

CL é a concentração de clorofila-a na superfície da água, em µg/L.

Em algumas situações, a profundidade Secchi é utilizada como parâmetro no IET. No entanto, neste trabalho esta variável foi desconsiderada do índice. Segundo Lamparelli (2004), por ser comum que a transparência seja afetada pela turbidez decorrente de materiais em suspensão, a CETESB não a considera na estimativa do estado trófico.

2.6 Síntese do capítulo

A fundamentação teórica exposta no capítulo 2 foi relevante para a compreensão do funcionamento do reservatório e da construção e uso de índices de qualidade da água. A dinâmica comportamental dos reservatórios e os padrões de estratificação existentes expostos nos itens 2.1 e 0 justificam o comportamento do reservatório Vossoroca que será visto no capítulo 4.

O estudo da construção de índices de qualidade da água possibilitou a percepção da complexidade envolvida na formação de índices e os principais desafios encontrados pelos pesquisadores. Isso servirá como base para a reflexão tocante ao comportamento do IQAR e para as considerações relativas à sua representatividade.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

“There is so much to be gained by keeping it simple”

Sir Richard Branson

Neste capítulo é apresentada a área de estudo, os dados de qualidade da água utilizados para o diagnóstico e as ferramentas que possibilitaram a análise dos referidos dados.

3.1 ÁREA DE ESTUDO

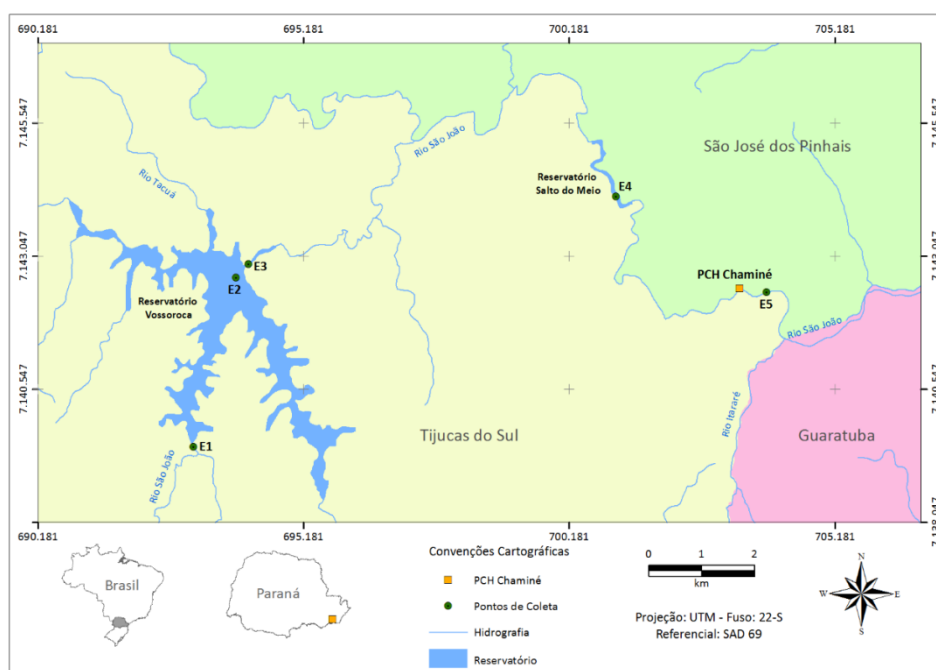
O Reservatório do Vossoroca localiza-se no município de Tijucas do Sul, na Região Metropolitana de Curitiba-PR, na bacia hidrográfica Litorânea. Sua área é de 5,1 km², considerando seu nível normal. Suas margens são constituídas majoritariamente por mata nativa preservada, pois a maior parte do reservatório está na Área de Proteção Ambiental Estadual de Guaratuba. Por estar em ambiente preservado, o reservatório é caracterizado pela origem autóctone de sua matéria orgânica (MÄNNICH, 2013).

O reservatório foi criado em 1949, por meio do represamento do rio São João, com a função de regularizar a vazão para o reservatório de Salto do Meio, que abastece a usina hidrelétrica de Chaminé. A represa recebe descarga dos rios São João, São Joãozinho e Vossoroca.

Segundo Copel (1999), a cobertura florestal na região é de predominância de Floresta Ombrófila Densa Montana e Automontana, típica da floresta atlântica. Também é observada a ocorrência de Floresta com Araucária. De acordo com Blum et al. (2005), 69,4% da comunidade vegetal existente às margens da represa Vossoroca possuem estado de conservação pouco alterado. No entorno, o relevo é acidentado, o solo predominante é o Cambissolo e o clima da região é o Subtropical Úmido Mesotérmico (COPEL, 1999).

A Figura 7 mostra a localização da PCH Chaminé e dos reservatórios Vossoroca e Salto do Meio. Os pontos de coleta destacados são os locais onde a Copel mantém monitoramento regular. Neste trabalho, serão analisados os dados históricos da estação E2, que possui coordenadas UTM de 693909 E e 7142639 N. A altitude da estação é de 835 m (INSTITUTOS LACTEC, 2016).

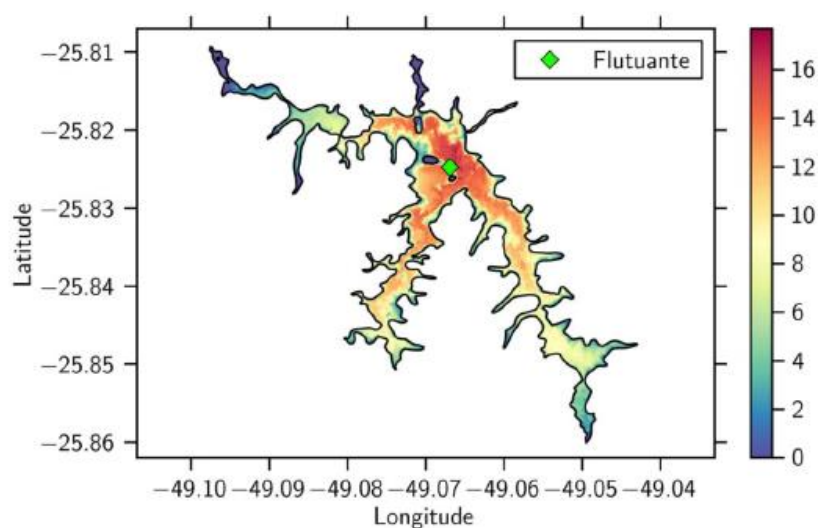
FIGURA 7 – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS AMOSTRAIS DA COPEL NO RESERVATÓRIO VOSSOROCA



FONTE: INSTITUTOS LACTEC (2016)

A estação E2 é próxima do flutuante da Universidade Federal do Paraná, na região mais profunda do reservatório, conforme pode ser observado no mapa batimétrico (Figura 8). Este flutuante foi utilizado para obtenção de dados por Bernardo (2013), Männich (2013) e Polli (2014).

FIGURA 8 – MAPA BATIMÉTRICO DO RESERVATÓRIO VOSSOROCA



FONTE: MÄNNICH (2013)

Alguns dados hidráulico-operativos fornecidos pela Copel (Tabela 6) indicam que a profundidade média do reservatório, dada pela divisão da área do reservatório pelo volume, é de 7,1 m, enquanto a profundidade máxima é de aproximadamente 17 m. A área do reservatório varia de 0,25 km², considerando o nível mínimo, até 5,5 km², quando atinge seu nível máximo.

TABELA 6 - DADOS HIDRÁULICO-OPERATIVOS DO RESERVATÓRIO DO VOSSOROCA

Dados Hidráulico-Operativos do Reservatório do Vossoroca			
Área (km²)	Nível Máximo	Normal	5,10
		Máxim.	5,50
	Nível Mínimo		0,25
Volume útil (hm³)	Nível Máximo	Normal	35,7
		Máxim.	40,8
Volume total (hm³)	Nível Máximo	Normal	36,0
		Máxim.	41,1
Alturas dos Volumes (m)	Útil		14,9
	Total		20,1
Níveis operativos (m)	Mínimo		800,0
	Máximo		814,9
	Maximorum		815,8
Vazão MLT (m³/s)			3,44
Tempo de residência (dias)			121,1
Prof. média (m)			7,1

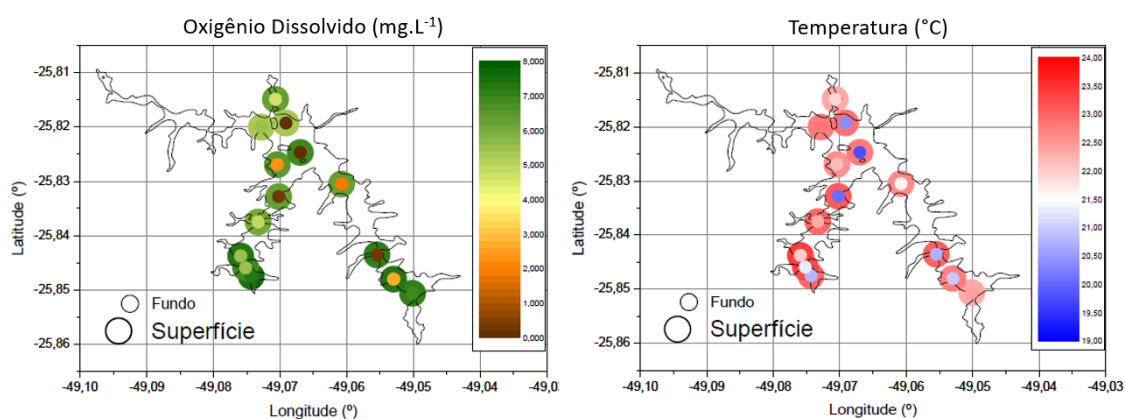
FONTE: COPEL (2009)

De acordo com Bernardo (2013), o tempo de residência é definido como o tempo total despendido por um elemento em determinado domínio. Em reservatórios, esse tempo é maior do que em rios, por isso os reservatórios são classificados como ambientes lênticos. O tempo de residência do reservatório, dado pelo volume total normal dividido pela vazão média de longo termo, é de 121 dias (COPEL, 2009). O tempo de residência encontrado por Bernardo (2013) foi de 116 dias, próximo ao obtido pela COPEL (2009).

O tempo de residência pode ser um indicador da tendência de estratificação. Segundo WRE (1969) apud Tucci (1998) grandes reservatórios com tempo de residência entre 4 meses e 1 ano apresentam maior tendência à estratificação.

Männich (2013) apresentou uma análise espacial da variação de alguns parâmetros no reservatório do Vossoroca. Na Figura 9 observa-se que a região central do reservatório foi onde ocorreram as maiores variações de oxigênio dissolvido e temperatura.

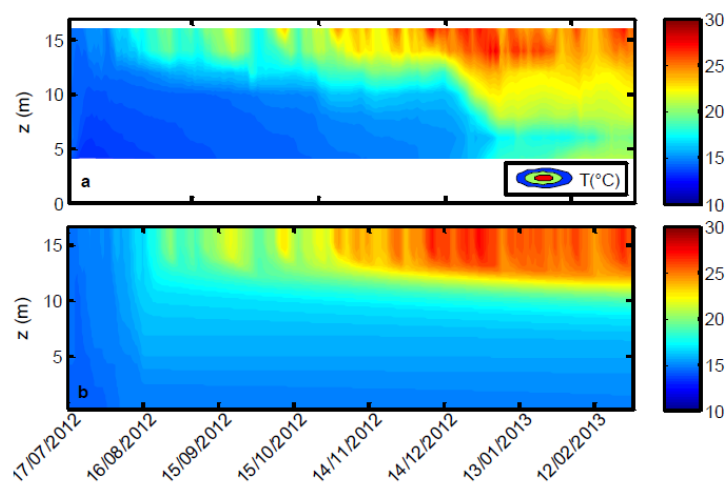
FIGURA 9 – VARIAÇÃO ESPACIAL DO OXIGÊNIO DISSOLVIDO E DA TEMPERATURA



FONTE: MÄNNICH (2013)

Polli (2014) apresentou medições de temperatura do reservatório em diversos meses do ano e estudou a modelagem dessas temperaturas. A Figura 10 mostra os perfis medidos e modelados e pode-se observar o período de circulação no inverno e a estratificação térmica na primavera e no verão.

FIGURA 10 – VARIAÇÃO TEMPORAL DA TEMPERATURA DO RESERVATÓRIO



FONTE: POLLI (2014)

3.2 PERÍODO E PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUA A SEREM AVALIADOS

Entre os anos de 2003 e 2017, foram realizadas 55 campanhas de monitoramento pela COPEL. A cada ano, foram realizadas 4 campanhas, com intervalos trimestrais. Cada uma das campanhas coincide com uma estação do ano. A primeira campanha ocorre no verão, a segunda no outono, a terceira no inverno e a quarta na primavera.

Convém ressaltar, no entanto, que ocorreram alguns intervalos no monitoramento. Além disso, como boa parte das variáveis começou a ser monitorada apenas após o ano de 2005, optou-se por avaliar 47 campanhas de monitoramento, as quais possuem um número mais completo de variáveis de qualidade de água (Tabela 7).

Nas estações de reservatório, são realizadas amostragens de água em até três profundidades, que são calculadas conforme mostrado no item 2.4.

Nas campanhas de monitoramento, além da coleta de amostras de água em profundidades, que são enviadas para análise em laboratório, também são realizadas leituras dos perfis de oxigênio e temperatura ao longo da coluna d'água, metro a metro, por meio da sonda multiparamétrica. Para a avaliação dos perfis, foram selecionados todos os resultados das 55 campanhas.

TABELA 7 – VARIÁVEIS MONITORADAS

Variável	Profundidades avaliadas
Clorofila-a	1
Coliformes Termotolerantes	1
Coliformes Totais	1
Condutividade Elétrica	3
Demanda Bioquímica de Oxigênio	3
Demanda Química de Oxigênio	3
Densidade de Cianobactérias	2
Densidade de Cianobactérias Potencialmente Tóxicas	2
Densidade de Fitoplâncton	2
Fósforo Total	3
Nitrato	3
Nitrito	3
Nitrogênio Amoniacal	3
Nitrogênio Inorgânico Total	3
Nitrogênio Total	3
Oxigênio Dissolvido	3
pH	3
Profundidade de coleta	3
Profundidade do ponto	-
Profundidade Secchi	-
Sólidos Totais	3
Temperatura Ambiente	-
Temperatura da água	3
Turbidez	3

FONTE: A AUTORA (2018)

3.3 FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS

Por meio do emprego das ferramentas estatísticas descritas a seguir, poderão ser melhor observadas as diferenças entre as camadas de água, indicando como ocorre o funcionamento da estratificação térmica e química, assim como a variação sazonal dos parâmetros de qualidade da água.

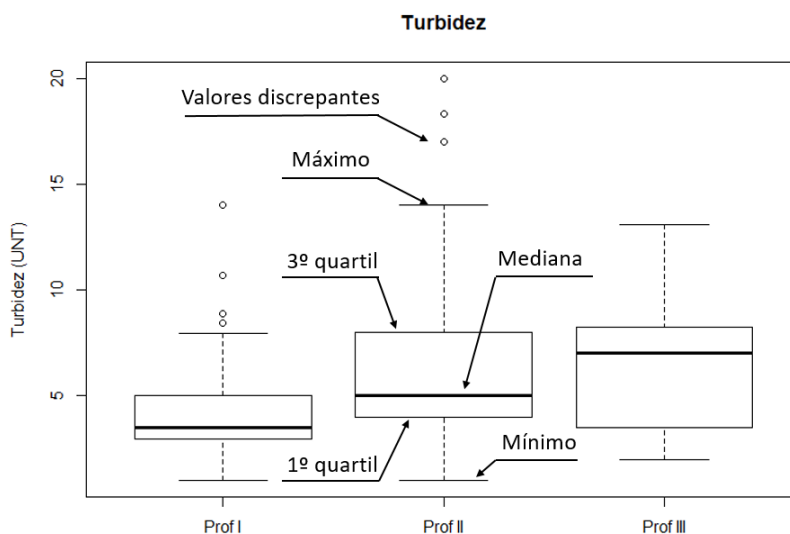
3.3.1 Estatística descritiva

Por meio da estatística descritiva é possível caracterizar um conjunto de dados, de modo que se torna possível conhecer a tendência central, a variação dos dados e eventuais valores discrepantes. Valores como a média, a mediana, o desvio padrão e o coeficiente de variação de cada parâmetro de qualidade de água foram utilizados para a avaliação da série histórica. O *box plot* foi utilizado como forma de sintetizar as informações sobre a amostra considerando a mediana, o primeiro quartil, o terceiro quartil, o máximo e o mínimo.

A mediana é uma medida de tendência central e consiste na observação maior que 50% dos dados e menor que 50% dos dados. É comumente utilizada por ser menos tendenciosa do que a média, pois não recebe influência de valores extremos, mesmo que estes ocorram em baixa frequência. É representada graficamente pela linha central, conforme mostrado na Figura 11.

O primeiro e terceiro quartil, q_1 e q_3 , respectivamente, são os valores que delimitam respectivamente 25% e 75% da amostra, de forma análoga à mediana, que seria o segundo quartil. Esses valores são representados pelos limites da caixa.

Os valores discrepantes são os que estão acima de $q_3 + 1,5 (q_3 - q_1)$ e abaixo de $q_1 - 1,5 (q_3 - q_1)$ e são representados por círculos. Os valores máximos e mínimos desconsideram os valores discrepantes e são representados pelas linhas extremas.

FIGURA 11 – ESQUEMA EXPLICATIVO DO *BOX PLOT*

FONTE: A AUTORA (2018)

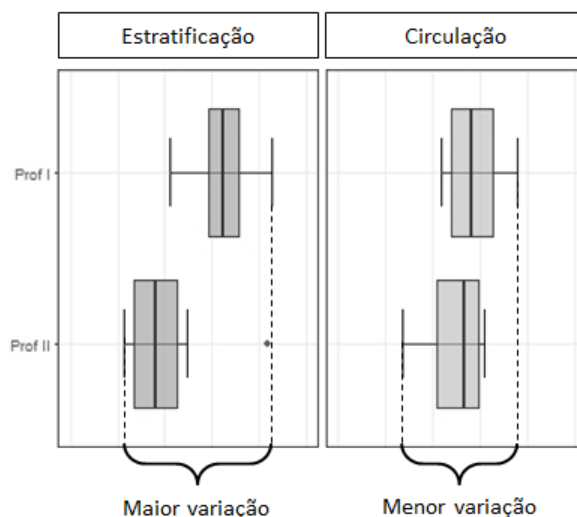
As diferenças entre as profundidades I e II, além de serem observadas nos *box plots*, foram ainda avaliadas pelo método dos coeficientes de variação (a) e dos percentuais de diferença de medianas (b).

a) Método dos coeficientes de variação

O coeficiente de variação, que é o desvio padrão dividido pela média, foi utilizado para indicar quais as variáveis possuem maior variabilidade em seus dados. Coeficientes que resultam em valores menores do que 0,5 indicam um grau de dispersão baixo. Quando o coeficiente varia entre 0,5 e 1,0, o grau de dispersão é médio. O resultado acima de 1,0 mostra que a dispersão é alta (FRANÇA, 2009).

Pelo cálculo de coeficientes de variação de determinada variável em cada estação do ano, espera-se perceber em que momentos os dados variam mais. Foram calculados os coeficientes das séries de dados das profundidades I e II combinadas. Assim, resultados maiores indicaram maior variação nos dados, o que ocorre especialmente nas situações em que a variável está estratificada, conforme ilustrado pela Figura 12.

FIGURA 12 – MÉTODO DOS COEFICIENTES DE VARIAÇÃO

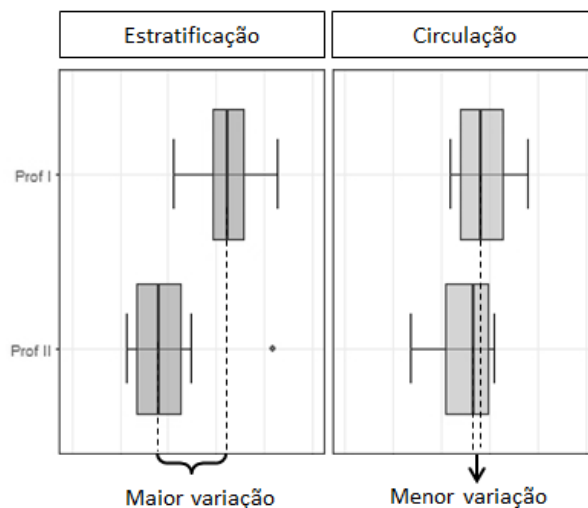


FONTE: A AUTORA (2018)

b) Método dos percentuais de diferença de medianas

Os percentuais de diferença de medianas indicam quantitativamente em quais situações a diferença é maior, o que caracteriza as estações de maior estratificação (Figura 13). Com isso, pretende-se perceber como ocorrem as circulações e estratificações ao longo das estações do ano.

FIGURA 13 – MÉTODO DOS PERCENTUAIS DE DIFERENÇA DE MEDIANAS



FONTE: A AUTORA (2018)

O cálculo utilizado é descrito pela Equação 4.

$$\text{Diferença percentual} = \frac{\text{Med}(\text{Prof II}) - \text{Med}(\text{Prof I})}{\text{Máx}[\text{Med}(\text{Prof II}); \text{Med}(\text{Prof I})]} \quad (4)$$

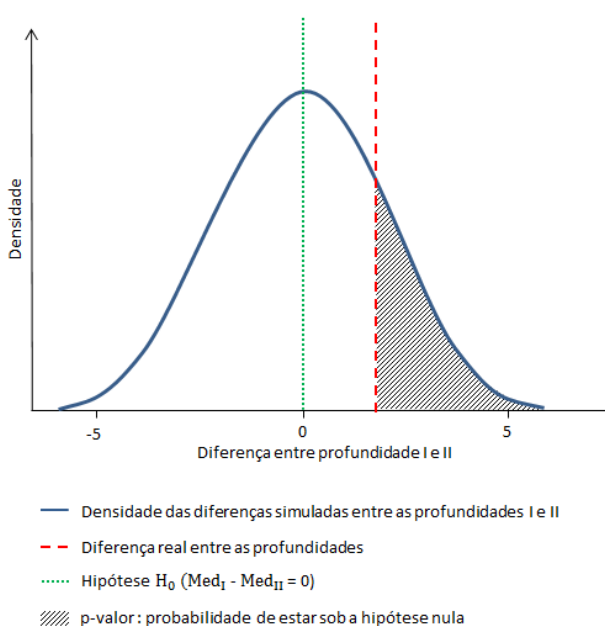
3.3.2 Estatística inferencial - Teste de permutação

Para a comparação de médias de dois conjuntos diferentes, podem ser utilizados testes paramétricos, como o teste T e o teste Z, que tem como requisito a normalidade dos dados, ou não paramétricos, como o teste de permutação, que não pressupõe normalidade (GOOD, 2013). Como este não apresenta tal exigência, pode ser aplicado no estudo, visto que as séries de dados estudadas não apresentaram normalidade. O teste de permutação pode ser aplicado tanto para médias como medianas. Neste trabalho, optou-se por comparar as medianas.

O teste de permutação (Anexo 1) consistiu na comparação de dois conjuntos diferentes, neste caso dados relacionados à profundidade I e à profundidade II. Estabeleceu-se a hipótese de que as medianas das duas séries são estatisticamente iguais ($H_0: Med_I = Med_{II}$).

São realizadas iterações que geram resultados aleatórios para os valores de $Med_I - Med_{II}$. Conforme ilustrado na Figura 14, é formada uma curva da distribuição empírica das diferenças simuladas ($Med_I - Med_{II}$). Na distribuição empírica de densidade, o valor zero representa a hipótese nula dos valores ($Med_I - Med_{II} = 0$) e a curva representa as probabilidades sobre essa hipótese. O teste verifica a probabilidade de a diferença entre as medianas, representadas pela linha tracejada vermelha, estar sob a hipótese H_0 . O p-valor mensura essa probabilidade. Se o p-valor resultante for menor do que o nível de significância estabelecido de 5%, rejeita-se a hipótese H_0 de igualdade entre as medianas, o que indica que a variável analisada pode apresentar indícios de estratificação.

FIGURA 14 – TESTE DE PERMUTAÇÃO



FONTE: A AUTORA (2018)

3.3.3 Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade verifica como o resultado final do índice se altera ao se realizar determinadas alterações em cada variável formadora do índice. Essa análise pode ser realizada por diferentes técnicas, entre elas a análise simplificada, análise de erros de primeira ordem e simulação de Monte Carlo.

Na área de qualidade da água, a análise de erros de primeira ordem foi utilizada por Knapik (2009) para avaliar o impacto dos dados de entrada no resultado do modelo proposto no estudo.

Neste trabalho, optou-se por utilizar o método simplificado, assumindo independência entre as variáveis. Portanto, foram atribuídos valores diferentes a apenas uma variável enquanto as outras foram mantidas constantes.

Cada variável presente no cálculo do IQAR foi isoladamente multiplicada por nove fatores, sendo eles: “1/5”, “1/4”, “1/3”, “1/2”, “1”, “2”, “3”, “4” e “5”. Cada série de resultados para determinado fator foi expressa graficamente por meio do *box plot*.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

“Without data you’re just another person with an opinion”

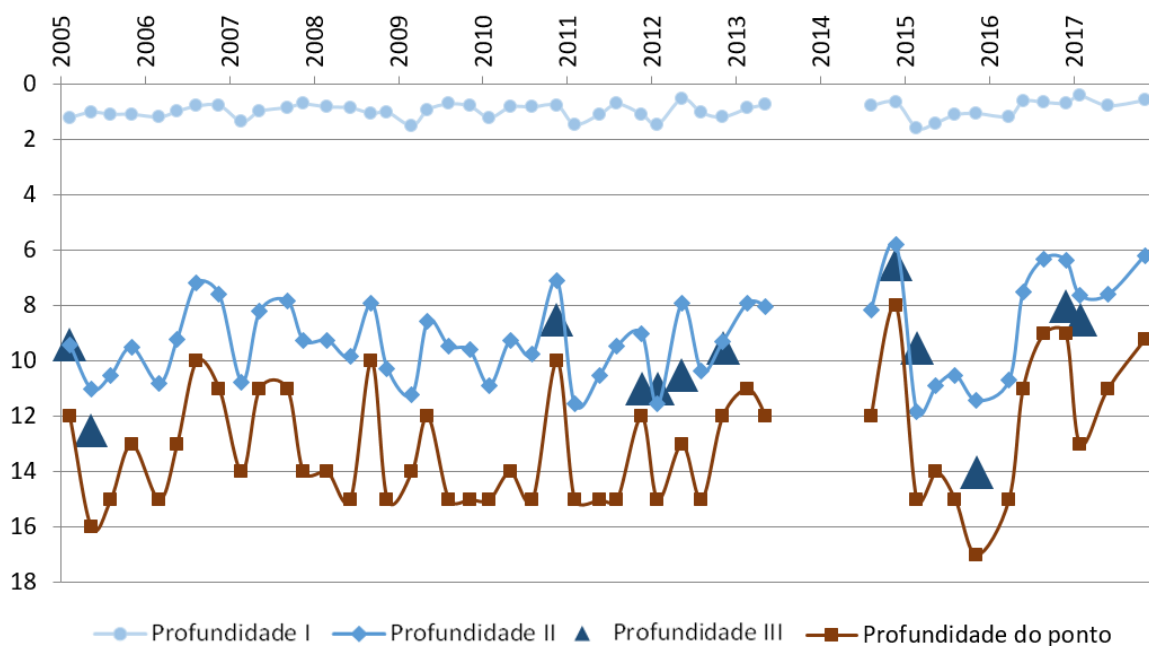
- W. E. Deming

Neste item são apresentados os resultados da avaliação da profundidade de coleta, o diagnóstico da qualidade da água do reservatório Vossoroca, as diferenças encontradas entre os dados das profundidades I e II, as séries históricas dos índices IQAR e IET calculados para o reservatório em estudo e a análise de sensibilidade do IQAR, com base nos dados históricos de qualidade da água disponíveis no Anexo 2.

4.1 AVALIAÇÃO DAS PROFUNDIDADES DE COLETA

Para cada campanha realizada, foram coletadas amostras de água referentes às profundidades calculadas. Os resultados dos cálculos das diferentes profundidades são apresentados na Figura 15. A profundidade I, que depende apenas da profundidade Secchi, variou entre 0,40 m e 1,59 m. A profundidade II, que é influenciada também pela profundidade total do ponto, ocorreu entre 5,80 m e 11,83 m de profundidade. A profundidade III é coletada apenas quando é detectada anóxia na coluna d’água. Este fenômeno foi observado 24 vezes entre 2003 e 2017, entretanto a amostra de água da profundidade III foi coletada em apenas 12 ocasiões, conforme demonstrado na Figura 15. Destaca-se claramente a variabilidade temporal dos pontos de coletas, o que evidencia claramente a dinâmica do reservatório como consequência dos aspectos operacionais da gestão do reservatório.

FIGURA 15 – PROFUNDIDADES DE COLETA DAS AMOSTRAS



FONTE: A AUTORA (2018)

Com o propósito de verificar a influência da grande variação da profundidade II nos resultados obtidos, foi construída uma matriz de gráficos (Figura 16), que traz a profundidade de coleta nas abscissas e os resultados das variáveis nas ordenadas.

Percebe-se, na matriz de gráficos (Figura 16), que a profundidade I formou uma nuvem de resultados mais compacta, por não sofrer tantas variações na sua profundidade de coleta. A profundidade II formou uma nuvem mais dispersa e sem tendências de aumento ou diminuição com a variação da profundidade de coleta.

Por não haver tendência observada, é possível afirmar que grande variabilidade da profundidade II não exerce influência nos resultados analíticos laboratoriais. Portanto, estas profundidades podem ser interpretadas como diferentes camadas, que são comparadas no item 4.3.

No caso da profundidade III, os resultados encontraram-se na mesma nuvem da profundidade II. Além disso, estas profundidades geralmente ocorreram muito próximas e nem sempre a profundidade III é maior do que a profundidade II, o que indica que estas não podem ser interpretadas como diferentes camadas e sim como diferentes situações do reservatório. Os resultados da profundidade III, portanto, demonstram o que ocorre com determinada variável em caso de anóxia.

FIGURA 16 – INFLUÊNCIA DA PROFUNDIDADE DE COLETA NOS RESULTADOS

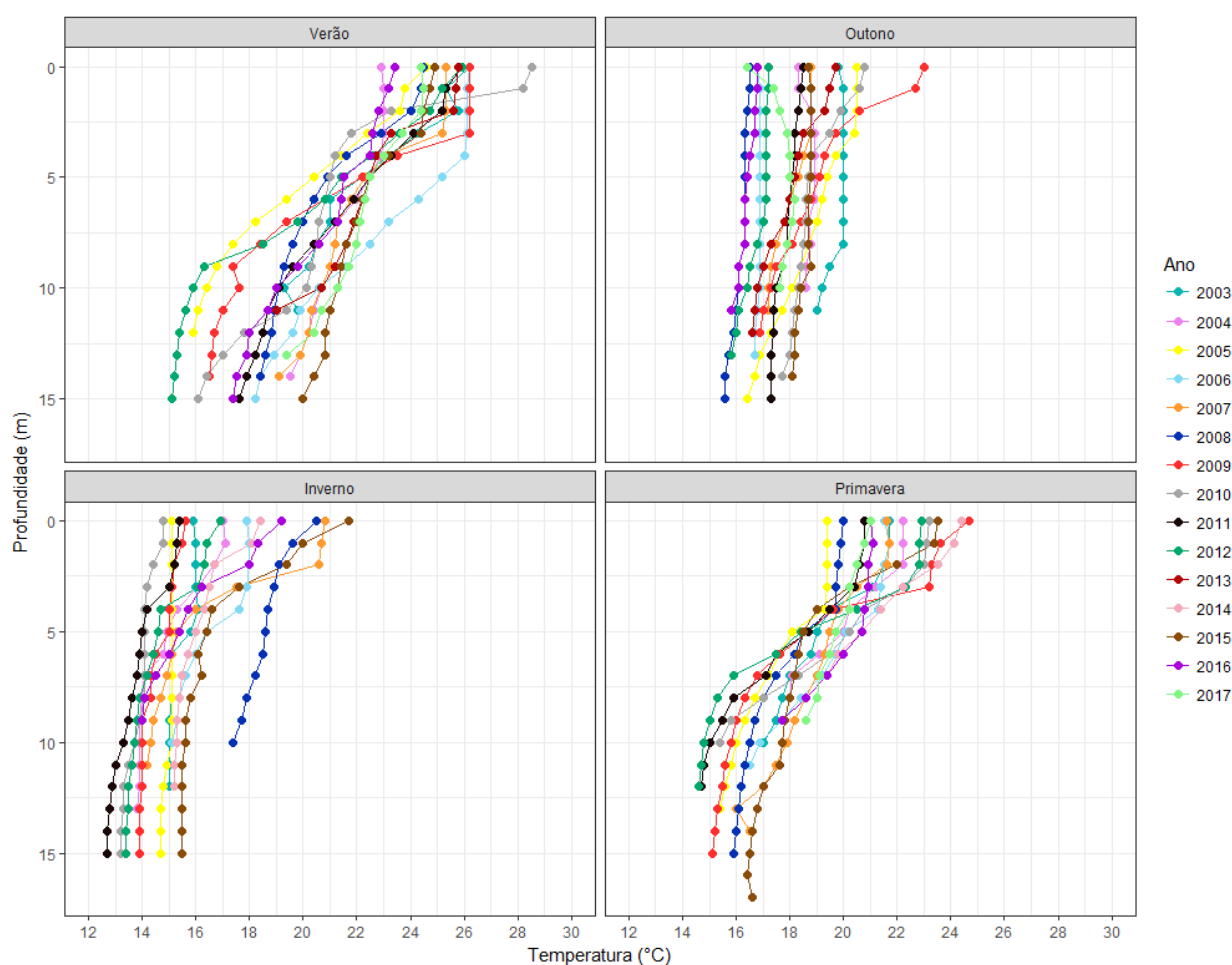


FONTE: A AUTORA (2018)

4.2 AVALIAÇÃO DOS PERFIS DE TEMPERATURA E OXIGÊNIO DISSOLVIDO

Foram analisados 54 perfis, obtidos entre 2003 e 2017. Os perfis de temperatura da água (Figura 17) e oxigênio dissolvido (Figura 18) estão apresentados separadamente de acordo com a estação em que as campanhas foram realizadas. Assim, é possível perceber a tendência da estratificação de acordo com o período do ano, similar a outros resultados de Polli (2014), Männich (2013) e Bernardo (2013).

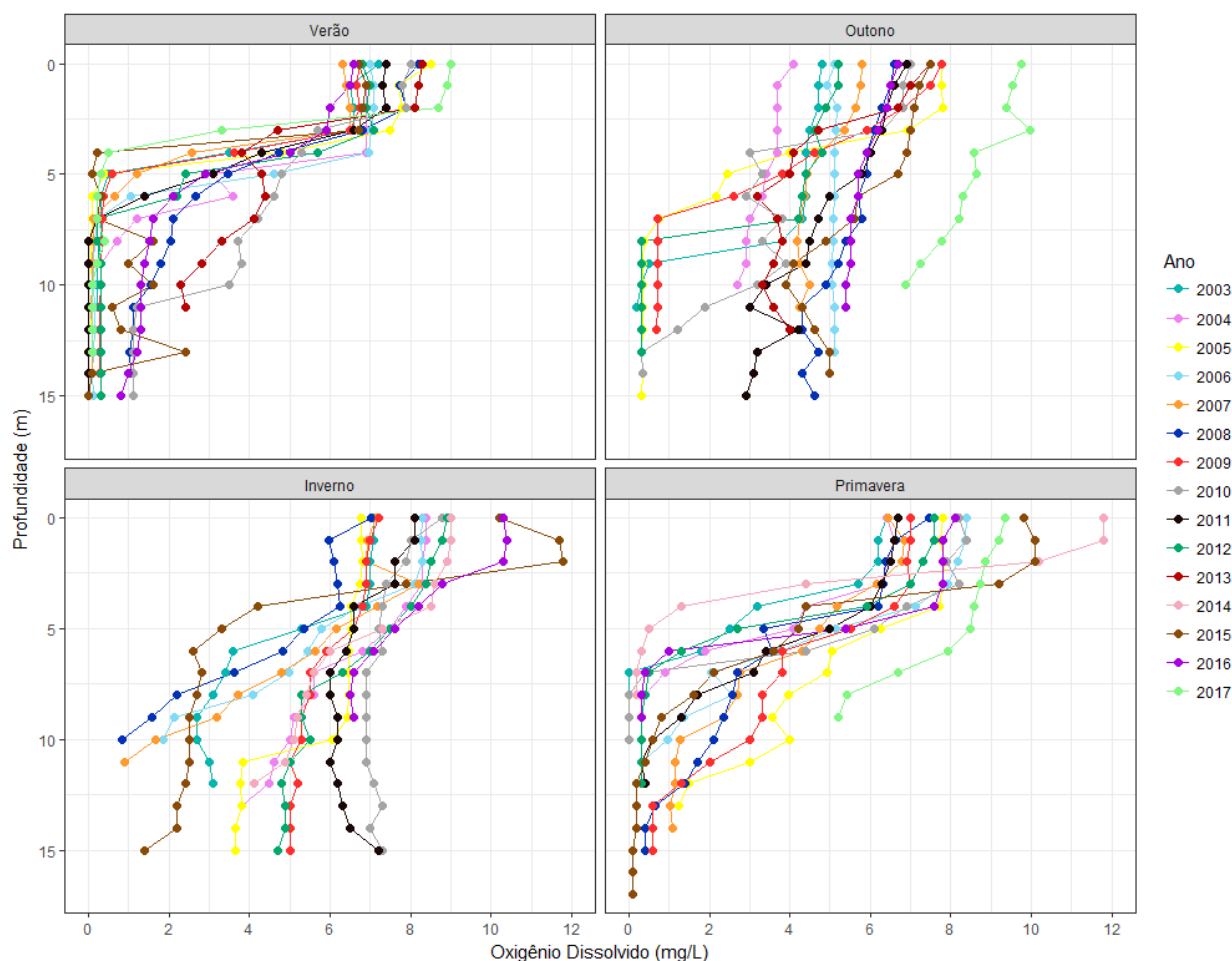
FIGURA 17 – PERFIS DE TEMPERATURA



FONTE: A AUTORA (2018)

O aumento da temperatura do ar na primavera e verão proporciona a elevação da temperatura da água, principalmente em sua parcela mais superficial. Como consequência disso, ocorre a diminuição da densidade da água superficial, que se separa da água mais profunda e fria. No outono e no inverno, a temperatura superficial diminui e a uniformização das densidades favorece a circulação das camadas de água.

FIGURA 18 – PERFIS DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO



FONTE: A AUTORA (2018)

Geralmente, no verão ocorreu anóxia hipolimnética. Porém, em alguns anos, a anóxia ainda foi observada no outono. No inverno, os níveis de oxigênio aumentaram e na primavera voltaram a decrescer, iniciando novamente o ciclo. Das 24 campanhas em que foi observada a anóxia, 10 foram no verão, 4 no outono e 10 na primavera, ou seja, 83% das situações de anóxia ocorreram nos meses mais quentes do ano. O local da maior variação da concentração de oxigênio, denominado oxiclina, geralmente ocorre em proximidade da profundidade de 4 m.

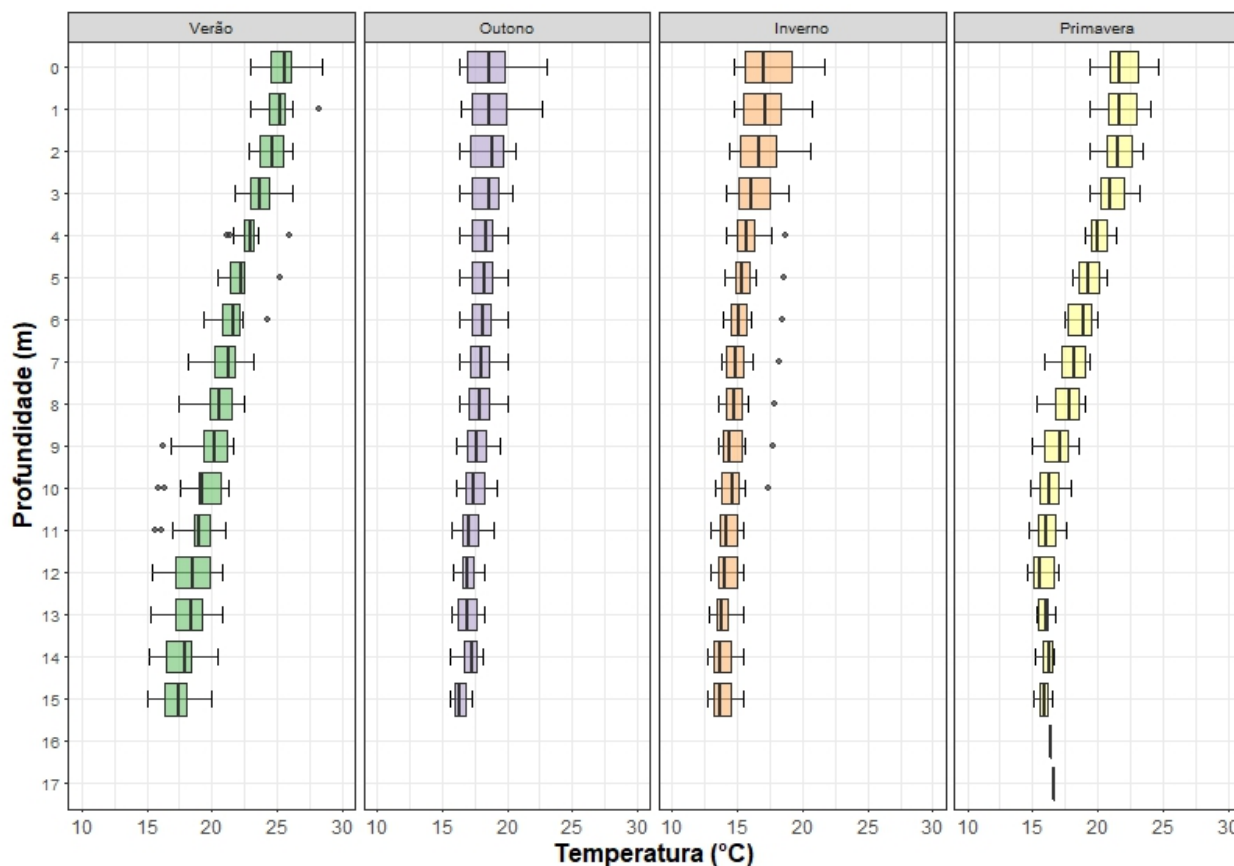
Além disso, foi possível observar que os perfis de oxigênio (Figura 18) respondem mais lentamente à mudança de temperatura (Figura 17). Em alguns casos, o perfil da temperatura no outono começou a desestratificar, enquanto o perfil de oxigênio ainda apresentou forte estratificação, chegando à anóxia no fundo. Isso ocorreu nos outonos de 2003, 2005, 2010 e 2012.

O início da zona anóxica também variou conforme o período do ano. No verão, a profundidade média de início da zona anóxica foi de 6 m. Já no outono, essa média chegou a 9,5 m. Por fim, na primavera, a média decresceu para 8,8 m de profundidade. Isso indicou que

além de menos frequente no outono, a anóxia iniciou em uma profundidade maior em relação aos meses mais quentes.

Durante o verão e a primavera foi possível verificar por meio de gráficos do tipo *box plot* (Figura 19) tendência mais acentuada à estratificação térmica. Já no outono e no inverno, essa tendência à estratificação foi amenizada. Deste modo, o comportamento do reservatório pode ser classificado como monomítico.

FIGURA 19 – BOX PLOT DO PERFIL DE TEMPERATURA

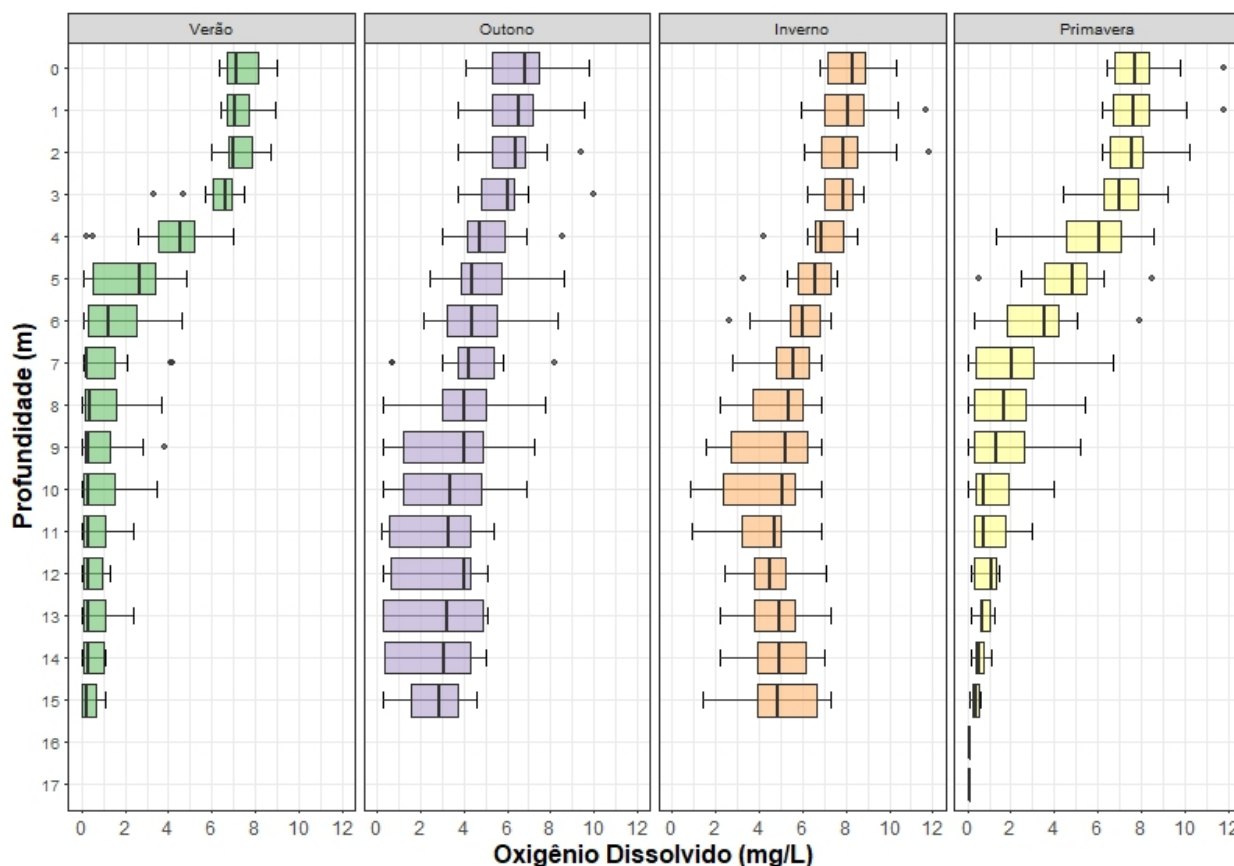


FONTE: A AUTORA (2018)

Analogamente, o *box plot* (Figura 20) enfatiza os padrões sazonais de estratificação do oxigênio. No verão e na primavera, a divisão das camadas de água é bem definida, com frequente ocorrência de anóxia.

No outono e no inverno, as concentrações variaram menos ao longo da profundidade, inclusive as medianas apresentaram-se mais semelhantes entre si, o que demonstra a tendência a circulação nos meses mais frios. Nos casos em que há estratificação nestas estações, a magnitude é menor do que nas estações mais quentes.

FIGURA 20 – BOX PLOT DO PERFIL DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO



FONTE: A AUTORA (2018)

4.3 AVALIAÇÃO DAS DEMAIS VARIÁVEIS OBTIDAS NAS PROFUNDIDADES I, II E III

Por meio dos gráficos do tipo *box plot* foi possível avaliar se houve alterações das concentrações com o aumento da profundidade ou com a mudança de estação.

Algumas das concentrações foram menores do que os limites de quantificação do método, dispostos na Tabela 8. Alguns dos limites sofreram alterações, conforme mostrado na coluna “Data de alteração”.

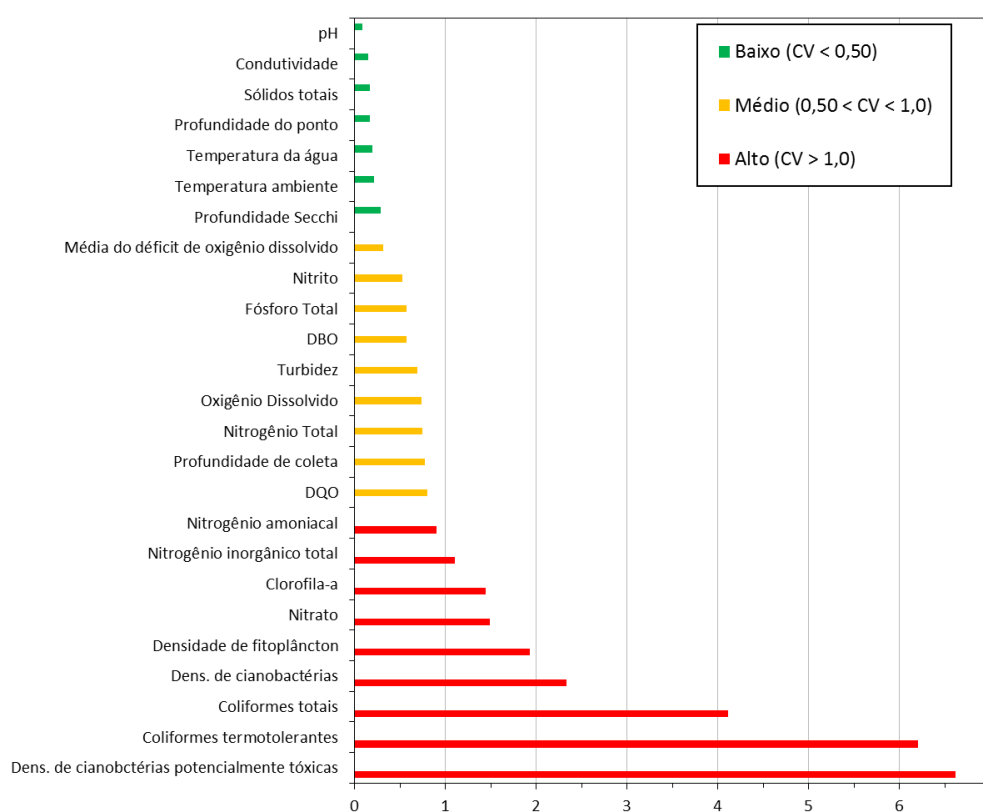
TABELA 8 – LIMITES DE QUANTIFICAÇÃO

Variável	Limite de Quantificação	Data de alteração
Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	< 1,0; < 1,8; < 2,0	variável
Coliformes Totais (NMP/100mL)	< 1,0; < 1,8	fev/10
DBO (mg/L)	< 2; < 1; < 2	fev/10; ago/14
DQO (mg/L)	< 2; < 5	fev/15
Fósforo Total (mg/L)	< 0,01	-
Nitrato (mg/L)	< 0,01; < 0,03; < 0,30; < 0,50	mai/07; ago/14; fev/15
Nitrito (mg/L)	< 0,01; < 0,03; < 0,02	set/07; ago/14
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	< 0,08; < 0,03; < 0,10	mai/13; ago/14
Nitrogênio Total (mg/L)	< 0,50	-

FONTE: A AUTORA (2018)

O cálculo dos coeficientes de variação (Figura 21) demonstrou que as variáveis biológicas, como coliformes totais e termotolerantes, densidade de fitoplâncton, densidade de cianobactérias e clorofila-a, possuem maior variabilidade ao longo do tempo. O coeficiente resultou mais baixo para as variáveis físicas, como pH, condutividade elétrica, sólidos totais, temperatura, profundidade do ponto e profundidade Secchi. A variabilidade observada é mais significativa nos parâmetros ecológicos indicados, confirmando o potencial dinâmico do reservatório e a natureza mais sensível do parâmetro. Esse resultado ainda não foi devidamente explorado na literatura e revela uma dinâmica ecológica que confirma natureza de produção primária apresentada em Männich (2013).

FIGURA 21 – COEFICIENTES DE VARIAÇÃO

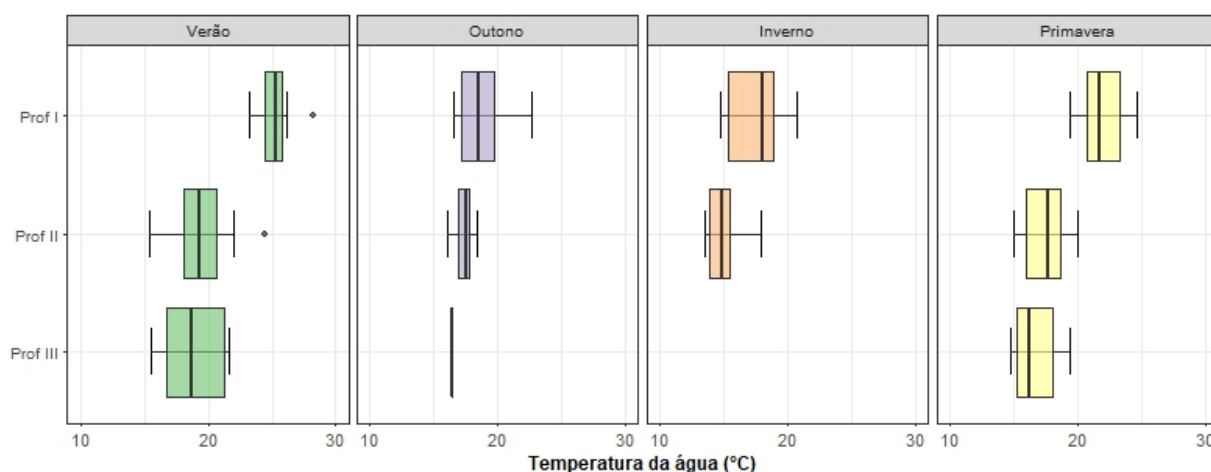


FONTE: A AUTORA (2018)

a) Temperatura da Água

Os *box plots* da temperatura por cada profundidade (Figura 22) também enfatizam que a diferença entre as camadas d'água é maior no verão e no inverno. Essas diferenças de medianas são de 5,90; 1,05; 3,10 e 3,95, respectivamente, nas estações verão, outono, inverno e primavera.

FIGURA 22 – BOX PLOT – TEMPERATURA DA ÁGUA

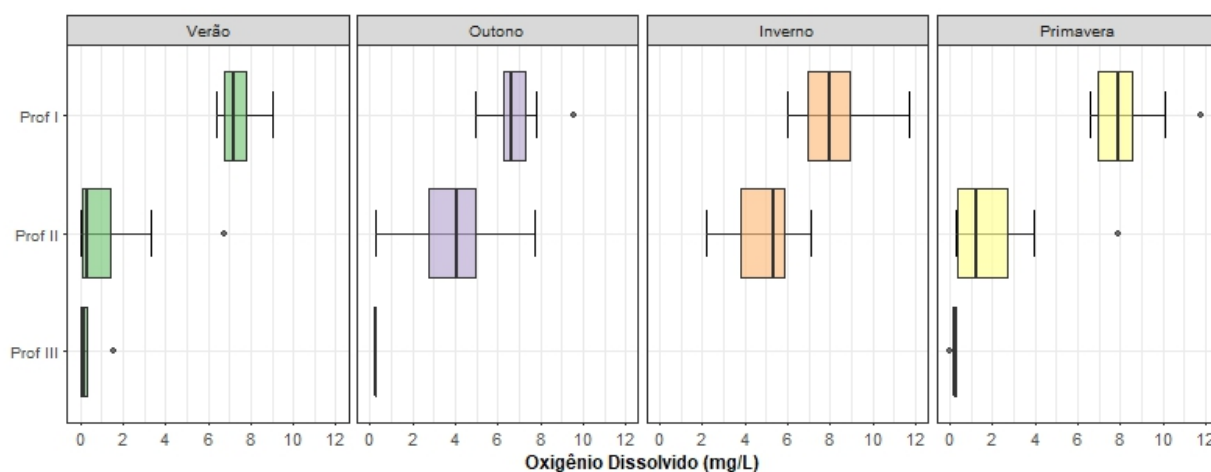


FONTE: A AUTORA (2018)

b) Oxigênio Dissolvido

O oxigênio dissolvido refletiu a tendência da temperatura, conforme Figura 23. Enquanto no verão e na primavera a diferença entre medianas foi de 6,85 mg/L e 6,65 mg/L, respectivamente, no outono e no inverno estas diferenças foram menores que 3 mg/L.

FIGURA 23 – BOX PLOT – OXIGÊNIO DISSOLVIDO



FONTE: A AUTORA (2018)

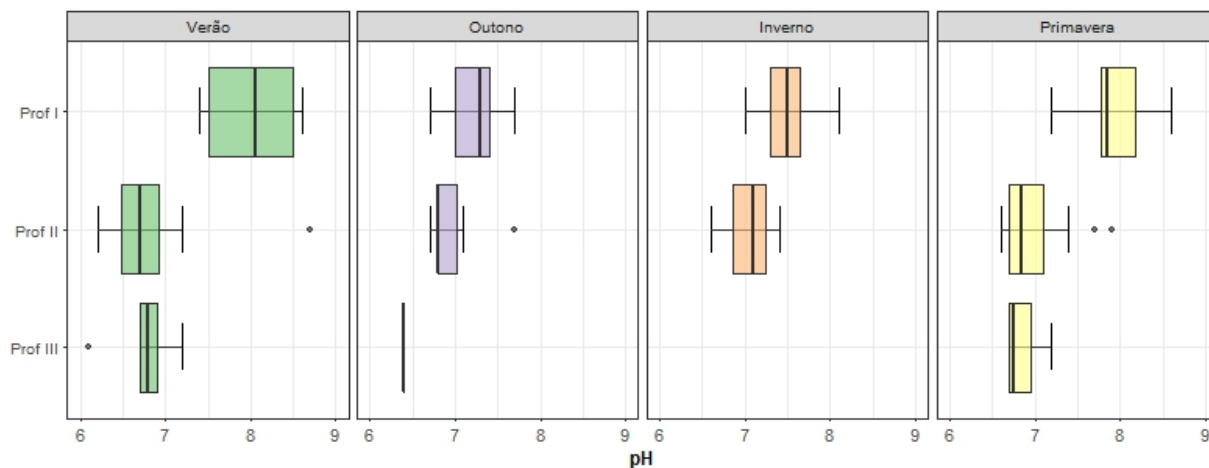
c) Potencial de Hidrogênio (pH)

Segundo Green et al. (2015), o pH da água é importante porque afeta a solubilidade de vários elementos químicos e porque organismos aquáticos são sensíveis à mudanças de pH.

O pH apresentou decréscimo na profundidade II. A diferença entre as medianas das profundidades I e II foi de 1,35 e 1,00 unidades de pH no verão e primavera, respectivamente,

enquanto nos meses frios foi de apenas 0,50 e 0,40 unidades. Portanto, pode-se afirmar que a referida variável apresentou estratificação mais acentuada nas estações quentes, conforme pode ser observado na Figura 24. Green et al. (2015) atribui este fenômeno à presença de fitoplâncton em proximidade à superfície, pois a ocorrência da fotossíntese causa aumento do pH no epilânio.

FIGURA 24 – BOX PLOT – PH

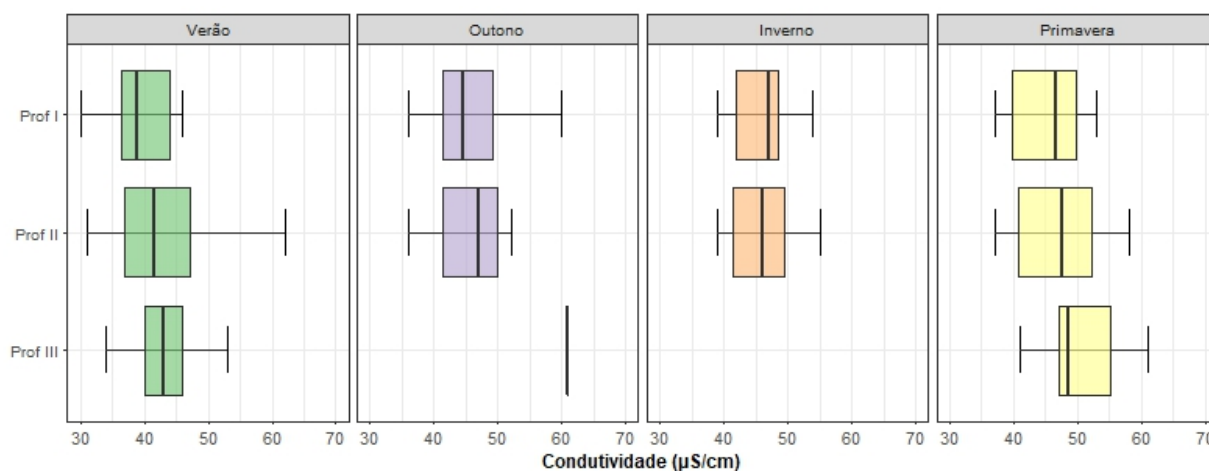


FONTE: A AUTORA (2018)

d) Condutividade Elétrica

Ao contrário das variáveis analisadas anteriormente, a condutividade elétrica apresentou medianas maiores na profundidade II do que na profundidade I (Figura 25). Nos casos de anóxia, representados pela profundidade III, os valores tenderam a ser ainda maiores.

FIGURA 25 – BOX PLOT – CONDUTIVIDADE ELÉTRICA



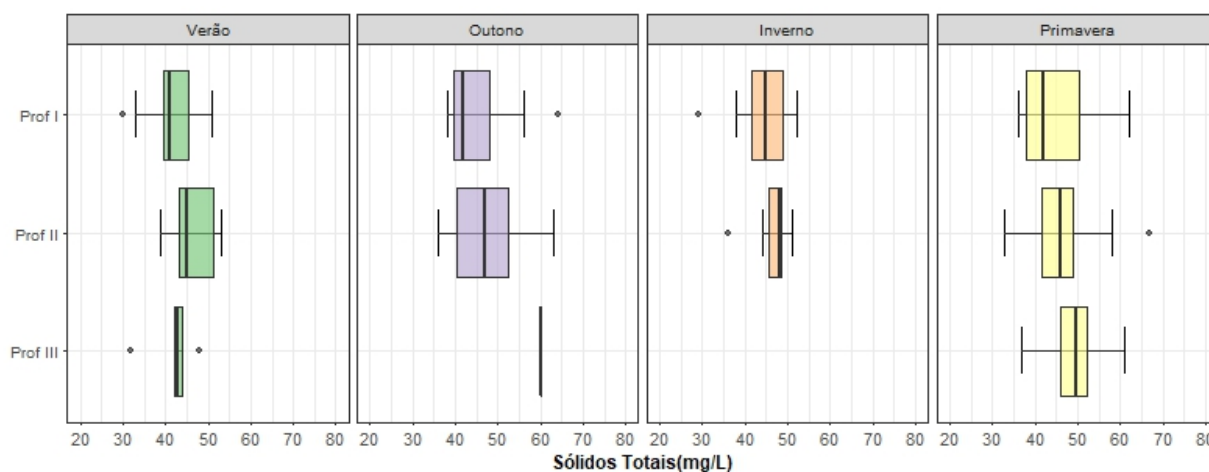
FONTE: A AUTORA (2018)

Os resultados de Männich (2013), contribuem para a compreensão da variação da condutividade ao longo da profundidade, pois foram realizadas medições do perfil completo, metro a metro. Um dos perfis avaliados pelo referido autor, em janeiro de 2013, mostra forte aumento da condutividade, que chega a triplicar a partir da profundidade de 8 m. A medição do perfil no mesmo local em agosto de 2012 não indicou aumento próximo ao fundo, o que confirma a variação sazonal desta variável. Este fenômeno, segundo o autor, é justificado pela mineralização da matéria orgânica proveniente da biomassa, que desce ao fundo após a morte. A transformação da matéria orgânica em matéria inorgânica causa a liberação de substâncias dissolvidas, que proporcionam o aumento da condutividade.

e) Sólidos Totais

Os sólidos totais são provenientes dos processos erosivos da bacia e são transportados até o reservatório por meio de ventos, chuvas, ou até mesmo pelo fluxo dos tributários. É possível perceber tendência de aumento dos sólidos totais na profundidade II (Figura 26). Sazonalmente, não foi verificado padrão de alteração.

FIGURA 26 – BOX PLOT – SÓLIDOS TOTAIS



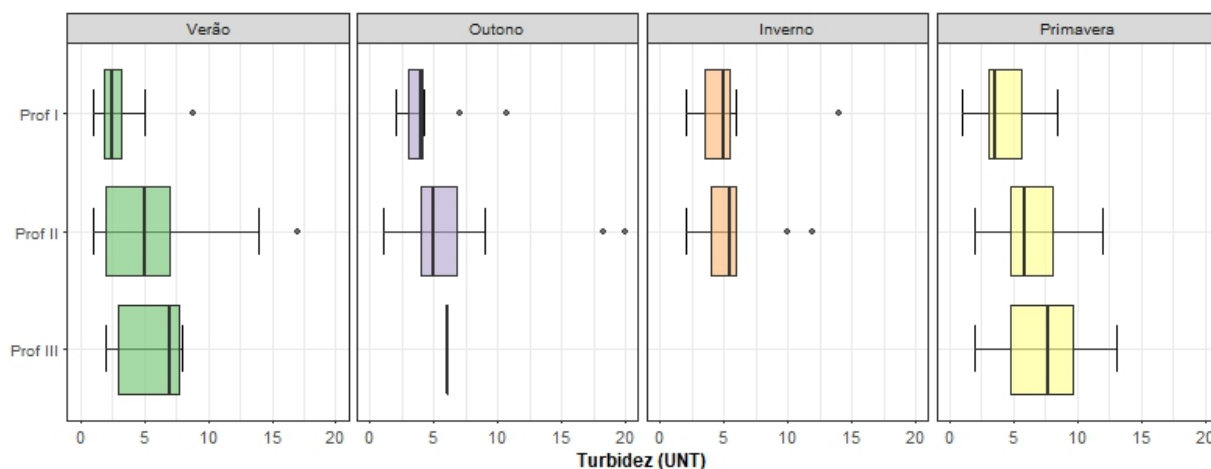
FONTE: A AUTORA (2018)

f) Turbidez

Segundo ANA (2018b), a turbidez indica a capacidade da água de dispersar a radiação solar pela presença de partículas em suspensão, provenientes da carga de sólidos erodida na bacia. Semelhantemente aos sólidos totais, a turbidez aumentou na profundidade II (Figura 27). Essa elevação foi mais evidente no verão e na primavera, onde as diferenças entre as medianas das profundidades I e II foram de, respectivamente, 2,60 e 2,38 UNT. Nos meses frios, esta

diferença se limitou a 1,00 e 0,49 UNT. Vale destacar, no entanto, que os valores de turbidez nunca foram problemáticos, pois sempre se mantiveram abaixo de 20 UNT na estação avaliada.

FIGURA 27 – BOX PLOT – TURBIDEZ

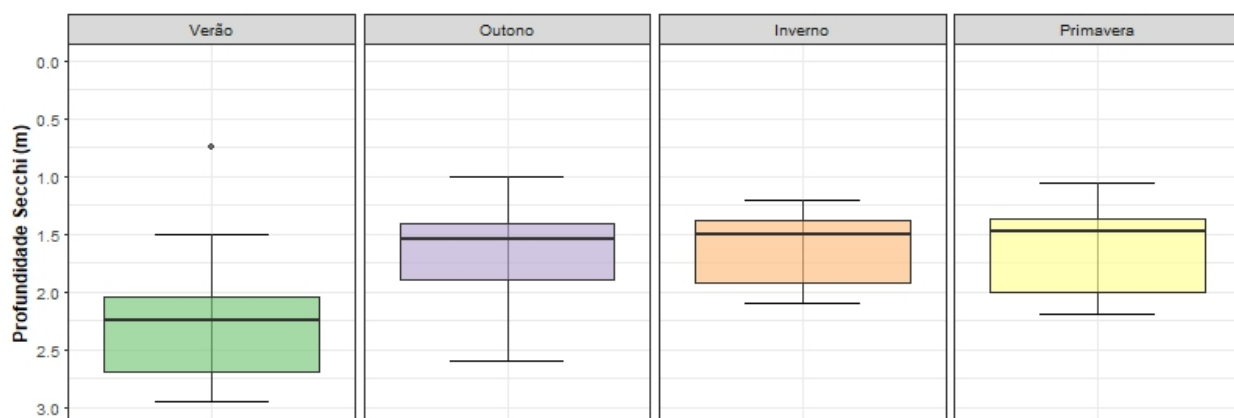


FONTE: A AUTORA (2018)

g) Profundidade Secchi

A partir da medida de profundidade do disco de Secchi é possível avaliar a transparência da água. Quanto maior a profundidade alcançada pelo disco de Secchi, maior a transparência da água. Na Figura 28, foi observado que no verão a água apresentou maior transparência em relação ao resto do ano, o que pode ter acontecido devido à maior radiação solar nessa estação e consequente interferência na leitura.

FIGURA 28 – BOX PLOT – PROFUNDIDADE SECCHI

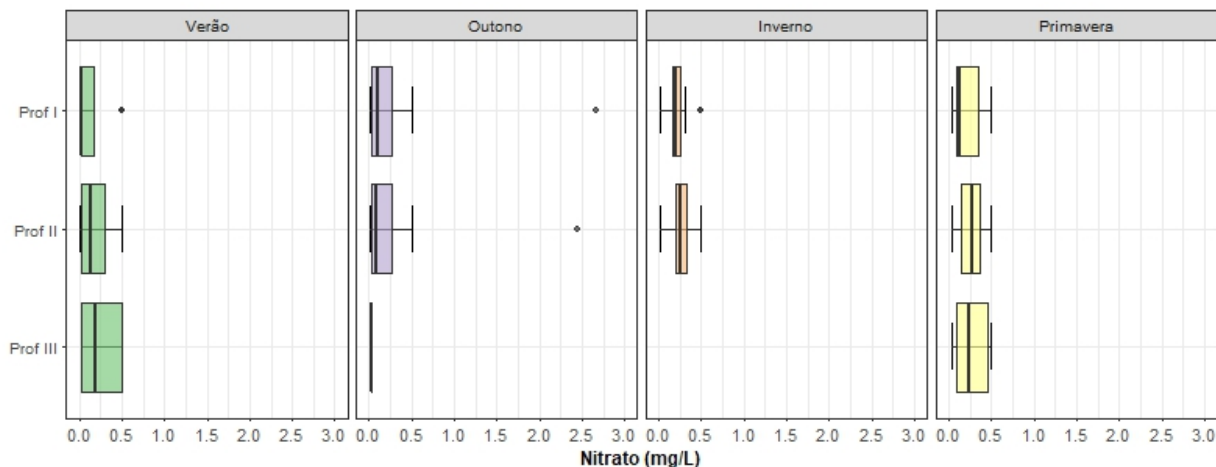


FONTE: A AUTORA (2018)

h) Nitrato

No reservatório Vossoroca, os valores de nitrato mantiveram-se, em geral, próximos aos limites de quantificação (Figura 29). No período analisado, o limite variou entre 0,01; 0,03; 0,30 e 0,50 mg/L. As mudanças ocorreram em mai/07, ago/14 e fev/15, respectivamente.

FIGURA 29 – BOX PLOT – NITRATO

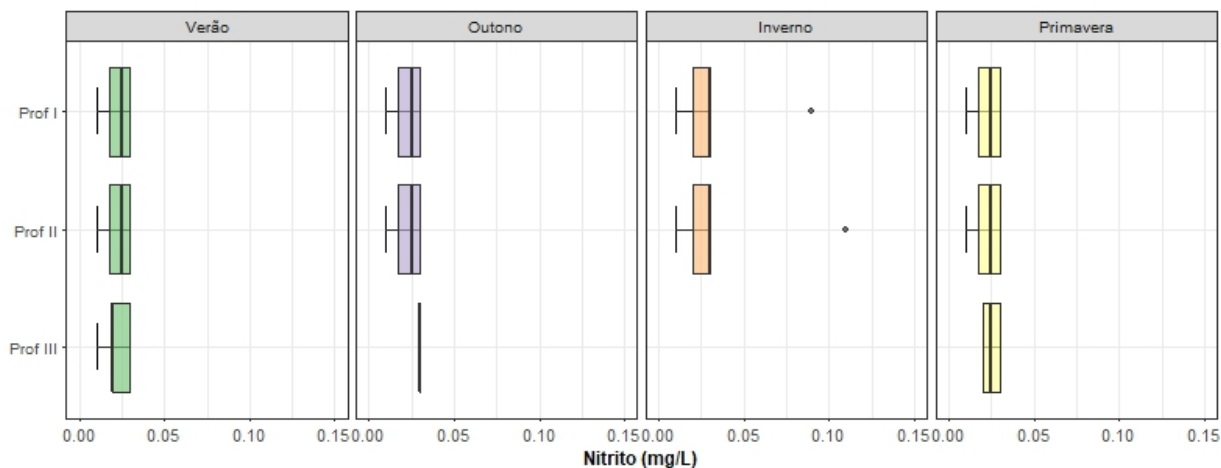


FONTE: A AUTORA (2018)

i) Nitrito

As concentrações de nitrito não apresentaram grandes variações ao longo da profundidade nem sazonalmente (Figura 30). Pequenas variações ocorreram no *box plot* devido a alterações no limite de quantificação, que inicialmente era de 0,01 mg/L, passou para 0,03 em set/07 e mudou para 0,02 em ago/14. Observa-se que, em geral, as concentrações estiveram no limite de quantificação ou muito próximas a ele.

FIGURA 30 – BOX PLOT – NITRITO

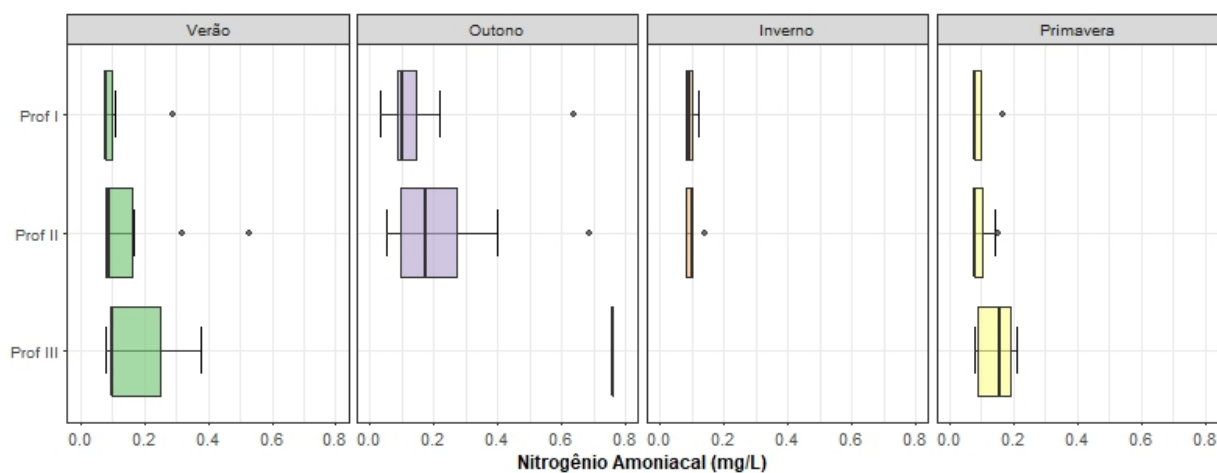


FONTE: A AUTORA (2018)

j) Nitrogênio Amoniacal

Ao longo do período de monitoramento, o limite de quantificação mudou de 0,08 mg/L para 0,03 mg/L em mai/13 e posteriormente, em ago/14 para 0,10 mg/L. Em geral, os valores mantiveram-se próximos ao limite de quantificação, porém foi constatada elevação das concentrações na profundidade III, que é coletada somente quando há anóxia (Figura 31). Segundo Esteves (1988), o hipolímnio apresenta altas concentrações de nitrogênio amoniacal durante a estratificação térmica. O autor explica que o fenômeno ocorre devido ao acúmulo de compostos oriundos do processo de amonificação e da redução do nitrato em ambientes anaeróbios.

FIGURA 31 – BOX PLOT – NITROGÊNIO AMONIAICAL

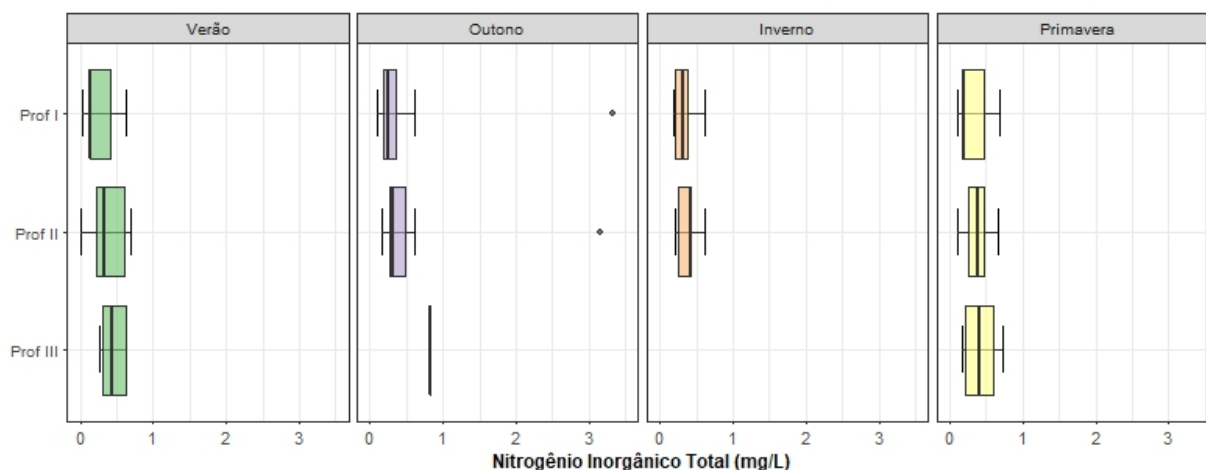


FONTE: A AUTORA (2018)

k) Nitrogênio Inorgânico Total

O nitrogênio inorgânico total (Figura 32), por ser a soma dos valores de nitrito, nitrato e nitrogênio amoniacal, apresentou valores baixos, consequência de valores próximos ao limite de quantificação em suas parcelas.

FIGURA 32 – BOX PLOT – NITROGÊNIO INORGÂNICO TOTAL

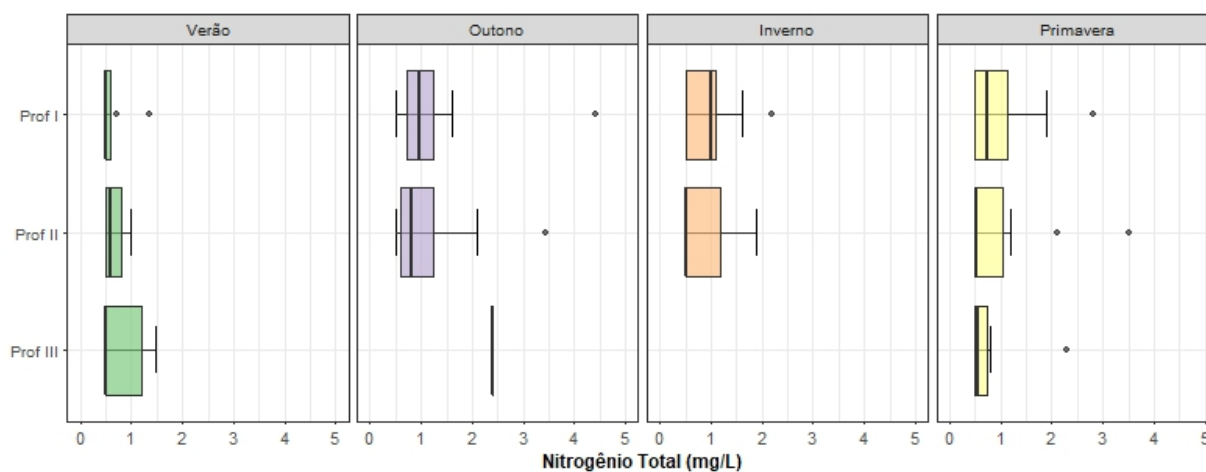


FONTE: A AUTORA (2018)

l) Nitrogênio Total

O nitrogênio total é a consolidação das três parcelas constituintes do nitrogênio inorgânico total com o nitrogênio orgânico. O limite de quantificação do nitrogênio total permaneceu 0,50 mg/L ao longo de todo o período monitorado. Os valores mantiveram-se abaixo de 2 mg/L, excetuando-se alguns *outliers* (Figura 33).

FIGURA 33 – BOX PLOT – NITROGÊNIO TOTAL



FONTE: A AUTORA (2018)

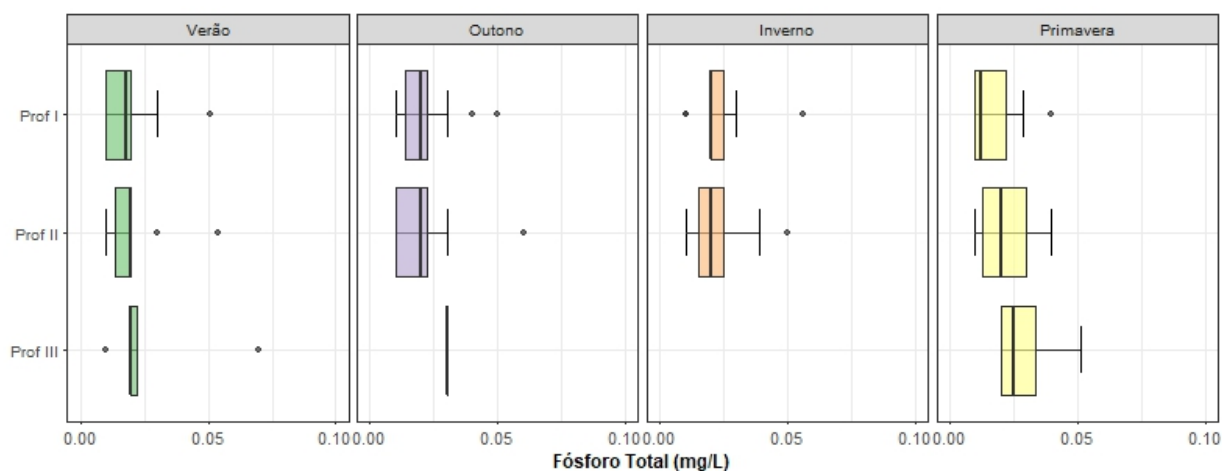
m) Fósforo Total

O fósforo tem um papel importante no ecossistema aquático. Em comparação com os principais elementos da biota (C, N, O, S) este é o menos abundante e geralmente limita a produtividade biológica (WETZEL; LIKENS, 1991).

Os valores de fósforo total foram determinados com limite de quantificação constante de 0,01 mg/L e nunca ultrapassaram o valor de 0,07 mg/L (Figura 34). Há tendência de aumento da concentração na profundidade III. Segundo Green et al. (2015), a anóxia pode aumentar a liberação de fósforo proveniente dos sedimentos do fundo. Adicionalmente, o fósforo é absorvido pelo fitoplâncton (ESTEVES, 1998), cujas maiores densidades ocorrem no epilímnio.

Em todas as campanhas, o fósforo foi definido como fator limitante para a eutrofização, pois a relação entre as massas molares do nitrogênio e do fósforo (N/P) sempre superou 12 (JØRGENSEN; VOLLENWEIDER, 1989).

FIGURA 34 – BOX PLOT – FÓSFORO TOTAL



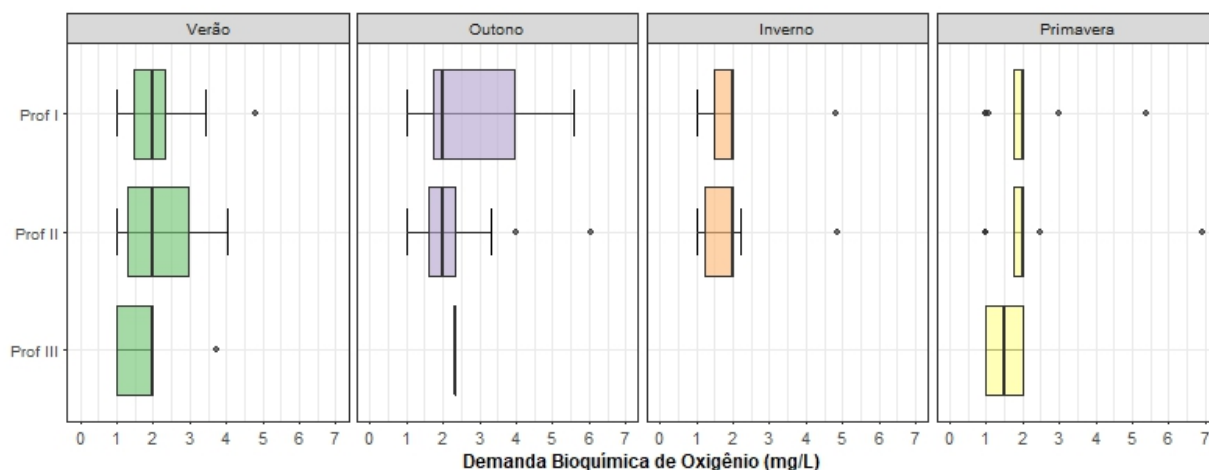
FONTE: A AUTORA (2018)

n) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A Demanda Bioquímica de Oxigênio e a Demanda Química de Oxigênio indicam a presença de matéria orgânica na água. A redução na concentração de oxigênio, responsável pela estabilização da matéria orgânica, ocorre como consequência da atividade respiratória das bactérias (FUNASA, 2014). A DBO refere-se à matéria orgânica mineralizada por atividade de micro-organismos, enquanto a DQO engloba também a estabilização da matéria orgânica ocorrida por processos químicos (FUNASA, 2014).

A DBO não apresentou grandes variações ao longo das profundidades nem ao longo do tempo (Figura 35). Convém destacar que houve alteração do limite de quantificação de 2 mg/L para 1 mg/L em fev/10 e retornou novamente para 2 mg/L a partir de ago/14. Em geral, a DBO se manteve próxima ao limite de quantificação ao longo de todo o período. De acordo com FUNASA (2014), a DBO normalmente é baixa (entre 1mg/L e 10 mg/L) em ambientes não poluídos.

FIGURA 35 – BOX PLOT – DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO

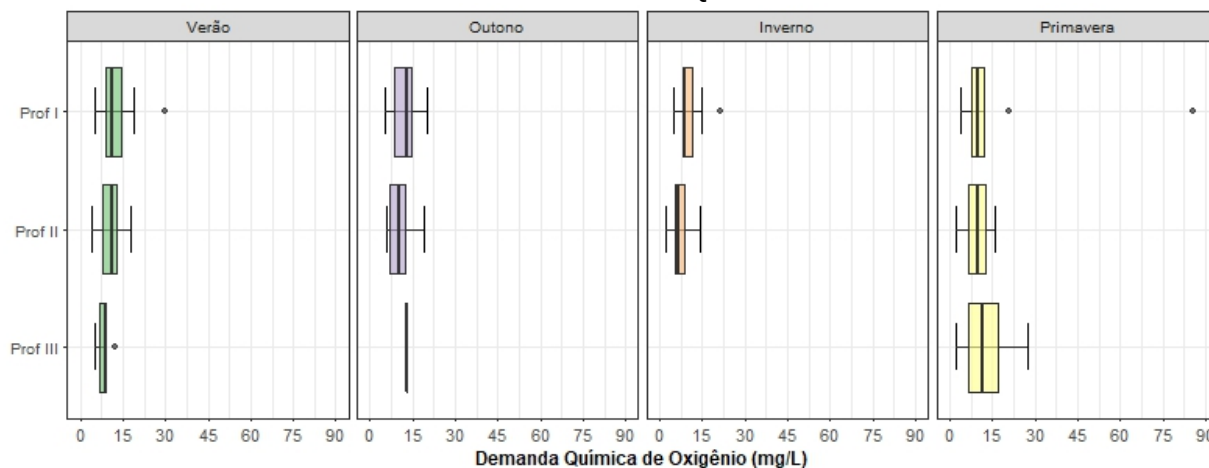


FONTE: A AUTORA (2018)

o) Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) apresentou medianas muito próximas em todas as profundidades (Figura 36). Houve alteração no limite de quantificação de 2 mg/L para 5 mg/L em fev/15, o que ocasionou algumas variações no *box plot*.

FIGURA 36 – BOX PLOT – DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO



FONTE: A AUTORA (2018)

A maioria dos valores não superou 30 mg/L. Exceção se faz ao valor de 85,9 mg/L na profundidade I, ocorrido em nov/2016 (primavera), que coincidiu com a presença de florações de fitoplâncton. Segundo Tundisi e Tundisi (2012), a respiração de plantas aquáticas e decomposição por atividade bacteriana são responsáveis pela perda de oxigênio dissolvido. Portanto, o valor elevado de DQO foi causado pelo aumento do consumo de oxigênio, que decorre da intensificação da presença de matéria orgânica do fitoplâncton.

No trabalho de Brassac-Arruda (2014) a DQO e a densidade de fitoplâncton demonstraram ter correlação positiva. No caso do reservatório Vossoroca, notou-se que a floração ocorreu com predominância de 91% da espécie *Merimospedia tenuissima*, que se caracteriza pelo seu pequeno volume e consequente baixa contribuição na biomassa do ecossistema. Esta baixa contribuição pode ser confirmada pelo valor de clorofila baixo nesta data, de 10,4 µg/L, e, portanto, não justifica o valor elevado de DQO. Entretanto, o relatório referente ao monitoramento no ciclo 2016 (INSTITUTOS LACTEC, 2017) ressalta que amostras com pouca quantidade de fixador podem ocasionar o colapso de algumas células algais menos resistentes, como é o caso da espécie *Ceratium furcoides*, que é exótica e invasora de ambientes continentais e vem sendo registrada nesta estação desde 2012. Em nov/2016, a espécie foi registrada nas magnitudes de 38 cél/mL na Prof I e 208 cél/mL na Prof II. A baixa quantidade de fixador pode ter ocultado a ocorrência de floração desta espécie, que apresenta células de grande biovolume celular e pode ter sido responsável pelo aumento da DQO, que superou a mediana em 8 vezes nesta ocasião.

p) Coliformes Totais

Os coliformes são indicadores da contaminação da água por fezes, que podem trazer organismos patogênicos associados e contaminar pessoas que se abastecem da água (ANA, 2018a). Por ser uma variável biológica, apresentou alto coeficiente de variação (4,11). As medianas mais elevadas ocorreram no outono e na primavera (Figura 37).

FIGURA 37 – BOX PLOT – COLIFORMES TOTAIS

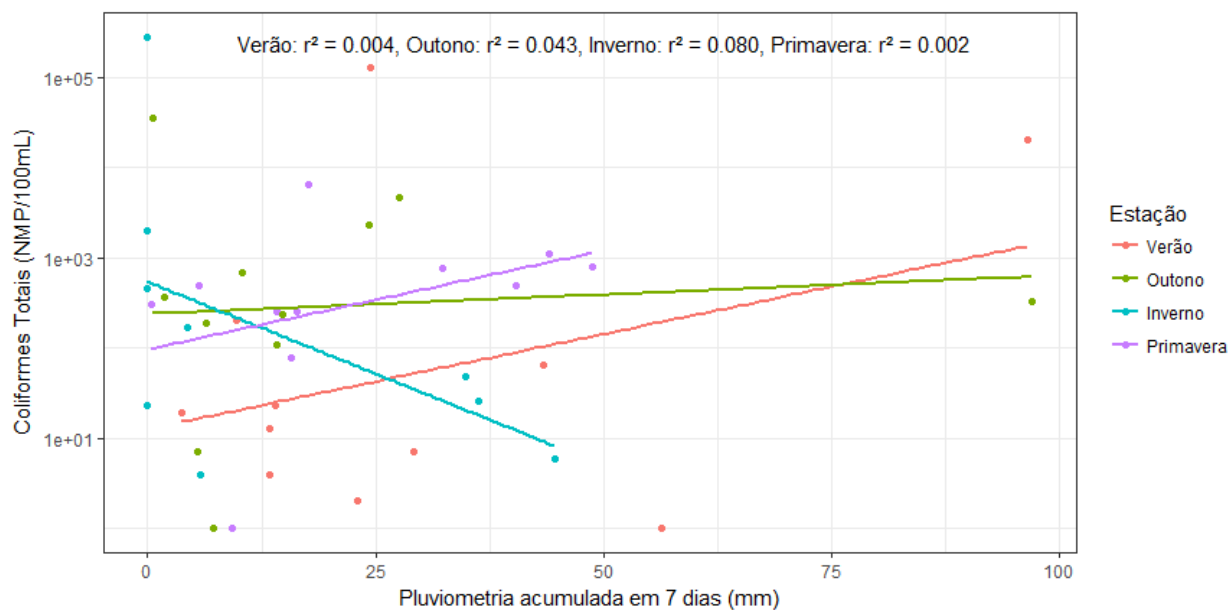


FONTE: A AUTORA (2018)

A hipótese de que a concentração de coliformes seja relacionada com as chuvas foi considerada. No entanto, a regressão linear entre a concentração de coliformes totais e a pluviometria acumulada nos 7 dias anteriores às campanhas (Figura 38) demonstrou que os

coeficientes de correlação foram muito baixos em todas as estações do ano. Portanto, nesse caso, não se pode justificar a variação na concentração de coliformes com a pluviometria.

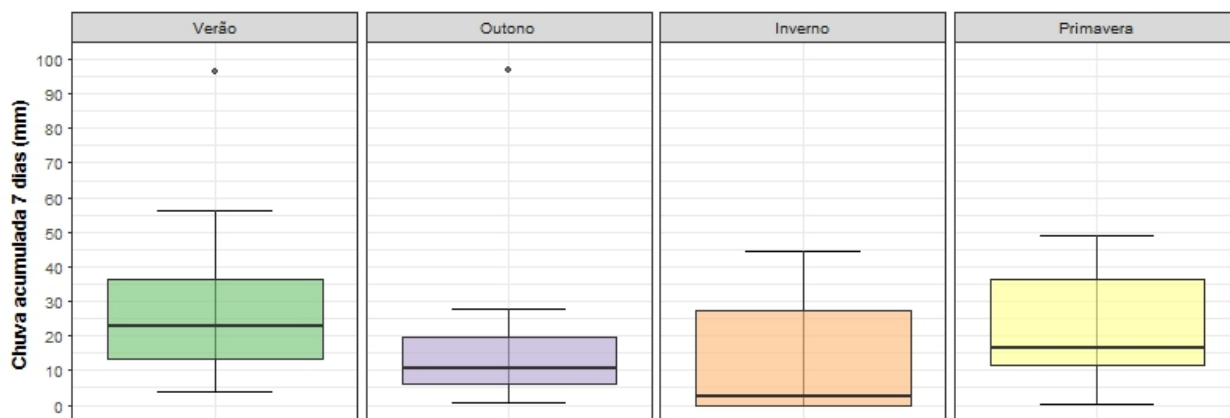
FIGURA 38 – REGRESSÃO LINEAR – COLIFORMES TOTAIS E PLUVIOMETRIA



FONTE: A AUTORA (2018)

O *box plot* da pluviometria acumulada em 7 dias (Figura 39) reforça que não é possível estabelecer relação matemática entre as variáveis, visto que as estações em que ocorreram as maiores medianas de chuvas acumuladas nos 7 dias anteriores à campanha foram verão e primavera.

FIGURA 39 – BOX PLOT – PLUVIOMETRIA

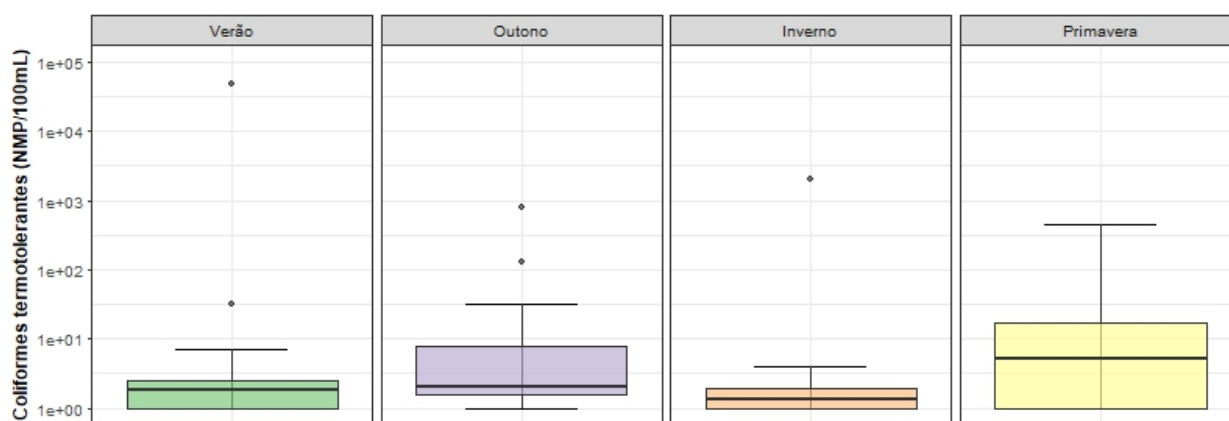


FONTE: A AUTORA (2018)

q) Coliformes Termotolerantes

Os coliformes termotolerantes são a parcela dos coliformes totais que suporta temperaturas superiores a 40° (ANA, 2018a). Neste grupo, encontra-se a *Escherichia coli*, que pode causar doenças aos consumidores da água. Assim como os coliformes totais, os termotolerantes também apresentaram alto coeficiente de variação (6,21). Seguindo a tendência dos coliformes totais, os termotolerantes também foram mais expressivos no outono e na primavera (Figura 40).

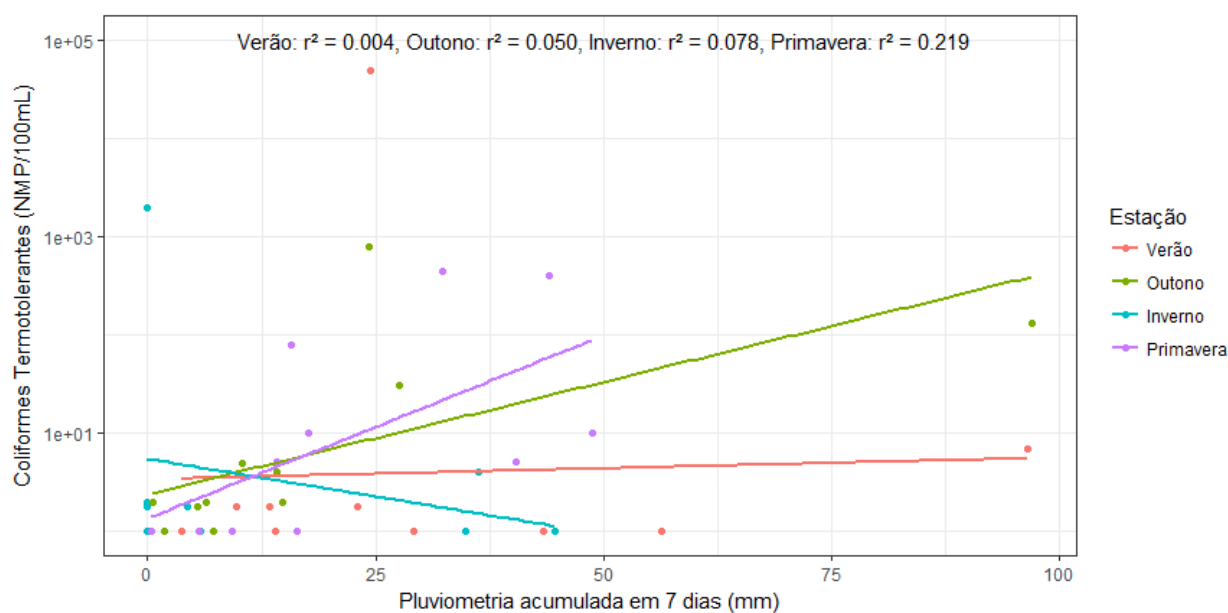
FIGURA 40 – BOX PLOT – COLIFORMES TERMOTOLERANTES



FONTE: A AUTORA (2018)

A regressão linear realizada para a concentração de coliformes termotolerantes (Figura 41) demonstrou a mesma tendência vista para os coliformes totais. O maior coeficiente de correlação observado foi de 0,219 na primavera. Portanto, os coliformes termotolerantes também não podem ter sua variação explicada pelas chuvas.

FIGURA 41 – REGRESSÃO LINEAR – COLIFORMES TOLERANTES E PLUVIOMETRIA

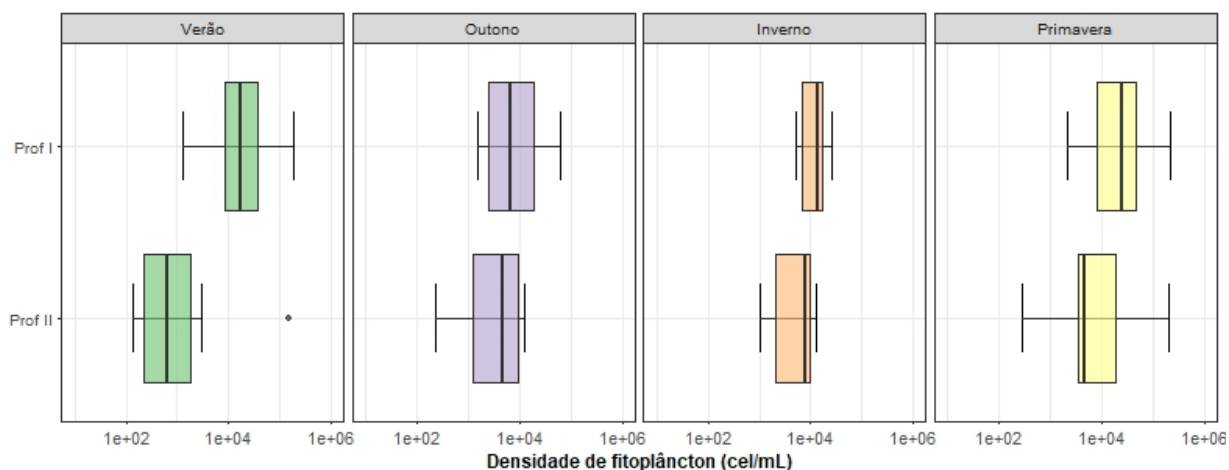


FONTE: A AUTORA (2018)

r) Densidade de Fitoplâncton

O fitoplâncton é a base de diversas cadeias alimentares e é responsável por 45% da produtividade primária mundial (ANA, 2018a). A biomassa de fitoplâncton depende de pulsos produzidos naturalmente, por ventos, chuvas e influxo do rio, ou então antropogenicamente, como o aporte de nutrientes e a saída de água (ANA, 2018a). Na Figura 42, foi possível observar que a diferença entre as medianas das duas profundidades no verão e primavera é maior do que nos meses mais frios. Nos meses quentes esta diferença foi de 16.191 e 20.406 cél/mL, enquanto nos meses frios a diferença foi de 1.867 e 5.711 cél/mL. Isso indica que a densidade de fitoplâncton é influenciada pelas alterações térmicas, pois a elevação da temperatura acelera o metabolismo da comunidade aquática, inclusive do fitoplâncton (BRASSAC-ARRUDA, 2014). Além disso, a elevação das concentrações de oxigênio no epilímnio resulta no aumento da taxa fotossintética do fitoplâncton (ESTEVES, 1998).

FIGURA 42 – BOX PLOT – DENSIDADE DE FITOPLÂNCTON



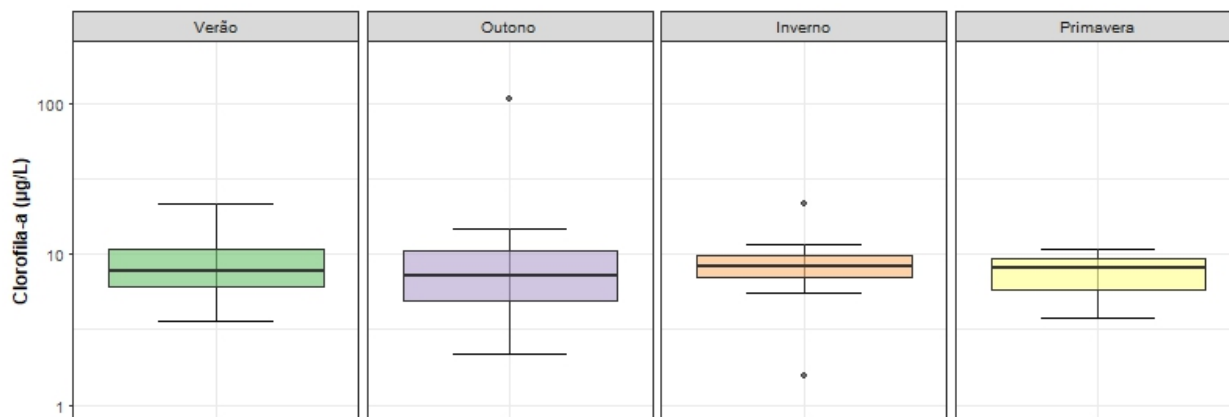
FONTE: A AUTORA (2018)

Estes organismos, em condições favoráveis, crescem em altas densidades, fenômeno denominado de florações de algas (ESTEVES, 1998). Das campanhas avaliadas, aconteceram florações fitoplanctônicas em três ocasiões, totalizando 6,4% de ocorrência.

s) Clorofila-a

Um dos principais responsáveis pela fotossíntese é a clorofila (ESTEVES, 1988). O conhecimento de sua concentração pode indicar a biomassa, a produtividade e o estado fisiológico do fitoplâncton (ANA, 2018a). Esta variável foi analisada apenas na profundidade I (Figura 43). Suas concentrações apresentaram alto coeficiente de variação (1,44) devido à sua grande sensibilidade. Entre os períodos, não foram constatadas grandes alterações. Destaca-se o valor de 107,4 μL , ocorrido em mai/2013 (outono), que coincidiu com o evento de floração fitoplanctônica, com predominância da espécie *Fragilaria crotonensis*.

FIGURA 43 – BOX PLOT – CLOROFILA-A



FONTE: A AUTORA (2018)

t) Densidade de Cianobactérias

As cianobactérias têm importância nos ramos alimentício, farmacêutico e agrícola. No entanto, podem produzir compostos orgânicos que dão gosto e odor desagradáveis à água (ANA, 2018a).

A presença de cianobactérias nas 47 campanhas avaliadas foi resumida em percentual na Tabela 9. As cianobactérias estiveram presentes em 91,5% dos resultados, sendo mais frequentes na profundidade I.

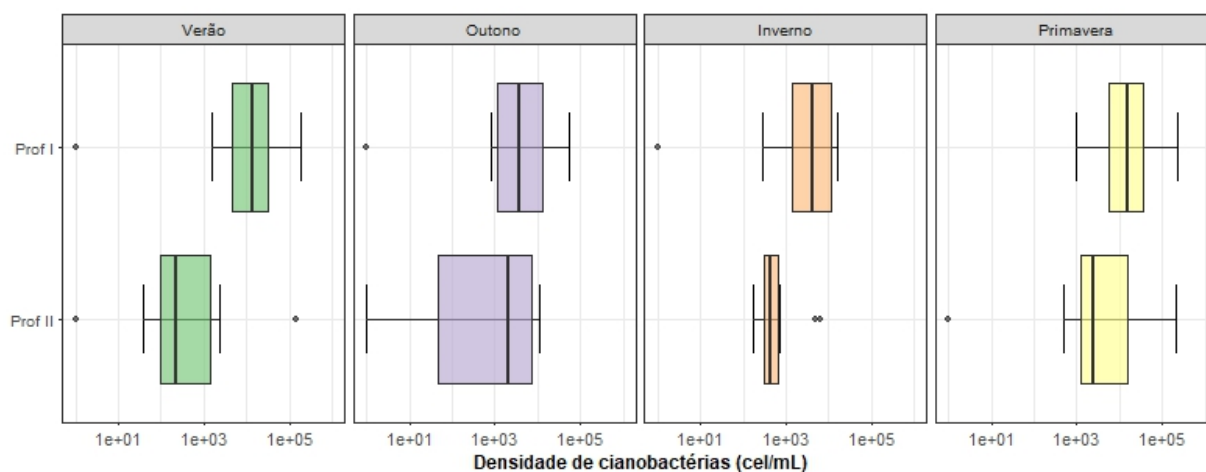
TABELA 9 – PRESENÇA DE CIANOBACTÉRIAS

Cianobactérias	Profundidade I	Profundidade II	Total
Ausente	6,4%	10,6%	8,5%
Presente	93,6%	89,4%	91,5%

FONTE: A AUTORA (2018)

Foi possível observar a tendência de densidades mais elevadas na profundidade I, conforme ilustrado na Figura 44. Destaca-se que para efeitos de visualização na escala logarítmica, os resultados nulos foram substituídos pelo valor 1.

FIGURA 44 – BOX PLOT – DENSIDADE DE CIANOBACTÉRIAS



FONTE: A AUTORA (2018)

u) Densidade de Cianobactérias Potencialmente Tóxicas

Além de interferir no gosto e odor da água, as cianobactérias também podem produzir toxinas denominadas *cianotoxinas*, que podem causar efeitos dermatológicos, no sistema nervoso e até mesmo a morte (ANA, 2018a). Esta parcela de cianobactérias ocorreu com 67% de frequência nos resultados, sendo também mais presente na profundidade I (Tabela 10).

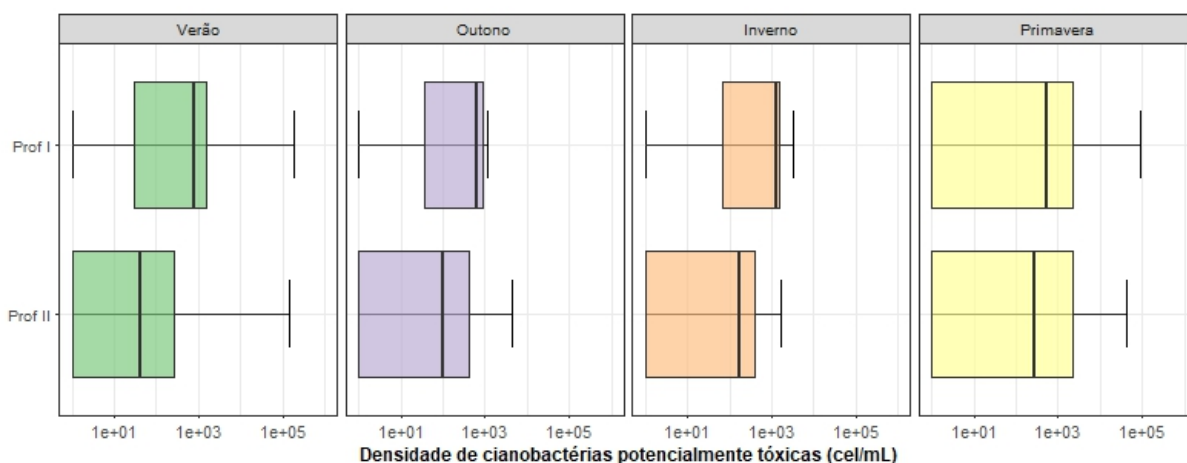
TABELA 10 – PRESENÇA DE CIANOACTÉRIAS POTENCIALMENTE TÓXICAS

Cianobactérias Potencialmente Tóxicas	Profundidade I	Profundidade II	Total
Ausente	25,5%	40,4%	33,0%
Presente	74,5%	59,6%	67,0%

FONTE: A AUTORA (2018)

O *box plot* (Figura 45) mostra que as medianas da densidade foram mais elevadas na profundidade I, de modo a confirmar a tendência geral. Neste gráfico, os valores nulos também foram substituídos por 1, para visualização na escala logarítmica.

FIGURA 45 – BOX PLOT – DENSIDADE DE CIANOACTÉRIAS POTENCIALMENTE TÓXICAS



FONTE: A AUTORA (2018)

4.4 DIFERENÇA ENTRE AS CAMADAS DE ÁGUA

Para avaliar quais são as variáveis que acompanham as tendências de estratificação observadas, foram utilizados três métodos. O primeiro, pelo coeficiente de variação calculado por estação do ano, o segundo pelo cálculo do percentual de diferença entre as profundidades I e II e o terceiro pelo teste de permutação.

a) Coeficientes de variação

Foram comparados os coeficientes de variação de todas as variáveis que possuem dados nas profundidades I e II (Tabela 11). Os resultados foram coloridos de acordo com a magnitude do coeficiente de variação ($CV > 1$ alto, $0.5 < CV < 1$ médio e $CV < 0.5$ baixo). A profundidade III foi excluída desta análise, pois não haveria uniformidade na comparação, visto que na referida profundidade só existem dados para algumas variáveis em algumas estações do ano.

TABELA 11 – COEFICIENTES DE VARIAÇÃO DOS DADOS DAS PROFUNDIDADES I E II

Variável	Verão	Outono	Inverno	Primavera
Temperatura da água	0,16	0,09	0,13	0,14
Oxigênio dissolvido	0,79	0,45	0,36	0,71
pH	0,11	0,05	0,05	0,08
Condutividade elétrica	0,18	0,13	0,11	0,14
Fósforo total	0,58	0,60	0,53	0,51
Nitrogênio amoniacal	0,81	0,91	0,17	0,26
Nitrito	0,38	0,38	0,73	0,38
Nitrato	1,19	1,97	0,58	0,71
Nitrogênio inorgânico total	0,72	1,49	0,41	0,56
Nitrogênio total	0,33	0,80	0,58	0,80
Sólidos Totais	0,14	0,18	0,12	0,19
Turbidez	0,90	0,83	0,54	0,51
Demanda bioquímica de oxigênio	0,49	0,61	0,53	0,62
Demanda química de oxigênio	0,48	0,41	0,50	1,26
Densidade de fitoplâncton	1,97	1,44	0,68	1,62
Densidade de cianobactérias	2,14	1,71	1,31	1,83
Densidade de cianobactérias potencialmente tóxicas	3,28	1,74	1,31	2,82

FONTE: A AUTORA (2018)

O padrão de coeficientes maiores no verão e na primavera do que no outono e no inverno pode ser um indicador de quais variáveis são mais influenciadas pelas alterações sazonais da dinâmica do reservatório. Esse padrão se verificou para as variáveis destacadas em negrito na Tabela 11: temperatura da água, oxigênio dissolvido, pH, condutividade elétrica, densidade de fitoplâncton, densidade de cianobactérias e densidade de cianobactérias potencialmente tóxicas.

Para mais da metade das variáveis, o menor coeficiente de variação ocorreu no inverno e para outras seis variáveis, o coeficiente do inverno foi o segundo menor. Isso reafirma a ocorrência de circulação das camadas de água nesse período.

b) Percentuais de diferença das medianas

Foi calculado o percentual de diferença entre as medianas de cada profundidade (Tabela 12), dado pela diferença entre as medianas da profundidade I e da profundidade II dividida pela mediana máxima entre as duas profundidades. Os percentuais maiores indicam que ocorreu maior diferença entre as camadas. Os resultados negativos significam que a variável decresceu com o aumento da profundidade, enquanto os valores positivos mostram o contrário.

TABELA 12 – PERCENTUAIS DE DIFERENÇA ENTRE AS MEDIANAS PROFUNDIDADES I E II

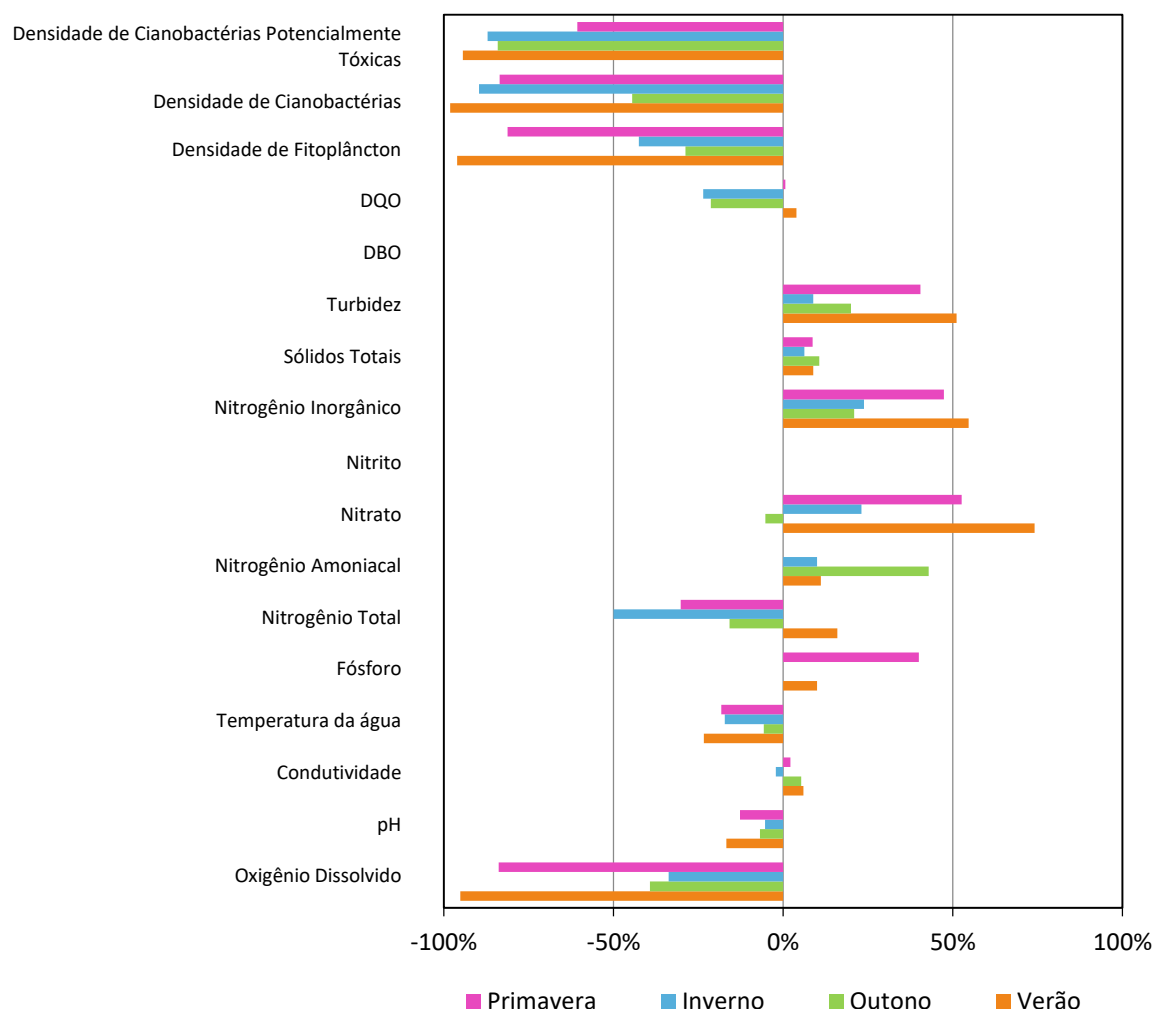
Variável	Verão	Outono	Inverno	Primavera
Oxigênio Dissolvido	-95	-39	-34	-84
pH	-17	-7	-5	-13
Condutividade Elétrica	6	5	-2	2
Temperatura da água	-23	-6	-17	-18
Fósforo	10	0	0	40
Nitrogênio Total	16	-16	-50	-30
Nitrogênio Amoniacal	11	43	10	0
Nitrato	74	-5	23	53
Nitrito	0	0	0	0
Nitrogênio Inorgânico	55	21	24	47
Sólidos Totais	9	11	6	9
Turbidez	51	20	9	40
DBO	0	0	0	0
DQO	4	-21	-24	1
Densidade de Fitoplâncton	-96	-29	-43	-81
Densidade de Cianobactérias	-98	-44	-90	-84
Densidade de Cianobactérias Potencialmente Tóxicas	-94	-84	-87	-61

FONTE: A AUTORA (2018)

Os valores destacados em negrito na Tabela 12 são os que seguem o padrão de maiores diferenças (em módulo) entre as profundidades nos meses quentes do que nos meses frios. Este padrão foi verificado para as variáveis oxigênio dissolvido, pH, temperatura da água, fósforo, nitrato, nitrogênio inorgânico, turbidez e densidade de fitoplâncton.

A Figura 46 demonstra visualmente a magnitude desses percentuais. As variáveis com maior diferença entre as camadas foram o oxigênio dissolvido, nitrato, nitrogênio inorgânico, turbidez, densidade de fitoplâncton, densidade de cianobactérias e densidade de cianobactérias potencialmente tóxicas.

FIGURA 46 – PERCENTUAIS DE DIFERENÇA ENTRE AS PROFUNDIDADES I E II



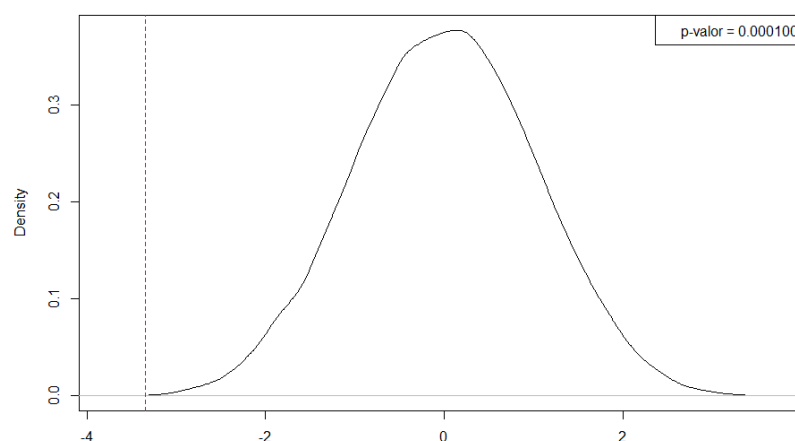
FONTE: A AUTORA (2018)

c) Teste de permutação

Com o teste de permutação, buscou-se verificar se as diferenças entre os resultados das medianas das profundidades I e II são estatisticamente significativas para cada variável.

A título de exemplificação, a Figura 47 mostra a curva de densidade para a variável Oxigênio Dissolvido, no inverno. A linha tracejada vermelha situada na extremidade da curva indica que esta variável apresentou resultados estatisticamente diferentes entre as profundidades. Isso pode ser avaliado por meio do p-valor, que nesse caso resultou 0,0001. Ao nível de significância de 5%, rejeita-se a hipótese de igualdade entre as profundidades.

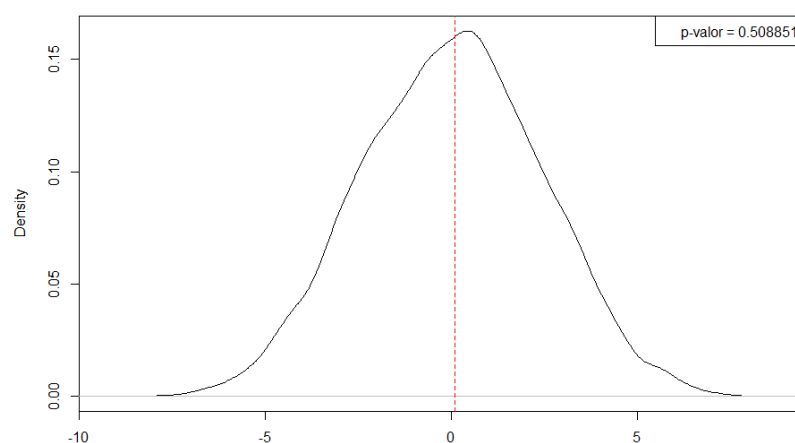
FIGURA 47 – TESTE DE PERMUTAÇÃO PARA OS DADOS DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO INVERNO



FONTE: A AUTORA (2018)

Analogamente, o teste foi realizado para os dados de condutividade do outono (Figura 48). Neste teste, o p-valor resultou 0,5089, que ao nível de significância de 5%, indica a não rejeição da hipótese de igualdade.

FIGURA 48 - TESTE DE PERMUTAÇÃO PARA OS DADOS DE CONDUTIVIDADE OUTONO



FONTE: A AUTORA (2018)

Este procedimento foi realizado para todas as variáveis que continham resultados para as duas profundidades, separados por estação. Os p-valores resultantes estão dispostos na Tabela 13. Os resultados em vermelho são os que indicam diferença estatística entre as profundidades ao nível de significância de 5%.

TABELA 13 – P-VALORES DO TESTE DE PERMUTAÇÃO

Variável	Verão	Outono	Inverno	Primavera
Oxigênio dissolvido	0,0001	0,0552	0,0001	0,0001
pH	0,0001	0,0190	0,0016	0,0001
Condutividade elétrica	0,1424	0,5089	0,4977	0,2948
Temperatura da água	0,0001	0,0076	0,0017	0,0001
Fósforo total	0,3855	0,4765	0,4647	0,1759
Nitrogênio total	0,3173	0,4142	0,3930	0,4924
Nitrogênio amoniacal	0,1192	0,1948	0,3980	0,3235
Nitrito	1,0000	1,0000	0,4163	1,0000
Nitrato	0,3046	0,4740	0,2764	0,2138
Nitrogênio inorgânico total	0,1502	0,3411	0,2683	0,2117
Sólidos Totais	0,0228	0,2504	0,2004	0,3637
Turbidez	0,0332	0,0868	0,3113	0,0365
Demanda Bioquímica de Oxigênio	0,4821	0,3173	0,4943	0,4492
Demanda Química de Oxigênio	0,2589	0,2941	0,0821	0,2485
Densidade de fitoplâncton	0,1851	0,0421	0,0074	0,2346
Densidade de cianobactérias	0,2258	0,0690	0,0109	0,2644
Densidade de cianobactérias potencialmente tóxicas	0,2559	0,4940	0,0230	0,4076

FONTE: A AUTORA (2018)

O teste indicou que, para a variável oxigênio dissolvido, a hipótese de igualdade foi rejeitada no verão, inverno e primavera. No outono, a hipótese de igualdade foi aceita.

A hipótese de igualdade foi rejeitada para as variáveis pH e temperatura da água em todas as estações, o que indica que estas variáveis são mais sensíveis à profundidade durante todo o ano.

As variáveis condutividade, fósforo total, nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, nitrogênio inorgânico total, DBO e DQO não demonstraram ter diferenças significativas entre as profundidades, possivelmente por se tratar de um reservatório com baixas concentrações de nutrientes e matéria orgânica, pois se situaram próximas ao limite de quantificação.

A variável sólidos totais demonstrou diferença entre as profundidades no verão, possivelmente devido à estratificação do reservatório nessa época.

A turbidez seguiu precisamente o padrão de circulação nas estações frias e estratificação nas quentes.

Em relação à densidade de fitoplâncton, o teste detectou as diferenças entre as profundidades no outono e no inverno. No entanto, devido à maior variabilidade das séries no

verão e na primavera, não houve indicação de estratificação nessas épocas, embora seja possível observar graficamente e pela diferença de medianas que esta variável acompanha as tendências de estratificação do reservatório.

As variáveis densidade de cianobactérias e densidade de cianobactérias potencialmente tóxicas sofreram o mesmo efeito observado na densidade de fitoplâncton. Devido ao alto coeficiente de variação dos parâmetros biológicos, o teste detectou diferença apenas no inverno. Portanto, para estas variáveis, as tendências sazonais devem ser observadas pelo método dos coeficientes de variação e dos percentuais de diferença da mediana.

Nem todas as diferenças vistas graficamente puderam ser detectadas como significativas pelo teste de permutação, visto que cada estação do ano possui de 10 a 12 observações. Para um teste de permutação, este número pode ser considerado pequeno e pode acarretar em maior dificuldade de rejeição da hipótese. Além disso, os altos coeficientes de variação fizeram com que as séries de dados se sobreponham e não seja possível detectar a diferença, sendo necessário observar as diferenças entre as medianas.

d) Comparação dos resultados

As variáveis que mais se destacaram por acompanhar os padrões de estratificação e circulação do reservatório nos métodos *a* e *b* foram: temperatura da água, oxigênio dissolvido e pH. Além disso, o teste de permutação demonstrou que essas diferenças são, em geral, significativas.

A condutividade elétrica se destacou por ter coeficientes de variação maiores nos meses quentes, porém o método de diferença entre as medianas indicou estratificação mais elevada no verão. O teste de permutação indicou que a magnitude dessas diferenças não é significativa.

O fósforo total apresentou maiores diferenças de medianas entre as profundidades I e II nos meses quentes, entretanto a estratificação não foi detectada pelos outros métodos.

A série nitrogenada não apresentou o padrão de estratificação pelo método dos coeficientes de variação. O método do percentual de diferença das medianas apontou que a estratificação é maior no verão e na primavera para o nitrato e o nitrogênio inorgânico, enquanto a estratificação do nitrogênio total destacou-se principalmente no verão. O nitrito manteve a mesma mediana em todas as estações do ano e o nitrogênio amoniacal apresentou maior diferença no outono. O teste de permutação, entretanto, não apontou diferenças significativas entre as profundidades para as variáveis da série nitrogenada.

Para os sólidos totais, o teste demonstrou diferença significativa entre as séries de resultados das duas profundidades no verão. No entanto, esta estratificação não se destacou pelos métodos do coeficiente de variação e do percentual de diferenças de medianas.

O método do percentual de diferenças entre as medianas e o teste de permutação indicaram estratificação significativa da turbidez no verão e na primavera, portanto esta variável segue o padrão de estratificação.

A DBO e a DQO não apresentaram padrões de estratificação por nenhum dos métodos.

As maiores diferenças entre as profundidades para as variáveis densidade de fitoplâncton, densidade de cianobactérias e densidade de cianobactérias potencialmente tóxicas não foram detectadas pelo teste de permutação. No entanto, observando a alta diferença percentual das medianas, verifica-se que a densidade de fitoplâncton estratificou mais intensamente no verão e na primavera e que a densidade de cianobactérias e a densidade de cianobactérias potencialmente tóxicas demonstraram maior estratificação no verão.

As variáveis que demonstraram acompanhar as tendências de estratificação do reservatório na primavera e no verão foram: temperatura da água, oxigênio dissolvido, pH, turbidez, fósforo total, nitrato, nitrogênio inorgânico e densidade de fitoplâncton. As quatro primeiras citadas, entretanto, foram apontadas como as que tem diferença significativa pelo teste de permutação.

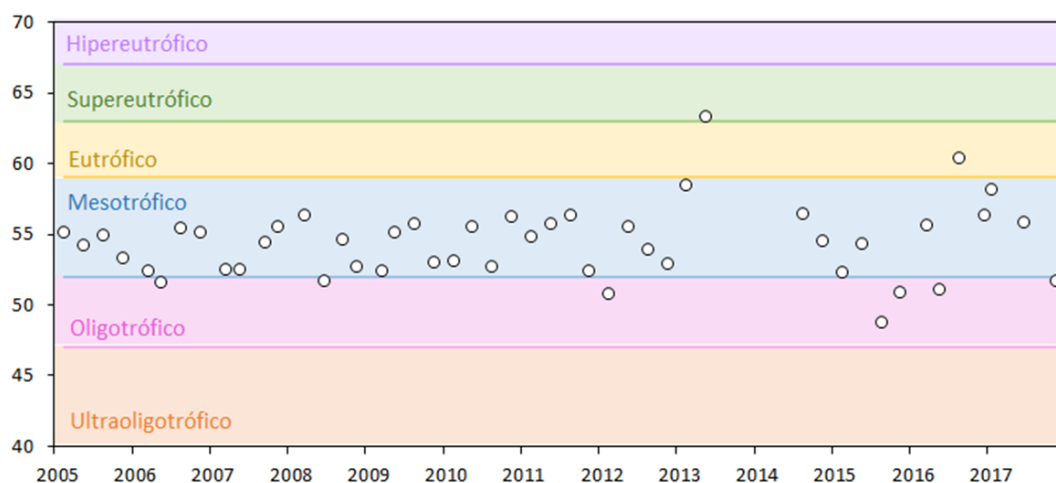
As variáveis que se destacaram pela estratificação mais elevada apenas no verão foram: condutividade elétrica, nitrogênio total, sólidos totais, densidade de cianobactérias e densidade de cianobactérias potencialmente tóxicas. Entre essas, a única que demonstrou diferença significativa pelo teste de permutação foi sólidos totais.

As variáveis nitrogênio amoniacal, nitrito, DBO e DQO não acompanharam as tendências de estratificação das demais variáveis.

4.5 ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO (IET)

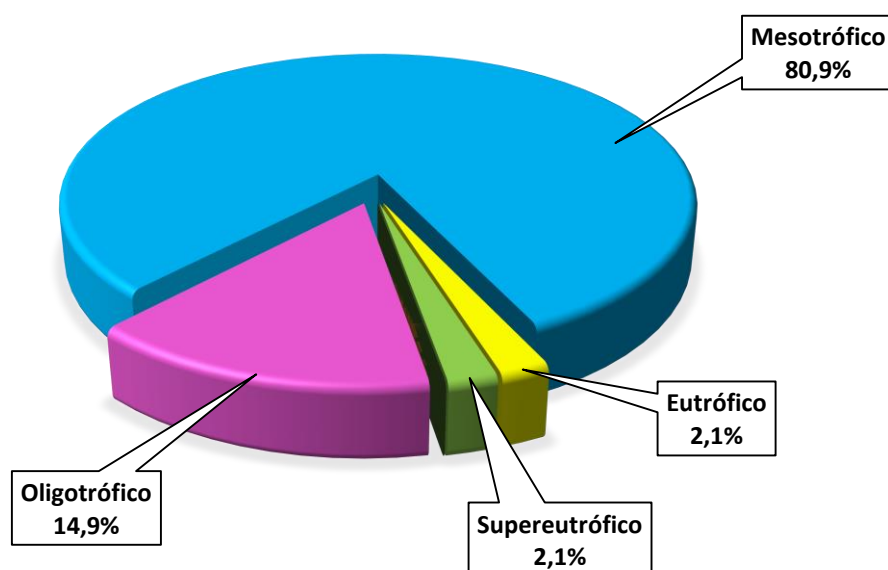
Foi avaliada a série histórica do Índice de Estado Trófico (Figura 49). O estado de trofia foi majoritariamente mesotrófico, com 80,9% das observações (Figura 50). Em 14,9% das observações, o reservatório estava em condição oligotrófica. Ocasionalmente, também ocorreram os estados eutrófico e supereutrófico.

FIGURA 49 – SÉRIE HISTÓRICA DO ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO



FONTE: A AUTORA (2018)

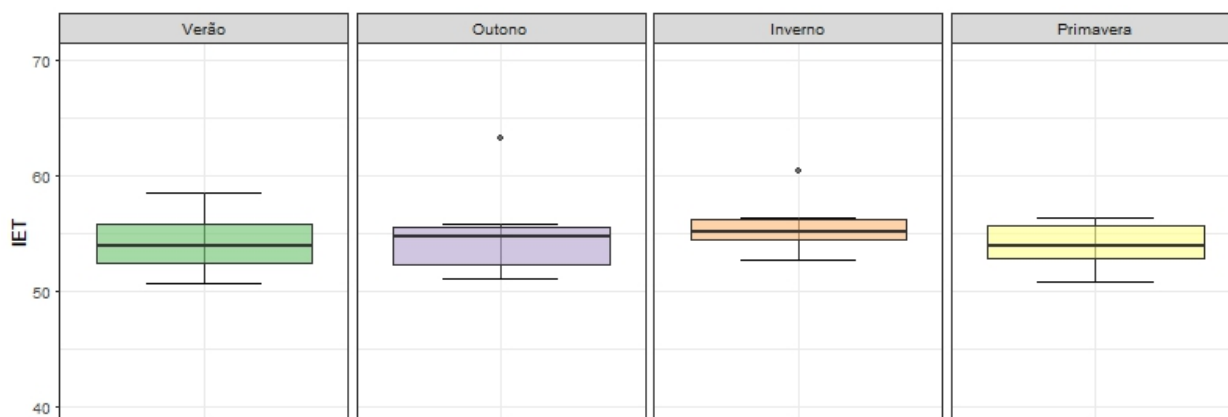
FIGURA 50 – PERCENTUAIS DE OCORRÊNCIA DOS ESTADOS TRÓFICOS



FONTE: A AUTORA (2018)

Ao longo do ano, conforme observa-se na Figura 51, não houve grande variação do índice, visto que a magnitude das variáveis formadoras do índice, em geral, não se alterou ao longo do ano.

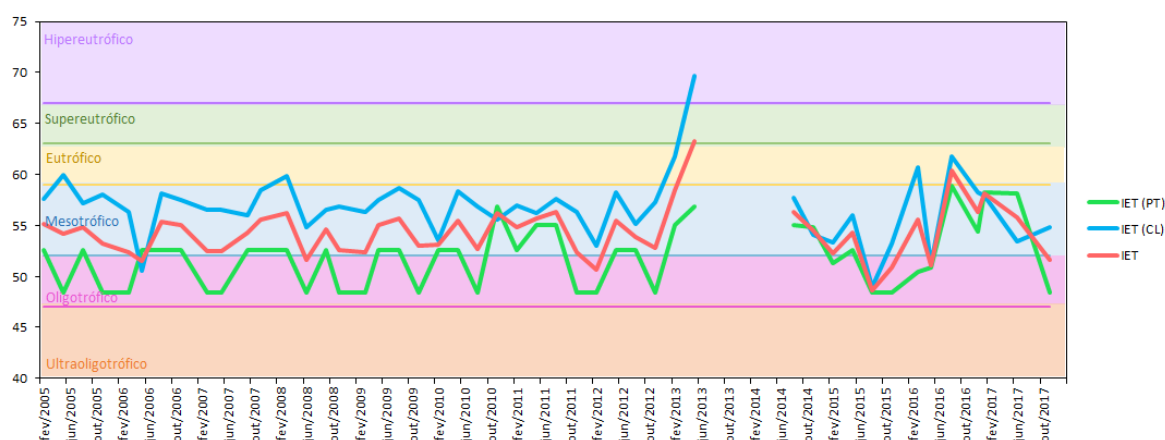
FIGURA 51 – BOX PLOT – ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO



FONTE: A AUTORA (2018)

Verificou-se que a variável responsável pela elevação do estado trófico é, na maior parte do período avaliado, a clorofila-a. O subíndice da clorofila-a, representado na cor azul, apresenta valores superiores ao subíndice do fósforo, representado na cor verde, elevando a média (Figura 52).

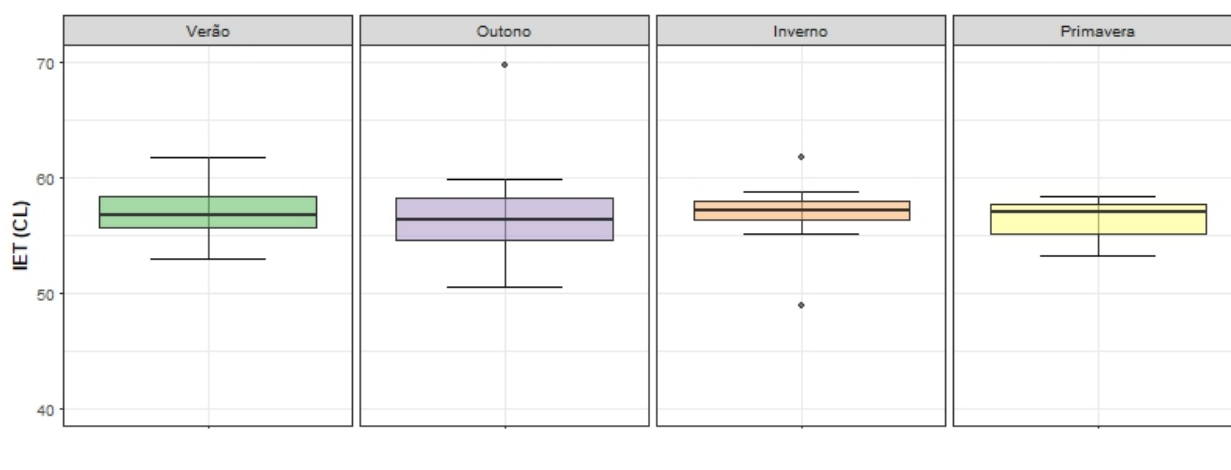
FIGURA 52 – ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO DECOMPOSTO



FONTE: A AUTORA (2018)

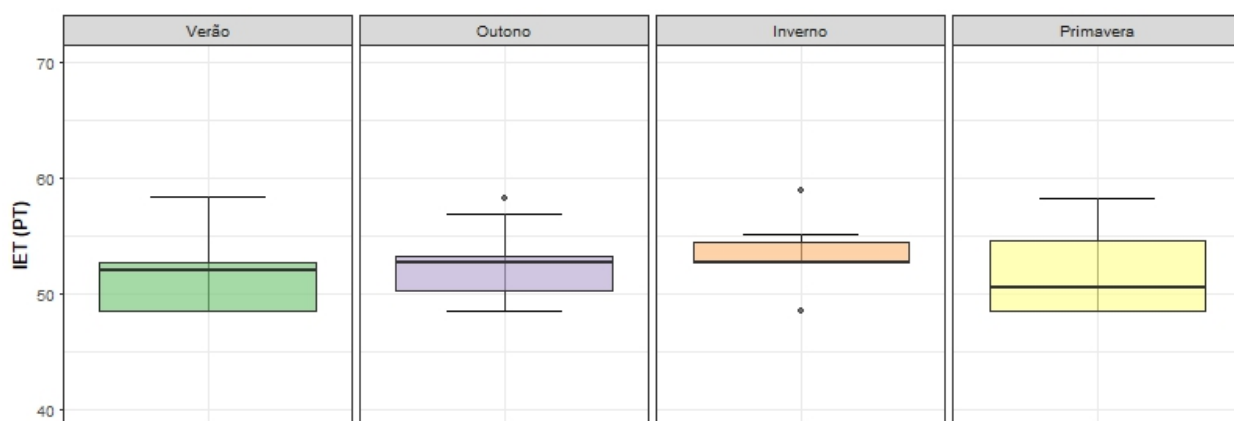
As medianas do subíndice da clorofila-a mantiveram-se acima de 55 (Figura 53), enquanto as medianas do subíndice do fósforo total (Figura 54) foram todas inferiores a 55.

FIGURA 53 – BOX PLOT – IET – SUBÍNDICE CLOROFILA-A



FONTE: A AUTORA (2018)

FIGURA 54 – BOX PLOT – IET – SUBÍNDICE FÓSFORO TOTAL



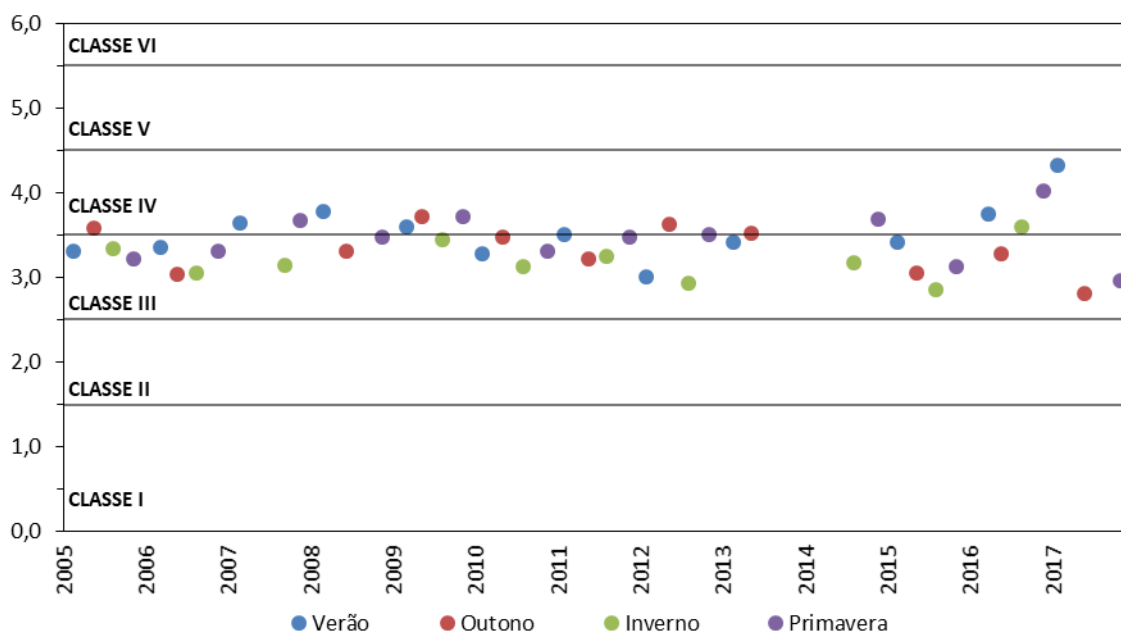
FONTE: A AUTORA (2018)

Portanto, pode-se afirmar que a presença de clorofila-a contribuiu de forma mais expressiva para a elevação dos resultados do índice do que o aporte de nutrientes ao reservatório.

4.6 ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA EM RESERVATÓRIOS (IQAR)

Durante todo o período estudado, o IQAR resultou entre 2,5 e 4,5 (Figura 55). Estes valores designam as classes III e IV, “moderadamente degradado” e “criticamente degradado ou poluído”, respectivamente. Em 66% do período avaliado, o IQAR resultou na classe III e em 34% na classe IV.

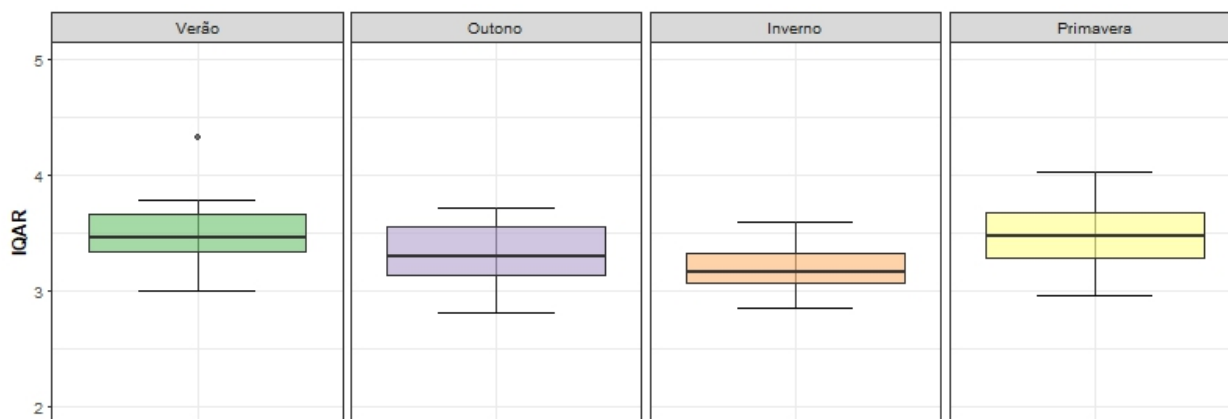
FIGURA 55 – SÉRIE HISTÓRICA DO IQAR PARA O RESERVATÓRIO VOSSOROCA



FONTE: A AUTORA (2018)

Estudou-se a variabilidade sazonal do IQAR (Figura 56). No verão e primavera, quando ocorre a estratificação, a mediana dos índices aumentou, indicando leve piora na qualidade da água.

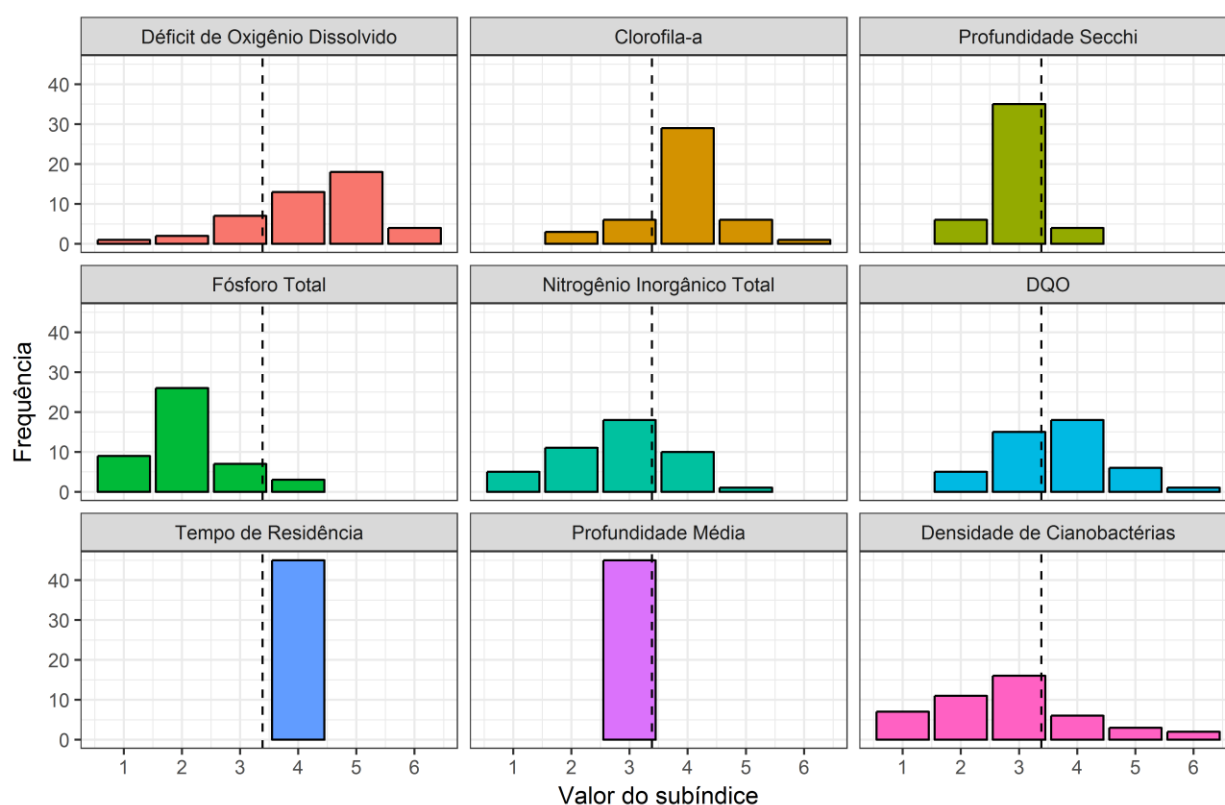
FIGURA 56 – BOX PLOT DO IQAR



FONTE: A AUTORA (2018)

Foram investigadas as variáveis que mais contribuíram para os valores mais altos do IQAR. O gráfico de frequência (Figura 57) indica quantas vezes a variável resultou em determinado subíndice. A linha tracejada mostra a média geral do índice, de 3,38. Com isso, foi possível observar que as variáveis que mais contribuíram para o aumento do IQAR foram: déficit de oxigênio dissolvido, clorofila-a, DQO e tempo de residência, por terem a maior parte de seus resultados acima da média. O principal responsável pela ocorrência do subíndice 6 (o pior) foi o déficit de oxigênio dissolvido. A clorofila-a também contribuiu fortemente para a elevação do índice, pois a maior parte de suas observações resultou no subíndice 4.

FIGURA 57 – FREQUÊNCIA DA OCORRÊNCIA DE CADA SUBÍNDICE



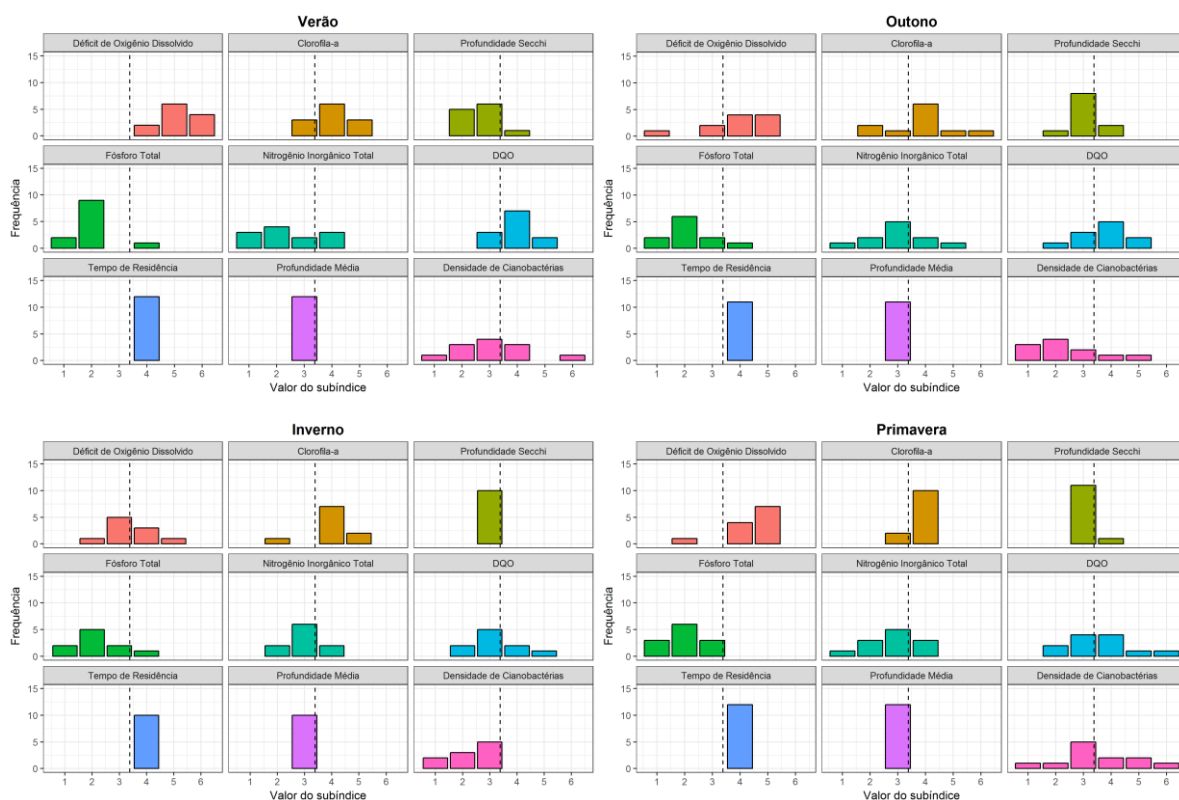
FONTE: A AUTORA (2018)

O tempo de residência e a profundidade média, por simplificação do método, foram mantidos constantes como 121 dias e 7,1 metros, respectivamente. Portanto, seus subíndices são fixos e não contribuem para as comparações do índice ao longo do tempo. O efeito desses valores poderia ser estudado em casos de comparação entre reservatórios, o que não faz parte do escopo deste trabalho.

Para verificar como ocorre a influência de cada variável em cada situação do reservatório, os dados foram divididos por estação do ano (Figura 58). Assim, foi constatado que no verão e na primavera os subíndices referentes ao oxigênio dissolvido sofrem elevações devido à

estratificação do reservatório e influenciam negativamente no índice. O subíndice da clorofila-a eleva o índice em todas as estações. Os valores da profundidade Secchi, fósforo total e nitrogênio inorgânico, em geral, não influenciam negativamente o índice independentemente da época observada. A DQO contribuiu ligeiramente para o aumento do índice no verão e no outono, porém manteve a neutralidade nas outras estações. A densidade de cianobactérias, por ser um parâmetro biológico e apresentar alto coeficiente de variação, apresentou resultados de subíndice bastante diversificados.

FIGURA 58 – FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA DE CADA SUBÍNDICE POR ESTAÇÃO



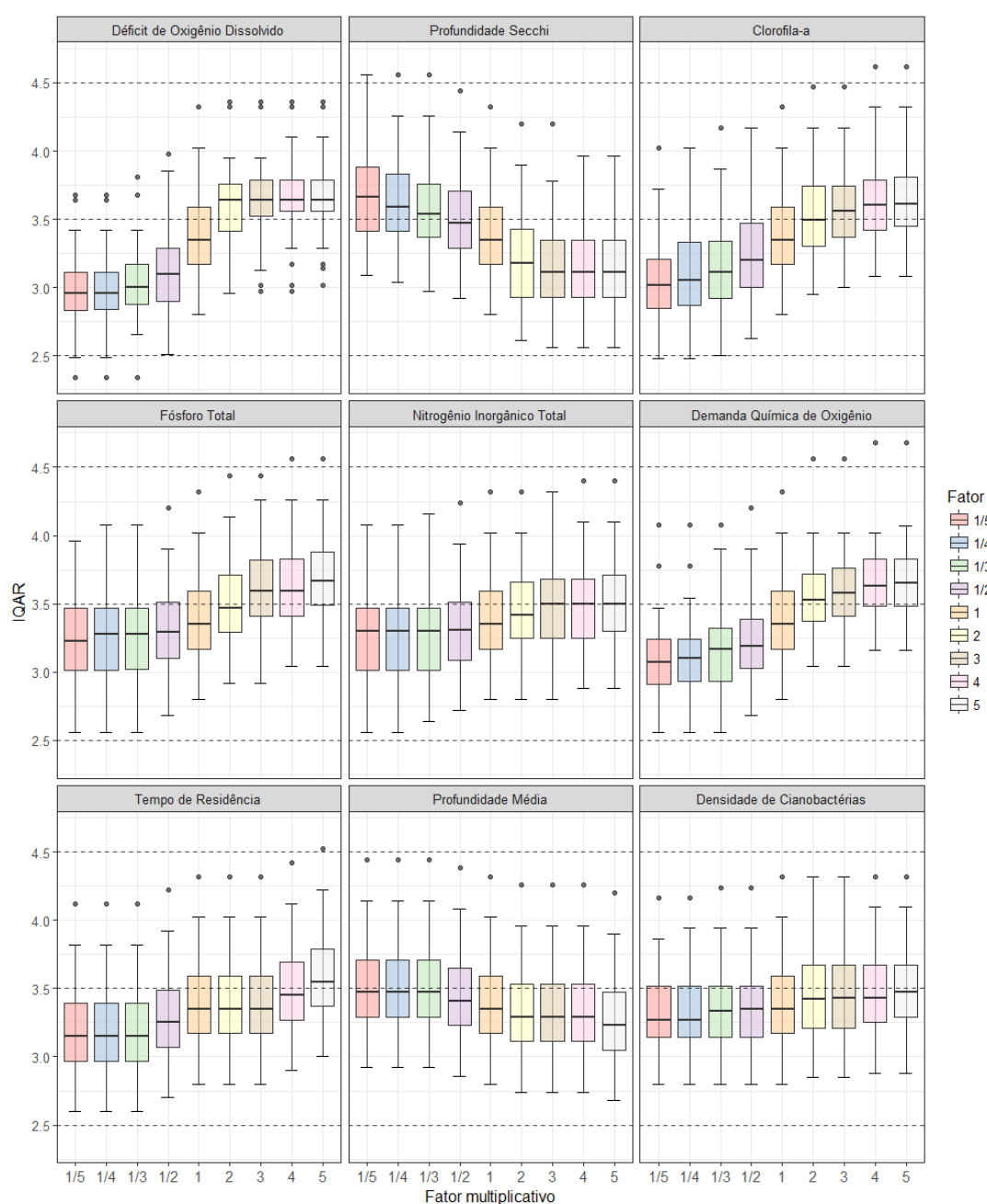
FONTE: A AUTORA (2018)

4.7 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Por meio da análise de sensibilidade, foi possível perceber quais parâmetros exercem maior influência na avaliação da qualidade da água pelo IQAR e como isso ocorre.

Foram gerados 81 *box plots* (Figura 59), pois cada uma das nove variáveis foi isoladamente multiplicada pelos nove fatores. Os *box plots* de fator “1” representam a série real de IQARs para o reservatório Vossoroca. Os demais fatores mostram os resultados do índice caso os valores de determinada variável sejam aumentados ou reduzidos, mantendo as outras com o valor original.

FIGURA 59 – *BOX PLOTS* – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE



FONTE: A AUTORA (2018)

Ao analisar os gráficos da Figura 59, foi possível perceber que mesmo quintuplicando ou reduzindo em 5 vezes os resultados obtidos na série histórica, a maior parte dos *box plots* permanece nas faixas de valores de 2,5-3,5 e 3,5-4,5, que compreendem, respectivamente, as classes III (moderadamente degradado) e IV (criticamente degradado ou poluído). Os limites entre as classes foram representados pelas linhas tracejadas.

Ao se dobrar o déficit de oxigênio dissolvido, a mediana do índice se altera de modo a ultrapassar o limite para a classe IV. Esta variável é a mais sensível entre as nove, pois foi a que recebeu maior peso (0,17).

Já a clorofila-a, quando triplicada, faz com que a mediana do índice atinja a faixa de valores da classe IV. Esta possui o segundo maior peso (0,15).

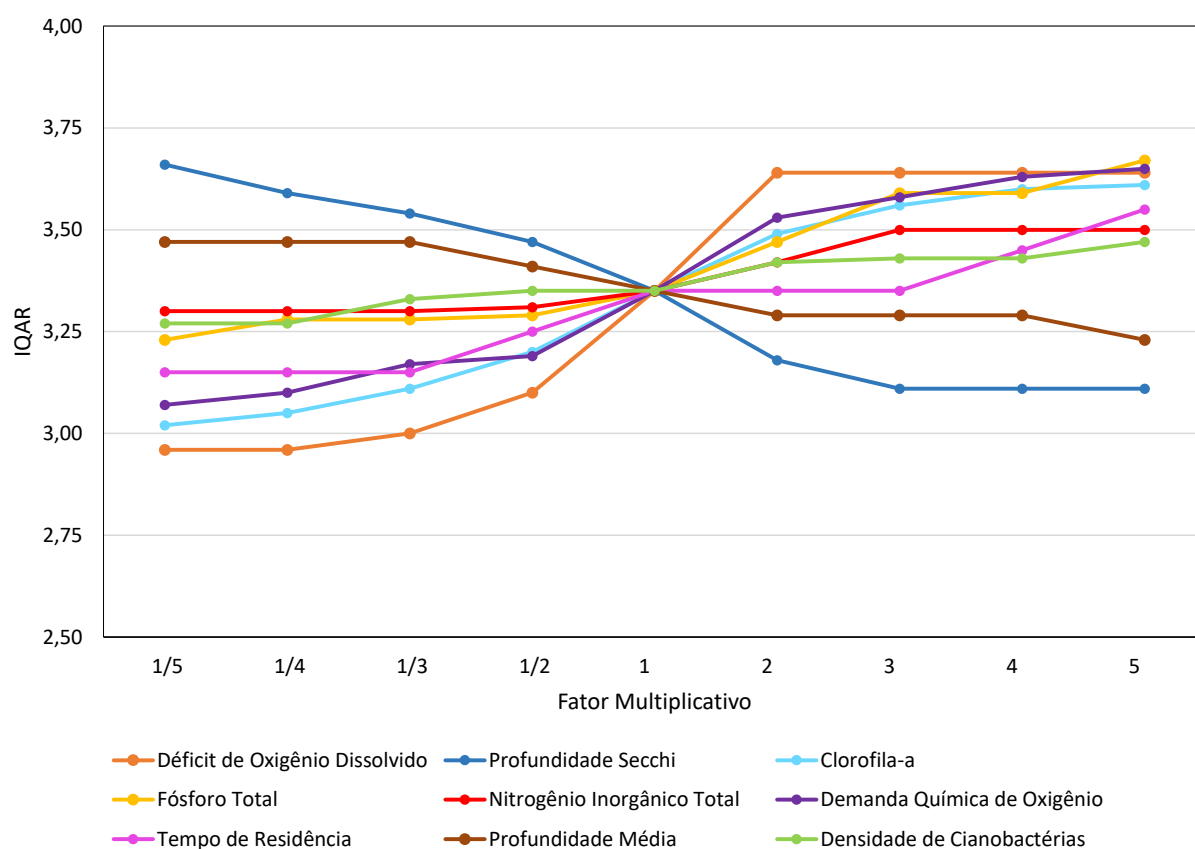
A profundidade Secchi precisa ser reduzida em um terço para que sua mediana vá para a classe mais poluída. No caso do fósforo total, que recebeu o mesmo peso (0,12), a mediana atinge a classe IV quando a concentração de fósforo é triplicada. Para a DQO, que também possui o mesmo peso, basta ter seus valores duplicados para que a classe da mediana piore.

O tempo de residência, de peso 0,10, só faz a série piorar a ponto de passar para a próxima classe se quintuplicado.

O nitrogênio inorgânico total, se triplicado, quadruplicado ou quintuplicado apresenta distribuições de mesma mediana, que se situa exatamente no limite entre as classes III e IV. A densidade de cianobactérias, mesmo com seus valores quintuplicados, não faz a mediana do índice atingir a classe IV. O nitrogênio inorgânico total, assim como a densidade de cianobactérias, possui peso 0,08, o que justifica que esses parâmetros tenham menor sensibilidade. A alteração de profundidade média, que não fez a mediana do índice aumentar para a classe IV, também influencia de modo menos significativo no índice devido a seu peso de 0,06.

Se compararmos no mesmo gráfico apenas as medianas (Figura 60), percebe-se mais claramente quais variáveis sofrem maior influência dos fatores estabelecidos. A profundidade Secchi e o déficit de oxigênio dissolvido têm maior influência no IQAR do que a densidade de cianobactérias e a profundidade média, por exemplo.

FIGURA 60 – MEDIANAS – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE



FONTE: A AUTORA (2018)

Além disso, é possível perceber que o IQAR foi mais sensível à alteração de variáveis individuais na faixa entre os fatores “1/2” a “2”, enquanto a multiplicação por fatores mais extremos tende a estabilizar o índice.

A tendência à estabilização com valores extremos, assim como a permanência do índice nas mesmas classes apesar de fortes alterações nos parâmetros de qualidade da água demonstram que as propriedades compensatórias do índice são bem estabelecidas para evitar que valores extremos influenciem demasiadamente no resultado. No entanto, esta característica pode promover a eclipse, ou seja, pode ocultar do índice eventuais problemas que possam ocorrer no reservatório, conforme previsto por Abbasi e Abbasi (2012) para índices com método de agregação aditivo com pesos. Adicionalmente, foi possível perceber que a transformação da escala por meio de uma função degrau intensifica essa tendência.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

“Any fool can know, the point is to understand”

- Albert Einstein

O reservatório Vossoroca apresentou, em geral, estratificação térmica e química nos meses quentes e circulação nos meses frios. As variáveis que acompanharam a estratificação do reservatório no verão e na primavera foram: temperatura da água, oxigênio dissolvido, pH, turbidez, fósforo total, nitrato, nitrogênio inorgânico e densidade de fitoplâncton. Já as variáveis condutividade, nitrogênio total, sólidos totais, densidade de cianobactérias e densidade de cianobactérias potencialmente tóxicas apresentaram diferença mais pronunciada entre as profundidades de coleta apenas no verão.

Observou-se que a estratificação ou desestratificação influenciam no valor do IQAR. A piora na qualidade da água foi usualmente observada no verão e na primavera, com valores de IQAR mais elevados. As variáveis que mais contribuíram para os valores mais elevados de IQAR foram o aumento do déficit de oxigênio dissolvido na coluna d'água, concentrações mais elevadas de clorofila-a e o elevado tempo de residência do reservatório. Sendo que na maior parte do período avaliado o reservatório foi classificado como “moderadamente degradado” (classe III) e, ocasionalmente, classificado como “criticamente degradado ou poluído” (classe IV).

As séries de dados avaliadas no item 4.3 indicaram a natureza autóctone do reservatório, que sofreu poucas interferências antrópicas. Portanto, rotular o reservatório Vossoroca como degradado ou poluído pode levar a considerações errôneas em relação à sua situação, caso o resultado do índice seja avaliado sem considerar o contexto social e ambiental do reservatório. O índice, nesse caso, não retratou o reservatório de modo condizente com a realidade.

Além disso, um índice deve ser sensível a alterações ecológicas e proporcionar a distinção entre os fatores pouco relevantes e casos de grandes alterações no ecossistema. A análise de sensibilidade demonstrou que o índice apresenta sensibilidade especialmente às alterações de parâmetros de maior peso. Entretanto, as propriedades compensatórias do IQAR podem ocultar a ocorrência de alterações extremas em variáveis individuais, o que caracteriza o efeito de eclipse. Portanto, o uso do índice não isenta o avaliador de observar individualmente cada variável, concomitantemente à sua série histórica.

Adicionalmente, deve ser considerado que um reservatório limpo, apenas por apresentar elevado tempo de residência e profundidade média menor, pode acabar diagnosticado como mais degradado do que um reservatório que tenha tempo de residência mais curto e profundidade maior, mas que tenha altas densidades de cianobactérias, por exemplo. Ressalta-

se também que para a construção do índice foram avaliados reservatórios paranaenses, o que poderia trazer problemas de representatividade caso seja aplicado em reservatórios de outras regiões do Brasil ou do mundo.

Considerando que os maiores desafios associados a alterações de qualidade da água de reservatórios são em relação aos efeitos das ações antrópicas e à possibilidade de ocorrência de eutrofização, florações de fitoplâncton, e proliferação de macrófitas, levanta-se o questionamento: os índices realmente estão indicando o que deveriam indicar?

O estudo da relevância conceitual do índice é necessário, pois seu resultado deve explicitar informações pertinentes à sociedade em relação ao estado do reservatório. Os parâmetros metabólicos e tróficos podem se aliar a fatores sociais e de uso do solo da região para que o índice possa manifestar um panorama mais completo do reservatório.

Propõe-se para estudos futuros avaliar outros reservatórios visando comparar suas características e como os índices reagem a elas, realizando a análise de sensibilidade e verificando quais são os parâmetros mais decisivos para o seu aumento.

A análise estatística multivariada pode ser utilizada para indicar quais variáveis são as mais relevantes para a caracterização do reservatório. A partir dessa resposta, poderá ser formado um novo índice de qualidade da água específico para o reservatório Vossoroca.

Além disso, utilizando a mesma metodologia da criação do IQAR no Paraná, a partir do cálculo dos percentis de uma base de dados, é possível criar novos índices para reservatórios em outras regiões do Brasil e do mundo, incluindo até mesmo outras variáveis relevantes no contexto do reservatório. Se cada reservatório for avaliado com base em índices que considerem suas características específicas e naturais será possível conhecer mais acerca de seus problemas e trabalhar com mais eficácia para sua preservação.

Uma possível alternativa ao uso de índices, que ainda não estão plenamente desenvolvidos para aplicações em todos os reservatórios, é a utilização da estatística descritiva e dos *box plots* para representar o comportamento de cada variável por estação do ano, conforme realizado nos itens 4.2 e 4.3. Com isso, é possível elaborar um diagnóstico referente à qualidade da água sem a necessidade de agregação de todas as variáveis. A grande vantagem da metodologia utilizada é que pode ser aplicada a qualquer reservatório, independentemente de sua localização e características naturais.

REFERÊNCIAS

ABBASI, T.; ABBASI, S. A. **Water Quality Indices**. Elsevier, 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Unidade 2: Qualidade de água em reservatórios. Disponível em: <<https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/handle/ana/74>>. Acesso em: 19 mar 2018 (a).

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Panorama da qualidade das águas. 2004. Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/Publicacao/PANORAMA_DA_QUALIDADE_DAS_AGUAS.pdf>. Acesso em: 27 abr 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Portal da Qualidade das Águas. Indicadores de Qualidade - Contaminação por Tóxicos. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-contaminacao.aspx>>. Acesso em: 28 fev 2018 (b).

BERNARDO, J. W. Y. **Interpretation and applicability of residence time in reservoirs**. 2013. 103 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

BLUM, C. T.; POSONSKI, M.; HOFFMANN, P. M.; BORG, M. **Espécies vegetais invasoras em comunidades florestais nativas nas margens da represa do Vossoroca, APAd Guaratuba, Paraná, Brasil**. 2005.

BOSO, A. C. M. R.; GABRIEL, C. P. C.; FILHO, L. R. A. G. Análise do Desenvolvimento dos Principais Indicadores de Qualidade da Água. **Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos**, v. 11, n. 6, p. 296–309, 2015.

BOUSLAH, S.; DJEMILI, L.; HOUICHI, L. Water quality index assessment of Koudiat Medouar Reservoir, northeast Algeria using weighted arithmetic index method. **Journal of Water and Land Development**, v. 35, n. 1, 2017. Disponível em: <<http://www.degruyter.com/view/j/jwld.2017.35.issue-1/jwld-2017-0087/jwld-2017-0087.xml>>. Acesso em: 29 jan 2018.

BOYACIOGLU, H. Development of a water quality index based on a European classification scheme. **Water SA**, v. 33, n. 1, p. 101–106, 2009. Disponível em: <<http://www.ajol.info/index.php/wsa/article/view/47882>>. Acesso em: 23 fev 2018.

BRASIL. CONAMA. Resolução nº 274 de 29 de novembro de 2000. Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. Relator: José Sarney Filho. **Diário Oficial da União**, Brasília, 25 de janeiro de 2001.

BRASIL. CONAMA. Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água superficiais, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Relator: Marina Silva. **Diário Oficial da União**, Brasília, 18 de março de 2005.

BRASSAC-ARRUDA, N. M. **Avaliação de variáveis de qualidade de água dos reservatórios das usinas hidrelétricas de Foz do Areia, Segredo e Caxias, como instrumento de gestão de bacias hidrográficas**. 2014. 249 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

BROWN, R.M.; MCCLELLAND, N.I.; DEININGER, R.A.; TOZER, R.G. A water quality index – do we dare? **Water Sewage Works**, v. 117, p. 339–343, 1970.

CASTILLA-HERNÁNDEZ, P.; TORRES-ALVARADO, M. DEL R.; LUIS, J. A. H.-S.; CRUZ-LÓPEZ, N. Water quality of a reservoir and its major tributary located in east-central Mexico. **International journal of environmental research and public health**, v. 11, n. 6, p. 6119–6135, 2014.

COPEL. [Mensagem Pessoal]. Mensagem recebida por: <n.brassac@lactec.org.br>. 2009.

COPEL. **Relatório Ambiental - Usina Hidrelétrica Chaminé**. 1999.

CUNHA, D. G. F.; CALIJURI, M. DO C.; LAMPARELLI, M. C. A trophic state index for tropical/subtropical reservoirs (TSItsr). **Ecological Engineering**, v. 60, p. 126–134, 2013. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.07.058>>. Acesso em: 26 jan 2018.

CUSHMAN-ROISIN, B. Lakes and Reservoirs. **Environmental Fluid Mechanics**. p.157–183, 2013. Thayer School of Engineering at Dartmouth College. Disponível em:

<<https://thayer.dartmouth.edu/~d30345d/books/EFM/chap16.pdf>>.

DAVIES, J.-M. Application and Tests of the Canadian Water Quality Index for Assessing Changes in Water Quality in Lakes and Rivers of Central North America. **Lake and Reservoir Management**, v. 22, n. 4, p. 308–320, 2006. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07438140609354365>>. Acesso em: 28 jan 2018.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. Interciência, 1998.

FRANÇA, M. S. **Análise estatística multivariada dos dados de monitoramento de qualidade de água da Bacia do Alto Iguaçu: uma ferramenta para a gestão de recursos hídricos**. 2009. 166 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

FUNASA(Fundação Nacional da Saúde). Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS. Brasília, 2014.

GAZETA DO POVO. **Governo federal planeja mais seis hidrelétricas no Paraná até 2022**. Disponível em: < <http://www.gazetadopovo.com.br/economia/governo-federal-planeja-mais-seis-hidreletricas-no-parana-ate-2022-1o2d9vqxd0dvxv5mttrfs3xam>>. Acesso em: 31 mar 2018.

GOOD, P. **Permutation tests: a practical guide to resampling methods for testing hypotheses**. Springer Science & Business Media, 2013.

GREEN, B. W. R.; ROBERTSON, D. M.; WILDE, F. D.; JEWELL, S.; SURVEY, U. S. G. Lakes and reservoirs: Guidelines for Study Design and Sampling. **National Field Manual for the Collection of Water-Quality Data Chapter**, 2015. Reston, Virginia: U.S. Department of the Interior; U.S. Geological Survey.

HOU, W.; SUN, S.; WANG, M.; et al. Assessing water quality of five typical reservoirs in lower reaches of Yellow River, China: Using a water quality index method. **Ecological Indicators**, v.61, p 309-316, 2016.

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ (IAP). **Monitoramento da Qualidade das Águas dos Reservatórios do Estado do Paraná, no período de 1999 a 2004**. Curitiba, 2004.

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ (IAP). **Monitoramento da Qualidade dos Rios da Região Metropolitana de Curitiba, no período de 1992a 2005**. Curitiba, 2005.

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ (IAP). **Monitoramento da Qualidade das Águas dos Reservatórios do Estado do Paraná, no período de 2005 e 2008**. Curitiba, 2009.

INSTITUTOS LACTEC. **Relatório Anual do Automonitoramento da Qualidade das Águas Superficiais do Rio São João e Reservatórios do Complexo Hidrelétrico de Chaminé. Ciclo 2015**. 2016.

INSTITUTOS LACTEC. **Relatório Anual do Automonitoramento da Qualidade das Águas Superficiais do Rio São João e Reservatórios do Complexo Hidrelétrico de Chaminé. Ciclo 2016**. 2017.

JØRGENSEN, S. E.; VOLLENWEIDER, R. A. **Principles of lake management**. International Lake Environment Committee, United Nations Environment Program, 1989.

KNAPIK, H. G. **Reflexões sobre monitoramento, modelagem e calibração na gestão de recursos hídricos: estudo de caso da qualidade da água da bacia do Alto Iguaçu**. 2009. 204 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

LOBATO, T. C.; HAUSER-DAVIS, R. A.; OLIVEIRA, T. F.; et al. Construction of a novel water quality index and quality indicator for reservoir water quality evaluation: A case study in the Amazon region. **Journal of Hydrology**, v. 522, p. 674–683, 2015. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.01.021>>. .

MAMUN, K.-G. A. Major nutrients and chlorophyll dynamics in Korean agricultural reservoirs along with an analysis of trophic state index deviation. **Journal of Asia-Pacific Biodiversity**, v. 10, n. 2, p. 183–191, 2017. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.japb.2017.04.001>>. Acesso em: 28 jan 2018.

LAMPARELLI, M. C. **Graus de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. 2004. 238 p. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Ecossistemas Terrestres e Aquáticos) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MÄNNICH, M. **Estimativa de emissões de gases de efeito estufa em reservatórios e lagos – contribuições para o monitoramento e modelagem 1D – vertical**. 2013. 303 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

MAYMANDI, N.; KERACHIAN, R.; NIKOO, M. R. Optimal spatio-temporal design of water quality monitoring networks for reservoirs: Application of the concept of value of information. **Journal of Hydrology**, v. 558, p. 328–340, 2018. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022169418300118>>. Acesso em: 24 jan 2018.

MHLONGO, S.; MATIVENGA, P. T.; MARNEWICK, A. Water quality in a mining and water-stressed region. **Journal of Cleaner Production**, v. 171, p. 446–456, 2018.

NAVEEDULLAH, N.; HASHMI, M. Z.; YU, C.; et al. Water Quality Characterization of the Siling Reservoir (Zhejiang, China) Using Water Quality Index. **Clean - Soil, Air, Water**, v. 44, n. 5, p. 553–562, 2016.

OROJI, B.; KARIMI, Z. F.; BAHRAMI, H. Determine of Surface Water Quality Index in Iran. **Journal of Environment and Earth Science**, v. 7, n. 2, p. 53–63, 2017.

PESCE, S. F.; WUNDERLIN, D. A. Use of Water Quality Indices To Verify the Impact of Córdoba City (Argentina) on Suquia River. **Water Research**, v. 34, n. 11, 2000.

PIMENTA, A. M.; ALBERTONI, E. F.; PALMA-SILVA, C. Characterization of water quality in a small hydropower plant reservoir in southern Brazil. **Lakes & Reservoirs: Research & Management**, v. 17, n. 4, p. 243–251, 2012. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/lre.12007>>. Acesso em: 31 jan 2018.

POLLI, B. A. **Modelagem 1D do fluxo vertical de calor em corpos de água horizontalmente homogêneos**, 2014. 105 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

RODRIGUES, L.; THOMAZ, S. M.; AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C. **Biocenoses em reservatórios: padrões espaciais e temporais**. São Carlos: Rima, 2005.

RUBIO-ARIAS, H.; CONTRERAS-CARAVEO, M.; QUINTANA, R. M.; SAUCEDO-TERAN, R. A.; PINALES-MUNGUÍA, A. An overall water quality index (WQI) for a man-made aquatic reservoir in Mexico. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 9, n. 5, p. 1687–1698, 2012.

SAID, A.; STEVENS, D. K.; SEHLKE, G. An innovative index for evaluating water quality in

streams. **Environmental Management**, v. 34, n. 3, p. 406–414, 2004.

SÁNCHEZ, E.; COLMENAREJO, M. F.; VICENTE, J.; et al. Use of the water quality index and dissolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution. **Ecological Indicators**, v. 7, n. 2, p. 315–328, 2007.

SHOKUHI, R.; HOSINZADEH, E.; ROSHANAIE, G.; ALIPOUR, M.; HOSEINZADEH, S. Evaluation of Aydughmush Dam Reservoir Water Quality by Natinal Sanitation Foundation Water Quality Index (NSF - WQI) and Water Quality Parameter Changes. **Iran J. Health & Environment**, v. 4, n. 4, 2012.

SILVA, G. S.; JARDIM, W. D. F. Um novo índice de qualidade das águas para proteção da vida aquática aplicado ao Rio Atibaia, região de Campinas/Paulínia - SP. **Química Nova**, v. 29, n. 4, p. 689–694, 2006.

SMITH, D. G. A better water quality indexing system for rivers and streams. **Water Research**, v. 24, n. 10, p. 1237–1244, 1990.

SUDERHSA. Plano da Bacia do Alto Iguaçu e Afluentes do Alto Ribeira. Capítulo 5. **A Expansão Urbana e a Evolução dos Sistemas de Recursos Hídricos**. Disponível em: <http://www.recursoshidricos.pr.gov.br/arquivos/File/COALIAR/Publicacoes/plano_de_bacias/ca_p05_expansao_urbana.pdf>. Acesso em: 05 jun 2018.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre: UFRGS e Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1998.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnologia**. Rio de Janeiro: Oficina de textos, 2008.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnology**. CRC Press, 2012.

WALSH, P.; WHEELER, W. Water Quality Index Aggregation and Cost Benefit Analysis. **National Center for Environmental Economics**, 2012.

WEPENER, V.; EULER, N.; VAN VUREN, J. H. J.; DU PREEZ, H. H.; KOHLER, A. The development of an aquatic toxicity index as a tool in the operational management of water quality in the Olifants River (Kruger National Park). **Koedoe**, 1992.

WETZEL, R. G.; LIKENS, G. E. **Limnological Analyses**. 2^o ed. Springer Science+Business Media, LLC, 1991.

XU, F. L.; TAO, S.; DAWSON, R. W.; LI, B. G. A GIS-based method of lake eutrophication assessment. **Ecological Modelling**, v. 144, n. 2–3, p. 231–244, 2001.

YANG, B.; JIANG, Y. J.; HE, W.; et al. The tempo-spatial variations of phytoplankton diversities and their correlation with trophic state levels in a large eutrophic Chinese lake. **Ecological Indicators**, v. 66, p. 153–162, 2016. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.01.013>>. Acesso em: 28 jan 2018.

YOGENDRA, K.; PUTTAIAH, E. T. Determination of Water Quality Index and Suitability of an Urban Waterbody in Shimoga Town, Karnataka. **Proceedings of Taal2007: The 12th World Lake Conference: 342-346 Determination**, p. 342–346, 2008.

YOUSEFI, H.; ZAHEDI, S.; NIKSOKHAN, M. H. Modifying the analysis made by water quality index using multi-criteria decision making methods. **Journal of African Earth Sciences**, v. 138, p. 309–318, 2018. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1464343X17304429>>. Acesso em: 24 jan 2018.

ANEXOS

ANEXO 1 – Função programada no R: “randomizationTest”

ANEXO 2 – Tabela completa de dados históricos do Reservatório Vossoroca

ANEXO 1

Função “randomizationTest” programada em R por Alcides Conte Neto

```
randomizationTest <- function(x, groups, n = 9999,
                             FUN = mean, alternative = "two.sided",
                             plot = FALSE){
  n <- n - 1
  new.data <- na.omit(droplevels(data.frame(x = x, group = groups)))
  fun.apply <- tapply(new.data[["x"]], new.data[["group"]],
                     FUN)
  if (sum(is.na(fun.apply)) == 0) {
    obs <- diff(fun.apply)
    if (obs != 0) {
      theoretical <- replicate(n, {
        diff(tapply(new.data[["x"]],
                    sample(new.data[["group"]]),
                    FUN))
      })
      final <- c(theoretical, obs)
      if (alternative == "two.sided") {
        abs <- ifelse(obs < 0, -obs, obs)
        p.value <- (sum(final <= (-abs)) +
                    sum(final >= abs))/length(final)
        if (plot) {
          plot(density(final))
          abline(v = -abs, col = 2, lty = 2)
          abline(v = abs, col = 2, lty = 2)
          legend("topright",
                legend = sprintf("p-valor = %f", p.value))
        }
      } else if (alternative == "one.sided") {
        if (obs < 0) {
          p.value <- sum(final <= obs)/length(final)
        }
      }
    }
  }
}
```

```

    } else {
      p.value <- sum(final >= obs)/length(final)
    }
    if (plot) {
      plot(density(final))
      abline(v = obs, col = 2, lty = 2)
      legend("topright",
             legend = sprintf("p-value = %f", p.value))
    }
  } else {
    stop("Value of alternative hypothesis not is valid")
  }
  return(p.value)
} else {
  return(1)
}
} else {
  return(NA)
}
}

```

ANEXO 2

Tabela completa de dados históricos de qualidade da água do reservatório Vossoroca disponibilizada pela COPEL

Data	Prof	Hora	Profundidade do Ponto (m)	Profundidade de Coleta (m)	Profundidade Secchi (m)	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura da água (°C)
15/02/2005	Prof I	11:30	12	1,2	2,25	25,8	23,8
	Prof II			9,4			16,8
	Prof III			9,4			16,8
19/05/2005	Prof I	09:30	16	1	2,05	18,4	20,5
	Prof II			11			17,7
11/08/2005	Prof I	03:30	15	1,08	2	9,8	15,1
	Prof II			10,5			14,9
09/11/2005	Prof I	10:00	13	1,08	2	16,5	19,4
	Prof II			9,5			16
09/03/2006	Prof I	10:00	15	1,18	2,2	25,7	26,1
	Prof II			10,8			19,9
25/05/2006	Prof I	09:00	13	0,97	1,8	14,2	16,9
	Prof II			9,2			16,9
17/08/2006	Prof I	17:00	10	0,78	1,45	14,3	18
	Prof II			7,17			15,6
23/11/2006	Prof I	10:00	11	0,756	1,4	22,2	21,7
	Prof II			7,6			18,4
01/03/2007	Prof I	09:40	14	1,35	2,5	21,3	25,3
	Prof II			10,75			20,3
17/05/2007	Prof I	09:00	11	0,97		17,8	18,8
	Prof II			8,2			17,5
13/09/2007	Prof I	09:30	11	0,83	1,55	16,4	20,7
	Prof II			7,82			14,7
22/11/2007	Prof I	09:30	14	0,702	1,5	18	21,7
	Prof II			9,25			17,9
05/03/2008	Prof I	12:00	14	0,81	1,5	25	24,4
	Prof II			9,25			19,3
12/06/2008	Prof I	10:30	15	0,84	1,55	14,8	16,5
	Prof II			9,82			16
11/09/2008	Prof I	10:00	10	1,05	1,95	23,1	19,6
	Prof II			7,92			17,9
19/11/2008	Prof I	11:25	15	1	1,85	19,7	19,9
	Prof II			10,27			16,5
05/03/2009	Prof I	11:00	14	1,5	2,8	22,9	26,2
	Prof II			11,2			17
13/05/2009	Prof I	14:20	12	0,91	1,7	21,6	22,7
	Prof II			8,55			17,5
12/08/2009	Prof I	11:00	15	0,7	1,3	13,4	15,5
	Prof II			9,45			14
10/11/2009	Prof I	12:00	15	0,78	1,45	22,3	24,7
	Prof II			9,6			16
04/02/2010	Prof I	15:00	15	1,2	2,25	28,2	28,2
	Prof II			10,87			19,4
05/05/2010	Prof I	14:30	14	0,81	1,5	20,1	20,6
	Prof II			9,25			18,4
09/08/2010	Prof I	16:00	15	0,81	1,5	12,4	14,8
	Prof II			9,75			13,7
22/11/2010	Prof I	15:10	10	0,75	1,4	22,5	23,2
	Prof II			7,1			18,3
	Prof III			8,5			15,8
07/02/2011	Prof I	15:00	15	1,45	2,7	24,6	25,3
	Prof II			11,55			18,5
26/05/2011	Prof I	10:40	15	1,08	2	18,2	18,3
	Prof II			10,5			17,5
10/08/2011	Prof I	10:30	15	0,7	1,3	15,5	15,2
	Prof II			9,45			13,5

Data	Prof	Hora	Profundidade do Ponto (m)	Profundidade de Coleta (m)	Profundidade Secchi (m)	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura da água (°C)
23/11/2011	Prof I	10:15	12	1,08	2	17,6	20,8
	Prof II			9			15,5
	Prof III			11			14,8
01/02/2012	Prof I	14:15	15	1,45	2,7	25,9	25,2
	Prof II			11,55			15,4
	Prof III			11			15,6
16/05/2012	Prof I	14:00	13	0,51	1	15	17,2
	Prof II			7,92			16,8
	Prof III			10,5			16,4
09/08/2012	Prof I	10:15	15	1,02	1,9	17,3	16,4
	Prof II			10,35			13,7
08/11/2012	Prof I	11:00	12	1,18	2,2	19,4	22,8
	Prof II			9,3			15
	Prof III			9,5			15
25/02/2013	Prof I	15:30	11	0,86	1,6	24,4	25,7
	Prof II			7,9			21,6
14/05/2013	Prof I	10:40	12	0,73	1,4	19,7	19,5
	Prof II			8,03			17,3
11/08/2014	Prof I	14:50	12	0,78	1,5	20,9	18,1
	Prof II			8,15			15,4
27/11/2014	Prof I	18:00	8	0,64	1,2	21,7	24,1
	Prof II			5,8			19,8
	Prof III			6,5			19,4
25/02/2015	Prof I	09:45	15	1,59	3	22,8	24,9
	Prof II			11,83			24,5
	Prof III			9,5			21,3
19/05/2015	Prof I	09:30	14	1,4	2,6	18	18,8
	Prof II			10,9			18,3
11/08/2015	Prof I	14:40	15	1,1	2,1	22,6	20
	Prof II			10,5			15,6
11/11/2015	Prof I	15:15	17	1,05	2	28,6	23,4
	Prof II			11,42			17,6
	Prof III			14			16,6
30/03/2016	Prof I	14:50	15	1,16	2,2	23,9	23,2
	Prof II			10,7			18,7
30/05/2016	Prof I	16:00	11	0,6	1,1	17,9	16,8
	Prof II			7,5			16,3
29/08/2016	Prof I	13:20	9	0,64	1,2	21,1	18,3
	Prof II			6,3			15
29/11/2016	Prof I	14:30	9	0,67	1,25	19,1	21
	Prof II			6,37			20
	Prof III			8			18,6
31/01/2017	Prof I	10:45	13	0,4	0,75	22,9	24,4
	Prof II			7,62			22
	Prof III			8,5			21,7
01/06/2017	Prof I	16:30	11	0,76	1,41	16,5	17,4
	Prof II			7,6			17,9
09/11/2017	Prof I	16:40	9,2	0,56	1,05	21,5	20,8
	Prof II			6,17			19,45

Data	Prof	Oxigênio Dissolvido (mg/L)	%OD sat	pH	Condutividade (µS/cm)	Fósforo Total (mg/L)	Nitrogênio Amoniacal (mg/L)
15/02/2005	Prof I	7,7	100,10	8,6	37	0,02	< 0,08
	Prof II	0,06	0,70	8,7	38	0,02	< 0,08
	Prof III	0,06	0,70	6,8	46	0,02	0,25
19/05/2005	Prof I	7,78	95,00	7,7	43	0,01	0,1
	Prof II	0,33	3,80	6,8	52	0,01	0,4
11/08/2005	Prof I	6,79	74,10	7,1	41	0,02	< 0,08
	Prof II	3,83	41,60	7,1	42	0,01	< 0,08
09/11/2005	Prof I	7,75	92,60	7,7	38	0,01	< 0,08
	Prof II	3,99	44,40	6,8	37	0,01	< 0,08
09/03/2006	Prof I	7,09	96,20	8	46	0,01	0,11
	Prof II	0,16	1,90	6,7	51	0,02	< 0,08
25/05/2006	Prof I	4,92	55,80	7	54	0,02	0,22
	Prof II	5,04	57,20	7	50	0,01	0,24
17/08/2006	Prof I	8,27	96,00	7	54	0,02	0,09
	Prof II	4,98	55,00	6,6	55	0,02	0,1
23/11/2006	Prof I	8,36	104,50	8,1	49	0,02	< 0,08
	Prof II	2,56	30,00	6,9	52	0,02	0,14
01/03/2007	Prof I	6,4	85,60	7,5	39	0,01	< 0,08
	Prof II	0,07	0,85	6,3	43	0,02	0,17
17/05/2007	Prof I	5,75	67,80	7,4	50	0,01	0,18
	Prof II	4,18	48,00	7,1	45	0,02	0,19
13/09/2007	Prof I	6,93	84,90	7,9	53	0,02	< 0,08
	Prof II	3,7	40,00	7,2	54	0,02	< 0,08
22/11/2007	Prof I	6,84	85,50	7,9	47	0,02	< 0,08
	Prof II	1,26	14,60	6,7	49	0,02	< 0,08
05/03/2008	Prof I	7,75	101,90	7,4	35	0,02	< 0,08
	Prof II	1,78	21,22	6,4	34	0,03	< 0,08
12/06/2008	Prof I	6,5	73,10	7,2	40	0,01	< 0,08
	Prof II	4,9		7,1	40	0,01	< 0,08
11/09/2008	Prof I	5,97	71,60	7,3	49	0,02	< 0,08
	Prof II	2,2	25,50	6,9	48	0,02	< 0,08
19/11/2008	Prof I	6,62	79,90	7,8	39	0,01	< 0,08
	Prof II	2,1	23,60	6,7	40	0,01	< 0,08
05/03/2009	Prof I	6,75	83,00	8,5	44	0,01	0,08
	Prof II	0,29	2,98	6,5	62	0,01	0,53
13/05/2009	Prof I	7,5	86,50	7,4	49	0,02	0,09
	Prof II	0,7	7,30	6,8	52	0,01	0,18
12/08/2009	Prof I	7	69,80	7,5	46	0,02	0,1
	Prof II	5,3	51,10	7,2	45	0,02	0,1
10/11/2009	Prof I	7	83,80	8,4	37	0,01	< 0,08
	Prof II	3,3	33,20	7,9	37	0,02	< 0,08
04/02/2010	Prof I	7,8	109,80	8,4	30	0,02	< 0,08
	Prof II	1,2	14,33	6,5	31	0,02	< 0,08
05/05/2010	Prof I	6,8	83,20	7,4	36	0,02	< 0,08
	Prof II	3,9	45,60	6,8	36	0,03	< 0,08
09/08/2010	Prof I	8	86,80	7,5	40	0,01	< 0,08
	Prof II	6,9	73,00	7,3	40	0,01	< 0,08
22/11/2010	Prof I	8,2	105,40	7,8	53	0,04	< 0,08
	Prof II	0,4	4,70	7	58	0,03	< 0,08
	Prof III	0	0,00	6,7	61	0,03	0,19
07/02/2011	Prof I	7,3	97,60	7,4	37	0,02	< 0,08
	Prof II	0	0,00	6,2	39	0,01	< 0,08
26/05/2011	Prof I	6,4	74,70	7,3	42	0,03	0,12
	Prof II	3,4	39,10	6,8	49	0,03	0,37
10/08/2011	Prof I	7,6	83,10	7,3	43	0,03	< 0,08
	Prof II	6,2	65,30	7	41	0,03	< 0,08

Data	Prof	Oxigênio Dissolvido (mg/L)	%OD sat	pH	Condutividade (μS/cm)	Fósforo Total (mg/L)	Nitrogênio Amoniacal (mg/L)
23/11/2011	Prof I	6,6	81,00	7,8	40	0,01	< 0,08
	Prof II	1,3	14,30	6,7	41	0,03	< 0,08
	Prof III	0,3	3,30	6,7	41	0,02	< 0,08
01/02/2012	Prof I	7	93,40	8,1	44	0,01	0,29
	Prof II	0,3	3,30	6,7	51	0,01	0,32
	Prof III	0,3	3,30	6,7	53	< 0,01	0,38
16/05/2012	Prof I	5,2	59,40	6,7	46	0,02	0,13
	Prof II	0,3	3,40	6,7	46	0,02	0,17
	Prof III	0,3	3,40	6,4	61	0,03	0,76
09/08/2012	Prof I	8,8	98,80	7,5	39	0,02	0,12
	Prof II	5,5	58,20	6,7	39	0,02	0,14
08/11/2012	Prof I	7,6	97,00	7,9	46	0,01	< 0,08
	Prof II	0,3	3,30	6,7	47	0,01	< 0,08
	Prof III	0,3	3,30	6,8	47	0,02	< 0,08
25/02/2013	Prof I	8,2	110,40	8,6	39	0,03	< 0,08
	Prof II	3,3	41,20	6,9	41	0,02	< 0,08
14/05/2013	Prof I	7	83,80	7,3	42	0,04	< 0,03
	Prof II	3,8	43,50	7	42	0,02	0,05
11/08/2014	Prof I	9	104,70	7,8	48	0,03	< 0,100
	Prof II	5,4	59,30	7,4	48	0,05	< 0,100
27/11/2014	Prof I	11,8	154,30	8,6	52	0,029	< 0,100
	Prof II	0,3	3,60	7,7	55	0,032	< 0,100
	Prof III	0,2	2,40	7,2	57	0,035	0,194
25/02/2015	Prof I	6,7	88,90	7,5	46	0,016	< 0,100
	Prof II	6,8	89,60	7	42	0,02	0,162
	Prof III	1,6	19,80	6,9	43	0,022	< 0,100
19/05/2015	Prof I	7,2	85,00	7	47	0,02	< 0,100
	Prof II	4,3	50,20	6,8	48	0,02	< 0,100
11/08/2015	Prof I	11,7	141,40	8,1	48	< 0,01	< 0,100
	Prof II	2,5	27,60	6,8	51	< 0,01	< 0,100
11/11/2015	Prof I	10,1	130,40	8,4	43	0,01	< 0,100
	Prof II	0,4	4,60	6,6	48	0,02	0,15
	Prof III	0,2	2,30	6,7	50	0,02	0,21
30/03/2016	Prof I	6,5	83,60	7,6	41	0,014	< 0,100
	Prof II	1,3	15,30	6,7	46	0,015	0,131
30/05/2016	Prof I	6,5	73,60	6,7	60	0,015	0,639
	Prof II	5,5	61,60	6,7	50	0,016	0,686
29/08/2016	Prof I	10,4	121,50	7,5	47	0,056	< 0,100
	Prof II	7,1	77,30	7,4	46	0,039	< 0,100
29/11/2016	Prof I	8,1	99,90	7,2	48	0,027	0,168
	Prof II	1	12,10	7	45	0,04	< 0,100
	Prof III	0,3	3,50	7	47	0,051	0,122
31/01/2017	Prof I	9	118,35	8,5	34	0,051	< 0,100
	Prof II	0,4	5,03	7,2	34	0,054	< 0,100
	Prof III	0,2	2,50	7,2	34	0,07	< 0,100
01/06/2017	Prof I	9,54	109,37	7,7	40	0,05	< 0,100
	Prof II	7,77	165,01	7,7	40	0,06	< 0,100
09/11/2017	Prof I	9,21	113,10	7,7	52	0,01	< 0,100
	Prof II	7,92	94,68	7,4	53	0,01	0,12

Data	Prof	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Nitrogênio Inorgânico Total (mg/L)	Nitrogênio Total (mg/L)	Sólidos Totais (mg/L)	Turbidez (UNT)
15/02/2005	Prof I	< 0,01	0,03	0,03	0,5	40	2
	Prof II	< 0,01	0,01	0,01	0,8	39	2
	Prof III	< 0,01	0,02	0,27	0,5	44	3
19/05/2005	Prof I	< 0,01	< 0,01	0,1	0,8	51	4
	Prof II	< 0,01	0,01	0,41	0,7	57	5
11/08/2005	Prof I	< 0,01	0,22	0,22	0,6	52	4
	Prof II	< 0,01	0,22	0,22	< 0,5	46	4
09/11/2005	Prof I	< 0,01	0,2	0,2	0,8	38	3
	Prof II	< 0,01	0,2	0,2	1	36	5
09/03/2006	Prof I	0,01	< 0,01	0,13	< 0,5	47	2
	Prof II	0,01	< 0,01	0,1	0,8	53	3
25/05/2006	Prof I	< 0,01	0,02	0,25	1,6	47	4
	Prof II	< 0,01	0,02	0,27	1,4	46	4
17/08/2006	Prof I	0,09	< 0,01	0,19	1	49	5
	Prof II	0,11	< 0,01	0,22	0,9	49	6
23/11/2006	Prof I	< 0,01	0,17	0,26	1,9	43	3
	Prof II	< 0,01	0,12	0,27	2,1	49	6
01/03/2007	Prof I	< 0,01	0,02	0,11	< 0,5	38	3
	Prof II	< 0,01	0,07	0,25	< 0,5	44	7
17/05/2007	Prof I	< 0,01	< 0,01	0,2	0,5	38	3
	Prof II	< 0,01	0,07	0,27	0,6	41	5
13/09/2007	Prof I	< 0,03	0,11	0,19	< 0,5	49	5
	Prof II	< 0,03	0,34	0,42	0,5	51	5
22/11/2007	Prof I	< 0,03	0,09	0,17	< 0,5	52	5
	Prof II	< 0,03	0,33	0,41	< 0,5	58	8
05/03/2008	Prof I	< 0,03	0,06	0,14	0,6	40	5
	Prof II	< 0,03	0,24	0,32	0,6	53	17
12/06/2008	Prof I	< 0,03	0,2	0,28	1,5	41	4
	Prof II	< 0,03	0,2	0,31	2,1	38	4
11/09/2008	Prof I	< 0,03	0,14	0,22	1,6	44	3
	Prof II	< 0,03	0,16	0,24	0,5	45	4
19/11/2008	Prof I	< 0,03	0,1	0,18	0,8	38	3
	Prof II	< 0,03	0,27	0,35	< 0,5	42	4
05/03/2009	Prof I	< 0,03	0,03	0,14	0,5	42	2
	Prof II	< 0,03	< 0,03	0,59	0,8	48	2
13/05/2009	Prof I	< 0,03	< 0,03	0,15	0,5	47	3
	Prof II	< 0,03	< 0,03	0,24	0,6	48	5
12/08/2009	Prof I	< 0,03	0,2	0,33	1,1	51	4
	Prof II	< 0,03	0,3	0,43	1,9	51	6
10/11/2009	Prof I	< 0,03	0,09	0,2	1,5	38	3
	Prof II	< 0,03	0,32	0,43	1,2	40	9
04/02/2010	Prof I	< 0,03	0,04	0,15	< 0,5	40	4
	Prof II	< 0,03	0,2	0,31	< 0,5	44	14
05/05/2010	Prof I	< 0,03	0,13	0,24	1	39	4
	Prof II	< 0,03	0,2	0,31	0,9	39	9
09/08/2010	Prof I	< 0,03	0,21	0,32	1,1	29	3
	Prof II	< 0,03	0,21	0,32	1,5	36	4
22/11/2010	Prof I	< 0,03	0,03	0,11	< 0,5	39	4
	Prof II	< 0,03	< 0,03	0,11	< 0,5	43	5
	Prof III	< 0,03	< 0,03	0,19	< 0,5	45	10
07/02/2011	Prof I	< 0,03	0,04	0,15	< 0,5	33	3
	Prof II	< 0,03	0,21	0,32	< 0,5	41	6
26/05/2011	Prof I	< 0,03	0,09	0,24	0,8	40	3
	Prof II	< 0,03	0,04	0,44	1,2	63	20
10/08/2011	Prof I	< 0,03	0,17	0,28	2,2	38	6
	Prof II	< 0,03	0,17	0,28	1,9	48	10

Data	Prof	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Nitrogênio Inorgânico Total (mg/L)	Nitrogênio Total (mg/L)	Sólidos Totais (mg/L)	Turbidez (UNT)
23/11/2011	Prof I	< 0,03	0,09	0,2	1	41	2
	Prof II	< 0,03	0,16	0,27	0,8	33	3
	Prof III	< 0,03	0,18	0,29	0,6	37	4
01/02/2012	Prof I	< 0,03	< 0,03	0,35	0,7	43	1
	Prof II	< 0,03	< 0,03	0,38	1	46	2
	Prof III	< 0,03	< 0,03	0,44	1,2	43	2
16/05/2012	Prof I	< 0,03	0,1	0,26	1	43	2
	Prof II	< 0,03	0,1	0,3	1,2	45	2
	Prof III	< 0,03	< 0,03	0,82	2,4	60	6
09/08/2012	Prof I	< 0,03	0,2	0,35	1,1	42	2
	Prof II	< 0,03	0,26	0,43	0,8	44	2
08/11/2012	Prof I	< 0,03	0,03	0,14	2,8	50	1
	Prof II	< 0,03	0,08	0,19	3,5	48	2
	Prof III	< 0,03	0,06	0,17	2,3	50	2
25/02/2013	Prof I	< 0,03	< 0,03	0,14	< 0,5	51	1
	Prof II	< 0,03	< 0,03	0,14	< 0,5	44	1
14/05/2013	Prof I	< 0,03	0,06	0,12	0,9	56	2
	Prof II	< 0,03	0,08	0,16	< 0,5	48	1
11/08/2014	Prof I	< 0,02	< 0,30	0,42	< 0,50	45	5,89
	Prof II	< 0,02	< 0,30	0,42	< 0,50	46	5,49
27/11/2014	Prof I	< 0,02	< 0,30	0,42	< 0,50	62	7,96
	Prof II	< 0,02	< 0,30	0,42	0,54	67	12
	Prof III	< 0,02	< 0,30	0,514	0,5	61	13,1
25/02/2015	Prof I	< 0,02	< 0,50	0,62	1,36	45	1,54
	Prof II	< 0,02	< 0,50	0,682	< 0,50	52	6,74
	Prof III	< 0,02	< 0,50	0,62	1,47	48	7,73
19/05/2015	Prof I	< 0,02	< 0,5	0,62	< 0,50	39	7
	Prof II	< 0,02	< 0,5	0,62	< 0,50	51	6
11/08/2015	Prof I	< 0,02	< 0,5	0,62	< 0,50	48	5
	Prof II	< 0,02	< 0,5	0,62	< 0,50	48	6
11/11/2015	Prof I	< 0,02	< 0,5	0,62	< 0,50	48	6
	Prof II	< 0,02	< 0,5	0,67	0,5	46	8
	Prof III	< 0,02	< 0,5	0,73	< 0,50	53	7
30/03/2016	Prof I	< 0,02	< 0,5	0,62	< 0,50	30	2,97
	Prof II	< 0,02	< 0,5	0,651	0,59	51	4,17
30/05/2016	Prof I	< 0,02	2,66	3,319	4,41	40	10,7
	Prof II	< 0,02	2,44	3,146	3,45	36	18,3
29/08/2016	Prof I	< 0,02	< 0,5	0,62	0,51	41	14
	Prof II	< 0,02	< 0,5	0,62	< 0,50	48	12
29/11/2016	Prof I	< 0,02	< 0,5	0,688	0,69	36	8,42
	Prof II	< 0,02	< 0,5	0,62	< 0,50	46	8,32
	Prof III	< 0,02	< 0,5	0,642	0,79	49	8,48
31/01/2017	Prof I	< 0,02	< 0,5	0,62	0,57	46	8,87
	Prof II	< 0,02	< 0,5	0,62	0,69	39	7,22
	Prof III	< 0,02	< 0,5	0,62	< 0,50	32	8,01
01/06/2017	Prof I	< 0,02	< 0,5	0,62	1,17	64	4,27
	Prof II	< 0,02	< 0,5	0,62	0,58	62	4,81
09/11/2017	Prof I	< 0,01	< 0,50	0,61	0,53	56	5,48
	Prof II	< 0,01	< 0,50	0,63	< 0,50	49	5,76

Data	Prof	Coliformes Totais (NMP/100mL)	Coliformes Termotolerant es (NMP/100mL)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	Clorofila-a (µg/L)	Riqueza de fitoplâncton
15/02/2005	Prof I	19	< 1,0	3,27	5,65	9,18	17
	Prof II			4,03	7,89		
	Prof III			3,75	7,02		
19/05/2005	Prof I	190	2,00	3,75	7,71	14,68	25
	Prof II			4,01	10,06		
11/08/2005	Prof I	26	4,00	4,84	15,00	8,35	17
	Prof II			4,88	14,00		
09/11/2005	Prof I	250	5,20	5,37	12,00	10,1	16
	Prof II			6,91	16,00		
09/03/2006	Prof I	1	< 1,0	3,43	9,72	7,04	23
	Prof II			3,60	9,18		
25/05/2006	Prof I	< 1,0	< 1,0	5,60	14,50	2,16	24
	Prof II			6,04	14,50		
17/08/2006	Prof I	170	< 1,8	2,01	8,00	10,21	33
	Prof II			2,21	5,00		
23/11/2006	Prof I	810	10,00	< 2,00	4,11	8,99	41
	Prof II			< 2,00	12,34		
01/03/2007	Prof I	64	1,00	< 2,00	6,92	7,34	42
	Prof II			2,93	11,86		
17/05/2007	Prof I	240	2,00	< 2,00	9,07	7,34	51
	Prof II			< 2,00	7,06		
13/09/2007	Prof I	2000	2,00	< 2,00	9,00	6,66	22
	Prof II			< 2,00	7,00		
22/11/2007	Prof I	250	1,00	< 2,00	12,04	10,85	41
	Prof II			< 2,00	11,04		
05/03/2008	Prof I	23	1,00	4,79	30,00	14,5	50
	Prof II			2,99	18,00		
12/06/2008	Prof I	7,4	1,80	< 2,00	11,09	5,25	34
	Prof II			< 2,00	12,10		
11/09/2008	Prof I					7,44	41
	Prof II						
19/11/2008	Prof I	6500	10,00	< 2,00	11,15	7,84	43
	Prof II			< 2,00	10,14		
05/03/2009	Prof I	4	< 1,8	< 2,00	15,15	7	29
	Prof II			< 2,00	4,04		
13/05/2009	Prof I	4600	31,00	4,62	20,20	8,98	42
	Prof II			3,31	19,19		
12/08/2009	Prof I	4,1	< 1,0	< 2,00	8,04	11,53	33
	Prof II			< 2,00	6,03		
10/11/2009	Prof I	< 1,0	< 1,0	2,99	8,63	9,05	23
	Prof II			2,49	6,09		
04/02/2010	Prof I	< 1,8	< 1,8	1,01	13,06	4,02	39
	Prof II			< 1,00	11,05		
05/05/2010	Prof I	370	< 1,0	< 1,00	5,04	10,6	59
	Prof II			< 1,00	10,07		
09/08/2010	Prof I	49	1,00	< 1,00	12,18	7,93	43
	Prof II			< 1,00	9,13		
22/11/2010	Prof I	490	5,20	< 1,00	4,02	6,01	40
	Prof II			< 1,00	2,01		
	Prof III			< 1,00	2,01		
07/02/2011	Prof I	20000	7,00	1,64	19,09	8,08	42
	Prof II			< 1,00	17,08		
26/05/2011	Prof I	36000	2,00	< 1,0	5,02	6,93	43
	Prof II			1,80	6,03		
10/08/2011	Prof I	6	< 1,00	1,31	7,96	9,1	34
	Prof II			< 1,00	5,97		

Data	Prof	Coliformes Totais (NMP/100mL)	Coliformes Termotolerant es (NMP/100mL)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	Clorofila-a (µg/L)	Riqueza de fitoplâncton
23/11/2011	Prof I	490	1,00	< 1,00	9,00	7,11	29
	Prof II			< 1,00	7,00		
	Prof III			< 1,00	12,00		
01/02/2012	Prof I	13	< 1,8	< 1,00	9,95	3,56	31
	Prof II			1,40	7,96		
	Prof III			< 1,00	8,95		
16/05/2012	Prof I	690	5,00	< 1,00	14,62	10,47	45
	Prof II			< 1,00	11,59		
	Prof III			2,33	13,10		
09/08/2012	Prof I	23	< 1,0	< 1,00	4,96	5,53	36
	Prof II			< 1,00	< 2,00		
08/11/2012	Prof I	300	< 1,0	1,09	11,09	8,56	35
	Prof II			< 1,00	10,08		
	Prof III			< 1,00	11,09		
25/02/2013	Prof I	9800	31,00	< 1,00	14,07	21,6	34
	Prof II			< 1,00	12,56		
14/05/2013	Prof I	24	< 1,0	4,86	14,54	107,4	18
	Prof II			< 1,00	6,01		
11/08/2014	Prof I	580	< 1,0	< 2,00	9,00	9,3	24
	Prof II			< 2,00	8,00		
27/11/2014	Prof I	7,8	4,50	< 2,00	21,00	4,5	35
	Prof II			< 2,00	13,00		
	Prof III			< 2,00	19,00		
25/02/2015	Prof I	7,3	< 1,0	< 2,00	< 5,00	3,8	22
	Prof II			< 2,00	13,00		
	Prof III			< 2,00	< 5,00		
19/05/2015	Prof I	110	4,00	< 2	16,00	6,55	29
	Prof II			< 2	6,00		
11/08/2015	Prof I	280000	2000,00	< 2	< 5	1,56	18
	Prof II			< 2	< 5		
11/11/2015	Prof I	1100	400,00	< 2	< 5	3,78	14
	Prof II			< 2	< 5		
	Prof III			< 2	< 5		
30/03/2016	Prof I	200	< 1,8	< 2,0	11,60	17,2	24
	Prof II			< 2,0	12,80		
30/05/2016	Prof I	2300	780,00	< 2,0	14,80	2,5	15
	Prof II			< 2,0	18,60		
29/08/2016	Prof I	450	< 1,8	< 2,0	21,20	21,6	18
	Prof II			< 2,0	10,70		
29/11/2016	Prof I	780	450,00	< 2,0	85,90	10,4	15
	Prof II			< 2,0	15,20		
	Prof III			< 2,0	27,60		
31/01/2017	Prof I	130000	49000,00	< 2,0	10,40	9,8	24
	Prof II			< 2,0	< 5,0		
	Prof III			< 2,0	12,20		
01/06/2017	Prof I	330	130,00	< 2	9,00	3,9	
	Prof II			< 2	8,00		
09/11/2017	Prof I	78	78,00	< 2	8,30	5,2	-
	Prof II			< 2	7,50		

Data	Prof	Fitoplâncton (Predominância)	Fitoplâncton (Florações)	Densidade de Fitoplâncton (cél/mL)	Densidade de Cianobactérias (cél/mL)	Presença de cianobactérias potencialment e tóxicas	Densidade de cianobactérias potencialment e tóxicas (cél/mL)
15/02/2005	Prof I	sem	ausente	10651	10230	presente	1789
	Prof II			2896	2348	presente	2348
	Prof III						
19/05/2005	Prof I	com	ausente	62962	54769	presente	135
	Prof II			9140	6817	presente	391
11/08/2005	Prof I	com	ausente	13818	12338	ausente	0
	Prof II			12400	6385	ausente	0
09/11/2005	Prof I	com	ausente	7953	6765	ausente	0
	Prof II			3839	615	ausente	0
09/03/2006	Prof I	com	ausente	8196	3834	presente	551
	Prof II			143	39	ausente	0
25/05/2006	Prof I	sem	ausente	2015	1327	ausente	0
	Prof II			2727	2159	ausente	0
17/08/2006	Prof I	sem	ausente	21418	13630	ausente	1687
	Prof II			7723	5054	ausente	1673
23/11/2006	Prof I	com	ausente	23361	5096	presente	1581
	Prof II			2426	496	presente	225
01/03/2007	Prof I	com	ausente	54513	43689	ausente	0
	Prof II			1691	1173	ausente	0
17/05/2007	Prof I	com	ausente	54290	49075	presente	126
	Prof II			12089	10694	presente	500
13/09/2007	Prof I	com	ausente	14095	0	ausente	0
	Prof II			12309	349	ausente	0
22/11/2007	Prof I	com	ausente	46013	25999	presente	1075
	Prof II			8031	4836	ausente	0
05/03/2008	Prof I	sem	ausente	21484	16687	presente	564
	Prof II			769	352	presente	29
12/06/2008	Prof I	com	ausente	14248	9373	presente	718
	Prof II			10476	6522	ausente	0
11/09/2008	Prof I	sem	ausente	6897	1415	presente	89
	Prof II			5327	520	ausente	0
19/11/2008	Prof I	sem	ausente	26911	19072	presente	41
	Prof II			4156	2234	presente	836
05/03/2009	Prof I	com	ausente	33059	28321	presente	1001
	Prof II			244	127	ausente	0
13/05/2009	Prof I	com	ausente	36342	30876	presente	850
	Prof II			10600	8604	presente	98
12/08/2009	Prof I	com	ausente	25612	15810	presente	1457
	Prof II			10294	744	presente	720
10/11/2009	Prof I	com	ausente	225508	219209	presente	6020
	Prof II			202512	198893	presente	11582
04/02/2010	Prof I	com	ausente	46244	42252	presente	1317
	Prof II			1565	1313	presente	234
05/05/2010	Prof I	sem	ausente	14629	7581	presente	1136
	Prof II			9174	7295	presente	4524
09/08/2010	Prof I	sem	ausente	20951	10272	presente	1447
	Prof II			9308	255	presente	104
22/11/2010	Prof I	com	presente	55378	51026	ausente	0
	Prof II		ausente	37174	32987	ausente	0
	Prof III						
07/02/2011	Prof I	com	ausente	17366	12927	presente	1465
	Prof II			2346	1705	presente	421
26/05/2011	Prof I	sem	ausente	6739	3528	presente	565
	Prof II			1474	0	ausente	0
10/08/2011	Prof I	sem	ausente	13434	5090	presente	3126
	Prof II			2378	338	presente	338

Data	Prof	Fitoplâncton (Predominância)	Fitoplâncton (Florações)	Densidade de Fitoplâncton (cél/mL)	Densidade de Cianobactérias (cél/mL)	Presença de cianobactérias potencialment e tóxicas	Densidade de cianobactérias potencialment e tóxicas (cél/mL)
23/11/2011	Prof I	com	ausente	37293	30582	ausente	0
	Prof II		ausente	15353	11900	presente	311
	Prof III						
01/02/2012	Prof I	com	ausente	8420	4932	ausentes	0
	Prof II		ausente	561	0	ausentes	0
	Prof III						
16/05/2012	Prof I	sem	ausente	6251	3691	ausente	0
	Prof II		ausente	3818	1851	presente	219
	Prof III						
09/08/2012	Prof I	sem	ausente	11622	4225	presente	57
	Prof II		ausente	7775	573	ausente	0
08/11/2012	Prof I	com	ausente	14088	11375	ausente	0
	Prof II	sem	ausente	2274	1509	ausente	0
	Prof III						
25/02/2013	Prof I	com	ausente	16346	13307	presente	91
	Prof II	sem	ausente	449	145	ausente	0
14/05/2013	Prof I	com	ausente	2530	0	ausente	
	Prof II	com	ausente	759	0	ausente	
11/08/2014	Prof I	sem	ausente	5856	1316	presente	1316
	Prof II	sem	ausente	1704	263	presente	263
27/11/2014	Prof I	com	ausente	8041	5822	presente	5822
	Prof II	sem	ausente	4287	2779	presente	2779
	Prof III						
25/02/2015	Prof I	sem	ausente	1308	0	ausente	0
	Prof II			137	59	presente	59
	Prof III						
19/05/2015	Prof I	sem	ausente	2303	808	presente	755
	Prof II			588	177	presente	106
11/08/2015	Prof I	com	ausente	6412	283	presente	283
	Prof II		ausente	1016	170	presente	170
11/11/2015	Prof I	sem	ausente	2211	925	presente	287
	Prof II	com		290	0		
	Prof III						
30/03/2016	Prof I		ausente	4214	1521	prsende	1521
	Prof II			178	108	prsende	62
30/05/2016	Prof I		ausente	1539	1218	presente	1115
	Prof II		ausente	228	0	ausente	0
29/08/2016	Prof I	com	ausente	5009	2954	presente	2954
	Prof II	sem	ausente	1195	437	presente	437
29/11/2016	Prof I	com	presente	88661	88174	presente	88174
	Prof II	com	ausente	43622	43308	presente	43308
	Prof III						
31/01/2017	Prof I	com	presente	181389	177333	presente	177333
	Prof II			145834	142778	presente	142778
	Prof III						
01/06/2017	Prof I	sem	ausente	4102	912	presente	912
	Prof II	sem		5437	701	presente	701
09/11/2017	Prof I	sem	ausente	6733	1674	presente	1674
	Prof II	sem		5172	2079	presente	2079

Data	Prof	Cianobactérias Potencialmente Tóxicas
15/02/2005	Prof I Prof II Prof III	Dolichospermum planctonicum, Cylindrospermopsis Dolichospermum planctonicum, Cylindrospermopsis
19/05/2005	Prof I Prof II	Dolichospermum planctonicum Microcystis
11/08/2005	Prof I Prof II	
09/11/2005	Prof I Prof II	
09/03/2006	Prof I Prof II	Dolichospermum planctonicum
25/05/2006	Prof I Prof II	
17/08/2006	Prof I Prof II	Woronichinia naegeliana Woronichinia naegeliana
23/11/2006	Prof I Prof II	Microcystis aeruginosa, Pseudoanabaena mucicola, Woronichinia naegeliana Microcystis aeruginosa
01/03/2007	Prof I Prof II	
17/05/2007	Prof I Prof II	Rhabdoderma lineare Anabaena planctonica
13/09/2007	Prof I Prof II	
22/11/2007	Prof I Prof II	Woronichinia naegeliana
05/03/2008	Prof I Prof II	Chroococcus sp., Microcystis aeruginosa Rhabdoderma lineare
12/06/2008	Prof I Prof II	Woronichinia naegeliana
11/09/2008	Prof I Prof II	Microcystis protocystis
19/11/2008	Prof I Prof II	Pseudoanabaena sp. 2 Woronichinia naegeliana
05/03/2009	Prof I Prof II	Microcystis panniformis, Microcystis protocystis
13/05/2009	Prof I Prof II	Anabaena planctonica, Microcystis panniformis, Microcystis protocystis Anabaena planctonica
12/08/2009	Prof I Prof II	Microcystis protocystis Anabaena planctonica, Microcystis protocystis, Pseudoanabaena mucicola
10/11/2009	Prof I Prof II	Microcystis aeruginosa, Microcystis protocystis, Pseudobaena mucicola, Woronichinia naegeliana Dolichospermum solitarium(Anabaenasolitaria), Microcystis aeruginosa, Microcystis protocystis, Pseudobaena mucicola, Woronichinia naegeliana
04/02/2010	Prof I Prof II	Dolichospermum solitarium, Microcystis protocystis Microcystis protocystis
05/05/2010	Prof I Prof II	Dolichospermum planctonicum Dolichospermum planctonicum, Microcystis aeruginosa, Microcystis protocystis
09/08/2010	Prof I Prof II	Microcystis aeruginosa, Microcystis protocystis Microcystis protocystis
22/11/2010	Prof I Prof II Prof III	
07/02/2011	Prof I Prof II	Dolichospermum solitarium; Woronichinia naegeliana Woronichinia naegeliana
26/05/2011	Prof I Prof II	Woronichinia naegeliana
10/08/2011	Prof I Prof II	Dolichospermum solitarium; Woronichinia naegeliana; Sphaerocavum brasiliense Woronichinia naegeliana

Data	Prof	Cianobactérias Potencialmente Tóxicas
23/11/2011	Prof I Prof II Prof III	Dolichospermum planctonicum
01/02/2012	Prof I Prof II Prof III	
16/05/2012	Prof I Prof II Prof III	Dolichospermum planctonicum
09/08/2012	Prof I Prof II	Microcystis protocystis
08/11/2012	Prof I Prof II Prof III	
25/02/2013	Prof I Prof II	Dolichospermum planctonicum
14/05/2013	Prof I Prof II	
11/08/2014	Prof I Prof II	Dolichospermum planctonicum, Microcystis protocystis, Pseudanabaena mucicola Cylindrospermopsis raciborskii, Pseudanabaena mucicola
27/11/2014	Prof I Prof II Prof III	Aphanocapsa delicatissima, Dolichospermum planctonicum, Dolichospermum solitarium, Merismopedia tenuissima Aphanizomenon sp., Aphanocapsa delicatissima, Dolichospermum sp., Dolichospermum spiroides, Merismopedia tenuissima, Microcystis protocystis
25/02/2015	Prof I Prof II Prof III	Merismopedia tenuissima
19/05/2015	Prof I Prof II	Aphanocapsa delicatissima Aphanocapsa delicatissima
11/08/2015	Prof I Prof II	Cuspidothrix Aphanocapsa delicatissima, Microcystis protocystis
11/11/2015	Prof I Prof II Prof III	Raphidiopsis brookii
30/03/2016	Prof I Prof II	Aphanocapsa delicatissima, Merismopedia tenuissima, Raphidiopsis brookii Cylindrospermopsis raciborskii
30/05/2016	Prof I Prof II	Microcystis aeruginosa
29/08/2016	Prof I Prof II	Microcystis protocystis Woronichinia naegeliana
29/11/2016	Prof I Prof II Prof III	Merismopedia tenuissima, Microcystis protocystis Cylindrospermopsis raciborskii, Merismopedia tenuissima, Raphidiopsis curvata
31/01/2017	Prof I Prof II Prof III	Aphanizomenon sp.3 Aphanizomenon sp.3, Aphanocapsa delicatissima
01/06/2017	Prof I Prof II	Aphanizomenon sp.3, Aphanocapsa delicatissima Aphanocapsa delicatissima, Cuspidothrix issatschenkoi
09/11/2017	Prof I Prof II	Macrospermum volzii, Raphidiopsis brookii Macrospermum volzii, Merismopedia tenuissima, Raphidiopsis brookii

Data	Prof	Espécie Predominante	Densidade de Fitoplâncton (ind/mL)	IQAR	IQAR Classificação	N/P molar
15/02/2005	Prof I		6765	3,20	CLASSE III	55
	Prof II		942			88
	Prof III					55
19/05/2005	Prof I	71% Aphanocapsa	19027	3,30	CLASSE III	177
	Prof II	50% Aphanocapsa	2303			154
11/08/2005	Prof I	86,2% Aphanocapsa	2236	3,20	CLASSE III	66
	Prof II		3953			110
09/11/2005	Prof I	62,9% Aphanocapsa	2188	3,10	CLASSE III	177
	Prof II	58,7% Discostella stelligera	1388			221
09/03/2006	Prof I	Nephroselmis 75,9%	4847	3,40	CLASSE III	110
	Prof II		104			88
25/05/2006	Prof I		670	3,00	CLASSE III	177
	Prof II		779			309
17/08/2006	Prof I		9051	2,90	CLASSE III	110
	Prof II		2580			99
23/11/2006	Prof I	Nephroselmis (77,5%)	18272	3,20	CLASSE III	210
	Prof II		1586			232
01/03/2007	Prof I	Epigloeosphaera brasílica (79,6%)	18399	3,50	CLASSE III	110
	Prof II	Epigloeosphaera brasílica (69,4%)	566			55
17/05/2007	Prof I	Epigloeosphaera brasílica (62,1%)	13207	3,50	CLASSE III	110
	Prof II	Epigloeosphaera brasílica (62,2%)	2903			66
13/09/2007	Prof I	Nephroselmis sp. (69,5%)	13858	3,20	CLASSE III	55
	Prof II		10074			55
22/11/2007	Prof I	Nephroselmis sp. (54,1%)	15104	3,50	CLASSE IV	55
	Prof II	Merismopedia tenuissima (50,6%)	2549			55
05/03/2008	Prof I		5668	3,70	CLASSE IV	66
	Prof II		329			44
12/06/2008	Prof I	Aphanocapsa delicatissima	4955	3,20	CLASSE III	331
	Prof II	Aphanocapsa delicatissima	4238			463
11/09/2008	Prof I		4280			177
	Prof II		3446			55
19/11/2008	Prof I		7539	3,40	CLASSE III	177
	Prof II		1423			110
05/03/2009	Prof I	Aphanocapsa delicatissima (72,7%)	7080	3,40	CLASSE III	110
	Prof II		117			177
13/05/2009	Prof I	Aphanocapsa delicatissima (82,6%)	9817	3,60	CLASSE IV	55
	Prof II	Aphanocapsa delicatissima (79,6%)	2521			132
12/08/2009	Prof I	Aphanocapsa delicatissima (56,0%)	8256	3,40	CLASSE III	121
	Prof II		7438			210
10/11/2009	Prof I	Merismopedia tenuissima (69,1%)	22224	3,40	CLASSE III	331
	Prof II		11697			132
04/02/2010	Prof I	Merismopedia tenuissima	6437	3,40	CLASSE III	55
	Prof II	Merismopedia tenuissima	522			55
05/05/2010	Prof I			3,60	CLASSE IV	110
	Prof II					66
09/08/2010	Prof I		9627	3,40	CLASSE III	243
	Prof II		6919			331
22/11/2010	Prof I	Aphanocapsa delicatissima	4378	3,40	CLASSE III	28
	Prof II		3296			37
	Prof III					37
07/02/2011	Prof I	Nephroselmis sp	3866	3,50	CLASSE III	55
	Prof II		438			110
26/05/2011	Prof I		2987	3,20	CLASSE III	59
	Prof II		807			88
10/08/2011	Prof I		6891	3,20	CLASSE III	162
	Prof II		1639			140

Data	Prof	Espécie Predominante	Densidade de Fitoplâncton (ind/mL)	IQAR	IQAR Classificação	N/P molar
23/11/2011	Prof I	Merismopedia tenuissima	7695	3,60	CLASSE IV	221
	Prof II	Merismopedia tenuissima	3788			59
	Prof III					66
01/02/2012	Prof I	Nephroselmis sp., Aphanocapsa delicatissima	3626	3,00	CLASSE III	154
	Prof II		333			221
	Prof III					265
16/05/2012	Prof I		2721	3,63	CLASSE IV	110
	Prof II		1611			132
	Prof III					177
09/08/2012	Prof I		6906	2,93	CLASSE III	121
	Prof II		4889			88
08/11/2012	Prof I	Merismopedia tenuissima	2652	3,51	CLASSE IV	618
	Prof II		632			772
	Prof III					254
25/02/2013	Prof I	Merismopedesmerismopedia tenuissima	628	3,41	CLASSE III	37
	Prof II					55
14/05/2013	Prof I	Fragilaria crotonensis	399	3,52	CLASSE IV	50
	Prof II	Fragilaria crotonensis	262			55
11/08/2014	Prof I	Pedinomas sp.	1183	3,17	CLASSE III	37
	Prof II	Aulacoseira tenella	286			22
27/11/2014	Prof I	Merismopedia tenuissima	4068	3,68	CLASSE IV	38
	Prof II	Merismopedia tenuissima	1022			37
	Prof III					32
25/02/2015	Prof I		1071	3,24	CLASSE III	188
	Prof II		82			55
	Prof III					147
19/05/2015	Prof I		1247	3,05	CLASSE III	55
	Prof II		362			55
11/08/2015	Prof I	Nephroselmis sp	5624	2,85	CLASSE III	110
	Prof II	Nephroselmis sp	747			110
11/11/2015	Prof I		979	3,12	CLASSE III	110
	Prof II	Fragilaria crotonensis	75			55
	Prof III					55
30/03/2016	Prof I		937	3,74	CLASSE IV	79
	Prof II		67			87
30/05/2016	Prof I	Microcystis aeruginosa (72,4%)	297	3,27	CLASSE III	649
	Prof II		204			476
29/08/2016	Prof I	Microcystis protocystis	1940	3,59	CLASSE IV	20
	Prof II		710			28
29/11/2016	Prof I	Merimospedia tenuissima (91,1%)	5988	4,02	CLASSE IV	56
	Prof II	Merimospedia tenuissima (91,8%)	3555			28
	Prof III					34
31/01/2017	Prof I	Aphanizomenon sp.3	16784	4,32	CLASSE IV	25
	Prof II	Aphanizomenon sp.3	11390			28
	Prof III					16
01/06/2017	Prof I		1907	2,80	CLASSE III	52
	Prof II		3652			21
09/11/2017	Prof I		4648	2,96	CLASSE III	117
	Prof II		2401			110

Data	Prof	Alcalinidade Total (mg/L)	Ortofosfato (mg/L)	Cloretos (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Sulfetos (mg/L)	Sódio (mg/L)
11/08/2014	Prof I	20,5	< 0,030	1,9	< 5	< 0,050	2,6
	Prof II		< 0,030		< 5	< 0,050	
27/11/2014	Prof I	21,6	0,003	1,9	< 5	< 0,002	4,12
	Prof II		< 0,001		< 5	< 0,002	
	Prof III		< 0,001		< 5	< 0,002	
25/02/2015	Prof I	21	< 0,001	1,9	< 5	< 0,002	2,57
	Prof II		0,007		< 5	< 0,002	
	Prof III		0,005		< 5	< 0,002	
19/05/2015	Prof I	29	< 0,001	2	< 5,0	< 0,002	4
	Prof II		< 0,001		< 5,0	< 0,002	
11/08/2015	Prof I	19	< 0,001	2	< 5,0	< 0,002	3
	Prof II		< 0,001		< 5,0	< 0,002	
11/11/2015	Prof I	9	0,006	2	< 5	< 0,002	4
	Prof II		0,012		< 5	< 0,002	
	Prof III		0,004		< 5	< 0,002	
30/03/2016	Prof I	14,8	< 0,001	5,4	< 5	< 0,002	4,23
	Prof II		< 0,001		< 5	< 0,002	
30/05/2016	Prof I	21,1	0,007	5,7	< 5	< 0,002	3,43
	Prof II		0,008		< 5	< 0,002	
29/08/2016	Prof I	18,6	0,019	1,8	< 5	< 0,002	2,84
	Prof II		0,017		< 5	< 0,002	
29/11/2016	Prof I	23,3	< 0,001	1,5	< 5	< 0,002	6,38
	Prof II		< 0,001		< 5	< 0,002	
	Prof III		< 0,001		< 5	< 0,002	
31/01/2017	Prof I	20	0,019	1,5	< 5	< 0,002	3,3
	Prof II		0,034		< 5	< 0,002	
	Prof III		0,02		< 5	< 0,002	
01/06/2017	Prof I	15,4	0,05	1,8	< 5	< 0,002	3,4
	Prof II		0,06		< 5	< 0,002	
09/11/2017	Prof I	17,7	< 0,010	1,7	< 5,00	< 0,002	3,4
	Prof II		< 0,010		< 5,00	< 0,002	

Data	Prof	Magnésio (mg/L)	Potássio (mg/L)	Cálcio (mg/L)	Sólidos Sedimentáveis (mL/L/h)	Sólidos Dissolvidos (mg/L)	Cor (UC)
11/08/2014	Prof I	1,24	0,988	2,52	< 0,3	11	29
	Prof II					30	
27/11/2014	Prof I	1,57	3,25	2,64	< 0,3	60	24
	Prof II					55	
	Prof III					52	
25/02/2015	Prof I	1,52	0,96	3	< 0,3	42	8
	Prof II					30	
	Prof III					42	
19/05/2015	Prof I	2	< 0,500	3	< 0,3	39	28
	Prof II					37	
11/08/2015	Prof I	1	1	2,7	< 0,3	44	20
	Prof II					41	
11/11/2015	Prof I	2	1	3,6	< 0,3	41	21
	Prof II						
	Prof III						
30/03/2016	Prof I	1,6	1,12	3	< 0,3	28	11,1
	Prof II					29	
30/05/2016	Prof I	1,45	1,83	3,25	< 0,3	35	25,7
	Prof II					29	
29/08/2016	Prof I	1,38	1,1	2,7	< 0,3	33	21,4
	Prof II					30	
29/11/2016	Prof I	2,35	2,9	4,99	< 0,3	36	19,4
	Prof II						
	Prof III						
31/01/2017	Prof I	1,52	1,11	3	< 0,3	17	13,3
	Prof II					15	
	Prof III					24	
01/06/2017	Prof I	1,38	1,3	3	< 0,3	57	32,4
	Prof II					49	
09/11/2017	Prof I	1,49	1,12	3,03	< 0,3	36	14,2
	Prof II					37	

Data		Profundidade (m)																	
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
11/02/2003	OD	7,2	6,5	6,6	6,6	3,5	0,5	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2						
	Temp.	26,2	25,3	25,8	24,3	23,2	22,2	21,0	21,0	20,5	20,2	19,3	19,8						
	Déficit	2,17	13,11	10,97	13,37	54,99	93,69	96,30	96,30	96,34	97,57	97,62	97,59						
06/05/2003	OD	4,8	4,7	4,7	4,5	4,4	4,4	4,4	4,3	3,8	0,5	0,3	0,2						
	Temp.	19,8	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	19,5	19,2	19,0						
	Déficit	42,21	43,19	43,19	45,61	46,82	46,82	46,82	48,03	54,07	94,02	96,43	97,63						
26/08/2003	OD	7,1	7,1	7,0	7,0	6,9	5,3	3,6	3,4	3,1	2,7	2,7	3,0	3,1					
	Temp.	15,9	16,0	16,0	16,0	16,1	15,8	15,1	15,1	15,1	15,0	15,0	15,0	15,0					
	Déficit	21,14	20,98	22,09	22,09	23,04	41,26	60,70	62,88	66,16	70,59	70,59	67,32	66,23					
18/11/2003	OD	6,4	6,2	6,2	5,7	3,2	2,5	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0							
	Temp.	21,7	21,7	21,5	21,1	19,5	19,0	18,8	18,0	17,7	17,5	17,0							
	Déficit	20,02	22,52	22,82	29,59	61,71	70,38	78,76	100,0	100,0	100,0	100,0							
17/02/2004	OD	6,7	6,9	6,9	6,9	6,9	3,1	3,6	1,2	0,7	0,3								
	Temp.	22,9	23,0	23,0	23,0	22,9	22,5	22,0	21,3	21,2	21,0	20,7	20,4	20,2	19,9	19,5			
	Déficit	14,33	11,61	11,61	11,61	11,77	60,66	54,75	85,12	91,34	96,30								
11/05/2004	OD	4,1	3,7	3,7	3,7	3,7	3,4	3,3	3,0	2,9	2,9	2,7							
	Temp.	18,3	18,3	18,8	18,9	18,9	18,9	18,9	18,7	18,8	18,6	18,6							
	Déficit	52,12	56,79	56,34	56,25	56,25	59,80	60,98	64,67	65,78	65,92	68,27							
19/08/2004	OD	8,4	8,4	8,3	8,3	7,9	7,5	6,8	5,6	5,6	5,1	5,0	4,6	4,5	3,8				
	Temp.	17,0	17,1	16,7	16,1	15,3	14,9	14,8	14,1	14,0	13,9	13,9	13,9	13,9	13,8				
	Déficit	4,51	4,31	6,24	7,42	13,39	18,48	26,25	40,19	40,32	45,77	46,84	51,09	52,15	59,68				
16/12/2004	OD	6,4	6,6	6,4	6,3	4,4	4,1	1,9	0,9	0,4									
	Temp.	22,2	22,2	22,2	21,2	20,2	20,0	19,1	18,1	18,0									
	Déficit	19,25	16,73	19,25	22,03	46,60	50,44	77,45	89,53	95,36									
15/02/2005	OD	8,5	7,7	7,8	7,5	4,8	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1						
	Temp.	24,6	23,8	23,6	22,4	21,4	20,4	19,4	18,2	17,4	16,8	16,4	16,1	15,9					
	Déficit	0,00	0,00	0,00	5,01	40,36	95,13	98,81	99,07	99,31	99,32	99,10	99,11	99,22					
19/05/2005	OD	7,8	7,8	7,8	6,9	4,0	2,5	2,2	0,7	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3		
	Temp.	20,5	20,5	20,5	20,4	19,7	19,4	19,2	19,0	18,7	18,4	18,1	17,7	17,3	16,9	16,7	16,4		
	Déficit	5,27	5,03	4,78	15,45	52,06	70,74	74,19	91,23	95,53	96,02	96,16	96,19	96,22	96,37	96,27	96,41		
11/08/2005	OD	6,8	6,8	6,8	6,7	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,4	6,1	3,8	3,8	3,8	3,7	3,6		
	Temp.	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	14,9	14,8	14,7	14,7	14,7		
	Déficit	25,88	25,88	25,77	26,42	28,82	28,82	29,37	29,37	29,48	29,92	33,96	58,37	59,00	58,77	60,50	60,61		
09/11/2005	OD	7,8	7,8	7,8	7,8	7,7	6,3	5,1	4,9	4,0	3,6	4,0	3,0	1,5	1,3				
	Temp.	19,4	19,4	19,4	19,4	19,3	18,1	17,6	17,2	16,7	16,3	16,0	15,8	15,6	15,4				
	Déficit	6,84	7,44	6,61	6,84	8,22	27,30	41,75	43,72	55,38	60,01	55,59	66,86	83,67	86,27				
09/03/2006	OD	7,0	7,1	7,1	7,0	7,0	4,6	1,0	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1		
	Temp.	26,2	26,1	26,1	26,1	26,0	25,2	24,3	23,2	22,5	21,6	20,6	19,9	19,6	18,9	18,4	18,2		
	Déficit	4,89	3,84	3,84	4,79	5,63	38,62	86,35	97,43	98,22	98,63	98,65	98,07	98,32	98,46	98,83	98,60		
25/05/2006	OD	5,1	4,9	5,2	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,0	5,0	5,1	5,1	5,1				
	Temp.	16,8	16,9	16,9	16,9	16,9	16,9	16,9	16,9	16,9	16,9	16,9	16,8	16,7	16,7				
	Déficit	42,15	44,19	41,46	41,80	42,14	42,14	42,14	42,26	42,37	42,82	42,82	42,26	42,16	42,39				
17/08/2006	OD	8,3	8,3	8,3	8,1	6,7	5,8	5,4	5,0	4,1	2,1	1,8							
	Temp.	17,9	18,0	18,0	17,9	17,6	16,4	16,0	15,6	15,4	15,3	15,1							
	Déficit	3,86	4,01	3,66	6,17	22,53	34,89	39,56	45,05	55,28	76,76	79,91							
23/11/2006	OD	8,4	8,4	8,2	7,9	7,1	5,1	3,8	2,1	2,6	1,4	1,0	0,3						
	Temp.	21,5	21,7	21,5	21,4	21,3	20,1	19,7	19,2	18,4	17,7	16,9	16,5						
	Déficit	0,00	0,00	0,00	1,60	11,71	37,87	54,94	75,62	70,04	84,31	89,11	96,51						
01/03/2007	OD	6,3	6,4	6,5	6,5	2,6	1,2	0,6	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1			
	Temp.	25,3	25,3	25,3	25,2	23,1	22,3	21,8	21,3	21,2	21,0	20,7	20,3	20,2	19,9	19,1			
	Déficit	15,65	14,44	13,11	13,26	66,89	84,83	91,99	98,39	98,64	98,77	98,90	99,15	98,91	98,79	98,93			
17/05/2007	OD	5,8	5,8	5,7	5,4	4,7	4,4	4,4	4,2	4,2	4,3	4,5	4,2						
	Temp.	18,8	18,8	18,8	18,8	18,5	18,3	18,0	17,8	17,5	17,3	17,2	17,2						
	Déficit	31,68	32,16	33,34	36,64	44,53	48,26	49,16	50,99	51,98	51,38	48,86	51,60						
13/09/2007	OD	7,2	6,9	6,9	8,2	7,2	6,2	5,6	4,8	3,7	3,2	1,7	0,9						
	Temp.	20,8	20,7	20,6	17,5	16,0	15,3	15,1	14,9	14,7	14,4	14,3	14,2						
	Déficit	12,08	15,07	15,73	5,69	19,97	32,46	38,54	47,72	59,96	65,81	82,19	90,47						
22/11/2007	OD	6,5	6,8	6,8	6,2	5,2	4,7	4,3	2,8	2,7	2,4	1,3	1,2	1,1	1,0	1,1			
	Temp.	21,6	21,7	21,6	20,5	19,8	19,5	19,3	19,0	18,6	18,2	17,9	17,5	17,0	16,0	16,5			
	Déficit	19,55	14,52	15,44	24,68	37,88	43,40	48,63	67,42	68,15	72,49	85,40	86,67	87,04	88,54	87,85			
05/03/2008	OD	8,2	7,8	7,9	6,8	4,7	3,5	2,7	2,1	2,1	1,8	1,6	1,1	1,1	1,0	1,0			
	Temp.	24,5	24,4	24,0	22,9	21,6	20,9	20,4	20,0	19,6	19,3	19,1	18,9	18,8	18,6	18,4			
	Déficit	0,00	0,00	0,00	12,80	41,13	57,55	67,47	74,62	75,42	78,78	81,60	86,76	87,02	87,90	87,83			

Data		Profundidade (m)																	
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
12/06/2008	OD	6,6	6,5	6,3	6,1	5,9	5,9	5,7	5,8	5,4	5,2	4,9	4,3	4,3	4,7	4,3	4,6		
	Temp.	16,5	16,5	16,4	16,3	16,3	16,3	16,3	16,3	16,3	16,1	16,1	16,0	15,9	15,7	15,6	15,6		
	Déficit	25,76	26,88	29,28	31,67	33,91	33,91	36,15	35,03	39,51	42,00	45,35	52,14	52,24	48,02	52,55	49,24		
11/09/2008	OD	7,0	6,0	6,1	6,2	6,2	5,3	4,8	3,6	2,2	1,6	0,8							
	Temp.	20,5	19,6	19,1	18,9	18,7	18,6	18,5	18,2	17,9	17,7	17,4							
	Déficit	14,18	28,41	27,82	26,70	26,52	37,25	43,24	57,69	74,52	81,89	90,48							
19/11/2008	OD	7,5	6,6	6,4	6,3	6,2	3,4	3,6	2,7	2,6	2,4	2,1	1,7	1,4	0,7	0,4	0,4		
	Temp.	20,0	19,9	19,8	19,7	19,7	18,5	18,2	17,5	17,0	16,7	16,5	16,3	16,2	16,1	16,0	15,9		
	Déficit	9,95	20,14	23,19	24,06	25,75	60,71	58,39	68,87	70,67	73,34	76,38	81,07	84,35	92,64	95,33	95,45		
05/03/2009	OD	6,8	6,7	6,8	6,5	3,6	0,6	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3			
	Temp.	26,2	26,2	26,2	26,2	23,5	22,2	20,8	19,4	18,4	17,4	17,6	17,0	16,7	16,6	16,5			
	Déficit	8,28	9,64	8,28	11,68	53,19	92,68	95,58	95,82	95,94	96,33	96,55	96,70	96,72	96,84	96,85			
13/05/2009	OD	7,8	7,5	6,8	5,9	4,6	3,8	2,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7					
	Temp.	23,0	22,7	20,6	19,7	19,3	19,1	18,8	18,4	18,1	17,5	17,3	17,0	16,9					
	Déficit	0,59	4,46	16,83	29,11	45,17	54,89	69,32	91,81	91,86	91,96	91,99	92,04	92,29					
12/08/2009	OD	7,2	7,0	6,9	6,9	6,8	6,6	5,9	5,5	5,5	5,3	5,3	5,0	5,2	5,0	5,0	5,0		
	Temp.	15,6	15,5	15,2	15,1	15,0	15,0	14,5	14,3	14,3	14,0	14,0	14,0	14,0	13,9	13,9	13,9		
	Déficit	20,55	22,92	24,51	24,68	25,93	28,11	36,43	41,00	41,00	43,52	43,52	46,72	44,59	46,84	46,84	46,84		
10/11/2009	OD	7,0	7,0	6,9	7,0	6,6	5,5	3,8	3,8	3,3	3,3	3,0	2,0	1,3	0,6	0,6	0,6		
	Temp.	24,7	23,6	23,3	23,2	19,6	18,7	17,6	16,8	16,3	16,0	15,8	15,6	15,5	15,3	15,2	15,1		
	Déficit	7,44	9,31	11,11	9,99	20,86	35,24	56,26	56,98	63,04	63,27	66,75	77,93	85,69	93,42	93,44	93,45		
04/02/2010	OD	8,0	7,8	7,9	5,7	5,3	4,8	4,6	4,2	3,7	3,8	3,5	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1		
	Temp.	28,5	28,2	23,3	21,8	21,2	21,0	20,8	20,6	20,5	20,3	20,1	19,4	17,8	17,0	16,4	16,1		
	Déficit	0,00	0,00	0,00	28,63	34,41	40,83	43,51	48,63	54,83	53,79	57,61	85,67	87,28	87,49	87,65	87,73		
05/05/2010	OD	7,0	6,8	6,8	6,3	3,0	3,3	2,9	3,8	3,3	3,9	3,2	1,9	1,2	0,3	0,4			
	Temp.	20,8	20,6	19,9	19,5	18,8	18,7	18,6	18,6	18,5	18,4	18,3	18,2	18,1	18,0	17,7			
	Déficit	14,04	16,83	17,97	24,61	64,60	61,14	65,92	55,35	61,30	54,36	62,63	77,86	86,04	96,40	95,96			
09/08/2010	OD	8,8	8,0	7,9	7,4	7,3	7,2	7,3	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	7,1	7,3	7,0	7,3		
	Temp.	14,8	14,8	14,4	14,2	14,1	14,1	14,1	14,1	14,1	13,9	13,7	13,5	13,3	13,3	13,2	13,2		
	Déficit	4,56	13,24	15,07	20,79	22,04	23,10	22,04	26,31	26,31	26,63	26,96	27,28	25,51	23,41	26,72	23,58		
22/11/2010	OD	8,2	8,4	7,9	8,2	6,9	6,1	4,4	0,4	0,0	0,0	0,0							
	Temp.	23,2	23,1	23,0	22,3	20,8	20,2	19,5	18,3	17,0	15,8	15,4							
	Déficit	0,00	0,00	0,00	0,00	15,27	25,98	47,35	95,33	100,0	100,0	100,0							
07/02/2011	OD	7,4	7,3	7,4	6,6	4,3	3,1	1,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
	Temp.	25,9	25,3	25,2	24,1	23,3	22,5	21,9	21,2	20,4	19,6	19,1	18,7	18,5	18,2	17,9	17,6		
	Déficit	0,00	2,41	1,25	13,69	44,60	60,66	82,44	97,52	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0		
26/05/2011	OD	6,9	6,6	6,4	6,3	6,0	5,8	5,0	4,7	4,5	4,4	3,4	3,0	4,2	3,2	3,1	2,9		
	Temp.	18,5	18,4	18,3	18,2	18,2	18,1	18,0	17,9	17,9	17,7	17,5	17,4	17,4	17,3	17,3	17,3		
	Déficit	19,08	22,76	25,25	26,57	30,07	32,54	41,96	45,56	47,87	49,24	60,94	65,61	51,85	63,39	64,54	66,82		
10/08/2011	OD	8,1	8,1	7,6	7,6	6,6	6,6	6,4	6,0	6,0	6,2	6,2	6,0	6,2	6,3	6,5	7,2		
	Temp.	15,4	15,3	15,2	15,0	14,2	14,0	13,9	13,8	13,6	13,5	13,3	13,0	12,9	12,8	12,7	12,7		
	Déficit	11,00	11,19	16,85	17,21	29,36	29,67	31,95	36,34	36,63	34,66	34,95	37,47	35,53	34,64	32,72	25,47		
23/11/2011	OD	6,7	6,6	6,5	6,3	6,0	5,0	3,4	3,1	1,7	1,3	0,6	0,3	0,4					
	Temp.	20,8	20,8	20,6	20,4	19,5	18,7	17,5	17,1	15,9	15,5	15,0	14,8	14,7					
	Déficit	17,73	18,95	20,50	23,24	28,20	41,12	60,94	64,68	81,12	85,69	93,46	96,75	95,78					
01/02/2012	OD	6,8	7,0	6,9	7,1	5,7	2,4	2,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3		
	Temp.	25,9	25,2	24,7	23,6	22,6	21,4	20,8	19,8	18,5	16,3	15,9	15,6	15,4	15,3	15,2	15,1		
	Déficit	8,10	6,59	8,76	8,01	27,53	70,18	72,98	97,59	97,65	96,64	96,67	96,69	96,70	96,71	96,72	96,73		
16/05/2012	OD	5,2	5,2	4,9	4,6	4,8	4,4	4,3	4,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3				
	Temp.	17,2	17,2	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,0	16,8	16,5	16,4	16,1	16,0	15,8				
	Déficit	40,64	40,64	44,18	47,60	45,32	49,87	51,01	52,25	96,60	96,63	96,63	96,65	96,66	96,68				
09/08/2012	OD	8,9	8,8	8,5	8,4	8,0	7,5	7,0	6,3	5,3	5,3	5,5	5,0	4,8	4,9	4,9	4,7		
	Temp.	16,9	16,4	16,3	16,1	14,7	14,6	14,4	14,2	13,9	13,8	13,7	13,6	13,5	13,5	13,4	13,4		
	Déficit	0,00	1,22	4,79	6,31	13,43	19,01	24,74	32,57	43,65	43,77	41,78	47,19	49,41	48,36	48,48	50,58		
08/11/2012	OD	7,6	7,6	7,3	7,0	5,9	2,7	1,3	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3					
	Temp.	22,9	22,8	22,8	22,3	20,5	18,4	17,5	15,9	15,3	15,0	14,8	14,7	14,6					
	Déficit	2,82	3,01	6,84	11,51	27,98	68,40	85,07	94,45	95,61	96,73	96,75	96,75	96,76					
25/02/2013	OD	8,3	8,2	8,1	4,7	3,8	4,3	4,4	4,1	3,3	2,8	2,3	2,4						
	Temp.	25,8	25,7	25,6	23,3	22,7	22,5	22,2	21,9	21,6	21,2	20,7	19,0						
	Déficit	0,00	0,00	0,00	39,45	51,60	45,43	44,48	48,57	58,84	65,35	71,81	71,57						
14/05/2013	OD	7,5	7,0	6,7	4,7	4,1	4,0	3,2	3,7	3,8	3,6	3,3	3,6	4,0					
	Temp.	19,7	19,5	19,3	18,5	18,3	18,2	18,0	17,8	17,3	17,0	16,8	16,7	16,6					
	Déficit	9,89	16,23	20,14	44,88	52,12	53,38	62,86	57,23	56,53	59,07	62,64	59,33	54,91					

Data		Profundidade (m)																	
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
11/08/2014	OD	9,0	9,0	8,9	8,6	8,5	7,3	6,0	5,6	5,4	5,2	5,1	4,9	4,1					
	Temp.	18,4	18,1	16,7	16,5	16,3	16,0	15,7	15,5	15,4	15,3	15,3	15,2	15,2					
	Déficit	0,00	0,00	0,00	3,26	4,79	18,75	33,65	38,34	40,67	42,99	44,08	46,39	55,15					
27/11/2014	OD	11,8	11,8	10,2	4,4	1,3	0,5	0,3	0,2	0,2									
	Temp.	24,4	24,1	23,5	22,2	21,4	20,7	19,8	19,4	18,6									
	Déficit	0,00	0,00	0,00	44,48	83,85	93,87	96,39	97,61	97,65									
25/02/2015	OD	6,7	6,9	6,8	6,7	0,2	0,1	0,3	0,2	1,6	1,0	1,6	0,6	0,8	2,4	0,1	0,0		
	Temp.	24,9	24,7	24,5	24,4	23,2	22,5	22,2	22,0	21,6	21,4	21,3	21,0	20,8	20,8	20,4	20,0		
	Déficit	11,08	8,76	10,42	11,90	97,43	98,73	96,21	97,49	80,04	87,58	80,16	92,60	90,18	70,53	98,78	100,0		
19/05/2015	OD	7,5	7,2	7,1	7,0	6,9	6,7	5,7	5,6	4,9	4,1	3,9	4,3	4,6	5,0	5,0			
	Temp.	18,7	18,8	18,8	18,8	18,8	18,8	18,7	18,7	18,7	18,8	18,4	18,3	18,2	18,2	18,1			
	Déficit	11,69	15,05	16,23	17,41	18,59	20,95	32,88	34,06	42,30	51,62	54,36	49,78	46,39	41,72	41,84			
11/08/2015	OD	10,2	11,7	11,8	7,9	4,2	3,3	2,6	2,8	2,7	2,5	2,5	2,5	2,4	2,2	2,2	1,4		
	Temp.	21,7	20,0	19,4	17,6	16,6	16,4	16,1	16,2	15,8	15,6	15,6	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5		
	Déficit	0,00	0,00	0,00	9,06	52,65	62,96	71,00	68,70	70,08	72,41	72,41	72,47	73,57	75,78	75,78	84,58		
11/11/2015	OD	9,8	10,1	10,1	9,2	4,4	4,2	3,6	2,1	1,6	0,8	0,6	0,4	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
	Temp.	23,5	23,4	22,0	20,2	19,0	18,5	18,3	18,2	18,0	17,8	17,7	17,6	17,0	16,8	16,6	16,5	16,4	16,6
	Déficit	0,00	0,00	0,00	0,00	47,87	50,75	57,96	75,52	81,43	90,75	93,08	95,40	97,73	97,74	97,75	98,88	98,88	98,87
30/03/2016	OD	6,6	6,5	6,0	5,9	5,0	2,9	2,1	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	1,2	1,0	0,8		
	Temp.	23,4	23,2	22,8	22,6	22,5	21,5	21,4	21,3	20,6	19,8	19,0	18,7	18,0	17,9	17,5	17,4		
	Déficit	14,81	16,42	23,43	24,99	36,55	63,90	73,91	80,16	81,65	83,15	84,60	84,69	84,91	86,10	88,51	90,83		
30/05/2016	OD	6,7	6,5	6,4	6,2	5,9	5,7	5,7	5,5	5,5	5,5	5,4	5,4						
	Temp.	16,8	16,8	16,7	16,7	16,5	16,4	16,3	16,3	16,3	16,1	16,1	15,8						
	Déficit	24,15	26,42	27,70	29,96	33,63	36,02	36,15	38,39	38,39	38,65	39,77	40,15						
29/08/2016	OD	10,3	10,4	10,3	8,8	8,2	7,6	7,1	6,6	6,5	6,6								
	Temp.	19,2	18,3	18,0	16,2	15,7	15,4	15,0	14,5	14,1	14,0								
	Déficit	0,00	0,00	0,00	1,64	9,32	16,49	22,66	28,89	30,58	29,67								
29/11/2016	OD	8,1	7,8	7,8	7,8	7,6	5,4	1,0	0,4	0,3	0,3								
	Temp.	21,0	21,1	20,9	20,9	20,8	20,7	20,0	19,4	18,6	17,7								
	Déficit	0,14	3,66	4,03	4,03	6,67	33,82	87,91	95,22	96,47	96,54								
31/01/2017	OD	9,0	8,9	8,7	3,3	0,5	0,3	0,2	0,2	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1				
	Temp.	24,4	24,5	24,4	23,7	23,0	22,5	22,3	22,1	22,0	21,7	21,3	20,7	20,4	19,4				
	Déficit	0,00	0,00	0,00	57,17	93,59	96,19	97,47	97,48	94,97	97,50	98,76	98,77	98,78	98,81				
01/06/2017	OD	9,8	9,5	9,4	10,0	8,6	8,6	8,3	8,2	7,8	7,2	6,9							
	Temp.	16,4	17,4	17,6	17,9	18,0	18,0	18,2	18,1	17,9	17,7	17,6							
	Déficit	0,00	0,00	0,00	0,00	0,41	0,00	3,15	4,51	10,00	16,60	20,91							
09/11/2017	OD	9,4	9,2	8,9	8,7	8,6	8,5	7,9	6,7	5,4	5,2								
	Temp.	21,0	20,8	20,5	20,2	20,2	19,7	19,5	19,1	19,0	18,6								
	Déficit	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,22	20,46	35,67	39,01								