

**Universidade do Extremo Sul Catarinense**  
**Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais**

**Karina de Oliveira Teixeira**

**QUALIDADE AMBIENTAL DA LAGOA DOS ESTEVES, BALNEÁRIO RINCÃO**  
**(SC)**

**Criciúma, SC**

**2022**

**Karina de Oliveira Teixeira**

**QUALIDADE AMBIENTAL DA LAGOA DOS ESTEVES, BALNEÁRIO RINCÃO  
(SC)**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade do Extremo Sul Catarinense para obtenção do Título de Doutora em Ciências Ambientais.

Área de Concentração: Ambientes Naturais

Orientador: Prof. Dr. Jairo José Zocche.

Criciúma, SC

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

T266q Teixeira, Karina de Oliveira.

Qualidade ambiental da Lagoa dos Esteves,  
Balneário Rincão (SC) / Karina de Oliveira  
Teixeira. - 2022.

86 p. : il.

Tese (Doutorado) - Universidade do Extremo  
Sul Catarinense, Programa de Pós-Graduação em  
Ciências Ambientais, Criciúma, 2022.

Orientação: Jairo José Zocche.

1. Lagoas costeiras - Santa Catarina, Região  
Sul. 2. Esteves, Lagoa dos (SC). 3. Qualidade  
ambiental. 4. Avaliação paisagística. 5. Água -  
Qualidade. 6. Recursos hídricos. I. Título.

CDD 23. ed. 551.482

Bibliotecária Eliziane de Lucca Alosilla - CRB 14/1101  
Biblioteca Central Prof. Eurico Back - UNESC

## PARECER

Os membros da Comissão Examinadora homologada pelo Colegiado de Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais reuniram-se para realizar a arguição da Tese de Doutorado apresentada pela candidata **KARINA DE OLIVEIRA TEIXEIRA**, sob o título: “**QUALIDADE AMBIENTAL DA LAGOA DOS ESTEVES, BALNEÁRIO RINCÃO (SC)**”, para obtenção do grau de **DOUTORA EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS** no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC. Após haver analisado o referido trabalho e arguida a candidata, os membros são de parecer pela “**APROVAÇÃO**” da Tese.

Criciúma/SC, 29 de setembro de 2022.



**Profa. Dra. Geovana Dagostim Savi Bortolotto**  
Primeiro Examinador



**Profa. Dra. Fatima Elizabeti Marcomin**  
Segundo Examinador



**Prof. Dr. Elidio Angioletto**  
Terceiro Examinador



**Prof. Dr. Álvaro José Back**  
Quarto Examinador



**Prof. Dr. Jairo José Zocche**  
Presidente e Orientador

Àquele que me guia,  
àquele que me protege,  
àquele que me define, e  
àquele a quem eu amo  
incondicionalmente, dedico.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais, especialmente a minha mãe, por tudo o que ela é e sempre foi. Aos meus irmãos, por estarmos sempre juntos e firmes, independente das circunstâncias. Aos meus amigos, antigos, novos, que moram longe, ou que moram perto, que nos falamos diariamente, ou só de vez em quando, mas que nunca me faltaram. Sem nomes até aqui, não há necessidade, pois o carinho e amor que tenho é sabido por àqueles que o recebem.

Agradeço aos meus professores, que me forneceram os degraus para a minha subida. Em especial, meu orientador Jairo, que coloca seus alunos embaixo da asa e nos leva o mais longe que puder, e nos mostra o caminho e como voar, para então seguirmos, não sozinhos, mas com nossas próprias capacidades.

Agradeço também, com profunda gratidão, aos moradores do Condomínio Vila Suíça II, em especial ao Dr. Renato Matos, que nos procuraram com a demanda e apoiaram financeiramente à realização de algumas análises presentes nesta tese. E agradeço, também, a Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC) por subsidiar, na forma de bolsa de pesquisadora, a minha permanência no curso e na pesquisa.

Agradeço à todos que de alguma forma, qualquer forma, vieram a contribuir para que mais essa etapa da minha vida fosse concluída.

Meus sinceros agradecimentos!

*“We must all face the choice between what is right,  
and what is easy”* - Albus Percival Wulfric Brian  
Dumbledore (ROWLING, 2000).

## RESUMO

A água é o elemento fundamental à vida, sendo seus múltiplos usos indispensáveis às atividades humanas. A preocupação com a escassez de água potável é crescente, já que o aumento exponencial da população traz consigo aumento das ocupações em áreas de mananciais, degradando a qualidade da água pelo despejo de efluentes domésticos e industriais. Regiões litorâneas estão submetidas a intensa ocupação humana, resultando em aumento na pressão sobre os ecossistemas litorâneos. Lagoas são corpos d'água interiores, muitas vezes, sem comunicação direta com o mar, vulneráveis a poluição, cuja recuperação após o impacto é lenta e problemática e, assim sendo, manter suas condições o mais natural possível é imprescindível à conservação. A avaliação da qualidade ambiental tornou-se um desafio, já que majoritariamente os métodos avaliam a qualidade dos diversos compartimentos isoladamente. A lagoa dos Esteves localizada no município de Balneário Rincão, no sul de Santa Catarina encontra-se pressionada por ações antrópicas relacionadas ao seu uso direto e ao uso da terra em seu entorno imediato, os quais, cresceram muito nos últimos anos. Frente a esta situação surgiu o questionamento que orienta a presente pesquisa: qual é a qualidade ambiental atual da lagoa dos Esteves? A análise foi realizada em escala de paisagem e da lagoa propriamente dita. Na análise da paisagem foi mapeado o uso e cobertura da terra na área de Preservação Permanente (APP) da lagoa, definida em 100 metros. A qualidade da água e do sedimento foi avaliada em cinco pontos de coleta, com quatro repetições cada, em campanhas de inverno e verão nos anos 2019 e 2020. Foram analisados o NMP/UFC de coliformes, DBO e DQO na água, detecção de óleos e graxas, óleos minerais, óleos vegetais e gorduras animais, SVOC, organofosforados, organoclorados, carbamatos e finalmente a ecotoxicidade da água. A classificação da qualidade ambiental da lagoa foi avaliada de forma integralizada utilizando-se a Matriz de Leopold e o programa *Random Forest*. Na análise da paisagem foram identificadas seis classes de uso e cobertura da terra: Restinga arbórea (39,33%), Antrópico (31,46%), Pastagem (15,73%), Restinga herbácea arbustiva (7,87%), Agroecossistemas (4,49%) e, Duna exposta (1,12%). Em relação ao conteúdo de coliformes totais foram detectados valores de 1,79 a 790 NMP/UFC/100mL na água e 0,3 a 930 NMP/UFC/100mL no sedimento. A DBO variou de 0,9 a 5 mg/LO<sub>2</sub>, a DQO variou de 19,9 a 114 mg/LO<sub>2</sub>; os óleos e graxas variaram de 0,9 a 9 mg/L na água, enquanto, de 99,9 a 1792 mg/L, no sedimento. A análise de óleos minerais na água evidenciou valores de 0,9 a 9 mg/L e no sedimento de 99,9 a 1063 mg/L; enquanto os conteúdos de óleos vegetais e gorduras animais na água variaram de 0,9 a 8 mg/L e; no sedimento, de 99,9 a 1593 mg/L. A análise de ecotoxicidade evidenciou resultados não tóxicos. A integração das variáveis ambientais analisadas resultou na classificação da qualidade ambiental da lagoa como Ruim, como resultado da ocupação antrópica desordenada da área de APP da lagoa, que tem crescido nos últimos tempos. Os principais impactos observados resultam de poluentes oriundos do uso recreacional, esgotamento sanitário e, do uso de embarcações motorizadas. Ações para mitigação dos danos já causados são necessárias, uma vez que a expansão urbana em áreas de APP leva ao aumento da carga de poluentes nos corpos hídricos prejudicando os serviços ecossistêmicos. Ações disciplinadoras quanto ao uso de embarcações motorizadas e a implementação de formas eficientes para o tratamento dos esgotos domésticos no entorno da lagoa dos Esteves são urgentes, assim como o é, a fiscalização efetiva pelo poder público a fim de coibir o avanço dos usos conflitantes sobre a faixa de APP da lagoa.

**Palavras-chave:** Zona costeira; Paisagem; Recursos hídricos; *Random Forest*; Matriz de Leopold.

## ABSTRACT

Water is a fundamental element for life, and its multiple uses are indispensable to human activities. Concern about the scarcity of drinking water is growing, since the exponential population growth results in increased occupations of springs areas, decreasing the water quality, through the dumping of domestic and industrial effluents. Coastal regions are subject to intense human occupation, resulting in increased pressure on coastal ecosystems. Lagoons are inland water bodies, often without direct communication with the sea, vulnerable to pollution, whose recovery after impact is slow and problematic and, therefore, maintaining their conditions as natural as possible is essential for nature conservation. The assessment of environmental quality has become a challenge, since most methods assess the quality of the compartments throughout fragmented analysis. The lagoa dos Esteves is in the municipality of Balneário Rincão, south of Santa Catarina, Brazil and is pressured by human actions related to its direct use and the land use in its immediate surroundings, which have grown a lot in recent years. Faced with this situation, the question that guides this research arose: what is the current environmental quality of lagoa dos Esteves? The analysis was performed at the landscape scale and lagoon scale. In the landscape analysis, the use and land cover in the Permanent Preservation (APP in Portuguese) of the lagoon, defined in 100 meters, was mapped. Water and sediment quality were evaluated at five sampling points, with four repetition each, in 2019 and 2020 winter and summer campaigns. The NMP/CFU contents of coliforms, BOD and COD in water, detection of oils was analyzed and greases, mineral oils, vegetable oils and animal fats, SVOC, organophosphates, organochlorines and carbamates were analyzed, and finally the ecotoxicity of water. The environmental quality classification of lagoon was performed in an integrated way using the Leopold Matrix and the Random Forest. Six classes of land use and land cover were identified: Arboreal Restinga (39.33%), Anthropic (31.46%), Pasture (15.73%), Shrubby-Herbaceous Restinga (7.87%), Agroecosystems (4.49%) and Exposed Dune (1.12%). The total coliforms content values of 1.79 to 790 NMP/CFU/100mL were detected in the water and 0.3 to 930 NMP/CFU/100mL in the sediment. BOD ranged from 0.9 to 5mg/LO<sub>2</sub>, COD ranged from 19.9 to 114 mg/LO<sub>2</sub>; the oils and greases in the water ranged from 0.9 to 9 mg/L, while in the sediment from 99.9 to 1792 mg/L. The analysis of mineral oils in the water showed values from 0.90 to 9 mg/L and in the sediment from 99.9 to 1063 mg/L; while the contents of vegetable oils and animal fats in the water ranged from 0.90 to 8 mg/L and in the sediment, from 99.9 to 1593 mg/L. The ecotoxicity analysis showed non-toxic results. The integrated analysis of environmental conditions resulted in the classification of the lagoon's environmental quality as Bad, resulting from the disordered human occupation of the lagoon's APP area, which has grown in recent times. The main impacts observed result from pollutants originated from recreational use, sanitary sewage and from the use of motorized vessels. Actions to mitigate the damage already caused are necessary, since urban expansion in APP areas leads to an increase in the load of pollutants in water bodies, harming ecosystem services. Disciplinary actions regarding the use of motorized vessels and the implementation of efficient ways for the treatment of domestic sewage in the surroundings of the lagoa dos Esteves are urgent, as well as the effective supervision by the public authorities to prevent the advance of conflicting uses along of water bodies APP range.

**Keywords:** Coastal zone; Landscape; Water resources; Random Forest; Leopold's Matrix.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Exemplar de <i>Daphnia magna</i> .....	24
Figura 2 – Imagem evidenciando o uso recreacional de contato primário na lagoa dos Esteves, município de Balneário Rincão, sul de Santa Catarina. ....	26
Figura 3 - Localização da lagoa dos Esteves, município de Balneário Rincão, sul de Santa Catarina.....	28
Figura 4 – Fotografia aérea da lagoa dos Esteves datada de 1957. ....	30
Figura 5 – Localização dos pontos de coleta de água e sedimento na lagoa dos Esteves, município de Balneário Rincão, sul de Santa Catarina. ....	32
Quadro 1 – Parâmetros analisados nas amostras de água e sedimento da lagoa dos Esteves, município de Balneário Rincão, sul de Santa Catarina. ....	33
Figura 6 – Representação simplificada do método de <i>Random Forest</i> . ....	39
Quadro 2 – Matriz de Leopold adaptada para pontuações por análises da qualidade da lagoa dos Esteves, Balneário Rincão, sul de Santa Catarina. ....	41
Figura 7 – Mapa de uso da terra na área de preservação permanente da lagoa dos Esteves, município de Balneário Rincão, sul de Santa Catarina, no ano de 2021.....	42
Figura 8 – Boxplots das análises de coliformes tolerantes na água da lagoa dos Esteves, município de Balneário Rincão, sul de Santa Catarina. ....	45
Figura 9 - Boxplots das análises de coliformes tolerantes no sedimento da lagoa dos Esteves, município de Balneário Rincão, sul de Santa Catarina. ....	46
Figura 10 - Boxplots das análises de Demanda Bioquímica de Oxigênio na água da lagoa dos Esteves, município de Balneário Rincão, sul de Santa Catarina. ....	48
Figura 11 - Boxplots das análises de Demanda Química de Oxigênio na água da lagoa dos Esteves, município de Balneário Rincão, sul de Santa Catarina. ....	49
Figura 12 - Boxplots das análises de Óleos e Graxas em água da lagoa dos Esteves, município de Balneário Rincão, sul de Santa Catarina.....	51
Figura 13 - Boxplots das análises de Óleos e Graxas em sedimento da lagoa dos Esteves, município de Balneário Rincão, sul de Santa Catarina. ....	53
Figura 14 - Boxplots das análises de Óleos Minerais (Hidrocarbonetos) em água da lagoa dos Esteves, município de Balneário Rincão, sul de Santa Catarina. ....	55
Figura 15 - Boxplots das análises de Óleos Minerais (Hidrocarbonetos) em sedimento da lagoa dos Esteves, município de Balneário Rincão, sul de Santa Catarina.....	56

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES (CONTINUAÇÃO)

Figura 16 - Boxplots das análises de Óleos Vegetais e Gorduras Animais em água da lagoa dos Esteves, município de Balneário Rincão, sul de Santa Catarina. ....	59
Figura 17 - Boxplots das análises de Óleos Vegetais e Gorduras Animais em sedimento da lagoa dos Esteves, município de Balneário Rincão, sul de Santa Catarina.....	60
Figura 18 – Método de Escalonamento Multidimensional (MDS) para representar as similaridades entre os pontos analisados para definição da qualidade ambiental da lagoa dos Esteves, Balneário Rincão, sul de Santa Catarina. ....	66
Figura 19 – Análise dos Componentes Principais (PCA) aplicada aos pontos analisados para definição da qualidade ambiental da lagoa dos Esteves, Balneário Rincão, sul de Santa Catarina. ....	67

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classes de uso e cobertura da terra no entorno imediato da lagoa dos Esteves, Balneário Rincão, sul de Santa Catarina, no ano de 2021.....	43
Tabela 2 – Compostos Orgânicos Semi Voláteis ( $\mu\text{L}$ ) em água e sedimento da lagoa dos Esteves, Balneário Rincão, sul de Santa Catarina. ....	61
Tabela 3 – Organofosforados ( $\mu\text{L}$ ) em água e sedimento da lagoa dos Esteves, Balneário Rincão, sul de Santa Catarina. ....	61
Tabela 4 – Organoclorados e carbamatos ( $\mu\text{L}$ ) em água e sedimento da lagoa dos Esteves, Balneário Rincão, sul de Santa Catarina. ....	62
Tabela 5 – Ecotoxicidade em <i>Daphnia magna</i> da água da lagoa dos Esteves, Balneário Rincão, sul de Santa Catarina. ....	63
Tabela 6 – Valores da Matriz de Leopold, adaptada, para cada ponto e análise para a integração com o <i>Random Forest</i> . ....	64
Tabela 7 – Matriz de Confusão <i>Random Forest</i> para dados coletados na lagoa dos Esteves, Balneário Rincão, sul de Santa Catarina. ....	65
Tabela 8 – Importância dos componentes principais de cada eixo.....	67

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

APP – Área de Preservação Permanente.

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio.

DQO – Demanda Química de Oxigênio.

MDS – Método de Escalonamento Multidimensional.

NMP – Número Mais Provável.

OD -Oxigênio Dissolvido.

OVGA – Óleos Vegetais e Gorduras Animais.

PCA – Análise de Componentes Principais.

SIG – Sistema de Informação Geográfica.

SVOC – Compostos Orgânicos Semi Voláteis.

UFC – Unidades Formadoras de Colônias.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	15
1.1 OBJETIVOS .....	19
<b>1.1.1 Objetivo Geral</b> .....	<b>19</b>
<b>1.1.2 Objetivos Específicos</b> .....	<b>19</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	20
2.1 ANÁLISE DA PAISAGEM .....	20
2.2 QUALIDADE DA ÁGUA E DO SEDIMENTO .....	21
2.3 ECOTOXICIDADE .....	23
2.4 CLASSIFICAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL .....	24
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	28
3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	28
3.2 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	28
<b>3.2.1 Clima</b> .....	<b>28</b>
<b>3.2.2 Geologia e Geomorfologia</b> .....	<b>29</b>
<b>3.2.3 Hidrografia</b> .....	<b>29</b>
<b>3.2.4 Cobertura Vegetal</b> .....	<b>29</b>
<b>3.2.5 Ocupação – Uso da terra no entorno da lagoa dos Esteves</b> .....	<b>30</b>
3.3 PROCEDIMENTOS PARA COLETAS E ANÁLISES .....	31
<b>3.3.1 Análise da paisagem</b> .....	<b>31</b>
3.4 QUALIDADE DA ÁGUA E DO SEDIMENTO .....	32
<b>3.4.1 Coliformes Termotolerantes</b> .....	<b>34</b>
<b>3.4.2 Compostos Orgânicos Semi Voláteis (SVOC)</b> .....	<b>34</b>
<b>3.4.3 Organofosforados, Organoclorados e Carbamatos</b> .....	<b>35</b>
<b>3.4.4 Óleos e Graxas, Óleos Minerais e Óleos Vegetais e Gordura Animal</b> .....	<b>35</b>
<b>3.4.5 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)</b> .....	<b>36</b>
<b>3.4.6 Demanda Química de Oxigênio (DQO)</b> .....	<b>36</b>
<b>3.4.7 Análise dos Dados</b> .....	<b>37</b>
3.5 ECOTOXICIDADE .....	37
<b>3.5.1 Análise dos Dados</b> .....	<b>38</b>
3.6 CLASSIFICAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL .....	38
<b>4 RESULTADOS</b> .....	42

4.1 ANÁLISE DA PAISAGEM.....	42
4.2 QUALIDADE DA ÁGUA E DO SEDIMENTO .....	43
<b>4.2.1 Coliformes Termotolerantes .....</b>	<b>43</b>
<b>4.2.2 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) .....</b>	<b>47</b>
<b>4.2.3 Demanda Química de Oxigênio (DQO) .....</b>	<b>47</b>
<b>4.2.4 Óleos e Graxas .....</b>	<b>50</b>
<b>4.2.5 Óleos Minerais (Hidrocarbonetos).....</b>	<b>54</b>
<b>4.2.6 Óleos Vegetais e Gorduras Animais .....</b>	<b>57</b>
<b>4.2.7 Compostos Orgânicos Semi Voláteis (SVOC), Organofosforados, Organoclorados e Carbamatos .....</b>	<b>61</b>
4.3 ECOTOXICIDADE .....	62
4.4 CLASSIFICAÇÃO AMBIENTAL .....	63
<b>5 DISCUSSÕES .....</b>	<b>68</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>77</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>78</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A água é o elemento fundamental à vida, sendo que seus múltiplos usos são indispensáveis a um amplo espectro de atividades humanas, destacando-se o abastecimento público e industrial, a irrigação agrícola, a produção de energia elétrica e as atividades de lazer e recreação (ALVES et al., 2008). Durante séculos a água potável foi considerada um bem infinito, no entanto, atualmente sua possível escassez tornou-se uma preocupação mundial, sendo vista como um recurso natural de valor econômico e social, essencial à existência dos seres vivos e à manutenção dos ecossistemas (FRANÇA; MELLONI, 2014). Quanto a disponibilidade de recursos hídricos, o Brasil possui uma posição privilegiada, uma vez que aproximadamente 12% da água doce do planeta está em território brasileiro, no entanto, a maior parte dos recursos hídricos brasileiros sofre algum tipo de pressão antrópica (ANA, 2007).

A preocupação com a escassez de água potável é crescente nas últimas décadas, já que o aumento exponencial da população tem trazido consigo aumento das ocupações irregulares em áreas de mananciais, provocando a degradação da qualidade da água gerada pelo despejo de efluentes domésticos e industriais nos cursos hídricos (RIBEIRO et al., 2009; SILVA et al., 2008; TERRA et al., 2008). Conforme a demanda pelos múltiplos usos da água cresce, cresce também a quantidade de efluentes produzidos e o despejo indiscriminado desses efluentes tem resultado na degradação da qualidade das águas em todo o mundo (FRIES et al., 2016; K'OREJE et al., 2016; LLORCA et al., 2017; VALDÉS et al., 2016).

Em suma, os despejos de resíduos levam ao enriquecimento de nutrientes nos corpos d'água desencadeando um conjunto de alterações químicas e biológicas (FERNANDES, 1999). Tais alterações provocam a eutrofização, cujos efeitos são o crescimento excessivo de plantas aquáticas superiores, o aparecimento também excessivo de microalgas e a formação de tapetes (*bloom*), que por vezes podem ser tóxicos, culminando na desoxigenação da água devido a decomposição das florescências e da produção de algumas substâncias como o ácido sulfúrico, que resulta em mau cheiro e na morte da fauna do meio aquático (JORGENSEN; VOLLENWEIDER, 2000a).

De um modo geral, as regiões litorâneas estão submetidas a intensa ocupação humana, aumentando a pressão sobre os ecossistemas litorâneos e os recursos hídricos (PROCOP, 2001), o que as torna cada vez mais suscetíveis às ações antrópicas, principalmente nos meses de dezembro a março, devido ao turismo de segunda moradia (BAUCKE; ZAMBÃO; SERBENT,

2016). As diversas ações antrópicas de caráter prejudicial ao meio ambiente abrangem a supressão da vegetação e da fauna litorânea, o acúmulo de resíduos sólidos e o escoamento de águas residuais domésticas que na maioria dos casos apresentam apenas tratamento individual, quando o possuem (ALVES et al., 2008; BAUCKE; ZAMBÃO; SERBENT, 2016).

Na planície costeira do sul do Brasil, no espaço compreendido entre o Cabo de Santa Marta em Jaguaruna, SC e o Arroio Chuí no extremo sul do Rio Grande do Sul, a partir da quarta e última Transgressão Marinha, datada de 5000 A.P., ocorreu o alargamento das restingas arenosas e a formação do rosário de lagoas costeiras (TOMAZELLI; VILLWOCK, 2005; MENEGAT et al., 2006). Neste espaço, a presença de corpos d'água e a proximidade com o mar fez com que nos últimos anos ocorresse acentuado crescimento de aglomerados populacionais de segunda moradia, assim como, crescimento de balneários, campings e condomínios fechados (FARIAS; LADWIG; MENEZES, 2017).

Cerca de 40 % da população catarinense reside na Zona Costeira, levando a diversas situações de conflitos quanto ao uso dos recursos naturais, provocadas pelo uso das terras de forma desordenada (IBGE, 2013; FARIAS, 2016; ANA, 2007). Considerando que a ocupação se deu em grande parte de forma não planejada, as tendências dos panoramas futuros são preocupantes para os ambientes costeiros do ponto de vista ecossistêmico (SANTA CATARINA, 2006; FARIAS, 2016). A região costeira do sul de Santa Catarina, vem experimentando, desde as últimas décadas do século passado, mudanças drásticas no entorno de suas lagoas (FREITAS; BELTRAME, 2012). A transformação de ambientes típicos de Restinga em ambientes rurais de pastagem e agricultura, seguido pelo plantio crescente de espécies exóticas como *Eucaliptus* spp. e *Pinus* spp., extração de areia para a construção civil, crescimento de condomínios e expansão dos aglomerados urbanos no sentido orla costeira para as lagoas é um fato real (BRASIL, 2005; ANDRADE; SCHERER, 2014).

As lagoas são corpos d'água interiores, muitas vezes, sem comunicação direta com o mar, mas que constituem interfaces entre as zonas costeiras, as águas interiores e as águas marinhas (ESTEVES, 1998). São sistemas abertos que permutam energia e massa com o meio ambiente, tornando sua condição fortemente dependente de variáveis externas (JORGENSEN; VOLLENWEIDER, 2000b). Devido ao fato de as lagoas possuírem características físicas e químicas únicas, deve-se ter muito cuidado ao introduzir nelas produtos que possam ser tóxicos, pois, estes podem permanecer retidos em suas águas e sedimentos por mais tempo do que acontece em outros corpos hídricos, onde as águas são correntes (MATSUI, 2002). São ambientes muito vulneráveis aos processos de poluição, estando expostas aos impactos

causados pelas atividades antrópicas (DE LACERDA, 1994) que podem gerar conflitos, como a descarga de esgotos e o seu uso recreacional (JORGENSEN; VOLLENWEIDER, 2000b). A recuperação destes ambientes após o impacto é lenta e problemática, reforçando a necessidade do conhecimento e da preservação de lagoas (HENNEMANN, 2010). Conservar estes ambientes significa manter suas condições o mais natural possível, garantindo seus múltiplos usos (ESTEVES, 1998), assim como a manutenção dos serviços ecossistêmicos. Para o uso recreacional das águas há necessidade do cumprimento de requisitos específicos de qualidade (LOPES; MAGALHÃES; VON-SPERLING, 2013).

Considerando que a contaminação das lagoas e praias pode gerar inúmeros problemas sociais e econômicos, o monitoramento das águas adquire maior relevância (BAUCKE; ZAMBÃO; SERBENT, 2016). Pesquisas sobre o metabolismo dos ecossistemas aquáticos continentais possibilitam o conhecimento da estrutura e do funcionamento dos mesmos, baseado em investigações sistemáticas das variáveis ambientais presentes, o que viabiliza o seu manejo (ESTEVES, 1998; OVERBECK, 2000). O estudo dos parâmetros físicos, químicos e biológicos podem revelar a importância das estruturas, vindo a auxiliar na compreensão das funções dos ecossistemas aquáticos (HENNEMANN, 2010; OVERBECK, 2000).

A avaliação espaço-temporal da paisagem é uma necessidade premente, assim como o é, a avaliação da qualidade dos corpos hídricos e seu entorno imediato. A análise da qualidade ambiental das lagoas em escala de paisagem, por meio de geotecnologias, assim como em escala local, por meio de análises físico-químicas e ecotoxicológicas da água e do sedimento, se faz de grande importância para a caracterização, manejo e, se necessário futura mitigação dos impactos antrópicos (DECKER et al., 2018). Neste sentido, o uso de geotecnologias para avaliação da paisagem com base na análise do uso e cobertura da terra, apoiada em dados de qualidade física, química e ecotoxicológica da água e do sedimento, podem auxiliar no entendimento das mudanças espaço-temporais e na proposição de gerenciamento destes espaços territoriais, que ao mesmo tempo abrigam importante patrimônio socioambiental, que é a água de boa qualidade e a biodiversidade, representam espaços extremamente frágeis em razão do uso desordenado (COUTO; FONSECA, 2019; LIBÂNIO; CHERNICHARO; NASCIMENTO, 2005).

A avaliação da qualidade ambiental se tornou um grande desafio, uma vez que na maior parte das vezes os métodos de análise utilizados avaliam a qualidade dos diversos compartimentos de forma isolada, sem considerar fato primordial que é a integração dos dados (TUCCI; MENDES, 2006; DIAS; GOMES; ALKMIM, 2011; ANA, 2012; CETESB, 2020).

De outro modo, o uso de metodologias integradoras tem crescido muito nas últimas décadas, sobretudo com o acesso e às geotecnologias e a popularização do seu uso (ZOCCHÉ et al., 2012; OLIVO et al., 2021). Metodologias de *machine learning* como o *Random Forest* permitem a integração de dados, sejam estes quantitativos ou qualitativos, em diversos tipos de análises (BREIMAN, 2001; SMOLA; VISHWANATHAN, 2008).

A lagoa dos Esteves, objeto do presente estudo, está localizada no município de Balneário Rincão, SC, tendo recebido este nome devido a lagoa que a denomina e às terras do seu entorno pertencerem, à época dos primeiros moradores, à família Estevão (MELLO, 2022). Até a década de 1980 a população presente no entorno da lagoa dos Esteves era pouco densa e a sua ocupação era caracterizada pela presença de propriedades rurais. A partir da instalação do Condomínio Vila Suíça, que representa o maior núcleo populacional do entorno da lagoa, a população residente aumentou significativamente. De acordo com informações da administração do Condomínio, o mesmo é composto por 700 lotes, dos quais em 506 há casas construídas (72,28%).

As ações antrópicas relacionadas ao uso direto e as mudanças na paisagem da lagoa dos Esteves cresceram muito nos últimos anos. Houve a introdução de peixes de espécies não nativas, aumento no número de casas e construções, surgimento de marinas, *campings* e condomínios fechados, incremento no número de chácaras, redução das áreas de vegetação nativa no entorno da lagoa e aumento no número e na intensidade de utilização de embarcações motorizadas, que representam o risco iminente de vazamentos de produtos químicos, como óleos minerais. A partir de tais mudanças e da velocidade que estas vem ocorrendo surgem conflitos relacionados ao uso de um recurso público que é a lagoa e sua Área de Preservação Permanente (APP), a qual é definida pela Lei 12651 de 25 de maio de 2012, como sendo de 100 m (BRASIL, 2012).

Baseados na hipótese de que frente aos avanços das atividades antrópicas sobre a lagoa e sua Área de Preservação Permanente os conflitos que daí emergem, representados pelo uso residencial e recreacional resulta em impactos negativos para a lagoa, surgiu o questionamento que norteia a presente pesquisa: qual é a qualidade ambiental atual da lagoa dos Esteves?

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Classificar a qualidade ambiental da lagoa dos Esteves, Balneário Rincão, sul de Santa Catarina e seu entorno imediato, com vistas ao uso racional, manejo e proteção ambiental do corpo hídrico.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Mapear o uso e cobertura da terra do entorno imediato da lagoa dos Esteves e identificar os usos conflitantes com a legislação;
- Avaliar a qualidade da água e do sedimento da lagoa dos Esteves;
- Avaliar a ecotoxicidade da lagoa dos Esteves;
- Avaliar de forma integrada e classificar a lagoa dos Esteves, quanto à qualidade ambiental.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 ANÁLISE DA PAISAGEM

Na atualidade, o acelerado processo de desenvolvimento das sociedades humanas tem causado diversas modificações na superfície terrestre, exigindo a elucidação de forma sistemática das alterações provocadas pela interferência antrópica sobre o ambiente (LEITE; ROSA, 2012). As ações antrópicas sem o planejamento racional dos usos dos recursos naturais contribuíram para o agravamento dos impactos ambientais (OLIVEIRA et al., 2019). Conhecer as formas do uso da terra e realizar o seu monitoramento se torna fundamental para a avaliação das potencialidades futuras e dos impactos produzidos por estes usos, logo, deve-se avaliar para planejar de forma contínua, propondo o uso racional dos recursos naturais (ANA, 2007; OLIVEIRA et al., 2019).

As análises das mudanças no uso e cobertura da terra são práticas fundamentais para o planejamento territorial e ambiental da dinâmica da paisagem (COUTO; FONSECA, 2019). Permitem retratar as atividades humanas, conectando elementos físicos e bióticos aos sociais, demonstrando a relação da sociedade com seu ambiente de convívio e identificar possíveis conflitos (SANTOS, 2004; BRANCO-FILHO; BASSO, 2005). Os conflitos de uso são entendidos como uma contradição existente entre as legislações vigentes em determinada região geográfica e a forma como o uso humano ocorre nessa região, muitas vezes se opondo à essas leis estabelecidas pelo poder público (BRANCO-FILHO; BASSO, 2005). Utilizando-se de geotecnologias é possível averiguar as alterações do uso e cobertura da terra de uma determinada área ao longo do tempo (KAWAKUBO et al., 2005).

Dentre as ferramentas mais utilizadas em pesquisas voltadas à análise da dinâmica do uso e cobertura da terra, pode-se citar o Sensoriamento Remoto, devido ao seu produto mais conhecido, as imagens orbitais e suborbitais (OLIVEIRA et al., 2019). O Sensoriamento Remoto é a utilização de sensores para aquisição de informações sobre objetos ou fenômenos sem que haja contato direto entre eles (INPE, 2019). As imagens fornecidas por fotografias aéreas e as imagens orbitais podem demonstrar os ambientes e a sua transformação, evidenciando fenômenos naturais e os seus impactos além dos impactos causados pela intervenção antrópica por meio do uso da terra (FLORENZANO, 2002).

Uso e cobertura da terra podem ser sintetizados através de mapas temáticos que indicam a distribuição espacial da tipologia da ação antrópica, a qual pode ser identificada pelos

seus padrões homogêneos característicos na superfície terrestre através de análise em imagens remotamente sensoriadas (LEITE; ROSA, 2012). Este processo acontece de modo que as formas de uso e cobertura da terra sejam identificadas (tipos de uso), especializadas (mapas de uso), caracterizadas (intensidade de uso) e quantificadas (percentual da área ocupada) (SANTOS, 2004).

As tecnologias de geoprocessamento são instrumentos eficazes por apresentarem alto grau de precisão, serem confiáveis e por possuírem alta velocidade na geração de dados referentes às avaliações ambientais, permitindo assim, a modelagem da realidade, viabilizando o manejo de um amplo volume de dados, o seu tratamento e a rápida disponibilização de uma ampla gama de informações (ZAIDAN et al., 2004). Dentre os vários sistemas que compõem o geoprocessamento o que reúne maior capacidade de processamento e análise de dados espaciais é o Sistema de Informações Geográficas (SIG) (PIROLI, 2010).

Os SIGs são sistemas de informações que trabalham com dados referenciados a coordenadas espaciais, são normalmente constituídos por programas e processos de análise, que relacionam uma informação de interesse com sua localização espacial (CÂMARA; ORTIZ, 2002). Estes aplicativos permitem o manuseio de dados geograficamente referenciados e seus respectivos atributos e a integração desses dados em diversas operações de análise geográfica (PIROLI, 2010). Seu uso tem crescido nos últimos tempos, consolidando-se como ferramenta eficaz na avaliação da qualidade ambiental, no gerenciamento de conflitos e no manejo, conservação e gerenciamento do território (LADWIG et al., 2021).

## 2.2 QUALIDADE DA ÁGUA E DO SEDIMENTO

As interferências antrópicas nos corpos d'água, quer de uma forma concentrada, como na geração de despejos domésticos ou industriais, quer de uma forma dispersa, como na aplicação de defensivos agrícolas no solo, contribuem para a introdução de compostos tanto orgânicos como inorgânicos na água, afetando a sua qualidade (ALVES et al., 2008). A qualidade da água e do sedimento de um corpo receptor refletem as condições ambientais de sua área de contribuição, além do seu entorno imediato, logo, conhecer as características de qualidade da água e do sedimento amplia o conhecimento ecológico dos ecossistemas associados a bacia de contribuição e possibilita detectar alterações provenientes das atividades humana (CARMO; ABESSA; NETO, 2011; SOUZA; GASTALDINI, 2014).

Os sedimentos podem ser reconhecidos como os maiores repositórios de poluentes no ambiente aquático, isso ocorre mesmo quando as concentrações na água são baixas (CARMO; ABESSA; NETO, 2011). A crescente contaminação dos corpos hídricos, causada por diversas fontes, compromete o seu uso nos seus diversos fins, sendo que cada uma das fontes de poluição possui características próprias quanto aos poluentes presentes (VASCO et al., 2011). Segundo o autor supracitado a poluição das águas por efluentes domésticos e industriais é uma das maiores causas da redução na qualidade da água, aumentando os custos de tratamento para consumo humano.

A contaminação das águas naturais por efluentes domésticos representa um dos principais riscos à saúde pública, sendo amplamente conhecida a estreita relação entre a qualidade de água e inúmeras enfermidades que acometem as populações (LIBÂNIO; CHERNICHARO; NASCIMENTO, 2005). A queda na qualidade das águas de recreação traz alto risco à saúde dos usuários uma vez que esta pode ser responsável pela veiculação de diversas doenças, tais como gastroenterites, cólera, conjuntivites e dermatites (CASTRO et al., 2007; FRANÇA; MELLONI, 2014). A água serve de veículo para a transmissão de uma variedade de doenças causadas por microrganismos patogênicos e a microbiologia sanitária trata do controle desse problema tendo como foco particularmente as enfermidades decorrentes da contaminação fecal (CASTRO et al., 2007).

A detecção dos agentes patogênicos, principalmente bactérias, protozoários e vírus, em uma amostra de água é muito difícil em razão de suas baixas concentrações (CASTRO et al., 2007). Portanto, a determinação de que um corpo d'água é portador de agentes causadores de doenças pode ser feita de forma indireta, através dos organismos indicadores de contaminação fecal do grupo dos coliformes, que estão presentes em grande quantidade nas fezes de animais homeotérmicos (FRANCO; LANDGRAF, 2008). A presença de coliformes na água não apresenta, por si só, um perigo à saúde humana, mas indica a possível presença de outros organismos patogênicos (CASTRO et al., 2007).

Estudos relacionados a troca de elementos químicos dissolvidos entre o sedimento e a coluna d'água demonstram a importância que a análise dos sedimentos possui na avaliação da qualidade de um corpo hídrico (USEPA, 2005). A contaminação dos sedimentos ocorre por vários mecanismos como a floculação e a precipitação direta e, a contaminação dos sedimentos tem sido utilizada como um importante indicador ambiental de poluição, onde se pode traçar, mapear e monitorar as fontes humanas de poluição ou até mesmo os processos geoquímicos naturais (HORTELLANI et al., 2005). Uma vez depositados nos sedimentos, os contaminantes

presentes no corpo hídrico podem sofrer modificações químicas e se tornarem biodisponíveis (SARAIVA et al., 2009). Não há atualmente legislação nacional ou estadual específica delimitando os níveis de contaminação toleráveis e os padrões sanitários de qualidade na avaliação dos sedimentos.

Os níveis de contaminação toleráveis e os padrões sanitários de qualidade da água são estabelecidos em função do uso pretendido de acordo com as resoluções CONAMA 274/2000 e 357/2005 (CONAMA, 2000; 2005). Apesar de que de acordo com esta mesma legislação o sedimento seja analisado apenas quando não se é possível analisar a água diretamente, considera-se que a avaliação e o monitoramento da água e do sedimento são fundamentais para acompanhar o comportamento dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos, além de fornecer subsídios para avaliar as condições do corpo hídrico e contribuir com informações para a tomada de decisões no gerenciamento dos recursos hídricos (VASCO et al., 2011).

### 2.3 ECOTOXICIDADE

Juntamente com o crescimento populacional ocorre o aumento na utilização de compostos químicos, em diversas atividades antrópicas, mas principalmente e em larga escala, nas atividades agrícolas, logo surge a preocupação sobre quais os impactos que esses compostos e seus resíduos podem causar ao ambiente e aos humanos (BEASLEY; LEVENGOOD, 2012). Os ambientes aquáticos se apresentam como sistemas altamente vulneráveis à poluição, por possuir uma cadeia alimentar bem definida, o que leva a um aumento na tendência de bioacumulação de contaminantes (ERICKSON et al., 2008).

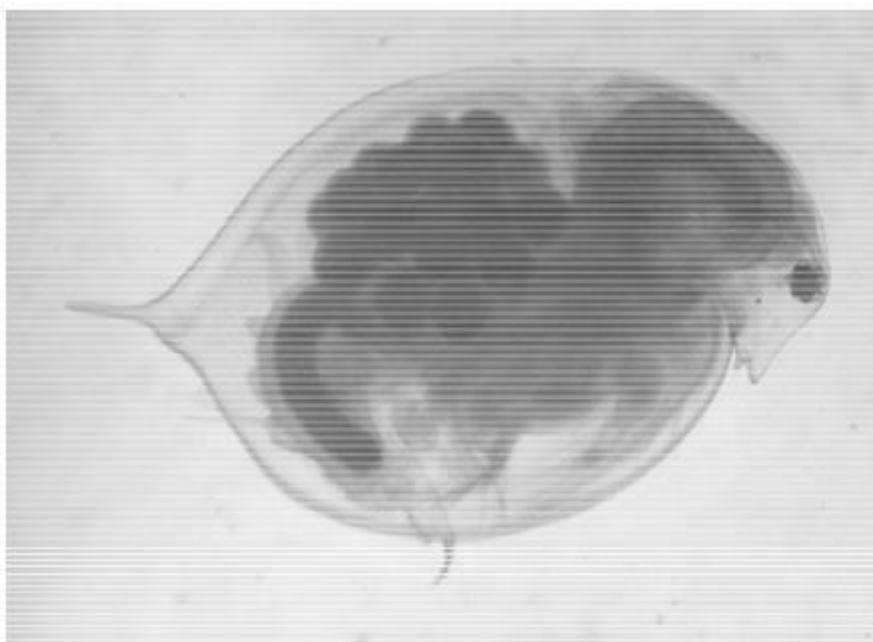
Os ambientes aquáticos acabam sendo o principal receptor dos resíduos domésticos e industriais e agroindustriais, além da importância ecológica e econômica, a contaminação de ecossistemas aquáticos continentais tornou-se uma grande preocupação para os estudos de ecotoxicologia (BEASLEY; LEVENGOOD, 2012; WALKER et al., 2012). Os contaminantes aos quais os ambientes aquáticos estão submetidos irão variar de acordo com as operações existentes em cada região, logo, os ensaios ecotoxicológicos se tornam uma ferramenta importante para análise do risco ambiental de determinadas substâncias e no monitoramento dos ecossistemas (ERICKSON et al., 2008).

A ecotoxicologia é atualmente conceituada como a ciência que estuda os efeitos deletérios não-intencionais causados por contaminantes químicos aos ecossistemas e organismos que os constituem (WALKER et al., 2012). Para os estudos ecotoxicológicos é de

maior interesse o estudo dos níveis mais altos da organização biológica, considerando à sua importância ecológica, assim, são determinados os efeitos dos agentes químicos estressores sobre os organismos aquáticos em indivíduos e, também são estendidos aos níveis populacionais de organização biológica (DI GIULIO; CLARK, 2015).

Para estudos de ecotoxicidade aguda utilizam-se comumente modelos de invertebrados (DORNFELD et al., 2006; LAITANO; MATIAS, 2006; JONSSON; MAIA, 2007; MOSCARDI; SOUZA; FIGUEIREDO, 2018). O microcrustáceo *Daphnia magna* (Straus, 1820) (Figura 1) está entre os organismos mais antigos e mais usados em avaliações ecotoxicológicas, ecologia e biologia evolucionária (MITTMANN et al., 2014). É conhecido por sua alta adaptabilidade fenotípica, fácil cultivo e acessibilidade, o que o torna um organismo ideal para o desenvolvimento de estudos em ecotoxicologia e outras áreas (ERIKSSON; UNGERER; STOLLEWERK, 2013; SHIGA et al., 2002; STOLLEWERK, 2010).

Figura 1 – Exemplar de *Daphnia magna*.



Fonte: ABNT (2016).

## 2.4 CLASSIFICAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL

Na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento - ECO92 se afirmava, na aprovação da Agenda 21, que a adoção de medidas de planejamento e o manejo integrado dos recursos hídricos seria inevitável (CNUMAD, 1992). No mesmo documento foi enfatizado que a escassez dos recursos hídricos vem acontecendo de forma

progressiva em escala global (ANA, 2007; CNUMAD, 1992). Durante a Cúpula do Milênio das Nações Unidas no ano de 2000 foram acordados entre os 189 países presentes as oito Metas do Milênio abrangendo em nível mundial: a saúde humana, a redução da pobreza, e metas de preservação ambiental e dos recursos hídricos do planeta. No Brasil, em 2006, com base nas Metas do Milênio, foi gerado o Relatório sobre Desenvolvimento Humano, onde associa-se com grande clareza o cumprimento das Metas do Milênio com o manejo adequado dos recursos hídricos, uma vez que os recursos hídricos têm papel fundamental no desenvolvimento socioeconômico (ANA, 2007; PNUD, 2006).

O Brasil encontra-se em posições igualmente privilegiada e de maior responsabilidade por estar entre os detentores dos maiores depósitos de água doce do mundo, sendo que a maior concentração desses recursos encontra-se nas zonas costeiras (ANA, 2007; 2012; BRASIL, 2017). A zona costeira no Brasil é definida pela Lei nº 7661 de 1988 como sendo “o espaço geográfico de integração do ar, do mar e da terra, incluindo seus recursos renováveis ou não, abrangendo uma faixa marítima e outra terrestre” (BRASIL, 1988).

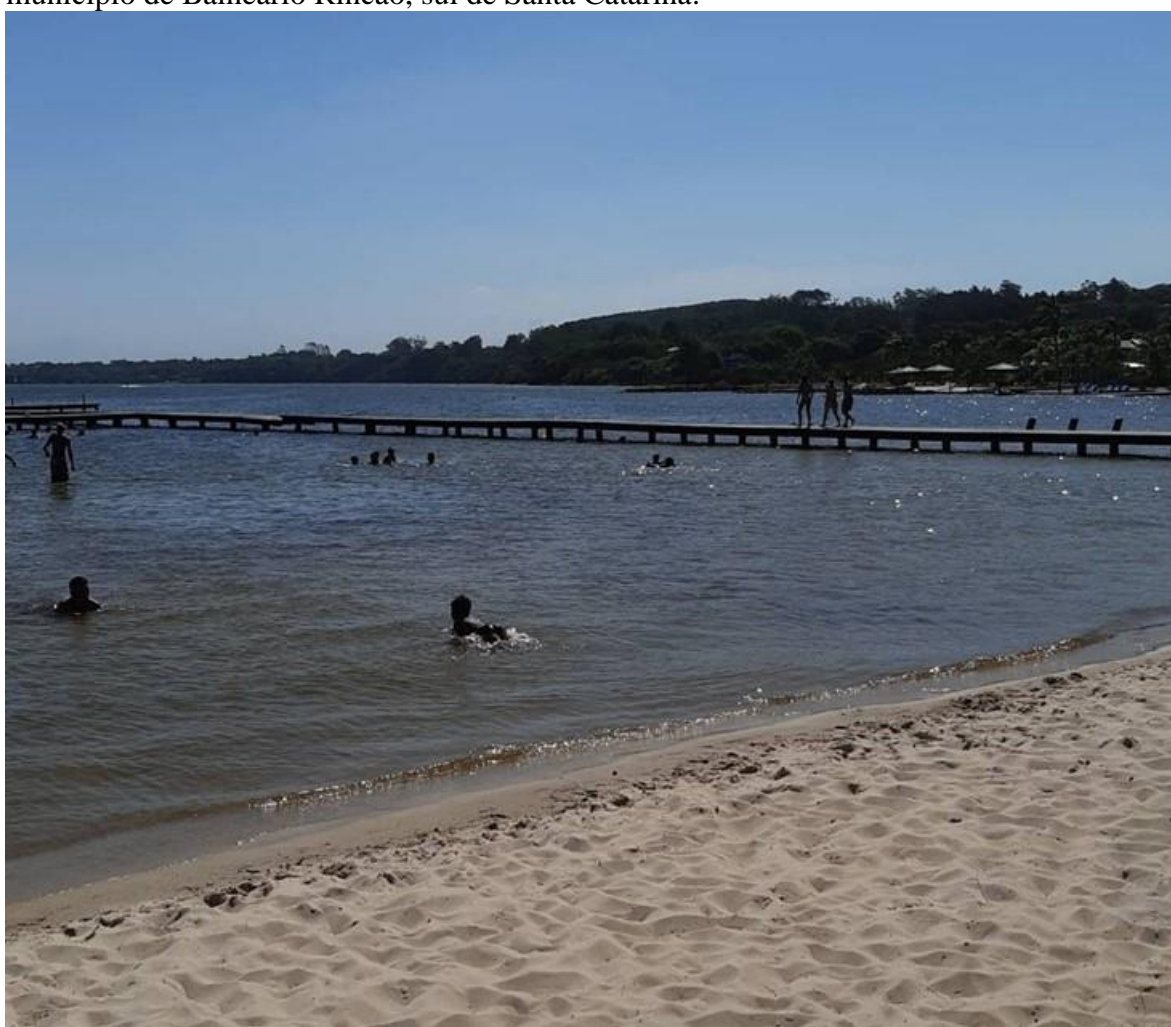
As zonas costeiras brasileiras possuem variados tipos de ecossistemas, como campos de dunas, estuários, brejos, mangues, ilhas e recifes e outros (PRATES; GONÇALVES; ROSA, 2012). Os ambientes das zonas costeiras sofrem constantes transformações, convergindo processos terrestres, atmosféricos e oceânicos, o que leva à constante alteração das suas características, tornando-se fundamental o estudo e a compreensão das zonas costeiras com fins de preservação e planejamento territorial, considerando o uso antrópico destes (BRASIL, 2017; HORN-FILHO; FELIX; CAMARGO, 2020). Os números evidenciam sua importância: a zona costeira nacional compreende 3.500.000 km<sup>2</sup>, mais de 40% do território, e nela vivem de 60% a 70% da população brasileira (GRANZIERA; GONÇALVES, 2012; MARENGO; SCARANO, 2016). O aumento populacional desordenado, bem como o aumento populacional que é maior que o dobro em épocas de veraneio, vem acarretando uma série de alterações nestes ambientes (ANA, 2007; BRASIL, 2017; HORN-FILHO; FELIX; CAMARGO, 2020).

Os despejos de esgotos e águas residuais não tratadas em corpos hídricos têm sido crescentes em todo o mundo e, como resultado, a qualidade das águas vem sendo degradada (FRIES et al., 2016; LLORCA et al., 2017). No Brasil, o volume de efluentes provenientes de esgotos domésticos não tratados corresponde a mais de 60% da água consumida no país (VON-SPERLING, 2016). Os processos de degradação do meio ambiente e os desequilíbrios dos ecossistemas vem sendo agravados pela falta de políticas públicas consistentes de saneamento

e de saúde pública, aliados, na maioria das vezes, à falta de participação da sociedade na busca de melhorias da qualidade do ambiente em que vive (COSTA; MENEZES, 2016).

A lagoa dos Esteves (Figura 2) está classificada como sendo um corpo hídrico de Classe 2, o qual pode ser utilizado para uso recreacional de contato primário (CONAMA, 2000; 2005). Os parâmetros de análises biológicas, físicos ou químicos, tanto da água quanto do sedimento são definidos de acordo com a classificação do uso que o corpo hídrico recebe (CONAMA, 2000; 2005).

Figura 2 – Imagem evidenciando o uso recreacional de contato primário na lagoa dos Esteves, município de Balneário Rincão, sul de Santa Catarina.



Fonte: Do autor (2021).

A qualidade ambiental dos corpos hídricos em geral, incluindo-se as lagoas costeiras, nem sempre é definida. Quando é feita, frequentemente são utilizados diversos índices isolados para cada parâmetro, não havendo integralização dos dados (ANA, 2007; CETESB, 2020). Estudos de geoprocessamento e de ecotoxicidade, por exemplo, terminam por serem feitos de

forma isolada ou não são considerados para a classificação ambiental dos corpos hídricos. A integração de todos os possíveis parâmetros, inclusive dos diferentes compartimentos que podem ser analisados, resultaria em uma classificação da qualidade ambiental mais robusta. O que geraria resultados mais confiáveis e um maior indicativo de medidas a serem adotadas para redução dos possíveis danos aos corpos hídricos, bem como uma maior segurança ao uso indicado para cada corpo hídrico.

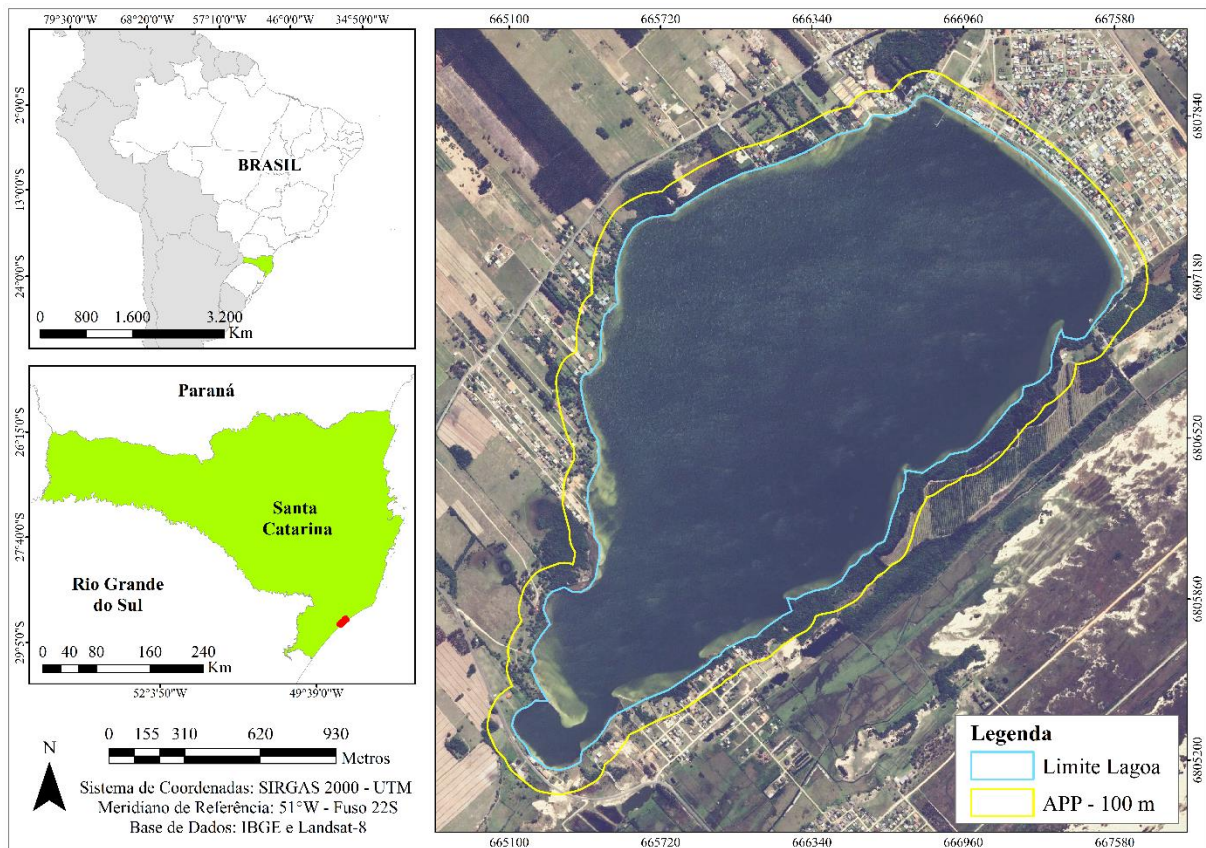
A integração de dados sobre a qualidade ambiental dos diversos compartimentos do ecossistema, através da Matriz de Leopold (LEOPOLD et al., 1971) e do método de *Random Forest* (BREIMAN, 2001), traz uma oportunidade ímpar de análise integrada de todos os parâmetros utilizados para a avaliação. Esta análise se mostra flexível quanto à quais os parâmetros que podem ser analisados ou incluídos, sejam estes qualitativos ou quantitativos, com a junção ou não de diferentes compartimentos para a realização dos testes como, por exemplo a água, sedimento, ar, solo, uso da terra etc. É flexível também, quanto a quantidade mínima de parâmetros necessária para a realização dos testes com um mínimo de segurança nos resultados.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A lagoa dos Esteves está localizada entre as coordenadas UTM 22 S: 665100 – 665780 E; 680805000 – 6808000 S, município de Balneário Rincão, sul de Santa Catarina, Brasil (Figura 3).

Figura 3 - Localização da lagoa dos Esteves, município de Balneário Rincão, sul de Santa Catarina.



Fonte: Do autor (2022).

#### 3.2 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

##### 3.2.1 Clima

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região sul de Santa Catarina é do tipo Cfa, descrito como subtropical úmido, sem estação seca definida e com

inverno ameno (ALVARES et al., 2013). A temperatura anual varia de 17 a 19,3 °C, médias máximas no mês de janeiro entre 23,4 a 25,9 °C, e médias mínimas no mês de julho entre 12 e 14 °C (ALVARES et al., 2013; DENSKI; BACK, 2015). A precipitação anual varia de 1200 a 1600 mm (BACK, 2020).

### **3.2.2 Geologia e Geomorfologia**

A lagoa dos Esteves encontra-se assentada no geossistema da Planície Quaternária I, que é formada por uma faixa estreita arenosa e areno-argilosa, topografia plana com altitudes variando de 1 a 30 metros acima do nível do mar (ROCHA, 2016), na Geofácies Planície Sul IC, que se caracteriza por um largo cordão de restingas com lagoas cercadas por sedimentos arenosos e com solos Gleissolos (HERRMANN; ROSA, 1990; ROCHA, 2016).

### **3.2.3 Hidrografia**

De acordo com a Lei Estadual nº 10949 de 1998 (SANTA CATARINA, 1998), o estado de Santa Catarina está subdividido em dez Regiões Hidrográficas. A lagoa dos Esteves encontra-se inserida na Região Hidrográfica 10 (RH10) que compreende as bacias do Extremo Sul Catarinense, Bacias dos Rios Araranguá, Urussanga e Mampituba (SANTA CATARINA, 1998). A lagoa dos Esteves está em um importante sistema lagunar sob a influência da Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá (ADAMI; CUNHA, 2014), que é considerada como um dos pontos críticos no estado de Santa Catarina em relação à disponibilidade e a qualidade das águas (TOMAZ; CUNHA; SILVEIRA, 2015). Mateus e Horn-Filho (2020) identificaram possíveis paleocanais ligando o rio Araranguá à lagoa Mãe Luzia, esta, ligada à lagoa dos Esteves que por sua vez se liga à lagoa Faxinal. E possui profundidade máxima de 6,66 metros (VASSOLER, 2018).

### **3.2.4 Cobertura Vegetal**

Segundo o Atlas Geográfico de Santa Catarina – Diversidade da Natureza (ROCHA, 2016), a cobertura vegetal da Planície Quaternária I é predominantemente representada por formações do tipo Restinga (ROCHA, 2016). A Restinga é definida como o conjunto de

ecossistemas onde as diferentes formas de vegetação, predominantemente herbácea, arbustiva e pioneira, são estabelecidas em solos arenosos de formação marinha, lagunar, fluvial ou eólica, e ou a combinação das formações supracitadas (CONAMA, 1999; FALKENBERG, 1999; MARTINI et al., 2014; ROCHA, 2016). O ecossistema de Restinga, em razão da sua fragilidade, tem sua vegetação com papel fundamental para a estabilização dos sedimentos e a manutenção da drenagem natural, além de auxiliar na preservação da fauna residente e migratória associada (CONAMA, 1999; MARTINI et al., 2016; ROCHA, 2016).

### 3.2.5 Ocupação – Uso da terra no entorno da lagoa dos Esteves

Baseada em informações pessoais de moradores do entorno da lagoa dos Esteves, inicialmente a comunidade do entorno da lagoa era, em sua grande maioria, formada de pequenos agricultores (Figura 4) que viviam isolados, por conta das dificuldades de acesso ao local.

Figura 4 – Fotografia aérea da lagoa dos Esteves datada de 1957.



Fonte: Acervo da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Social, SC.

A lagoa dos Esteves recebeu este nome devido a lagoa e às terras do seu entorno pertencerem, a época dos primeiros moradores, à família Estevão (MELLO, 2022). Até a década de 1980 a população presente no entorno da lagoa dos Esteves era pouco densa e a sua ocupação era caracterizada pela presença de propriedades rurais. A partir da instalação do Condomínio Vila Suíça, que representa o maior núcleo populacional do entorno da lagoa, a população residente aumentou significativamente. A partir de então, a lagoa e o entorno imediato ganharam aspectos turísticos de grande importância para o município do Balneário Rincão. De acordo com informações da administração do Condomínio, o mesmo é composto por 700 lotes, dos quais em 506 há casas construídas (72,28%).

### 3.3 PROCEDIMENTOS PARA COLETAS E ANÁLISES

#### 3.3.1 Análise da paisagem

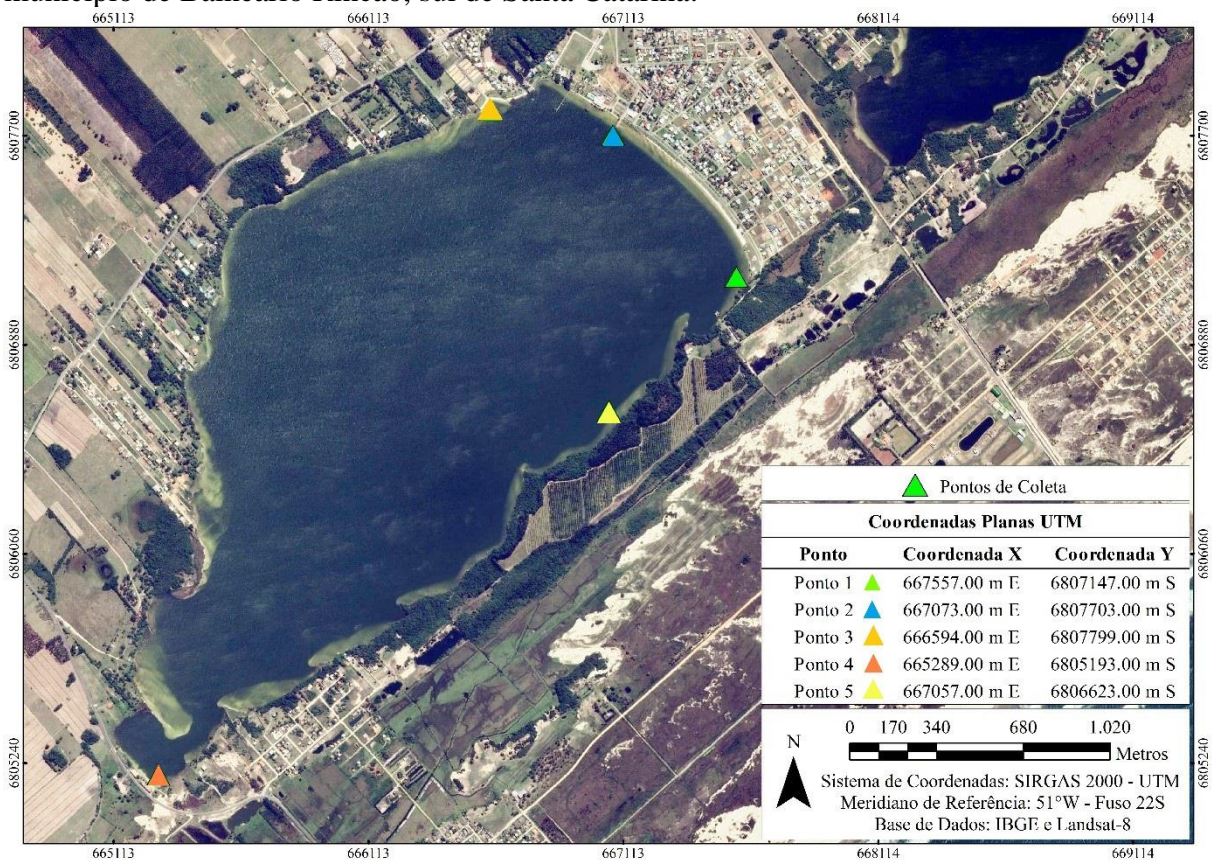
Foi realizado o mapeamento do uso e cobertura da terra no âmbito da lagoa dos Esteves e o seu entorno imediato, cuja área de buffer, para efeitos de mapeamento foi definida em 100 metros de largura a partir da margem da lagoa, baseado na Lei nº 12651 de 2012 (BRASIL, 2012) que define em 100 metros o entorno de lagos e lagoas naturais em áreas rurais como APPs. As análises foram realizadas em ambiente SIG com o uso do *software* ArcMap 10.5 seguindo-se as etapas abaixo descritas.

As análises ocorreram de modo que houve a individualização dos polígonos das diferentes formas de uso e cobertura da terra, com a digitalização em tela de computador, utilizando-se imagem orbital georreferenciada do ano 2021, obtida junto ao banco de imagens do Google Earth. Procedeu-se a identificação e classificação das formas de uso e cobertura da terra, cálculo da área e percentual ocupado pelas diferentes classes. Por fim foi elaborado um mapa temático atual sobre o uso e cobertura da terra da área estudada e analisados os conflitos entre o uso atual e a legislação ambiental vigente Lei nº 12651 de 2012 (BRASIL, 2012), resoluções CONAMA 274/2000 e 357/2005 (CONAMA, 2000; 2005).

### 3.4 QUALIDADE DA ÁGUA E DO SEDIMENTO

A qualidade da água superficial e do sedimento da lagoa dos Esteves foi avaliada em cinco pontos de amostragem (Figura 5) com quatro repetições por ponto, em duas estações de amostragem (verão e inverno) por ano, durante dois anos (2019 e 2020), totalizando 160 amostras.

Figura 5 – Localização dos pontos de coleta de água e sedimento na lagoa dos Esteves, município de Balneário Rincão, sul de Santa Catarina.



Fonte: Do autor (2022).

A definição dos locais de coleta se deu com base nos seguintes critérios: a) entrada e saída de água da lagoa; b) direção predominante de ventos e c) usos antrópicos no entorno (presença de condomínios, camping, clubes, marinas, moradias unifamiliares, chácaras e sítios, áreas de nascentes e plantação de cítricos).

As épocas de coleta das amostras de água e sedimento foram assim definidas: abril/2019; setembro/2019; março/2020 e; agosto/2020. Os meses de março/abril representam o final da alta temporada de segunda moradia em época de verão e os meses de agosto/setembro

representam a baixa temporada de segunda moradia. Os parâmetros que foram analisados estão descritos no Quadro 1. As análises foram realizadas nos laboratórios do Parque Científico e Tecnológico (I-PARQUE) da UNESC.

Quadro 1 – Parâmetros analisados nas amostras de água e sedimento da lagoa dos Esteves, município de Balneário Rincão, sul de Santa Catarina.

Parâmetros	Compartimento		Parâmetros	Compartimento	
	Água	Sedimento		Água	Sedimento
<b>Microbiológicos</b>			<b>Físico-químicos</b>		
Coliformes termotolerantes	X	X	DBO	X	
<b>Compostos Orgânicos Semi Voláteis</b>			DQO	X	
Metolacloro	X	X	Óleos e graxas	X	X
Molinato	X	X	Óleos minerais (hidrocarbonetos)	X	X
Pendimetalina	X	X	Óleos vegetais e gorduras animais	X	X
Permetrina	X	X	<b>Organoclorados</b>		
Simazina	X	X	Clordano	X	X
Trifluralina	X	X	Endossulfan (I + II + Sulfato)	X	X
Tebuconazol	X	X	Endrin	X	X
<b>Organofosforados</b>			HCH Gama	X	X
Clorpirifós + Clorpirifós-oxon	X	X	DDD	X	X
Metamidofós	X	X	DDT	X	X
Profenofós	X	X	DDE	X	X
Terbufós	X	X	HCH Alfa	X	X
Tionazina	X	X	HCH Beta	X	X
Sulfotep	X	X	HCH Delta	X	X
Forato	X	X	Aldrin	X	X
Dimetoato	X	X	Dieldrin	X	X
Dissulfoton	X	X	<b>Carbamatos</b>		
Metil paration	X	X	Carbofurano	X	X
Paration	X	X			
Famfur	X	X			
o,o,o-Trietilfosforotiato	X	X			

Fonte: Do autor (2022).

### 3.4.1 Coliformes Termotolerantes

As coletas de água e sedimento para análise de coliformes termotolerantes foram efetuadas em frascos ou sacos de plástico previamente esterilizados com volume de, no mínimo, 100 mL. As amostras foram identificadas e acondicionadas em caixas térmicas com gelo para transporte até o laboratório, onde foram mantidas sob refrigeração (4 °C) por, no máximo 24 horas antes do início das análises.

As análises de coliformes termotolerantes se deram pela técnica de Tubos múltiplos para a determinação do NMP (Número Mais Provável) de UFC (Unidades Formadoras de Colônias (APHA; AWWA; WEF, 2017). Esta técnica é dividida em três fases, a) fase presuntiva, onde foram inoculadas as amostras brutas e suas diluições em tubos de ensaios contendo tubos de *Durhan* invertidos e meio de cultura Caldo Lauril Triptase, os quais foram incubados em estufa a 35 °C por até 48 horas. Os tubos que tiveram crescimento bacteriano (identificadas pela turvação do meio e produção de gás no tubo de *Durhan*) foram levados para a próxima fase; b) fase confirmativa onde foram repicados os tubos presuntivos positivos para tubos de ensaio contendo tubos de *Durhan* invertidos e meio de cultura Caldo Verde Brilhante, que foram incubados em estufa a 35 °C por até 48 horas e, os tubos com crescimento bacteriano foram considerados positivos para coliformes totais e passaram para a próxima fase; c) fase complementar, onde foram repicados os tubos positivos para coliformes totais em tubos de ensaio contendo tubos de *Durhan* invertidos com meio de cultura Caldo EC, os quais foram incubados em banho-maria a 44,5 °C por até 24 horas e, os tubos com crescimento bacterianos foram considerados positivos para coliformes termotolerantes. De acordo com a quantidade de tubos positivos em cada uma das diluições determina-se o NMP.

### 3.4.2 Compostos Orgânicos Semi Voláteis (SVOC)

As análises de SVOC foram efetuadas através do método de cromatografia gasosa (USEPA, 2018). As coletas de água foram efetuadas em frascos para OD (oxigênio dissolvido) completamente preenchidos e os sedimentos foram coletados com draga tipo Van Vem e foram acondicionados em frascos de vidro com tampa rosqueada e septo de teflon. Todas as amostras foram identificadas e acondicionadas em caixas térmicas com gelo para transporte até o laboratório. As amostras foram mantidas sob refrigeração (4 °C) por, no máximo 14 dias até o início das análises.

Alíquotas das amostras de água foram introduzidas no Cromatógrafo equipado com uma coluna capilar de sílica de furo estreito (CG/Ion Trap MS), essa coluna foi programada para separar os analitos que foram detectados com um espectrômetro de massa acoplado ao cromatógrafo. A identificação do analito foi realizada comparando seus espectros de massa com os espectros de massa de um padrão interno e a quantificação se deu comparando a resposta de um íon principal em relação ao padrão interno, utilizando-se uma curva de calibração apropriada para o elemento pretendido.

### **3.4.3 Organofosforados, Organoclorados e Carbamatos**

As análises de organofosforados, organoclorados e carbamatos foram efetuadas através do método de cromatografia gasosa (USEPA, 2018). As amostras de água e sedimento foram coletadas em frascos de vidro, estas foram identificadas e acondicionadas em caixas térmicas com gelo para transporte até o laboratório. As amostras foram mantidas sob refrigeração (4 °C) por, no máximo 14 dias até o início das análises. As demais etapas do procedimento seguiram conforme a descrição no item 3.4.2 referente à técnica de cromatografia gasosa.

### **3.4.4 Óleos e Graxas, Óleos Minerais e Óleos Vegetais e Gordura Animal**

As análises de óleos e graxas, óleos minerais, óleos vegetais e gordura animal foram realizadas utilizando-se o método gravimétrico 5520 B (APHA; AWWA; WEF, 2017). As amostras de água e sedimento foram coletadas em frascos de vidro, identificadas e acondicionadas em caixas térmicas com gelo para transporte até o laboratório. As amostras foram mantidas sob refrigeração (4 °C) por, no máximo 14 dias até o início das análises. As amostras foram colocadas em balões volumétricos de fundo chato, com capacidade para 1 L, foram acidificadas com HCl (ácido clorídrico) na proporção de 1:1 até o pH 2 (aproximadamente 5 mL de HCl para 1 L de amostra) e a linha do menisco foi marcada. Após as amostras foram colocadas em um funil de separação e adicionadas 30 mL do solvente *n-Hexano*. Estas são agitadas por 2 minutos e descansam até a separação das fases. Drena-se então a fase aquosa e a fase contendo o solvente, para o balão original, passando por um funil com filtro e 10 g de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (sulfato de sódio). As fases aquosas e com o solvente são recombinaadas e extraídas duas vezes mais e são adicionadas 30 mL do solvente cada. Os extratos são

combinados em um frasco de destilação e passados através do funil com filtro e  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  e uma nova adição de 10 a 20 mL de solvente. O solvente é destilado em banho-maria a  $85\text{ }^\circ\text{C}$  até a condensação visível cessar. A solução condensada é filtrada a vácuo por um minuto e resfriada em balança até que o peso constante possa ser obtido. Para a determinação do volume inicial da amostra, o frasco inicial é preenchido até a linha do menisco marcada, após a água adicionada é mesurada com proveta volumétrica. O cálculo da quantidade dos analitos se dá pela divisão do peso do resíduo pelo volume inicial da amostra.

#### **3.4.5 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)**

A análise de DBO foi realizada de acordo com o método 5210 B (APHA; AWWA; WEF, 2017). As amostras de água foram coletadas em frascos de vidro com rolha de vidro e completamente preenchidos no local da coleta, sem turbulências e contra a corrente, tomando cuidado para não formar bolhas de ar. Foram identificadas e acondicionadas em caixas térmicas com gelo para transporte até o laboratório e foram mantidas sob refrigeração, por, no máximo seis horas até o início das análises. As amostras foram ajustadas para estarem na temperatura de  $20 \pm 3\text{ }^\circ\text{C}$ , foram diluídas em diferentes concentrações e então foi determinado a concentração de OD inicial. Os frascos contendo as diluições foram incubados a  $20\text{ }^\circ\text{C}$  na ausência de luz por cinco dias e, então, foi determinada a concentração de OD final. A DBO foi determinada pela diferença entre o OD inicial e o OD final.

#### **3.4.6 Demanda Química de Oxigênio (DQO)**

A análise de DQO foi realizada de acordo com o método 5220 D (APHA; AWWA; WEF, 2017). As amostras de água foram coletadas em frascos de vidro e analisadas imediatamente ou preservadas com a adição de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (ácido sulfúrico) até o  $\text{pH} \leq 2$ . Foram colocados 50 mL da amostra em um balão com capacidade de 500 mL. Na sequência foram adicionados 1 g de  $\text{Hg}_2\text{SO}_4$  (sulfato de mercúrio) p.a. e pérolas de ebulição, 20 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ou  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  (sulfato de prata) para a dissolução do sal, seguido da adição de 25 mL de solução padrão de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  (dicromato de potássio) 0,00417 M e misturado. Após esses procedimentos foi adicionado 50 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ou  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  lentamente pelas paredes do balão, de modo que o ácido chegasse ao fundo, porém sem reagir e mantido em refluxo na chapa a  $150\text{ }^\circ\text{C}$  por 2 horas. Então foram titulados sob agitação magnética com solução de  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$  (sulfato ferroso

amoniacal) 0,025 M e de duas a três gotas de solução indicadora de ferroin. Utilizando os volumes de solução de  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$  titulados foi calculado a DQO em cada amostra.

### 3.4.7 Análise dos Dados

Os resultados de todas as análises são apresentados em *boxplots*. Diferenças entre os locais de amostragem e entre as estações do ano foram mostradas nos gráficos. Valores das variáveis analisadas, em cada ponto, foram comparados com os valores estabelecidos pelas Resoluções do CONAMA 274/2000 e 357/2005 (CONAMA, 2000; 2005) e Decreto 14250/1981 (SANTA CATARINA, 1981).

## 3.5 ECOTOXICIDADE

Em virtude de alterações no projeto inicial, por conta da pandemia de COVID-19 e a impossibilidade de realizar as coletas programadas no projeto de qualificação, os testes de ecotoxicidade foram definidos apenas após a percepção de que não haveria tempo hábil para a realização das análises anteriormente programadas. Por estes motivos, as análises de ecotoxicidade foram realizadas apenas na última campanha de coletas, campanha de inverno de 2020.

As análises de ecotoxicidade em *Daphnia magna* foram realizadas de acordo com a NBR 12713 (ABNT, 2016) e Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA, 2002). As amostras de água foram coletadas em frascos plásticos com volume de 500 mL e foram mantidas sob condições de congelamento (-4 °C) até o momento das análises, conforme recomendações contidas na NBR 12713 (ABNT, 2016). Os organismos utilizados foram cedidos pelo Laboratório de Ecotoxicologia do I-PARQUE da UNESC. O teste foi realizado de forma qualitativa expondo 20 neonatos de *D. magna* em 100 mL das amostras de água (10 para cada 50 mL em duas réplicas) sem diluição por um período de 48 horas. Os recipientes foram cobertos e mantidos a temperatura entre 18 e 22 °C sem fornecimento de alimentação aos animais. Ao final deste período de exposição foram contados os indivíduos móveis e imóveis e determinados os sobreviventes.

### 3.5.1 Análise dos Dados

Para cada réplica foi determinada a porcentagem de organismos imóveis. Diferenças entre os pontos de coleta foram avaliados por meio de análise de variância (ANOVA) uma via, seguido pelo *post-hoc* de Tukey e valores de  $P < 0,05$ . As análises foram efetuadas utilizando o programa R (R CORE TEAM, 2017).

### 3.6 CLASSIFICAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL

A classificação da qualidade ambiental da lagoa dos Esteves foi realizada utilizando a integração dos dados por meio da Matriz de Leopold (LEOPOLD et al., 1971) adaptada e o método de *Random Forest* (floresta aleatória) (BREIMAN, 2001). O método de *Random Forest* é definido como um método *machine learning* (aprendizado de máquina) baseado em múltiplas árvores de decisão, onde cada árvore classifica cada atributo analisado lhe atribuindo um “voto” baseado no atributo que obteve maior peso na decisão, então a floresta escolhe a classificação que obtiver maior número de “votos” gerando uma classificação geral do problema em duas categorias: “Boa” ou “Ruim” (Figura 6).

Inicialmente os dados de todas as análises realizadas para cada ponto amostral em cada campanha foram introduzidos em uma Matriz de Leopold, onde cada dado recebeu pontuações de acordo com a intensidade do impacto antrópico causado pela respectiva variável (Quadro 2). Sendo assim descritos de acordo com a fórmula:

Impacto total:  $Ca \times (I + R)$

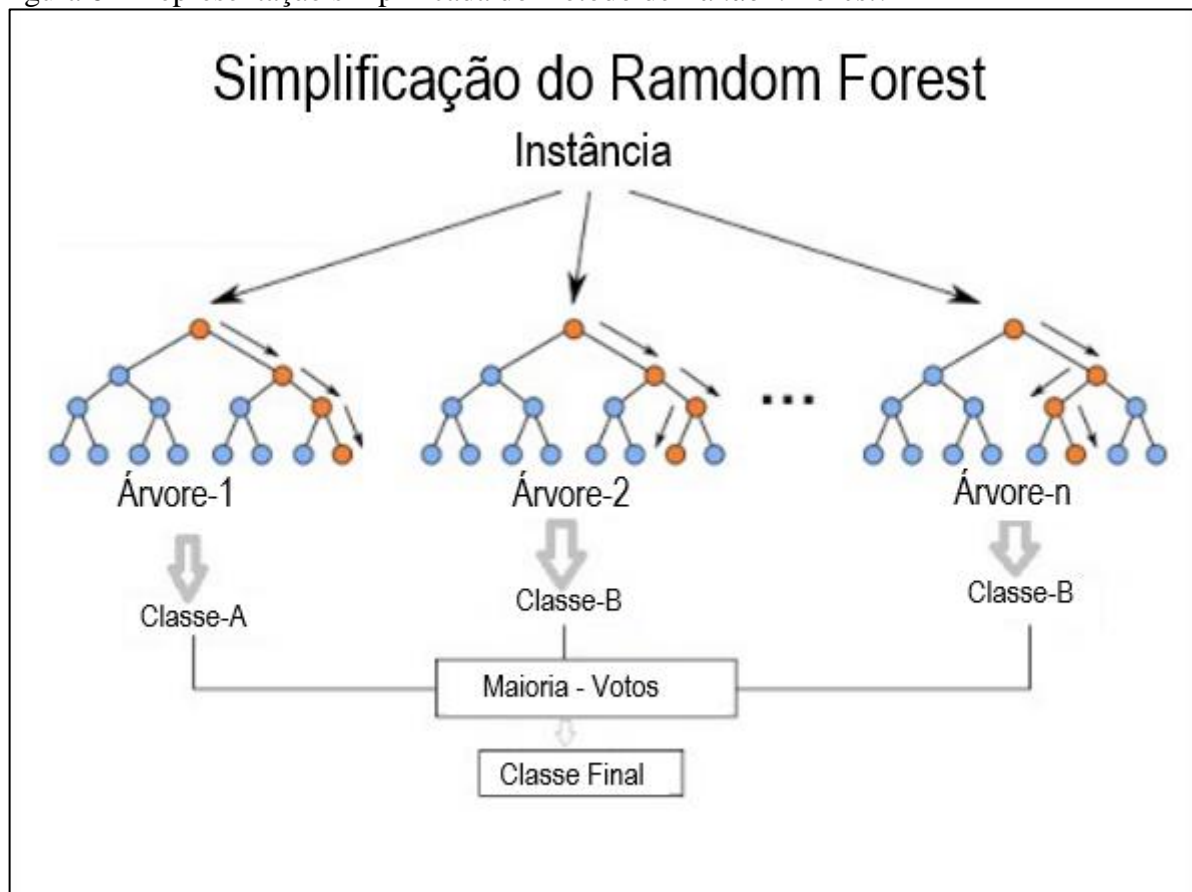
Onde:

- Caráter (Ca): Positivo (1), Neutro (0), ou Negativo (-1);
- Importância (I): Alta (3), Média (2), ou Baixa (1);
- Reversibilidade (R): Irreversível (3), Parcial (2), ou Reversível (1).

Para cada ponto amostral na lagoa, a média dos impactos totais de cada variável foi calculada e foram classificadas de -6 à 6, sendo que valores  $> 0$  foram considerados qualidade “Boa” e valores  $< 0$  foram considerados qualidade “Ruim”. Como exemplo, na avaliação de

ecotoxicidade poderíamos encontrar dois possíveis cenários, onde o resultado pode ser “tóxico” ou “não tóxico”. Um resultado tóxico possui impacto negativo para a lagoa, logo o  $Ca = -1$ ; a importância é considerada média, visto que a legislação não exige a avaliação da ecotoxicidade para corpos hídricos de Classe II, logo o  $I = 2$ ; a reversibilidade, neste caso em que não foram encontradas nenhuma substância contaminante acumulativa, é parcial, logo o  $R = 2$ . Aplicados na fórmula do Impacto total temos  $-1 \times (2+2) = -4$  para resultados tóxicos de ecotoxicidade. Usando essa matriz o teste de classificação de *Random Forest* foi executado, com repetição de 500 árvores e duas variáveis para cada nó de cada vez.

Figura 6 – Representação simplificada do método de *Random Forest*.



Fonte: Adaptado de Jagannath (2017).

O *Random Forest* seleciona aleatoriamente algumas amostras para a realização do treino do teste, chamamos a partir de então cada análise de variável e cada ponto de coleta de amostra. Reamostrando as amostras informadas pela técnica conhecida como *bootstrap* e neste caso as amostras podem ser repetidas no conjunto de teste. Para definir qual será o nó raiz, ou seja o primeiro nó da árvore, o método irá selecionar aleatoriamente duas ou mais variáveis e realizar os cálculos para definir qual dessas será utilizada como nó raiz, no próximo nó o

processo de escolha irá se repetir, e assim sucessivamente até o último nó da árvore seja definido.

Para cada árvore, o mesmo processo irá se repetir, sendo que estas novas árvores serão diferentes da primeira já que o método seleciona aleatoriamente as amostras e as análises que irão compor cada uma das árvores de decisão. Para cada modelo e avaliação existe um número mínimo de árvores que levará ao melhor desempenho do método, mas o aumento do número de árvores, nem sempre indicará melhora no desempenho do modelo, para isso foi sendo testado de acordo com os dados informados.

Após a classificação do ambiente, para a validação do modelo, foi realizada a análise dos componentes principais (PCA), para determinar quais análises que tiveram maiores influências na classificação da qualidade, seguido do Método de Escalonamento Multidimensional (MDS), que representou de forma visual as amostras trabalhando com as proximidades de cada ponto na classificação do *Random Forest*. Todas as análises foram efetuadas em rotinas no programa R (R CORE TEAM, 2017).

Quadro 2 – Matriz de Leopold adaptada para pontuações por análises da qualidade da lagoa dos Esteves, Balneário Rincão, sul de Santa Catarina.

<b>Análise</b>	<b>Resultados</b>	<b>Pontuação</b>
Ecotoxicologia	Tóxico	-4
	Não tóxico	4
Uso da Terra*	> 75% natural	4
	De 45 a 75% natural	0
	< 45% natural	-4
DBO	Até 5	4
	> 5	-4
DQO	Até 19,9	4
	De 20 a 30	0
	> 30	-4
Óleos e Graxas (Água)	Até 0,9	5
	> 0,9	-5
Óleos Minerais (Água)	Até 0,9	5
	> 0,9	-5
Óleos Vegetais e Gorduras Animais (Água)	Até 0,9	5
	> 0,9	-5
Microbiológicas (Água)	Até 1000	4
	> 1000	-4
Óleos e Graxas (Sedimento)	Até 99,9	5
	> 99,9	-5
Óleos Minerais (Sedimento)	Até 99,9	5
	> 99,9	-5
Óleos Vegetais e Gorduras Animais (Sedimento)	Até 99,9	5
	> 99,9	-5
Microbiológicas (Sedimento)	Até 3800	4
	> 3800	-4

\* Natural = porcentagem de uso da terra em condição não antropizada dentro do limite de APP.

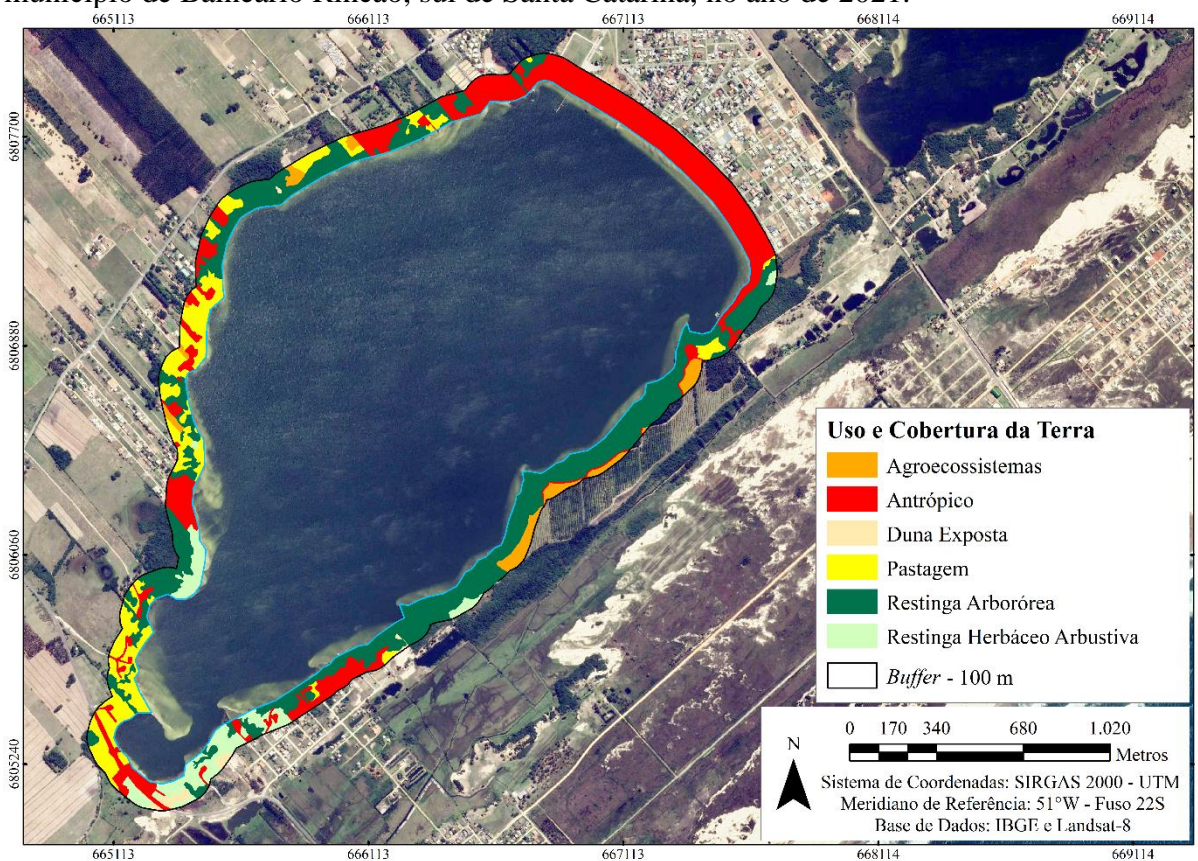
Fonte: Do autor (2022).

## 4 RESULTADOS

### 4.1 ANÁLISE DA PAISAGEM

As classes de uso e cobertura da terra e sua distribuição na paisagem do entorno imediato da lagoa dos Esteves (área de *buffer* de 100 m) estão demonstrados na Figura 7, enquanto as áreas ocupadas e os respectivos percentuais de contribuição de cada classe são apresentados na Tabela 1.

Figura 7 – Mapa de uso da terra na área de preservação permanente da lagoa dos Esteves, município de Balneário Rincão, sul de Santa Catarina, no ano de 2021.



Fonte: Do autor (2022).

Foram identificadas seis classes de uso e cobertura da terra na faixa de APP no entorno imediato da lagoa dos Esteves (Tabela 1). A classe Restinga arbórea foi a classe mais representativa ocupando 39,33% (0,35 Km<sup>2</sup>) da área mapeada, seguida pela classe denominada Antrópico com 31,46% (0,28 Km<sup>2</sup>) de cobertura da área. A classe Pastagem cobre uma área de 0,14 km<sup>2</sup> e 15,73% da área mapeada, enquanto a classe Restinga herbácea arbustiva cobre

7,87% da área mapeada. As classes Duna exposta (1,12%) e Agroecossistemas (4,49%) foram as menos representativas.

Tabela 1 – Classes de uso e cobertura da terra no entorno imediato da lagoa dos Esteves, Balneário Rincão, sul de Santa Catarina, no ano de 2021.

Classes	Área (km <sup>2</sup> )	Cobertura (%)
Agroecossistemas	0,04	4,49
Antrópico	0,28	31,46
Duna exposta	0,01	1,12
Pastagem	0,14	15,73
Restinga arbórea	0,35	39,33
Restinga herbácea arbustiva	0,07	7,87
Área total	0,89	100

#### 4.2 QUALIDADE DA ÁGUA E DO SEDIMENTO

De acordo com a Seção I, Artigo 4, inciso iii da Resolução CONAMA nº 357, de 2005 (CONAMA, 2005), as águas da lagoa dos Esteves se enquadram na Classe 2 - águas que podem ser destinadas a:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000;
- d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e
- e) à aqüicultura e à atividade de pesca (CONAMA, 2005, p. 4).

Assim sendo, os parâmetros avaliados foram comparados com os valores máximos permitidos para essa classe.

##### 4.2.1 Coliformes Termotolerantes

Os valores do NMP de UFC em 100 mL de água de coliformes termotolerantes (Figura 8 - E) mostram que a campanha de inverno do ano de 2020 obteve a maior mediana quando comparada com as medianas das demais campanhas. Mas o valor de coliformes mais alto obtido

entre todas as campanhas, foi na campanha de verão de 2019 de 790 NMP/UFC/100 mL. Quando comparadas as campanhas de amostragem entre si, em um mesmo ano, observa-se que a mediana da campanha de verão de 2019 é mais elevada do que a mediana obtida para a campanha de inverno de 2019; enquanto, a mediana observada na campanha de inverno de 2020 é maior do que a mediana observada na campanha de verão de 2020. A comparação entre os anos, em relação as mesmas campanhas, revela que na campanha de verão de 2019 a mediana observada foi maior do que mediana observada na campanha de verão de 2020; enquanto, a mediana observada na campanha de inverno de 2020 foi maior do que a mediana observada na campanha de inverno de 2019.

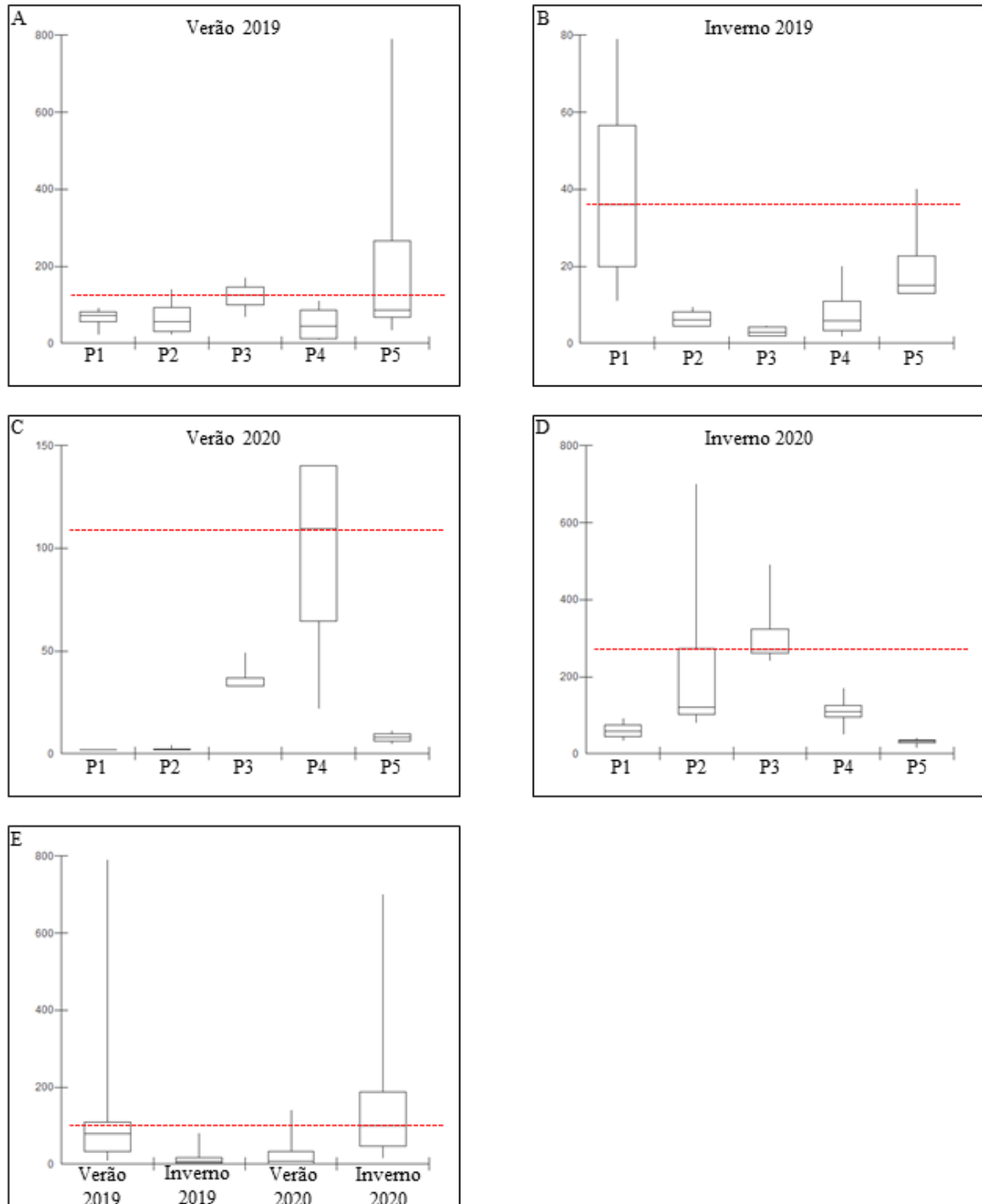
Quando comparados os pontos entre si para cada ano, a mediana observada do Ponto 3 (P3) na campanha de Verão de 2019 (Figura 8 – A) foi mais elevada que a mediana dos demais pontos, que se mantiveram semelhantes. Entretanto o Ponto 5 (P5) foi o que apresentou maior valor de coliformes termotolerantes nessa campanha (790 NMP/UFC/100 mL). Na campanha de Inverno de 2019 (Figura 8 – B) o ponto 1 (P1) teve a mediana mais elevada e o valor de UFCs mais elevado (79 NMP/UFC/100 mL) quando comparado com os outros pontos, seguido pelo ponto 5 (P5) que teve a segunda mediana mais elevada e o segundo maior valor de UFCs (40 NMP/UFC/100 mL) quando comparado com os pontos 2, 3 e 4 (P2, P3 e P4). O ponto 4 (P4) na campanha de Verão de 2020 (Figura 8 – C) teve a mediana e o valor de UFCs (140 NMP/UFC/100 mL) mais elevados quando comparados com os demais pontos, seguido pelo ponto 3 (P3) com a segunda mediana mais elevada e os demais pontos pouco diferiram entre si. Já na campanha de Inverno de 2020 (Figura 8 – D) o ponto 3 (P3) teve a mediana mais elevada, contudo o ponto 2 (P2) teve o valor de UFC (700 NMP/UFC/100 mL) mais elevado dessa campanha.

As medianas observadas do NMP de UFC de coliformes termotolerantes em 100g de sedimento (Figura 9 – E) foram similares na comparação entre as campanhas. Entretanto as campanhas de inverno de 2019 e verão de 2019 apresentara os valores de NMP de coliformes termotolerantes mais elevados (930 e 460 NMP/UFC/100 g, respectivamente).

Quando analisadas as campanhas individualmente, na campanha de Verão de 2019 (Figura 9 – A) o ponto 4 (P4) foi o que teve a maior mediana e o maior valor, 460 NMP/UFC/100 g, seguido pelo ponto 5 (P5) com 93 NMP/UFC/100 g. Nas campanhas de Inverno de 2019 (Figura 9 – B) e Verão de 2020 (Figura 9 – C) o ponto 4 (P4) teve a maior mediana quando comparado com os demais pontos que não diferiram entre si. Bem como, obtiveram os maiores valores com 930 e 110 NMP/UFC/100 g, respectivamente. Na campanha

de Inverno de 2020 (Figura 9 – D) o ponto 1 (P1) teve a maior mediana e o maior valor de UFCs (230 NMP/UFC/100 g) quando comparados com os demais pontos que não diferiram entre si.

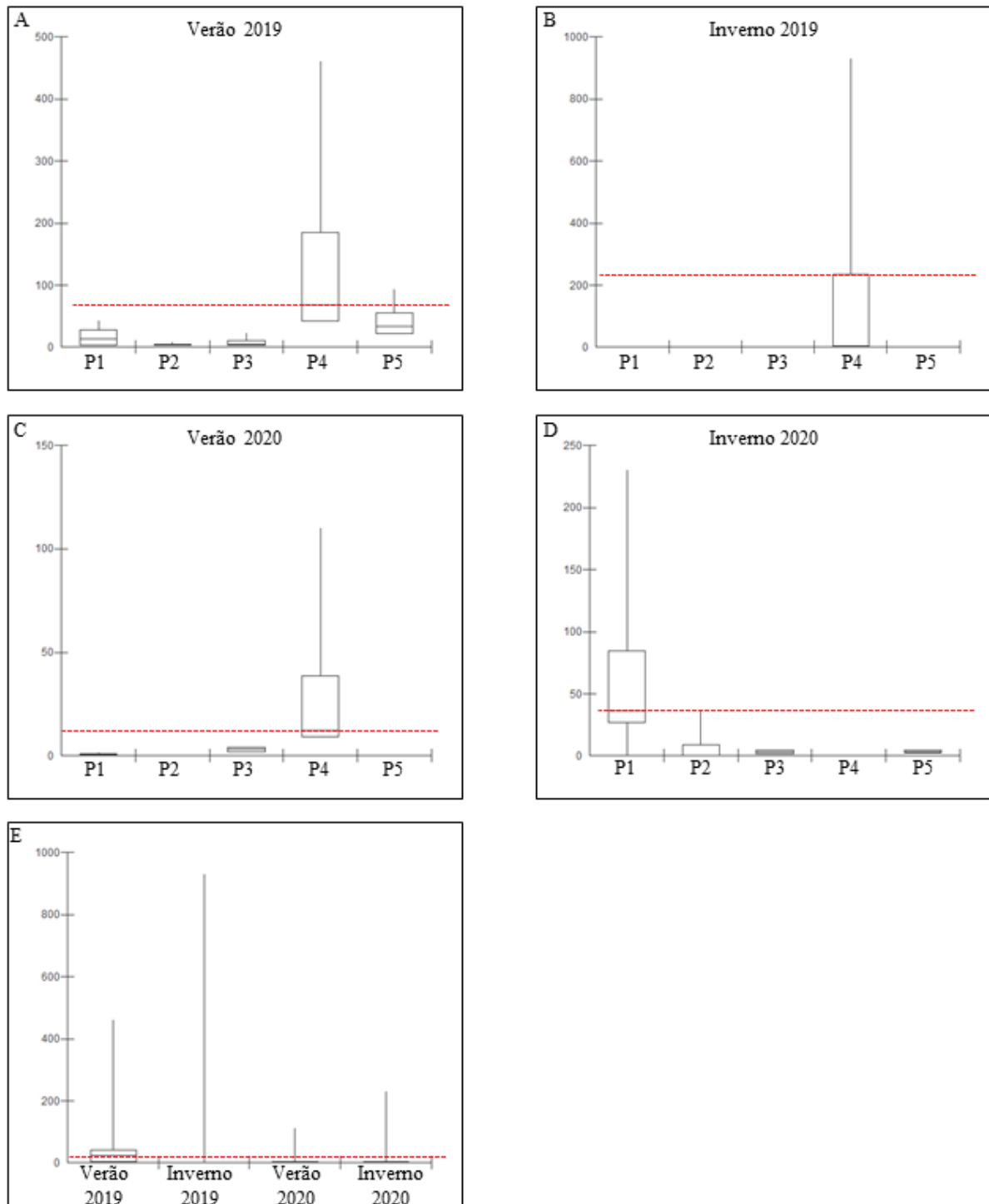
Figura 8 – Boxplots das análises de coliformes tolerantes na água da lagoa dos Esteves, município de Balneário Rincão, sul de Santa Catarina.



----- = Mediana mais alta em relação aos outros elementos do mesmo gráfico.

Fonte: Do autor (2022).

Figura 9 - Boxplots das análises de coliformes tolerantes no sedimento da lagoa dos Esteves, município de Balneário Rincão, sul de Santa Catarina.



Fonte: Do autor (2022).

#### 4.2.2 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

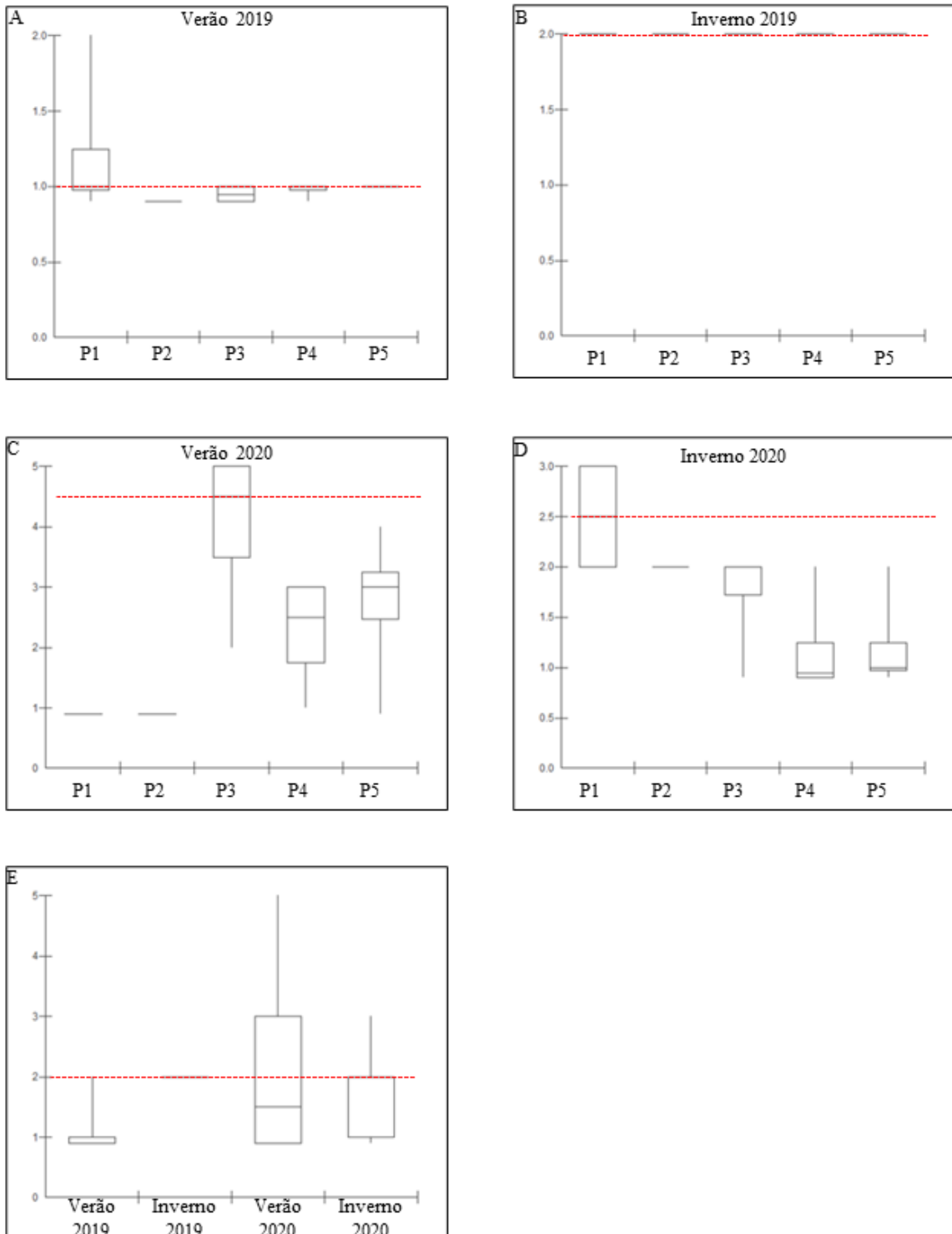
Os resultados sobre a DBO da água são apresentados na Figura 10. As campanhas de Inverno de 2019 e Inverno de 2020 apresentaram a maior mediana (Figura 10 – E), quando comparadas as campanhas entre si, porém a campanha de Verão de 2020 foi a que apresentou maior valor de DBO (5mg/L O<sub>2</sub>). Quando comparadas as campanhas de amostragens entre si, em um mesmo ano, as campanhas de Verão de 2019 e Verão de 2020 apresentaram maiores medianas quando comparadas com as campanhas de Inverno de 2019 e Inverno de 2020, respectivamente. Quando da comparação dos mesmos períodos de amostragens, em anos diferentes, as campanhas de Verão e de Inverno de 2020 apresentaram as maiores medianas quando comparadas com as campanhas de Verão e de Inverno de 2019, respectivamente.

Na campanha de Verão de 2019 (Figura 10 – A) os valores das medianas entre os pontos de coleta foram aproximados, e o maior valor de DBO apresentado foi de 2 mg/L O<sub>2</sub> no Ponto 1 (P1). Na campanha de Inverno de 2019 (Figura 10 – B) todos os pontos apresentaram os mesmos valores de DBO (2 mg/L O<sub>2</sub>). Enquanto na campanha de Verão de 2020 (Figura 10 – C) o Ponto 3 (P3) apresentou a maior mediana quando comparado com os outros pontos, e também apresentou o maior valor de DBO (5 mg/L O<sub>2</sub>). Na campanha de Inverno de 2020 (Figura 10 – D) o Ponto 1 (P1) apresentou a maior mediana e o maior valor de DBO (3 mg/L O<sub>2</sub>) quando comparado com os outros pontos.

#### 4.2.3 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Os resultados sobre a DQO da água são apresentados na Figura 11. Na comparação entre as campanhas (Figura 11 – E) a campanha de Verão de 2020 foi a que apresentou maior mediana e maior valor de DQO (114 mg/L O<sub>2</sub>). Seguido pela campanha de Verão de 2019 com DQO máxima de 99 mg/L O<sub>2</sub>. Na comparação entre as campanhas de amostragens, entre si, em um mesmo ano, as campanhas de Verão de 2019 e Verão de 2020 apresentaram as maiores medianas quando comparadas com as campanhas de Inverno de 2019 e Inverno de 2020, respectivamente. Quando da comparação entre os períodos de campanhas em anos distintos, a campanha de Verão de 2020 apresentou a maior mediana quando comparada com a campanha de Verão de 2019. Enquanto que as campanhas de Inverno de 2019 e 2020 apresentaram medianas semelhantes.

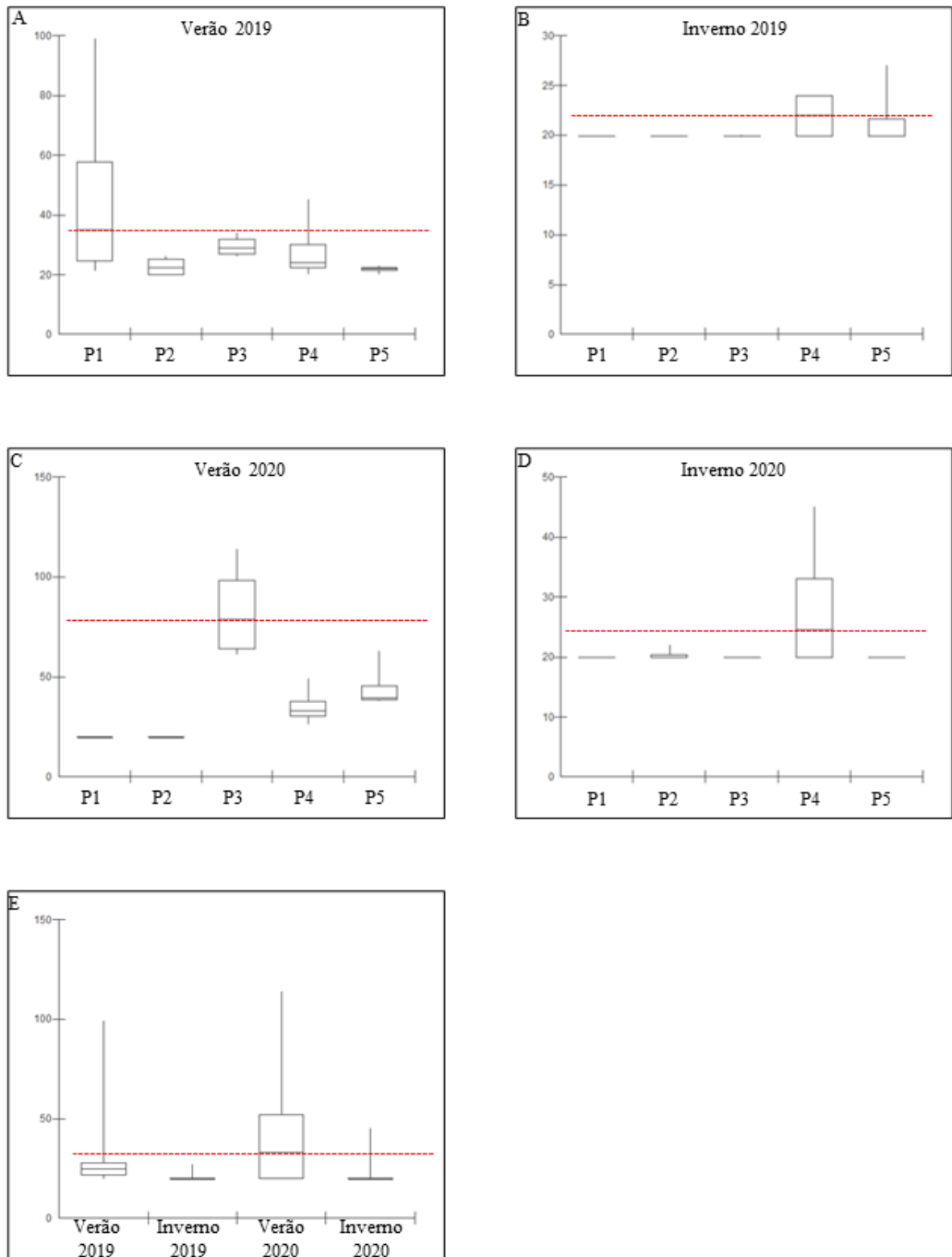
Figura 10 - Boxplots das análises de Demanda Bioquímica de Oxigênio na água da lagoa dos Esteves, município de Balneário Rincão, sul de Santa Catarina.



----- = Mediana mais alta em relação aos outros elementos do mesmo gráfico.

Fonte: Do autor (2022).

Figura 11 - Boxplots das análises de Demanda Química de Oxigênio na água da lagoa dos Esteves, município de Balneário Rincão, sul de Santa Catarina.



----- = Mediana mais alta em relação aos outros elementos do mesmo gráfico.

Fonte: Do autor (2022).

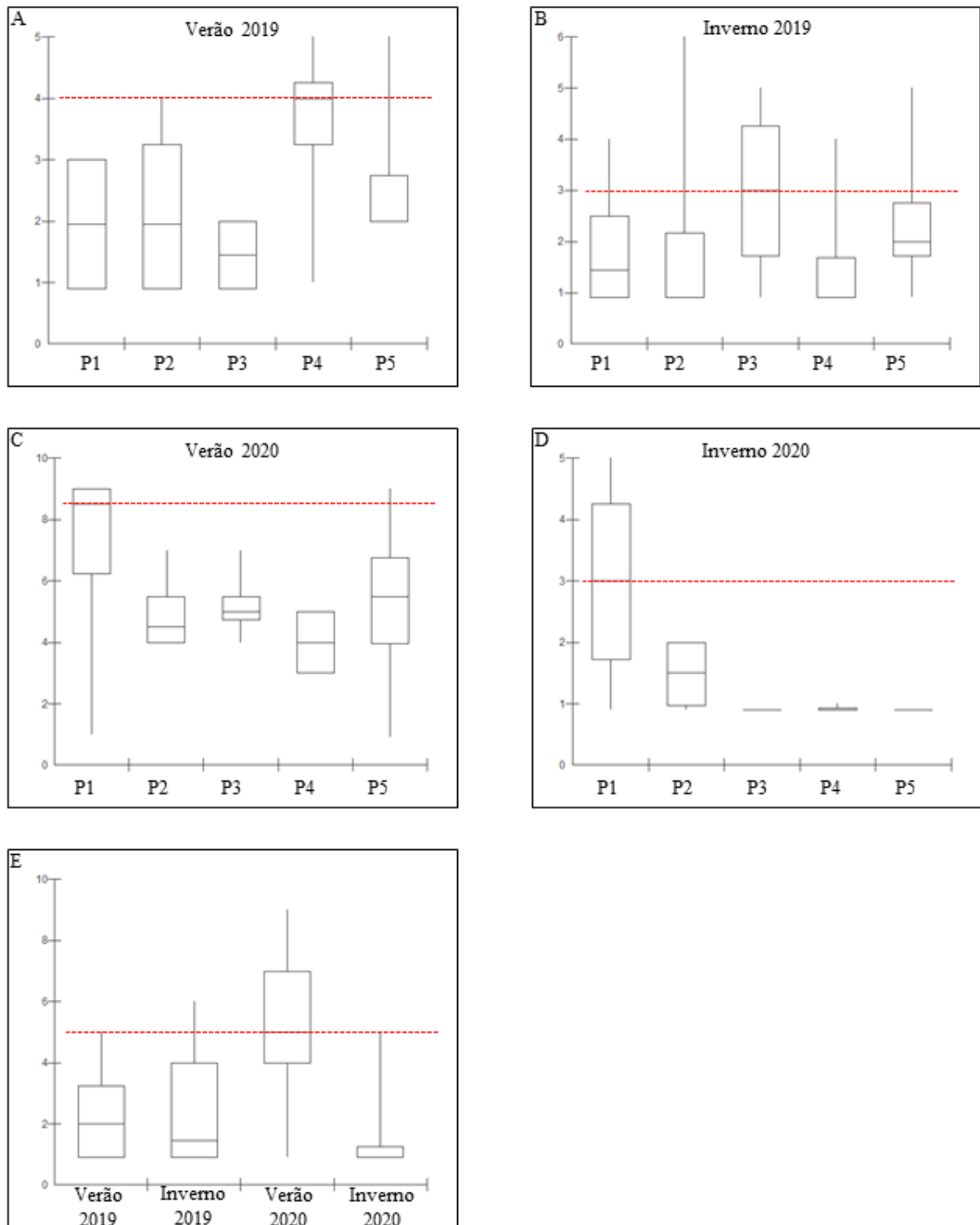
Na campanha de Verão de 2019 (Figura 11 – A) o Ponto 1 (P1) foi o que apresentou maior mediana e o maior valor de DQO (99 mg/L O<sub>2</sub>) quando comparado com os outros pontos. Na campanha de Inverno de 2019 (Figura 11 – B) o Ponto 4 (P4) foi o que apresentou maior mediana, enquanto que o Ponto 5 (P5) apresentou o maior valor de DQO (27 mg/L O<sub>2</sub>). Já na campanha de Verão de 2020 (Figura 11 – C) o Ponto 3 (P3) foi o que apresentou maior mediana e o maior valor de DQO com 114 mg/L O<sub>2</sub>. E, na campanha de Inverno de 2020 (Figura 11 – D) o Ponto 4 (P4) foi o que apresentou maior mediana e maior valor de DQO com 45 mg/L O<sub>2</sub>.

#### 4.2.4 Óleos e Graxas

Os resultados sobre os conteúdos de Óleos e Graxas da água da lagoa dos Esteves são apresentados na Figura 12. Quando comparadas todas as campanhas de amostragem entre si (Figura 12 – E), a campanha de Verão de 2020 foi a que apresentou a maior mediana e também a maior concentração de Óleos e Graxas com 9 mg/L. Nas comparações das campanhas de amostragens, entre si, em um mesmo ano, a campanha de Verão de 2019 apresentou a maior mediana quando comparada com a campanha de Inverno de 2019, porém a campanha de Inverno de 2019 apresentou o maior valor de concentração com 6 mg/L. Já na comparação entre os mesmos períodos de amostragens, de anos distintos, a campanha de Verão de 2020 apresentou a maior mediana quando comparada com a campanha de Verão de 2019. E, a campanha de Inverno de 2019 apresentou maior mediana quando comparada com a campanha de Inverno de 2020.

Nas análises de Óleos e Graxas da água, na campanha de Verão de 2019 (Figura 12 – A) o Ponto 4 (P4) foi o que apresentou maior mediana e, juntamente com o Ponto 5 (P5) a maior concentração de Óleos e Graxas com 5 mg/L. Na campanha de Inverno de 2019 (Figura 12 – B) o Ponto 3 (P3) foi o que apresentou a maior mediana, mas o Ponto 2 (P2) foi o que apresentou o maior valor de concentração de Óleos e Graxas com 6 mg/L. Enquanto que na campanha de Verão de 2020 (Figura 12 – C) a maior mediana foi apresentada pelo Ponto 1 (P1) e, juntamente com o Ponto 5 (P5) a maior concentração de Óleos e Graxas com 9 mg/L. E na campanha de Inverno de 2020 (Figura 12 – D) a maior mediana e a maior concentração de Óleos e Graxas foi do Ponto 1 (P1) com 5 mg/L.

Figura 12 - Boxplots das análises de Óleos e Graxas em água da lagoa dos Esteves, município de Balneário Rincão, sul de Santa Catarina.



----- = Mediana mais alta em relação aos outros elementos do mesmo gráfico.

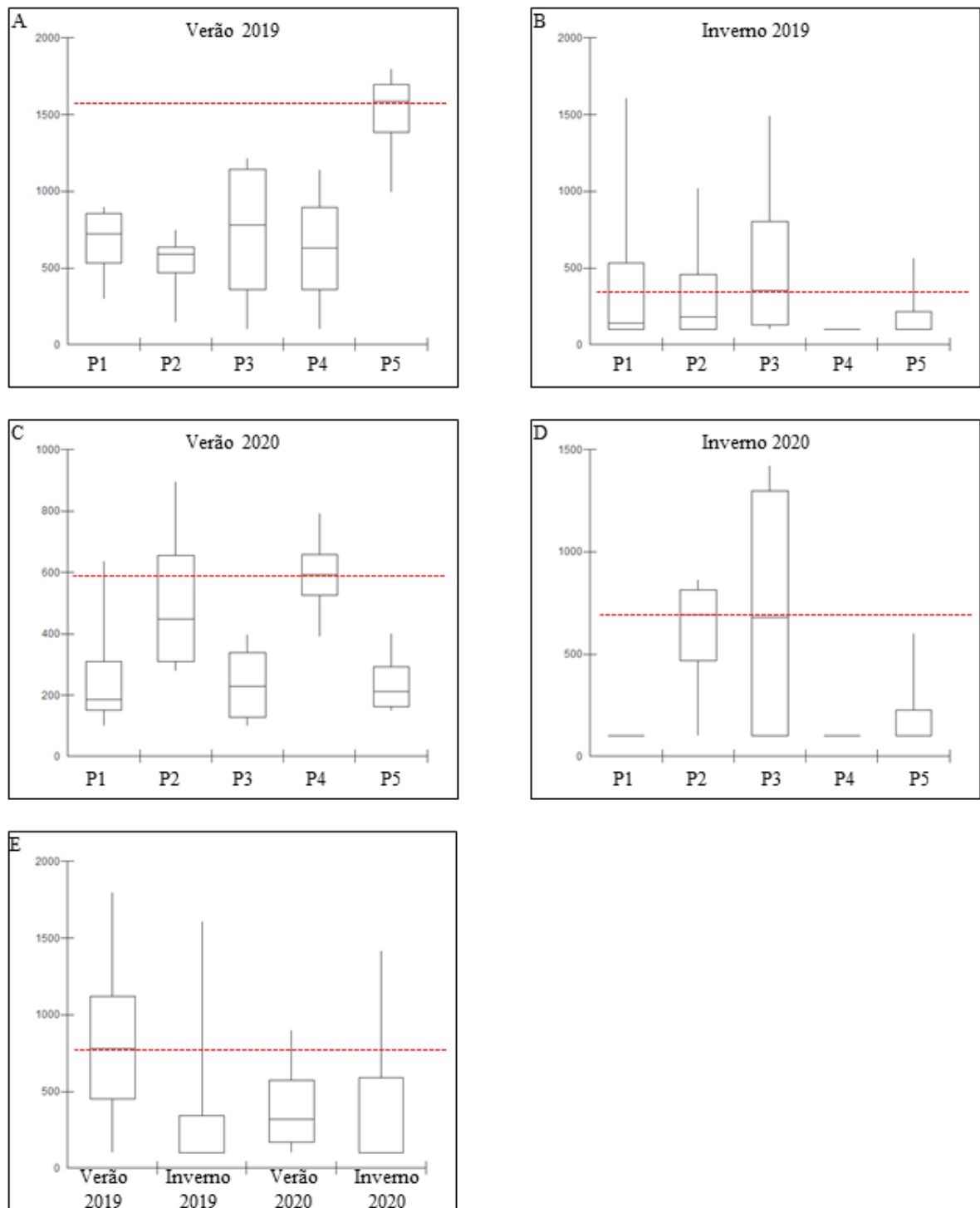
Fonte: Do autor (2022).

Os resultados sobre os conteúdos de Óleos e Graxas do sedimento da lagoa dos Esteves são apresentados na Figura 13. Na comparação entre as campanhas de amostragem (Figura 13

– E), a campanha de Verão de 2019 apresentou a maior mediana e a maior concentração de Óleos e Graxas com 1792 mg/L quando comparada com as demais campanhas. Já na comparação das campanhas de amostragem em um mesmo ano, as campanhas de Verão de 2019 e Verão de 2020 apresentaram as maiores medianas quando comparadas com as campanhas de Inverno de 2019 e Inverno de 2020, respectivamente. Por sua vez, quando comparadas as campanhas dos períodos de amostragens de anos distintos, a campanha de Verão de 2019 apresentou maior mediana quando comparada com a campanha de Verão de 2020. E as campanhas de Inverno de 2019 e Inverno de 2020 não apresentaram diferenças entre suas medianas.

Nas análises por campanhas do conteúdo de Óleos e Graxas no sedimento, na campanha de Verão de 2019 (Figura 13 – A), o Ponto 5 (P5) apresentou maior mediana e também a maior concentração (1792 mg/L) quando comparado com os outros pontos. Na campanha de Inverno de 2019 (Figura 13 – B) o Ponto 3 (P3) apresentou a maior mediana, porém, o Ponto 1 (P1) apresentou o maior valor de concentração de Óleos e Graxas (1602 mg/L) quando comparado com os outros pontos. Enquanto na campanha de Verão de 2020 (Figura 13- C) o Ponto 4 (P4) apresentou a maior mediana e o Ponto 2 (P2) apresentou a maior concentração de Óleos e Graxas (894 mg/L) quando comparado com os demais pontos. E, na campanha de Inverno de 2020 (Figura 13 – D) os Pontos 2 e 3 (P2 e P3) apresentaram medianas semelhantes, sendo a mediana do Ponto 2 (P2) mais elevada e o maior valor de concentração de 1417 mg/L no Ponto 3 (P3).

Figura 13 - Boxplots das análises de Óleos e Graxas em sedimento da lagoa dos Esteves, município de Balneário Rincão, sul de Santa Catarina.



----- = Mediana mais alta em relação aos outros elementos do mesmo gráfico.

Fonte: Do autor (2022).

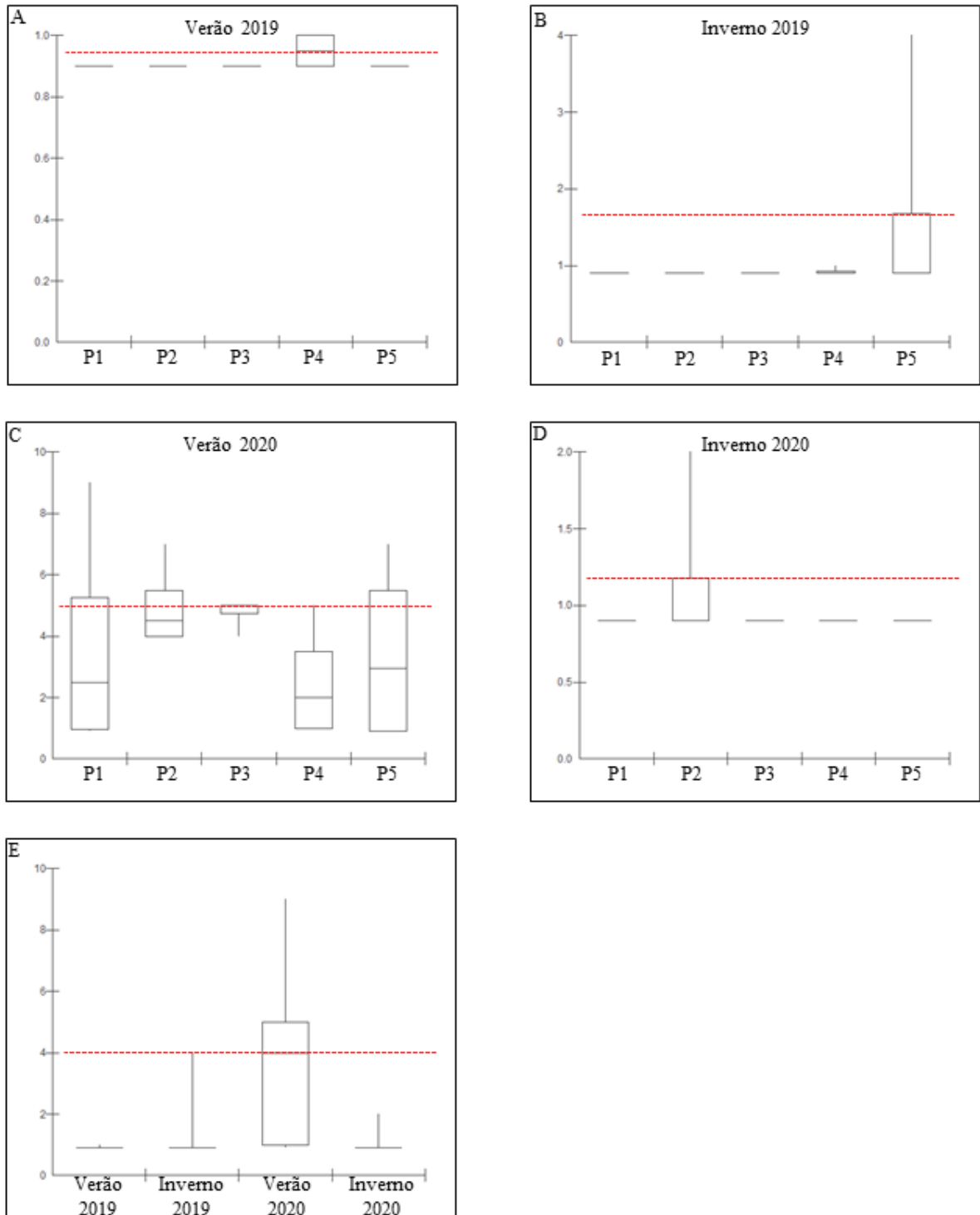
#### 4.2.5 Óleos Minerais (Hidrocarbonetos)

Os resultados sobre Óleos e Minerais (Hidrocarbonetos) da água da lagoa dos Esteves são apresentados na Figura 14. Quando comparadas as campanhas entre si, comparadas as campanhas de amostragem entre si em um mesmo ano, e, também, na comparação entre os anos, em relação as mesmas campanhas (Figura 14 – E), a campanha de Verão de 2020 apresentou maior mediana quando comparada com as medianas das demais campanhas. Apresentou também o maior valor de concentração de Óleos Minerais (7 mg/L) quando comparada com as outras campanhas.

Na comparação dos pontos de coleta entre si, na campanha de Verão de 2010 (Figura 14 – A) o Ponto 4 (P4) apresentou a maior mediana e o maior valor de concentração de Óleos Minerais com 1 mg/L. O mesmo pode ser observado com o Ponto 5 (P5) da campanha de Inverno de 2019 (Figura 14 – B) com maior mediana e maior valor de concentração de 4 mg/L e, também com o Ponto 2 (P2) da campanha de Inverno de 2020 (Figura 14 – D) apresentando a maior mediana e o maior valor de concentração de Óleos Minerais com 2 mg/L. Enquanto que na campanha de Verão de 2020 (Figura 14 – C) o Ponto 3 (P3) apresentou maior mediana e Ponto 1 (P1) apresentou o maior valor de concentração de Óleos Minerais com 9 mg/L.

Os resultados sobre Óleos Minerais (Hidrocarbonetos) no sedimento da lagoa dos Esteves são apresentados na Figura 15. Na comparação entre as campanhas de amostragem (Figura 15 – E) a campanha de Verão de 2019 apresentou a maior mediana e o maior valor de concentração de Óleos Minerais (1063 mg/L) quando comparada com as demais campanhas e quando comparadas as campanhas em um mesmo ano (Verão e Inverno de 2019), bem como na comparação entre as campanhas do mesmo período em anos diferentes (Verões de 2019 e 2020). Quando da comparação das campanhas de um mesmo ano, não houve diferenças nas campanhas de Verão e Inverno de 2020. Na comparação do mesmo período em anos diferentes, a campanha de Inverno de 2019 apresentou a maior mediana e o maior valor de concentração de Óleos Minerais (587 mg/L) quando comparado com a campanha de Inverno de 2020.

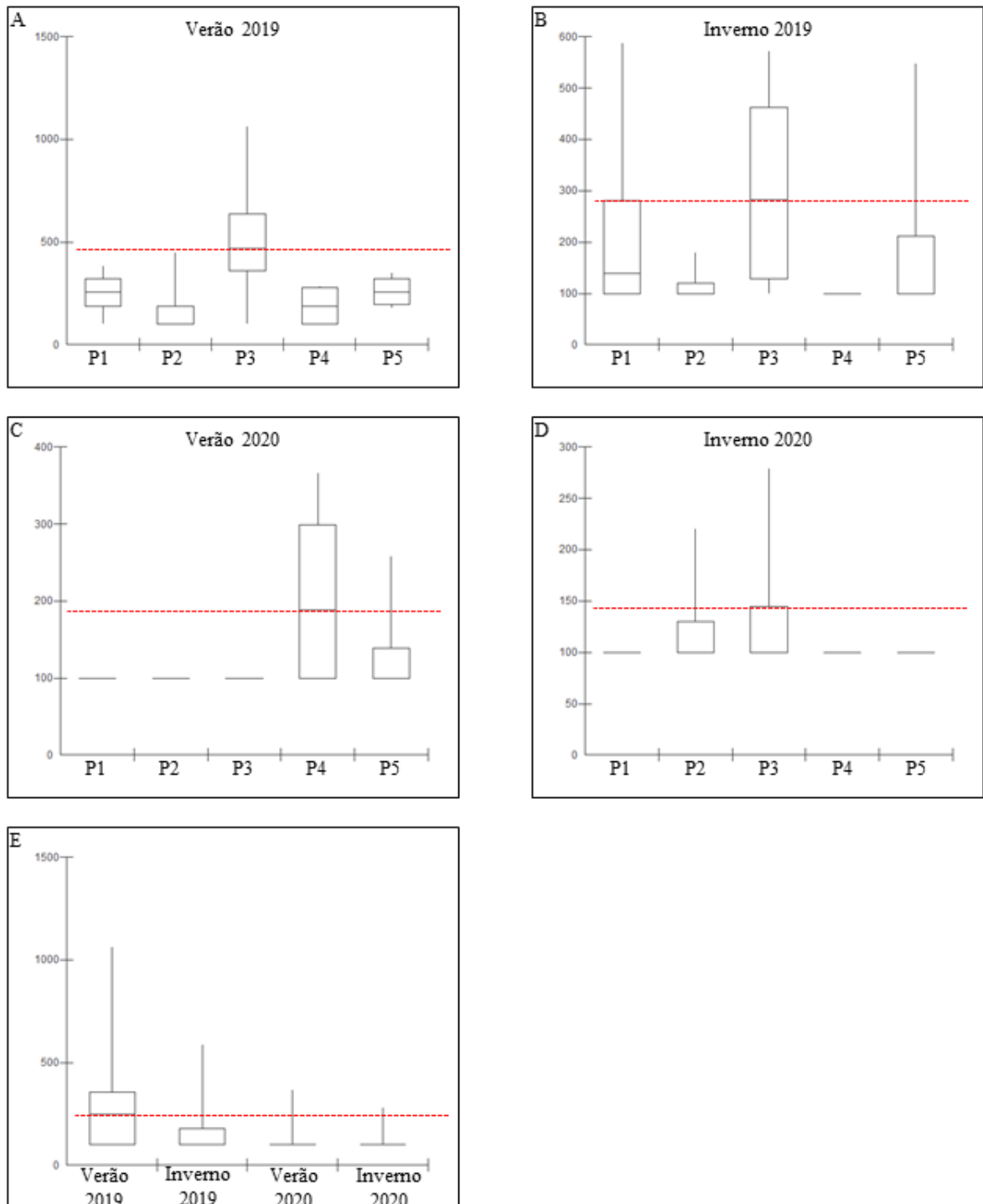
Figura 14 - Boxplots das análises de Óleos Minerais (Hidrocarbonetos) em água da lagoa dos Esteves, município de Balneário Rincão, sul de Santa Catarina.



----- = Mediana mais alta em relação aos outros elementos do mesmo gráfico.

Fonte: Do autor (2022).

Figura 15 - Boxplots das análises de Óleos Minerais (Hidrocarbonetos) em sedimento da lagoa dos Esteves, município de Balneário Rincão, sul de Santa Catarina.



----- = Mediana mais alta em relação aos outros elementos do mesmo gráfico.

Fonte: Do autor (2022).

Quando comparados os pontos de coletas por campanhas de amostragens, na campanha de Verão de 2019 (Figura 15 – A) o Ponto 3 (P3) apresentou maior mediana e o maior valor de concentração (1063 mg/L). Na campanha de Inverno de 2019 (Figura 15 – B) o

Ponto 3 (P3) apresentou maior mediana, mas o Ponto 1 (P1) apresentou o maior valor de concentração de Óleos Minerais (587 mg/L). Enquanto que na campanha de Verão de 2020 (Figura 15 – C) o Ponto 4 (P4) apresentou a maior mediana e o maior valor de concentração de Óleos Minerais (366 mg/L) quando comparado com os demais pontos. O mesmo pode ser observado no Ponto 3 (P3) da campanha de Inverno de 2020 (Figura 15 – D) com a maior mediana e o maior valor de concentração (279 mg/L).

#### 4.2.6 Óleos Vegetais e Gorduras Animais

Os resultados sobre OVGA da água da lagoa dos Esteves são apresentados na Figura 16. Quando comparadas as campanhas de amostragem (Figura 16 – E), a campanha de Verão de 2020 apresentou a maior mediana e o maior valor de concentração de OVGA com 8 mg/L em relação as demais campanhas. Na comparação entre as campanhas de amostragem em um mesmo ano, a campanha de Verão de 2019 apresentou a maior mediana quando comparada com a campanha de Inverno de 2019. Porém, a campanha de Inverno de 2019 apresentou o maior valor de concentração de OVGA (6 mg/L) quando comparada com a campanha de Verão de 2019. Já a campanha de Verão de 2020 apresentou a maior mediana e o maior valor de concentração de OVGA (8 mg/L) quando comparada com a campanha de Inverno de 2020. Quando comparadas as campanhas de amostragem por períodos em anos distintos, a campanha de Verão de 2020 apresentou a maior mediana e o maior valor de concentração de OVGA (8 mg/L) quando comparada com a campanha de Verão de 2019. O mesmo pode ser observado com a campanha de Inverno de 2019 quando comparada com a campanha de Inverno de 2020 com a maior mediana e o maior valor de concentração de OVGA com 6 mg/L.

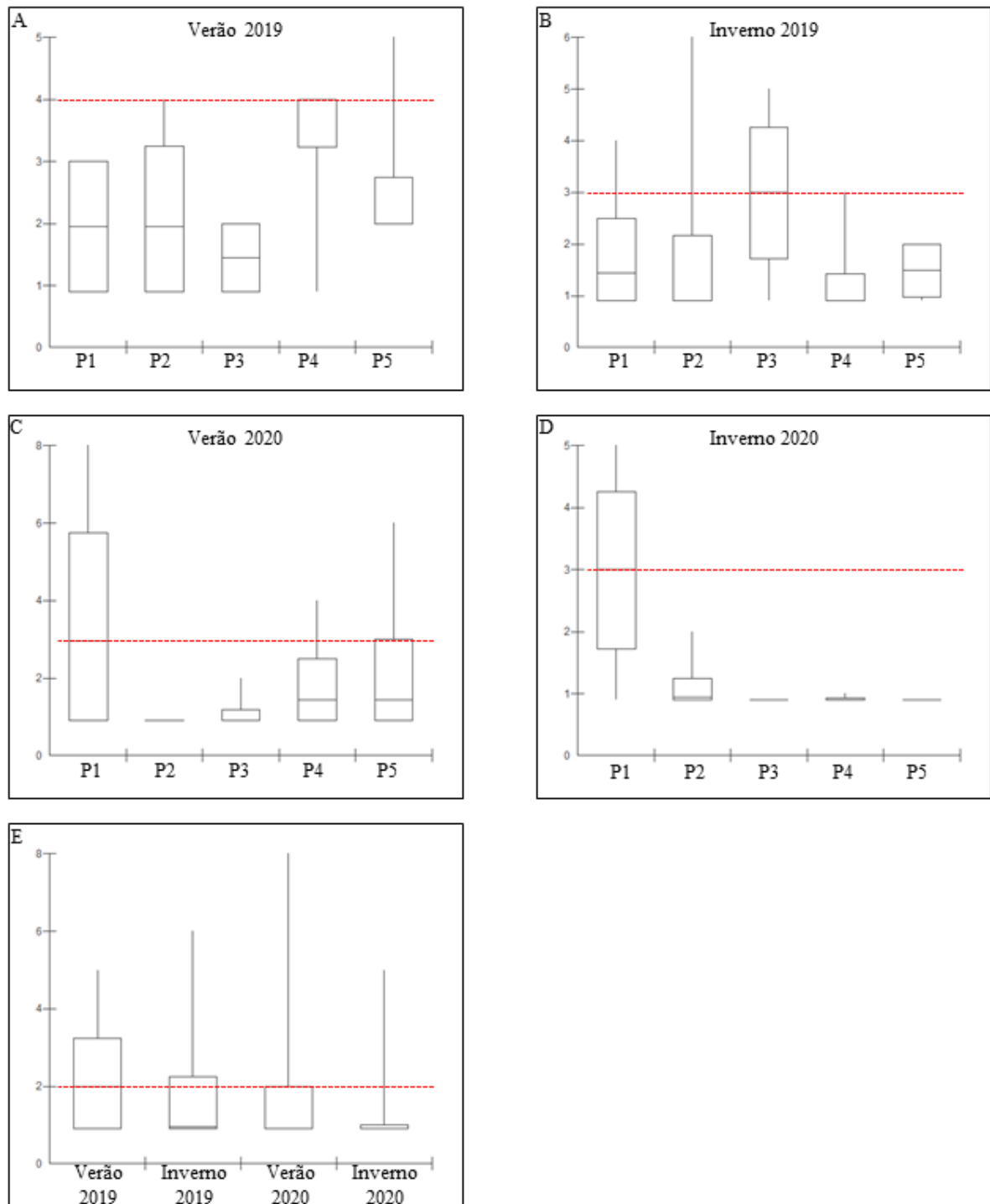
Na comparação dos pontos de coletas na mesma campanha de amostragem, na campanha de Verão de 2019 (Figura 16 – A) o Ponto 4 (P4) apresentou a maior mediana, porém o Ponto 5 (P5) apresentou o maior valor de concentração de OVGA com 5 mg/L. O mesmo pode ser observado na campanha de Inverno de 2019 (Figura 16 – B), onde o Ponto 3 (P3) apresentou maior mediana e o Ponto 2 (P2) apresentou maior valor de concentração de OVGA com 6 mg/L. Já nas campanhas de Verão de 2020 (Figura 16 – C) e Inverno de 2020 (Figura 16 – D) o Ponto 1 (P1) apresentou ambos, a maior mediana e o maior valor de concentração de OVGA com 8 mg/L e 5 mg/L, respectivamente.

Os resultados sobre o conteúdo de OVGA no sedimento da lagoa dos Esteves são apresentados na Figura 17. Na comparação entre as campanhas de amostragem (Figura 17 – E)

a campanha de Inverno de 2020 apresentou a maior mediana, enquanto que a campanha de Verão de 2019 apresentou o maior valor de concentração de OVGA com 1593 mg/L. Quando comparados as campanhas em um mesmo ano, a campanha de Verão de 2019 apresentou a maior mediana e o maior valor de concentração de OVGA (supracitado) quando comparada com a campanha de Inverno de 2019. O mesmo pode ser observado com a comparação da campanha de Inverno de 2020 com a campanha de Verão de 2020, onde a campanha de Inverno de 2020 apresentou maior mediana e o maior valor de concentração de OVGA com 1258 mg/L. Nas comparações entre os períodos de amostragens de anos distintos, as campanhas de Verão de 2019 e Inverno de 2020 apresentaram maiores medianas e os maiores valores de concentração de OVGA com 1593 mg/L e 1258 mg/L (respectivamente) quando comparadas com as campanhas de Verão de 2020 e Inverno de 2019, respectivamente.

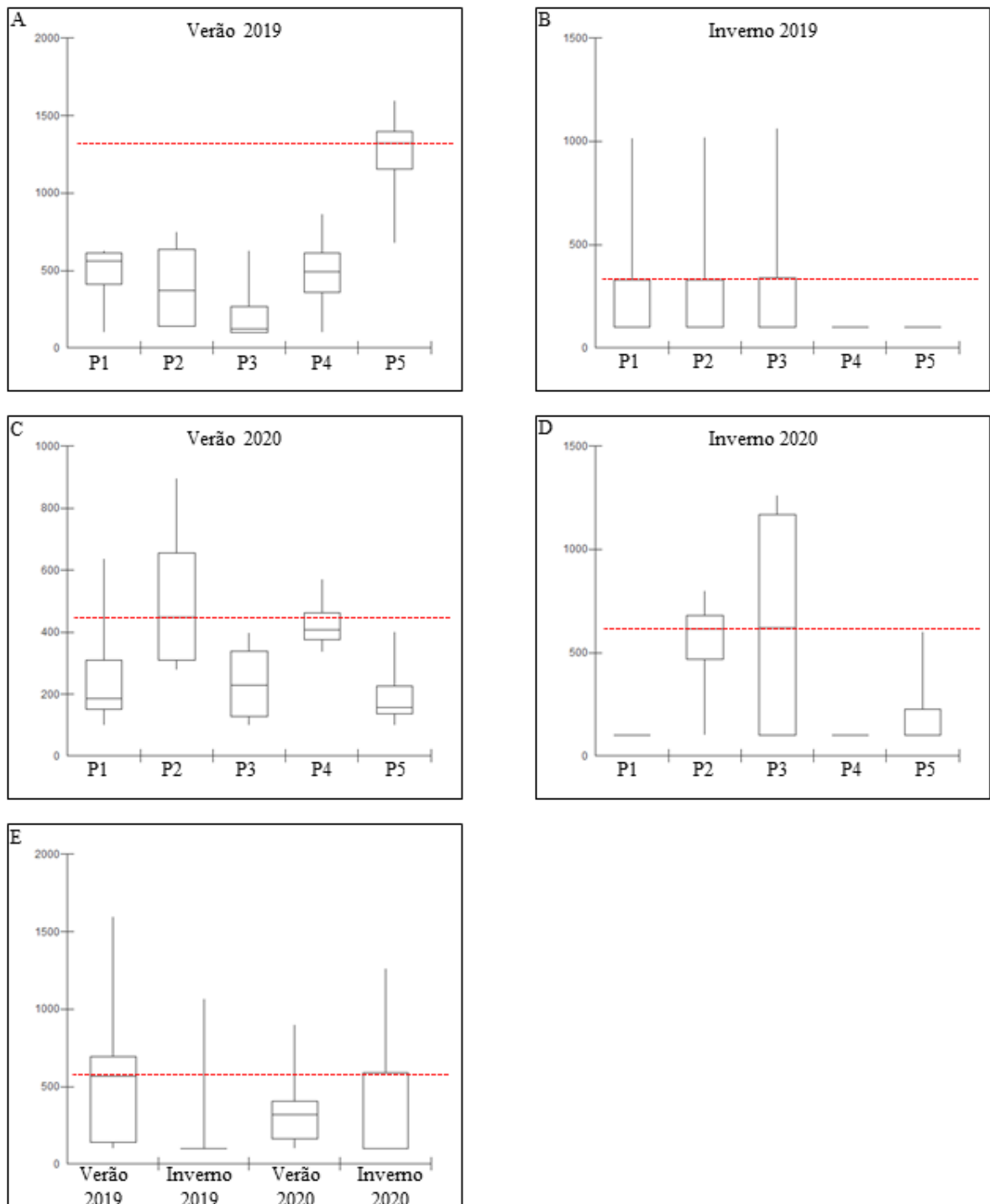
Na comparação dos pontos de coletas na mesma campanha de amostragem, na campanha de Verão de 2019 (Figura 17 – A) o Ponto 5 (P5) apresentou a maior mediana e o maior valor de concentração de OVGA (1593 mg/L) quando comparado com os demais pontos. Já na campanha de Inverno de 2019 (Figura 17 – B) os Pontos 1, 2 e 3 (P1, P2 e P3) apresentaram medianas semelhantes e o ponto 3 (P3) apresentou o maior valor de concentração de OVGA com 1062 mg/L quando comparado com os demais pontos. E na campanha de Verão de 2020 (Figura 17 – C) o Ponto 2 (P2) apresentou a maior mediana e o maior valor de concentração de OVGA com 894 mg/L. O mesmo pode ser observado na campanha de Inverno de 2020 (Figura 17 – D), onde o Ponto 3 (P3) apresentou a maior mediana e o maior valor de concentração de OVGA (1258 mg/L) quando comparado com os demais pontos.

Figura 16 - Boxplots das análises de Óleos Vegetais e Gorduras Animais em água da lagoa dos Esteves, município de Balneário Rincão, sul de Santa Catarina.



Fonte: Do autor (2022).

Figura 17 - Boxplots das análises de Óleos Vegetais e Gorduras Animais em sedimento da lagoa dos Esteves, município de Balneário Rincão, sul de Santa Catarina.



----- = Mediana mais alta em relação aos outros elementos do mesmo gráfico.

Fonte: Do autor (2022).

#### 4.2.7 Compostos Orgânicos Semi Voláteis (SVOC), Organofosforados, Organoclorados e Carbamatos

As análises de SVOC, Organofosforados, organoclorados e carbamatos evidenciaram resultados abaixo dos limites de detecção em todos os pontos de amostragem, campanhas e compartimentos analisados (Tabelas 12, 13 e 14).

Tabela 2 – Compostos Orgânicos Semi Voláteis ( $\mu\text{L}$ ) em água e sedimento da lagoa dos Esteves, Balneário Rincão, sul de Santa Catarina.

Parâmetros	Limite de quantificação	Detectado
Metolaclo-ro	0,01	< 0,01
Molinato	0,01	< 0,01
Pendimetalina	0,01	< 0,01
Permetrina	0,01	< 0,01
Simazina	0,01	< 0,01
Trifluralina	0,01	< 0,01
Tebuconazol	0,01	< 0,01

Valores detectados representam os resultados de todas as amostras.

Tabela 3 – Organofosforados ( $\mu\text{L}$ ) em água e sedimento da lagoa dos Esteves, Balneário Rincão, sul de Santa Catarina.

Parâmetros	Limite de quantificação	Detectado
Clorpirifós + Clorpirifós-oxon	0,02	<0,02
Metamidofós	0,01	< 0,01
Profenofós	0,01	< 0,01
Terbufós	0,01	< 0,01
Tionazina	0,01	< 0,01
Sulfotep	0,01	< 0,01
Forato	0,01	< 0,01
Dimetoato	0,01	< 0,01
Dissulfoton	0,01	< 0,01
Metil paration	0,01	< 0,01
Paration	0,01	< 0,01
Famfur	0,01	< 0,01
o,o,o-Trietilfosforotiato	0,01	< 0,01

Valores detectados representam os resultados de todas as amostras.

Tabela 4 – Organoclorados e carbamatos ( $\mu\text{L}$ ) em água e sedimento da lagoa dos Esteves, Balneário Rincão, sul de Santa Catarina.

Parâmetros	Limite de quantificação	Detectado
Clordano	0,01	< 0,01
Endossulfan (I + II + Sulfato)	0,03	< 0,03
Endrin	0,01	< 0,01
HCH Gama	0,01	< 0,01
DDD	0,01	< 0,01
DDT	0,01	< 0,01
DDE	0,01	< 0,01
HCH Alfa	0,01	< 0,01
HCH Beta	0,01	< 0,01
HCH Delta	0,01	< 0,01
Aldrin	0,01	< 0,01
Dieldrin	0,01	< 0,01
Carbofurano	0,01	< 0,01

Valores detectados representam os resultados de todas as amostras.

Para não haver influência na classificação da qualidade ambiental da lagoa dos Esteves, estes dados também não foram utilizados nos métodos de classificação. Dado o desconhecimento das características físico-química da lagoa dos Esteves nos motivou a realizar uma investigação mais completa, mas com os resultados retornando com valores abaixo do limite de quantificação optou-se pela não utilização destes na sequência dos testes.

#### 4.3 ECOTOXICIDADE

Nas análises de ecotoxicidade em *Daphnia magna* (Tabela 5) os pontos de amostragem não diferiram em relação à taxa de sobreviventes quando comparados com o controle negativo do teste. Porém, os pontos 1 e 3 tiveram taxa de sobreviventes menor ( $P < 0,05$ ), quando comparados com os pontos 2, 4 e 5.

Apesar desta diferença os pontos 1 e 3 não podem ser considerados tóxicos, já que, segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA, 2002) e NBR 12713 (ABNT, 2016), para ser considerado tóxico o número de *Daphnia magna* sobrevivente precisa ser significativamente menor quando comparado com o controle negativo.

Tabela 5 – Ecotoxicidade em *Daphnia magna* da água da lagoa dos Esteves, Balneário Rincão, sul de Santa Catarina.

Variável	Locais de Amostragem					
	Controle Negativo	P1	P2	P3	P4	P5
Sobreviventes (%)	90	75 <sup>a</sup>	95	75 <sup>a</sup>	95	95

<sup>a</sup> = Indica valores menores e diferença em relação aos demais pontos e ao controle negativo  $p < 0,05$  (teste Tukey).  
N = 4 por ponto de coleta

#### 4.4 CLASSIFICAÇÃO AMBIENTAL

A classificação da qualidade ambiental da lagoa dos Esteves usando os métodos integrados da Matriz de Leopold (Tabela 6) e *Random Forest* de classificação (Tabela 7) resultou em uma estimativa de erros de apenas 20%, o que indica que a qualidade ambiental da lagoa está ruim.

Tabela 6 – Valores da Matriz de Leopold, adaptada, para cada ponto e análise para a integração com o *Random Forest*.

Estações /Anos	Pontos	Compartimentos												Qualidade da lagoa
		Paisagem	Água						Sedimento					
		Uso da Terra	DBO	DQO	OG	OM	OVGA	CT	ECOT	OG	OM	OVGA	CT	
Verão/2019	P1	0	5	-4	-5	5	-5	4	4	-5	-5	-5	4	Ruim
	P2	0	5	0	-5	5	-5	4	4	-5	-5	-5	4	Ruim
	P3	0	5	0	-5	5	-5	4	4	-5	-5	-5	4	Ruim
	P4	0	5	0	-5	-5	-5	4	4	-5	-5	-5	4	Ruim
	P5	0	5	0	-5	5	-5	4	4	-5	-5	-5	4	Ruim
Inverno/2019	P1	0	5	4	-5	5	-5	4	4	-5	-5	-5	4	Boa
	P2	0	5	4	-5	5	-5	4	4	-5	-5	-5	4	Boa
	P3	0	5	0	-5	5	-5	4	4	-5	-5	-5	4	Ruim
	P4	0	5	0	-5	-5	-5	4	4	5	5	5	4	Boa
	P5	0	5	0	-5	-5	-5	4	4	-5	-5	5	4	Ruim
Verão/2020	P1	0	5	0	-5	-5	-5	4	4	-5	5	-5	4	Ruim
	P2	0	5	4	-5	-5	5	4	4	-5	5	-5	4	Boa
	P3	0	-4	-4	-5	-5	-5	4	4	-5	5	-5	4	Ruim
	P4	0	5	-4	-5	-5	-5	4	4	-5	-5	-5	4	Ruim
	P5	0	5	-4	-5	-5	-5	4	4	-5	-5	-5	4	Ruim
Inverno/2020	P1	0	5	4	-5	5	-5	4	4	5	5	5	4	Boa
	P2	0	5	0	-5	-5	-5	4	4	-5	-5	-5	4	Ruim
	P3	0	5	4	5	5	5	4	4	-5	-5	-5	4	Boa
	P4	0	5	0	-5	5	-5	4	4	5	5	5	4	Boa
	P5	0	5	4	5	5	5	4	4	-5	5	-5	4	Boa

DBO = Demanda bioquímica de oxigênio; DQO = Demanda química de Oxigênio; OG = Óleos e graxas; OM = Óleos minerais; OVGA = Óleos vegetais e gorduras animais; CT = Coliformes termotolerantes; ECOT = Ecotoxicidade.

Tabela 7 – Matriz de Confusão *Random Forest* para dados coletados na lagoa dos Esteves, Balneário Rincão, sul de Santa Catarina.

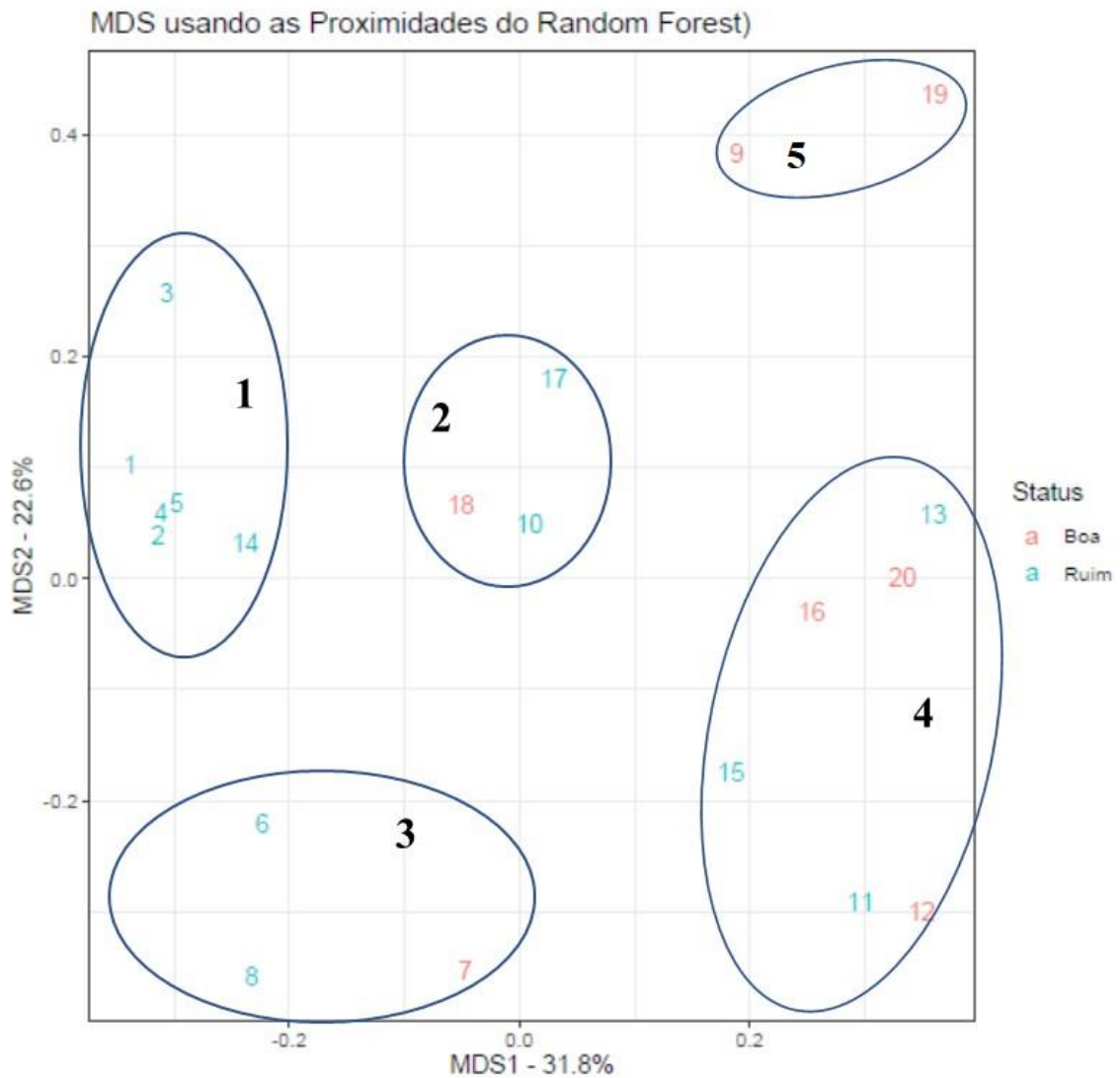
	Boa	Ruim	Erro
Boa	3	4	0,5714286
Ruim	0	13	0,0

Dados calculados com uma estimativa de erro de 20%.

A proximidade dos locais de amostragem utilizados para avaliação da qualidade ambiental da lagoa dos Esteves, obtida por meio da análise MDS é demonstrada na figura 18, que nos permite identificar a formação de cinco agrupamentos. O agrupamento 1 incluiu os conjuntos de dados de variáveis amostradas 1, 2, 3, 4, 5 e 14 (os quatro primeiros conjuntos estão relacionados à estação de verão/2019 e o último à estação de verão/2020), cujas épocas de amostragem (estações) foram classificadas como de boa qualidade. O agrupamento 2, por sua vez, é constituído pelos conjuntos de dados de variáveis ambientais amostradas 10, 17 e 18 (o conjunto 10 foi obtido na estação de inverno/2019 e os demais na estação de verão/2020), cujas classificações de qualidade foram ruins para os conjuntos 10 e 17 e boa para o 18. Já o Agrupamento 3 que englobou os conjuntos de dados de variáveis amostradas 6, 7 e 8 (todos relacionados à estação de inverno/2019), o primeiro e último conjunto foram classificadas como de qualidade ruim, enquanto o segundo, de qualidade boa. O agrupamento 4 é constituído pelos conjuntos de dados de variáveis ambientais amostradas 11, 12, 13, 15, 16 e 20 (os conjuntos 16 e 20 foram obtido na estação de inverno/2020 e os demais na estação de verão/2020), cujas classificações de qualidade foram boas para os conjuntos 15 e 16 e ruim para os demais. E por fim, temos o agrupamento 5 que é formado pelos conjuntos de dados de variáveis amostradas 9 e 19 (o conjunto 9 obtido no verão de 2019 e o conjunto 19 obtido na estação de inverno/2020) ambos com classificação de qualidade boa.

A interpretação da proximidade entre os pontos amostrais nos mostra que os pontos estão separados entre si (Figura 18), havendo baixa similaridade entre os mesmos em relação ao conjunto de parâmetros analisados. A similaridade entre os pontos significaria que o teste de *Random Forest* estaria repetindo dados para a classificação. Havendo baixa similaridade, ou seja, pontos distribuídos de forma espaçada no gráfico bidimensional, indica que o teste de *Random Forest* realizou as 500 árvores sem estar repetindo os dados nos nós das variáveis, com o menor número de variáveis em cada tentativa, e gerando assim a menor estimativa de erro possível.

Figura 18 – Método de Escalonamento Multidimensional (MDS) para representar as similaridades entre os pontos analisados para definição da qualidade ambiental da lagoa dos Esteves, Balneário Rincão, sul de Santa Catarina.

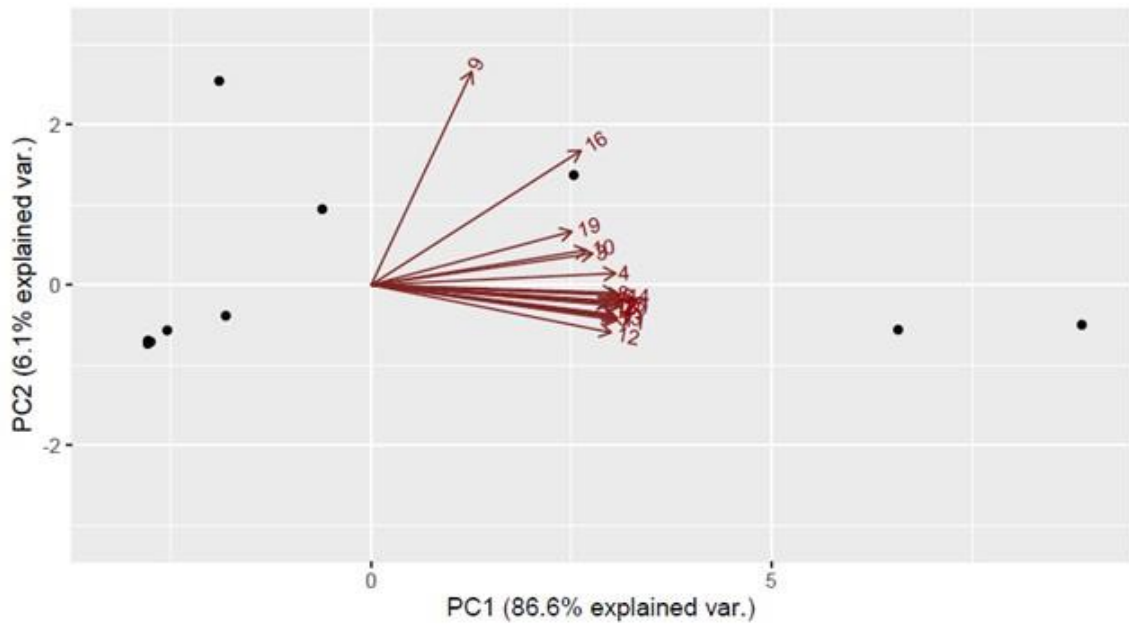


Fonte: Do autor (2022)

De acordo com a Análise de Componentes Principais (PCA) a proporção de variância dos componentes PC1, PC2 e PC3 somadas é maior do que 95%, explicando a variabilidade das amostras (Tabela 8). Na interpretação visual da PCA (Figura 19), onde cada vetor representa um ponto de coleta em uma determinada estação de amostragem (1 a 20) ao longo dos dois anos de estudo, quanto mais próximos os vetores estiverem entre si, maior é a correlação entre estes. Com o modelo sendo explicado em mais de 86% pelo componente 1 (representando o eixo x) e por 6,1% pelo componente 2 (representando o eixo y) na figura 19 (Tabela 8) e, não havendo dissimilaridades e nem autovalores negativos (Figura 19) podemos concluir que as análises

utilizadas para a classificação ambiental da lagoa dos Esteves contribuíram de maneira similar, e que, portanto, a classificação da Qualidade Ambiental da lagoa dos Esteves é Ruim.

Figura 19 – Análise dos Componentes Principais (PCA) aplicada aos pontos analisados para definição da qualidade ambiental da lagoa dos Esteves, Balneário Rincão, sul de Santa Catarina.



Fonte: Do autor (2022).

Tabela 8 – Importância dos componentes principais de cada eixo.

Componentes Principais	Métricas		
	Desvio Padrão	Proporção de Variância	Proporção Cumulativa
PC1	4,1608	0,8656	0,8656
PC2	1,10861	0,06145	0,92708
PC3	0,8899	0,0396	0,9667
PC4	0,69828	0,02438	0,99105
PC5	0,38513	0,00742	0,99847
PC6	0,1734	0,0015	1
PC7	0,01987	0,00002	0,99999
PC8	0,01047	0,00001	1
PC9	0,0072	0	1
PC10	0,00254	0	1
PC11	1,53E-16	0,00E+00	1,00E+00

## 5 DISCUSSÕES

Nas análises de uso e cobertura da terra, entre as seis classes identificadas na faixa de APP da lagoa dos Esteves, menos de 50% representam as áreas naturais da lagoa, como as vegetações de restinga e dunas (classes Duna exposta, Restinga herbácea arbustiva e Restinga arbórea). A classe denominada de Antrópico, que representa as áreas com algum tipo de construção de edificações e de pavimentação como estradas, ocupa mais de 31% da faixa de APP da lagoa dos Esteves, cujos resultados de ocupação se refletem na qualidade do corpo hídrico.

Segundo o Novo Código Florestal Brasileiro, Lei nº 12651, de 2012, as áreas de APP têm, entre suas funções, a função ambiental de preservar os recursos hídricos (BRASIL, 2012). Seguindo a Lei supracitada, a área de APP de lagos e lagoas naturais em zonas rurais é de 100 metros de distância. A substituição da cobertura nativa das faixas de APP, por edificações, leva a impermeabilização do solo, o que por sua vez, afetam os sistemas ecológicos e põem em risco os recursos naturais (PELEGRINI, 2021).

Apesar de a legislação ambiental brasileira ser vista como uma das melhores do mundo, ainda há muitas deficiências em sua implementação (EUGENIO et al., 2011). Como exemplo, a Lei nº 12651, de 2012 define que em áreas urbanas, a faixa de APP de lagos e lagoas naturais seria de apenas 30 metros sendo responsabilidade dos municípios definirem as áreas urbanas e rurais em seu território (BRASIL, 2012). No município de Balneário Rincão, o zoneamento municipal foi realizado através da Lei Complementar nº 22, de 2018, onde foi delimitado em 50 metros a faixa de APP para a lagoa dos Esteves (BALNEÁRIO RINCÃO, 2018). Segundo este zoneamento, a lagoa dos Esteves encontra-se em área urbana do município. Contudo, apesar de ser responsabilidade dos municípios o zoneamento urbano, a Lei nº 7661, de 1988 cita que deverão prevalecer sempre, para fins de zoneamento, as disposições de natureza mais restritiva (BRASIL, 1988). Logo, para fins de segurança ambiental, consideramos neste trabalho como APP os 100 metros de distância da margem da lagoa dos Esteves em concordância com a Lei nº 12651, de 2012, bem como a Lei Estadual nº 13553, de 2005 e o Decreto Estadual nº 5010, de 2006 (SANTA CATARINA, 2005; 2006; BRASIL, 2012).

Ações as quais envolvam mobilização social, no intuito de preservar o meio ambiente, são necessárias para o planejamento e gerenciamento ambiental das cidades (PELEGRINI, 2021). Essas mobilizações ocorrem quando há um sentimento de pertencimento em relação ao

meio ambiente, o pertencimento surge relacionado à memória e em função dos sentimentos que esta desperta, assim sendo, a demanda pela preservação vem em conjunto (PIEPER; BEHLING; DOMINGUES, 2014). Este trabalho surgiu de uma demanda vinda da comunidade do entorno da lagoa dos Esteves, capitaneada pelos moradores do Condomínio Vila Suíça II, o que nos leva ao entendimento de que o sentimento de pertencimento destes já é algo estabelecido. Da mesma forma se verifica com a aprovação recente do Projeto de Lei nº 14, de 2022 (BALNEÁRIO RINCÃO, 2022), partindo de uma iniciativa popular, onde a área de APP no Condomínio Vila Suíça II é fixada em forma poligonal, nas margens da lagoa dos Esteves, com área de 96,05 Km<sup>2</sup> e perímetro de 1,77 Km<sup>2</sup>, visando a preservação de uma área de sambaqui.

Na região noroeste da lagoa dos Esteves, onde está localizada a maior parte do maior adensamento populacional do entorno da lagoa dos Esteves, mas fora faixa de APP, encontram-se duas nascentes por afloramento do lençol freático. Na imagem aérea datada de 1957 (Figura 4) é possível visualizar a maior nascente. Apesar de ser sempre mencionada pela população residente do entorno da lagoa dos Esteves como uma área de interesse para ser preservada pelos mesmos, estas nascentes encontram-se desprotegidas e sofrendo com as ações antrópicas existentes no local.

Outra possível percepção ao visualizar a imagem aérea da lagoa dos Esteves datada de 1957 (Figura 4) é de que a área leste da lagoa, possuía mais dunas expostas e no mapa de uso da terra atual (Figura 7), esta porção é coberta em sua maior parte por vegetação de Restinga arbórea. Tal fato pode ser atribuído a três fatores principais, primeiro de que a área leste da lagoa dos Esteves é a área de face exposta para o mar, logo também é a área que sofre com maior intensidade dos ventos e com as areias de dunas carregadas com o vento, o que dificulta o estabelecimento de moradias; segundo, o sentimento de pertencimento dos habitantes do entorno da lagoa, e a conscientização ambiental que vem crescendo nestes moradores, onde em algumas áreas é respeitada a faixa de APP e contam com o auxílio dos mesmos para a proteção destes locais mais naturais do entorno da lagoa dos Esteves e; o terceiro, relacionado a maior fiscalização e atuação do poder público, no sentido de coibir ações de degradação ambiental.

As classes denominadas como Pastagem e Agrossistemas juntas cobrem mais de 21% da faixa de APP da lagoa dos Esteves. As áreas denominadas como pastagem, são, em grande maioria, áreas de gramados antrópicos, que são utilizadas para criação de gado nas propriedades e nos últimos tempos, utilizadas para visitação turística no entorno da lagoa em época de veraneio, e nestas áreas, o tráfego de veículos automotivos é, em geral, permitido. Apesar de que nestas áreas a permeabilidade do solo é menos afetada do que em áreas com edificações, o

pisoteio destas áreas pelo gado e o uso para o turismo leva a compactação do solo, e por sua vez reduzindo sua capacidade de permeabilidade (STEFANOSKI et al., 2013).

O turismo é destacado como sendo importante fonte geradora de recursos para o estado de Santa Catarina e para o município de Balneário Rincão (BAUCKE; ZAMBÃO; SERBENT, 2016). O uso recreacional de contato primário da lagoa dos Esteves ocorre principalmente nos meses de veraneio, quando há maior concentração de turistas e moradores. A população fixa do município de Balneário Rincão é de cerca de 13000 habitantes, e na alta temporada este número pode chegar a 150000 pessoas (SANTA CATARINA, 2022; IBGE, 2022).

As edificações no entorno da lagoa dos Esteves são utilizadas, em grande maioria, como segunda moradia. No período deste trabalho, contudo, observou-se um comportamento diferenciado do padrão para a região. Por conta da pandemia de COVID-19 e do isolamento social necessário para conter o vírus, não houve o adensamento da população costumeiro para a região no período de alta temporada, para o ano 2020. Porém, as edificações que foram utilizadas como segunda moradia, no período de isolamento, passaram a ser utilizadas como moradia principal, elevando o número populacional da lagoa dos Esteves no período de baixa temporada (inverno de 2020), que também se refletiu na qualidade das variáveis ambientais relacionadas à água e ao sedimento, conforme será discutido abaixo.

A classe de Agrossistemas foi a segunda com menor área observada na faixa de APP da lagoa dos Esteves, ocupando menos de 5% desta. Em suma, através de observação local, estes sistemas são formados principalmente pelo plantio de espécies cítricas. Além dos conflitos gerados pelo uso inadequado do solo em áreas de APP, este tipo de uso também gera o risco de contaminação por defensivos agrícolas, como organoclorados, organofosforados e carbamatos, mas em função da menor representatividade de uso da terra, ou pelo não uso de tais compostos nos agrossistemas aqui apresentados, neste trabalho não foi detectado contaminação por tais substâncias químicas, assim como, também não foram detectadas a presença de SVOC na água e sedimento da lagoa dos Esteves. Outro fato que merece destaque é que as plantações de espécies cítricas estão localizadas a montante do fluxo hidrológico da lagoa, isto é, está na face leste da lagoa, e separadas da margem da lagoa pela presença de uma duna de tamanho considerável. Estes fatos podem ter contribuído para o não carreamento de pesticidas, provavelmente utilizados nestas culturas, para dentro da lagoa.

Uma prática turística que se tornou comum e estabelecida na lagoa dos Esteves é a recreação náutica, incluindo o uso de embarcações a motor. Além de interferir diretamente no ecossistema aquático, como por exemplo, revolvendo o substrato do fundo e provocando a

morte acidental da fauna local, a poluição hídrica por vazamentos de óleos combustíveis também é um fator a ser considerado, devido à elevação dos níveis de hidrocarbonetos presente no petróleo e, por consequência, nos combustíveis utilizados (REZENDE, 2003). Somados ao fato de que diversas substâncias tóxicas são utilizadas por embarcações, como exemplo o As (arsênio) presente nas pinturas e preservativos de casco de algumas embarcações (VIRGINIO-JUNIOR, 2011).

Em nossos resultados, apesar de ter sido detectado a presença de óleos minerais na água e no sedimento da lagoa dos Esteves, no ensaio ecotoxicológico da água da lagoa dos Esteves na campanha de inverno de 2020 com o microcrustáceo *Daphnia magna* não foi constatada a toxicidade. O fato de não terem sido realizados ensaios nas outras campanhas, e principalmente, no sedimento da lagoa dos Esteves, pode ser um fator de influência nos resultados obtidos. Logo, uma investigação mais aprofundada sobre a ecotoxicidade da lagoa dos Esteves é necessária. De outro modo, o sedimento é o compartimento testemunha de um corpo hídrico, e, portanto, o acúmulo de tais substâncias seria detectado, caso os valores estivessem elevados, fato que não permite, por exemplo o uso indiscriminado de tais embarcações. Em função da complexidade ambiental e das ameaças a que a lagoa vem sendo submetida, assim como pelo potencial de uso para abastecimento humano, seria prudente disciplinar, se não coibir totalmente, o uso de embarcações motorizadas nas águas da lagoa para a recreação.

As águas da lagoa dos Esteves encontram-se enquadradas segundo a Resolução do CONAMA nº 357, de 2005, como águas doce classe II, para uso de recreação de contato primário e estabelece como imprópria as amostras cuja análise de coliformes termotolerantes o valor for superior a 2500 UFC/100 mL (CONAMA, 2005). Nas análises de coliformes termotolerantes em água da lagoa dos Esteves (Figura 8), o valor mínimo detectado foi de 1,79 NMP/UFC/100 mL nos pontos 4, 1 e 2 (P4, P1 e P2) das campanhas de Inverno de 2019 e Verão de 2020 (respectivamente). O maior valor detectado foi de 790 NMP/UFC/100 mL no ponto 5 (P5) da campanha de Verão de 2019.

Na legislação nacional e em Santa Catarina não há informação específica quanto a qualidade dos sedimentos, para fins de comparação, utilizamos neste trabalho como base a Resolução SMAC nº 468, de 2010, do município do Rio de Janeiro (RJ) (SMAC, 2010). Para tal resolução, fica recomendado que não haja o contato primário com os sedimentos com mais de 3800 UFC/100g (*Ibidem*). Nas análises de coliformes termotolerantes em sedimento da lagoa dos Esteves (Figura 9), o valor mínimo detectado foi de 0,3 NMP/UFC/100 mL nos pontos 1, 2, 3 e 5 (P1, P2, P3 e P5) da campanha de Inverno de 2019, nos pontos 2 e 5 (P2 e P5) da

campanha de Verão de 2020 e nos pontos 1, 2 e 4 (P1, P2 e P4) da campanha de Inverno de 2020. O valor máximo detectado foi de 930 NMP/UFC/100 mL no ponto 4 (P4) da campanha de Inverno de 2019.

Considerando que a saúde humana pode ser afetada pelas condições dos corpos d'água destinados à recreação de contato primário, tais critérios e valores foram estabelecidos visando o bem-estar humano e sua saúde (CONAMA, 2000). Não só os organismos entéricos como as bactérias, mas há uma gama de outros patógenos em uma amostra de água ou sedimento, que na maioria das vezes é de difícil detecção devido à baixa concentração (BAUCKE; ZAMBÃO; SERBENT, 2016). Para saber se um corpo d'água é potencialmente um portador destes organismos patógenos pode ser realizada a análise de forma indireta através da análise de organismos indicadores de poluição fecal como as bactérias dos grupos coliformes termotolerantes que são indicadoras de contaminação fecal (CONAMA, 2011).

Apesar das diferenças entre os pontos e entre as campanhas, em nenhum momento a quantidade de NMP/UFCs dos testes realizados na lagoa dos Esteves, tanto em água quanto nos sedimentos, ultrapassaram os valores definidos pelas legislações vigentes. Apesar de haver maior contaminação, com valores maiores, de um ponto para o outro, ou de uma campanha para outra, esses valores não ultrapassam os valores permitidos pela legislação. Portanto, considerando apenas a análise de coliformes termotolerantes a lagoa dos Esteves não apresentou, no período analisado neste estudo, risco de contaminação por patógenos no uso de recreacional de contato primário.

Segundo a Resolução do CONAMA nº 357, de 2005 (CONAMA, 2005) o limite máximo de DBO 5 dias a 20 °C para águas doces de Classe II é de 5 mg/L O<sub>2</sub>. Tal resolução supracitada estabelece esses valores considerando que a saúde e o bem-estar humano não devem ser afetados pela deterioração da qualidade das águas, bem como manter o equilíbrio ecológico aquático. Em nossos resultados apenas no ponto 3 (P3) da campanha de Verão de 2020 (Figura 10) obtivemos valores no limítrofe estabelecido pela legislação com o maior valor de 5 mg/L O<sub>2</sub>. Valores de DBO elevados são indicativos de contaminação por efluentes domésticos *in natura* (LUO et al., 2009, SOUZA; GASTALDINI, 2014). O ponto 3 também é o ponto que, devido ao fluxo de corrente da lagoa dos Esteves, recebe o aporte maior dos possíveis efluentes lançados na lagoa, visto que se encontra logo após o maior adensamento antrópico da área da lagoa dos Esteves, tal fato pode ter sido o motivo deste estar nos limites máximos de DBO permitidos pela legislação.

Os valores de DQO não são considerados para a avaliação da qualidade das águas de recreação de contato primário, visto que a DQO é considerada um item de avaliação para o lançamento de efluentes de acordo com a Resolução CONAMA nº 430, de 2011 e seus valores podem aumentar ou diminuir de acordo com a quantidade de oxigênio disponível (OD) no corpo hídrico receptor (CONAMA, 2011). Para este estudo, comparamos apenas as diferenças entre os pontos e as campanhas. Nos pontos 1 e 2 da campanha de Inverno de 2019, nos pontos 1 e 2 da campanha de Verão de 2020 e nos pontos 1, 3 e 5 da campanha de Inverno de 2020 os valores de DQO não foram detectados acima do limite de quantificação do teste de 19,9 mg/L O<sub>2</sub>. O valor máximo detectado foi de 114 mg/L O<sub>2</sub> no ponto 3 da campanha de Verão de 2020.

No município do Balneário Rincão e no entorno da lagoa dos Esteves não há sistemas de tratamento de esgotos coletivos (TEIXEIRA et al., 2020). Na falta de sistemas de tratamento de esgotos coletivos a responsabilidade pelo tratamento e despejo adequados dos efluentes domésticos recaem sobre a população geradora, sendo o comum a presença de fossas sépticas (VON-SPERLING, 2003; 2016).

Para as análises de óleos e graxas, que vão indicar a presença de óleos minerais e/ou óleos vegetais e gorduras animais, segundo as Resoluções do CONAMA nº 274 e 357, de 2000 e 2005, respectivamente, nas águas doces classe II tem que ser virtualmente ausentes (CONAMA, 2000; 2005). Novamente, a legislação não trata sobre o sedimento, mas considerando que o sedimento nos mostra possíveis contaminações que ocorreram no passado e estão agora depositados no sedimento, foi considerado para esse trabalho como ideal que estes estejam virtualmente ausentes no sedimento. O valor mínimo de óleos e graxas detectados na água da lagoa dos Esteves foi de 0,90 mg/L, valor esse que é considerado o limite de quantificação do teste, nos pontos 1, 2 e 3 da campanha de Verão de 2019, em todos os pontos das campanhas de Inverno de 2019 e 2020, e, no ponto 5 da campanha de Verão de 2020. O valor máximo detectado foi de 9 mg/L nos pontos 1 e 5 da campanha de verão de 2020. Enquanto no sedimento o valor mínimo de óleos e graxas detectados na lagoa dos Esteves foi de 99,9 mg/L, valor esse que é considerado o limite de quantificação do teste, nos pontos 3 e 4 da campanha de Verão de 2019, em todos os pontos da campanha de Inverno de 2019 e 2020, nos pontos 1 e 3 da campanha de Verão de 2020. O valor máximo detectado foi de 1792 mg/L no ponto 5 da campanha de Verão de 2019.

Para óleos minerais o valor mínimo detectado na água da lagoa dos Esteves foi de 0,9 mg/L em todos os pontos das campanhas de Verão e Inverno de 2019 e Inverno de 2020 e nos pontos 1 e 5 da campanha de Verão de 2020. O valor máximo detectado foi de 9 mg/L no ponto

1 da campanha de Verão de 2020. No sedimento, o valor mínimo detectado de óleos minerais foi de 99,9 mg/L nos pontos 1, 2, 3 e 4 da campanha de Verão de 2019 e em todos os pontos da campanha de Inverno de 2019 e 2020 e Verão de 2020. O valor máximo detectado foi de 1063 mg/L no ponto 3 da campanha de Verão de 2019.

Para óleos vegetais e gorduras animais o valor mínimo detectado nas águas da lagoa dos Esteves foi de 0,90 mg/L nos pontos 1, 2, 3 e 4 da campanha de Verão de 2019 e em todos os pontos das campanhas de Inverno de 2019 e 2020 e Verão de 2020. O valor máximo detectado foi de 8 mg/L no ponto 1 da campanha de Verão de 2020. Para o sedimento, o valor mínimo detectado de óleos vegetais e gorduras animais foi de 99,9 mg/L nos pontos 1, 3 e 4 da campanha de Verão de 2019, nos cinco pontos da campanha de Inverno de 2019 e 2020 e nos pontos 1, 3 e 5 da campanha de Verão de 2020. Valor máximo detectado de óleos vegetais e gorduras animais foi de 1593 mg/L no ponto 5 da campanha de Verão de 2019.

Como já citado anteriormente, a presença de óleos minerais é indicativa de contaminação por embarcações motorizadas e vem com todos os danos ambientais que este pode vir a gerar. No entanto, a presença de óleos vegetais e gorduras animais é um indicativo da presença de esgoto doméstico *in natura* sendo lançado no corpo hídrico. Tal fato vem para reforçar, em conjunto com os outros testes realizados de que a lagoa dos Esteves vem sofrendo com o lançamento de esgoto doméstico *in natura*, cabendo averiguação mais detalhada para se conhecer os principais focos do esgoto sendo lançado na lagoa dos Esteves e as possíveis ações para mitigar este problema.

Quando se trata da qualidade dos recursos hídricos, usualmente o destaque vai para àqueles destinados ao abastecimento doméstico e industrial e a geração de energia (VON-SPERLING, 2003). Não desconsiderando a importância destes usos e da preservação dos corpos d'água destinados a tais finalidades, nota-se que há menor interesse no monitoramento e avaliação da qualidade dos corpos hídricos destinados à recreação de contato primário. A realização do monitoramento e avaliação destes corpos hídricos também é de grande importância, uma vez que o contato com águas contaminadas se torna também um problema de saúde pública (TEIXEIRA et al., 2020).

Outro ponto que vale destacar é a necessidade de estudos da qualidade ambiental das outras lagoas pertencentes ao complexo lagunar da Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá, uma vez que se sabe que estas possuem algum tipo de ligação entre si e que com esse fluxo de ligação podem estar levando contaminação de uma à outra (ADAMI; CUNHA, 2014; MATEUS; HORN-FILHO, 2020). Apesar de que, como registrado neste trabalho, a maioria dos

contaminantes está sedimentada, havendo uma concentração muito menor nas águas da lagoa dos Esteves, a vazão e o fluxo de corrente da água da lagoa dos Esteves podem vir a ser estudado como um trabalho futuro complementar, para então determinar o tempo de permanência destes contaminantes na água e quais as probabilidades destes estarem sendo transportados de uma lagoa à outra.

A amplitude dos impactos ambientais causados de maneira antrópica é, muitas vezes, de difícil mensuração, mas também, de grande gravidade, já que muitos corpos hídricos servem de fonte de renda e lazer e acabam sofrendo com o excesso de resíduos contaminados (SCHNACK et al., 2018). A adaptação de métodos de avaliação dos corpos hídricos com vistas a facilitação do processo de monitoramento é de suma importância, já que na grande maioria das vezes a quantidade de dados disponíveis é escassa e os custos financeiros para a realização das análises é muito alto.

Na Matriz de Leopold, adaptada, vemos que a presença de óleos e graxas, óleos minerais e óleos vegetais e gorduras animais foram os principais fatores para a classificação da qualidade ambiental da lagoa dos Esteves como ruim. Para as análises de ecotoxicidade e de coliformes termotolerantes, em todos os pontos amostrados o impacto total foi positivo. Enquanto o uso da terra obteve Impacto total 0 (neutro) em todos os pontos, baseado na quantidade de cobertura natural da terra ainda existente na faixa de APP. Os valores de DBO e DQO variaram entre impacto total positivo e negativo. No entanto, a maioria dos pontos recebeu ao menos um valor de impacto total negativo nas análises de óleos e graxas, óleos minerais e óleos vegetais e gorduras animais, tanto na água quanto no sedimento, o que contribuiu fortemente para que as médias dos impactos totais da maioria dos pontos fosse negativa. Logo, os resultados das análises integradas nos levam a concluir que a qualidade ambiental da lagoa dos Esteves é ruim e esta classificação está majoritariamente relacionada com a contaminação por óleos e graxas. Seja oriunda das embarcações a motor como o caso dos óleos minerais, seja do lançamento de esgoto doméstico *in natura*, pela detecção de óleos vegetais e gorduras animais.

No MDS dissimilaridades existentes entre os pontos analisados não foi significativa, demonstrando que as 500 árvores realizadas pelo *Random Forest* foram feitas sem a repetição de dados. Para entender quais os pontos que poderiam estar influenciando mais ou menos na classificação ambiental da lagoa dos Esteves, podemos perceber no gráfico (Figura 18) cinco agrupamentos de conjunto de variáveis mais aproximados, mostrando algum tipo de relação entre estes durante a classificação. Como exemplo os conjuntos de dados 9 e 19 que,

representam, ambos o ponto 4 nas coletas de inverno dos anos de 2019 e 2020 respectivamente. Ambos os pontos são classificados com qualidade boa pela Matriz de Leopold e foram classificados corretamente pelo *Random Forest*, e compõem o agrupamento mais isolado dos demais no gráfico de MDS.

Na análise dos componentes principais (Figura 19), com uma explicação de mais de 95% do modelo nos componentes PC1, PC2 e PC3, percebe-se a correlação entre pontos analisados na classificação da qualidade ambiental da lagoa dos Esteves. Esta correlação nos indica que os dados apresentados são representativos da qualidade ambiental da lagoa dos Esteves como um todo, atribuindo maior robustez à classificação ambiental da lagoa dos Esteves realizada pelo método de *Random Forest*.

Nesta integração da Matriz de Leopold com o método do *Random Forest*, foi possível realizar, com segurança, a análise integrada da qualidade da lagoa chegando-se a resultados robustos que refletem a realidade do ambiente analisado. Essa metodologia permite uma avaliação segura a partir da coleta de dados primários, validados pela legislação, mas que analisados de forma integrada promovem uma diminuição dos custos financeiros para a avaliação dos corpos hídricos, já que os testes podem ser executados com a utilização de dados previamente coletados de outras fontes.

A integração da Matriz de Leopold com o método de *Random Forest* vem para auxiliar na compreensão da qualidade dos recursos hídricos, bem como, possivelmente, de outros recursos ambientais como a qualidade do solo ou do ar, por exemplo. Permite também, a avaliação conjunta de diferentes recursos ambientais, bem como o uso de variáveis qualitativas na classificação, o que torna a classificação mais robusta e confiável, além de facilitar os processos de tomada de decisão para o uso racional dos bens de uso comum, recuperação ou restauração de ambientes alterados e para a preservação de áreas naturais de relevante interesse ecológico, como é o presente caso.

Atualmente a lagoa dos Esteves é utilizada para fins turísticos e recreativos, no entanto, representa um importante corpo hídrico a ser preservado, o qual poderá em um futuro próximo servir como manancial de abastecimento público.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A qualidade ambiental da lagoa dos Esteves foi classificada como ruim. Ações para mitigação dos danos já causados e para que estes cessem são necessárias. A área de APP da lagoa dos Esteves não é respeitada atualmente, e com as expansões imobiliária, a falta de planejamento urbano e um zoneamento permissivo, a tendência é de que seja cada vez menos respeitada. Assim sendo, ações para manutenção da área natural atual na faixa de APP bem como de restauração das áreas já ocupadas são de extrema importância e urgência.

A expansão urbana em áreas de APP, além da redução da função ecológica de proteger o meio ambiente em questão, também leva ao aumento da carga de poluentes que estas áreas recebem. No caso da lagoa dos Esteves, os principais poluentes, que contribuíram de forma negativa para a classificação, são oriundos do uso recreacional de contato primário, uso de embarcações motorizadas e do lançamento de esgoto *in natura* na lagoa. Logo, ações de controle do uso de embarcações a motor na lagoa dos Esteves são necessárias, bem como a implementação de formas eficientes para o tratamento dos esgotos domésticos das residências do entorno da lagoa dos Esteves.

A integração da Matriz de Leopold, adaptada, ao método de *Random Forest*, se mostrou como uma ferramenta robusta para a análise integrada da qualidade ambiental da lagoa dos Esteves, assim como, desponta como método que pode ser adotado nos processos de gestão e planejamento ambiental. Para o presente estudo possibilitou a conclusão concreta de que a qualidade ambiental da lagoa dos Esteves encontra-se ruim, refinando as demais técnicas de avaliação, que pelo fato de serem executadas de forma compartimentada, tendem a mascarar a real qualidade ambiental, levando a tomadas de decisão mais permissivas do ponto de vista ambiental, o que pode agravar ainda mais uma situação que já é crítica.

## REFERENCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnica. ABNT NBR 12713. **Ecotoxicologia aquática – Toxicidade aguda – Método de ensaio com *Daphnia* spp (Crustácea, Cladocera)**. 4 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ADAMI, Rose Maria; CUNHA, Yasmine de Moura da. **Caderno do educador ambiental das bacias dos rios Araranguá e Urussanga**. 2. ed. Blumenau: Fundação Agência de Água do Vale do Itajaí, 2014.

ALVARES, Clayton Alcarde; STAPE, José Luiz; SENTELHAS, Paulo Cesar; GONÇALVES, José Leonardo de Moraes; SPAROVEK, Gerd. Köppen's climate classification map for Brasil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ALVES, Eliane Cristina; SILVA, César Flores da; COSSICH, Eneida Sala; TAVARES, Célia Regina Granhen; SOUZA-FILHO, Edvard Elias de; CARNIEL, Ademir. Avaliação da qualidade da água da bacia do rio Pirapó - Maringá, Estado do Paraná, por meio de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. **Acta Scientiarum - Technology**, v. 30, n. 1, p. 39-48, 2008.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, **GEO Brasil: recursos hídricos: resumo executivo**. Brasília: MMA; ANA, 2007.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil: 2012**. Brasília: ANA, 2012.

ANDRADE, Jaqueline; SCHERER, Marinez Eymael Garcia. Decálogo da gestão costeira para Santa Catarina: avaliando a estrutura estadual para o desenvolvimento do Programa Estadual de Gerenciamento Costeiro. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 29, p. 139-154, 2014.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AWWA - AMERICA WATER WORKS ASSOCIATION; WEF - WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. 23. ed. Washington, DC: American Public Health Association, 2017.

BACK, Álvaro José. **Informações climáticas e hidrológicas dos municípios catarinenses (com programa HidroClimaSC)**. Florianópolis: EPAGRI, 2020.

BALNEÁRIO RINCÃO – Lei Complementar nº 22, de 19 de dezembro de 2018. Dispõe sobre o uso e ocupação do solo. BALNEÁRIO RINCÃO. 2018.

BALNEÁRIO RINCÃO – Câmara Municipal de Balneário Rincão. Projeto de Lei – PE nº 0014/2022. Declara interesse público e fixa Área de Preservação Permanente no Condomínio Vila Suíça II, e dá outras providencias. BALNEÁRIO RINCÃO, 2022.

BAUCKE, Alex S.; ZAMBÃO, Patrícia H.; SERBENT, Maria Pilar. Monitoramento de variáveis microbiológicas para avaliação da balneabilidade de uma praia do Norte Catarinense. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 62-72, 2016.

BEASLEY, Val R.; LEVENGOOD, Jeffrey M. **Principles of ecotoxicology**. In: GUPTA, Ramesh C. (Ed.). **Veterinary toxicology**. 2. ed. San Diego: Academic Press Inc Elsevier Science, 2012. p. 831–855.

BRANCO-FILHO, Cícero Castello; BASSO, Luís Alberto. Ocupação irregular e degradação ambiental no Parque Estadual de Delta do Jacuí-RS. **Geografia**, v. 30, n. 2, p. 285–302, 2005.

BRASIL – Lei nº 7661, de 16 de maio de 1988. Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro e dá outras providências. BRASIL, 1988.

BRASIL – Comissão Interministerial para os Recursos do Mar; Grupo de Integração do Gerenciamento Costeiro. **Plano de ação federal da zona costeira**. Brasília: 2005, p. 23.

BRASIL – Lei nº 12651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6938, de 31 de agosto de 1981, 9393, de 19 de dezembro de 1996, e 11428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4771, de 15 de setembro de 1965, e 7754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. BRASIL, 2012.

BRASIL – Ministério do Meio Ambiente. **IV Plano de ação federal para a Zona Costeira 2017/2019**. Brasília: 2017.

BREIMAN, Leo. Random forests. **Machine learning**, v. 45, p. 5–32, 2001.

CÂMARA, Gilberto; ORTIZ, Manoel Jimenez. **Sistemas de informação geográfica para aplicações ambientais e cadastrais: uma visão geral**. 2002.

CARMO, Carolina Almeida do; ABESSA, Denis Moledo de Souza; NETO, Joaquim Gonçalves Machado. Metais em águas, sedimentos e peixes coletados no estuário de São Vicente-SP, Brasil. **Mundo da Saúde**, v. 35, n. 1, p. 64–70, 2011.

CASTRO, Ana Maria Vieira de; QUEIROZ, Angela Lima Meneses; ARAÚJO, Elba Luciene Bezerra de; NASCIMENTO, Geannie Shirley Melo do; JESUS, Inessa Adolfo de; VASCONCELOS, Maria Amélia de; CABRAL, Teresa Maria de Almeida; NASCIMENTO, Gilvan Geremias do. Parâmetros microbiológicos de águas de rios coletadas em alguns municípios da Paraíba. **Anais... X Encontro de iniciação à docência**, 2007.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas costeiras no Estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2020.

CNUMAD – CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Agenda 21 global**. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-global.html>. Acessado em: 20/08/2022.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 261, de 30 de junho de 1999. Aprova parâmetro básico para análise dos estágios sucessivos de vegetação de restinga para o Estado de Santa Catarina. BRASIL, 1999.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 274, de 29 de novembro de 2000. Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. BRASIL, 2000.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. BRASIL, 2005.

COSTA, Patrícia Darolt; MENEZES, Carlyle Torres Bezerra da. Avaliação da qualidade ambiental de ecossistemas costeiros articulados com processos de educação ambiental: o uso de indicadores de qualidade da água por alunos de uma escola pública do município de Garopaba, SC. **Revista Tecnologia e Ambiente**, v. 22, p. 73-80, 2016.

COUTO, Thaís Francisco; FONSECA, Bráulio Magalhães. Dinâmica do uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio pandeiros/mg. **Anais... XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2019.

DECKER, Anderson; PACHECO, Milena; QUADRO, Maurizio; SOARES, Hugo; NADALETTI, Wilian; ANDREAZZA, Robson. Análise ambiental e qualidade da água da Lagoa dos Patos nas proximidades de uma tradicional comunidade de pescadores. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 105, 2018.

DE LACERDA, Luiz Drude. Biogeochemistry of heavy Metals in Coastal Lagoons. **Elsevier Oceanography Series**, v. 60, p. 221–241, 1994.

DENSKI, Ana Paula Nola; BACK, Álvaro José. Tendência climatológica nos elementos meteorológicos e na evapotranspiração de referência de Urussanga-SC. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 17, p. 259-271, 2015.

DIAS, Felipe de Almeida; GOMES, Luiz Airton; ALKMIN, Jacqueline Kayser de. Avaliação da qualidade ambiental urbana da Bacia do Ribeirão do Lipa através de indicadores, Cuiabá, MT. **Sociedade e natureza**, v. 23, n. 1, p. 127-147, 2011.

DI GIULIO, Richard T.; CLARK, Bryan W. The Elizabeth River Story: a case study in evolutionary toxicology. **Journal of Toxicology and Environmental Health - Part B: Critical Reviews**, v. 18, n. 6, p. 259–298, 2015.

DORNFELD, C. B.; ESPÍNDOLA E. L. G.; FRACÁCIO, R.; RODRIGUES, B. K.; NOVELI, A. Comparação de bioensaios laboratoriais e “*in situ*” utilizando *Chironomus xanthus* na avaliação da toxicidade de sedimentos do Rio Monjolinho (São Carlos, SP). **Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology**, v. 1, n. 2, p. 161–166, 2006.

EPA – United States Environmental Protection Agency. **Methods for measuring the acute toxicity of effluents and receiving waters to freshwater and marine organisms**. 5 ed. Washington, DC: EPA, 2002.

ERICKSON, Russell J.; NICHOLS, John W.; COOK, Philip M.; ANKLEI, Gerald T. **Bioavailability of chemical contaminants in aquatic systems**. In: DI GIULIO, Richard T.; HINTON, David E. (Eds.). **The toxicology of fishes**. Boca Raton: CRC Press, 2008. p. 9–54.

ERIKSSON, Bo Joakim; UNGERER, Petra; STOLLEWERK, Angelika. The function of Notch signalling in segment formation in the crustacean *Daphnia magna* (Branchiopoda). **Developmental Biology**, v. 383, p. 321-330, 2013.

ESTEVEZ, Francisco de Assis. **Fundamentos de Liminologia**. 2a ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

EUGENIO, Fernando Coelho; SANTOS, Alexandre Rosa dos; LOUZADA, Franciane Lousada Rubini de Oliveira; PIMENTEL, Leonardo Bergatini; MOULIN, Janine Varanda. Identificação das áreas de preservação permanente no município de Alegre utilizando geotecnologia. **Cerne, Lavras**, v. 17, n. 4, p. 563-571, 2011.

FALKENBERG, Daniel de Barcellos. Aspectos da flora e da vegetação secundária da restinga de Santa Catarina, sul do Brasil. **Insula**, n. 28, p. 1-30, 1999.

FARIAS, Marcelo Dutra de. **Diagnóstico socioambiental no cabo de Santa Marta, Laguna/SC: subsídios ao desenvolvimento territorial sustentável**. 2016. 139 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

FARIAS, Marcelo Dutra de; LADWIG, Nilzo Ivo; MENEZES, Carlyle Torres Bezerra de. Análise da paisagem na criação de unidade de conservação integral na zona costeira sul do estado de Santa Catarina. **Sociedade e Natureza**, v. 29, n. 2, p. 351-363, 2017.

FERNANDES, Maria Jacinta da Silva. **Modelação e simulação nas lagoas de Quiaios**. 1999. 247 p. Dissertação (Doutorado em Modelação Ambiental) – Universidade do Algarve, Faro.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de textos, 2002.

FRANÇA, Paula Thais Ranzani de; MELLONI, Rogério. Avaliação microbiológica de águas de recreação por meio da análise de resistência de bactérias heterotróficas a antibióticos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 4, p. 107-113, 2014.

FRANCO, Bernadette Dora Gombossy de Melo; LANDGRAF, Mariza. **Microbiologia dos alimentos**. São Paulo: Atheneu, 2008.

FREITAS, Rodrigo Rodrigues de; BELTRAME, Ângela da Veiga. Mudanças no uso e cobertura da terra do entorno da Lagoa de Ibiraquera (Santa Catarina, Brasil) no período de 1957 a 2011. **Geosul**, v. 27, n. 54, p. 77-98, 2012.

FRIES, Elke; MAHJOUR, Olfa; MAHJOUR, Borhane; BERREHOUC, Anne; LIONS, Julie; BAHADIR, Mufit. Occurrence of contaminants of emerging concern (CEC) in conventional and non-conventional water resources in Tunisia. **Fresenius Environmental Bulletin**, v. 25, n. 9, p. 3317-3339, 2016.

GRANZIERA, Maria Luiza Machado; GONÇALVES, Alcindo. **Os problemas da zona costeira no Brasil e no mundo**. Santos, SP: Editora Universitária Leopoldiana, 2012.

HENNEMANN, Mariana Coutinho. **Dinâmica da qualidade da água em uma lagoa costeira: o caso peculiar da Lagoa do Peri, Ilha de Santa Catarina, Brasil**. Programa de Pós-Graduação em Ecologia (Dissertação de mestrado), UFSC, 2010.

HERRMANN, Maria Lúcia de Paula; ROSA, Rogério de Oliveira. **Relevo**. In: IBGE – Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geografia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1990. p. 55-84.

JAGANNATH, Venkata. **Random forest**. (2017) Disponível em: <https://community.tibco.com/wiki/random-forest-template-tibco-spotfirer-wiki-page>. Acessado em: 08/12/2020.

LUO, Hongbing; LUO, Lin; HUANG, Gu; LIU, Ping; LI, Jingxian; HU, Sheng; WANG, Fuxiang; XU, Rui; HUANG, Xiaoxue. Total pollution effect of urban surface runoff. **Journal of Environmental Sciences**, v. 21, p. 1186-1193, 2009.

HORN-FILHO, Norberto Olmiro; FELIX, Alexandre; CAMARGO, José Maurício de. **Atlas geológico da planície costeira do estado de Santa Catarina em base ao estudo dos depósitos quaternários**. Florianópolis: UFSC, 2020.

HORTELLANI, Marcos Antonio; SARKIS, Jorge Eduardo Souza; BONETTI, Jarbas; BONETTI, Carla. Evaluation of Mercury Contamination in Sediments from Santos - São Vicente Estuarine System, São Paulo State, Brazil. **Journal of Brazilian Chemistry Society**, v. 16, n. 6A, p. 1140–1149, 2005.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Balneário Rincão**. 2022. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/balneario-rincao/panorama>>. Acessado em: 24/08/2022.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de uso da terra**. 3ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

INPE. **Manuais**: Tutoriais de Geoprocessamento. 2019. Disponível em: <[http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao\\_sen.html](http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_sen.html)>. Acesso em: 26/08/22.

JONSSON, Claudio Martín; MAIA, Aline de Holanda Nunes. Avaliação da toxicidade do lodo de esgoto de duas estações de tratamento para o invertebrado aquático *Daphnia similis*. **Pesticidas: Revista Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v. 17, p. 1–8, 2007.

JORGENSEN, S. E.; VOLLENWEIDER, A. **Introdução Geral**. In: JORGENSEN, S. E.; VOLLENWEIDER, A. (Eds.). **Diretrizes para o gerenciamento de lagos**: princípios para o gerenciamento de lagos. São Carlos: ILEC, IIE, UNEP, 2000a. p. 3–7.

JORGENSEN, S. E.; VOLLENWEIDER, A. **Problemas de Lagos e Reservatórios**. In: JORGENSEN, S. E.; VOLLENWEIDER, A. (Eds.). **Diretrizes para o gerenciamento de lagos**: princípios para o gerenciamento de lagos. São Carlos: ILEC, IIE, UNEP, 2000b. p. 27–32.

KAWAKUBO, Fernando Shinji; MORATO, Rúbia Gomes; CAMPOS, Kleber Cavaça; Luchiani, Ailton; ROSS, Jurandy Luciano Sanches. Caracterização empírica da fragilidade

ambiental utilizando geoprocessamento. **Anais... XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, INPE, 2005.

K'OREJE, K. O.; VERGEYNST, L.; OMBAKA, D.; DE-WISPELAERE, P.; OKOTH, M.; VAN-LANGENHOVE, H.; DEMEESTERE, K. Occurrence patterns of pharmaceutical residues in wastewater, surface water and groundwater of Nairobi and Kisumu city, Kenya. **Chemosphere**, v. 149, p. 238–244, 2016.

LADWIG, Nilzo Ivo; LUCA, Monique Machado de; PEREIRA, Jori Ramos; SIMÃO, Gustavo; CAMPOS, Juliano Bitencourt. A dinâmica espacial do estuário do rio Araranguá, litoral sul de Santa Catarina, Brasil. **Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 506-518, 2021.

LAITANO, K. dos Santos; MATIAS, W. G. Testes de toxicidade com *Daphnia magna* uma ferramenta para avaliação de um reator experimental UASB. **Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology**, v. 1, n. 1, p. 43–47, 2006.

LEITE, Emerson Figueiredo; ROSA, Roberto. Análise do uso, ocupação e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Formiga, Tocantins. **Revista Eletrônica de Geografia**, v. 4, n. 12, p. 90–106, 2012.

LEOPOLD, Luna B.; CLARKE, Frank E.; HANSHAW, Bruce B.; BALSLEY, James R. A procedure for evaluating environmental impact. **Geological Survey**, v. 2, p. 1-13, 1971.

LIBÂNIO, Paulo Augusto Cunha; CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos; NASCIMENTO, Nilo de Oliveira. A dimensão da qualidade de água: avaliação da relação entre indicadores sociais, de disponibilidade hídrica, de saneamento e de saúde pública. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 219–228, 2005.

LLORCA, Marta; FARRÉ, Marinella; ELJARRAT, Ethel; DÍAZ-CRUZ, Sílvia; RODRÍGUEZ-MOZAZ, Sara; WUNDERLIN, Daniel; BARCELO, Damià. Review of emerging contaminants in aquatic biota from Latin America: 2002–2016. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 36, n. 7, p. 1716–1727, 2017.

LOPES, Frederico W. de Azevedo; MAGALHÃES, Antônio Pereira; VON-SPERLING, Eduardo. Balneabilidade em águas doces no Brasil: Riscos a saúde, limitações metodológicas e operacionais. **Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, v. 9, n. 15, p. 131–147, 2013.

MARENCO, José A.; SCARANO, Fabio R. **Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas**: relatório especial do painel brasileiro de mudanças climáticas. Rio de Janeiro: PBMC, 2016.

MARTINI, Adriana Maria Zanforlin; CASTANHO, Camila Toledo; ROCHA, Marcia Ione da; PANNUTI; STUART, Julia; JESUS, Flavia Moraes de; OLIVEIRA, Alexandre Adalardo de. **Restinga e ecologia**. In: AZEVEDO, N. H.; MARTINI, Adriana Maria Zanforlin; OLIVEIRA, Alexandre Adalardo de; SCARPA, D. L.; PETROBRAS: USP, IB, LabTrop/Biolo. **Ecologia na restinga**: uma sequência didática argumentativa. São Paulo: Edição dos autores, 2014. p. 22-41.

MATEUS, Aline Pires; HORN-FILHO, Norberto Olmiro. Aspectos texturais dos sedimentos quaternários da planície costeira do sul do Estado de Santa Catarina, Brasil: região das lagoas dos Esteves, Faxinal e Mãe Luzia. **Geosul**, v. 35, n. 74, p. 448-482, 2020.

MATSUI, S. **Introdução**. In: BARRET, B. F. D.; BANERJEE, J. (Eds.). **Diretrizes para o gerenciamento de lagos: Gerenciamento de substâncias tóxicas em lagos e reservatórios**. São Carlos: ILEC, IEE, 2002. p. 1–7.

MELLO, Elza de. **História do Rincão**. 2022. Disponível em: <<https://www.balneariorincao.sc.gov.br/pagina-1081/>>. Acessado em: 19/08/2022.

MENEGAT, Rualdo; PORTO, Maria Luiza; CARRARO, Clovis Carlos; FERNANDES, Luis Alberto Dávila. **Atlas Ambiental de Porto Alegre**. 3. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2006.

MITTMANN, Beate; UNGERER, Petra; KLANN, Marleen; STOLLEWERK, Angelika; WOLF, Carsten. Development and staging of the water flea *Daphnia magna* (Straus, 1820; Cladocera, Daphniidae) based on morphological landmarks. **EvoDevo**, v. 5, n. 12, 1-19, 2014.

MOSCARDI, Alana Carolina; SOUZA, Ana Cristina Zullo De; FIGUEIREDO, Cintya Aparecida Christofoletti De. Avaliação da toxicidade do 2,4-D por meio da histopatologia e histoquímica do intestino médio e corpo gorduroso de *Rhinocricus padbergi* (diplópodo). **Brazilian Applied Science Review**, v. 2, n. 5, p. 1636–1657, 2018.

OLIVEIRA, Andrieli Simões de FANTINEL, Roberta Aparecida; MARCHESAN, Juliana; PEREIRA, Rudiney Soares. Geotecnologias aplicadas à análise da fragilidade ambiental na sub- bacia hidrográfica do Arroio Pessegueiro – RS. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 15, n. 1, p. 8–21, 2019.

OLIVO, Eduarda Fraga; CONTO, Danrlei; TEIXEIRA, Karina de Oliveira; ZOCHE, Jairo José. **Distribuição espaço-temporal de estudos faunísticos na bacia hidrográfica do Rio Araranguá, no período de 1985-2020**. In: LADWIG, Nilzo Ivo; CAMPOS, Juliano Bitencourt. (Org.). **Planejamento e gestão territorial**. 1ed.Criciúma: Ediunesc, 2021, v. 1, p. 415-434.

OVERBECK, J. **Conceitos de ecossistema**. In: JORGENSEN, S. E.; VOLLENWEIDER, A. (Eds.). **Diretrizes para o gerenciamento de lagos: Princípios para o gerenciamento de lagos**. São Carlos: ILEC, IIE, UNEP, 2000. p. 9–25.

PELEGRINI, Mariana dos Santos. Áreas de preservação permanente urbanas e análise de inundações nos município de São Carlos – aplicação do código florestal brasileiro no córrego do Mojolinho.

PIEPER, Daniela da Silva; BEHLING, Greici Maia; DOMINGUES, Gabriella. Pertencimento, patrimônio e meio ambiente: um diálogo necessário para a sustentabilidade. **Revista Dellos Desarrollo Local Sostenible**, v. 7, n. 21, p. 1-9, 2014.

PIROLI, Edson Luís. **Introdução ao Geoprocessamento**. Ourinhos: UNESP, 2010.

PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. Relatório do Desenvolvimento Humano 2006. **A água para lá da escassez: poder, pobreza e a crise mundial da água**. New York: PNUD, 2006.

PRATES, Ana Paula Leite; GONÇALVES, Marco Antonio; ROSA, Marcos Reis. **Panorama da conservação dos ecossistemas costeiros e marinhos no Brasil**. 2 ed. Brasília: MMA, 2012.

PROCOP, Programa de Controle de Poluição. **Sistema estuarino de Santos e São Vicente**. São Paulo: CETESB, 2001.

REZENDE, Jozrael Henriques. **Um estudo sobre a gestão de resíduos e efluentes em marinas, terminais hidroviários de passageiros e embarcações de turismo e lazer no reservatório de Bariri / Hidrovia Tietê – Paraná**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Dissertação de Mestrado), São Paulo: USP, 2003.

RIBEIRO, Clarisse de Mello; BEZ-BATTI, Evelyn Colombo; YAMANE, Aline Tiemi; FILA, Ana Elena; BRUZAMOLIN, Raphael Henrique; PASTORIO, Sandro César; CHIAMOLERA, Larissa; FREITAS-LIDANI, Kárita Cláudia. Análise Microbiológica do rio Belém, Curitiba-PR. **Cadernos da Escola de Saúde**, v. 2, p. 1–11, 2009.

ROCHA, Isa de Oliveira. **Atlas geográfico de Santa Catarina: Diversidade da natureza**, fascículo 2. Florianópolis: Editora da UDESC, 2016.

ROWLING, Joanne Kathleen. **Harry Potter and the goblet of fire**. 1ed. London: Bloomsbury, 2000.

SANTA CATARINA. **Balneário Rincão**. Disponível em: <<https://www.sc.gov.br/conhecasc/municipios-de-sc/balneario-rincao>>. Acessado em: 24/08/2022.

SANTA CATARINA – Decreto nº 14250, de 5 de junho de 1981. Regulamenta dispositivos da Lei nº 5793, de 15 de outubro de 1980, referentes à proteção e à melhoria da qualidade ambiental. SANTA CATARINA, 1981.

SANTA CATARINA – Lei nº 10949, de 9 de novembro de 1998. Dispõe sobre a caracterização do Estado em dez Regiões Hidrográficas. SANTA CATARINA, 1998.

SANTA CATARINA – Lei nº 13553, de 16 de novembro de 2005. Institui o Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro. SANTA CATARINA, 2005.

SANTA CATARINA – Decreto nº 5010, de 22 de dezembro de 2006. Regulamenta a Lei nº 13553, de 16 de novembro de 2005, que instituiu o Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro e estabelece outras providências. SANTA CATARINA, 2006.

SANTOS, Rozely Ferreira dos. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de textos, 2004.

SARAIVA, Vanessa Kelly; NASCIMENTO, Marcos Roberto Lopes; PALMIERI, Helena Eugênia Leonhardt; JACOMINO, Vanusa Maria Feliciano. Avaliação da qualidade de sedimentos - estudo de caso: sub-bacia do ribeirão Espírito Santo, afluente do rio São Francisco. **Química Nova**, v. 32, n. 8, p. 1995–2002, 2009.

SCHNACK, Caroline Elise; MENEZES, Carlyle Torres Bezerra de; CENI, Gianfranco; MUNARI, Amanda Bellettini. Qualidade da água no estuário do rio Urussanga (SC, Brasil):

um ambiente afetado pela drenagem ácida de mina. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 16, n. 3, p. 98-106, 2018.

SILVA, Sônia Maria da; CARVALHO, Laura de; QUEROL, Enrique; QUEROL, Marcus V.; GONÇALVES, Jorge Figueiredo. Aspectos microbiológicos do arroio salso de cima e rio Uruguai, na região urbana de Uruguaiana, RS, Brasil. **Biodiversidade Pampeana**, v. 6, n. 1, p. 34–39, 2008.

SHIGA, Yasuhiro; YASUMOTO, Ryusuke; YAMAGATA, Hideo; HAYASHI, Shigeo. Evolving role of Antennapedia protein in arthropod limb patterning. **Development**, v. 129, p. 3555-3561, 2002.

SMAC – Secretaria Municipal do Meio Ambiente. Resolução SMAC nº 468, de 28 de janeiro de 2010. Dispõe sobre a análise e informações das condições das areias das praias no Município do Rio de Janeiro. RIO DE JANEIRO, 2010.

SMOLA, Alex; VISHWANATHAN, S. V. N. **Introduction to machine learning**. 1ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2008.

SOUZA, Marielle Medeiros; GASTALDINI, Maria Do Carmo Cauduro. Avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 263–274, 2014.

STEFANOSK, Diane C.; SANTOS, Glenio G.; MARCHÃO, Robélio L.; PETTER, Fabiano A.; PACHECO, Leandro P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 12, p. 1301-1309, 2013.

STOLLEWERK, Angelika. The water flea *Daphnia* – a “new” model system for ecology and evolution? **Journal of Biology**, v. 9, n. 21, p. 1-4, 2010.

TEIXEIRA, Karina de Oliveira; SUTIL, Thaise; DE CONTO, Danlei; LADWIG, Nilzo Ivo; ZOCHE, Jairo José. **Políticas públicas de saneamento básico: reflexos sobre a balneabilidade das praias do extremo sul de Santa Catarina**. In: LADWIG, Nilzo Ivo; CAMPOS, Juliano Bitencourt. **Planejamento e gestão territorial: inovação, tecnologia e sustentabilidade**. Criciúma: Ediunesc, 2020.

TERRA, Vilma R.; PRATTE-SANTOS, Rodrigo; ALIPRANDI, Robert B.; BARCELOS, Fernando F.; AZEVEDO-JR, Romildo R.; BARBIÉRI, Roberto S.. Avaliação microbiológica das águas superficiais do rio Jucu Braço Sul, ES, Brasil. **Natureza on line**, v. 6, n. 1, p. 48–52, 2008.

TOMAZ, D. T.; CUNHA, Yasmine de Moura da; SILVEIRA, R. **Plano de Recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá**. Araranguá: DIOESC, 2015.

TOMAZELLI, Luiz Jose; VILLWOCK, Jorge Alberto. Mapeamento Geológico de Planícies Costeiras: o Exemplo da Costa do Rio Grande do Sul. **Gravel**, v. 3, p. 109–115, 2005.

TUCCI, Carlos E. M.; MENDES, Carlos André. **Avaliação Ambiental Integrada de Bacia Hidrográfica**. Brasília: MMA, 2006. p. 302.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Procedures for the Derivation of Equilibrium Partitioning Sediment Benchmarks (ESBs) for the Protection of Benthic Organisms: Metal Mixtures (Cadmium, Copper, Lead, Nickel, Silver, and Zinc)**. Washington, DC. 2005.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Semivolatile organic compounds**. Washington, DC: USEPA, 2018.

VALDÉS, M. E.; HUERTA, B.; WUNDERLIN, D. A.; BISTONI, M. A.; BARCELÓ, D.; RODRIGUEZ-MOZAZ, S. Bioaccumulation and bioconcentration of carbamazepine and other pharmaceuticals in fish under field and controlled laboratory experiments. Evidences of carbamazepine metabolization by fish. **Science of the Total Environment**, v. 557–558, p. 58–67, 2016.

VASCO, Anderson Nascimento do; BRITTO, Fábio Brandão; PEREIRA, Ana Paula Sousa; MÉLLO-JÚNIOR, Arisvaldo Vieira; GARCIA, Carlos Alexandre Borges; NOGUEIRA, Luis Carlos. Avaliação espacial e temporal da qualidade da água na sub-bacia do rio Poxim, Sergipe, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, v. 6, n. 1, p. 118–130, 2011.

VASSOLER, Renan. **Levantamento batimétrico da lagoa dos Esteves localizada no município de Balneário Rincão/SC**. Graduação em Engenharia de Agrimensura da Universidade do Extremo Sul Catarinense (TCC), Criciúma: UNESC, 2018.

VIRGINIO-JUNIOR, Luiz Alfredo dos Reis. **Os efeitos causados por tintas anti-incrustantes a base de compostos organoestânicos ao meio ambiente**. Graduação em Tecnologia em Construção Naval do Centro Universitário Estadual da Zona Oeste (TCC), Rio de Janeiro: UEZO, 2011.

VON-SPERLING, Marcos. **Água para saciar corpo e espírito: balneabilidade e outros usos nobres**. Joinville, 2003.

VON-SPERLING, Marcos. **Urban wastewater treatment in Brazil**. Minas Gerais: IDB, 2016.

ZAIDAN, Ricardo Tavares; SILVA, Jorge Xavier da; GÓES, Maria Hilde de Barros; ROCHA, Geraldo César. **Aplicação de geoprocessamento para a criação de zoneamentos de potencial turístico em unidades de conservação: o caso do parque estadual do Ibitipoca – MG**. In: SILVA, Jorge Xavier da; ZAIDAN, Ricardo Tavares (Eds.). **Geoprocessamento e análise ambiental: Aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand, 2004. p. 31–65.

ZOCHE, Jairo José; CAMPOS, Juliano Bitencourt; SCARPATTO, Patrícia; MARCOMIN, F. E. **Ecologia de Paisagem: bases teórico-metodológicas para o gerenciamento territorial**. In: OOSTEBEEK, L.; CEREZER, J.F.; CAMPOS, J.B.; ZOCHE, J. J. (Org.). **Arqueologia Ibero-Americana e arte rupestre**. 32ed. Braga, Portugal: Candeias Artes Gráficas, 2012, v. 1, p. 17-28.

WALKER, C. H.; SIBLY, R. M.; HOPKIN, S. P.; PEAKALL, D. B. **Principles of ecotoxicology**. 4. ed. Boca Raton: CRC Press, 2012.