

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

**Jóri Ramos Pereira**

**SUSTENTABILIDADE SOCIOAMBIENTAL DAS LAGOAS COSTEIRAS NO SUL  
DO ESTADO DE SANTA CATARINA**

**Criciúma, SC**

**2022**

**Jóri Ramos Pereira**

**SUSTENTABILIDADE SOCIOAMBIENTAL DAS LAGOAS COSTEIRAS NO SUL  
DO ESTADO DE SANTA CATARINA**

Tese de Doutorado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Jairo José Zocche

**Criciúma, SC**

**2022**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

P436s Pereira, Jóri Ramos.

Sustentabilidade socioambiental das lagoas costeiras no sul do estado de Santa Catarina / Jóri Ramos Pereira. - 2022.

153 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. Sustentabilidade ambiental. 3. Água - Consumo 4. Abastecimento de água. 5. Gerenciamento costeiro. 7. Recursos hídricos - Desenvolvimento. I. Título.

CDD 23. ed. 551.482

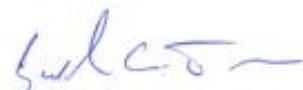
Bibliotecária Eliziane de Lucca Alosilla - CRB 14/1101  
Biblioteca Central Prof. Eurico Back - UNESC



## 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 pelo candidato **JÓRI RAMOS PEREIRA**, sob o título: “**SUSTENTABILIDADE SOCIOAMBIENTAL DAS LAGOAS COSTEIRAS NO SUL DO ESTADO DE SANTA CATARINA**”, para obtenção do grau de **DOUTOR 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 o candidato, os membros são de parecer pela “**APROVAÇÃO**” da Tese.

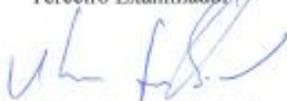
Criciúma/SC, 27 de setembro de 2022.

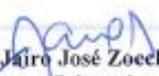
  
**Prof. Dr. Guilherme Casarotto Troian**  
Primeiro Examinador

 **LISANDRO SIMÃO**  
Data: 28/09/2022 13:17:26-0304  
Verifique em <http://verificador.br.br>

**Prof. Dr. Lisandro Simão**  
Segundo Examinador

  
**Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos**  
Terceiro Examinador

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

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

Dedico esta tese à minha família, amigos e professores.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente gostaria de agradecer a minha esposa Araceli Mariane e filho Kadu, aos meus pais Valcir e Terrimar, irmãos João Vitor e Joice e amigos que estavam sempre ao meu lado nesta caminhada.

Agradeço aos meus colegas de trabalho do Iparque que me ajudaram nas muitas vezes que precisei.

De forma muito especial quero homenagear meu amigo, professor e orientador Nilzo Ivo Ladwig pelas palavras de sabedoria e por ter acreditado na minha caminhada.

Serei eternamente grato ao meu colega, amigo, professor e orientador Jairo José Zocche por ter conduzido a minha orientação com maestria e muita sabedoria, não medindo esforços, em nenhum momento sequer, para que eu não desanimasse ou desistisse, muito obrigado professor.

Ao professor e meu orientador do mestrado Álvaro José Back, meu muito obrigado por, sempre que necessário, me passar palavras de apoio e sabedoria.

*“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”*

*(Arthur Schopenhauer)*

## RESUMO

Na atualidade, a humanidade está passando por momentos de reflexão em relação à sustentabilidade dos processos de desenvolvimento adotados e sua ação sobre o meio ambiente. A disponibilidade de água doce para o consumo humano, animal e para provisão dos demais serviços ecossistêmicos é assunto discutido mundialmente e citado como um dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável pela ONU a ser atingido em 2030, 2040 e 2050. Nas Zonas Costeiras a disponibilidade de recursos hídricos se dá principalmente por meio das lagoas costeiras, as quais tem seu abastecimento ligado diretamente ao aquífero de recarga. Neste sentido, a presente tese tem por objetivo analisar a sustentabilidade socioambiental das lagoas costeiras do sul do estado de Santa Catarina, no que se refere a disponibilidade hídrica para abastecimento humano atual e para gerações futuras. Como forma de orientar a pesquisa foram realizadas três abordagens: I - a ocupação humana histórica da região costeira sul catarinense; II - a caracterização hidrológica e; III - disponibilidade hídrica para consumo humano. De forma local foi estudado o Município de Balneário Gaivota – SC e no âmbito regional a Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS) e parte da Planície Costeira de Santa Catarina (PCSC). Foram adotadas técnicas de geoprocessamento em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), para a análise de imagem obtidas por meio de sensoriamento remoto. Dados primários e secundários sobre o clima, geomorfologia e morfometria de lagoas, dinâmica populacional, unidades de habitação humanas usuárias de serviços públicos e de energia elétrica, alvarás para construção, expansão urbana e, demais dados socioambientais foram obtidos por meio de levantamentos de campo e nos bancos de dados públicos oficiais. Esta tese avaliou um valioso conjunto de informações socioambientais, apresentando as suas fragilidades e apontando as possíveis causas dessas circunstâncias, contribuindo com o entendimento da atual forma de desenvolvimento costeiro. Os resultados obtidos apontam para um panorama de que as lagoas costeiras da área de estudo sofreram redução em sua área na ordem de 31,81%, passando de 19,27 km<sup>2</sup> em 1980 para 13,14 km<sup>2</sup> em 2021, com projeção de ocupação de área para 2050 de 9,63 km<sup>2</sup>, o que representa uma redução de (50,03%) das áreas lagunares, em relação ao ano de 1980. De forma inversa, a população tem demonstrado crescimento geométrico no período estudado e nas projeções futuras. Atualmente estima-se que a população total seja de 13.923 habitantes e consome cerca de 3.760,00 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> de água, na alta temporada. Para o ano de 2050 a estimativa populacional é de 92.305 habitantes no município, considerando a população fixa e flutuante, e as estimativas de consumo de água doce apontam para o valor de 14.058 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>. O balanço hídrico realizado com dados de disponibilidade e consumo, na atualidade, já aponta para insustentabilidade do sistema público de abastecimento, tendência esta que se agravará para os anos de 2030, 2040 e 2050, evidenciando a necessidade de busca por novas fontes alternativas de abastecimento de água doce para consumo humano.

**Palavras-chave:** Ambientes costeiros; Consumo hídrico; Dinâmica populacional; Sistema de Informação Geográfica – SIG.

## ABSTRACT

Currently, humanity is going through moments of reflection in relation to the sustainability of the development processes adopted and their action on the environment. The availability of fresh water for human and animal consumption and for the provision of other ecosystem services is a subject discussed worldwide and cited as one of the Sustainable Development Goals by the UN to be achieved in 2030, 2040 and 2050. In Coastal Zones, the availability of resources water is mainly through coastal lagoons, which have their supply directly linked to the recharge aquifer. In this sense, the present thesis aims to analyze the socio-environmental sustainability of coastal lagoons in the south of the state of Santa Catarina, in terms of water availability for current human supply and for future generations. As a way of guiding the research, three approaches were carried out: I - the historical human occupation of the southern coastal region of Santa Catarina; II - hydrological characterization and; III - water availability for human consumption. Locally, the municipality of Balneário Gaivota - SC was studied and, at the regional level, the Coastal Plain of Rio Grande do Sul (PCRS) and part of the Santa Catarina Coastal Plain (PCSC). Geoprocessing techniques were adopted in a Geographic Information Systems (GIS) environment for image analysis obtained through remote sensing. Primary and secondary data on the climate, geomorphology and morphometry of lakes, population dynamics, human housing units that use public services and electricity, building permits, urban expansion and other socio-environmental data were obtained through field surveys and in official public databases. The results obtained point to a panorama that the coastal lagoons of the study area suffered a reduction in their area in the order of 31.81%, from 19.27 km<sup>2</sup> in 1980 to 13.14 km<sup>2</sup> in 2021, with a projection of occupation of area for 2050 of 9.63 km<sup>2</sup>, which represents a reduction of (50.03%) of the lagoon areas, in relation to the year 1980. Conversely, the population has shown geometric growth in the studied period and in future projections. Currently, it is estimated that the total population is 13,923 inhabitants and consumes about 3,760.00 m<sup>3</sup> day<sup>-1</sup> of water in high season. For the year 2050, the population estimate is 92,305 inhabitants in the municipality, considering the fixed and floating population, and the estimates of fresh water consumption point to the value of 14,058 m<sup>3</sup> day<sup>-1</sup>. The water balance carried out with data on availability and consumption, currently, already points to the unsustainability of the public supply system, a trend that will worsen for the years 2030, 2040 and 2050, evidencing the need to search for new alternative sources of supply. of fresh water for human consumption.

**Keywords:** Coastal environments; Water consumption; Population dynamics; Geographic Information System – GIS.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Localização geográfica da Planície Costeira (PCRS) e (PCSC) (até o Cabo de Santa Marta).....	29
Figura 2 - Tendência de segmentação das lagoas costeiras da PCRS, no sul do Brasil, devido a exposição ao vento.....	31
Figura 3 - Estágios da eutrofização natural e antrópica em lagoas costeiras. ....	34
Figura 4 - Imagem de draga do tipo dragline utilizada para retificação dos canais na região de Sombrio.....	37
Figura 5 - Localização do município de Balneário Gaivota no sul de Santa Catarina, Brasil. ....	44
Figura 6 - Etapas metodológicas desenvolvidas para a coleta e análise de dados.....	48
Figura 7 - A) Equipamento para aerolevanteamento. B) Implementação dos pontos de controle. ....	50
Figura 8 - Distribuição dos pontos de controle aerofotogramétrico na área de estudo. ....	51
Figura 9 - A) Imagem por meio de técnica (RPA), com GSD de 5cm. B) Imagem do aerolevanteamento realizado pelo Estado de Santa Catarina, com GSD de 0,39cm e c) imagem de satélites do banco de imagens de software SIG, com GSD aproximado de 1,0 m. ....	52
Figura 10 - Pluviometria média mensal da estação pluviométrica de Sombrio (Série 1976-2020). ....	56
Figura 11- Imagens demonstrativas das seções batimétricas nos sangradouros A) BG-14, B) BG-22, C e D) BG-17. ....	59
Figura 12 - Localização das estações de coleta para avaliação da qualidade da água superficial no município de Balneário Gaivota nos anos de 2020 e 2021.....	60
Figura 13 - Coletas de água superficial nas lagoas do município de Balneário Gaivota. A e B) ponto BG-02 – Lagoa da Terneira; C) ponto BG-08 Lagoa de Fora e; D) ponto BG-09 Lagoa de Fora. ....	61
Figura 14 - Distribuição das seções e pontos topobatimétricos na lagoa da Terneira, Balneário Gaivota.....	62
Figura 15 - Detalhe de tomada de dados topobatimétricos com prisma (A) e auxílio de barco (B), na lagoa da Terneira, Balneário Gaivota. ....	63

Figura 16 - Equipamentos de medição (estação total do modelo Topcon série GPT 3200) (A) e de coleta de informações georreferenciadas Global Navigation Satellite System (GNSS) (GNSS RTK Trimble R6) (B).....	63
Figura 17 - Sistema seepage meter.....	64
Figura 18 - Localização espacial dos experimentos pelo seepage meter. ....	66
Figura 19 - Coleta das informações obtidas pelo método seepage meter.....	67
Figura 20 - Balanço hídrico.....	68
Figura 21 - . Crescimento da infraestrutura urbana da planície costeira PCRS e PCRSC (até o Cabo de Santa Marta). ....	70
Figura 22 - Distribuição espacial de habitações no município de Balneário Gaivota, Sul de Santa Catarina, em 1956. Na parte inferior da imagem, em escala ampliada, detalhe da lagoa da Terneira e seu entorno imediato.....	72
Figura 23 - Morfologia do ambiente e distribuição espacial de habitações no município de Balneário Gaivota, Sul de Santa Catarina, em 1978 (A). Na parte inferior da imagem, em escala ampliada, detalhe início da formação da área urbana, atualmente a sede municipal .....	73
Figura 24 - Distribuição e intensidade de distribuição das habitações humanas por quilômetro quadrado em 2020 (A) e 2010 (B), no território do município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina.....	75
Figura 25 - Distribuição e intensidade de distribuição das habitações humanas por quilômetro quadrado em 1978 (A) e 1956 (B), no território do município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina.....	76
Figura 26 - Evolução percentual das classes de intensidade de edificações por km <sup>2</sup> no município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina, entre os períodos de 2010 e 2020.....	77
Figura 27 - Integração de dados para definição da Área Urbana Consolidada (AUC), no ano de 2020. Onde: A) Perímetro urbano atual, B) Distribuição de água potável, C) Sistema viário, D) Distribuição elétrica e coleta de lixo, E) Área urbanizada F) Cruzamento das informações espaciais.....	78
Figura 28 - Área Urbana Consolidada do município de Balneário Gaivota no ano de 2020, definida a partir da sobreposição das imagens apresentadas na figura 25.....	79
Figura 29 - Distribuição espacial percentual dos serviços públicos no município de Balneário Gaivota no ano 2020, cuja presença concomitante de pelo menos três deles delimita a Área Urbana Consolidada (AUC).....	79

Figura 30 - A) Distância das residências da praia (em quadras); B - Distância das residências de córregos e lagoas (m), no Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina, no ano de 2021..	80
Figura 31 - Locais de visitação utilizado pelos entrevistados, no Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina, no ano de 2021. ....	81
Figura 32 - Uso dos recursos hídricos, lagoas e córregos, pelos moradores de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina, no ano de 2021. ....	82
Figura 33 - Percepção da população sobre a diminuição das lagoas costeiras no município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina, no ano de 2021. ....	83
Figura 34 - Evolução demográfica Urbana e Rural segundo os Censos do IBGE (2000-2010). ....	83
Figura 35 - Distribuição percentual do tempo de residência dos moradores no município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina, em 2021.....	84
Figura 36 -Tipos de uso de domicílios residenciais no município de Balneário Gaivota, segundo o Censo do IBGE. ....	84
Figura 37 - Tipos de uso de sistema de coleta de água para consumo no município de Balneário Gaivota.....	85
Figura 38 - Número de residências do município de Balneário Gaivota obtida por contagem de edificações em imagens aéreas de 1956, 1978, 2010 e 2020.....	86
Figura 39- Estimativas do crescimento populacional do município de Balneário Gaivota no período 1956 - 2020. A) obtida por meio de estimativa de crescimento no número absoluto e B) obtida por meio do número acumulado de pedidos de alvarás do Município de Balneário Gaivota. ....	87
Figura 40 - Estimativa do Número de Unidades Consumidoras de Eletricidade no município de Balneário Gaivota (1997 – 2021).....	87
Figura 41 - Projeção do número de habitantes fixos do município de Balneário Gaivota no período 1996 - 2021, obtida com base em dados de Cohenca (2016) e IBGE (2021).....	88
Figura 42- Projeção aritmética de crescimento da área urbana entre 2000 e 2020 por meio dos dados NUCE. ....	90
Figura 43- Projeção aritmética de crescimento da população fixa e flutuante da área urbana do município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina para 2030, 2040 e 2050.....	93
Figura 44 - Projeção geométrica de crescimento populacional da área urbana do município de Balneário Gaivota com base nos dados NUCE, 1997 e 2020.....	94

Figura 45 - Projeção geométrica de crescimento da população fixa e flutuante da área urbana do município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina para 2030, 2040 e 2050.....	97
Figura 46 - Dinâmica regional das áreas de campos alagados e pantanosas, na Planície Costeira do Rio Grande do Sul (do Arroio Chuí até o cabo de Santa Marta), extraída dos bancos de dados do Projeto MAPBIOMAS. ....	98
Figura 47 - Dinâmica regional das áreas de rios lagos e oceanos, na Planície Costeira do Rio Grande do Sul (do Arroio Chuí até o cabo de Santa Marta), extraída dos bancos de dados do Projeto MAPBIOMAS.....	99
Figura 48 - Imagens da área ocupada pela lâmina d'água das lagoas no território do município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina em novembro 1980 e em janeiro de 1991. ....	100
Figura 49 - Imagens da área ocupada pela lâmina d'água das lagoas no território do município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina em janeiro 1999 e em novembro 2005.....	101
Figura 50 - Imagens da área ocupada pela lâmina d'água das lagoas no território do município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina em dezembro 2013 e em janeiro 2021. ....	102
Figura 51 - Sobreposição de imagens do conjunto de lagoas presentes no território do município de Balneário Gaivota dos anos de 1980 (cor azul escuro) e 2021 (cor azul claro) evidenciando a redução da lâmina d'água. ....	104
Figura 52 - Composição de imagens do conjunto de lagoas de fora (lagoa de Fora e lagoa do Rodeio) presente no território do município de Balneário Gaivota evidenciando a redução da lâmina d'água no período de 1956-2021.....	105
Figura 53 - Composição de imagens da lagoa da Terneira, município de Balneário Gaivota evidenciando a dinâmica espaço-temporal da lâmina d'água no período de 1956-2021. ....	106
Figura 54 - . Detalhe da degradação da lagoa da Terneira, evidenciada pela presença de macrófitas aquáticas, caracterizando o estágio de eutrofização em 2018, pouco antes das obras de dragagem no seu leito.....	107
Figura 55 - Drenagens criadas mecanicamente no entorno das margens da Lagoa do Sombrio nas décadas de 60, 70 e 80 para redução das áreas úmidas. ....	108
Figura 56 - Drenagens construídas mecanicamente nas áreas de costa onde atualmente se encontra a sede municipal pós década de 1970 para redução das áreas úmidas e criação de empreendimentos imobiliários.....	109
Figura 57- Índice de qualidade da água (IQA) no município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina para a primeira campanha amostral.....	110

Figura 58 - Índice de qualidade da água (IQA) no município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina para a segunda campanha amostral. ....	111
Figura 59- Balanço hídrico da Lagoa da Terneira para população total para os anos de 2021, 2030, 2040 e 2050.....	114
Figura 60- Nível do lençol freático e da lagoa da Terneira medidos no ano de 2021, município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina.....	115
Figura 61 - Nível da lagoa da Terneira e pluviometria medidos no município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina, no ano de 2021 .....	116
Figura 62 - Vazões diárias de consumo hídrico, entre os meses de maio a julho de 2022, no município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina. ....	117
Figura 63 - Consumo hídrico registrado entre os dias de 27/01 a 02/02/2022, no município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina. ....	117
Figura 64 - Progressão de vazão hídrica necessária para o abastecimento da população humana total do município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina, para os anos 2030, 2040 e 2050. ....	118
Figura 65 - Projeção de redução da superfície das lagoas costeiras do município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina, para 2030, 2040 e 2050. ....	120

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Anos, meses e média mensal pluviométrica que atenderam as premissas definidas para a aquisição de imagens para avaliação da dinâmica temporal de variação da lâmina d'água das lagoas. ....	57
Tabela 2 - Equações de correlação R <sup>2</sup> para dados obtidos junto ao IBGE, NUCE e CONTEDF. ....	8989
Tabela 3 - Dados de estimativa de crescimento populacional por projeção aritmética da população do município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina, no período 1997 - 2020. ....	90
Tabela 5- Comparação da de estimativa de crescimento populacional por projeção aritmética da população de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina com os dados fornecidos pelo IBGE, no período 2000 - 2020.....	92
Tabela 5- . Dados de estimativa de crescimento populacional por projeção geométrica da população do município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina, no período 1997 - 2020. ....	94
Tabela 6 - Comparação da de estimativa de crescimento populacional por projeção geométrica da população de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina com os dados fornecidos pelo IBGE, no período 2000 - 2020.....	96
Tabela 7- Dinâmica espacial da lâmina d'água superficial das lagoas costeiras presentes no município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina, no período 1980-2021.....	103
Tabela 8 - Extensão da rede hidrográfica pertencente ao Município de Balneário Gaivota. .	107
Tabela 9 - Vazão (m <sup>3</sup> h-1) dos sangradouros do território do município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina, medida no período de 16 de dezembro de 2020 a fevereiro de 2021. ....	110
Tabela 10 - Índice de estado Trófico das lagoas monitoradas no território do município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina, no ano de 2021.....	111
Tabela 11 - Parâmetros morfométricos diretos da lagoa da Terneira, município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina. ....	112
Tabela 12 - . Parâmetros morfométricos indiretos da lagoa da Terneira, município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina. ....	112
Tabela 13 - Balanço hídrico da Lagoa da Terneira para população fixa para os anos de 2021, 2030, 2040 e 2050.....	113

Tabela 14 - Balanço hídrico da Lagoa da Terneira para população total para os anos de 2021, 2030, 2040 e 2050.....	113
Tabela 15 - Tendência à redução na área da superfície das lagoas costeiras inseridas no Município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina. ....	119

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACARESC	Associação de Crédito e Assistência Rural do Estado de Santa Catarina
ACI	Associação Cartográfica Internacional
AUC	Área Urbana Consolidada
BHRM	Bacia Hidrográfica do Rio Mampituba
CELESC	Centrais Elétricas de Santa Catarina SA.
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
<i>GNSS</i>	<i>Global Navigation Satellite System</i>
<i>GSD</i>	<i>Ground Sample Distance</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IET	Índice de Estado Trófico
IPAT	Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas
IPEA	Instituto de Pesquisas Ampliadas
IPTU	Imposto Predial e Territorial Urbano
IQA	Índice de Qualidade de Água
MIR	Banda do Infravermelho Médio
<i>MNDWI</i>	<i>Modified Normalized Difference Water Index</i>
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego
N	Nitrogênio
<i>NDWI</i>	<i>Normalized Difference Water Index</i>
NIR	Banda do Infravermelho Próximo
NUCE	Número de Unidades Consumidoras de Eletricidade
OD	Oxigênio Dissolvido
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
P	Fósforo
PCRS	Planície Costeira do Rio Grande do Sul
PCSC	Planície Costeira de Santa Catarina
PDI	Processamento Digital de Imagem
PNUD	Programa das Nações Unidas

RH10	Região Hidrográfica do Extremo Sul Catarinense
RIMAS	Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas
<i>RPA</i>	<i>Remotely Piloted Aircraft</i>
<i>RTK</i>	<i>Real Time Kinematic</i>
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrica para as Américas
UNESC	Universidade do Extremo Sul Catarinense
UTM	Universal Transversa de Mercator
ZC	Zona Costeira

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>21</b>
1.1	OBJETIVOS .....	24
<b>1.1.1</b>	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>24</b>
<b>1.1.2</b>	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>24</b>
<b>2</b>	<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>25</b>
2.1	DEMANDA HÍDRICA HUMANA .....	25
2.2	A PLANÍCIE COSTEIRA SUL CATARINENSE .....	28
2.3	LAGOAS COSTEIRAS .....	30
<b>2.3.1</b>	<b>Morfologia e morfometria.....</b>	<b>30</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Qualidade da água .....</b>	<b>32</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Eutrofização natural e antrópica.....</b>	<b>33</b>
2.4	OCUPAÇÃO TERRITORIAL HISTÓRICA DA COSTA SUL CATARINENSE	34
2.5	BALANÇO HÍDRICO .....	37
2.6	INSTRUMENTOS LEGAIS DO GERENCIAMENTO COSTEIRO.....	38
2.7	GEOTECNOLOGIAS .....	39
<b>2.7.1</b>	<b>Sensoriamento remoto .....</b>	<b>39</b>
<b>2.7.2</b>	<b>Processamento digital e análise de imagens .....</b>	<b>40</b>
<b>2.7.3</b>	<b>Cartografia temática.....</b>	<b>41</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>44</b>
3.1	LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS.....	44
<b>3.1.1</b>	<b>Clima .....</b>	<b>45</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Geomorfologia .....</b>	<b>45</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Hidrografia .....</b>	<b>46</b>
<b>3.1.4</b>	<b>Vegetação .....</b>	<b>46</b>
<b>3.1.5</b>	<b>Ocupação territorial colonial e pós-colonial.....</b>	<b>47</b>
3.2	PROCEDIMENTOS DE COLETA E ANÁLISE DE DADOS .....	48
3.3	OCUPAÇÃO HUMANA HISTÓRICA DA REGIÃO COSTEIRA SUL CATARINENSE .....	49
<b>3.3.1</b>	<b>Ocupação humana histórica .....</b>	<b>49</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Ocupação, expansão e densidade de ocupação do território do município de Balneário Gaivota .....</b>	<b>49</b>

3.3.3	Área urbana consolidada no ano de 2021 .....	53
3.3.4	Caracterização socioambiental (2021) .....	54
3.3.5	Crescimento populacional (período 1956 – 2021) .....	54
3.3.6	Projeção de crescimento populacional para os anos de 2030, 2040 e 2050 .....	55
3.4	CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA .....	55
3.4.1	Formação da Planície Costeira Sul Catarinense.....	55
3.4.2	Dinâmica das lagoas costeiras.....	55
3.4.3	Medição da vazão de sangradouros .....	58
3.4.4	Qualidade da água superficial .....	59
3.4.5	Morfometria e morfologia da lagoa da Terneira .....	61
3.4.6	Recarga hídrica seepage meter (+DAS e -INF) .....	63
3.4.7	Balço hídrico .....	67
3.5	SUSTENTABILIDADE E DISPONIBILIDADE HÍDRICA PARA CONSUMO HUMANO .....	69
3.5.1	Projeção de consumo hídrico para 2030, 2040, 2050 .....	69
3.5.2	Projeção de disponibilidade hídrica para 2030, 2040, 2050 .....	69
4	RESULTADOS .....	70
4.1	OCUPAÇÃO HUMANA HISTÓRICA DA REGIÃO COSTEIRA SUL CATARINENSE .....	70
4.1.1	4.1.1 Ocupação, expansão e densidade de ocupação do território do município de Balneário Gaivota .....	70
4.1.2	Área urbana consolidada .....	77
4.1.3	Caracterização socioambiental (2021) .....	80
4.1.4	Crescimento populacional (período 1956-2021).....	85
4.1.5	Projeção de crescimento populacional para os anos de 2030, 2040 e 2050 .....	88
4.1.5.1	Projeção aritmética .....	89
4.2	CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA .....	97
4.2.1	4.2.1 Formação da Planície Costeira Sul Catarinense.....	97
4.2.2	Dinâmica das lagoas costeiras.....	99
4.2.3	Vazão dos sangradouros.....	109
4.2.4	Qualidade da água superficial .....	110
4.2.5	Morfometria e morfologia da lagoa da Terneira .....	111
4.2.6	Recarga hídrica seepage meter (+DAS e -INF) .....	112

4.2.7	Balço hídrico .....	112
4.3	SUSTENTABILIDADE E DISPONIBILIDADE HÍDRICA PARA CONSUMO HUMANO .....	116
4.3.1	Projeção de consumo hídrico para 2030, 2040, 2050 .....	116
4.3.2	Projeção de disponibilidade hídrica para 2030, 2040, 2050 .....	118
5	DISCUSSÃO.....	121
5.1	OCUPAÇÃO HUMANA HISTÓRICA DA REGIÃO COSTEIRA SUL CATARINENSE .....	121
5.1.1	Ocupação, expansão e densidade de ocupação do território do município de Balneário Gaivota .....	122
5.1.2	Área Urbana Consolidada 2021.....	124
5.1.3	Caracterização socioambiental (2021) .....	124
5.1.4	Crescimento populacional (período 1956-2021).....	126
5.1.5	Projeção de crescimento populacional para os anos de 2030, 2040 e 2050 .....	127
5.2	CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA .....	127
5.2.1	Formação da Planície Costeira Sul Catarinense.....	127
5.2.2	Formação das lagoas costeiras da PCRS .....	129
5.2.3	Dinâmica das lagoas costeiras.....	130
5.2.4	Vazão dos sangradouros.....	131
5.2.5	Qualidade da água superficial .....	131
5.2.6	Morfologia e morfometria da lagoa da Terneira .....	133
5.2.7	Recarga hídrica seepage meter (+DAS e -INF) .....	134
5.2.8	Balço hídrico .....	134
5.3	SUSTENTABILIDADE E DISPONIBILIDADE HÍDRICA PARA CONSUMO HUMANO .....	135
5.3.1	Projeção de consumo hídrico para 2030, 2040, 2050 .....	135
5.3.2	Projeção de disponibilidade hídrica para 2030, 2040, 2050 .....	137
6	CONCLUSÃO .....	140
	REFERÊNCIAS .....	141

## 1 INTRODUÇÃO

A humanidade se encontra em um momento de enormes desafios para alcançar o desenvolvimento sustentável, dentre estes, o esgotamento dos recursos naturais e os impactos da degradação ambiental provocada pelo uso desordenado dos mesmos, o que leva à problemas como as secas, degradação do solo, escassez de água doce e à perdas da biodiversidade (ONU, 2015). O autor *op. cit.* destaca ainda, que além destes, outro fato que causa preocupação mundial está relacionado às mudanças climáticas que contribuem para o aumento da temperatura global, elevação dos níveis e acidificação dos mares e oceanos, o que afeta primária e principalmente as zonas costeiras.

A crise hídrica frequentemente divulgada em notícias relativas ao baixo nível pluviométrico está relacionada com os períodos de estiagem e de altas temperaturas, porém, ela é o reflexo da falta de planejamento estratégico que afeta os sistemas de abastecimento (CORTÊS *et al.*, 2015). Os problemas relacionados a falta ou escassez de água é assunto discutido por vários estudos e este problema está principalmente relacionado à produção agrícola, pecuária e industrial, a poluição de rios e mananciais, intempéries climatológicas e ao consumo humano (MENG *et al.*, 2013; DENICOLA *et al.*, 2015; LIU *et al.*, 2016; SISTO *et al.*, 2016; FROST e HUA, 2019; GODINEZ-MADRIGAL *et al.*, 2019; HUGHES, 2019; NOURI *et al.*, 2019; EICHLER *et al.*, 2020; JACKSON e HEAD, 2020).

Os ambientes costeiros estão entre os ecossistemas mais produtivos, diversamente povoados e perturbados pela forma desordenada de ocupação e utilização dos recursos ambientais do planeta (FARIAS *et al.*, 2017). A pressão ocasionada pela ocupação humana das zonas costeiras vem trazendo preocupação, principalmente pelo descompasso entre a velocidade com que as atividades antrópicas ocorrem e a realização de estudos científicos sobre os resultados desses impactos no ambiente (GIANUCA e TAGLIANI, 2012). A atual forma de ocupação de tais ambientes necessita urgentemente ser replanejada de modo a conduzir à outros modelos de gestão das zonas costeiras (SANTINHOS *et al.*, 2014; FARIAS *et al.*, 2017; ANDRÉS *et al.*, 2018). Diante da necessidade de administrar os recursos naturais da zona costeira de forma sustentável surgiu, no Brasil, o gerenciamento costeiro (ASMUS *et al.*, 2004).

Dentre os ambientes presentes no sistema costeiro, as lagoas, fontes de água potável e de grande biodiversidade, encontram-se fragilizadas. No setor sul da região sul do Brasil, que se estende do Cabo de Santa Marta, em Santa Catarina, ao Arroio Chuí, no Rio Grande do Sul, se encontra a Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS) (ROSA *et al.*, 2017), na qual está

inserido o sistema laguna-barreira IV (TOMAZELLI e VILLWOCK, 1991). Neste sistema, com o passar do tempo, se desenvolveram próximas ao oceano Atlântico as lagoas costeiras sul brasileiras, que estão distribuídas ao longo de planícies caracterizadas pela riqueza de ambientes lagunares, com presença de dunas, banhados, matas de restinga, campos e abundância de água doce (TOMAZELLI e VILLWOCK, 1991, 1992, 2005; TOMAZELLI *et al.*, 2000; CANCELLI, 2012; LANZER *et al.*, 2013; SCHÄFER *et al.*, 2014). É importante dizer que o processo de assoreamento das lagoas costeiras acontece naturalmente ao longo do tempo geológico, ou seja, em longos períodos, haja visto que o sistema lagunar da área de estudo surgiu a cerca de 5.000 Anos A.P. em decorrência do alcance máximo transgressivo do mar da última glaciação (VILLWOCK, 1984). No entanto, tem sido observado que as atividades antrópicas estão acelerando esse processo natural.

O município de Balneário Gaivota e seu entorno imediato, localizado no sul de Santa Catarina, área de estudo deste trabalho, faz parte de uma complexa e frágil região lagunar inserida na região hidrográfica 10 (RH10) do estado de Santa Catarina (SANTA CATARINA, 2017). Os relatórios sobre a conservação da água da RH10 evidenciam que a mesma já se encontra em condições críticas, tanto em termos quantitativos quanto qualitativos, revelando a necessidade de ações urgentes a serem realizadas até 2027, como diminuição do consumo de água, busca por recursos hídricos em locais além do território do município e, até mesmo, a dessalinização das águas do mar e de ambientes salobros (SANTA CATARINA, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2019).

A área de estudo, está localizada em um ambiente costeiro, cujo território de suas bacias hidrográficas é de difícil definição, onde o escoamento acontece por meio de arroios ou sangradouros que conduzem as águas das lagoas até o mar (FIGUEIREDO e CALLIARI, 2005; SERPA *et al.*, 2008). O município de Balneário Gaivota, tem características de abastecimento muito semelhantes aos apresentados nos estudos de Troian *et al.* (2017), ou seja, o fornecimento de água potável no município é de responsabilidade de uma concessionária, que por sua vez utiliza as águas das lagoas por meio de tratamento simplificado. Porém, a exemplo de inúmeros municípios costeiros brasileiros, onde não há serviços públicos de abastecimento de água, o acesso a esse recurso é realizado por meio de ponteiros instaladas no lençol freático superficial, por vezes, sem controle técnico e sanitário, dividindo espaço com fossas sépticas.

Agravando ainda mais os fatos, a área de estudo apresenta problemas socioambientais característicos da região litorânea, representados por pressões ambientais ocasionadas pela ocupação de áreas ambientalmente frágeis para moradia (expansão urbana), especulação

imobiliária, turismo desordenado, extração de areia, agropecuária e reflorestamentos (BITENCOURT *et al.*, 2011; BITENCOURT *et al.*, 2013; COHENCA *et al.*, 2017; KLEIN *et al.*; 2017).

Sendo assim, o presente estudo surge da necessidade de implementação do gerenciamento da reserva hídrica de água doce de ambientes costeiros, que formam um ecossistema frágil e essencial como fonte de abastecimento humano, animal, agrícola, conforme vem sendo assinalado na literatura corrente sobre o tema (ASMUS *et al.*, 2004; GIANUCA e TAGLIANI, 2012; SCHÄFER *et al.*, 2014; GERLING *et al.*, 2016; COHENCA *et al.*, 2017; FARIAS *et al.*, 2017; CAVALCANTE e ALOUFA, 2018).

A partir da discussão acima é possível alinhar a pesquisa aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) elaborados pela Organização das Nações Unidas (ONU), que devem ser alcançados até 2030. Neste estudo foram priorizados os ODS: (6) Água Potável e Saneamento, (11) Cidades e Comunidades Sustentáveis, (12) Consumo e Produção Responsáveis. Dentre estes objetivos o apelo mundial é para assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e o saneamento para todos; bem como, assegurar padrões de consumo sustentáveis; tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, resilientes e sustentáveis e também; combater as mudanças do clima e os seus impactos (ONU, 2015).

Para orientar a pesquisa foi definida a seguinte pergunta: a ocupação humana da área de estudo está impactando as lagoas costeiras e o seu entorno imediato, a ponto de criar um cenário de insustentabilidade para as futuras gerações usufruírem destes recursos? Para responder o problema de pesquisa o estudo foi desenvolvido sob a ótica de três grandes abordagens, complementares entre si: I - a ocupação humana histórica da região costeira sul catarinense; II - a caracterização hidrológica e; III - disponibilidade hídrica para consumo humano.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Analisar a sustentabilidade socioambiental das lagoas costeiras do sul do estado de Santa Catarina, no que se refere a disponibilidade hídrica para abastecimento humano atual e para gerações futuras.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

1. Descrever o processo de ocupação territorial pós-colonial da área de estudo;
2. Analisar as características hidrológicas da região de entorno do município e da lagoa utilizada para o abastecimento público do município de Balneário Gaivota;
3. Avaliar a disponibilidade hídrica para abastecimento público do município de Balneário Gaivota, para os anos 2030, 2040 e 2050.

## 2 MARCO TEÓRICO

### 2.1 DEMANDA HÍDRICA HUMANA

A água é o recurso mais importante da terra, participa de todos os ciclos ecológicos e o seu gerenciamento representa um dos principais desafios socioambientais da atualidade (PAZ *et al.*, 2000; TUNDISI, 2003, 2006, 2008). Em 1950 a população mundial era de aproximadamente 2,5 bilhões de habitantes, em 2000 passou para 6 bilhões, o que representa aumento de quase 150% em apenas 50 anos (UNWWDR, 2006). Durante este período a população mundial migrou para as cidades, representando aumento de 29% para 47% (*ibidem*) e prevê-se que em 2050 os sistemas aquáticos precisarão suportar 9,6 bilhões de pessoas (MULLER *et al.*, 2015).

Segundo a ONU cerca de 20% da população mundial não tem acesso a água potável e 40% não o tem em quantidades suficientes para atender a demanda. Estima-se que em 2050 o déficit de água irá afetar quase três bilhões de pessoas (SILVA, 2012). A escassez de água tende a aumentar até 2050 devido à procura deste recurso e aumento da população, sendo assim, existe a necessidade crescente de equilibrar a oferta dos recursos hídricos com a demanda de consumo (UN-WATER, 2018).

Na Rio+20, a ideia de uso racional da água para o desenvolvimento sustentável reforçou a importância do acesso à água potável segura e limpa como direito humano essencial (SILVA, 2012). Em 2030 a água será o principal condicionante para o desenvolvimento sustentável (UN-WATER, 2018), tanto é que “*garantir disponibilidade e sustentabilidade gestão de água e saneamento para todos*” é sexto dos ODS especificado pela ONU para 2030, (BRASIL, 2018; SAITO, 2020). Esse tema é de grande relevância, pois, a água é essencial para sustentar a saúde e segurança da população e dos ecossistemas (VASCONCELOS *et al.*, 2019).

A escassez de água tem recebido atenção especial nas últimas décadas (NOURI *et al.*, 2019). A água doce é um recurso fundamental para o bem-estar humano e este ambiente ecossistêmico é considerado o mais importante do planeta (LIU *et al.*, 2016). No mundo, o processo de mudança climática e o descontrole no manejo e gestão das reservas hídricas vem trazendo sérios problemas para a sustentabilidade do planeta (DENICOLA *et al.*, 2015). Para melhorar esta situação, a gestão dos recursos hídricos em escala mundial, deverá ser conduzida de forma multidisciplinar e colaborativa, uma vez que há muita controvérsia sobre a crise da

água no planeta, ou seja, se as causas estão relacionadas à má gestão, crise de governança ou falta de investimentos em infraestrutura (GODINEZ-MADRIGAL *et al.*, 2019).

No relatório apresentado pela ONU sobre o ODS 6, algumas perguntas foram elaboradas para melhorar o entendimento dos problemas mundiais entorno dos recursos hídricos, entre elas estava a questão: “*quais os principais obstáculos para implementação do (ODS 6) em seu país?*” Como resposta, 48% dos participantes citaram falta de responsabilidade e transparência; 42% citaram a fragmentação do setor de água; 36% citaram a falta de engajamento/participação das partes interessadas e; 34% citaram a falta de instrumentos de governança em vigor. Como se observa, todas respostas estão relacionadas a má governança da água (UN-WATER, 2018). Um alto índice dos entrevistados (47%) destacou os problemas econômicos, 36% mencionou a falta de capacidade institucional e 25% mencionou a falta de capacidade técnica como obstáculos à implementação do ODS 6 (*ibidem*). Outro dado importante que apareceu no relatório foi a falta de modelos de gestão a longo prazo, ou seja, pensamento e planejamento futuros visando a garantia da segurança hídrica (*ibidem*).

A segurança hídrica, que é a capacidade de uma população assegurar os meios de subsistência, o bem-estar humano e o desenvolvimento socioeconômico é algo que deve ser mobilizado urgentemente, pois o avanço do crescimento econômico e populacional, aliado aos desastres climáticos, está provocando crises hídricas que representam sérios riscos a grande parte da população (SAITO, 2020).

O Brasil tem 12% da água doce superficial do Planeta e 28% das Américas. Possui ainda, o maior reservatório de água doce subterrânea do mundo, o Aquífero Guarani, com cerca de 1,2 milhões km<sup>2</sup> (SILVA, 2012). É um dos países com maior quantidade de água em reserva do mundo (ANA, 2019). Dentro do ciclo hidrológico, precipitam-se no território brasileiro cerca de 13,774 trilhões de m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>, sendo a chuva a principal responsável pela entrada de água nos rios e lagos, onde uma parte é absorvida e vai para os aquíferos, uma parte escoar para rios e lagos e uma parte evapora (*ibidem*). Estima-se que a evapotranspiração consome, cerca de 11,754 trilhões de m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup> (ANA, 2019). Entram de outros territórios, aproximadamente 2,716 trilhões de m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup> e saem 864 bilhões de m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>. A vazão gerada no Brasil corresponde a 5,7 trilhões de m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>, dos quais, 3,418 trilhões de m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup> são captados para uso em atividades econômicas, saneamento, consumo humano e animal (*ibidem*). Porém, apesar da grande quantidade, este recurso não está uniformemente disponível, nem tão pouco, possui boa qualidade e disponibilidade cíclica (*ibidem*). “*Será que é possível uma “crise hídrica” no país de maior potencial hídrico do mundo?*” (JARDIM, 2015)?

Frequentemente são divulgados nos noticiários nacionais problemas relacionados ao baixo nível da água nos reservatórios ocasionado por vezes por fatores climáticos como pluviosidade e temperatura (CORTÊS *et al.*, 2015). Especificamente a crise ocorrida no sudeste do Brasil em 2014 resultou de um conjunto de fatores, dentre os quais, o clima e a ação antrópica foram os principais causadores (JARDIM, 2015). Outros fatores ligados a problemas de menor amplitude foram os fenômenos do *El niño* de 1982/83 e 1997/98, em 2001 e 2002 quando ocorreu o “apagão” e em 2005 o episódio da seca na Amazônia (*ibidem*).

Uma forma de gestão dos recursos é a de modelagens para antever os problemas relacionados a sustentabilidade hídrica, porém, são recorrentes os problemas de falta de integração de dados necessários (clima, fluxo, dados de uso da terra e da água, etc.) relacionados a modelos de estimativa de recursos hídricos (HUGHES, 2019). Dos modelos futuros de gestão de recursos hídricos utilizados, 82% indicam diminuição nas vazões, resultando na possível diminuição da oferta de água na ocasião dos picos de demandas (GALVÃO *et al.*, 2014). É imperativo que as cidades integrem suas políticas públicas, de forma que se possa entender o que irá acontecer se o crescimento descontrolado perdurar, o que aumenta a impermeabilidade do solo e reduz a capacidade de recarga dos aquíferos (CIRILO, 2015).

Em 2017 o Brasil consumia 6,3 L dia<sup>-1</sup> de água para cada R\$ 1 real gerado pela economia, sendo que a média nacional de uso *per capita* era de 116 L dia<sup>-1</sup>, enquanto que na região sudeste, a média era de 143 L dia<sup>-1</sup> (IBGE, 2017). Santa Catarina teve seu consumo *per capita* médio registrado em 151 L dia<sup>-1</sup> em 2017, em 2018 foram registrados 154 L dia<sup>-1</sup> e em 2019 152,3 L dia<sup>-1</sup> representando uma variação de 0,9%, no período 2017-2019, estando, portanto, acima da média nacional de consumo registrada em 2017 (BRASIL, 2019).

A Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico e Sustentável do Estado de Santa Catarina apresentou em 18/12/2017 o Plano Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina – PERH/SC (SANTA CATARINA, 2017). Este Plano tem por objetivo definir um cenário futuro desejado para os recursos hídricos catarinenses; estabelecer as prioridades e ações que orientarão a gestão dos recursos hídricos; fornecer informações para o planejamento regional e; definir estratégias para o uso sustentável da água (*ibidem*).

A bacia Hidrográfica da região de estudo (RH 10), apresenta disponibilidade (Q<sub>98</sub>), ou seja, vazão igual ou superior em 98% do tempo, de 16 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, enquanto que a demanda retirada é de 26 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> e, além disso, se apresenta em péssimas condições qualitativas e quantitativas, apontando a existência de problemas como: conflitos de uso (irrigação *versus* outros usos); poluição difusa no meio rural (DBO, nutrientes); poluição pontual nas cidades (DBO) e;

poluição química em áreas de mineração (pH e DQO) (SANTA CATARINA, 2017). Por outro lado, algumas fontes alternativas para captação da região são: captação sustentável da água de mananciais subterrâneos, porém este processo dever ser controlado para que não haja sobrecarga, também, nos sistemas aquíferos subterrâneos; a importação de água de outras bacias; execução obras de transposição e; tratamento avançado de dessalinização de águas salobras (*ibidem*).

## 2.2 A PLANÍCIE COSTEIRA SUL CATARINENSE

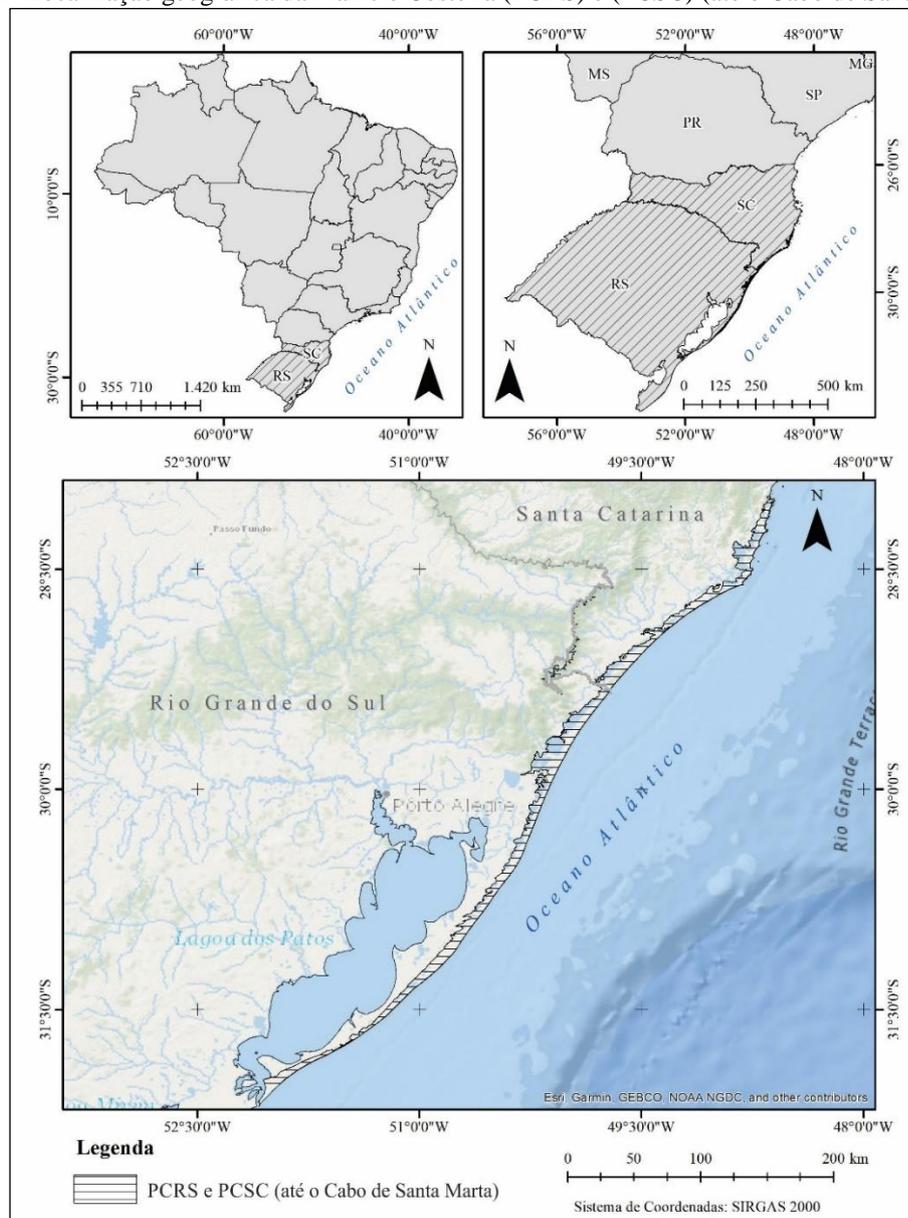
As planícies costeiras são marcadas pela transição entre os ambientes marinhos e terrestres, nelas estão contidos diversos ecossistemas de grande relevância e fragilidade ambiental (MUDAT *et al.*, 2006). A Planície Costeira Sul Catarinense (PCSC) margeia o leste do estado de Santa Catarina junto ao oceano Atlântico e se estende do Extremo Sul do estado até Laguna, onde a linha do litoral é mais contínua (LUIZ, 2014). Está embasada nas bacias sedimentares marginais Pelotas e Santos, possui caráter tectônico passivo e encontra-se assentada no Atlântico Sul desde o início da deriva continental, fenômeno responsável pela separação entre África e América do Sul (HORN FILHO, 2003). A Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS), por sua vez, ocupa a extensão aproximada de 640 km entre o Arroio Chuí na divisa com o Uruguai e o rio Mampituba em Torres e abriga 22.740 km<sup>2</sup> de terrenos emersos e 14.260 km<sup>2</sup> de lagunas e lagoas em 37.000 km<sup>2</sup> (SCHWARZBOLD e SCHÄFER, 1984).

Fisicamente a PCRS se assemelha muito a PCSC e estudos recentes estenderam os limites da PCRS até o Cabo de Santa Marta no estado de Santa Catarina ( ROSA *et al.*, 2017) (Figura 1), limites físicos que serão adotados neste estudo. Essa região foi formada pela erosão e deposição durante transgressões e regressões marinhas no Pleistoceno-Holoceno (VILLWOCK, 1984). Os eventos transgressivos-regressivos do tipo laguna-barreira originaram uma formação sedimentar em leque, a qual deu origem a quatro sistemas deposicionais, cada qual originado por uma regressão forçada de linha de costa. Os sistemas deposicionais I a III formados no Pleistoceno e o sistema deposicional IV formado no Holoceno (VILLWOCK, 1984; TOMAZELLI e VILLWOCK, 2005).

A maior parte da planície lagunar holocênica da área de estudo se encontra atualmente ocupada por um conjunto de lagoas costeiras que se interligam por canais meandранtes (TOMAZELLI e VILLWOCK, 1991). A morfologia destes corpos hídricos é moldada pela

ação do vento que possui dominância no sentido (NE) soprando no sentido das lagoas e carreando sedimento para o seu interior, sendo assim é de se esperar que que as dimensões destas sejam menores do que originalmente o eram (*ibidem*). Na Planície Costeira Sul Catarinense no setor mais interno, com aproximadamente 4 km de largura, a barreira IV é composta por alinhamento de cordões litorâneos com topografia das antigas dunas frontais (SILVA, 2015). Na linha de costa que se encontra entre o rio Mampituba e o rio Caverá se fazem presentes os alinhamentos de cordões de dunas frontais do tipo *foredune ridges* bem desenvolvidos (*ibidem*).

Figura 1- Localização geográfica da Planície Costeira (PCRS) e (PCSC) (até o Cabo de Santa Marta).



Fonte: Própria autoria, 2022.

## 2.3 LAGOAS COSTEIRAS

Dentre os vários ecossistemas costeiros, as lagoas costeiras brasileiras ocupam 442.000 km<sup>2</sup> correspondendo a 5,2% das terras emersas do País e dentre os vários ecossistemas costeiros existem as lagoas costeiras, que integram este vasto mosaico de grande relevância ambiental (BITENCOURT *et al.*, 2011). O litoral sul catarinense e sul rio-grandense possuem grande riqueza em água doce próximo ao mar, contemplando uma paisagem única no planeta (SCHÄFER *et al.*, 2009; LANZER *et al.*, 2013). As lagoas apresentam gradiente morfológico que vai desde lagoas mais profundas, isoladas e assimétricas, até as lagoas rasas, simétricas e áreas de banhado (SCHWARZBOLD eSCHÄFER, 1984).

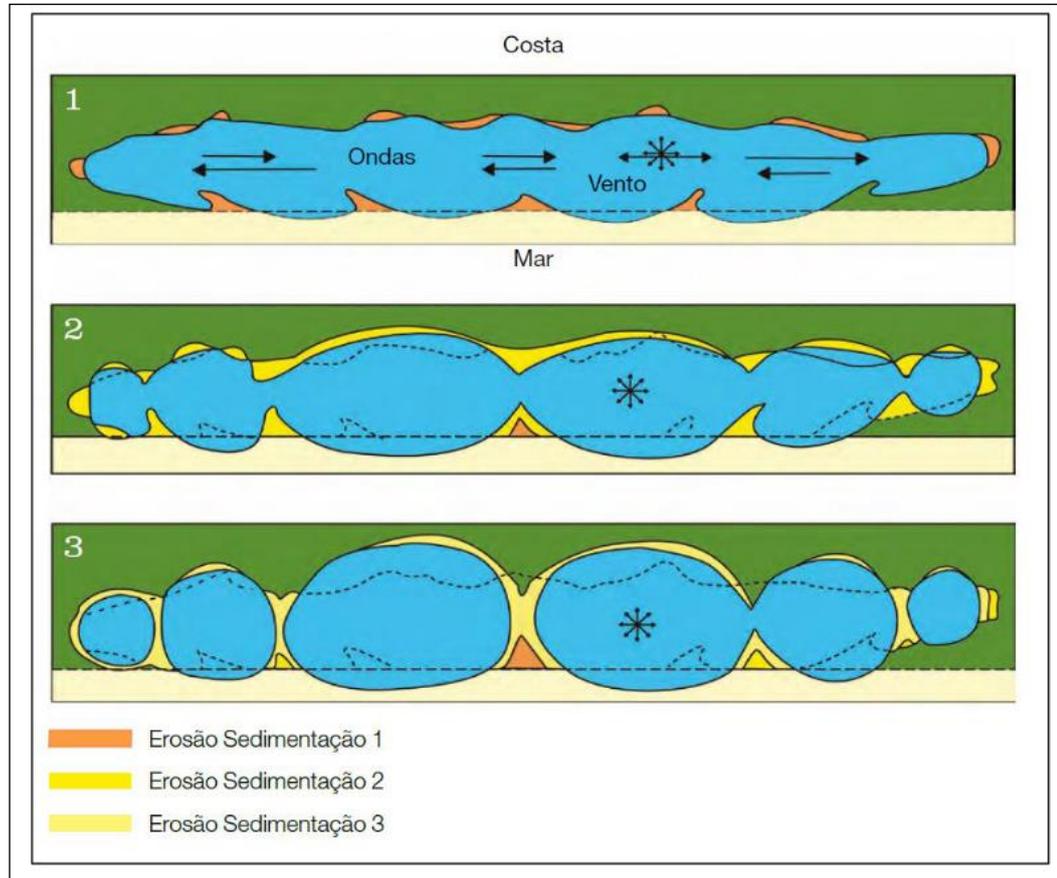
As lagoas presentes na área de estudo tem sua morfologia similar às das lagoas costeiras do sul rio-grandense e possuem um ambiente único com presença de grande diversidade de recursos hídricos lagunares (LANZER *et al.*, 2013). O litoral sul do estado de Santa Catarina que inclui os municípios de Balneário Rincão, Araranguá, Balneário Arroio do Silva, Balneário Gaivota, Passo de Torres, Santa Rosa do Sul, São João do Sul e Sombrio, abrange uma área de 1.410,10 km<sup>2</sup> e abriga uma população estimada para 2021 de 164.023 habitantes (IBGE, 2021). O sul catarinense possui um sistema lagunar composto por 13 principais lagoas: Urussanga; Velha; Freitas; Jacaré; Rincão; Faxinal; Esteves; Mãe Luzia; Dourada; Serra; Caverá; Sombrio e; Braço Morto; cuja pressão demográfica e a exploração dos recursos costeiros estão causando sérios conflitos, comprometendo a qualidade de ambiental (SANTA CATARINA, 2013).

### 2.3.1 Morfologia e morfometria

Enquanto a morfologia estuda os elementos da gênese da forma, a morfometria visa quantificar a medição destas formas (MARCHETT, 2017). Para entendimento da dinâmica hídrica das lagoas costeiras, os estudos morfológicos e morfométricos representam importantes ferramentas que permite caracterizar geometricamente as lagoas, entender sua capacidade de reserva hídrica e também seu estado trófico (SCHWARZBOLD e SCHÄFER, 1984; MARCHETT, 2017). Lagoas rasas são caracterizadas pela intensa dinâmica ecológica (SCHÄFER *et al.*, 2014) e por estarem próximas ao oceano Atlântico o vento está constantemente influenciando sua morfologia, grau de eutrofização e de distribuição de

macrófitas, exercendo assim, grande influência na segmentação das lagoas costeiras alocadas na barreira IV (MARCHETT, 2017), conforme evidencia a Figura 2.

Figura 2 - Tendência de segmentação das lagoas costeiras da PCRS, no sul do Brasil, devido a exposição ao vento.



Fonte: (MARCHETT, 2017).

Os estudos de Silva (2015) apresentam o mapeamento geomorfológico de parte da área deste estudo, partindo do entorno da lagoa do Sombrio até atingir os campos de dunas próximos à linha de costa. O autor citado identificou a ocorrência de dois terraços lagunares que circundam a lagoa do Sombrio: os cordões litorâneos regressivos, representados pela paleotopografia e; os cordões de dunas frontais (*foredune ridges*). Além destes terraços, o autor *op. cit.* identificou ainda a ocorrência de paleocanais que se estendem em linha paralela a costa e que interligavam os corpos lagunares.

As zonas costeiras correspondem a locais de interface entre os ambientes terrestre e oceânico, onde a parte subaérea é afetada pela sua proximidade com o ambiente marinho e a porção subaquosa pela proximidade com os processos de dinâmica de escoamento e transporte sedimentar dos continentes (SERPA *et al.*, 2008). A geomorfologia fluvial das zonas costeiras têm influência direta na dinâmica dos canais de drenagem no ambiente litorâneo, já que um dos

principais fatores que governam as mudanças morfológicas desses canais é exatamente a ação de ondas e dos ventos que atingem a costa (SERPA *et al.*, 2008).

Na região sul do Brasil, os canais fluviais que desaguam nas praias levam a denominação regional de “sangradouros”, que são definidos como “*sulco ou lugar por onde desvia o excesso de água de um açude; canal natural que liga duas lagoas, um rio e uma lagoa ou dois rios*” (OLIVEIRA, 1993). No contexto litorâneo, os sangradouros são canais geralmente de profundidade rasa, que drenam o excesso de água acumulada na região de pós-duna escoando-a para a zona de espraiamento (SERPA *et al.*, 2008).

Os processos antrópicos vêm causando alterações ao longo da linha de costa por meio da retilinização e aumento artificial do número de sangradouros, podendo ocasionar alagamentos quando aberturas naturais são fechadas. Além disso, ligações clandestinas de esgoto doméstico nas drenagens pluviais e que escoam para área zona de arrebenção marinha causam efeitos e problemas de balneabilidade nesses locais (FIGUEIREDO e CALLIARI, 2005).

### **2.3.2 Qualidade da água**

A qualidade da água é resultante de fenômenos naturais e antrópicos, sendo assim, de maneira geral, pode-se dizer que a qualidade de determinada água é função das condições naturais e do uso e ocupação da paisagem do seu entorno (SPERLING, 2014). As lagoas costeiras são ecossistemas de grande importância para a humanidade, porém a antropização destes ambientes vem acarretando no aumento na concentração de nutrientes, principalmente nitrogênio (N) e fósforo (P), aumentando a quantidade de matéria orgânica na água e diminuindo o Oxigênio Dissolvido (OD), ocasionando insustentabilidade no ambiente lagunar (SCHÄFER *et al.*, 2009; MARINHO *et al.*, 2017).

Quanto a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, o artigo 42 da resolução CONAMA 357/2005 (CONAMA, 2005) determina que “*enquanto os estados não efetivarem o enquadramento, as águas doces serão consideradas como de Classe 2*”. Desta forma, as águas interiores, com salinidade inferior a 0,5 partes por mil, ou águas doces, serão consideradas como águas de Classe 2. Uma importante ferramenta existente para avaliar a qualidade de água é o Índice de Qualidade de Água (IQA), cujas informações sobre concentrações de poluentes nos corpos hídricos se traduzem em um índice único global da qualidade das águas em um determinado ponto de monitoramento (ALMEIDA

e SCHWARZBOLD, 2003; SPERLING, 2007). O IQA surgiu em 1970 através de estudos realizados pela "*National Sanitation Foundation*" norte-americana, considerando nove parâmetros para a avaliação da qualidade das águas, com o principal foco ligado ao abastecimento público (ALMEIDA e SCHWARZBOLD, 2003). De forma sintética o IQA mede em valores numéricos a qualidade da água, uniformizando parâmetros e facilitando o entendimento público sobre as condições dos ecossistemas aquáticos (ALMEIDA e SCHWARZBOLD, 2003). É determinado pelo produto ponderado dos seguintes parâmetros: temperatura da amostra; pH; oxigênio dissolvido; demanda bioquímica de oxigênio (DBO<sub>5,20</sub>); coliformes termotolerantes; nitrogênio total; fósforo total; sólidos totais e turbidez (SPERLING, 2007).

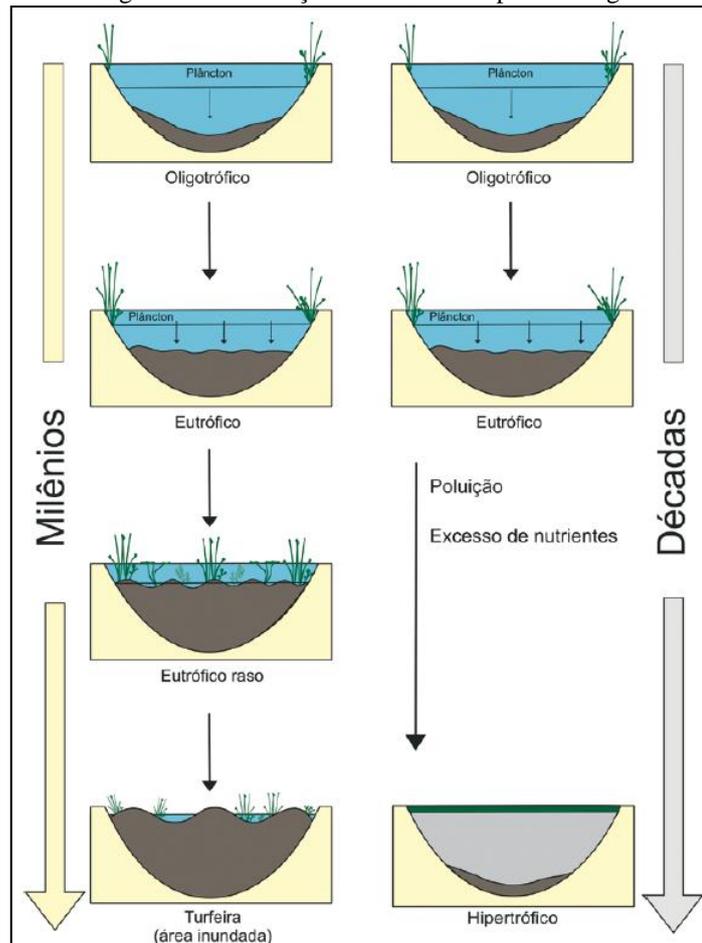
### **2.3.3 Eutrofização natural e antrópica**

Na região costeira do Rio Grande do Sul e Parte de Santa Catarina as lagoas costeiras, por se tratarem de lagoas isoladas das bacias hidrográficas regionais, são morfologicamente caracterizadas como rasas (ALMEIDA e SCHWARZBOLD, 2003). Suas margens são envoltas por restingas e dunas migratórias sendo sua direção predominante (NE/SE), o que ocasiona permanentemente carreamento de sedimento para o corpo d'água (SCHÄFER *et al.*, 2009). Os principais fatores de eutrofização desses ambientes são: biológicos (ocasionado pelo aumento de massa de algas e principalmente de plantas aquáticas) e físicos (com a entrada de sedimento das dunas migratórias) (ALMEIDA e SCHWARZBOLD, 2003; SCHÄFER *et al.*, 2009). Porém, este processo acontece em escala milenar, não sendo correto pensar que ocorre em poucas décadas, como está sendo percebido em alguns estudos especificamente na região sul de Santa Catarina (SCHEIBE e PELEGRIN, 1997; LOPES e NODARI, 2012; BITENCOURT, 2011; LOPES, 2011).

Os processos de ocupação da paisagem e, as ações antrópicas decorrentes, aceleram o enriquecimento dos corpos d'água com concentrações de nutrientes como o nitrogênio (N) e o fósforo (P), aumentando a massa de matéria orgânica e consequentemente redução da taxa de O<sub>2</sub> na água (SCHÄFER *et al.*, 2009; MARINHO *et al.*, 2017). A Figura 3 ilustra o processo natural e o processo antrópico da eutrofização das lagoas costeiras e enquanto no estágio de eutrofização natural ou envelhecimento natural ocorre em milênios, transformados lagos em turfeiras ou banhados, a eutrofização acelerada ocasionada pelas ações antrópicas ocorre em

décadas e tem como estágio final um lago dominado por cianobactérias na camada superior com muito sedimento e sem oxigênio (SCHÄFER *et al.*, 2009).

Figura 3 - Estágios da eutrofização natural e antrópica em lagoas costeiras.



Fonte: (SCHÄFER *et al.*, 2009).

## 2.4 OCUPAÇÃO TERRITORIAL HISTÓRICA DA COSTA SUL CATARINENSE

A história da colonização do sul catarinense se inicia indiretamente em 1777 quando os espanhóis invadem a ilha de Santa Catarina e após o tratado de Ildefonso, que mais tarde, em 1801, foi ratificado como Tratado de Badajoz e estabeleceu o domínio de Portugal sobre a Ilha. Após o acontecido, o império Português decidiu povoar o “vazio” ao Sul de Laguna até a província de São Pedro do Rio Grande (LOPES, 2011). Assim sendo, uma série de incursões foram realizadas colocando a região na rota econômica, principalmente pelo comércio de gado (SILVEIRA, 2020).

A partir de 1732 a região litorânea começa a receber os primeiros títulos provisórios, as cartas de sesmarias, sendo instalados, nessa época, entre Tramandaí e São José do Norte 27 fazendas de gado (HOBOLD, 1994). Entre as incursões para comércio de gado se estabeleceram algumas localidades, entre elas Sombrio, às margens da lagoa que leva o seu nome (HOLANDA, 1994). Como nesta época o alimento era escasso, a provisão de alimentos ocorria por meio da produção em lavouras e também por meio da criação de animais e pesca, nas lagoas e no mar, haja visto que muitos imigrantes vindos das ilhas portuguesas tinham hábitos costeiros e assim adaptaram-se bem na região (LOPES, 2011; SILVEIRA, 2020).

Em 1938 foi instituída a Paróquia de Sombrio (SILVEIRA, 2020), e a ocupação do seu litoral vinha ocorrendo desde meados de 1920 (PEREIRA, 2003). Até 1950 a região era constituída de pequenas propriedades rurais, instaladas às margens de corpos lagunares, o ambiente era úmido, compostos principalmente por banhados e campos de dunas que não eram atrativos para produção agrícola à época (COHENCA *et al.*, 2017). Em 1953 ocorreu a emancipação do município de Sombrio do município de Araranguá e, à época, estavam inscritos em seu território os municípios de Balneário Gaivota, Santa Rosa do Sul, São João do Sul e Passo de Torres (*ibidem*). Em dezembro de 1995, Balneário Gaivota é desmembrado de Sombrio emancipando-se por meio da Lei 10.054/95 (SANTA CATARINA, 1995; COHENCA, 2016).

Cabral (1937) descreve que no Sul do estado de Santa Catarina encontram-se as maiores lagoas, sendo elas: Laguna, Sombrio e Caverá, e “finalmente, sobre a praia nua e dourada, bem ao sul, perdidos na costa, os rochedos de Torres marcam o limite meridional das terras de Santa Catharina”. Se percebe pelos relatos que até meados de 1950, os impactos gerados pelas famílias que habitavam a localidade da então região de Sombrio eram pequenas e imperceptíveis (LOPES, 2011). Mesmo não tendo todas as informações tecnológicas atuais, em 1948 o Padre Raulino Reitz, auxiliado pelo seu irmão Padre João Reitz, que em 1938 era o responsável pela então criada paróquia de Sombrio percebeu e presenciou a forma de ocupação acelerada das regiões lacustres próximas ao mar.

Importante ressaltar que as viagens pela região sul de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, por vezes eram realizadas utilizando a abundância lacustre e suas comunicações fluviais da época (século XX), como pode ser observado neste texto de HOBOLD (1994, p. 86).

Podia-se como primitivamente, transitar pela praia, sendo a locomoção feita normalmente a cavalo, ou então, utilizando-se uma carreta. Quem não quisesse optar pelo caminho da praia, poderia servir-se de locomoção aquática. No ancoradouro da localidade de – Lagoa do Caverá – embarca-se em uma lancha, apelidada de “gasolina”, por esta movida, para a tração, de motor movido por aquele carborizante. Zarpando-se então, através da lagoa, de 9 quilômetros de comprimento, depois por

um sangradouro, entrava-se na Lagoa do Sombrio de 16 quilômetros. Daqui através da Sanga da Madeira, desembocava-se no Rio Mampituba, que naquela época tinha sua foz junto ao mar, nas imediações da localidade de Torres. No dia seguinte ao amanhecer tomava-se uma condução (cavalo, carroça ou carro-de-boi) e ia em rumo ao terminal Porto Estácio, a fim de embarcar aí numa lancha, puxada por um rebocador “gasolina”, atravessava-se então as lagoas Itapeva, dos Quadros, Pinguela, até Osório, onde se pernoitava. Ao se transitar pelos sangradouros, normalmente sinuosos arroios que interligavam essas lagoas, o rebocador desprendia-se do barco de passageiros, viajando só aquele, enquanto esta era empurrada com varas de taquara, manejadas pelos passageiros. Segundo informações colhidas, essa viagem era até bastante pitoresca e divertida, porque, além de contemplar as paisagens encantadoras, sugestivas, aproveitava-se o tempo para caçar jacarés, capivaras, peixes e aves. Em Osório, ao dia seguinte tomava-se um trenzinho de bitola estreita que conduzia até Palmares do Sul (...). Embarcado no Montenegro, descia-se à Lagoa dos Patos e ao Rio Guaíba, até Porto Alegre.

De fato, os quase 76 km de canais que eram usados para a navegação nunca foram interligados por completo, porém é nítida a abundância de corpos hídricos e lagoas costeiras que existia nos meados dos anos vinte (REITZ, 1948). Um projeto de interligação chegou a ser desenvolvido pelo Tenente-Coronel do Corpo de Engenheiros Eduardo José de Moraes em 1879, apesar da manifestação positiva das províncias de Rio Grande do Sul e Santa Catarina o projeto não recebeu o mesmo incentivo que as ferrovias cafeeiras receberam, entre a complexidade da criação de uma hidrovia, tinha entre outras, a retilinização de vários quilômetros de canais e rios, além de criação de interligações em alguns pontos (FREITAS, 2005).

De acordo com Lopes (2011), Silveira (2020) e Reitz (1948), assim descreve a região litorânea de Sombrio, atualmente Balneário Gaivota:

O processo mais acentuado de transformação do nosso litoral se manifestará na zona das lagoas internas (Sombrio, Caverá, etc.). As areias carregadas pela água e pelos ventos, coadjuvados pelos detritos vegetais diminuirão gradativamente a profundidade e a extensão das nossas lagoas, até o seu atulhamento completo, isto tudo, caso o homem não interferir.

Com o intuito de conter as cheias que ocorria ao menos três vezes ao ano, a retificação dos canais meandrados e a criação de novos canais/valas em ambientes alagadiços foi realizada por vários anos no território do então município de Sombrio, com auxílio de maquinário (Figura 4) e incentivos do Estado para criação de áreas agrícolas (LOPES, 2011).

A prova da retilinização dos canais e aberturas de valas para drenar as áreas úmidas é mostrada no trabalho de Scheibe e Pelegrin (1997) que analisaram as fotos aéreas de 1956 e 1978 e perceberam que enquanto em 1956 os corpos hídricos eram sinuosos, em 1978 os canais apresentam, em grande parte, linhas retilíneas. Com a criação na década de 1980 do projeto PROVÁRZEAS ligado à época a então Associação de Crédito e Assistência Rural do Estado

de Santa Catarina (ACARESC), atualmente Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), a expansão do processo agrícola se fez por meio de maquinários que realizavam a dragagem dos rios e terraplanavam as terras da região (ROSSO, 2007).

Figura 4 - Imagem de draga do tipo *dragline* utilizada para retificação dos canais na região de Sombrio.



Fonte: (LOPES, 2011).

## 2.5 BALANÇO HÍDRICO

O estudo do balanço hídrico é a aplicação do princípio da conservação da massa, isto é, para qualquer volume arbitrário e durante qualquer período de tempo, a diferença entre a quantidade de água que entra e a quantidade de água que sai de um sistema será equilibrada pela variação da água armazenada no volume (BACK, 2020). O autor *op. cit.* ressalta que os modelos de balanço hídrico representam simplificações e que por isso, apresentam limitações. O balanço hídrico pode ser calculado para séries de dados ao longo de dados médios anuais, que são chamados de balanço hídrico climático, ou dados sequenciais, chamados de balanço hídrico seriado, este, tem a vantagem na utilização para a determinação por meio de probabilidade para ocorrência ou déficit de excesso hídrico (*ibidem*).

Nos ambientes da PCRS e PCSC (até o Cabo de Santa Marta), como a área tem pouca declividade e os solos são arenosos, característicos de ambientes costeiros, a maior parte da reposição hídrica dos aquíferos e lagoas acontece por processos pluviométricos, que consequentemente, recarrega o lençol freático e as lagoas (HIRATA *et al.*, 2010; TROIAN *et*

*al.*, 2017). As águas subterrâneas representam uma expressiva fonte para o abastecimento urbano, sendo que cerca de 60% dos municípios brasileiros são abastecidos por este tipo de sistema (SIMON *et al.*, 2017). Uma avaliação consistente da recarga aquífera, em especial os aquíferos pouco profundos, é fundamental no cálculo da disponibilidade hídrica para abastecimento público e agricultura de um município (PARALTA *et al.*, 2003). Apesar de fundamental, a determinação das taxas de recargas dos aquíferos, que representam o “movimento da água no interior do solo” são complexas e por vezes mal compreendidas, pois as informações sobre os sistemas aquíferos são, em geral precárias (NYQUIST *et al.*, 2009; HIRATA *et al.*, 2010; PINTO *et al.*, 2010).

A água superficial flui na paisagem terrestre e fornece água doce para o oceano costeiro, porém, um forte contribuinte de água para os oceanos são as Descargas de Águas Subterrâneas (DAS) (MULLIGAN e CHARETTE, 2009; ARCARI *et al.*, 2019). As DAS ou *Submarine Ground Water Discharge (SGWD)*, na língua Inglesa, são processos de conexão de águas superficiais por meio de sedimentos permeáveis (JOHANNES, 1980). Este fenômeno cresce exponencialmente com a proximidade da costa, tendo significativos aportes de abastecimento nos ambientes lacustres (ROCHA *et al.*, 2015).

## 2.6 INSTRUMENTOS LEGAIS DO GERENCIAMENTO COSTEIRO

A Constituição Federal de 1988, no § 4º do seu artigo 225, institui a relevância da Zona Costeira Brasileira, salientando a importância do gerenciamento dessa parte territorial, no que se refere a preservação seus recursos naturais como forma de garantir-se a preservação do meio ambiente (BRASIL, 1988). Com a promulgação da Constituição Federal surgiu o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC), instituído pela Lei 7.661 de 16/05/88 (SANTA CATARIN, 2006). A primeira versão do PNGC foi apresentada em novembro de 1990, aprovada em 1997 (PNGC II), na forma de Resolução 005 da CIRM de 03/12/97, após aprovação na 48ª Reunião Ordinária do CONAMA (BRASIL, 1997). Posteriormente foi publicado o Decreto 5.300 de 2004, que regulamenta a Lei de Gerenciamento Costeiro e define critérios de gestão da Orla Marítima (BRASIL, 2004). Outro instrumento público de gestão da costa brasileira é o projeto ORLA, que surge como uma ação inovadora no Âmbito Federal e visa implementar uma política que harmonize e articule as práticas patrimoniais e ambientais com o planejamento de uso e ocupação desse espaço que constitui a sustentação natural e econômica da Zona Costeira (MENDES e MEZZARROBA, 2012).

Em nível Estadual, Santa Catarina conta com o Plano de Gerenciamento Costeiro (GERCO) onde, por meio do decreto 3.077 ficou instituída a equipe Técnica Estadual do Projeto Orla (SANTA CATARINA, 2005). No mesmo ano entrou em vigor a Lei 13.553 que Institui o Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro a nível estadual (SANTA CATARINA, 2005). Com o apoio das universidades, além de um corpo técnico especializado, o Estado vem promovendo ações que visam planejar e gerenciar a orla marítima. Em 2012 e 2013 o Governo Estadual lançou uma revisão do processo legal (SANTA CATARINA, 2009; 2013). Por fim, um roteiro metodológico foi elaborado, de modo a auxiliar os poderes públicos quanto ao ajuste de conduta para gerenciamento dos conflitos da ocupação nos municípios do litoral sul de Santa Catarina (SANTA CATARINA, 2015). Mesmo com todo esse arcabouço legal, as Zonas Costeiras (ZC) representam um grande desafio para a gestão brasileira e por se tratar de uma área onde há ligação com o mar e com recursos naturais únicos, inúmeras são as pressões socioeconômicas na ZC, podendo-se destacar o acelerado e desordenado processo de urbanização, que acarreta intensa degradação dos recursos naturais, compromete a sustentabilidade social, econômica e qualidade de vida da população (CAVALCANTE e ALOUFA, 2018).

## 2.7 GEOTECNOLOGIAS

### 2.7.1 Sensoriamento remoto

Alguns conceitos apontados nos estudos de (JENSEN, 2009) apresentam os conceitos de Sensoriamento Remoto (SR) em aeronaves sub orbitais. A fotogrametria foi definida no *Manual of Photogrametry* como “ a arte ou ciência de obter medidas confiáveis por meio da fotografia”. Outra definição apontada por Jensen (2009) é a da *Society for photogrametry and Remote Sensing (ASPRS)* que diz: “ *sensoriamento remoto é a medição ou aquisição de informações de alguma propriedade de um objeto ou fenômeno, por um dispositivo de registro que não esteja em contato físico ou íntimo com o objeto ou fenômeno em estudo*” (MORAES, 2002).

Atualmente existem vários sensores multiespectrais orbitais que recobrem o planeta Terra e a escolha pelo melhor sensor ocorre em função das resoluções (temporal, espacial, radiométrica e espectral) que atendam o objetivo do estudo. O primeiro satélite lançado para observação do planeta foi em 1972 pela *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*, com o lançamento do *Landsat Multispectral Scanner (MSS)* que possuía 4 bandas

espectrais. Em 1982 o sensor *Thematic Mapper* foi lançado a bordo do *Landsat-4*, agora com 7 bandas (MORAES, 2002). Posteriormente foram lançados os sistemas sensores *Landsat Thematic Mapper (TM)*, *Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM +)* e *Operational Land Imager e Thermal Infrared Sensor (OLI-TIRS)* a bordo do *Landsat 5*, *Landsat 7* e *Landsat 8*, respectivamente, cuja a resolução espacial é de 30 m e a temporal de 16 dias (WOODCOCK, 2008; PEKEL *et al.*, 2016; US GEOLOGICAL SURVEY, 2016; RODRIGUES *et al.*, 2016; MAPBIOMAS, 2020).

O surgimento das avaliações das dinâmicas ambientais a nível global está diretamente relacionado ao surgimento dos sensores remotos imageadores que registram periodicamente as mudanças ocorridas no planeta tendo grande significância nas Ciências da Terra (CRÓSTA, 2002; SOUZA FILHO e CRÓSTA, 2003; MENESES e ALMEIDA, 2012). O entendimento da dinâmica da paisagem foi muito impulsionado pelos processos de interpretação de fotografias aéreas (sub orbitais) e posteriormente, com análises por imagens de satélites (orbitais), além do desenvolvimento de métricas da paisagem e índices quantitativos e qualitativos, gerenciados por sistemas de informações geográficas (SIG) (BARRELL e GRANT, 2013; RODRIGUES *et al.*, 2016). O SR permite ainda, o monitoramento espaço-temporal dos recursos naturais globais, regionais ou locais de maneira eficiente e sistemática, vindo a apresentar grande auxílio nas áreas de agricultura, silvicultura, bem como em previsões meteorológicas e hidrológicas (GAO, 1996; XU, 2006; OLIVEIRA *et al.*, 2010; PEKEL *et al.*, 2016; PEREIRA *et al.*, 2016; GUO *et al.*, 2017; ACHARYA *et al.*, 2018; RIBEIRO *et al.*, 2019). A utilização do SR em estudos sobre recursos hídricos é recorrente em nível global e tem crescido muito nos últimos anos, conforme se observa na produção científica relacionada (ver por exemplo: MENG *et al.*, 2013; DENICOLA *et al.*, 2015; LIU *et al.*, 2016; SISTO *et al.*, 2016; BARBOSA *et al.*, 2019; FROST e HUA, 2019; GODINEZ-MADRIGAL *et al.*, 2019; HUGHES, 2019; NOURI *et al.*, 2019; ALEXANDRE *et al.*, 2020; EICHLER *et al.*, 2020; JACKSON e HEAD, 2020).

### **2.7.2 Processamento digital e análise de imagens**

Para avaliação da melhor forma de utilização de imagens obtidas por sensores remotos são necessárias operações matemáticas para ajustar as resoluções, permitindo a sua melhor utilização (MENESES e ALMEIDA, 2012). O Processamento Digital de Imagem (PDI) é diferenciado para cada tipo de demanda, ou seja, o processamento de imagem é configurado por algoritmos, que a tratam matematicamente, para melhorar a resposta do processo físico que

a criou (*ibidem*). O formato das imagens digitais por matrizes de *pixels* permite uma boa representação estatística para análise de grande volume de dados, sendo que para isso, existem *softwares* específicos que subdividem o processamento em realce e classificação (*ibidem*).

Uma das formas de analisar a expansão urbana é por meio de PDI, que auxilia na obtenção de dados sobre variáveis ambientais naturais e antrópicas (GOYA, 1999). Para avaliar a dinâmica espaço-temporal são necessários produtos obtidos por sensores remotos em grande escala (1/2.000 a 1/10.000) que permitam sua fiel identificação (ROSENFELDT; LOCH, 2013). As escalas médias (1/25.000 a 1/100.000) possibilitam a visualização semi detalhada, fornecendo informações sobre a dinâmica da paisagem e socioeconômicas (*ibidem*).

As técnicas de PDI obtidas por sensores ópticos, para mapeamento de corpos hídricos, são classificações baseadas em algoritmos que buscam boa interação com a assinatura espectral da água (SINGH *et al.*, 2015; PEREIRA *et al.*, 2016). As substâncias presentes nas águas naturais que sofrem o efeito da radiação solar e, por consequência, causam absorção e espalhamento de luz são denominadas de componentes opticamente ativos (BARBOSA *et al.*, 2019). São constituídos, entre outros, por água pura e por matéria orgânica dissolvida, cada qual com propriedades ópticas únicas (SINGH *et al.*, 2015). Entre os as técnicas de PDI, o *Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI)* apresentado por Xu (2006) propõe uma metodologia que permite a identificação de ambientes alagados com presença de vegetação. Esta proposta melhora a qualidade da imagem, diminuindo a presença de ruídos existentes no método original proposto por (MCFEETERS, 1996). Para tal, Xu (2006) substituiu a banda (NIR) infravermelha próxima pela (MIR) infravermelha média, diminuindo as inconsistências entre vegetação e água, o que tem fundamental importância para as lagoas costeiras, cuja profundidade média é rasa, isto é, geralmente menor do que dois metros (SCHÄFER *et al.*, 2014).

### **2.7.3 Cartografia temática**

Os mapas lidam com elementos que possuem posição e atributos, relacionados à ocorrência, atividade, incidência, quantidade e mudanças temporais (SWEDEN, 2014). A cartografia é a ciência que lida com a produção de mapas e segundo a Associação Cartográfica Internacional (ACI), a cartografia é definida como: “o conjunto de estudos e operações científicas, artísticas e técnicas, baseado nos resultados de observações diretas ou de análise de documentação, visando à elaboração e preparação de cartas, projetos e outras formas de

*expressão, bem como a sua utilização*”. Sendo assim, a cartografia é a ciência, a técnica e a arte de produzir mapas e exige do técnico, além de bom conhecimento específico, também, habilidades artísticas (SWEDEN, 2014).

A cartografia temática surge da cartográfica topográfica ou de base de modo a representar informações espaciais sobre estas (MARTINELLI e GRAÇA, 2015). A informação apresentada em um produto cartográfico temático deve concordar com a estrutura específica do mapa, alinhando as estruturas geométricas e simbólicas da representação (MENEGUETTE, 2003). Sendo assim, a cartografia temática apresenta os fenômenos geográficos por meio de linguagem semiológica (SANN, 2005). A forma de expressar corretamente a semiologia gráfica faz com que a cartografia seja uma ciência e ao mesmo tempo uma arte, com aplicabilidade em diversas áreas do conhecimento, contudo, não se pode negar que a cartografia constitui um conjunto de operações que em sua essência, se preocupa com fatos como desde a curvatura terrestre até a busca pela melhor adequação semiológica (DUARTE, 1976).

Após as décadas de 1960, 1970 e 1980 a cartografia temática passou por um grande avanço tecnológico, muito impulsionado pela correlação dos lançamentos dos primeiros satélites e estudos aerofotogramétricos. A partir daí, os projetos de mapeamentos temáticos começaram a ganhar maior amplitude, ou seja, as análises de inventários ambientais e de levantamentos de recursos naturais começaram a ser estudados em nível global (SOARES FILHO, 2000; MENEZES *et al.*, 2017). O avanço tecnológico que representa a maior influência nas pesquisas geográficas são as chamadas geotecnologias, com destaque aos SIG e, sendo assim, esta evolução permitiu a interação entre várias ciências (MENEZES *et al.*, 2017).

Atualmente, com o avanço geotecnológico, existe uma relação interdisciplinar entre cartografia e geoprocessamento. Enquanto a cartografia se preocupa em representar os processos que ocorrem no espaço geográfico, o geoprocessamento utiliza técnicas matemáticas e computacionais, fornecidas em ambiente SIG para modelar os processos geográficos representados pela cartografia (D’ALGE, 2001). Sendo assim, a Cartografia Temática Digital pode ser vista como parte de um SIG, o qual é compreendido por um conjunto de ferramentas que incluem *softwares* e *hardwares* que possibilitam o armazenamento e visualização de dados espaciais, tendo como ênfase, a produção final dos mapas (SOARES FILHO, 2000).

A escolha das variáveis que respondem as características estudadas é fundamental para representação de informações espaciais, pois, elas precisam responder por meio de modelos matemáticos os fenômenos encontrados (MOURA, 2020). Além disso, os modelos de análise de padrão por pontos, por exemplo, oferece uma grande flexibilidade para delinear a

distribuição espacial dos eventos, além de, ilustrar o fenômeno estudado espacialmente por meio de coordenadas georreferenciadas em ambiente SIG (SANTOS e SOUZA, 2007).

Entre os modelos de análise de padrão por pontos encontra-se o Modelo de Intensidade de *kernel*, o qual, é uma das formas mais conhecidas de representação de modelo de intensidade, muito utilizado para indicar taxas de concentração de determinado fenômeno no território (SANTOS e SOUZA, 2007; MOURA, 2020). O método de *kernel*, cujo algoritmo utilizado é o de densidade de *kernel*, pode ser simples ou ponderado, sendo que no segundo caso, a variável avaliada acrescenta peso nos pontos analisados (SANTOS e SOUZA, 2007). Para sua aplicação exige a definição de um raio delimitador, que corresponde a área máxima na qual existe a presença de ocorrência do fenômeno estudado (MOURA, 2020). Se o valor de tal raio delimitador não for definido, o *software* estima a mensuração de um valor médio entre os pontos amostrados (SANTOS e SOUZA, 2007; MOURA, 2020).

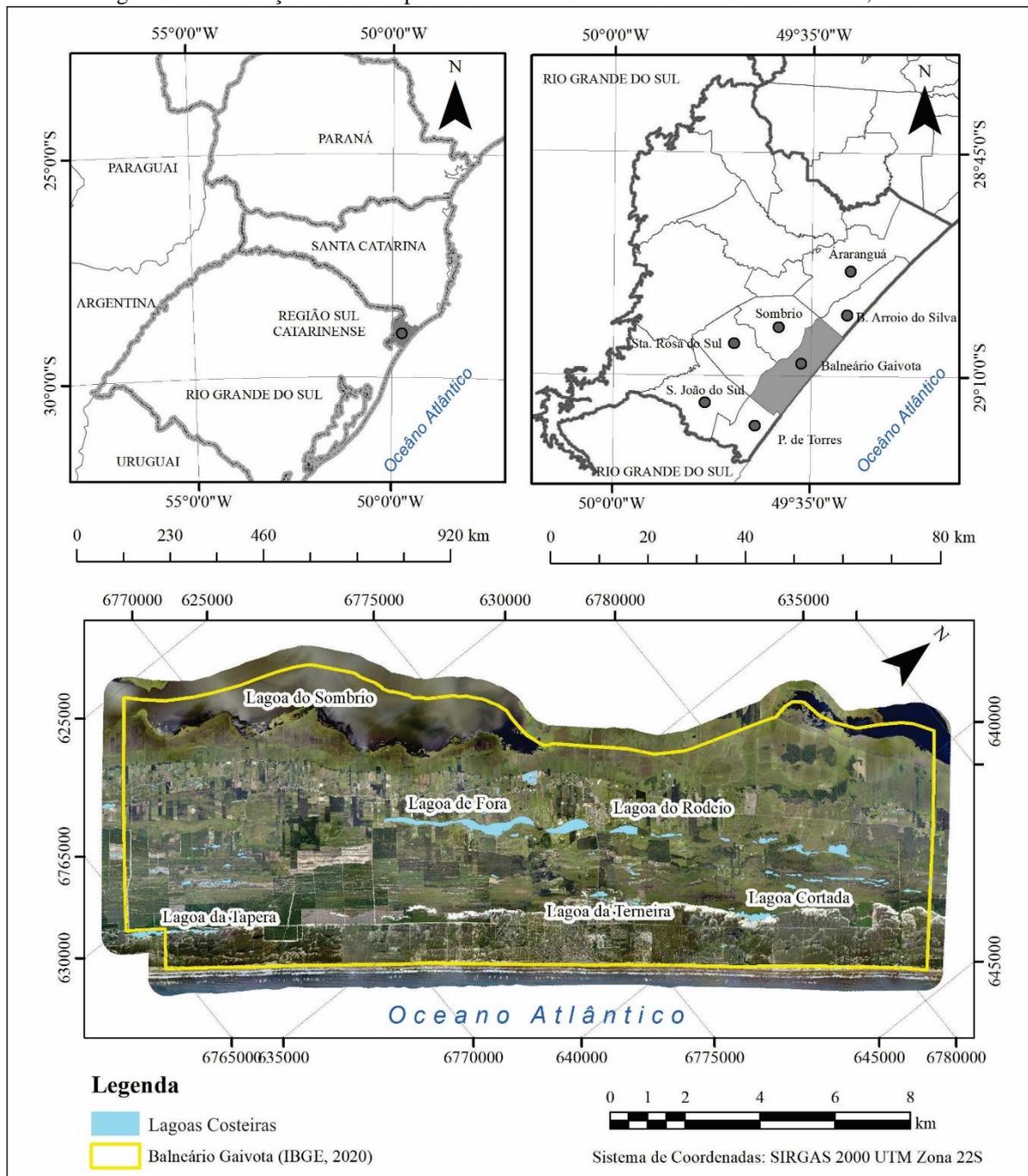
A estimativa de *Kernel* cria uma interpolação de superfícies de densidade gerando “áreas quentes” que são locais com grande aglomeração espacial de eventos “*cluster*”, ou seja, é uma técnica estatística de interpolação não paramétrica, em que uma distribuição de pontos se transforma em superfície contínua de alerta (CÂMARA e CARVALHO, 2004; SANTOS e SOUZA, 2007).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS

O território do município de Balneário Gaivota, cujo posicionamento se dá entre as coordenadas geográficas 29°5'42" e 29°14'45" S e; 49°30'39" e 49°39'8" O, está localizado no sul de Santa Catarina, sul do Brasil (Figura 5).

Figura 5 - Localização do município de Balneário Gaivota no sul de Santa Catarina, Brasil.



Fonte: Própria autoria, 2022.

Ocupa a extensão territorial de 145,71 km<sup>2</sup>, contém uma faixa litorânea de 20,33 km no sentido Norte – Sul e 7,17 km no sentido Leste – Oeste. O território do município limita-se ao Norte com o território do município de Balneário Arroio do Silva, ao Leste com o oceano Atlântico, ao Sul com o território do município de Passo de Torres e ao Oeste com os territórios dos municípios de Sombrio e Santa Rosa do Sul (Figura 5).

### 3.1.1 Clima

O clima da região sul de Santa Catarina, de acordo com a classificação climática de Köeppen é do tipo Cfa, ou seja, subtropical úmido, sem estação seca definida e com inverno ameno (ALVARES *et al.*, 2013; DENSKI e BACK, 2017). A temperatura média anual varia de 17 a 19,3 °C, com temperaturas médias mais quentes entre 23,4–25,9 °C, em janeiro e temperaturas médias mais frias entre 12–15 °C, em julho (ALVARES *et al.*, 2013). A precipitação anual varia de 1.200 a 1.600 mm, cujos valores médios anuais demonstram que o sul do Estado possui os menores valores de precipitação (BACK, 2020).

### 3.1.2 Geomorfologia

A planície costeira sul catarinense se assemelha muito a planície costeira do Rio Grande do Sul no que se refere às características físicas (VILLWOCK, 1984; TOMAZELLI e VILLWOCK, 2005). Sua formação teve grande influência de fenômenos erosivos e deposicionais que ocorreram durante transgressões e regressões marinhas no Pleistoceno (no período entre 400 e 11 mil anos) e Holoceno (entre 11 mil anos e o presente) (TOMAZELLI e VILLWOCK, 2005). Os autores *op. cit.* assinalam que eventos transgressivos-regressivos do tipo laguna-barreira definiram as formações sedimentares em forma de leque, as quais, originaram a partir de regressões forçadas da linha de costa, quatro sistemas deposicionais (Sistema Depositional Laguna-Barreira I a IV). Os três primeiros sistemas deposicionais (I a III) se deram no Pleistoceno e o último (IV) se deu no Holoceno (TOMAZELLI e VILLWOCK, 2005; SILVA, 2015). A área de estudo está assentada, principalmente, sobre o Sistema Laguna-Barreira IV (5 mil anos A.P.). A linha de costa recuou cerca de 5 m em relação ao nível atual do mar, originando os cordões litorâneos regressivos (*beach and foredune ridges*) que deram origem a Barreira IV, a qual encontra-se atualmente bem desenvolvida com largura variável entre 2 e 8 km, sendo caracterizada pela presença de grandes corpos lagunares que incluem:

lagoas e lagoas; rios meandantes e canais inter-lagunares e; pântanos alagadiços e turfeiras (VILLWOCK, 1984; TOMAZELLI e VILLWOCK, 2005; SILVA, 2015).

### **3.1.3 Hidrografia**

O território do município de Balneário Gaivota está inserido na Bacia Hidrográfica do rio Mampituba (BHRM), que é caracterizada como uma bacia transfronteiriça, ou seja, abrange partes do território do extremo nordeste do Rio Grande do Sul (722,73 km<sup>2</sup>) e partes do território do extremo sudeste de Santa Catarina (1.219,31 km<sup>2</sup>), totalizando área de drenagem de 1.942,04 km<sup>2</sup> (CNRH, 2003).

De acordo com a Lei nº 10.949 de 09 de novembro de 1998 (SANTA CATARINA, 1998), para efeitos de planejamento, gestão e gerenciamento dos recursos hídricos catarinenses, são reconhecidas 10 regiões hidrográficas. A porção catarinense da BHRM pertence à Região Hidrográfica do Extremo Sul Catarinense (RH 10) e, apesar do município de Balneário Gaivota estar totalmente inserido na RH 10, não possui em seu território nenhum rio. O fluxo hídrico ocorre principalmente por arroios e sangradouros que cortam o município de Oeste para Leste, interligando o sistema lagunar da região com o oceano atlântico (BITENCOURT e ROCHA, 2014).

O sistema lagunar da RH 10 é composto por 12 principais lagoas: Urussanga Velha, Freitas, Jacaré, Rincão, Faxinal, Esteves, Mãe Luzia, Dourada, Serra, Caverá, Sombrio e Braço Morto e; por um conjunto de lagoas menores, denominado de lagoas de Fora, formado pelas lagoas de Fora, Rodeio e Terneira (SANTA CATARINA, 2009, 2013, 2015). O território de Balneário Gaivota é banhado pelas lagoas de Fora, Rodeio e Terneira e, por parte das lagoas Caverá e Sombrio.

### **3.1.4 Vegetação**

A cobertura vegetal está representada predominantemente pelas formações pioneiras do tipo Restinga (IBGE, 2012). A Restinga é um conjunto de ecossistemas que compreende comunidades florísticas e fisionomicamente distintas, situadas em terrenos com predominância arenosa, de formação marinha, fluvial, lagunar, eólica ou combinação dessas (FALKENBER, 1999; KLEIN *et al.*, 2007). Sua característica temporal pertence ao período Quaternário (FALKENBER, 1999) e a formação vegetacional é caracterizada como edáfica e pioneira, ou

seja, depende mais da natureza do solo do que do clima e se desenvolve principalmente em cordões de dunas e sistemas lagunares (FALKENBER, 1999; CONAMA 1999; KLEIN *et al.*, 2007).

A vegetação das dunas internas ou planícies se estabelecem sobre dunas móveis, semifixas ou fixas, além de também ocorrer em planícies pós praia, associadas a dunas e lagunas. Nos ambientes de lagunas e banhados, a predominância é de macrófitas aquáticas que podem ser emergentes ou anfíbias, bem como, flutuantes ou submersas, cujas alturas quase nunca ultrapassam um metro (FALKENBER, 1999).

Além da vegetação pioneira das Restingas ocorrem ainda vegetações turfosas, também conhecidas como matas brejosas, integrantes da Floresta das Terras Baixas (IBGE, 2012) as quais estão distribuídas em depressões ou em relevos onde o lençol freático se encontra próximo à superfície, ou por vezes, aflorando na maior parte do ano (WAECHER e JARENKOW, 1998; IBGE, 2012; MARTINS *et al.*, 2013).

### **3.1.5 Ocupação territorial colonial e pós-colonial**

Cabral, 1937 caracteriza o litoral catarinense como quente e úmido e assinala que é comum os terrenos alagadiços cobertos por mangue [**até o limite da foz da lagoa Santo Antônio dos Anjos em Laguna] e daí para o sul, coberto por vegetação de Marismas (IBGE, 2012)**]. As praias que se estendem de Norte a Sul são longas e selvagens e neste ambiente, o homem do litoral se dedica à agricultura e ao comércio, as terras próprias para a lavoura conduziram a ocupação do litoral (CABRAL, 1937).

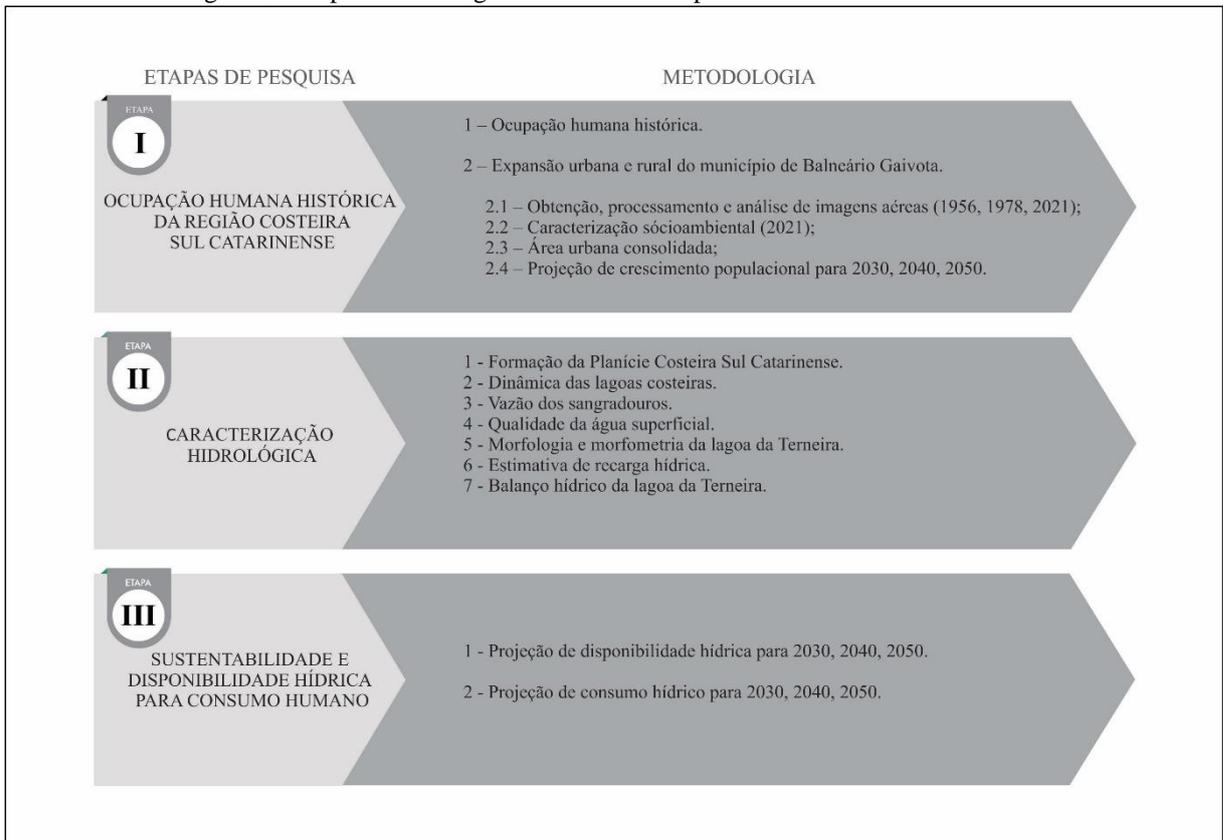
Nos primórdio da colonização a economia girava, inicialmente em torno da pesca, pecuária, produção de mandioca e trabalhos com couro (LOPES, 2011; SILVEIRA, 2020). Com a constante descida de animais da serra para o litoral, os proprietários buscavam ampliar suas pastagens para aumentar a produção pecuária (LOPES, 2011) e além disso, a madeira foi fruto primordial para a criação e manutenção das propriedades, assim como, argila e pedras de arenito que serviam para construção de igrejas (SILVEIRA, 2020). O dinamismo da região sul catarinense foi muito impulsionado pelo tropeirismo, cuja rota saía da província de São Pedro no Rio Grande do Sul com destino à Sorocaba, fazendo do sul de Santa Catarina local de parada. Perdurou por cerca de 100 anos dando origem ao traçado da atual BR 101 (LOPES, 2011; SILVEIRA, 2020).

Em 1938 foi instituída a Paróquia de Sombrio (SILVEIRA, 2020). Até 1950 a região era constituída de pequenas propriedades rurais, instaladas às margens de corpos lagunares, o ambiente era úmido, compostos principalmente por banhados e campos de dunas, que não eram atrativos para produção agrícola à época (COHENCA *et al.*, 2017). Em 1953 ocorre a emancipação do município de Sombrio do município de Araranguá e em dezembro de 1995, Balneário Gaivota é desmembrado do município de Sombrio (SANTA CATARINA, 1995; COHENCA, 2016).

### 3.2 PROCEDIMENTOS DE COLETA E ANÁLISE DE DADOS

A coleta e a análise de dados se deram em três etapas (Figura 6): I - ocupação humana histórica da região costeira sul catarinense; II - caracterização hidrológica e; III – sustentabilidade e disponibilidade hídrica para consumo humano.

Figura 6 - Etapas metodológicas desenvolvidas para a coleta e análise de dados.



Fonte: Própria autoria, 2022.

### 3.3 OCUPAÇÃO HUMANA HISTÓRICA DA REGIÃO COSTEIRA SUL CATARINENSE

#### 3.3.1 Ocupação humana histórica

O resgate do processo de ocupação humana histórica da região costeira sul catarinense se deu com base em consultas à bibliografia específicas como: Pereira (2003), Lopes (2011), Bitencourt *et al.*, (2011; 2013), Seyferth (2012), Bitencourt e Rocha (2014); Cohenca (2016), Cohenca *et al.* (2017) e, Bitencourt (2017).

#### 3.3.2 Ocupação, expansão e densidade de ocupação do território do município de Balneário Gaivota

O processo de ocupação, expansão e intensidade de ocupação do território do município de Balneário Gaivota foi avaliado em quatro épocas (1956; 1978; 2010 e 2020), com base em fotografias aéreas. As imagens de 1956, 1978 e 2010 foram disponibilizadas pela Secretaria de Desenvolvimento Sustentável do Estado de Santa Catarina. As imagens referente ao ano de 2020 foram obtidas por meio da tecnologia *Remotely Piloted Aircraft* (RPA) conforme descrito na literatura (ver por exemplo: CARNEIRO *et al.*, 2014; CÂNDIDO *et al.*, 2015; SILVA *et al.*, 2015; MAROTTA *et al.*, 2015; SILVA *et al.*, 2016; LUZ *et al.*, 2017; PAZ e ZANETTI *et al.*, 2018; RODRIGUES *et al.*, 2018; LADWIG *et al.*, 2021).

Os procedimentos metodológicos aplicados para análise do processo de ocupação, expansão e intensidade de ocupação da área estudada se encontram detalhados abaixo:

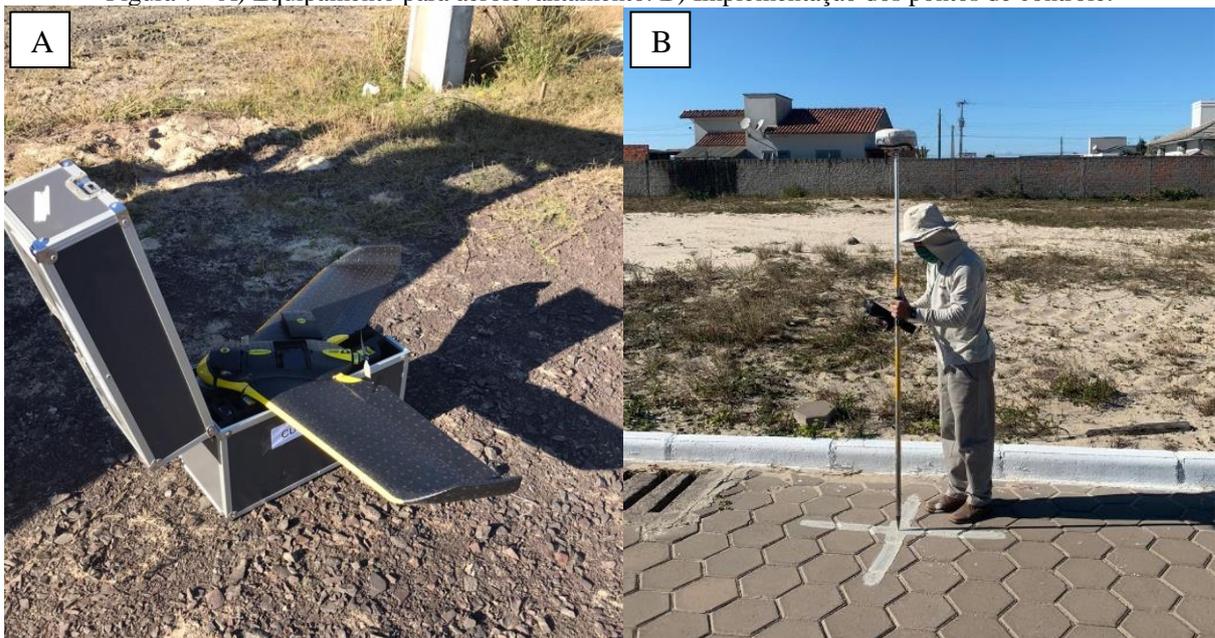
a) Processamento Digital de Imagens (PDI) aéreas históricas.

Para o processamento digital de imagens aéreas históricas foi utilizado a metodologia proposta por (MENESES e ALMEIDA, 2012). Foi definida como fonte de informação georreferenciada a imagem aérea ortorretificada e georreferenciada elaborada pelo Estado de Santa Catarina no ano de 2010 (CRUZ e MENOSSI, 2012). A aplicação da metodologia se deu por meio de *software* SIG – Sistema de Informações Geográficas ArcGIS® versão 10.2.1, tendo como *sistema* de referência o SIRGAS 2000, sob fuso *UTM – Universal Transversa de Mercator* nº 22S.

b) Obtenção e processamento Digital de Imagens obtidas por *Remotely Piloted Aircraft (RPA)*.

A identificação, com fidelidade geométrica, ou seja, *Ground Sample Distance (GSD)* de 5cm, das edificações em temporalidade atual (ano de 2020) se deu com base em aerolevantamentos realizados em todo perímetro urbano do município de Balneário Gaivota, por meio de aerofotogrametria com auxílio da tecnologia RPA. O processo metodológico seguiu as etapas propostas por Silva *et al.* (2016) e Ladwig *et al.* (2021). A obtenção do produto final se deu através de três procedimentos: 1- planejamento do voo, 2 - execução do voo e, 3 - pós voo (processamento das imagens). A Figura 7 A ilustra o equipamento utilizado na coleta das fotos e a figura 7B os pontos de controles e equipamento de coleta de informações georreferenciadas de precisão GNSS/RTK.

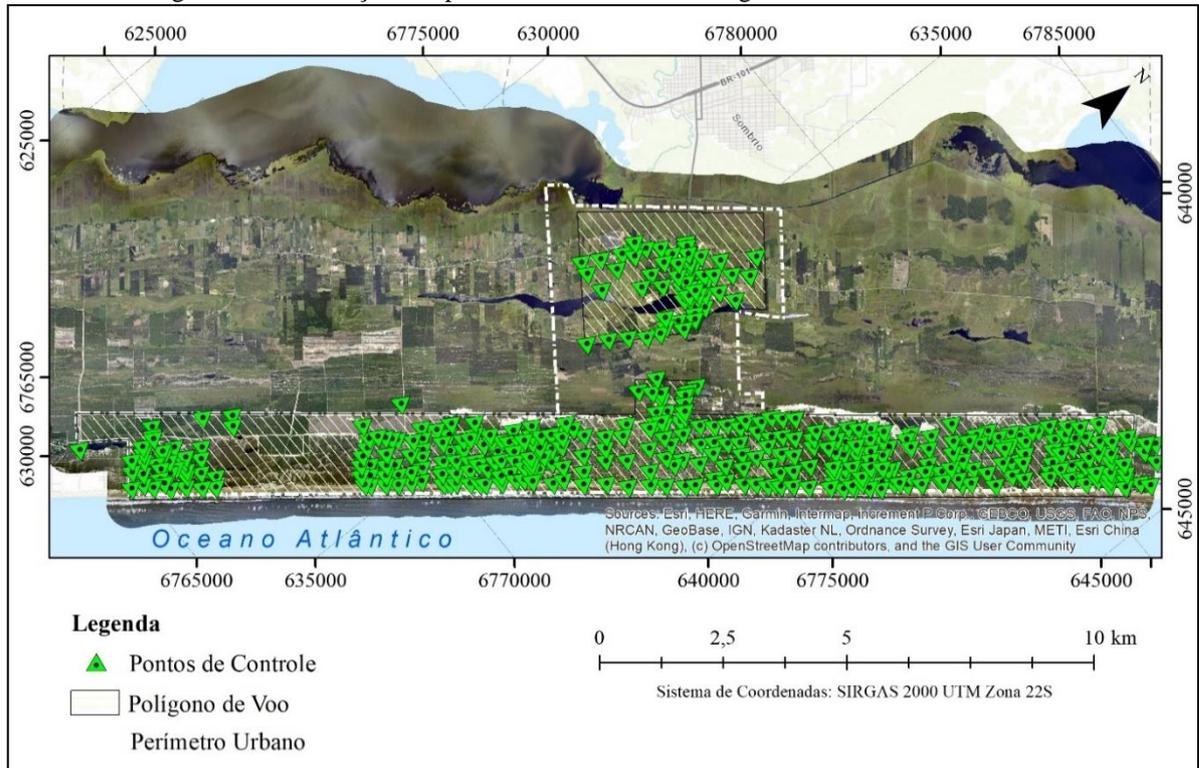
Figura 7 - A) Equipamento para aerolevantamento. B) Implementação dos pontos de controle.



Fonte: Própria autoria, 2022.

Para o processamento das imagens obtidas por meio da técnica RPA inicialmente foi realizado o planejamento de 44,67 km<sup>2</sup> e para isso, foram necessários mais de 603 pontos de controle, devidamente implantados em campo e georreferenciados, distribuídos na área urbana do município (Figura 8). Os trabalhos de campo resultaram em seis meses de incursões e 17 voos na área de estudo, pois além da grande extensão territorial, a janela climática tem que ser observada, ou seja, pouco vento e tempo ensolarado entre 9:00 h e 15:00 h.

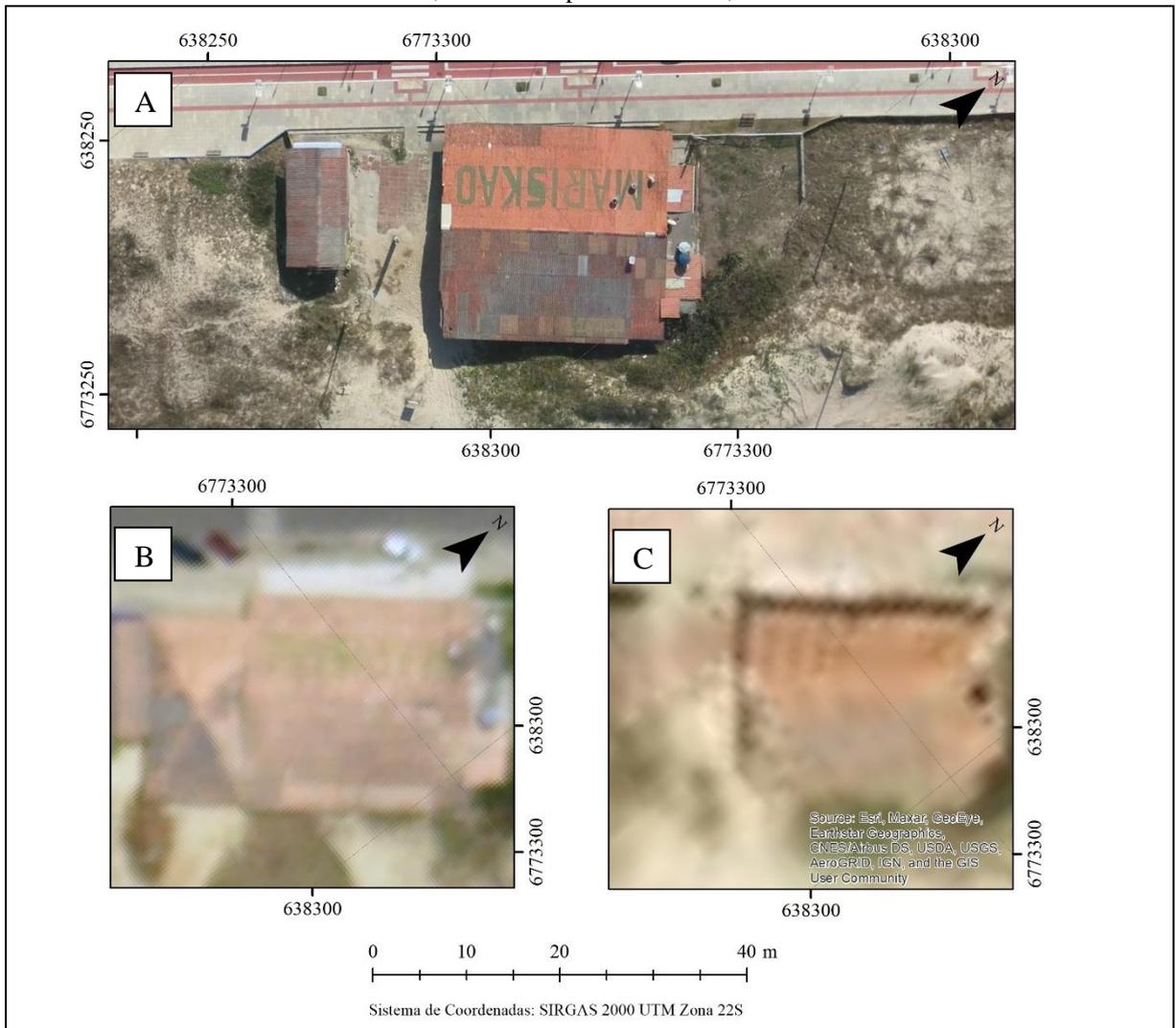
Figura 8 - Distribuição dos pontos de controle aerofotogramétrico na área de estudo.



Fonte: Própria autoria, 2022.

As fotos obtidas por meio da plataforma RPA foram ortorretificadas utilizando software *Pix4Dmapper 4.5.2*, o qual permite especificamente o georreferenciamento, ortorretificação e modelagens 3D de fotos. O produto final dos processamentos necessários para correção geométrica e georreferenciamento das fotos é geração do ortomosaico georreferenciado, cuja resolução espacial (*Ground Sample Distance - GSD*) é de 5cm, a qual fornece melhor nitidez às imagens, conforme mostra a (Figura 9A), comparada resolução espacial de 39 cm (Figura 9B) e 1,0 m (Figura 9C) fornecidas pela SDS e obtidas em bancos de imagem SIG, respectivamente.

Figura 9 - A) Imagem por meio de técnica (RPA), com GSD de 5 cm. B) Imagem do aerolevanteamento realizado pelo Estado de Santa Catarina, com GSD de 0,39 cm e c) imagem de satélites do banco de imagens de software SIG, com GSD aproximado de 1,0 m.



Fonte: Própria autoria, 2022.

### c) Determinação da intensidade de urbanização

Para determinação da intensidade de ocupação foi definida a posição georreferenciada de todas as edificações municipais para 2020, por meio de ortomosaico com GSD – *Ground Sample Distance* de 5 cm. Na sequência foi realizada a inclusão de pontos de edificações na foto aérea datada de 2010, que possui resolução espacial de 0,39 m. Por fim, foram inclusos os pontos amostrais nas fotos aéreas georreferenciadas em 1978 e 1956, que possuem resolução espacial de 1,0 a 1,5 m, variável com o georreferenciamento, mas com boa nitidez para identificação das edificações.

De posse dos dados pontuais, aplicou-se a análise de densidade de *kernel* para criar as superfícies de intensidade amostral, conforme proposto por Câmara e Carvalho (2004). Foram definidas as classes por meio do intervalo de valores possíveis de tamanhos desiguais para que

o número de valores seja o mesmo em cada classe. As classes nos extremos e no meio têm o mesmo número de valores. Como os intervalos são geralmente mais largos nos extremos, essa opção é útil para destacar as mudanças nos valores intermediários da distribuição que no caso é a borda de expansão territorial. Valores entre 0 a 70 edf.km<sup>2</sup> foram definidos como área de baixa intensidade de edificação; valores acima de 70 a 300 edf.km<sup>2</sup>, foram definidos como área de baixa a média a intensidade de edificação; valores acima de 300 a 900 edf.km<sup>2</sup>, foram definidos como área de média a alta intensidade de edificação e; acima de 900 edf.km<sup>2</sup>, foram definidos como área altamente edificada. Para a mesma classe foram criados os mapas de intensidade de *kernel* para 1956, 1978, 2010 e 2020.

### 3.3.3 Área urbana consolidada no ano de 2021

Para determinar a área urbana consolidada (AUC) no ano de 2021 foram adotados os requisitos definidos na legislação brasileira, Leis Federais n° 12.651/2012 (BRASIL, 2012) e 13.465/2017 (BRASIL, 2017). O conceito de Área Urbana Consolidada é dado no Art. 16-C, II da Lei Federal n° 13.465/2017 (BRASIL, 2017), conforme segue:

§ 2º Para os fins desta Lei, considera-se área urbana consolidada aquela:

- I - incluída no perímetro urbano ou em zona urbana pelo plano diretor ou por lei municipal específica;
- II - com sistema viário implantado e vias de circulação pavimentadas;
- III - organizada em quadras e lotes predominantemente edificados;
- IV - de uso predominantemente urbano, caracterizado pela existência de edificações residenciais, comerciais, industriais, institucionais, mistas ou voltadas à prestação de serviços; e
- V - com a presença de, no mínimo, três dos seguintes equipamentos de infraestrutura urbana implantados:
  - a) drenagem de águas pluviais;
  - b) esgotamento sanitário;
  - c) abastecimento de água potável;
  - d) distribuição de energia elétrica; e
  - e) limpeza urbana, coleta e manejo de resíduos sólidos.

Para entender melhor os processos de ocupação do território municipal, foi definida a AUC, que é parâmetro norteador do diagnóstico socioambiental, uma vez que tal conceito é chave na delimitação de áreas que possuem infraestrutura suficiente para regularização fundiária (BRASIL, 2017). Para atender a Lei 13.465/2017 (BRASIL, 2017) foram definidas as bases cartográficas das rodovias municipais, delimitação das quadras e lotes que prioritariamente são urbanizados (mancha urbana), a mancha de abastecimento público municipal de água, energia elétrica e limpeza urbana. Com a sobreposição das camadas em

ambiente SIG se estabeleceu uma mancha que sobrepunha ao menos três dos itens listados acima, identificando assim a AUC no município.

### **3.3.4 Caracterização socioambiental (2021)**

A caracterização socioambiental foi elaborada a partir da coleta de dados sociais primários, efetuadas pelo Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas (IPAT) no ano de 2021 e coordenada pelo autor da presente tese, sendo, portanto, aqui referenciado como IPAT (2021). A coleta de dados primários se deu com a aplicação de questionário à 401 moradores do município de Balneário Gaivota, cujo intervalo de confiança é de 95% (IPAT, 2021).

Os dados primários obtidos com o questionário foram complementados com informações obtidas junto às Secretarias Municipais de Balneário Gaivota, além de consultas a bancos de dados de fontes oficiais, como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, Programa das Nações Unidas – ATLAS – PNUD, Ministério da Saúde, Instituto de Pesquisa Aplicada – IPEA e Ministério do Trabalho e Emprego – MTE.

### **3.3.5 Crescimento populacional (período 1956 – 2021)**

A análise do crescimento populacional do município de Balneário Gaivota se deu por meio de quatro fontes de dados, duas primárias e duas secundárias.

1 - Dados primários obtidos por meio de geoprocessamento em ambiente SIG com base na contagem dos números de edificações e calculados utilizando-se a densidade de *Kernel* para os anos de 1956, 1978, 2010 e 2020, conforme já descrito.

2 - Dados primários obtidos por meio do Diagnóstico Socioambiental do Município de Balneário Gaivota, efetuado pelo Instituto de Pesquisas Ambientais da UNESC (IPAT, 2021).

3 - Dados secundários obtidos junto ao poder público municipal e estadual, como Número de Unidades Consumidoras Elétricas (NUCE), obtidos no banco de dados das Centrais Elétricas de Santa Catarina SA. (CELESC) e dados número de solicitações de alvarás para construção, obtidos na Prefeitura Municipal de Balneário Gaivota.

4 – Dados secundários contidos nas bases de dados do IBGE, sobre o número populacional humano, censos de 2000 e 2010 e número estimado para 2021. A estimativa da população flutuante foi obtida nos bancos de dados estatísticos do IBGE.

### 3.3.6 Projeção de crescimento populacional para os anos de 2030, 2040 e 2050

A projeção de crescimento populacional do Município de Balneário Gaivota para os anos 2030, 2040 e 2050, em consonância ao ODS da ONU, foi estimada a partir das fontes de informações acima mencionadas. É apresentada com base no coeficiente de determinação  $R^2$ , avaliando o melhor ajuste para as linhas de tendência e série temporal de dados: a) linear, b) polinomial, c) logarítmica, d) exponencial e, e) potencial.

Com base no melhor ajuste das linhas de tendência foram avaliados os modelos de projeção aritmética, geométrica e crescimento logístico (SPERLING, 2018), projetando os dados para os anos de 2030, 2040 e 2050.

## 3.4 CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA

### 3.4.1 Formação da Planície Costeira Sul Catarinense

A descrição da formação e evolução da Planície Costeira Sul Brasileira e das lagoas nela presentes se deu com base nos estudos de: Villwock (1984); Tomazelli e Villwock (1991); Tomazelli *et al.* (2000); Horn Filho (2003); Travessas *et al.* (2005); Tomazelli e Villwock (2005); Mudat *et al.* (2006); Cancelli (2012); Silva (2015) e; Mateus (2017). Com base nestas referencias foram definidos: a) em qual época geológica foram formadas as lagoas costeiras que hoje fornecem recurso hídrico de água doce para o município; b) qual a formação geológica em que se encontra a área de estudo.

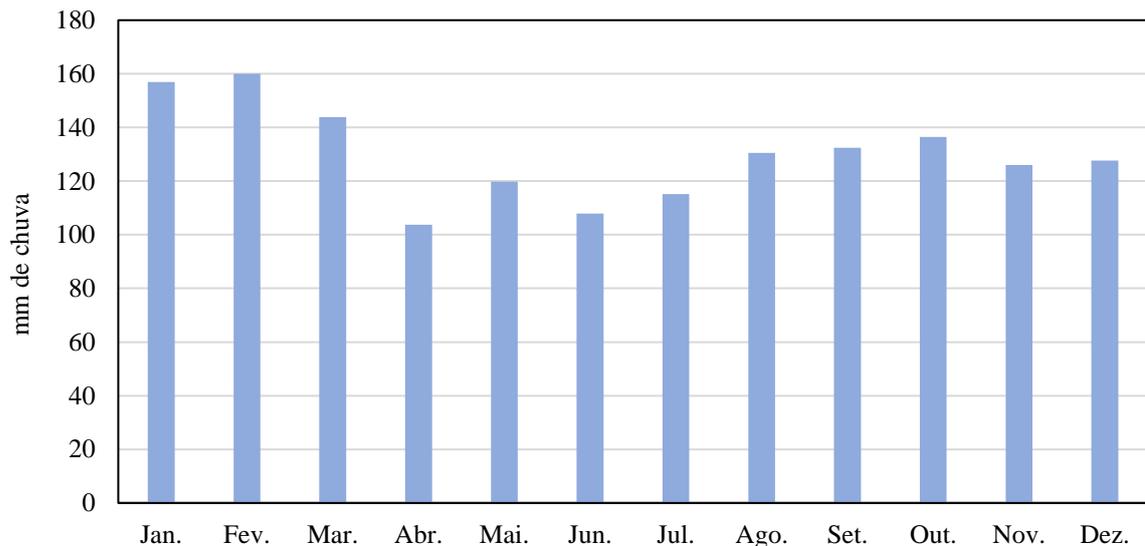
### 3.4.2 Dinâmica das lagoas costeiras

Como forma de estudar melhor o problema da pesquisa esta etapa do trabalho pretende avaliar por meio do uso de imagens orbitais e cartografia temática, se existe na evolução espaço-temporal das lagoas costeiras, a redução da lâmina de água no sistema lagunar da (PCRS), e, portanto, neste momento a análise de dados se dará de modo regional. A pesquisa, buscou contemplar a metodologia em escala regional com modelo complexo, pois, avalia o espaço contínuo em modelos espaciais, ou seja, avaliou a dinâmica superficial das lagoas costeiras inseridas na PCRS por meio do método de PDI com informações matriciais do satélite *Landsat*, além de dados de monitoramento da superfície terrestre disponível no MapBiomias, abrangendo

a periodicidade anual e uma janela temporal de 1985 e 2020 (35 anos). Em ambas fontes de dados, a resolução espacial é de 30m.

Em escala local (território do município) foram estudados entre 1980 a 2021 os processos de variação geomorfológica da lâmina d'água. Seguindo a mesma série de informações de sensores remotos foram utilizados os dados do sensor *Landsat 5, 7 e 8* respectivamente. Para analisar a variação espaço-temporal da lâmina d'água das lagoas costeiras inseridas no território do município de Balneário Gaivota foram utilizadas as imagens *Landsat* para aplicação no índice (*MNDWI*). Como forma de organizar os dados estudados foi necessário estabelecer critérios, sendo assim, se buscou imagens temporais que foram obtidas em épocas do ano semelhantes, índices de chuvas mensais próximos (Figura 10) e também imagens com boa nitidez.

Figura 10 - Pluviometria média mensal da estação pluviométrica de Sombrio (Série 1976-2020).



Fonte: Própria autoria, 2022.

Observa-se que a estação de verão é historicamente a que apresenta os maiores índices pluviométricos, porém, a distribuição nos trinta (30) dias anteriores a aquisição da imagem também influenciam na resposta do limite da lâmina d'água das lagoas. Sendo assim, foram cruzadas três informações para padronizar a aquisição de imagens: a) período de imageamento realizado entre os meses de novembro a janeiro; b) índice pluviométrico acumulado entre 100 e 150 mm no mês de aquisição da imagem e; c) ausência de ruídos atmosféricos, como presença de nuvens nas imagens. Com base neste conjunto de variáveis foram selecionadas seis épocas temporais que reuniram as três características citadas: a) novembro de 1980; b) janeiro de 1991;

c) janeiro de 1999; d) novembro de 2005; e) dezembro de 2013 e; f) janeiro de 2021 (Tabela 1).

Tabela 1 - Anos, meses e média mensal pluviométrica que atenderam as premissas definidas para a aquisição de imagens para avaliação da dinâmica temporal de variação da lâmina d'água das lagoas.

Anos	Mês	Média Mensal de Chuva (mm) Dos 30 dias anteriores
1980	novembro	109,8
1991	janeiro	102,2
1999	janeiro	83,1
2005	novembro	128,9
2013	dezembro	98,7
2021	janeiro	140,5

Fonte: Própria autoria, 2022.

Para o PDI foi utilizado o método *Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI)*, desenvolvido por MCFEETERS (1996), modificado por XU (2006) que propõe a utilização da banda (*MIR*) infra vermelha médio e verde (*Green*), cuja algoritmo modificado do *NDWI* é expresso na equação (1).

$$MNDWI = \frac{(Green - MIR)}{(Green + MIR)} \quad (1)$$

Onde:

MNDWI = Modified Normalized Difference Water Index

*Green* = Banda de reflectância verde

*MIR* = Infravermelho médio

O *MNDWI* tem uma boa representação na variação do delineamento dos corpos hídricos, o que favorece os trabalhos de monitoramento desses recursos. O valor obtido pelo índice varia entre -1 e 1, ou seja, o tipo de cobertura é de água se o valor do *NDWI*  $\geq 0$  e; não é de água se o valor do *NDWI* for  $\leq 0$  (MCFEETERS, 1996).

A proposta de XU (2006) tem como principais vantagens: a) a água aparece com valores mais positivos do que no *NDWI*, tendo em vista maior taxa de absorção de radiação eletromagnética na faixa do infravermelho médio, comparado ao infravermelho próximo; b) as áreas urbanas apresentam valores negativos; e c) as áreas de vegetação e solo exposto também se apresentam com valores negativos, tendo em vista a maior reflectância do solo no infravermelho médio do que no infravermelho próximo. Neste sentido, quando o valor é positivo indica a existência de água, quando os valores são negativos, indicam que existe a predominância de solo e vegetação (XU, 2006).

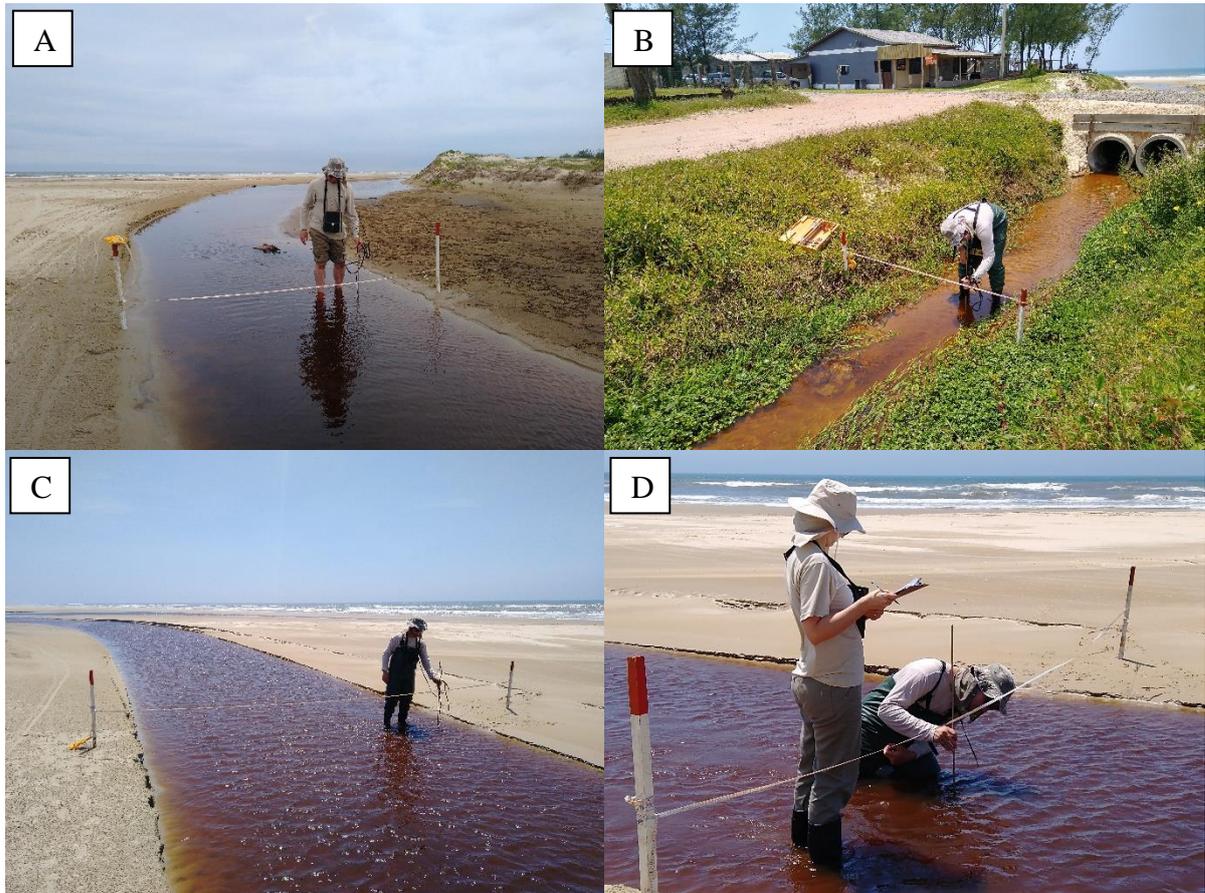
### 3.4.3 Medição da vazão de sangradouros

Os dados sobre a vazão dos sangradouros foram extraídos do Diagnóstico Socioambiental (IPAT, 2021). Para avaliar as saídas de água que escoam para o mar foram avaliadas as vazões dos principais sangradouros do município, sendo esses canais responsáveis pela interligação entre as lagoas e o oceano (SERPA *et al.*, 2008). Para a medição da vazão destes acessos de água doce ao mar foram utilizados as metodologias descritas por Santos *et al.* (2001) e Back (2006). Para a medida da área da seção foram levantadas as seções por topobatimetria de acordo com a metodologia aponta por Krueger (1999) e Schwalm *et al.* (2009). A vazão foi medida com molinete hidrométrico conforme descrito em Santos *et al.* (2001) e Back (2006).

Para determinação do número de verticais e a velocidade média obtida pela integração com o perfil foram utilizados as metodologias propostas por Santos *et al.* (2001) e Back (2006). As medições dos sangradouros foram realizadas onde a vazão era suficiente para medição da quantidade de água que escoam para o oceano. Desta forma foram avaliados os quatro principais recursos hídricos de escoamento de água doce para o oceano que correspondem aos pontos BG-14, BG-17, BG-22 e BG-23 (Figura 12).

As medições foram realizadas em duas campanhas, sendo que a primeira campanha ocorreu nas datas de 16/12/2021 e 22/12/2020 e a segunda nas datas de 18/02/2021 e 22/02/2021. Na Figura 11 são ilustrados os procedimentos e os respectivos pontos de coletas.

Figura 11- Imagens demonstrativas das seções batimétricas nos sangradouros A) BG-14, B) BG-22, C e D) BG-17.

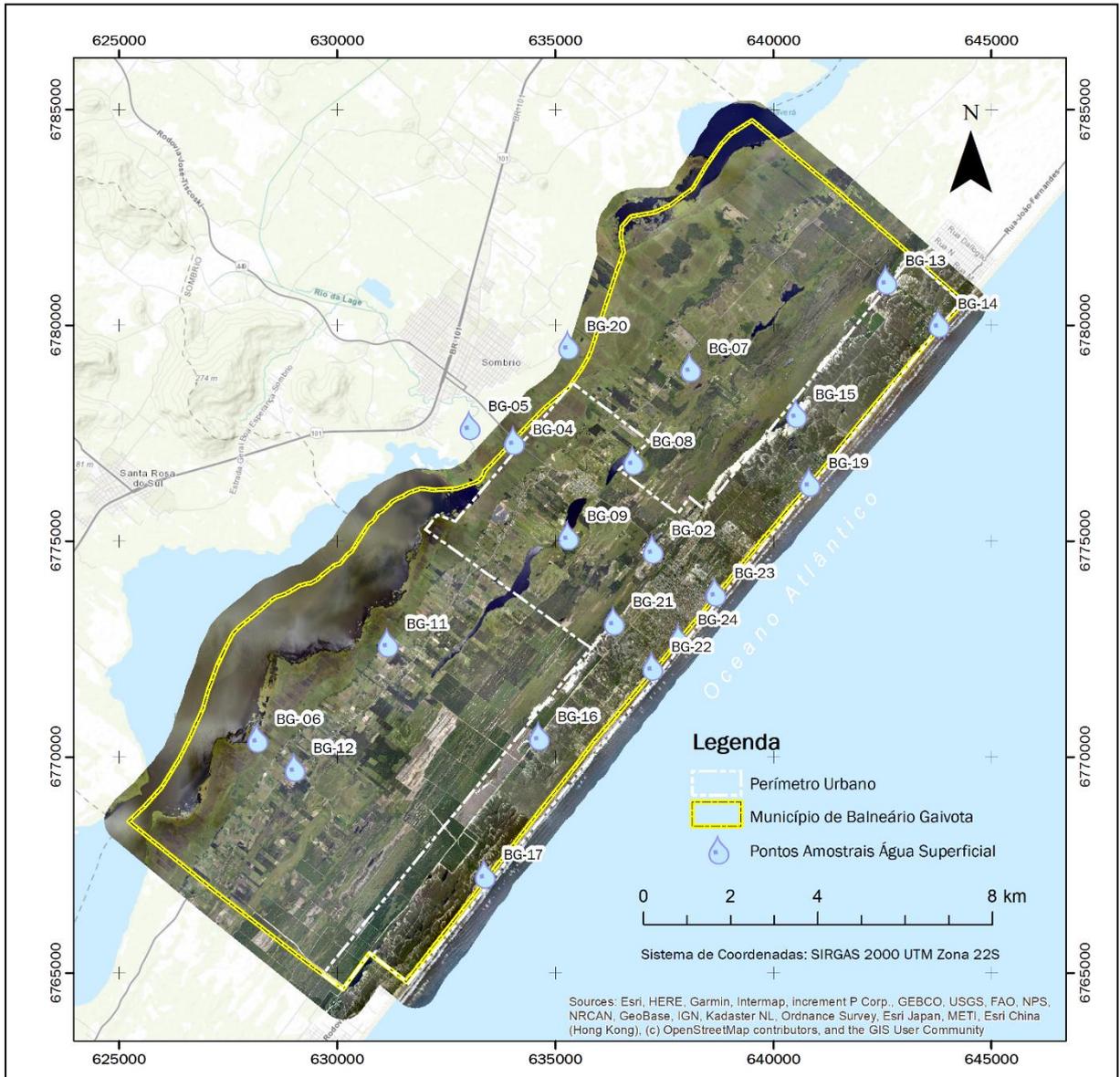


Fonte: Própria autoria, 2022.

### 3.4.4 Qualidade da água superficial

Diante das consequências que o excesso de  $DBO_{5,20}$  podem acarretar na aceleração da eutrofização das lagoas costeiras foram obtidas amostras de água superficial em vinte e quatro (24) pontos amostrais (Figura 12). Foram realizadas duas campanhas de monitoramento da água, uma em janeiro de 2020 e outra em fevereiro de 2021 (IPAT, 2021), para a obtenção de dados para a definição do Índice de Qualidade de Água (IQA), conforme descrito por (SPERLING, 2007, 2018). Algumas coletas podem ser observadas na Figura 13.

Figura 12 - Localização das estações de coleta para avaliação da qualidade da água superficial no município de Balneário Gaivota nos anos de 2020 e 2021.



Fonte: Própria autoria, 2020.

Foram considerados na amostragem em campo: a) data da coleta; b) temperatura da água coletada em °C. Em laboratório foram avaliadas as seguintes variáveis: a) conteúdo de fósforo (P) total ( $\text{mg.L}^{-1}$ ); b) pH da amostra; c) demanda bioquímica de oxigênio (DBO) em ( $\text{mg.L}^{-1}$ ); d) nitrogênio (N) Total ( $\text{mg L}^{-1}$ ); e) conteúdo de sólidos totais ( $\text{mg L}^{-1}$ ); f) turbidez (NTU); g) oxigênio dissolvido (OD) ( $\text{mg L}^{-1}$ ); h) MNP de coliformes termotolerantes (MNP  $100\text{mL}^{-1}$ ).

Além disso foram calculados o Índice de Estado Trófico (IET) nas estações amostrais localizadas nas lagoas. De acordo com a classificação da Cetesb (2006), todos os pontos,

quando identificada a presença de fósforo total, se enquadraram na categoria eutrófico, ou seja, possuem potencial de produtividade alta em relação as condições naturais.

Figura 13 - Coletas de água superficial nas lagoas do município de Balneário Gaivota. A e B) ponto BG-02 – Lagoa da Terneira; C) ponto BG-08 Lagoa de Fora e; D) ponto BG-09 Lagoa de Fora.



Fonte: Própria autoria, 2020.

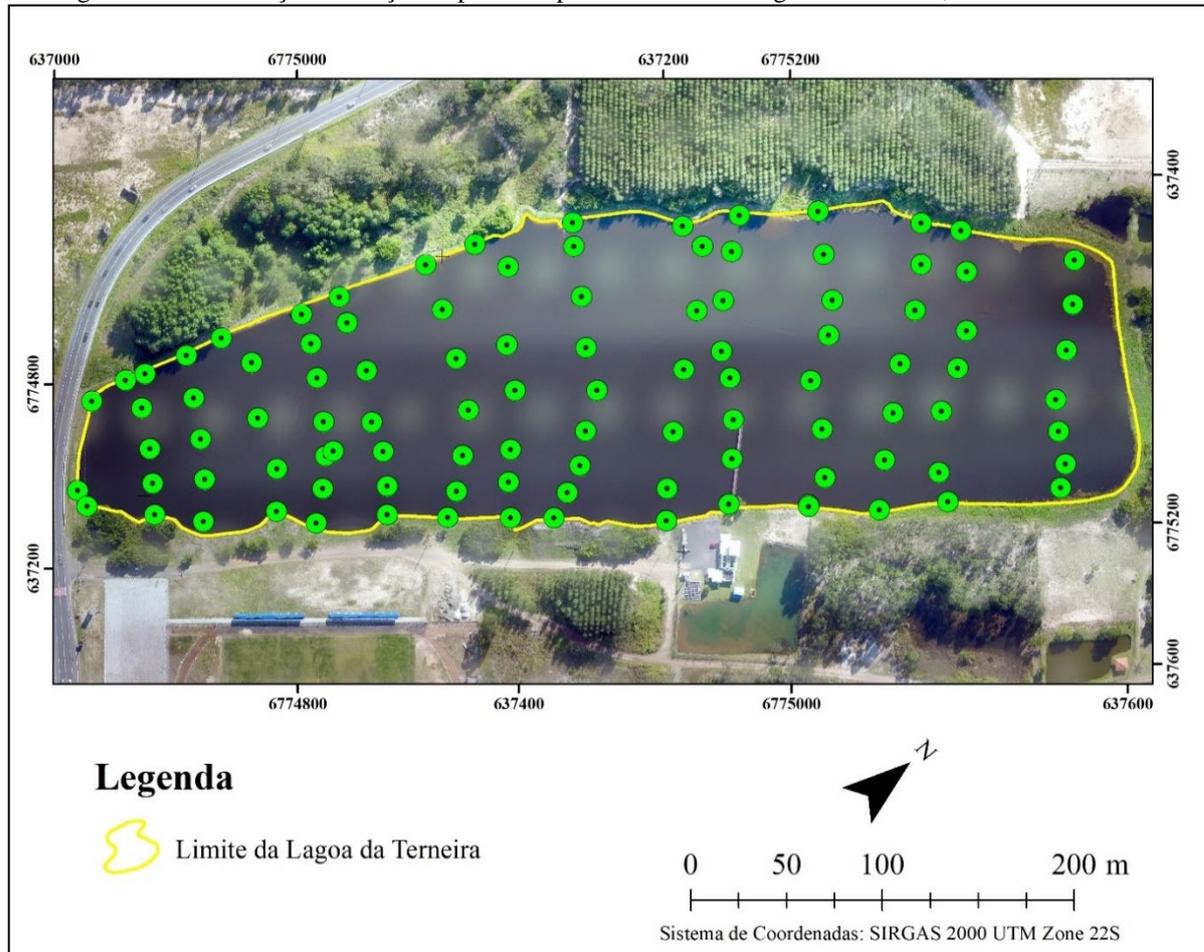
### 3.4.5 Morfometria e morfologia da lagoa da Terneira

Para caracterização morfométrica da lagoa da Terneira (lagoa de captação hídrica municipal) foram aplicados os parâmetros morfométricos estabelecidos nos estudos de Hakanson (1981), Schwarzbald e Schäfer (1984), Schäfer *et al.* (2014) e, Marchett (2017). Para a análise morfométrica dessa lagoa foram caracterizados parâmetros diretos e indiretos: os parâmetros diretos foram medidos em campo ou derivados de PDI; já os parâmetros indiretos foram derivados a partir dos parâmetros diretos.

Como parâmetros diretos foram obtidas as informações batimétricas de profundidade máxima. A batimetria seguiu a metodologia descrita por Schwalm *et al.* (2009) conduzida por seções batimétricas (Figura 14), com fixação de rede geodésica nas margens e com auxílio de barco (Figura 15), equipamento de medição estação total do modelo *Topcon* série GPT 3200 e

equipamento de coleta de informações georreferenciadas *Global Navigation Satellite System* (GNSS) por meio do equipamento *GNSS RTK Trimble R6* (Figura 16).

Figura 14 - Distribuição das seções e pontos topobatimétricos na lagoa da Terneira, Balneário Gaivota.



Fonte: Própria autoria, 2022.

Como a escala de avaliação passou para local, os parâmetros morfométricos de área, comprimento e largura, foram obtidos por fotointerpretação de imagem aérea datada de 2020 e resolução espacial ou GSD - *Ground Sample Distance* de 0,05. Os parâmetros indiretos: a) profundidade média ( $Z_{ave}$ ); b) razão entre profundidade média e a máxima ( $Z_{ave}/Z_{max}$ ); c) profundidade relativa ( $Z_{rel}$ ); d) volume ( $V$ ); e) desenvolvimento do volume ( $D_v$ ); f) desenvolvimento do perímetro ( $D_p$ ) foram calculados a partir dos dados diretos. De acordo com Marchett (2017): a profundidade máxima representa o ponto mais fundo do corpo hídrico ( $Z_{máx}$ ), a área ( $A$ ) representa a medida da superfície de uma lagoa; o comprimento ( $L$ ) é a linha entre os dois pontos mais distantes nas margens, sem interrupção por terra superficial; a largura ( $W$ ) é a maior linha que intersecta transversalmente o comprimento e conecta dois pontos nas

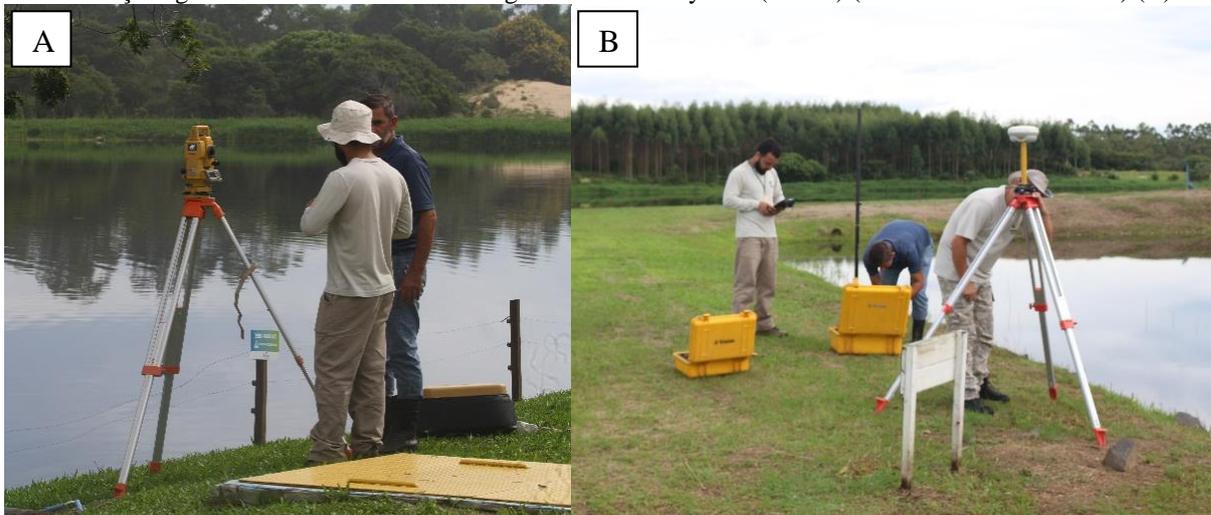
margens, sem interrupção de terras superficiais; o perímetro ( $P$ ) é a extensão da linha de margem.

Figura 15 - Detalhe de tomada de dados topobatimétricos com prisma (A) e auxílio de barco (B), na lagoa da Terneira, Balneário Gaivota.



Fonte: Própria autoria, 2022.

Figura 16 - Equipamentos de medição (estação total do modelo Topcon série GPT 3200) (A) e de coleta de informações georreferenciadas Global Navigation Satellite System (GNSS) (GNSS RTK Trimble R6) (B).



Fonte: Própria autoria, 2022.

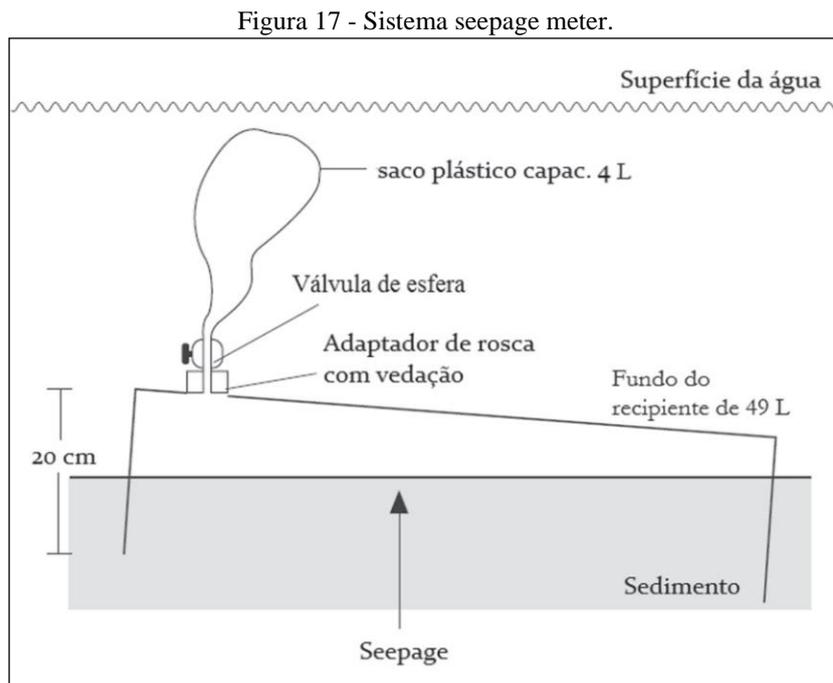
### 3.4.6 Recarga hídrica seepage meter (+DAS e -INF)

Um dos dados para o qual se tem maior déficit de informações é o do volume de água subterrânea, sendo assim, para as informações dos processos de advecção e infiltração (+DAS e -INF) se faz necessária aplicação de método para determiná-lo e, nesse estudo, foi optado pelo método *seepage meter* (LEE, 1977). Para investigação do processo de quantificação das

descargas de água subterrânea aportadas na lagoa da Terneira foi adotada a proposta descrita por Rocha (2014) e Rocha *et al.*, (2015).

O sistema adaptado de LEE (1977) e produzido por Rocha *et al.*, (2015) foi construído utilizando-se um recipiente de polietileno de 100 L emborcado e enterrado no sedimento por cerca de 20 cm. O dispositivo tem na sua extremidade superior uma válvula, onde fica acoplado um saco plástico com volume conhecido de água Figura 17.

Foram utilizados três conjuntos de *seepage meter* na lagoa da Terneira. O equipamento medidor ficou instalado por 24h, tempo o suficiente para que o sistema perdesse volume por infiltração ou ganhasse volume por advecção de águas subterrâneas (LEE, 1977). Considerando a área de exposição e o volume de água remanescente no saco plástico em relação ao tempo de exposição, se obtém a estimativa do volume de água que escoou através dos sedimentos movimentando-se por infiltração (-) ou advecção (+) conforme esboçado na equação (2).



Fonte: (ROCHA *et al.*, 2015).

$$Tx = \frac{(m * 100)}{1000000\Delta t * A_r} \quad (2)$$

Onde:

$Tx$  = taxa de advecção ou infiltração, dada em (cm. d<sup>-1</sup>).

$m$  = média dos volumes acumulados (+) ou perdidos (-) durante o experimento, acompanhados do sinal, expresso em (L).

$\Delta t$  = tempo decorrido entre a instalação e a retirada dos sistemas, ou seja, tempo de exposição dado em dia (d).

$A_r$  = área dos recipientes expresso em (m<sup>2</sup>).

A média dos volumes acumulados ( $m$ ) pode ser calculada pela equação 3.

$$m = \frac{[(V_i - V_f)s_1 + (V_i - V_f)s_2 + (V_i - V_f)s_3]}{3} \quad (3)$$

Onde:

$m$  = média dos volumes acumulados.

$V_i$  = volume inicial do saco plástico, dado em (ml).

$V_f$  = volume final do saco plástico, dado em (ml).

$s_1$  = referente ao saco do recipiente n°1.

$s_2$  = referente ao saco do recipiente n°2

$s_3$  = referente ao saco do recipiente n°3

Com os resultados obtidos em (cm. d<sup>-1</sup>) sobre as taxas de infiltração e advecção da lagoa serão calculados os volumes anuais advectados ou infiltrados, conforme a equação 4.

$$VT_a = \frac{T_x * A_l * 365}{100} \quad (4)$$

Onde:

$VT_a$ =volume total por ano em ( $m^3 \cdot ano^{-1}$ ).

$T_x$  = taxa de advecção ou infiltração, dada em ( $cm \cdot d^{-1}$ ).

$A_i$ = área do corpo lagunar ou infiltrado, expresso em ( $m^2$ ).

A localização espacial e coleta das informações de DAS pelo método *seepage meter* pode ser ilustrado nas Figura 18 e Figura 19.

Figura 18 - Localização espacial dos experimentos pelo seepage meter.



Fonte: Própria autoria, 2022.

Figura 19 - Coleta das informações obtidas pelo método seepage meter.



Fonte: Própria autoria, 2022.

### 3.4.7 Balanço hídrico

O balanço hídrico é uma avaliação de suma importância, pois, por meio dele se pode estimar se o corpo d'água analisado se encontra ou não em equilíbrio hídrico. Como o balanço hídrico é resultado da quantidade de água que entra e que sai em um intervalo de tempo (Figura 20) em um sistema lagunar (ROCHA *et al.*, 2015) foram considerados também os dados de precipitação e de evaporação (+PREC e -EVAP). Estes últimos foram obtidos por meio da metodologia proposta por Denski e Back (2017) com auxílio dos *softwares*, hidroChusSC (BACK, 2013), HidroClimaSC (BACK, 2020) e INMET – Instituto Nacional de Meteorologia.

Os dados de vazão de entrada (+*TRIB*), compostos pela vazão de bombeamento transposto da lagoa do Rodeio para a Lagoa da Terneira com vazão medida de  $120 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  e com permanência de (75%) do tempo em funcionamento, e de saída por meio de abastecimento humano fornecido pela concessionária de abastecimento de água municipal (-*USO*).

O balanço hídrico foi calculado pela equação (5).

$$\sum \text{anual} = (\text{TRIB} + \text{PREC} + \text{DAS}) - (\text{EVAP} + \text{ESCOA} + \text{USO} + \text{INF}) \quad (5)$$

Onde:

$\sum_{anual}$  = somatório de circulação de águas para o período de um ano, em (m<sup>3</sup>)

*TRIB* = volume de água recebida por meio de tributários em (m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>)

*PREC* = volume de água que precipita sobre a lagoa considerando sua área, expresso em (m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>).

*DAS* = volume de água que advecta do subterrâneo para a lagoa dada em (m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>).

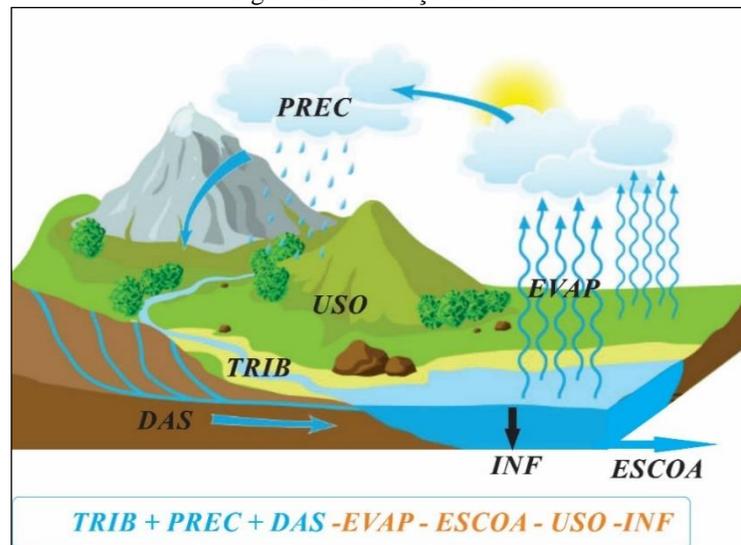
*EVAP* = volume de água que evapora da lagoa considerada a sua área expresso em (m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>).

*ESCOA* = volume de água que escoo para jusante da lagoa por meio de arroios e sangradouros dados em (m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>).

*USO* = volume de água que é retirada da lagoa anualmente para usos diversos, expresso em (m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>).

*INF* = volume de água que infiltra retornando para o manancial subterrâneo, dado em (m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>).

Figura 20 - Balanço hídrico.



Fonte: (Adaptado de GOOGLE, 2020).

Uma forma de verificar o nível da lagoa é por meio de medições diretas em réguas milimétricas, sendo assim, neste estudo foram analisados no período de 2021 dados de medições diárias para verificar as alterações no nível da lagoa, este nível foi relacionado ao poço de monitoramento do freático do RIMAS localizado na Estiva do Rodrigues (4300020570) e também às chuvas diárias do pluviômetro denominado “lagoa de Fora” (420207301A).

### 3.5 SUSTENTABILIDADE E DISPONIBILIDADE HÍDRICA PARA CONSUMO HUMANO

#### 3.5.1 Projeção de consumo hídrico para 2030, 2040, 2050

Com base nas estimativas de crescimento populacional para os anos de 2030, 2040 e 2050, os números populacionais obtidos foram multiplicados pelo consumo *percapita* atual de consumo hídrico em Santa Catarina, ou seja, 152,3 L dia<sup>-1</sup> (BRASIL, 2019). O resultado foi multiplicado por trezentos e sessenta e cinco dias e dividido por 1000 L, convertidos em (m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>). Dessa forma, se estabeleceu a estimativa do consumo para os anos de 2030, 2040 e 2050.

#### 3.5.2 Projeção de disponibilidade hídrica para 2030, 2040, 2050

As projeções de disponibilidade hídrica para abastecimento humano para 2030, 2040 e 2050 foram elaboradas por meio das informações de balanço hídrico da lagoa que abastece o município (lagoa da Terneira). Foi definida a capacidade de reserva desta lagoa tendo como informação final do balanço hídrico o somatório de circulação de águas para o período de um ano, em (m<sup>3</sup>).

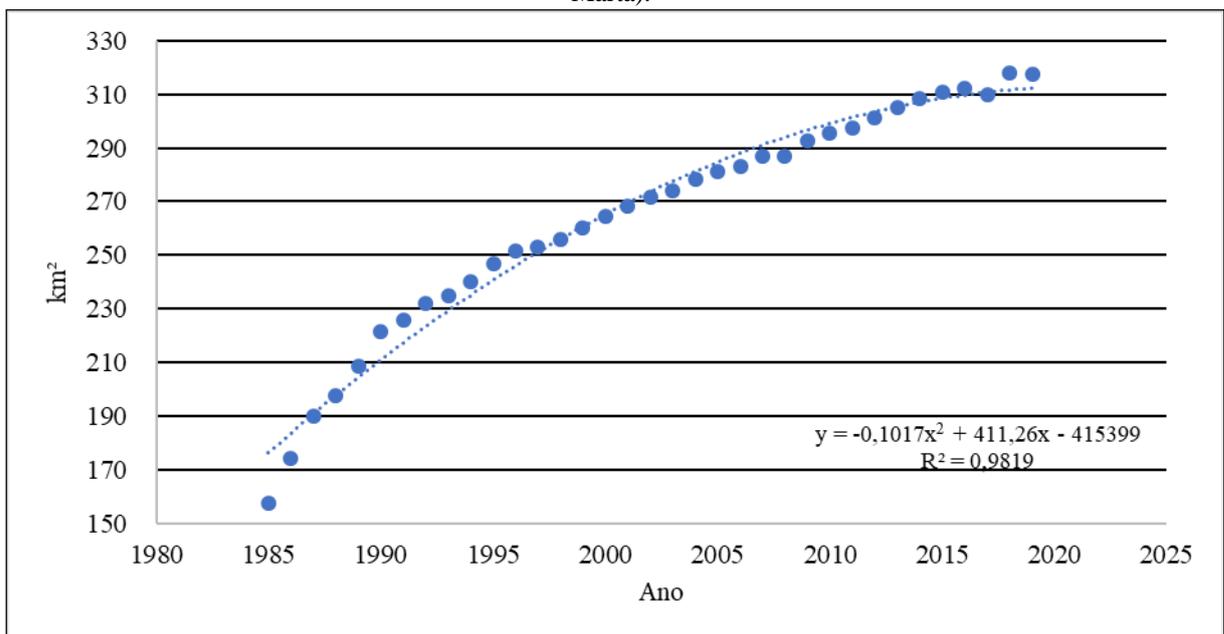
A relação final entre a necessidade e o consumo gera as informações de sustentabilidade hídrica da lagoa que abastece o município estudado.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 OCUPAÇÃO HUMANA HISTÓRICA DA REGIÃO COSTEIRA SUL CATARINENSE

A nível regional, para entender evolução populacional foram identificadas a variação no comportamento da evolução da infraestrutura urbana da PCRS e PCSC (até o Cabo de Santa Marta) ao longo de 35 anos da região costeira holocênica encontrada na barreira IV, que se estende do Arroio Chuí ao cabo de Santa Marta, entre 1985 a 2019. Na avaliação se percebe, há um crescimento na urbanização ao longo do tempo. O aumento da área se apresenta de forma constante. Em 1985 a área de infraestrutura urbana de 157,37 km<sup>2</sup> (3,86%) chegando no ano de 2019 a 317,59 km<sup>2</sup> (7,78%), ou seja, um crescimento territorial em trinta e cinco (35) anos de 160,22 km<sup>2</sup> (101,81%) (Figura 21).

Figura 21 - Crescimento da infraestrutura urbana da planície costeira PCRS e PCSC (até o Cabo de Santa Marta).



Fonte: Própria autoria, 2021.

#### 4.1.1 Ocupação, expansão e densidade de ocupação do território do município de Balneário Gaivota

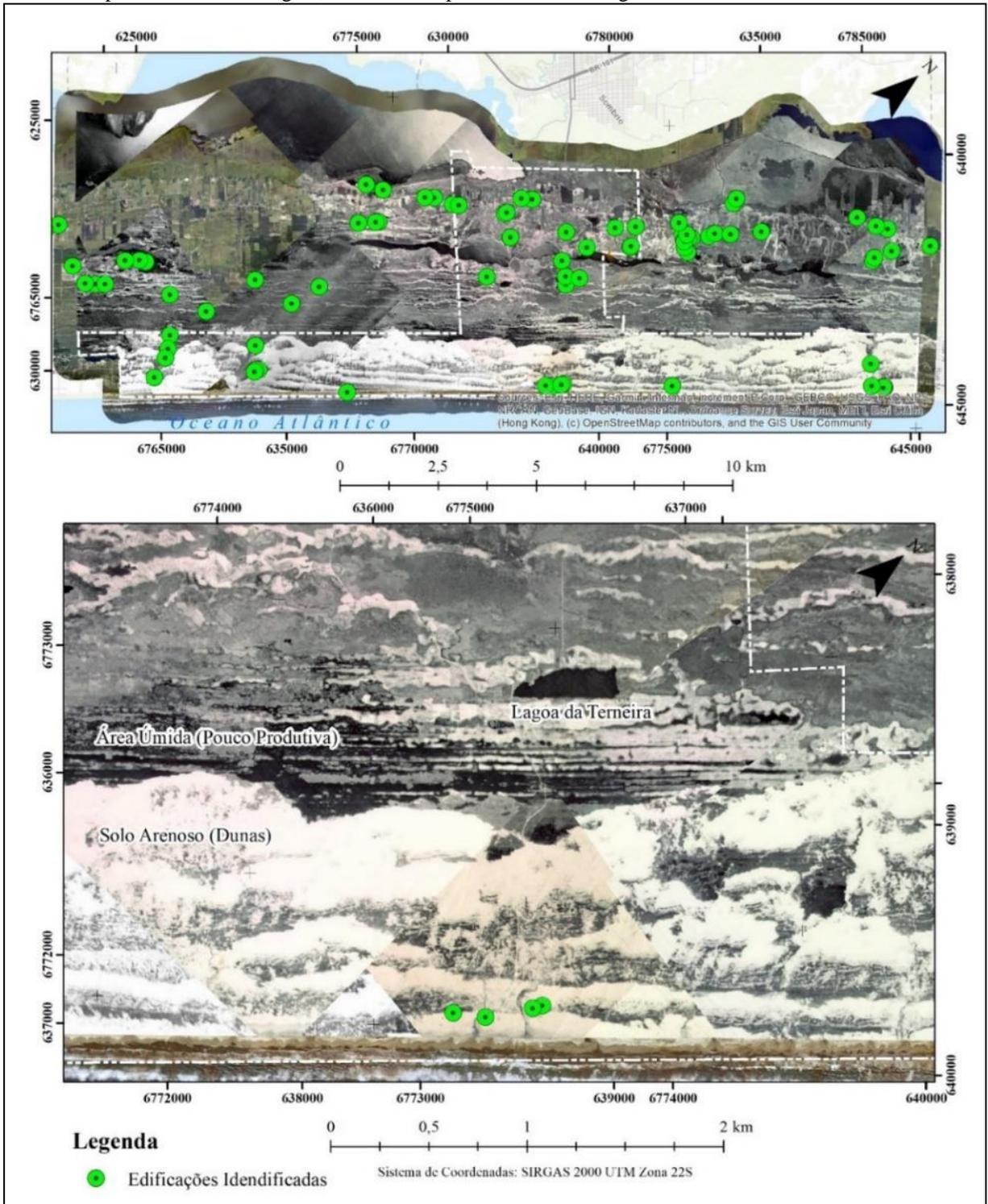
A distribuição espacial e o número de habitações humanas na área de estudo no ano de 1956 é ilustrada na Figura 22. É possível verificar o registro de 92 habitações no ano de

1956, cuja distribuição se concentra principalmente nas áreas interioranas do atual município, próximo às lagoas do Sombrio e Caverá.

Em 1978 (Figura 23A) observa-se a ocorrência de 821 habitações, representa um acréscimo de 892% em 22 anos, uma média de crescimento anual próxima de 36,02% evidenciando-se aglomeração urbana no local onde, atualmente, se encontra a região central do município. Observa-se ainda (no detalhe – (Figura 23B) o elevado aumento na densidade de residências no núcleo urbano Praia da Gaivota que, posteriormente, originou a sede do atual município de Balneário Gaivota.

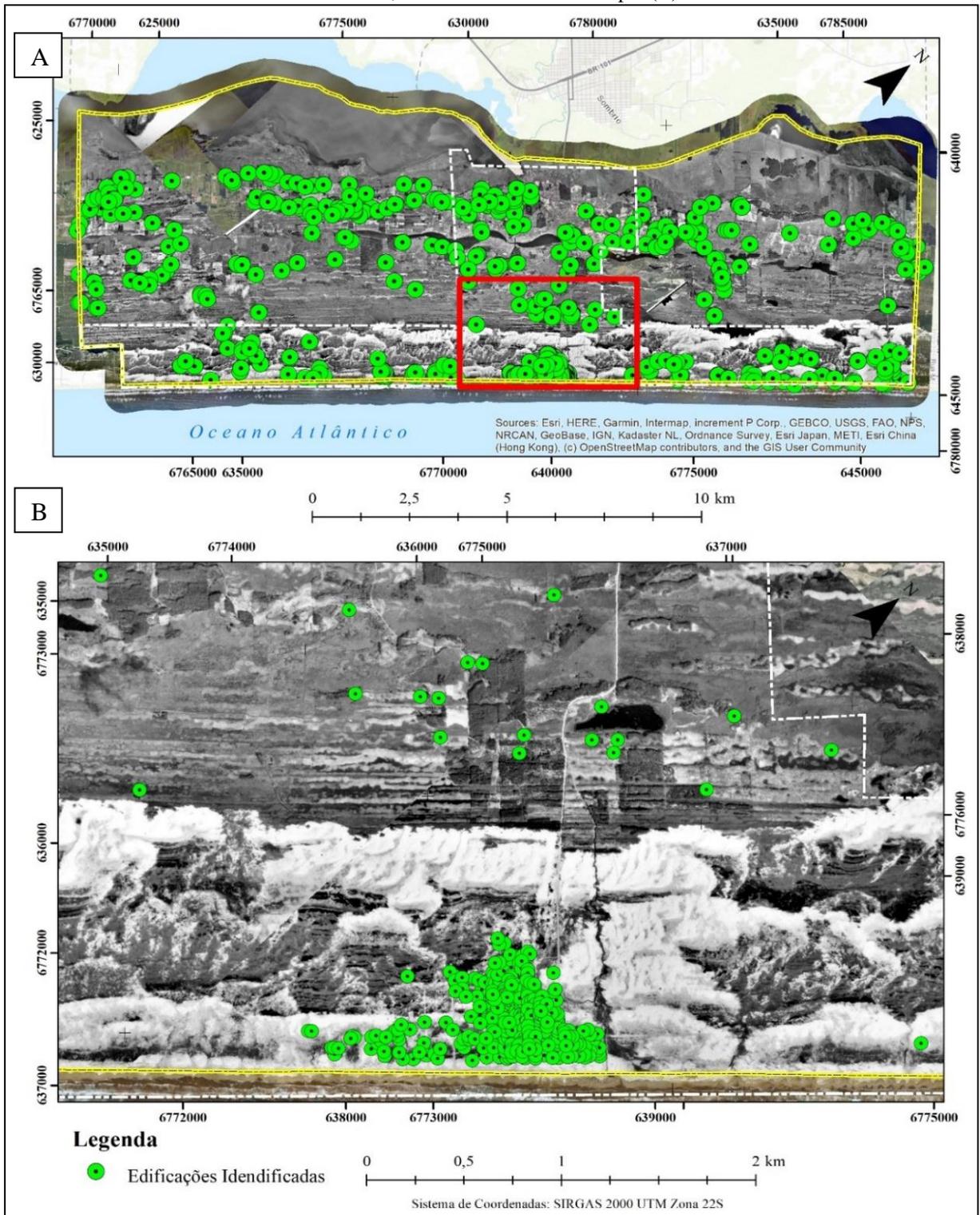
Entre 1978 e 2010 o município cresceu em número de edificações 376% em 32 anos, uma taxa de aproximadamente 11,76% ao ano, a distribuição espacial das habitações humanas na área de estudo no ano de 2010 é ilustrada em *hotspot* na Figura 24A e B, onde se observa a ocorrência de cerca de 3.910 edificações no município, e no período entre 2010 e 2020 as edificações somavam 7.755 unidades, um salto de 98% em 10 anos com taxa de crescimento anual próximo aos 9,83%. É importante ressaltar que atualmente o banco cadastral do município possui 50.641 unidades, estabelecendo que estes contribuintes tendem a construir em suas propriedades.

Figura 22 - Distribuição espacial de habitações no município de Balneário Gaivota, Sul de Santa Catarina, em 1956. Na parte inferior da imagem, em escala ampliada, detalhe da lagoa da Terneira e seu entorno imediato.



Fonte: Própria autoria, 2022.

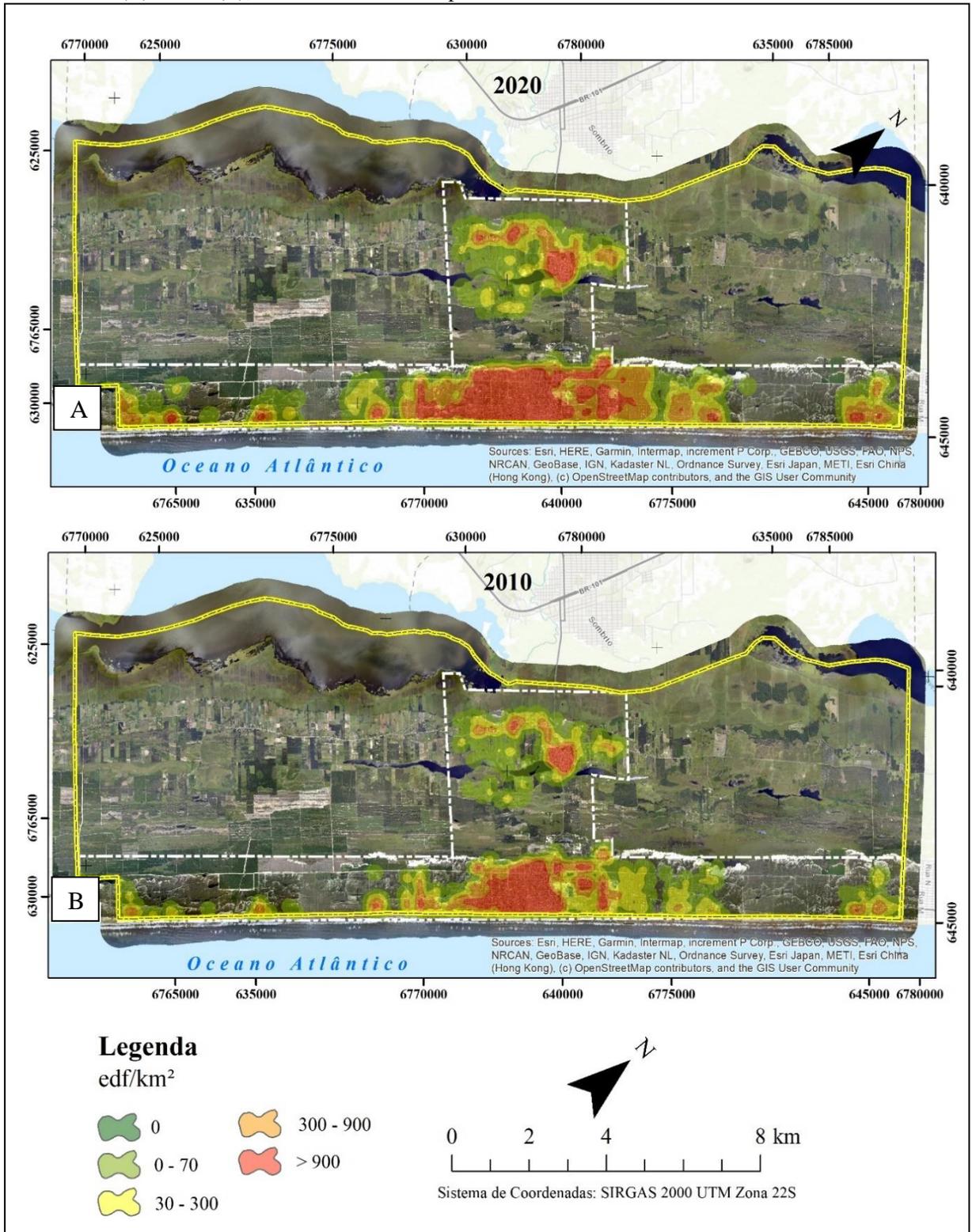
Figura 23 - Morfologia do ambiente e distribuição espacial de habitações no município de Balneário Gaivota, Sul de Santa Catarina, em 1978 (A). Na parte inferior da imagem, em escala ampliada, detalhe início da formação da área urbana, atualmente a sede municipal (B).



Fonte: Própria autoria, 2022.

Os mapas de distribuição de densidade de habitações com base na estimativa de densidade de *kernel* são apresentados na Figura 24 para os anos de 2020 (Figura 24A) e 2010 (Figura 24B). Percebe-se um aumento significativo entre os períodos de 2010 e 2020. Em 2010, 2,77 km<sup>2</sup> representava 5,42% da área urbana municipal, se encontrava na classe altamente edificada (> 900 edf.km<sup>-1</sup>), já em 2020 a área urbana na classe altamente edificada corresponde à 5,64 km<sup>2</sup> (11,05%) do perímetro urbano, representando um aumento de 103,83% no período de 10 anos, ou uma taxa de crescimento de mancha altamente edificada de cerca de 10,38% ao ano. Igualmente importante é o avanço em área da classe entre 300 a 900 edf.km<sup>-1</sup> de média a alta intensidade, esta classe, representava 3,29 km<sup>2</sup> em 2010 significando 6,45% do perímetro urbano, já em 2020 esta área passa para 6,32 km<sup>2</sup> passando a representar 12,38% do limite do perímetro urbano e uma diferença entre os períodos de 92%.

Figura 24 - Distribuição e intensidade de distribuição das habitações humanas por quilômetro quadrado em 2020 (A) e 2010 (B), no território do município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina.

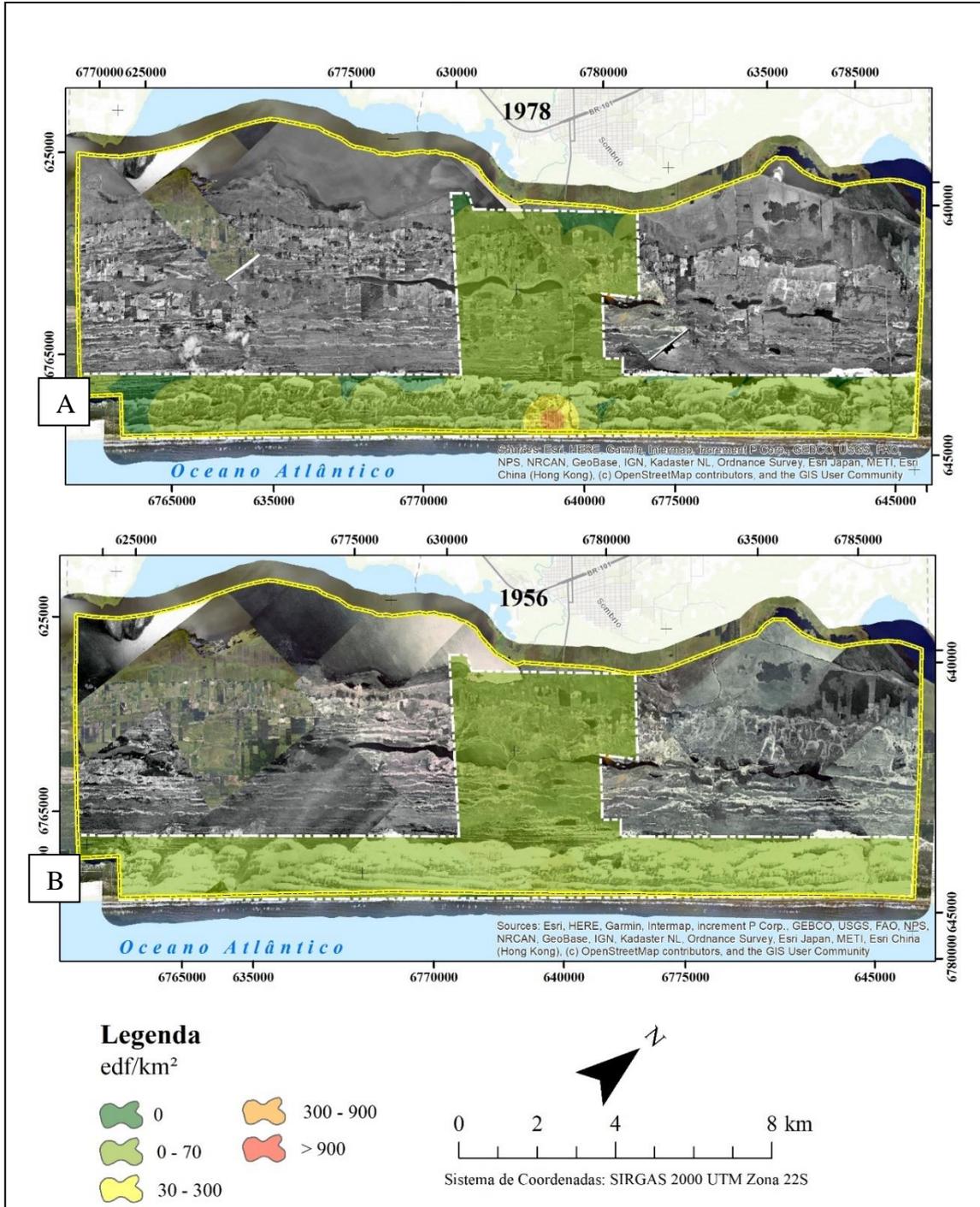


Fonte: Própria autoria, 2021.

Os valores de 1978 e 1956 (Figura 25) representam uma distribuição uniforme entre a classe de baixa intensidade de edificações por km<sup>2</sup> (0 a 70 edf.km<sup>-1</sup>). Em 1978 esta classe

representava (90%) do perímetro urbano atual. Já em 1956 (100%) do perímetro urbano tinha entre (0 a 70 edf.km<sup>-1</sup>).

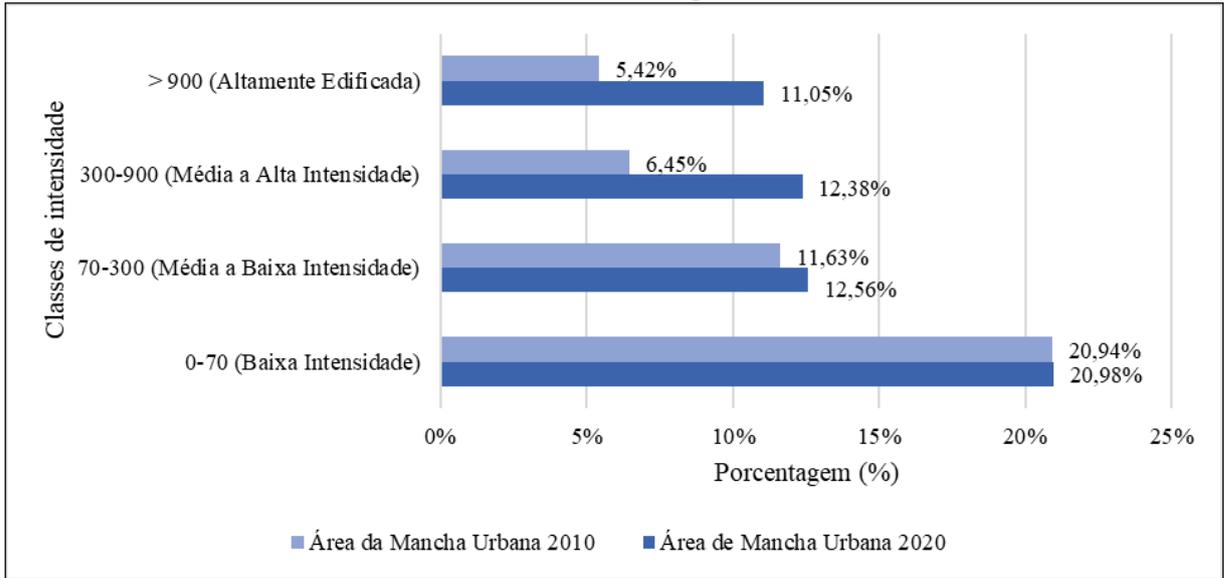
Figura 25 - Distribuição e intensidade de distribuição das habitações humanas por quilômetro quadrado em 1978 (A) e 1956 (B), no território do município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina.



Fonte: Própria autoria, 2022.

A evolução percentual das classes de intensidade de edificações por km<sup>2</sup> no município, entre os períodos de 2010 e 2020, é apresentada na Figura 26.

Figura 26 - Evolução percentual das classes de intensidade de edificações por km<sup>2</sup> no município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina, entre os períodos de 2010 e 2020



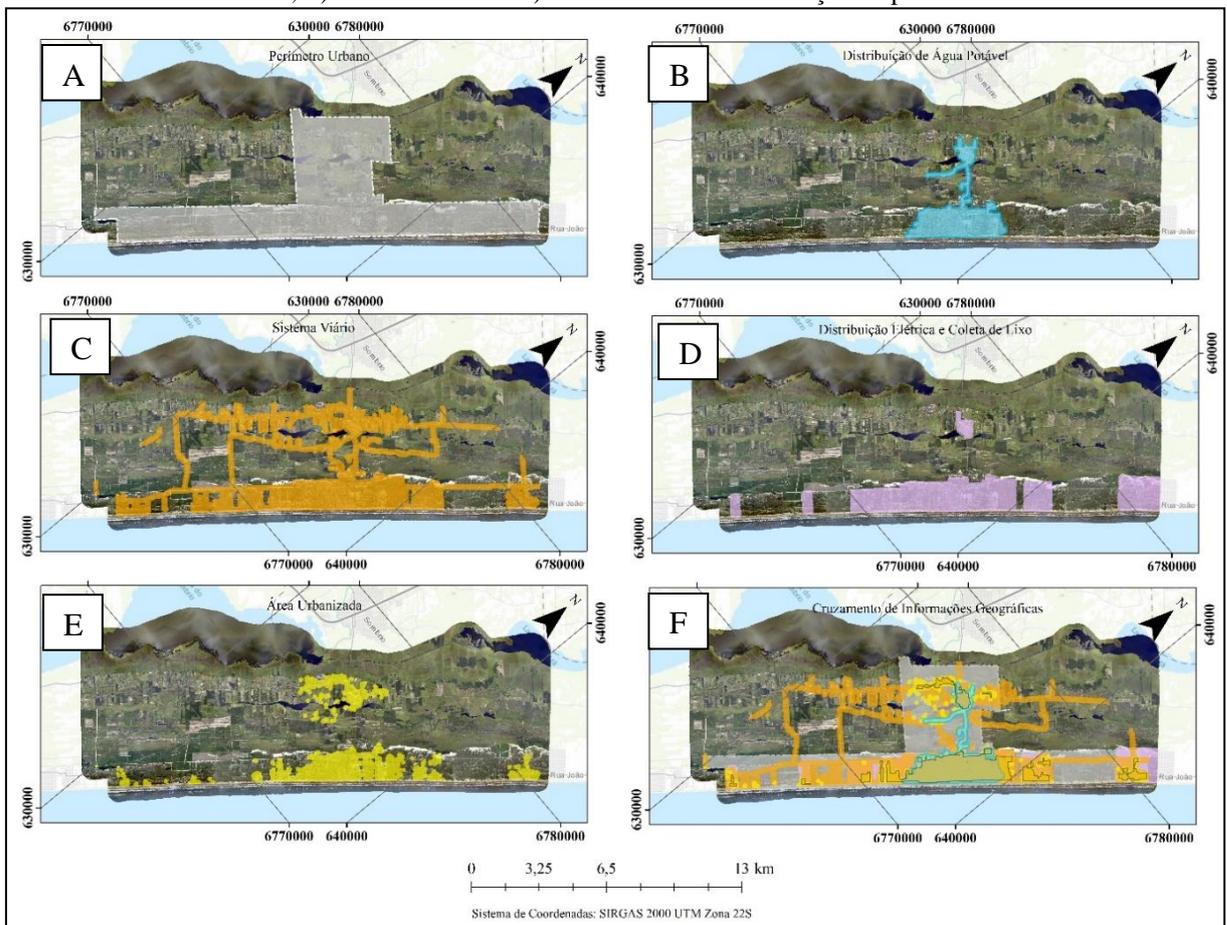
Fonte: Própria autoria, 2022.

#### 4.1.2 Área urbana consolidada

A integração dos dados por meio do processamento digital de imagens permitiu a obtenção do: perímetro urbano atual (ano de 2020, Figura 27A); distribuição de água potável (Figura 27B); o sistema viário (Figura 27C); distribuição de energia elétrica e coleta de lixo (Figura 27D); a área urbanizada (Figura 27E); sobreposição das informações espaciais (Figura 27F).

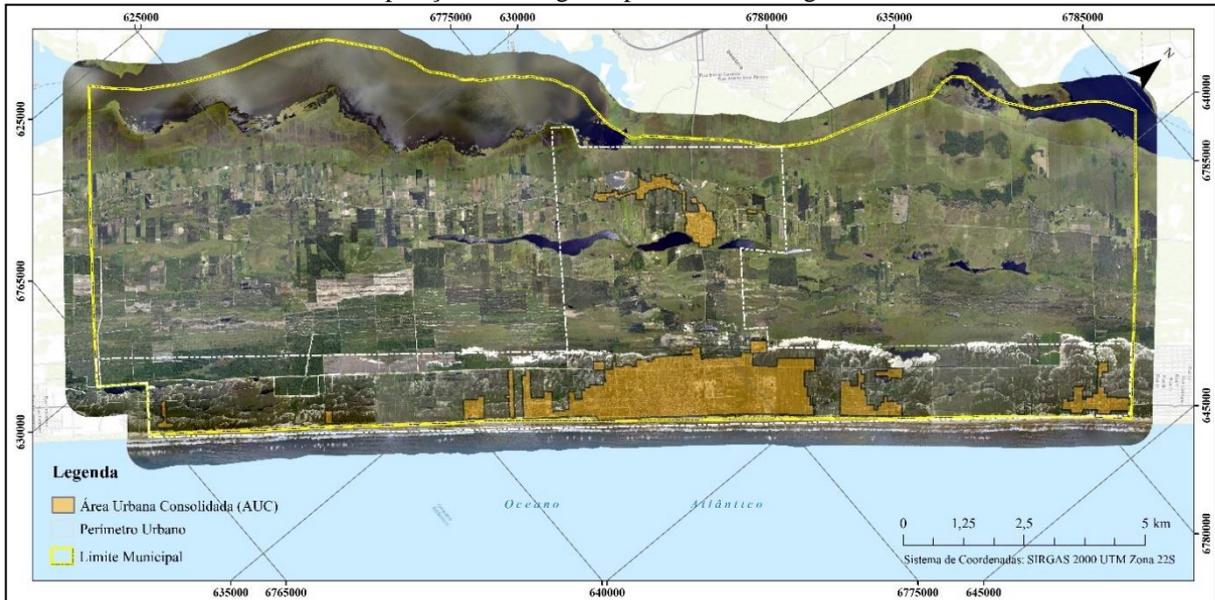
A sobreposição das imagens possibilitou delimitar a Área Urbana Consolidada (AUC) atual (Figura 28), isto é, os locais onde existe a presença concomitante de pelo menos três dos itens definidos pela Lei Federal nº 13.465/2017 (BRASIL, 2017). A área do estudo, composta pela unidade municipal, possui 145,71 km<sup>2</sup>, destes, 51,07 km<sup>2</sup>, (35,05%) representam o perímetro urbano municipal aprovado pela Lei Municipal Nº 10.52/2020 (BALNEÁRIO GAIVOTA, 2020).

Figura 27 - Integração de dados para definição da Área Urbana Consolidada (AUC), no ano de 2020. Onde: A) Perímetro urbano atual, B) Distribuição de água potável, C) Sistema viário, D) Distribuição elétrica e coleta de lixo, E) Área urbanizada F) Cruzamento das informações espaciais.



Fonte: Própria autoria, 2022.

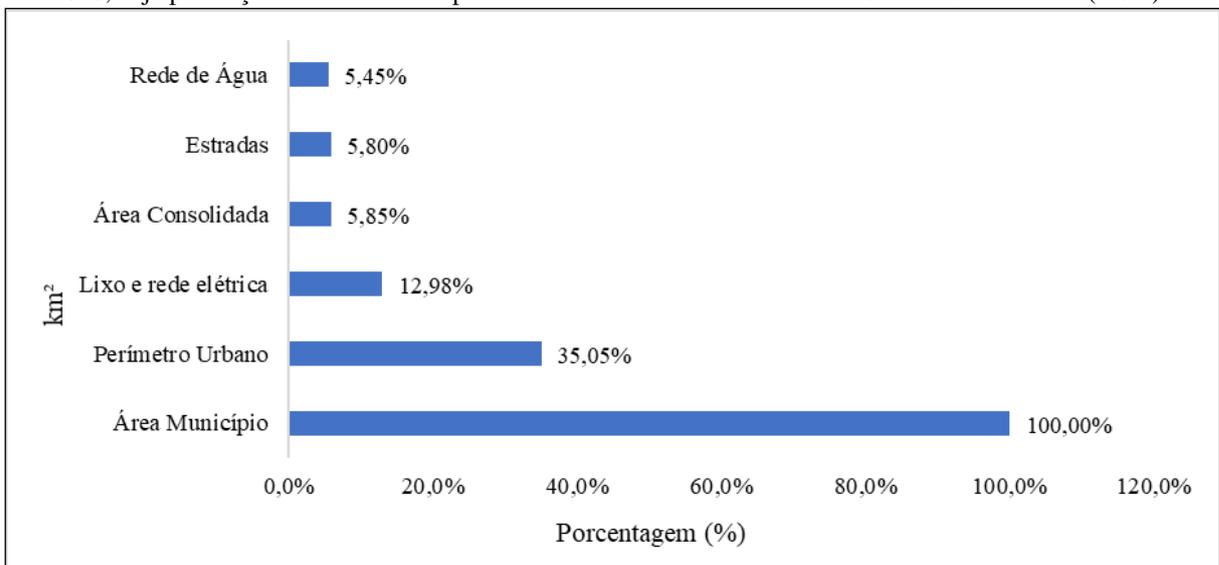
Figura 28 - Área Urbana Consolidada do município de Balneário Gaivota no ano de 2020, definida a partir da sobreposição das imagens apresentadas na figura 25.



Fonte: Própria autoria, 2022.

No município, são disponibilizados os serviços públicos de coleta de lixo e a distribuição de energia elétrica em 18,91 km<sup>2</sup> correspondendo a 12,98% da área total. A área das estradas, correspondem a 8,53 km<sup>2</sup>, o que representa 5,85% do território do município e uma extensão total de 396,12 km. A rede de distribuição de água municipal está disposta em 199,62 km de extensão, representando uma área municipal de 7,94 km<sup>2</sup> e 5,45% da área de estudo (Figura 29).

Figura 29 - Distribuição espacial percentual dos serviços públicos no município de Balneário Gaivota no ano 2020, cuja presença concomitante de pelo menos três deles delimita a Área Urbana Consolidada (AUC).



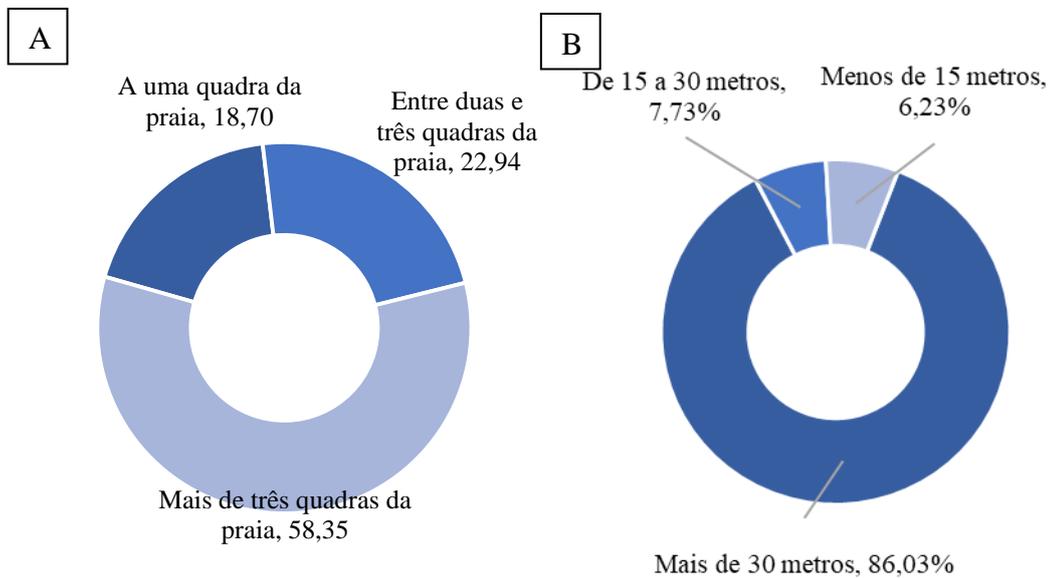
Fonte: Própria autoria, 2022.

### 4.1.3 Caracterização socioambiental (2021)

O perfil dos entrevistados é composto em sua maioria pelo sexo feminino, com idade entre 31 e 50 anos. A maior parte tem residência fixa no município (81,69%), ao passo que 4,92% são proprietários de terrenos sem construção e 13,39% possuem casa de veraneio, o que segue a tendência para os municípios litorâneos, onde é esperado que uma parcela das residências seja de uso sazonal.

Em relação à localização das residências ou terrenos dos entrevistados, a pesquisa mostra que 18,70% ficam a uma quadra da praia, 22,94% entre duas e três quadras e 58,35% a mais de três quadras da praia. O território do município de Balneário Gaivota possui muitas lagoas, rios e córregos, por isso a pesquisa buscou entender como é a interação dos moradores com esses corpos d'água. Quanto à localização dos terrenos, a maioria dos moradores (86,03%) reside a uma distância de mais de 30 m de rios, córregos e lagoas, enquanto que apenas 7,73% residem entre 15 a 30 m destes e outros 6,23% a menos de 15 m dos corpos d'água, como fica evidenciado na Figura 30.

Figura 30 - A) Distância das residências da praia (em quadras); B - Distância das residências de córregos e lagoas (m), no Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina, no ano de 2021.

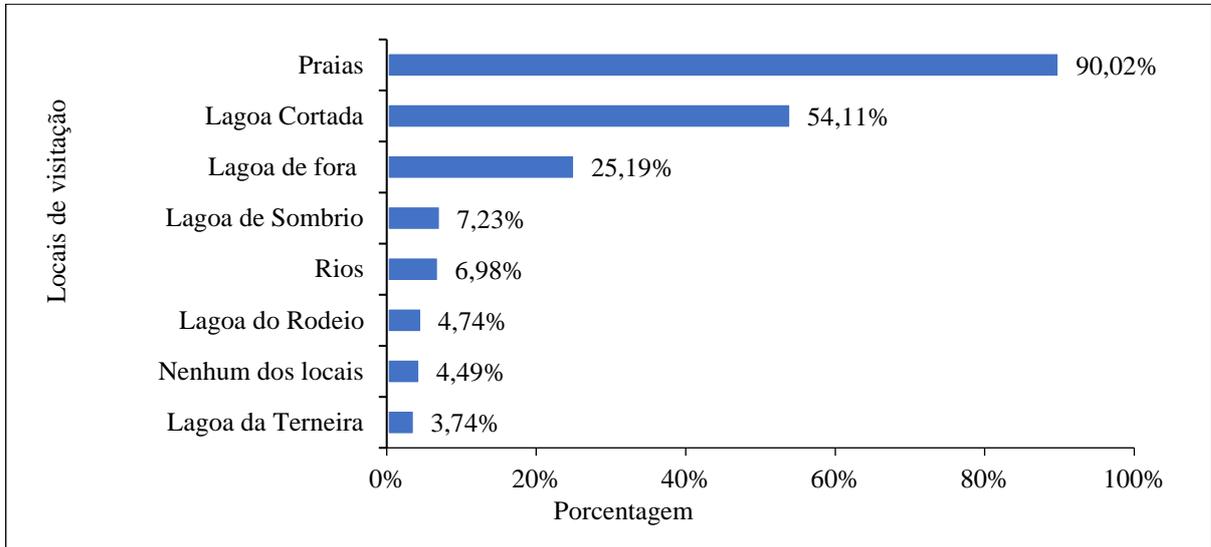


Fonte: (IPAT, 2021).

Quanto ao uso dos locais de recreação no município, a praia é o local mais utilizado, já que 90,02% dos entrevistados afirmam fazer uso desse local, sendo a lagoa Cortada o

segundo mais frequentado. A Figura 31 apresenta as porções do território utilizadas pela população para visitação.

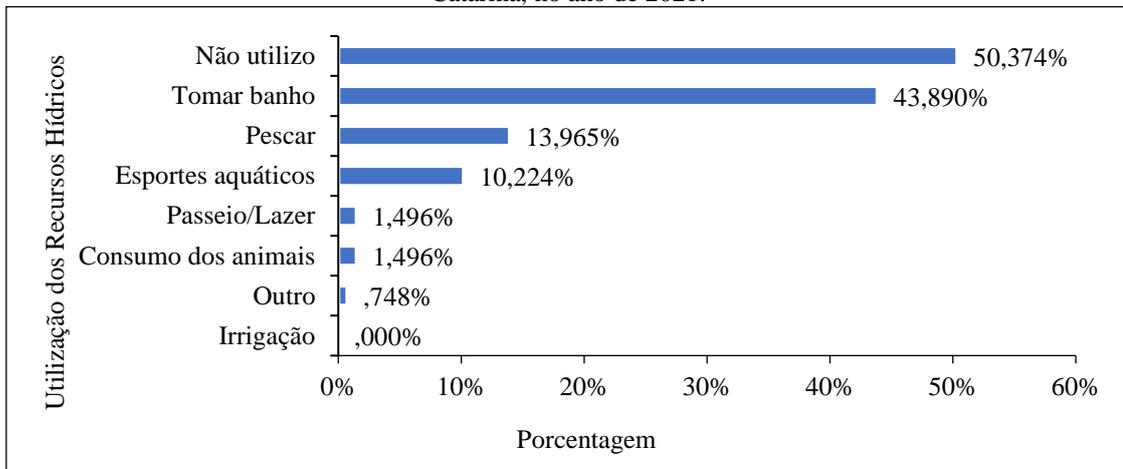
Figura 31 - Locais de visitação utilizado pelos entrevistados, no Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina, no ano de 2021.



Fonte: (IPAT, 2021).

Além da praia, a lagoa Cortada aparece com destaque entre as lagoas mais utilizadas, possivelmente pela estrutura para receber visitantes que existe no local. A lagoa de Fora que representa o manancial de abastecimento humano, também apresenta importância entre os locais mais visitados. Nas praias, as atividades mais comuns apontadas pela população estão relacionadas ao lazer, como banho, passear, praticar esportes e exercícios (Figura 32). As práticas de pescar e catar mariscos também são realizadas pelos moradores. A interação da comunidade gaivotense com as lagoas e córregos é menor do que com as praias, no entanto, cerca de metade da população costuma utilizar essas áreas para banho. Atividades que ainda apresentam certa relevância são pescar e praticar esportes aquáticos.

Figura 32 - Uso dos recursos hídricos, lagoas e córregos, pelos moradores de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina, no ano de 2021.



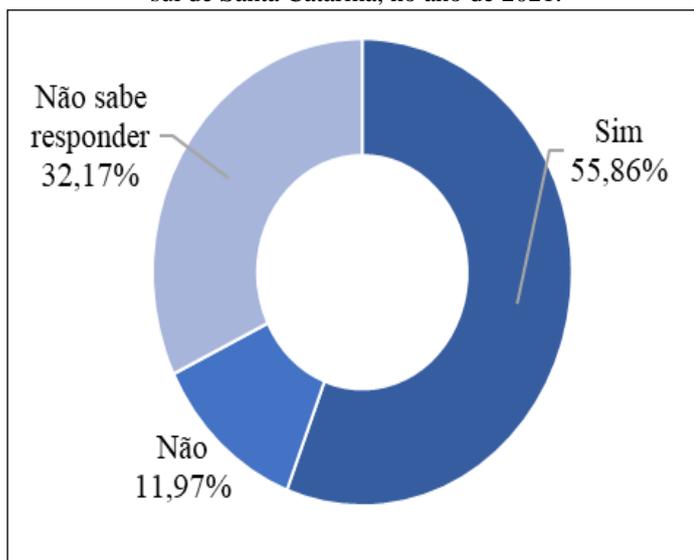
Fonte: (IPAT, 2021).

A percepção sobre a qualidade das águas do município indica que 50% dos entrevistados, acreditam que os corpos d'água não estão livres de esgoto. Um total de 40% percebe que a qualidade dos córregos e lagoas piorou, no entanto 61,1% acreditam que é possível usar em alguns córregos e lagoas do município para atividades de recreação como banho.

Em relação à percepção dos moradores acerca da variação do tamanho das lagoas, 55,86% responderam que percebem diminuição, enquanto que 32,17% não sabem se elas diminuíram e 11,97% afirmaram que não perceberam diminuição no tamanho (Figura 33). Considerando os dados históricos é nítida a redução no tamanho das lagoas, e a maior parte da população mostrou perceber esse fenômeno.

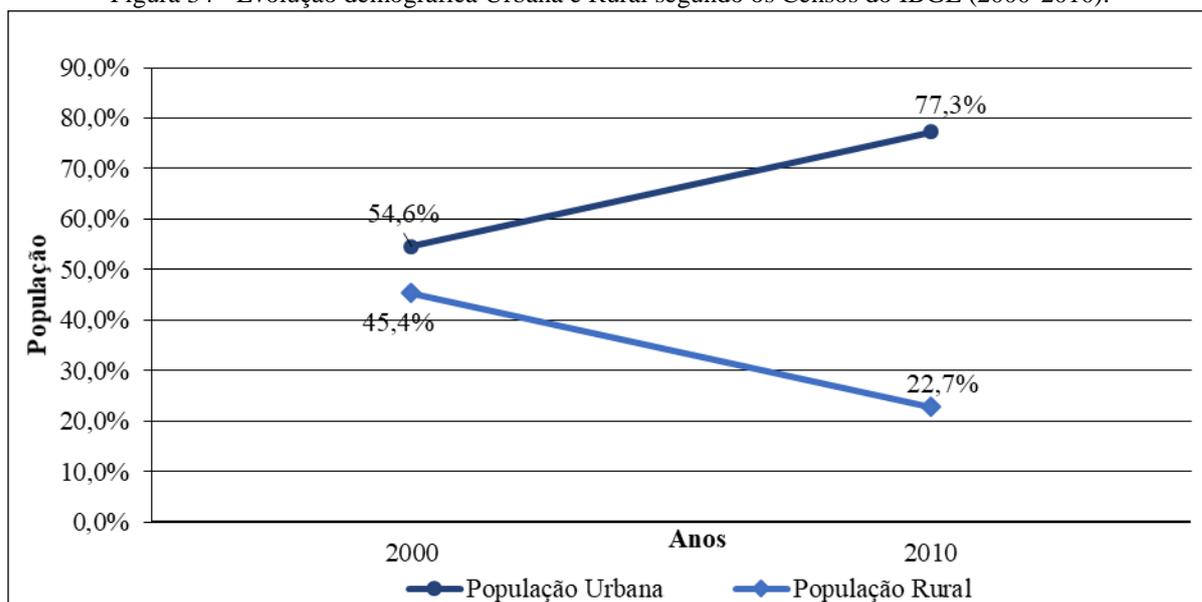
No que se refere aos dados coletados sobre o crescimento populacional urbana do município observa-se que no ano de 2000, 54,6% da população do município se encontravam nas áreas urbanas, este percentual se eleva para 77,3% no ano de 2010 (Figura 34). De outro modo, em 2010, apenas 22,7% da população se encontrava nas áreas rurais, número este que atualmente deve ser ainda menor.

Figura 33 - Percepção da população sobre a diminuição das lagoas costeiras no município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina, no ano de 2021.



Fonte: (IPAT, 2021).

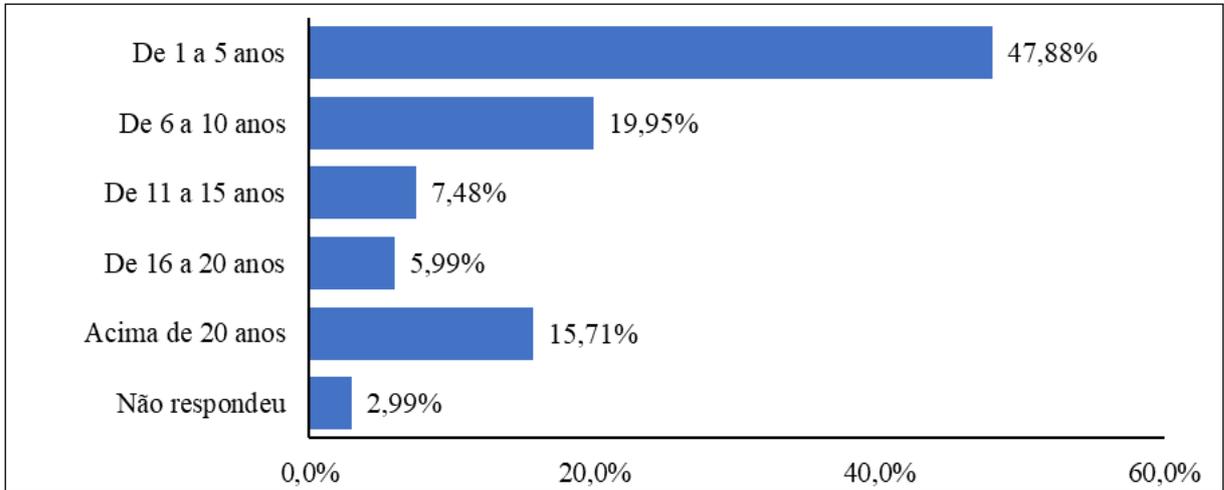
Figura 34 - Evolução demográfica Urbana e Rural segundo os Censos do IBGE (2000-2010).



Fonte: (IBGE, 2021).

Os dados sobre o tempo de habitação no Município (Figura 35) mostram que 47,88% da população vive em Balneário Gaivota a menos de 5 anos, informação que demonstra o crescimento em ritmo acelerado. A segunda classe com maior tempo de moradia no município é a de 6 a 10 anos, com 19,95% dos entrevistados e na sequência, a classes de moradores que residem a mais de 20 anos representando 15,71% da amostra da população e as demais classes com menor representatividade.

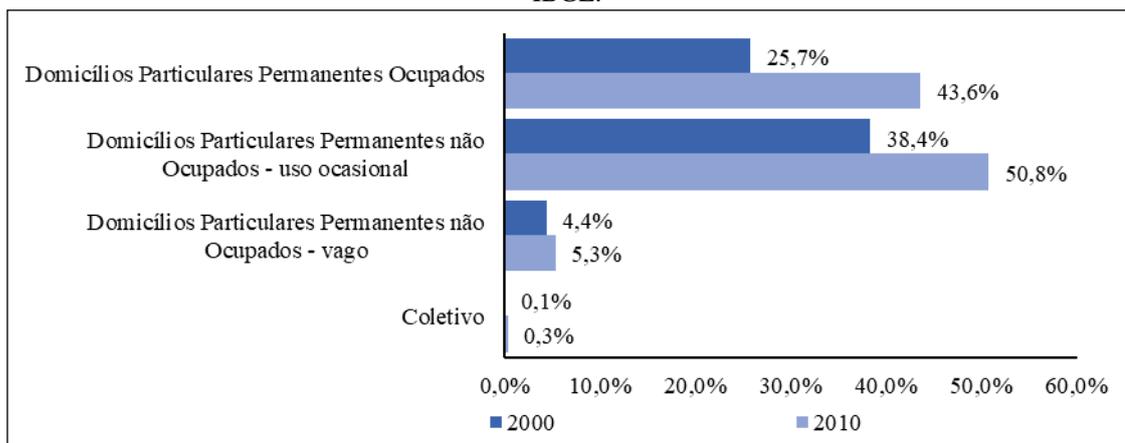
Figura 35 - Distribuição percentual do tempo de residência dos moradores no município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina, em 2021.



Fonte: (IPAT, 2021).

A Figura 36 apresenta a distribuição dos domicílios por tipo de uso nos anos 2000 e 2010 (IBGE, 2010). O número de domicílios particulares permanentes ocupados cresceu 69,65% e de uso ocasional 32,29% entre os anos de 2000 e 2010. Entretanto nota-se um valor maior na classe de domicílios que não estão ocupados, ou seja, os que estão vagos, muito típico em municípios litorâneos, onde grande parte de sua população é sazonal e os ocupa apenas na alta temporada de verão (dezembro a março).

Figura 36 - Tipos de uso de domicílios residenciais no município de Balneário Gaivota, segundo o Censo do IBGE.



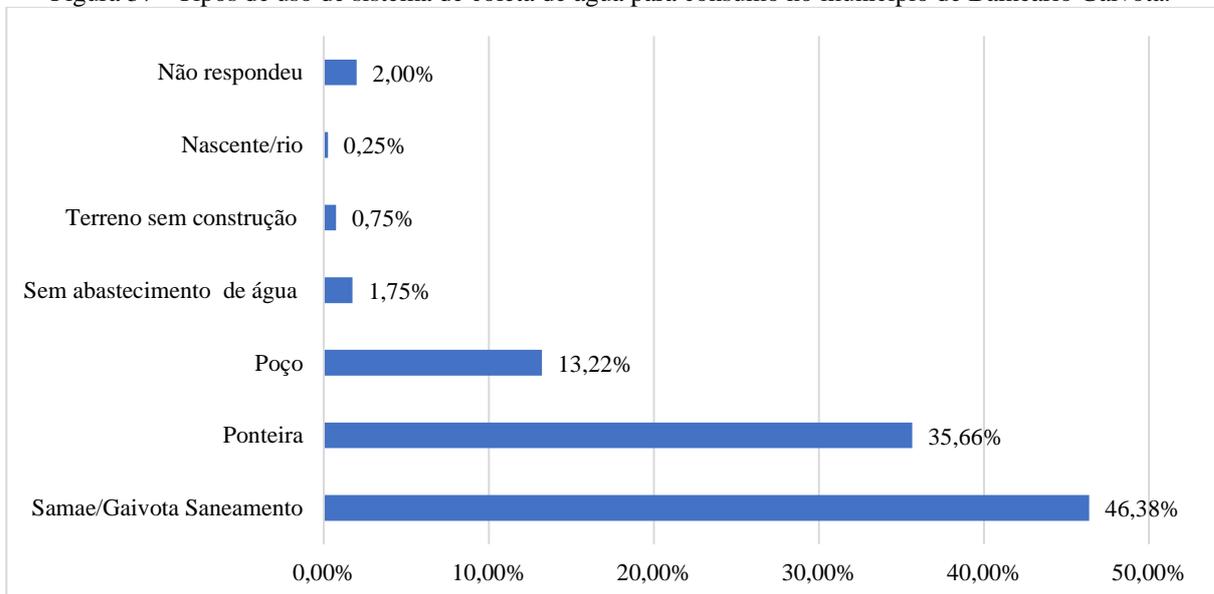
Fonte: (IBGE, 2021).

A média de habitantes por domicílio em 2000 em Balneário Gaivota era de 3,34 pessoas e diminuiu ao longo dos anos, chegando em 2010 em uma média de 2,83 moradores evidenciando decréscimo de 15,3%. Os dados primários coletados pelo IPAT (2021)

apresentaram uma média de 2,96 pessoas por domicílio representando uma constância a partir de 2010.

Em Balneário Gaivota não há sistema coletivo de coleta, transporte e tratamento do esgotamento sanitário, sendo assim, dados sobre o funcionamento da captação de água e sobre esgotamento sanitário é de fundamental importância. Os estudos apontaram que 92,27% dos entrevistados declararam que suas residências estão equipadas com fossas, filtro e sumidouro para descartar o esgoto doméstico e cloacal e, cerca de 48,88% dos habitantes, declararam que captam água por meio de poços e ponteiros. A rede de distribuição de água do município atende a 46,38% dos entrevistados (Figura 37).

Figura 37 - Tipos de uso de sistema de coleta de água para consumo no município de Balneário Gaivota.



Fonte: (IPAT, 2021).

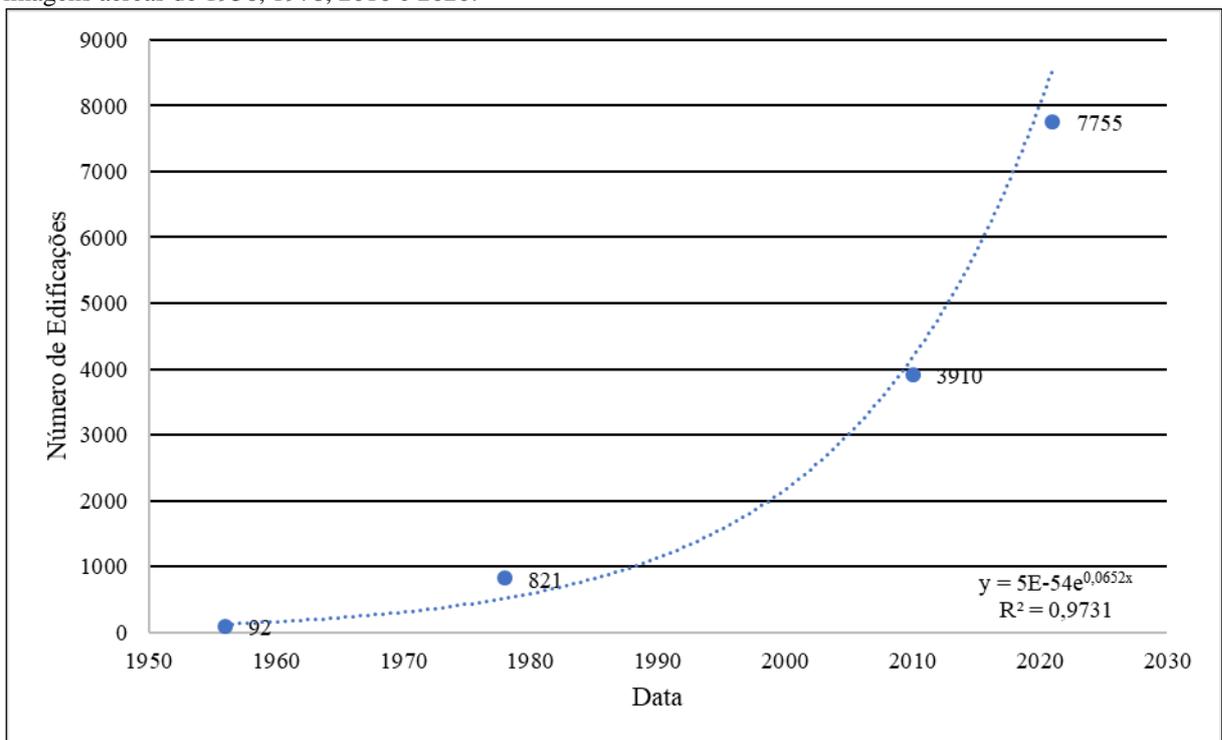
No que se refere a energia elétrica, a pesquisa realizada pelo IPAT certificou que 89,28% dos entrevistados são servidos pela rede de energia elétrica, que no município é de responsabilidade da CELESC.

#### 4.1.4 Crescimento populacional (período 1956-2021)

A contagem de residências nas fotografias aéreas por meio de técnicas de geoprocessamento revelou a ocorrência de 92 unidades habitacionais no ano de 1956, 821 no ano de 1978, cerca de 3.910 em 2010. No imageamento por RPA, atualmente (2021) as edificações somam 7.755 unidades. A análise socioeconômica realizada pelo IPAT (2021)

apresentou a média de pessoas por residência no município é de 2,96, sendo assim, a estimativa populacional para o ano de 2020 na alta temporada, ou seja, com 100% das edificações ocupadas foi de 22.955 pessoas. Importante destacar, que os dados obtidos evidenciam uma ocupação permanente de 43,6% das residências, sendo assim, o número de habitantes permanentes diminuiu para 10.008 (Figura 38).

Figura 38 - Número de residências do município de Balneário Gaivota obtida por contagem de edificações em imagens aéreas de 1956, 1978, 2010 e 2020.



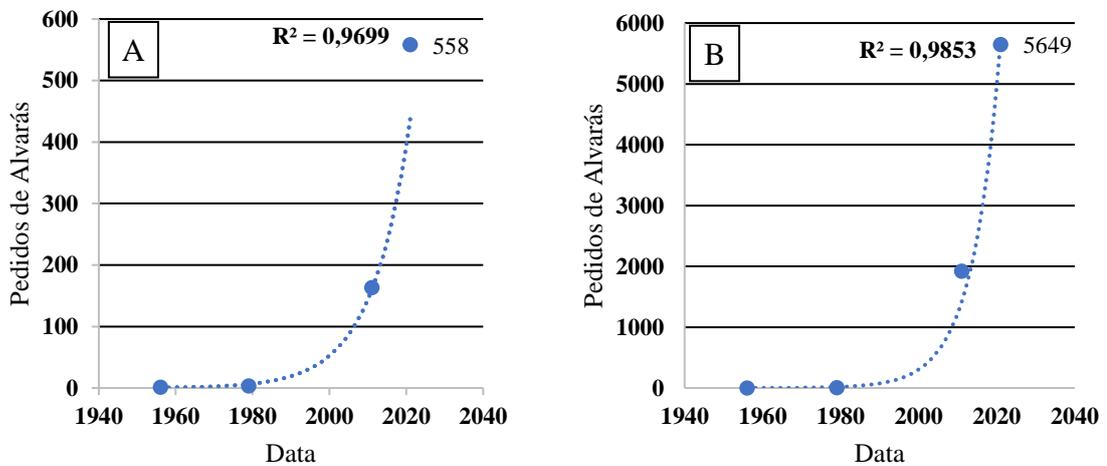
Fonte: Própria autoria, 2022.

No decorrer do processo de ocupação territorial, o município vem registrando os pedidos de liberação de alvarás para construção civil, obedecendo o código de obras do município (Lei nº 99 de 30 de abril de 1998). Os números acumulados de pedidos de alvarás de construção municipal já somam 5.649 unidades desde 1975 (Figura 39). Importante ressaltar que Balneário Gaivota se emancipou em 1995 e antes disso, as solicitações de licenças eram realizadas no Município de Sombrio. Ainda, os dados de alvarás representam limitações inerentes ao processo histórico de pedidos de regularização de imóveis, algo que em tempos pretéritos não aconteciam com frequência.

A estimativa do número populacional obtida com base no Número de Unidades Consumidoras de Energia Elétrica (NUCE), dada por meio do número de ligações de energia elétrica, representa um forte indício de quantidade de pessoas que habitam uma certa unidade municipal. Foram analisados 24 anos do histórico de ligações inseridas na área de estudo a

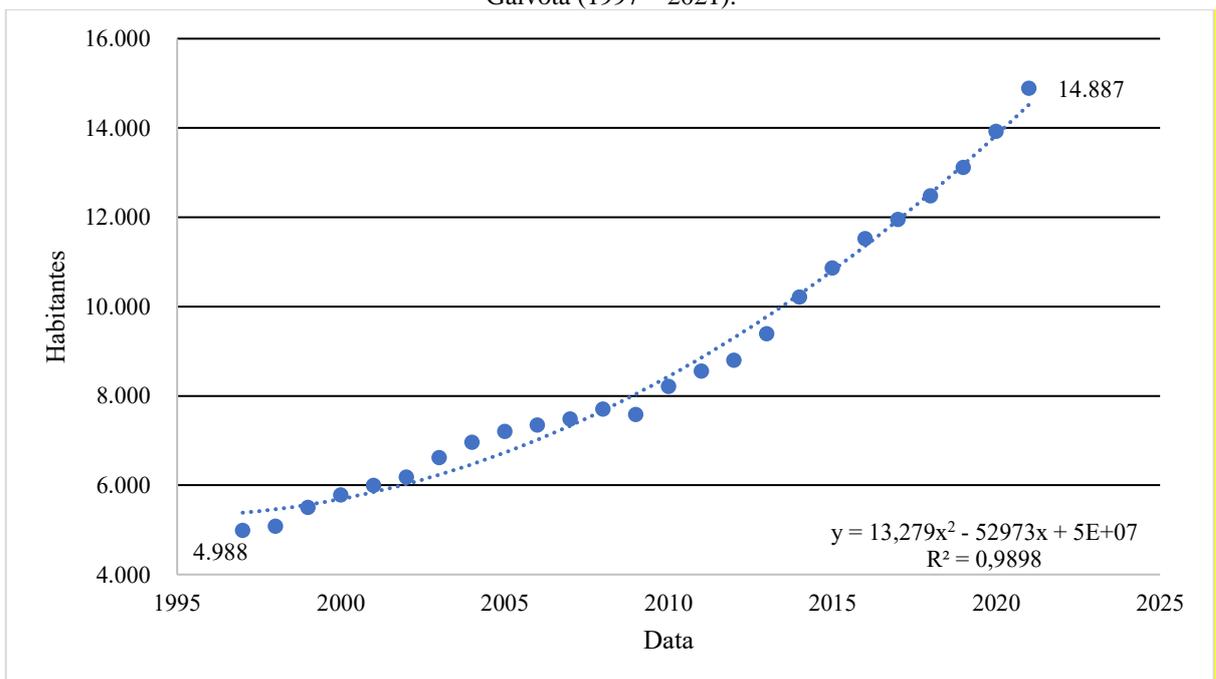
partir de 1997. Em janeiro de 1997 o número de ligações era de 3.708, em 01 de janeiro de 2021 este número chegou a 11.535, ou seja, um crescimento de 311% em 24 anos. O número de ligações multiplicado pelo número médio de pessoas por residência, menos o número da população flutuante (alta temporada), nos fornece os dados estimados da população fixa. Sendo assim, em dezembro de 2021 a população total (incluindo a presente na alta temporada) seria de 34.144 pessoas e população fixa de 14.887 (Figura 40).

Figura 39- Estimativas do crescimento populacional do município de Balneário Gaivota no período 1956 - 2020. A) obtida por meio de estimativa de crescimento no número absoluto e B) obtida por meio do número acumulado de pedidos de alvarás do Município de Balneário Gaivota.



Fonte: Prefeitura Municipal de Balneário Gaivota, 2021.

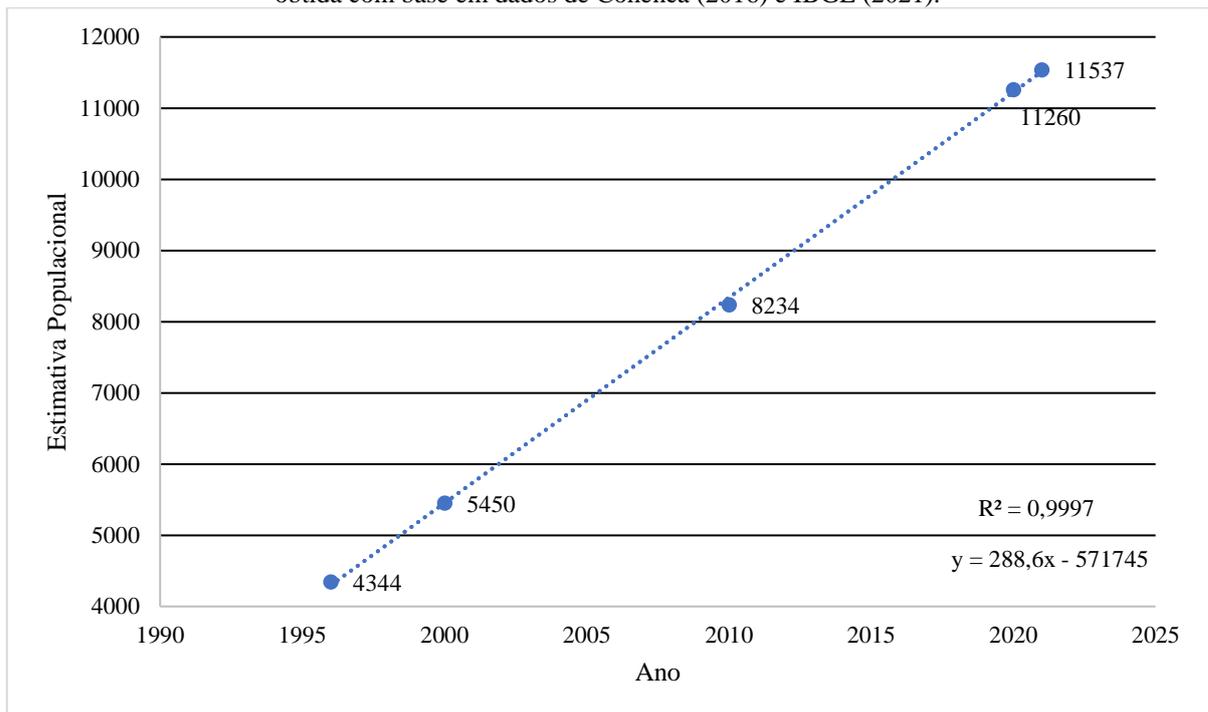
Figura 40 - Estimativa do Número de Unidades Consumidoras de Eletricidade no município de Balneário Gaivota (1997 – 2021).



Fonte: Própria autoria, 2022.

Conforme dados do IBGE (COHENCA, 2016) estima-se que em 1996, Balneário Gaivota possuía 4.344 habitantes, no ano de 2000 o município passou a ter 5.450 habitantes, em 2010 esse número cresce para 8.234 habitantes e em 2021, a estimativa de habitantes de Balneário Gaivota foi de 11.537 habitantes (Figura 41).

Figura 41 - Projeção do número de habitantes fixos do município de Balneário Gaivota no período 1996 - 2021, obtida com base em dados de Cohenca (2016) e IBGE (2021).



Fonte: Adaptado de Cohenca (2016) e IBGE (2021).

#### 4.1.5 Projeção de crescimento populacional para os anos de 2030, 2040 e 2050

Os resultados sobre a projeção de crescimento populacional (2030-2050) evidenciam uma variação nas linhas de tendência (Tabela 2). Os dados do IBGE e do trabalho de Cohenca (2016) apresentam uma projeção linear, os dados obtidos por meio da NUCE/CELESC uma linha polinomial e os dados de contagem de edificações linha exponencial. Observou-se baixa variação nos valores de determinação ( $R^2$ ) entre as três linhas de tendência que melhor se ajustaram aos conjuntos de dados (Tabela 2). Para os dados obtidos no IBGE a linha que melhor se ajustou foi a projeção linear ( $R^2 = 0,9997$ ), para os dados obtidos através do Números de Unidades Consumidoras de Energia (NUCE) foi a polinomial ( $R^2 = 0,9898$ ), enquanto que para os dados obtido por contagem de edificações (CONTEDF) nas imagens aéreas foi a exponencial ( $R^2 = 0,9731$ ).

Tabela 2 - Equações de correlação  $R^2$  para dados obtidos junto ao IBGE, NUCE e CONTEDEF.

<b>Fonte</b>	<b>Equação</b>	<b><math>R^2</math></b>
IBGE	$y = 288,6x - 571745$	0,9997
NUCE	$y = 13,279x^2 - 52973x + 5E+07$	0,9898
CONTEDEF	$y = 5E-54e^{0,0652x}$	0,9731

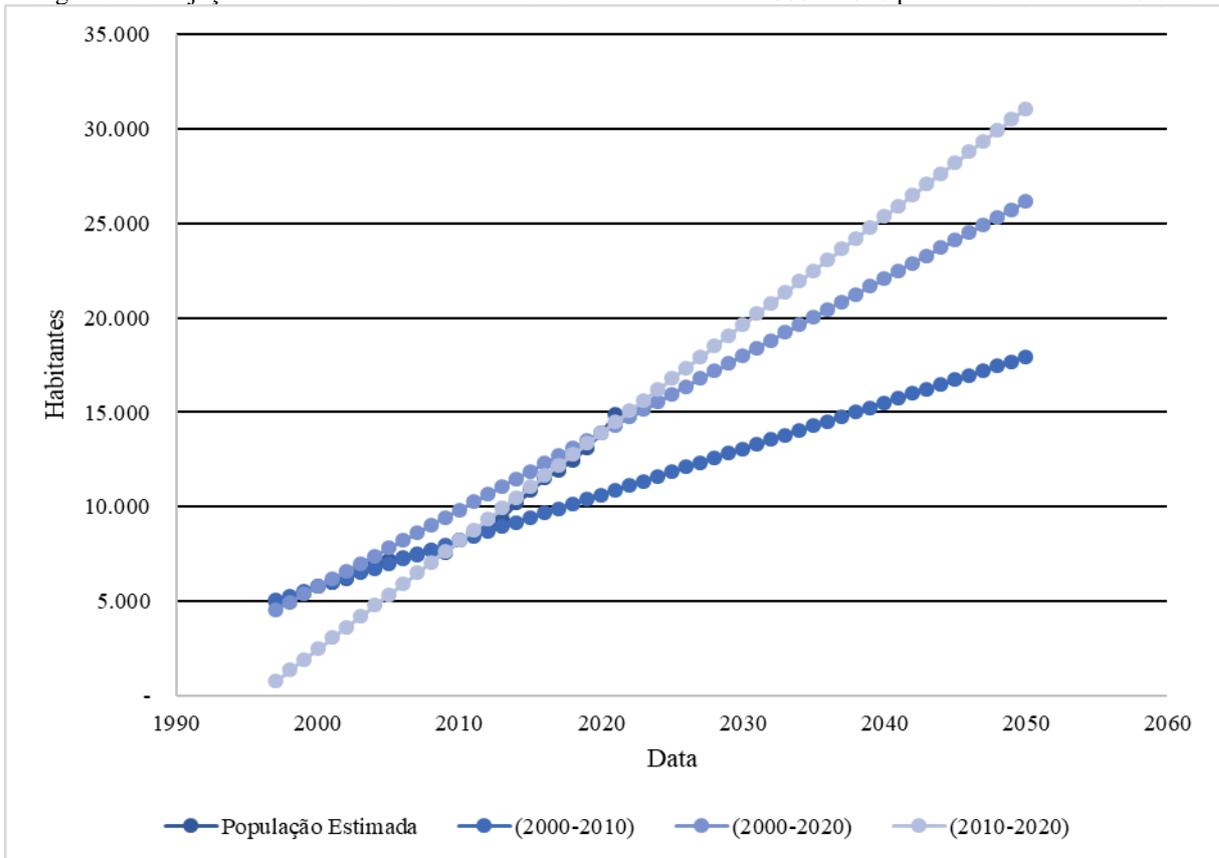
Fonte: Própria autoria, 2022.

Os dados utilizados para aplicação nos modelos de projeção foram os do NUCE, pois possuem uma alta correlação com a projeção polinomial e uma série de dados muito superior, enquanto que, pelas séries de dados do IBGE, as projeções foram analisadas com apenas cinco amostras e por meio de contagens de edificações 4 amostras. De outro modo, os dados mensais de energia elétrica (NUCE) somam 290 amostras em 24 anos, e ainda, os dados obtidos pela NUCE ficou em um ponto médio de crescimento, entre as duas outras formas de análise, de acordo com as linhas de tendência plotadas. Portanto para aplicação dos modelos de projeção aritmética, geométrica e logística foram utilizados os dados do NUCE.

#### 4.1.5.1 Projeção aritmética

Para o cálculo das projeções aritméticas da população urbana foram considerados em três condições de análise entre 1997-2010 de 1997-2020 e 2010 -2020. Observando os dados da Figura 42 percebe-se que projeção de crescimento populacional para o período entre 1997 - 2020 possui uma boa correlação com os dados apontados pelo NUCE, sendo que a linha se ajusta nos anos de 1997 e 2020, possuindo uma discrepância de 20% para mais em 2010.

Figura 42- Projeção aritmética de crescimento da área urbana entre 2000 e 2020 por meio dos dados NUCE.



Fonte: Própria autoria, 2022.

As taxas de crescimento entre as séries de dados NUCE estudadas indicam que entre 1997 a 2020 o crescimento foi de 3,75%, entre 2000 a 2010 foi de 3,19% e entre 2010 e 2020 foi de 4,99%. A maior taxa de crescimento, observada nos últimos 10 anos estudados reforça a indicação de um crescimento acentuado nos últimos anos. A Tabela 3 apresenta os dados da estimativa de crescimento populacional de acordo com a projeção aritmética.

Tabela 3 - Dados de estimativa de crescimento populacional por projeção aritmética da população do município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina, no período 1997 - 2020.

Ano	População IBGE	População Estimada (NUCE)	(1997-2010)	(2000-2020)	(2010-2020)
1997		4.988	5.050	4.558	782
1998		5.078	5.293	4.965	1.353
1999		5.500	5.536	5.372	1.925
<b>2000</b>	<b>5.540</b>	<b>5.779</b>	<b>5.779</b>	<b>5.779</b>	<b>2.496</b>
2001		5.999	6.022	6.186	3.067
2002		6.183	6.265	6.593	3.639

<b>Ano</b>	<b>População IBGE</b>	<b>População Estimada (NUCE)</b>	<b>(1997- 2010)</b>	<b>(2000- 2020)</b>	<b>(2010- 2020)</b>
2003		6.614	6.508	7.001	4.210
2004		6.963	6.751	7.408	4.781
2005		7.200	6.994	7.815	5.353
2006		7.343	7.237	8.222	5.924
2007		7.484	7.480	8.629	6.495
2008		7.706	7.723	9.037	7.067
2009		7.579	7.966	9.444	7.638
<b>2010</b>	<b>8.234</b>	<b>8.209</b>	<b>8.209</b>	<b>9.851</b>	<b>8.209</b>
2011		8.553	8.452	10.258	8.781
2012		8.800	8.695	10.665	9.352
2013		9.391	8.938	11.072	9.923
2014		10.210	9.181	11.480	10.495
2015		10.861	9.424	11.887	11.066
2016		11.520	9.667	12.294	11.637
2017		11.952	9.910	12.701	12.209
2018		12.478	10.153	13.108	12.780
2019		13.117	10.396	13.515	13.351
<b>2020</b>	<b>11.537</b>	<b>13.923</b>	<b>10.639</b>	<b>13.923</b>	<b>13.923</b>
2021		14.887	10.882	14.330	14.494
2022			11.125	14.737	15.065
2023			11.368	15.144	15.637
2024			11.611	15.551	16.208
2025			11.854	15.958	16.779
2026			12.097	16.366	17.351
2027			12.340	16.773	17.922
2028			12.583	17.180	18.493
2029			12.826	17.587	19.065
<b>2030</b>			<b>13.070</b>	<b>17.994</b>	<b>19.636</b>
2031			13.313	18.401	20.207
2032			13.556	18.809	20.779
2033			13.799	19.216	21.350

<b>Ano</b>	<b>População IBGE</b>	<b>População Estimada (NUCE)</b>	<b>(1997- 2010)</b>	<b>(2000- 2020)</b>	<b>(2010- 2020)</b>
2034			14.042	19.623	21.921
2035			14.285	20.030	22.493
2036			14.528	20.437	23.064
2037			14.771	20.844	23.635
2038			15.014	21.252	24.207
2039			15.257	21.659	24.778
<b>2040</b>			<b>15.500</b>	<b>22.066</b>	<b>25.349</b>
2041			15.743	22.473	25.921
2042			15.986	22.880	26.492
2043			16.229	23.288	27.063
2044			16.472	23.695	27.635
2045			16.715	24.102	28.206
2046			16.958	24.509	28.777
2047			17.201	24.916	29.348
2048			17.444	25.323	29.920
2049			17.687	25.731	30.491
<b>2050</b>			<b>17.930</b>	<b>26.138</b>	<b>31.062</b>

Fonte: Própria autoria, 2022.

A Tabela 4 ilustra a comparação entre as séries de projeções aritméticas estudadas. Deste modo, comparando-se os resultados obtidos para o período com os dados fornecidos pelo IBGE se percebe uma forte relação com o período de 2000-2020.

Tabela 4- Comparação da de estimativa de crescimento populacional por projeção aritmética da população de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina com os dados fornecidos pelo IBGE, no período 2000 - 2020.

<b>Ano</b>	<b>IBGE</b>	<b>NUCE</b>	<b>(2000-2010)</b>	<b>(2000-2020)</b>	<b>(2010-2020)</b>
<b>2000</b>	<b>5.540</b>	5.779	5.779	<b>5.779</b>	2.496
<b>2010</b>	<b>8.234</b>	8.209	8.209	<b>9.851</b>	8.209
<b>2020</b>	<b>11.537</b>	13.923	10.639	<b>13.923</b>	13.923

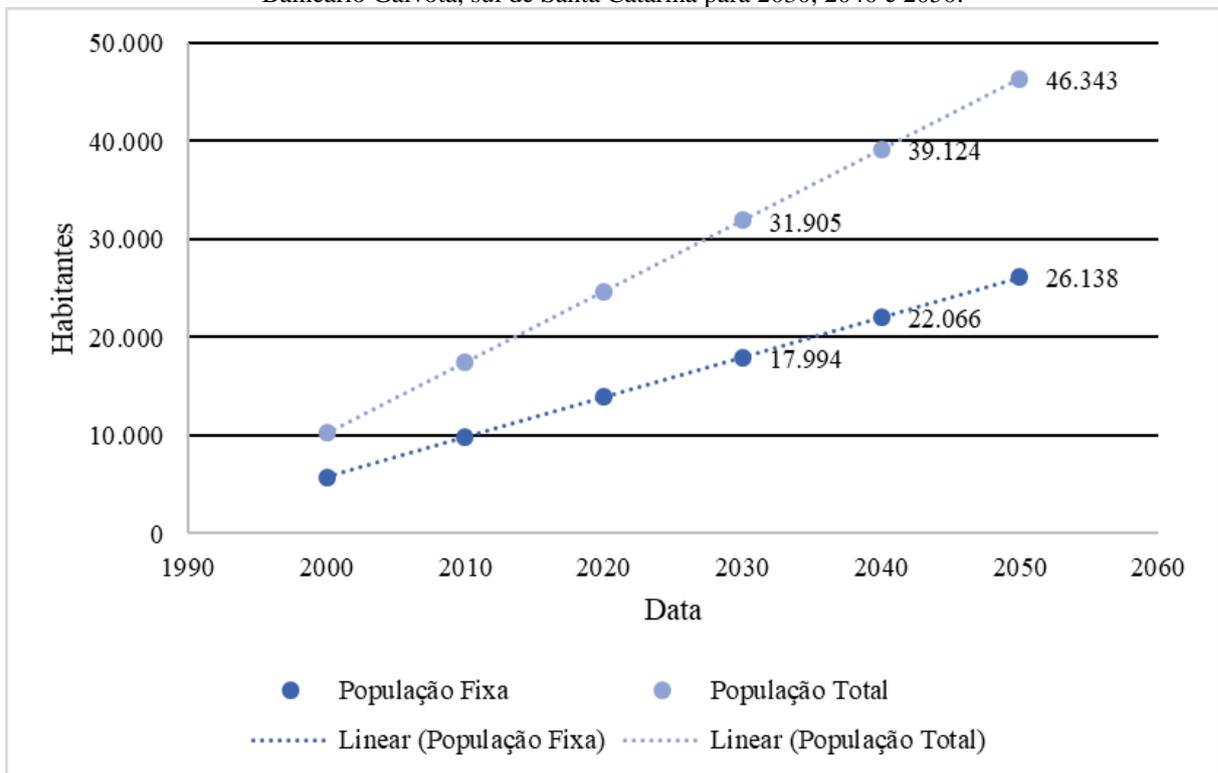
Fonte: Própria autoria, 2022.

A projeção para a população fixa no município para 2030 pelo método da projeção aritmética é de 17.994 habitantes, em 2040 o número de pessoas poderá ser de 22.066 e em 2050 o número estimado é de 26.138 moradores (Figura 43). Os dados da Figura 43 ilustram a

população flutuante do município e considerando-se que 43,6% da população reside permanentemente no município, a população flutuante é de 56,4%. Se aplicarmos a taxa de habitantes flutuantes em 2030 o número total de habitantes será de 31.905 habitantes, em 2040 de 39.124 pessoas, podendo chegar em 2050 em 46.343 residentes na alta temporada.

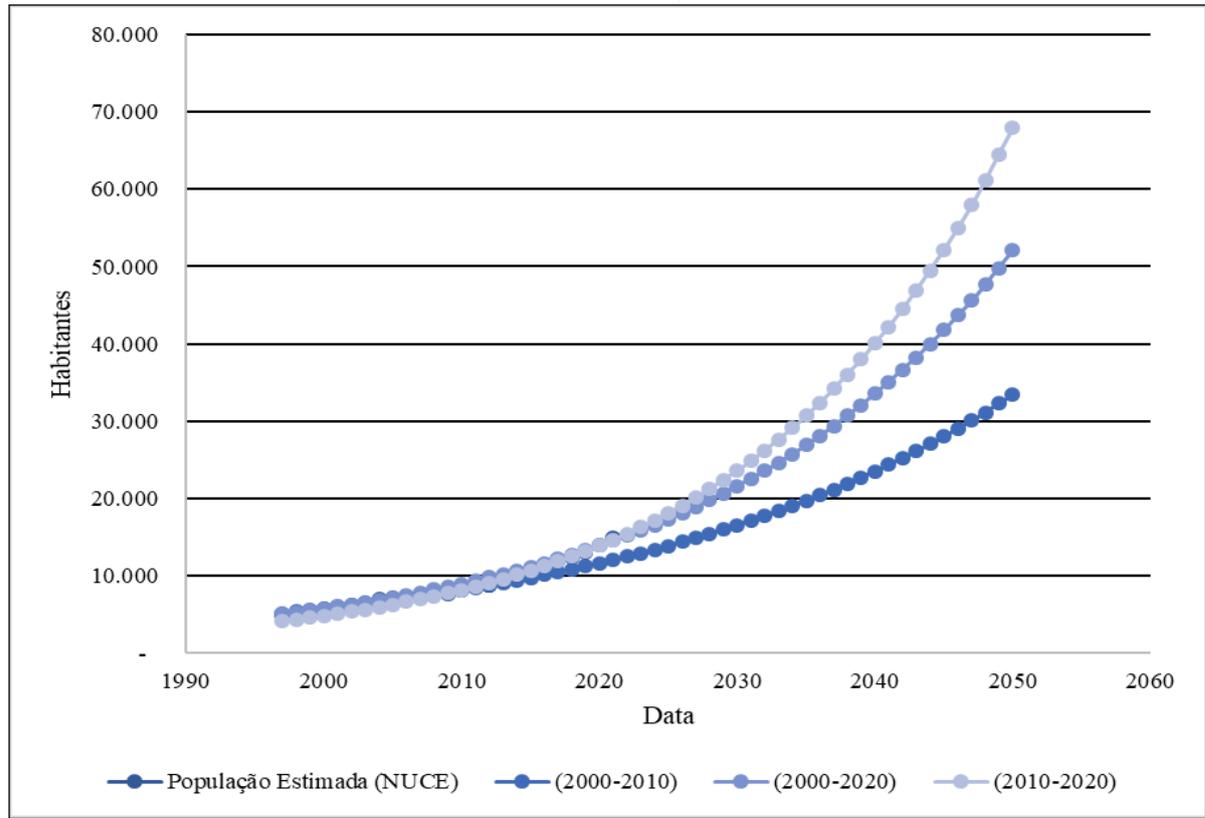
Seguindo as mesmas relações temporais adotadas na projeção de crescimento pelo método aritmético, ou seja, de 1997-2010, entre 1997-2020 e 2010-2020 foram obtidas as linhas de projeção geométricas observadas na Figura 44 e Tabela 5.

Figura 43- Projeção aritmética de crescimento da população fixa e flutuante da área urbana do município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina para 2030, 2040 e 2050.



Fonte: Própria autoria, 2022.

Figura 44 - Projeção geométrica de crescimento populacional da área urbana do município de Balneário Gaivota com base nos dados NUCE, 1997 e 2020.



Fonte: Própria autoria, 2022.

Tabela 5- Dados de estimativa de crescimento populacional por projeção geométrica da população do município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina, no período 1997 - 2020.

Ano	População IBGE	População Estimada (NUCE)	(1997-2010)	(1997-2020)	(2010-2020)
1997		4.988	5.202	5.065	4.131
1998		5.078	5.387	5.293	4.355
1999		5.500	5.580	5.531	4.591
<b>2000</b>	<b>5.540</b>	<b>5.779</b>	<b>5.779</b>	<b>5.779</b>	<b>4.840</b>
2001		5.999	5.986	6.039	5.103
2002		6.183	6.199	6.310	5.380
2003		6.614	6.421	6.594	5.672
2004		6.963	6.650	6.890	5.979
2005		7.200	6.888	7.200	6.304
2006		7.343	7.134	7.523	6.646
2007		7.484	7.389	7.862	7.006
2008		7.706	7.653	8.215	7.386

Ano	População IBGE	População Estimada (NUCE)	(1997-2010)	(1997-2020)	(2010-2020)
2009		7.579	7.926	8.584	7.787
<b>2010</b>	<b>8.234</b>	<b>8.209</b>	<b>8.209</b>	<b>8.970</b>	<b>8.209</b>
2011		8.553	8.503	9.373	8.655
2012		8.800	8.806	9.794	9.124
2013		9.391	9.121	10.235	9.619
2014		10.210	9.447	10.695	10.141
2015		10.861	9.784	11.175	10.691
2016		11.520	10.134	11.677	11.271
2017		11.952	10.496	12.202	11.882
2018		12.478	10.871	12.751	12.527
2019		13.117	11.259	13.324	13.206
<b>2020</b>	<b>11.537</b>	<b>13.923</b>	<b>11.661</b>	<b>13.923</b>	<b>13.923</b>
2021		14.887	12.078	14.548	14.678
2022			12.509	15.202	15.474
2023			12.956	15.885	16.313
2024			13.419	16.599	17.198
2025			13.898	17.345	18.131
2026			14.395	18.125	19.115
2027			14.909	18.940	20.152
2028			15.442	19.791	21.245
2029			15.993	20.680	22.397
<b>2030</b>			<b>16.565</b>	<b>21.610</b>	<b>23.612</b>
2031			17.157	22.581	24.893
2032			17.769	23.596	26.243
2033			18.404	24.656	27.667
2034			19.062	25.764	29.168
2035			19.743	26.922	30.750
2036			20.448	28.132	32.418
2037			21.178	29.397	34.176
2038			21.935	30.718	36.030
2039			22.719	32.098	37.985

<b>Ano</b>	<b>População IBGE</b>	<b>População Estimada (NUCE)</b>	<b>(1997-2010)</b>	<b>(1997-2020)</b>	<b>(2010-2020)</b>
<b>2040</b>			<b>23.530</b>	<b>33.541</b>	<b>40.045</b>
2041			24.371	35.048	42.217
2042			25.242	36.624	44.508
2043			26.143	38.270	46.922
2044			27.077	39.990	49.467
2045			28.045	41.787	52.150
2046			29.046	43.665	54.979
2047			30.084	45.627	57.962
2048			31.159	47.678	61.106
2049			32.272	49.821	64.421
<b>2050</b>			<b>33.425</b>	<b>52.060</b>	<b>67.915</b>

Fonte: Própria autoria, 2022.

Os dados apresentados indicam que a comparação entre as séries de projeções geométricas estudadas, comparando com o período de dados obtidos pelo IBGE possuem uma forte relação com o período de 1997-2020, ou seja, a diferença entre os dados não é superior a 5%, como pode ser observado na Tabela 6.

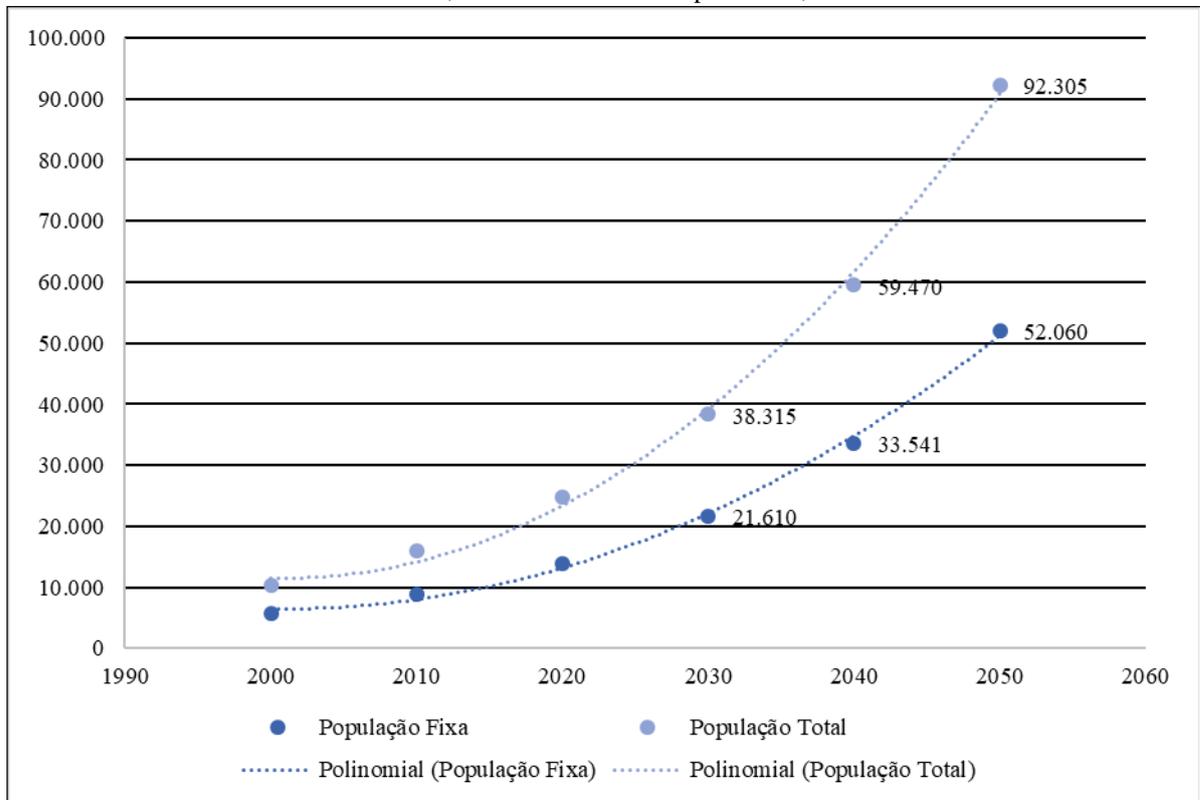
Tabela 6 - Comparação da de estimativa de crescimento populacional por projeção geométrica da população de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina com os dados fornecidos pelo IBGE, no período 2000 - 2020.

<b>Ano</b>	<b>IBGE</b>	<b>NUCE</b>	<b>2000-2010</b>	<b>2000-2020</b>	<b>2010-2020</b>
<b>2000</b>	<b>5.540</b>	5.779	5.579	<b>5.579</b>	4.840
<b>2010</b>	<b>8.234</b>	8.209	8.209	<b>8.970</b>	8.209
<b>2020</b>	<b>11.537</b>	13.923	11.661	<b>13.923</b>	13.923

Fonte: Própria autoria, 2022.

A projeção para 2030 pelo método da projeção geométrica é de 21.610 habitantes, em 2040 o número de pessoas deverá ser de 33.541 e em 2050 o número estimado é de 52.060 moradores fixos (Figura 45), que traz também a população flutuante. Considerando-se que 43,6% da população residem permanentemente no município, então se tem uma taxa de população flutuante de 56,4%. Se aplicarmos a taxa de habitantes flutuantes em 2030 o número total de habitantes será de 38.315 habitantes, em 2040 de 59.470 pessoas, podendo chegar em 2050 em 92.305 residentes em alta temporada (Figura 45).

Figura 45 - Projeção geométrica de crescimento da população fixa e flutuante da área urbana do município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina para 2030, 2040 e 2050.



Fonte: Própria autoria, 2022.

Para aplicação do método de Crescimento Logístico são necessárias informações observadas em três intervalos de tempos distintos. O crescimento populacional segue uma relação matemática que estabelece uma curva em forma de “S” tendendo assintoticamente a um valor de saturação. Os dados obtidos neste estudo não atenderam as premissas necessárias de  $P_0 < P_1 < P_2$  e  $P_0.P_2 < P_1^2$  exigidas para a análise de crescimento do tipo logístico, sendo assim, a estimativa de crescimento segundo este modelo não pôde ser avaliada.

## 4.2 CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA

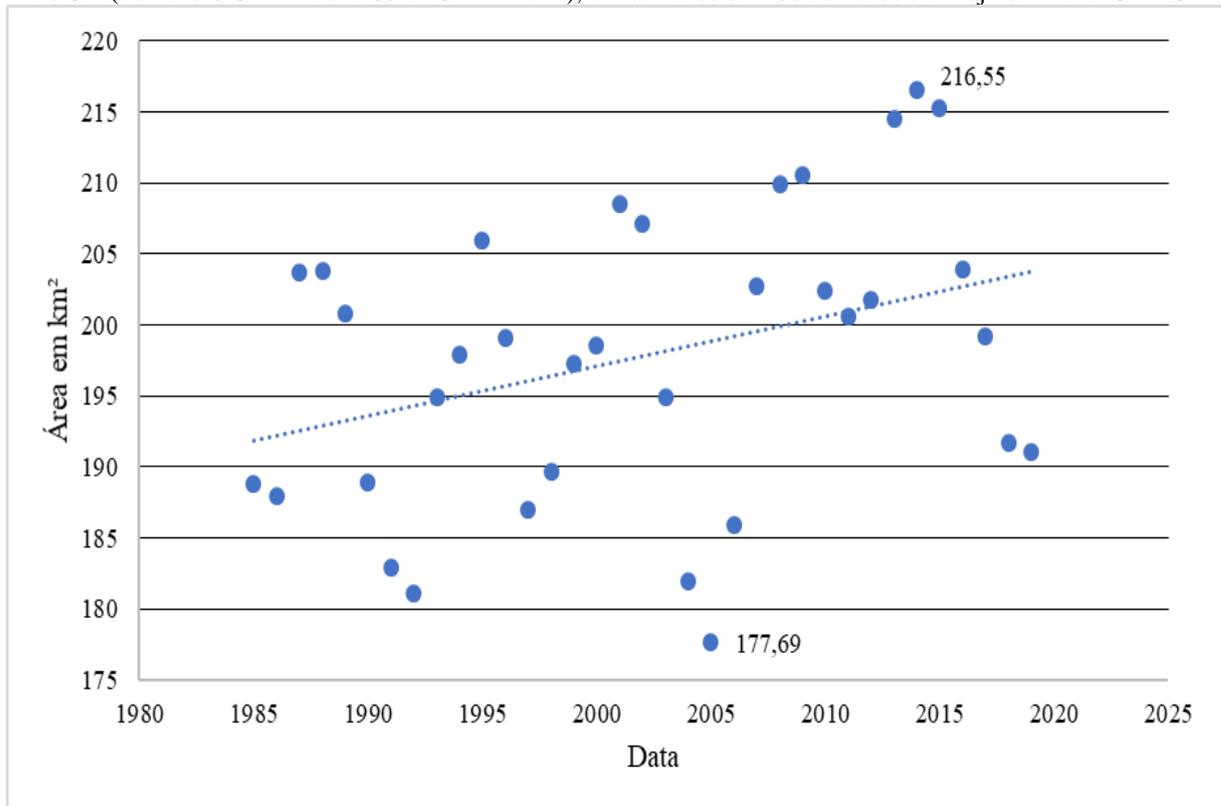
### 4.2.1 Formação da Planície Costeira Sul Catarinense

A formação e a dinâmica da Planície Costeira Sul Catarinense encontra-se descrita na literatura, por exemplo: Tomazelli e Villwock (1991); Tomazelli e Villwock (2005); Mudat, *et al.* (2006); Martinho (2008), Dillenburg e Hesp (2009), Martinho (2008), Martinho *et al.* (2010), Cancelli (2012) e Silva (2015). A formação das lagoas costeiras pertencentes ao sistema

lagunar, foi gerado pelo isolamento de terrenos baixos até ao mar estabelecendo um sistema deposicional natural denominado “sistemas lagunares” (TOMAZELLI e VILLWOCK, 1991).

Os dados a nível regional nas regiões da PCRS e PCSC (até o cabo de Santa Marta), obtidos nos bancos de dados do MAPBIOMAS (2021) apresentam uma tendência no desenvolvimento da classe áreas de campos alagados e áreas pantanosas. O pico máximo de áreas alagadas e pantanosas foi no ano de 2014, quando estes ambientes chegaram a representar 216,55 km<sup>2</sup> e, a menor representatividade se deu em 2005, cuja área de ocorrência registradas nas imagens orbitais foi de 177,69 km<sup>2</sup>, revelando assim uma variação de aproximadamente 18% (Figura 46).

Figura 46 - Dinâmica regional das áreas de campos alagados e pantanosas, na Planície Costeira do Rio Grande do Sul (do Arroio Chuí até o cabo de Santa Marta), extraída dos bancos de dados do Projeto MAPBIOMAS.

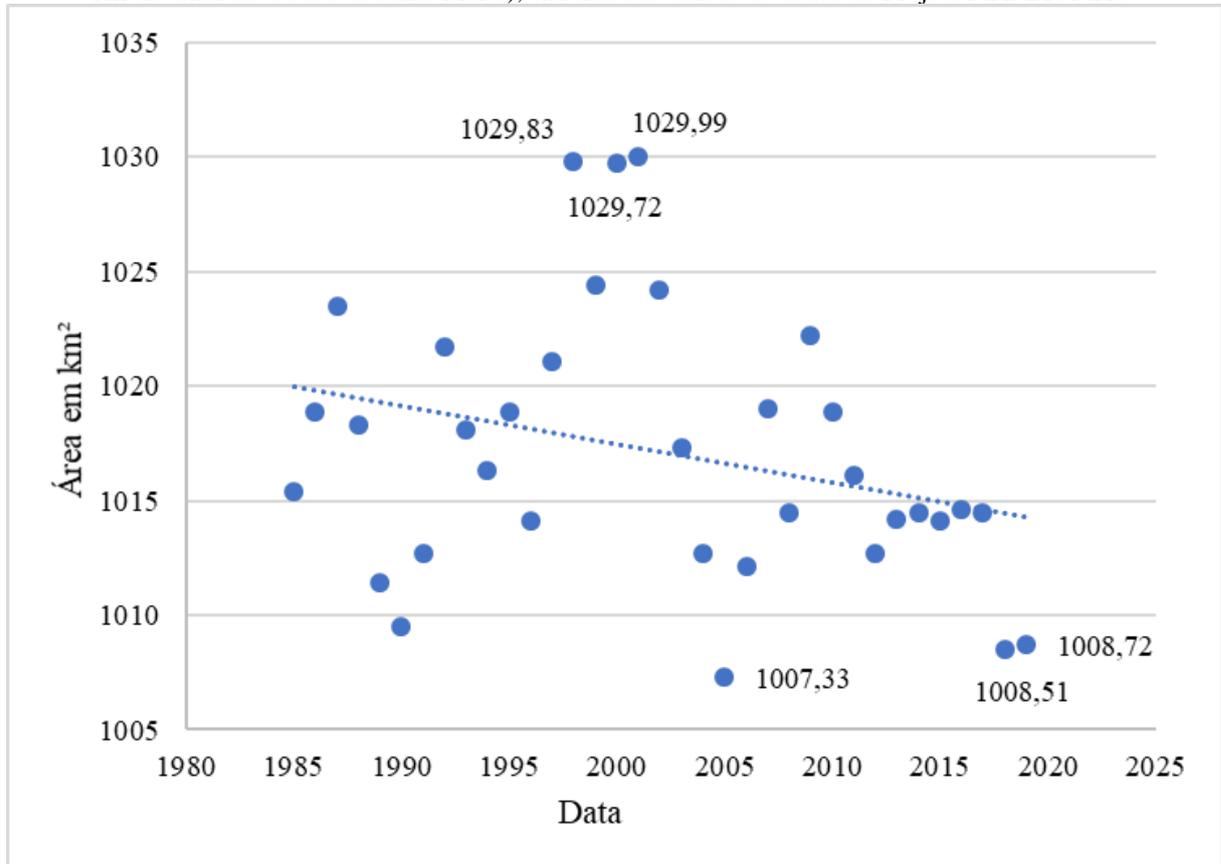


Fonte: Adaptado de MapBiomias (2021).

Os dados que representam a dinâmica espacial das lagoas costeiras na região da PCRS e PCSC (até o cabo de Santa Marta) nos 35 anos estudados, apontam para um decréscimo em área como pode ser visto na Figura 47. Os picos máximos de ocupação de área pelas lagoas ocorreram em 1998 com área de 1.029,83 km<sup>2</sup>, 2000 com área de 1.029,72 km<sup>2</sup> e 2001 com 1.029,99 km<sup>2</sup> de área, já os períodos de menor representação dos recursos hídricos ocorreram

nos anos de 2005 com a menor significância em área possuindo 1.007,330 km<sup>2</sup>, 2018 (1.008,51 km<sup>2</sup>) e 2019 com 1.008,72 km<sup>2</sup> de áreas de rios, lagoas e oceano (Figura 47).

Figura 47 - Dinâmica regional das áreas de rios lagoas e oceanos, na Planície Costeira do Rio Grande do Sul (do Arroio Chuí até o cabo de Santa Marta), extraída dos bancos de dados do Projeto MAPBIOMAS.

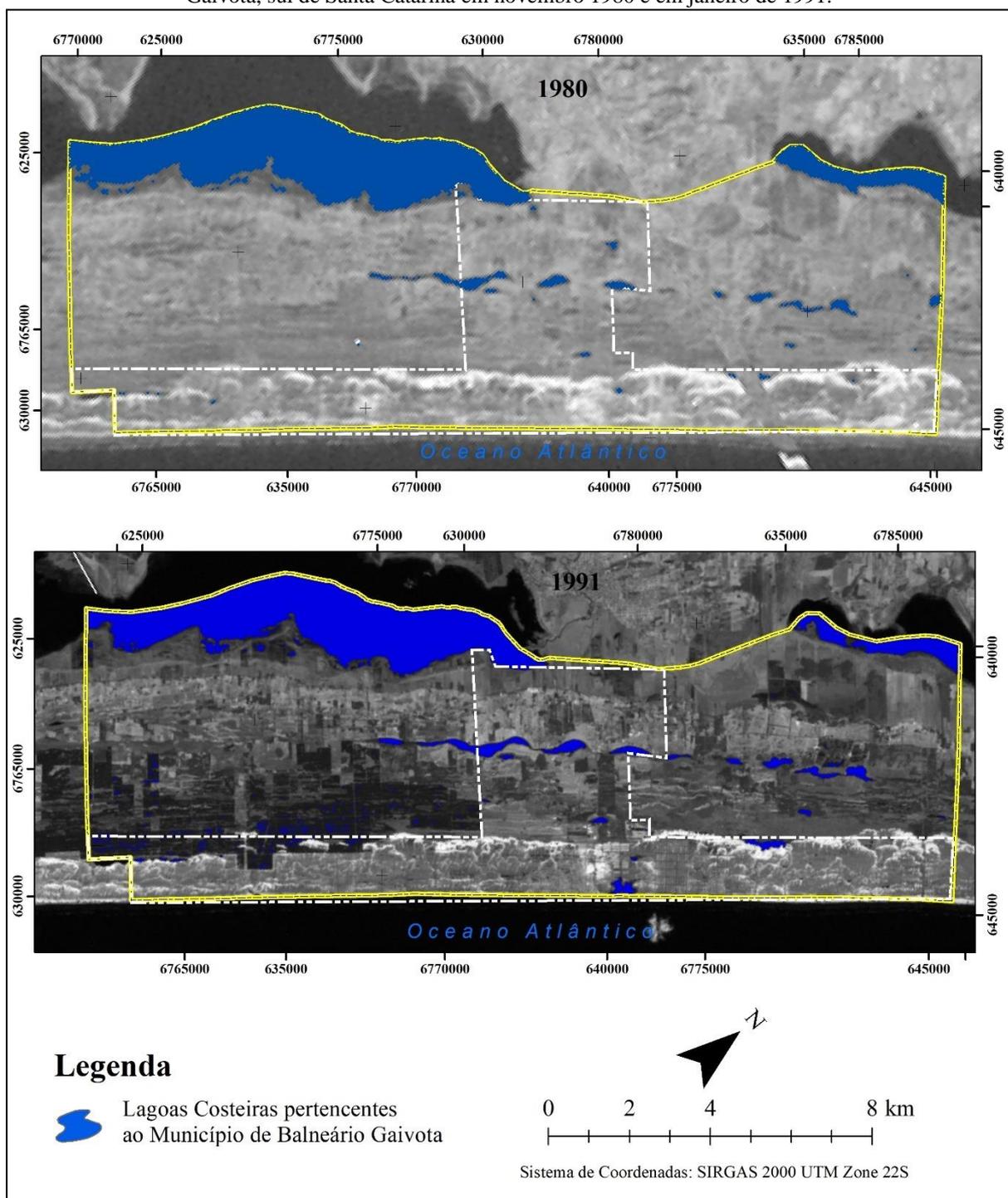


Fonte: Adaptado de MapBiomias (2021).

#### 4.2.2 Dinâmica das lagoas costeiras

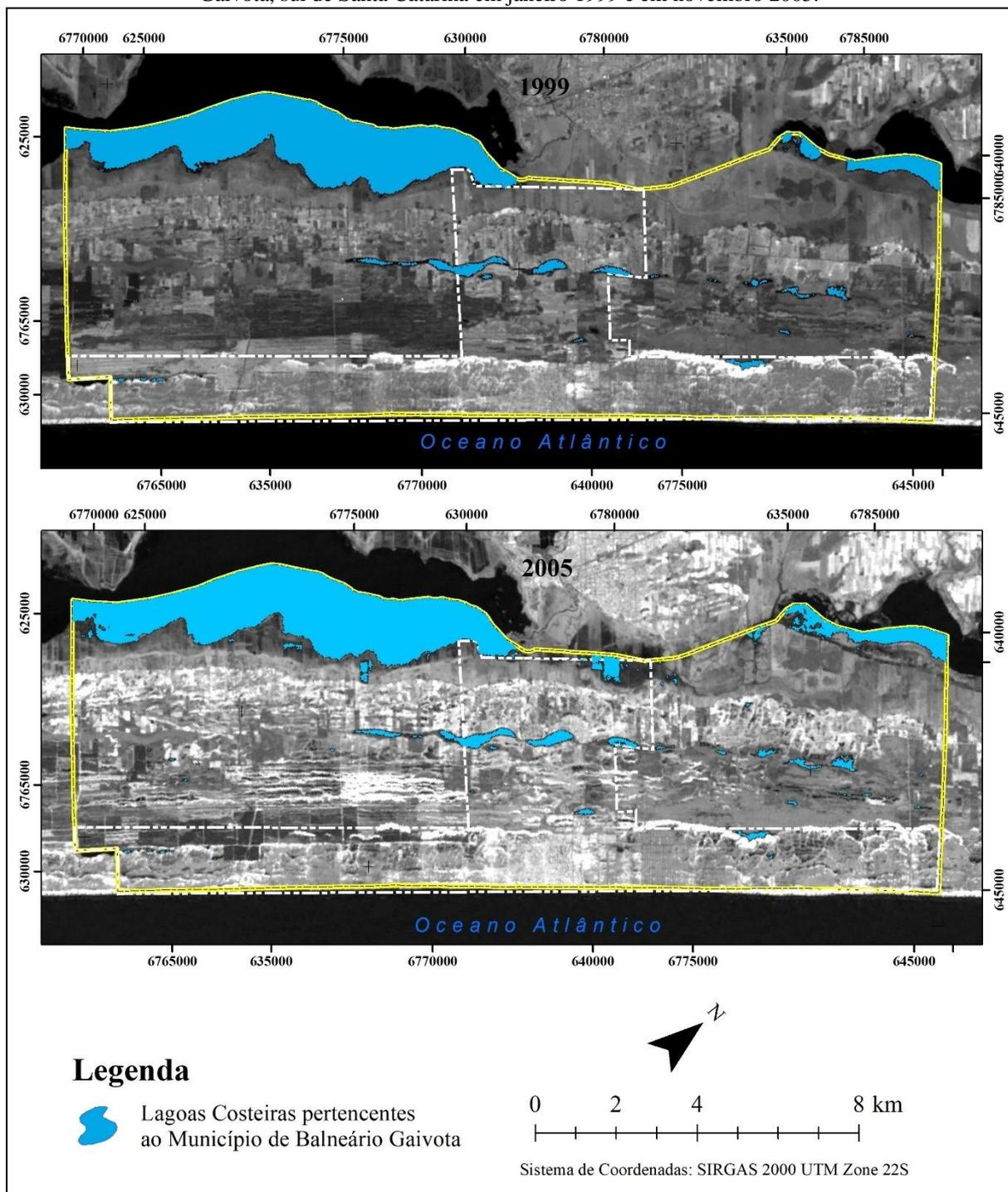
A dinâmica espaço-temporal das lagoas presentes no território do município de Balneário Gaivota, avaliada por meio do índice de *NMDWI* é mostrada para o período 1980 – 1991 (Figura 48), para o período 1999 – 2005 (Figura 49) e para o período 2013 – 2021 (Figura 50).

Figura 48 - Imagens da área ocupada pela lâmina d'água das lagoas no território do município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina em novembro 1980 e em janeiro de 1991.



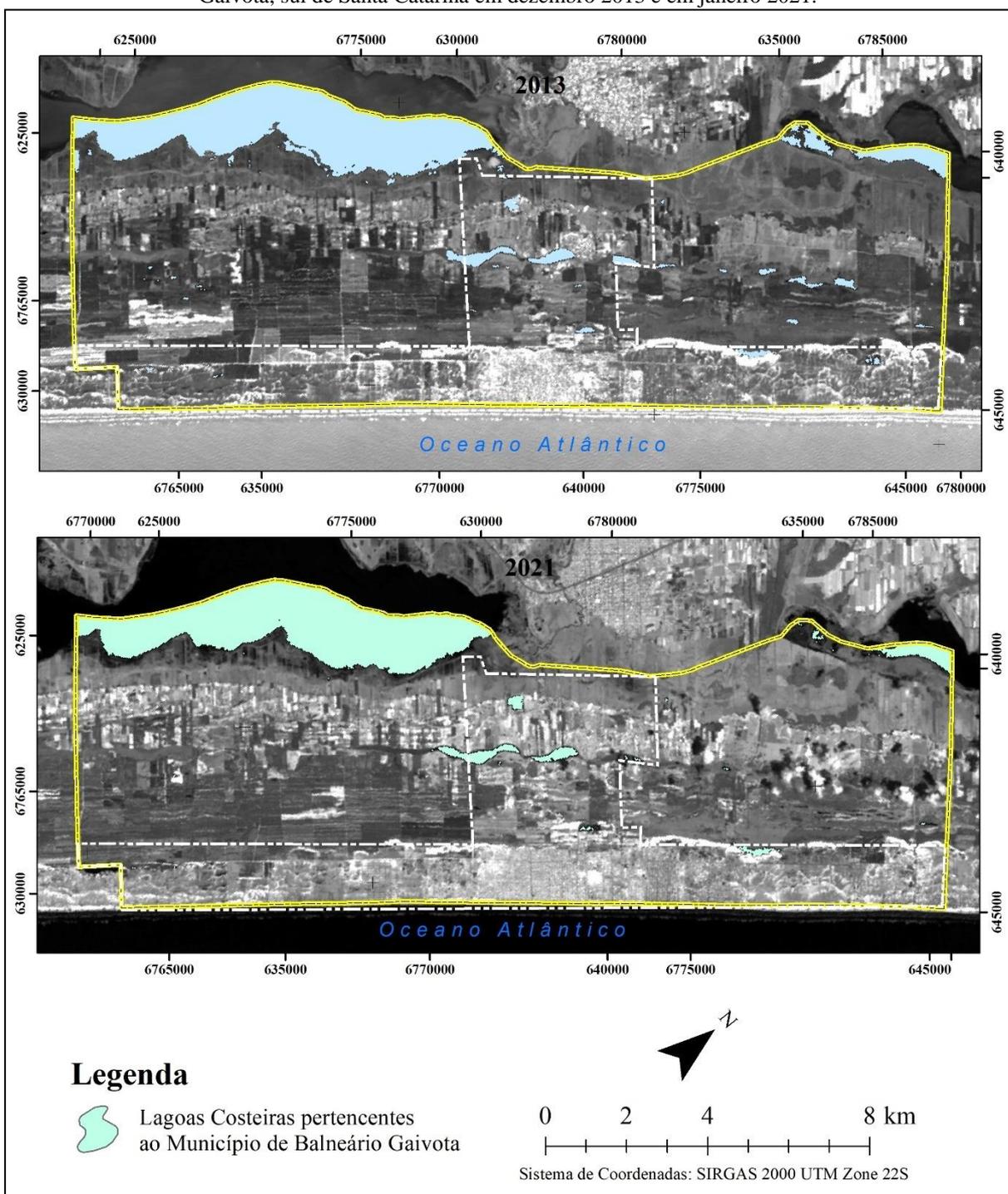
Fonte: Própria autoria, 2022.

Figura 49 - Imagens da área ocupada pela lâmina d'água das lagoas no território do município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina em janeiro 1999 e em novembro 2005.



Fonte: Própria autoria, 2022.

Figura 50 - Imagens da área ocupada pela lâmina d'água das lagoas no território do município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina em dezembro 2013 e em janeiro 2021.



Fonte: Própria autoria, 2022.

A tabela 7 obtida como resultado do processamento das imagens, mostra que em novembro 1980 o conjunto de lagoas analisado ocupa área superficial de 19,27 km<sup>2</sup>, em janeiro de 1991 esse valor passa para 16,36 km<sup>2</sup>, evidenciando redução de 15,10% na área superficial ocupada pela lâmina d'água. Em janeiro de 1999, área superficial das lagoas era de 14,96 km<sup>2</sup> (perda 22,37% em relação a 1980). Em novembro de 2005 a área de lagoas é de 16,23 km<sup>2</sup>

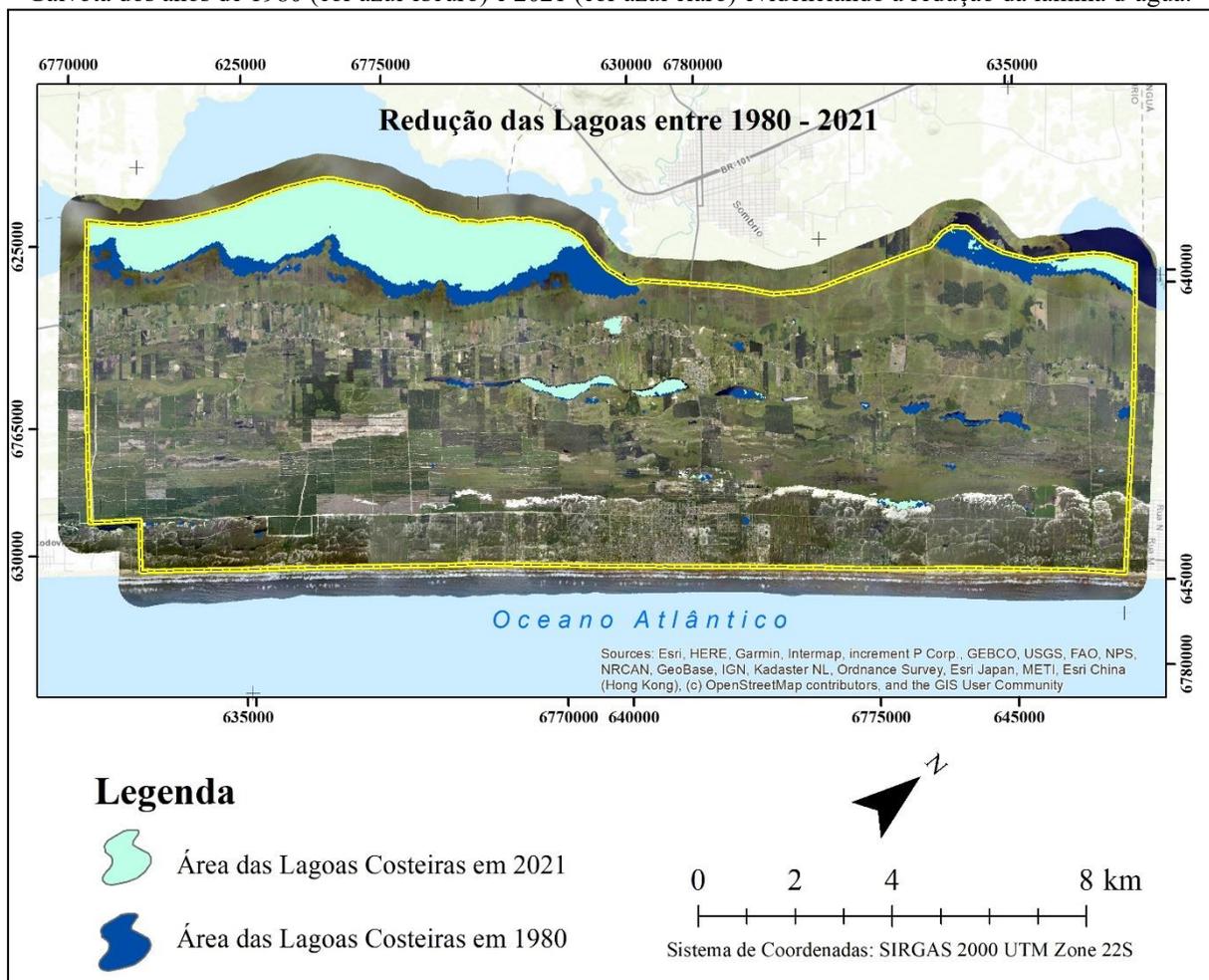
(evidenciando aumento em comparação a 1999 e chegando muito próximo de 1991, mas evidenciando perda de 15,8% em relação a 1980). Em dezembro de 2013 a área da lâmina d'água das lagoas é de 14,77km<sup>2</sup> (redução de 23,35% em relação à 1980) e, finalmente em janeiro de 2021 área das lagoas costeiras do município correspondem a 13,14 km<sup>2</sup>, evidenciando perdas na ordem 31,81% da sua área superficial em comparação com 1980, conforme pode ser melhor observado na Figura 51.

Tabela 7- Dinâmica espacial da lâmina d'água superficial das lagoas costeiras presentes no município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina, no período 1980-2021.

<b>Ano</b>	<b>Mês</b>	<b>Chuva média histórica do mês (mm) Pluviômetro de Sombrio</b>	<b>Área em (km<sup>2</sup>)</b>	<b>(%) de Redução</b>
1980	novembro	109,8	19,27	0%
1991	janeiro	102,2	16,36	15,10%
1999	janeiro	83,1	14,96	22,37%
2005	novembro	128,9	16,23	15,78%
2013	dezembro	98,7	14,77	23,35%
2021	janeiro	140,5	13,14	31,81%

Fonte: Própria autoria, 2022.

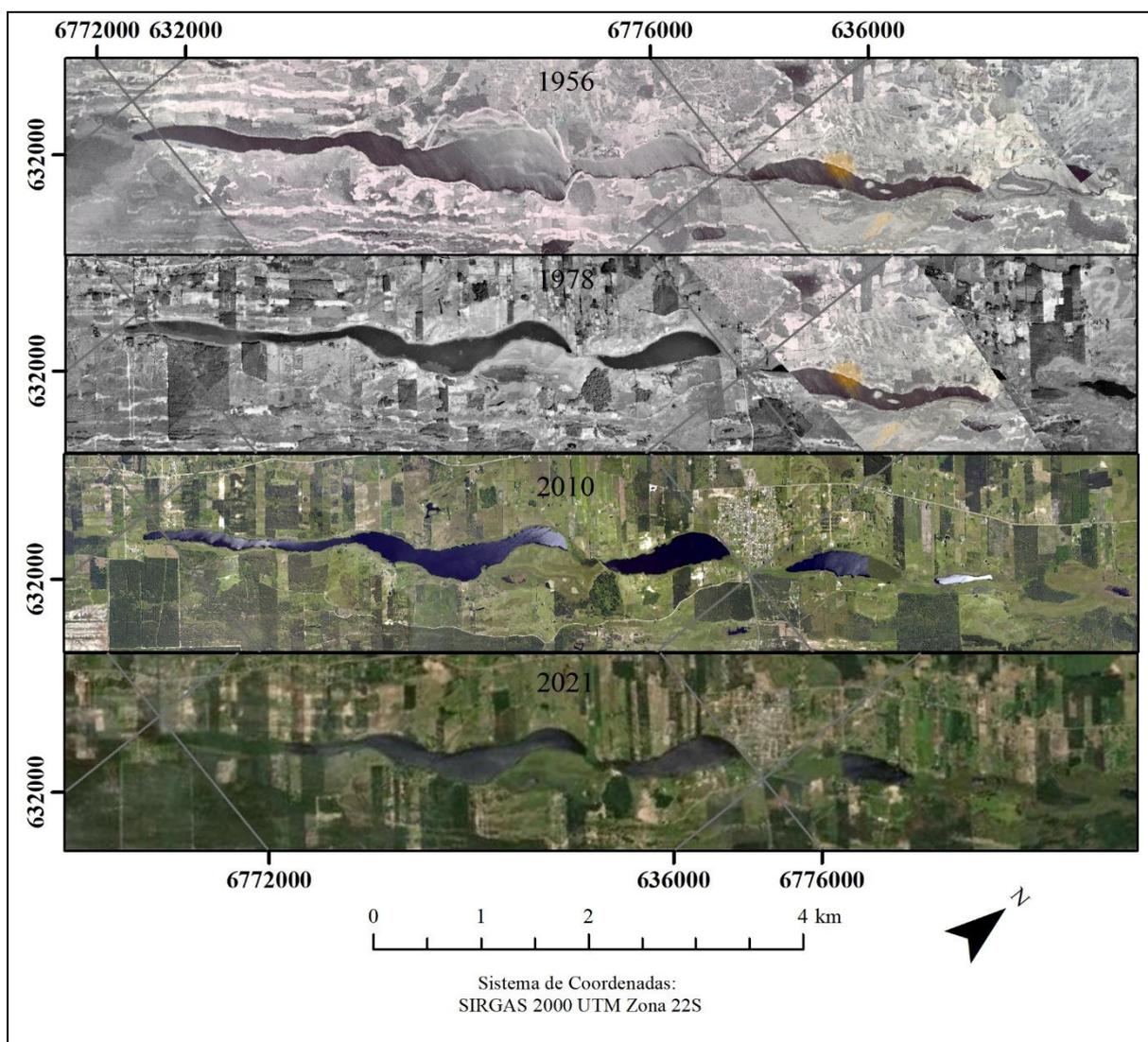
Figura 51 - Sobreposição de imagens do conjunto de lagoas presentes no território do município de Balneário Gaivota dos anos de 1980 (cor azul escuro) e 2021 (cor azul claro) evidenciando a redução da lâmina d'água.



Fonte: Própria autoria, 2022.

A Figura 52 apresenta a redução espaço-temporal do conjunto de lagoas, que atualmente representam paleocanais remanescentes (SILVA, 2015), identificado regionalmente como lagoas de fora e denominadas de lagoa de Fora e lagoa do Rodeio. Nestas, a redução na área superficial da lâmina d'água também é perceptível, evidenciando a redução na área das lagoas costeiras.

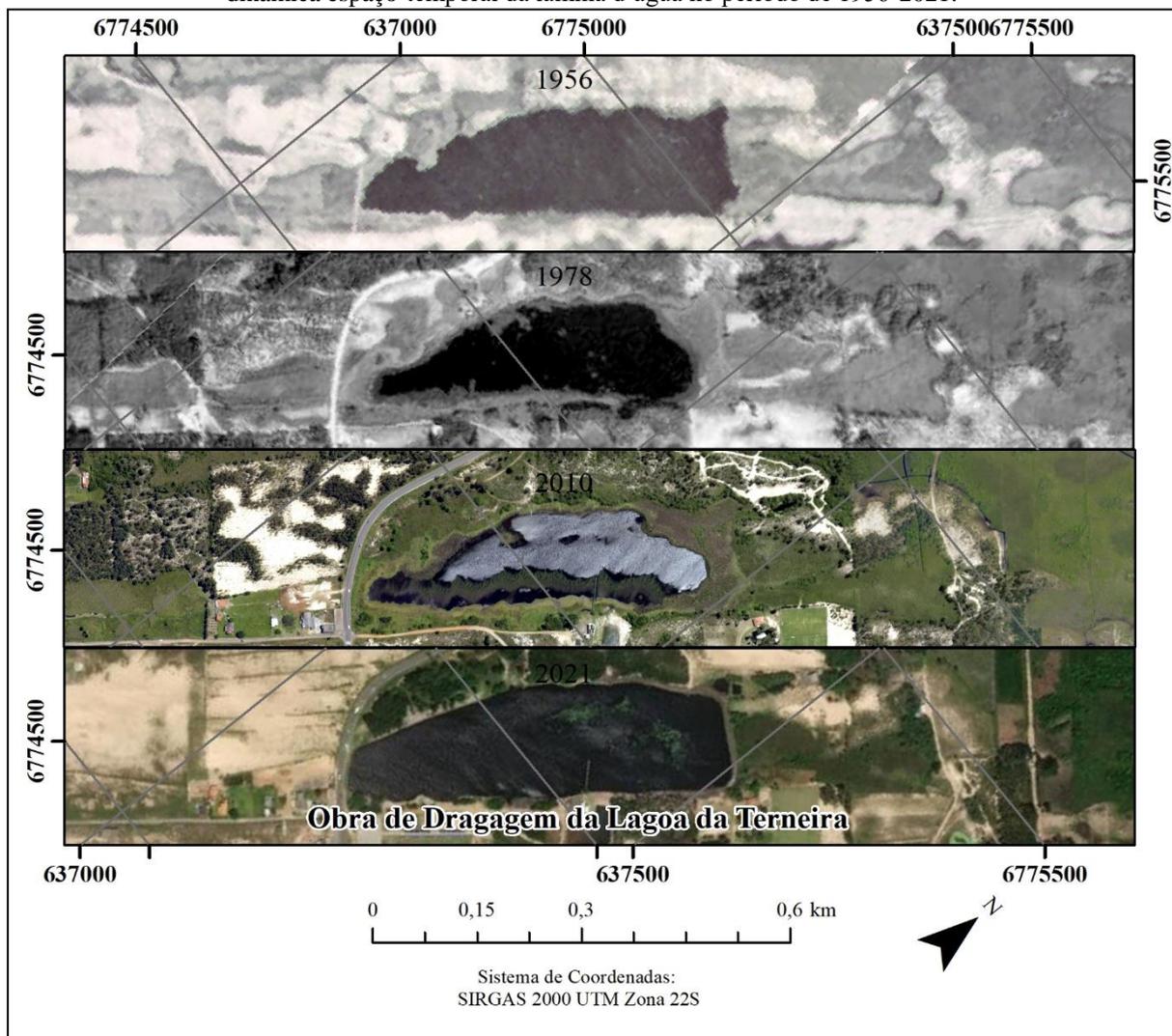
Figura 52 - Composição de imagens do conjunto de lagoas de fora (lagoa de Fora e lagoa do Rodeio) presente no território do município de Balneário Gaivota evidenciando a redução da lâmina d'água no período de 1956-2021.



Fonte: Própria autoria, 2022.

A Figura 53 apresenta a dinâmica espaço-temporal (1956-2021) da lagoa da Terneira, manancial utilizado para abastecimento público do município. Observa-se a mesma tendência registrada nas lagoas da região, no entanto, foi executado em 2019 uma dragagem para manutenção do leito regular da lagoa, sendo esta, um forte indicador de que os recursos de água doce estão com baixos índices de suporte.

Figura 53 - Composição de imagens da lagoa da Terneira, município de Balneário Gaivota evidenciando a dinâmica espaço-temporal da lâmina d'água no período de 1956-2021.



Fonte: Própria autoria, 2022.

Para melhor visualização do processo de deterioração da lagoa da Terneira, caracterizado pelo estágio de eutrofização, a Figura 54 ilustra a sua situação em outubro de 2018, pouco antes das obras de dragagem.

Figura 54 - Detalhe da degradação da lagoa da Terneira, evidenciada pela presença de macrófitas aquáticas, caracterizando o estágio de eutrofização em 2018, pouco antes das obras de dragagem no seu leito.



Fonte: GoogleEarth (2018).

Entre os prováveis problemas causadores da diminuição da lâmina d'água estão os processos antrópicos de retificação de canais para drenagem das áreas úmidas, sendo assim, a restituição fotogramétrica possibilitou quantificar as drenagens naturais, e drenagens artificiais e as canalizadas. Ao total são 432,41 km de rede de escoamento d'água (Tabela 8) entre naturais, antrópicas e canalizadas. Destas, às drenagens naturais, compostos principalmente por sangradouros, correspondem à 10,38% do total, possuindo 44,89 km de extensão. Os recursos hídricos antrópicos somam 87,95% da rede de escoamento superficial com extensão de 380,31km de canais, quase sempre, retilíneos.

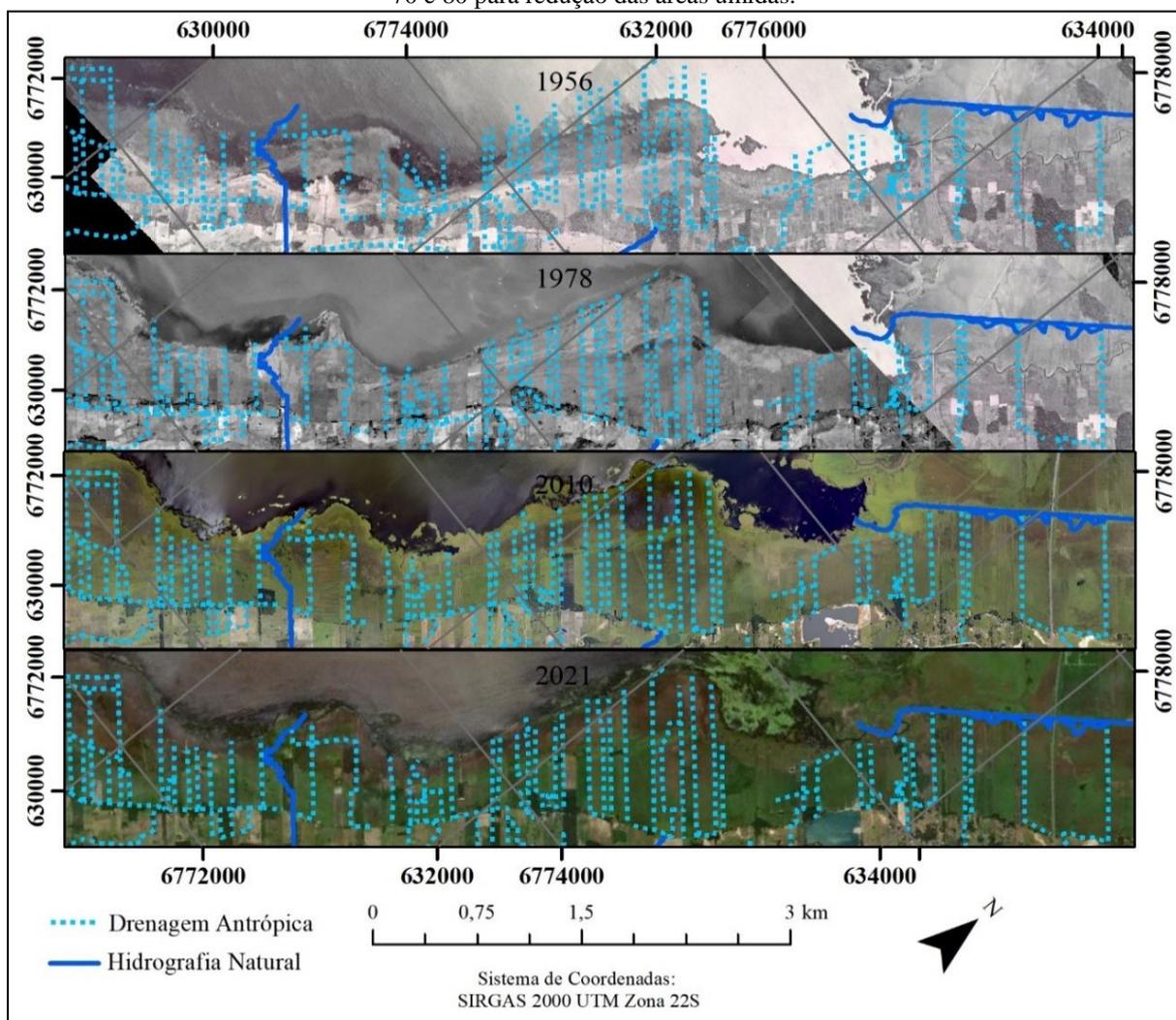
Tabela 8 - Extensão da rede hidrográfica pertencente ao Município de Balneário Gaivota.

<b>Classe</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Comprimento em (km)</b>	<b>(%)</b>
Drenagem Antrópica	386	380,31	87,95%
Drenagem Canalizada	121	7,21	1,67%
Drenagem Natural	90	44,89	10,38%
<b>Total</b>	<b>597</b>	<b>432,41</b>	<b>100,00%</b>

Fonte: Própria autoria, 2022.

A Figura 55 ilustra as drenagens artificiais introduzidas para o rebaixamento do nível d'água nas áreas úmidas, para utilização das terras aptas para agricultura. Se percebe na restituição realizada neste trabalho, tendo como fonte inicial os dados do SIGSC, que em 1956 não haviam retificações na rede hídrica, em 1978 haviam algumas e, em 2010 e 2021 observa-se grande quantidade de drenagens, sendo este número muito maior do que a condição natural.

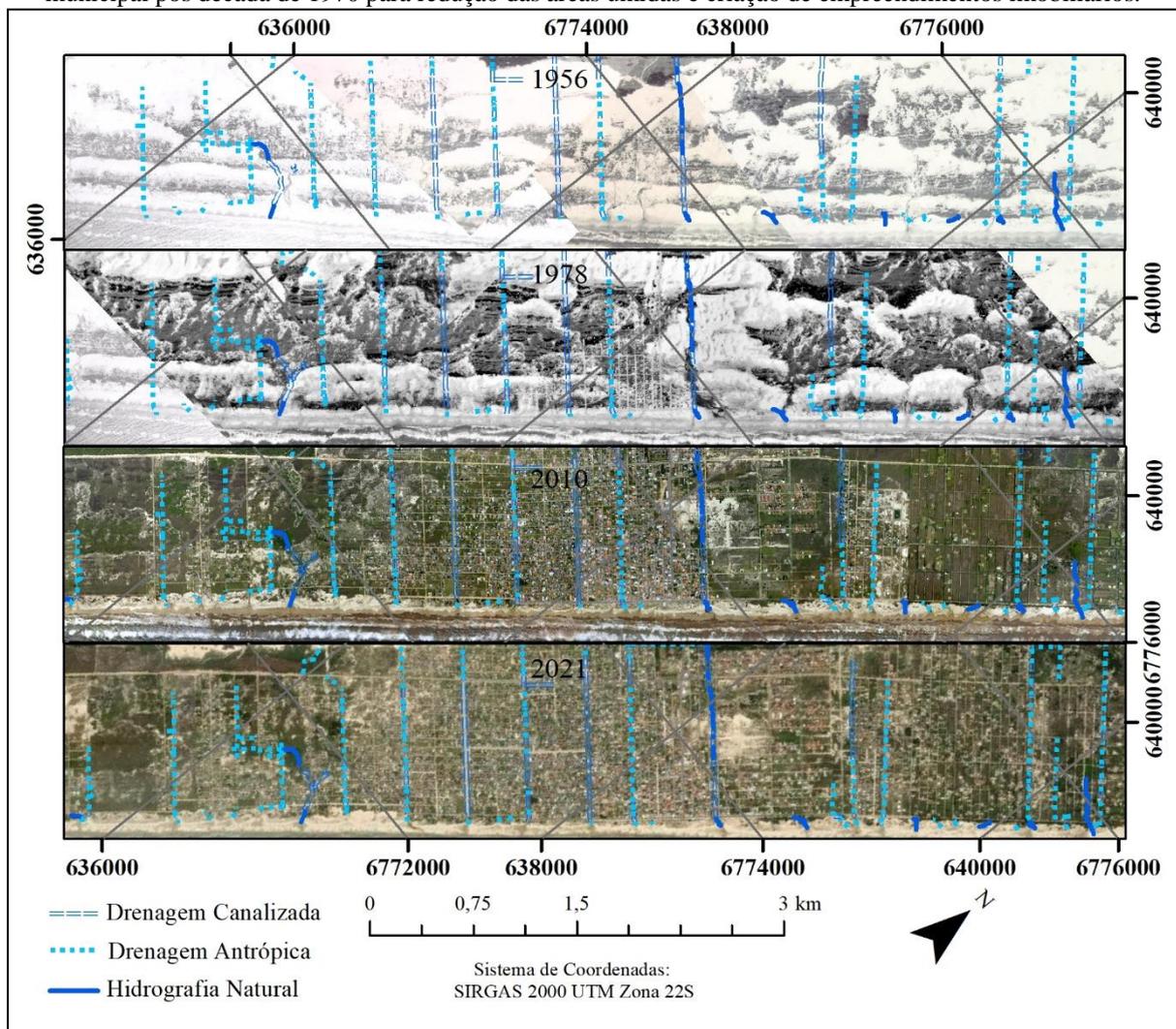
Figura 55 - Drenagens criadas mecanicamente no entorno das margens da Lagoa do Sombrio nas décadas de 60, 70 e 80 para redução das áreas úmidas.



Fonte: Própria autoria, 2022.

A Figura 56 apresenta as drenagens construídas na região central do município de Balneário Gaivota para reduzir as áreas úmidas e tornar o ambiente propício aos empreendimentos imobiliários.

Figura 56 - Drenagens construídas mecanicamente nas áreas de costa onde atualmente se encontra a sede municipal pós década de 1970 para redução das áreas úmidas e criação de empreendimentos imobiliários.



Fonte: Própria autoria, 2022.

#### 4.2.3 Vazão dos sangradouros

A Tabela 9 resume os dados obtidos nas campanhas de medição da vazão dos sangradouros realizadas em três épocas. Os pontos BG-14 e BG-22 apresentaram redução na vazão entre a primeira e a terceira amostragens (valores de  $270 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  e  $133,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , para o ponto BG-14 e  $72,00 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  e  $43,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  para o ponto BG-22, respectivamente). O ponto BG-17 mostrou ligeiro aumento na vazão entre as amostragens, correspondentes à  $442,80 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  na primeira e  $475,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  na segunda, enquanto que no ponto BG-23 foi medido apenas na terceira campanha e evidenciando vazão de  $118,80 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ .

Tabela 9 - Vazão ( $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ ) dos sangradouros do território do município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina, medida no período de 16 de dezembro de 2020 a fevereiro de 2021.

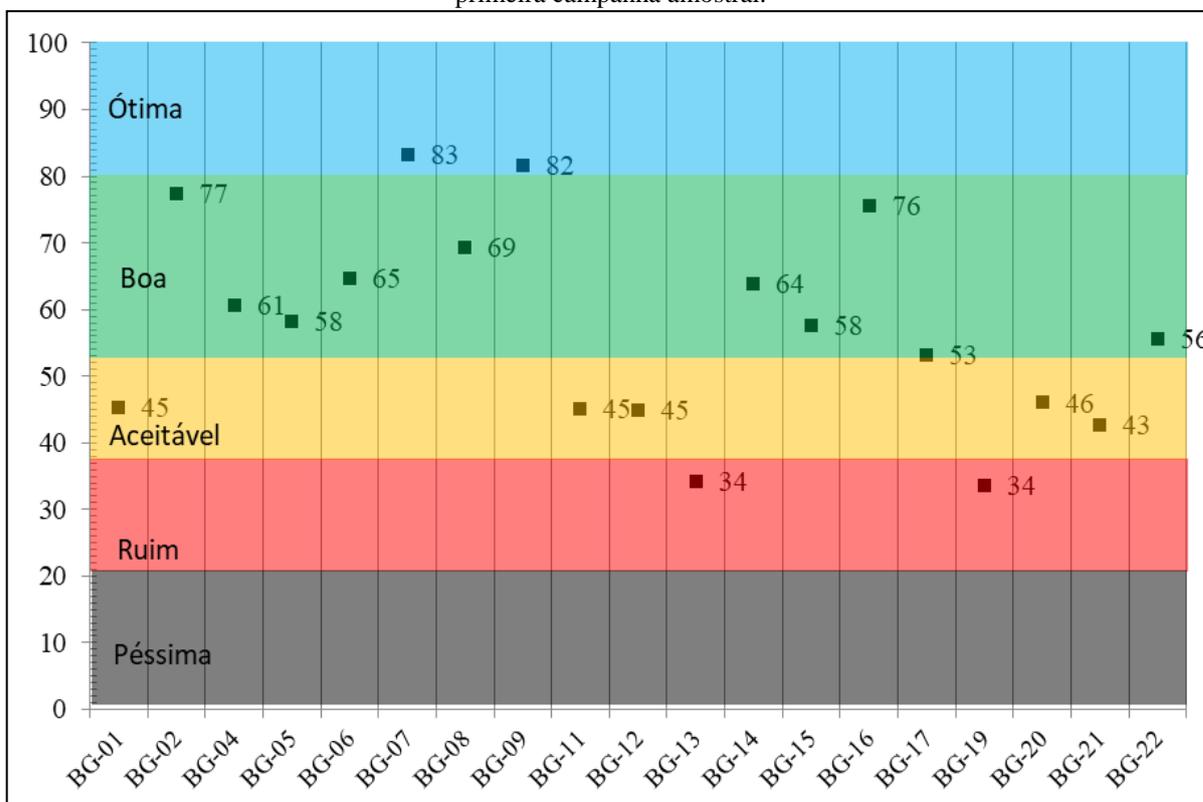
Pontos de Medição	Amostragens		
	16/12/2020	18/02/2021	22/02/2021
BG-14	270		133,2
BG-17	442,8	475,2	
BG-22	72		43,2
BG-23			118,8

Fonte: Própria autoria, 2021.

#### 4.2.4 Qualidade da água superficial

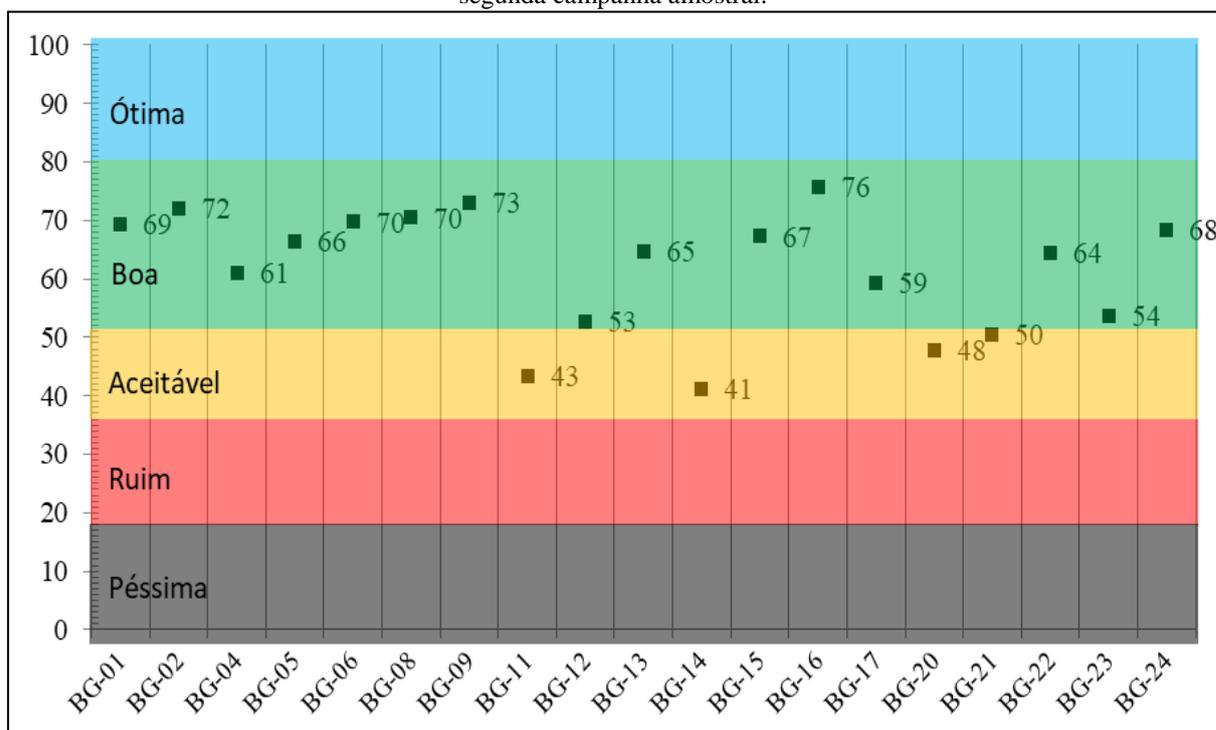
O índice de qualidade da água (IQA) superficial para a primeira campanha é apresentada na Figura 57, enquanto que para a segunda é apresentado na Figura 58.

Figura 57- Índice de qualidade da água (IQA) no município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina para a primeira campanha amostral.



Fonte: Própria autoria, 2021.

Figura 58 - Índice de qualidade da água (IQA) no município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina para a segunda campanha amostral.



Fonte: Própria autoria, 2021.

O índice do estado trófico (IET) está apresentado na Tabela 10 indicando presença de fósforo na primeira campanha apenas no ponto BG-15. Na segunda campanha todos pontos apresentaram presença de fósforo total.

Tabela 10 - Índice de estado Trófico das lagoas monitoradas no território do município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina, no ano de 2021.

Campanha	BG-02	BG-06	BG-08	BG-09	BG-15
1 <sup>a</sup>	*	*	*	*	52,62
2 <sup>a</sup>	55,07	65,93	58,17	62,37	55,07

\* Não identificado presença de fósforo total na amostra.

Fonte: Própria autoria, 2021.

#### 4.2.5 Morfometria e morfologia da lagoa da Terneira

Os parâmetros morfométricos da lagoa da Terneira são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Parâmetros morfométricos diretos da lagoa da Terneira, município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina.

Descrição	Unidade	Valor
Área	A (m <sup>2</sup> )	73.652,57
Perímetro	P (m)	1.319,97
Profundidade máxima	Z <sub>máx</sub> (m)	2,43
Comprimento	L (m)	545,74
Largura	W (m)	164,85
Volume	V (m <sup>3</sup> )	98.890,44

Fonte: Própria autoria, 2022.

Para determinação dos parâmetros indiretos foram necessários os parâmetros diretos, e o seu desenvolvimento é ilustrado na Tabela 12.

Tabela 12 - Parâmetros morfométricos indiretos da lagoa da Terneira, município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina.

Descrição		Valor
Profundidade média	Z <sub>ave</sub> (m)	1,34
Razão de Profundidade média e máxima	Z <sub>ave</sub> /Z <sub>máx</sub> (m)	0,55
Profundidade relativa	Z <sub>rel</sub> (%)	0,79
Desenvolvimento do Volume	D <sub>v</sub>	1,66
Desenvolvimento do Perímetro	D <sub>p</sub>	1,37

Fonte: Própria autoria, 2022.

#### 4.2.6 Recarga hídrica seepage meter (+DAS e -INF)

O Tx amostrado nos três pontos representam DAS positiva, ou seja, há advecção na lagoa da Terneira com taxa média de 3,15 cm dia<sup>-1</sup> representando um total de 847.282,55 m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>, ou 2.353,56 m<sup>3</sup> de águas que advectam do sistema aquífero para a lagoa.

#### 4.2.7 Balanço hídrico

O balanço hídrico da lagoa foi realizado considerando os seguintes dados: i) TRIB+ que representa os tributários que acrescentam água no sistema, resultado do bombeamento de 120 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, que funciona aproximadamente 75% do tempo de abastecimento, representando volume de +788.400,00 m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>; ii) a PREC+ foi medida por meio da chuva média histórica

da estação de sombrio, com chuva anual de 1.560,60 mm ano<sup>-1</sup> entre 1976 a 2019, representando uma taxa pluviométrica sobre a lagoa de 114.942,20 m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>; iii) a DAS+ foi estimada pelo método *Seepage meter* e representa a contribuição de advecção de 847.282,55 m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>; iv) a EVAP- foi estabelecida por meio do *software* HidroClimaSC Versão 1.0 com taxas média anual de 2,47 mm dia<sup>-1</sup>, sendo assim, a evapotranspiração é responsável por perda de 66.401,47 m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup> de água e; v) o USO-, o qual foi obtido pela vazão de consumo da população fixa e total (fixa mais flutuante). Com base nos dados destas variáveis, a Tabela 13 apresenta as informações do balanço hídrico para população fixa e a Tabela 14 população total (fixa mais flutuante) para as datas de 2021, 2030, 2040 e 2050.

Tabela 13 - Balanço hídrico da Lagoa da Terneira para população fixa para os anos de 2021, 2030, 2040 e 2050 em (m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>).

	<b>TRIB</b>	<b>PREC</b>	<b>DAS</b>	<b>EVAP</b>	<b>USO</b>	<b>Σ</b>
<b>2021</b>	788.400	114.942,20	847.282,55	66.401,47	727.857,45	956.365,83
<b>2030</b>	788.400	114.942,20	847.282,55	66.401,47	1.201.215,00	483.008,28
<b>2040</b>	788.400	114.942,20	847.282,55	66.401,47	1.864.420,00	-180.196,72
<b>2050</b>	788.400	114.942,20	847.282,55	66.401,47	2.894.085,00	-1.209.861,72

Fonte: Própria autoria, 2022.

O balanço hídrico apresenta valores positivos para população fixa no ano de 2021, representando uma sustentabilidade entre consumo e disponibilidade, o valor positivo para o balanço é de 956.365,83 m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup> (2.620,18 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>). Em 2030 o valor de disponibilidade de água poderá ser de 483.008,28 m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup> (1.323,31 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>), também apontando para um balanço positivo. De outra forma, em 2040 o balanço hídrico é deficitário, chegando à -180.196,72 m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup> (-493,69 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>) e por fim, em 2050 o balanço hídrico aponta para a possibilidade falta de 1.209.861,72 m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup> (-3.314,69 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>) de água doce.

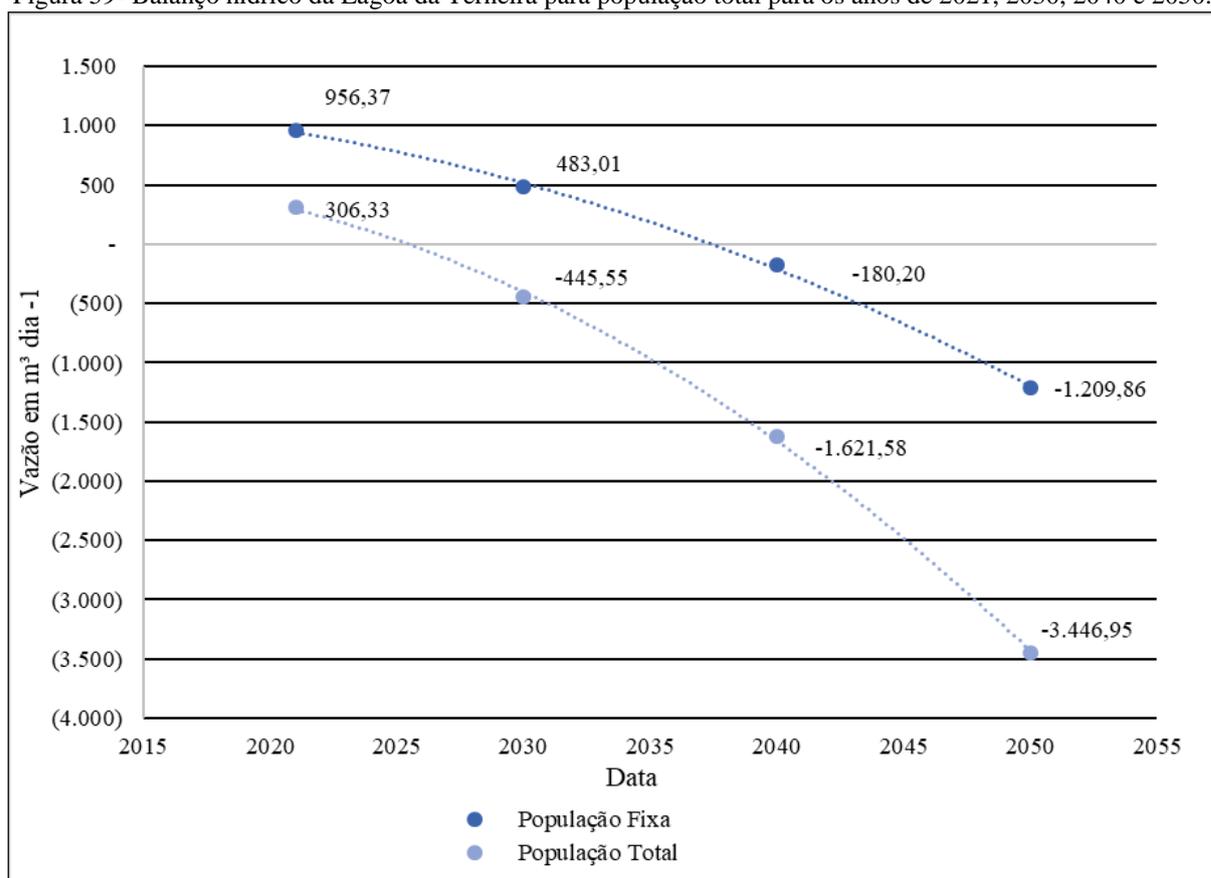
Tabela 14 - Balanço hídrico da Lagoa da Terneira para população total para os anos de 2021, 2030, 2040 e 2050 em (m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>).

	<b>TRIB</b>	<b>PREC</b>	<b>DAS</b>	<b>EVAP</b>	<b>USO</b>	<b>Σ</b>
2021	788.400	114.942,20	847.282,55	66.401,47	1.377.896,90	306.326,38
2030	788.400	114.942,20	847.282,55	66.401,47	2.129.775,00	-445.551,72
2040	788.400	114.942,20	847.282,55	66.401,47	3.305.805,00	-1.621.581,72
2050	788.400	114.942,20	847.282,55	66.401,47	5.131.170,00	-3.446.946,72

Fonte: Própria autoria, 2022.

O balanço hídrico para o consumo estimando a permanência da população total (fixa mais flutuante) é ainda mais crítico. Se o pico de consumo, que acontece no período de verão e férias escolares, fosse mantido para todo o ano, o balanço seria positivo apenas para 2021 com recurso lagunar positivo de  $306.326,38 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$  ( $-839,25 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ ). Em 2030 seguindo o crescimento populacional e conseqüentemente o aumento na demanda de recursos hídricos o resultado passa a ser negativo para o balanço hídrico anual podendo representar  $-445.551,72 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$  ( $-1.220,69 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ ) e em 2040 este valor tende a um déficit na capacidade de abastecimento da lagoa de  $-1.621.581,72 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$  ( $-4.442,69 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ ). O ápice da insustentabilidade será no ano de 2050, com a população total consumindo o recurso lagunar na ordem de  $-3.446.946,72 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$  ( $-9.443,69 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ ). A Figura 59 ilustra o gráfico com as tendências para o balanço hídrico em 2021, 2030, 2040 e 2050.

Figura 59- Balanço hídrico da Lagoa da Terneira para população total para os anos de 2021, 2030, 2040 e 2050.

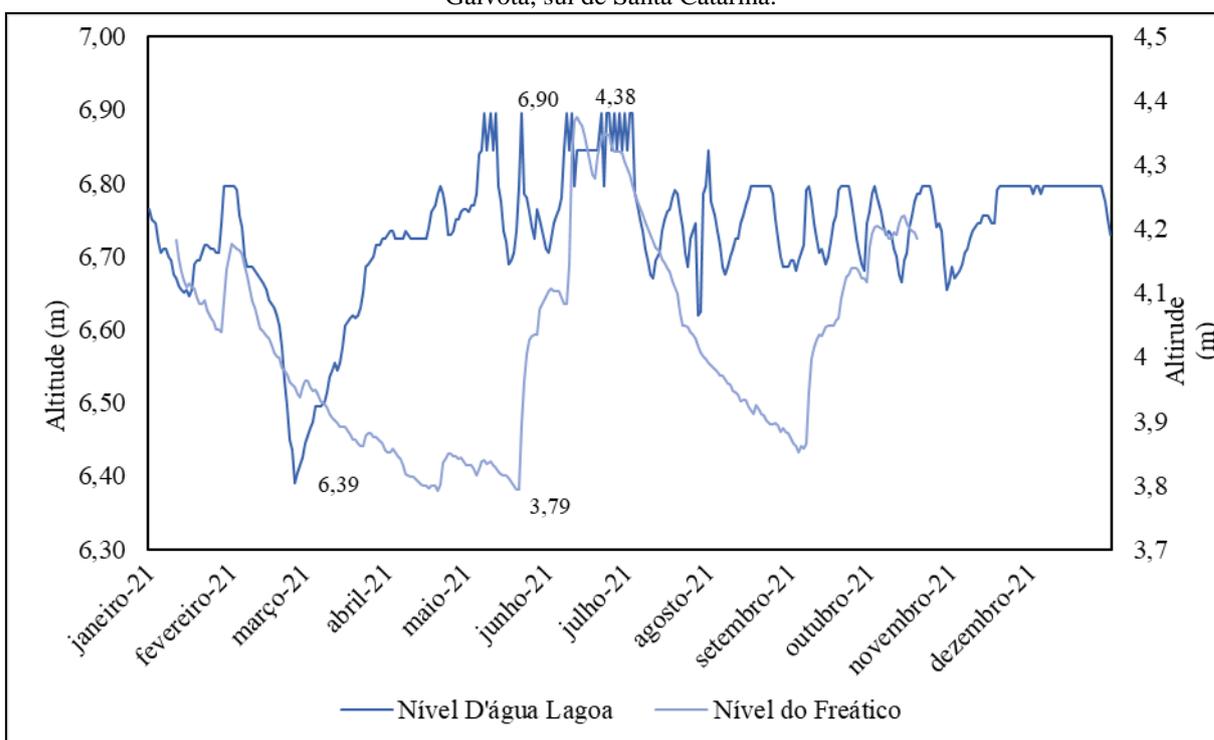


Fonte: Própria autoria, 2022.

Os dados de nível medidos na lagoa da Terneira em 2021 demonstram um nível médio de 6,73 m de altitude ortométrica, com altitude máxima de 6,90 m e mínima de 6,39 m, uma diferença entre os níveis máximos de 0,51 m. A relação da diferença entre o nível médio é de -

0,34 m e +0,16. A relação da diferença entre o nível médio da lagoa (6,39 m) reduzindo (-0,34m). Os dados do ano de 2021 para a estação do RIMAS, indicam que o nível médio do freático é de 4,38 m. A máxima obtida foi de 4,38 m e a mínima altitude foi de 3,79 m, resultando em uma variação máxima de 0,58 m no nível medido. A Figura 60 ilustra a relação do nível da lagoa com a variação de nível do freático.

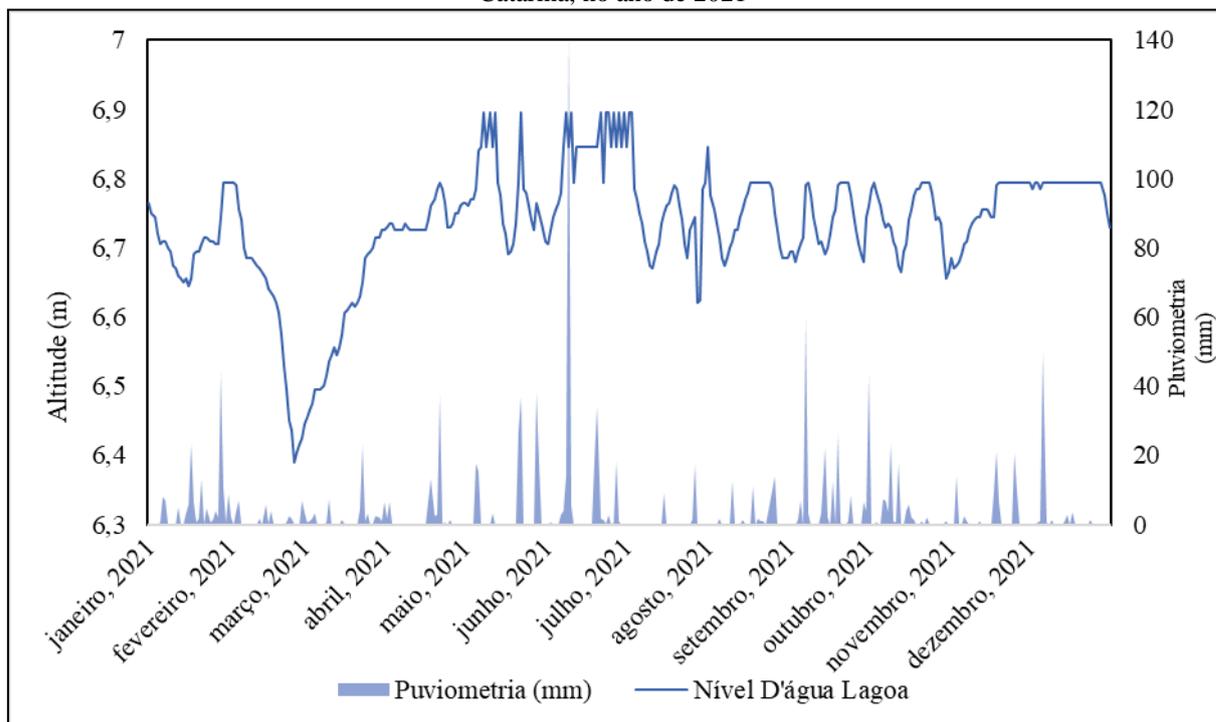
Figura 60- Nível do lençol freático e da lagoa da Terneira medidos no ano de 2021, município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina.



Fonte: Própria autoria, 2022.

Os dados pluviométricos extraídos para o ano de 2021 resultam em  $1.233,6 \text{ mm ano}^{-1}$  medidos e a relação entre pluviometria e nível da lagoa da Terneira é apresentada na Figura 61.

Figura 61 - Nível da lagoa da Terneira e pluviometria medidos no município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina, no ano de 2021



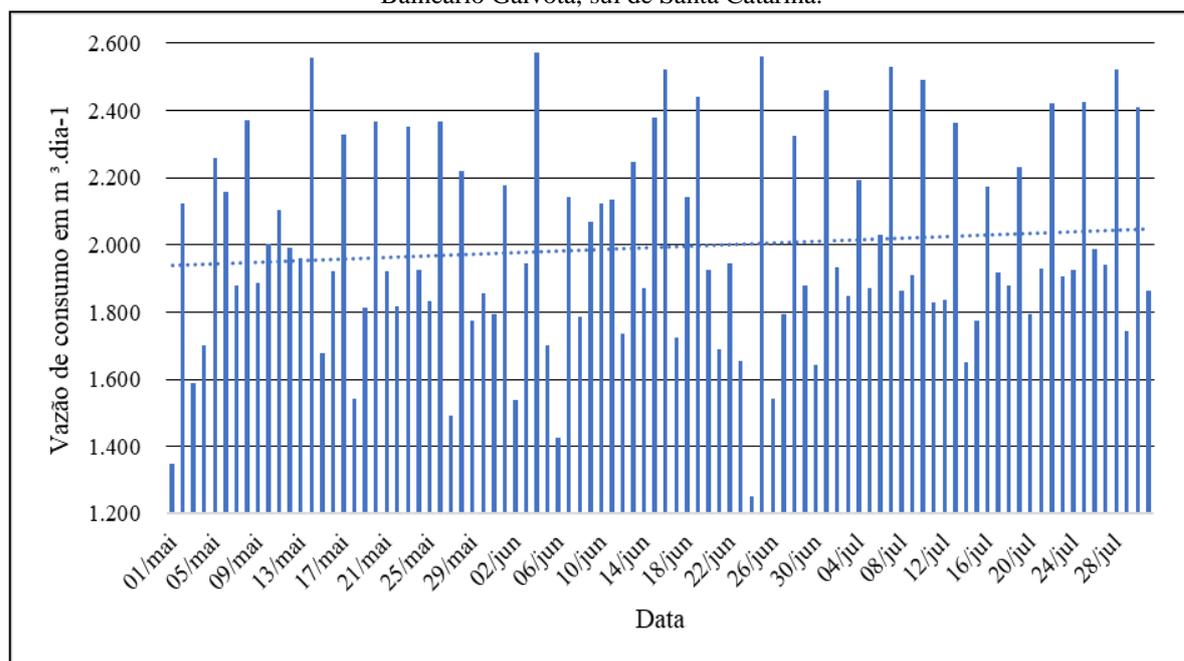
Fonte: Própria autoria, 2022.

### 4.3 SUSTENTABILIDADE E DISPONIBILIDADE HÍDRICA PARA CONSUMO HUMANO

#### 4.3.1 Projeção de consumo hídrico para 2030, 2040, 2050

Os dados médios de consumo hídrico para os meses de maio junho e julho de 2022 foram de  $1.994,13 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ . Este dado representa o consumo diário da população fixa do município, pois avalia o período do ano com menor taxa de população flutuante. A amplitude de variação no consumo medido foi de  $1.251,00 - 2.124,00 \pm 304,41 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ . A Figura 62 ilustra a variação nas vazões diárias de consumo hídrico entre os meses de maio a julho de 2022.

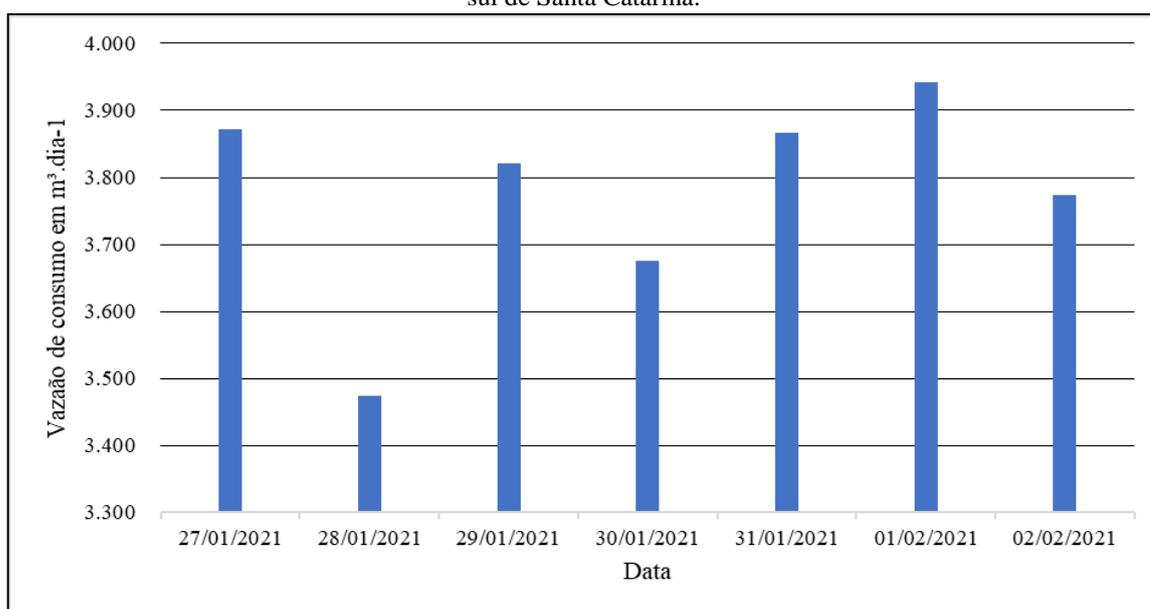
Figura 62 - Vazões diárias de consumo hídrico, entre os meses de maio a julho de 2022, no município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina.



Fonte: Própria autoria, 2022.

O consumo atual medido em 2021 no período de pico, ou seja, entre os dias 27/01 a 02/02 estão apresentados abaixo na Figura 63. A média de consumo máximo de verão foi de  $3.775,06 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$  possuindo um pico máximo de  $3.941,90 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ . Estes dados representam o consumo da população total no município a fixa mais a flutuante.

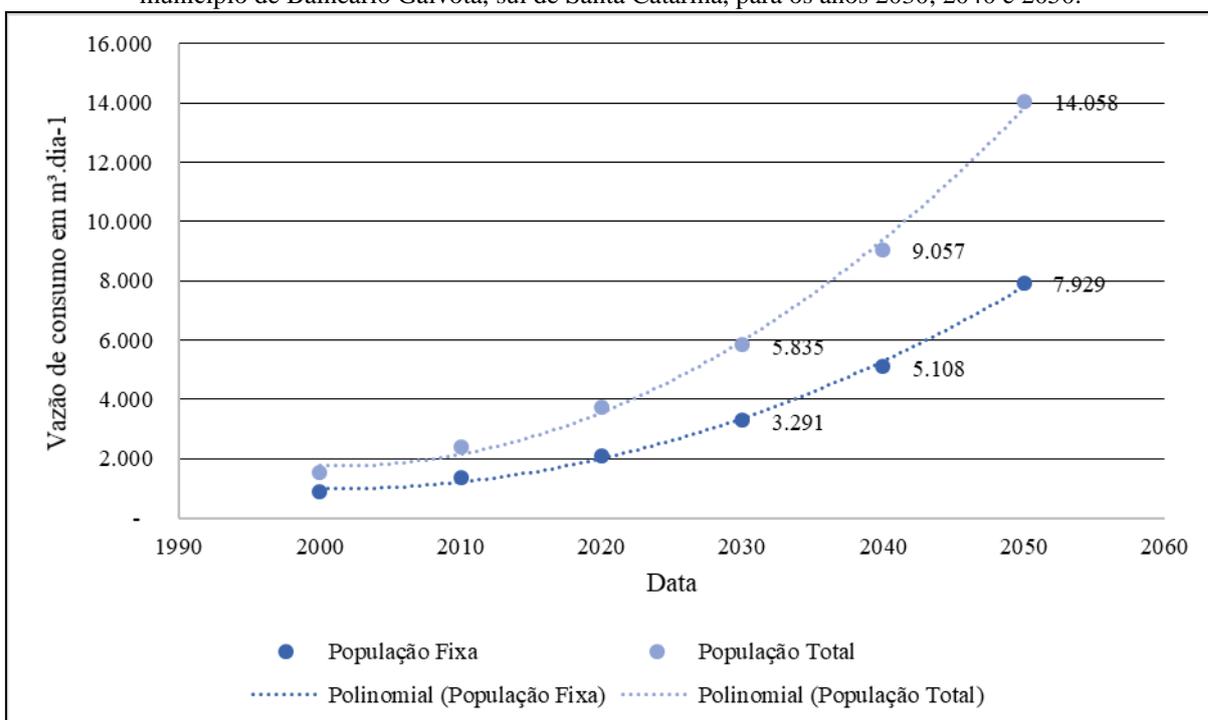
Figura 63 - Consumo hídrico registrado entre os dias de 27/01 a 02/02/2022, no município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina.



Fonte: Própria autoria, 2022.

Para o ano de 2030 a população fixa irá consumir  $3.291 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$  de água em 2040 o consumo será de  $5.108 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$  e em 2050 este valor será de  $7.929 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ . Ainda mais preocupante são os dados de consumo da população total, que em 2030 poderá chegar à  $5.835 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$  em 2040 este valor passa para  $9.057 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$  e em 2050 o pico máximo de consumo deste estudo que é a vazão diária para consumo de  $14.058 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ . A Figura 64 ilustra a progressão de vazão hídrica necessária para o abastecimento humano.

Figura 64 - Progressão de vazão hídrica necessária para o abastecimento da população humana total do município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina, para os anos 2030, 2040 e 2050.



Fonte: Própria autoria, 2022.

#### 4.3.2 Projeção de disponibilidade hídrica para 2030, 2040, 2050

De fato, as lagoas costeiras que representam a reserva hídrica natural e superficial estão reduzindo drasticamente (31,81%) em 41 anos. Aplicando a equação proposta na Tabela 15, observa-se que em 2030 estes recursos representarão  $12,18 \text{ km}^2$ , 36,80% menos área do que em 1980, já em 2040 esta área poderá ser reduzida em  $10,90 \text{ km}^2$ , representando um decréscimo de 43,41% da sua área original e em 2050 os recursos hídricos superficiais representarão apenas  $9,63 \text{ km}^2$  ou seja, mais da metade das áreas das lagoas poderão deixar de existir, redução esta que representa cerca de 50,03% da área original (1980).

Tabela 15 - Tendência à redução na área da superfície das lagoas costeiras inseridas no Município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina.

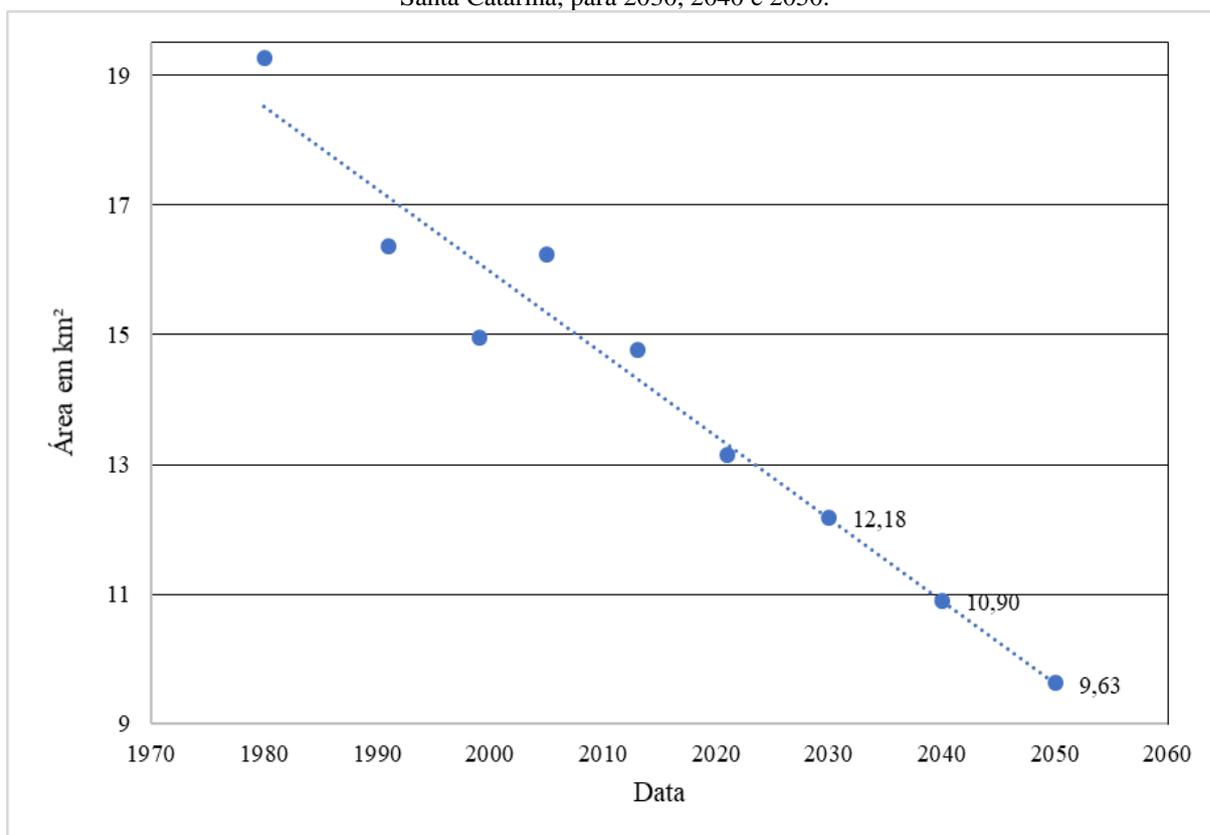
MÉTODO	Equação	R <sup>2</sup>
<i>MNDWI</i>	$y = -0,1274x + 270,8$	0,8378

Fonte: Própria autoria, 2022.

Os valores de profundidade média para o cálculo do volume foi estimado pela profundidade média da batimetria da lagoa da Terneira, que está em consonância com os estudos de Schwarzbald e Schäfer (1984), Schäfer *et al.*, (2014) e, Marchett (2017) que definem as lagoas costeiras, em sua maioria, de morfologia rasa (menores que 2 metros). Sendo assim, multiplicando a área das projeções pela  $Z_{ave}$  (m) se chegou a estimativa de disponibilidade hídrica para consumo. Atualmente este recurso dispõe de 17.607.600 m<sup>3</sup> de água superficial, em 2030 serão 16.318.520 m<sup>3</sup> em 2040 o volume será de 14.611.630 m<sup>3</sup> podendo restar em 2050 um volume de reserva de 12.904.200 m<sup>3</sup>. Nesta estimativa, estão inseridas, além das lagoas menores que são responsáveis atualmente pela disponibilidade hídrica, como também as partes das lagoas do Sombrio e Lagoa do Caverá inseridas na área de estudo.

O atual reservatório de abastecimento municipal possui 73.652,57 m<sup>2</sup> (7,36 ha) e uma capacidade de reserva de 98.890,44 m<sup>3</sup> cerca de (0,77%) da área total de reserva superficial apresentado para 2021. A Figura 65 apresenta a projeção de redução da superfície das lagoas costeiras para 2030, 2040 e 2050.

Figura 65 - Projeção de redução da superfície das lagoas costeiras do município de Balneário Gaivota, sul de Santa Catarina, para 2030, 2040 e 2050.



Fonte: Própria autoria, 2022.

## 5 DISCUSSÃO

### 5.1 OCUPAÇÃO HUMANA HISTÓRICA DA REGIÃO COSTEIRA SUL CATARINENSE

No Brasil a falta de projetos e de metodologias adequadas para o gerenciamento costeiro evidenciam a necessidade premente de pesquisas, com o objetivo de levantar dados e permitir o diagnóstico e monitoramento da zona costeira-marinha (LADWIG *et al.*, 2021). A Zona Costeira (ZC) é uma das áreas que se encontra sob elevado estresse ambiental, devido à excessiva exploração de seus recursos naturais e uso desordenado do solo (GRUBER *et al.*, 2003). As áreas costeiras da região Sul do Brasil apresentam grande crescimento populacional, causando impactos aos ecossistemas costeiros e marinhos. Os impactos causados pelo modelo de desenvolvimento das cidades costeiras tem grande importância para o gerenciamento dessas regiões e estima-se que 26% da ocupação urbana do estado de Santa Catarina esteja em ambientes costeiros, o que representa 2% da área do estado (ANDRÉS *et al.*, 2018).

Os dados regionais de crescimento das áreas com presença de infraestrutura urbana inseridas na PCRS e PCSC (até o Cabo de Santa Marta) apresentam um acentuado avanço, com aumento em área de 157,37 km<sup>2</sup> em 1985 para 317,59 km<sup>2</sup> em 2019. É preocupante que em 35 anos as áreas ocupadas por processos antrópicos aumentaram na ordem de 101,81%. A curva de tendência que melhor se desenvolveu nos 35 anos estudados foi a polinomial, demonstrando um decréscimo gradativo nas áreas ao longo dos anos (Figura 21). Em 2019 a classe de infraestrutura urbana representava 7,78% de toda a PCRS e PCSC (até o cabo de Santa Marta) estudado.

A nível local Santa Catarina (2013) discorre sobre pressão demográfica que intensifica a exploração dos recursos naturais do extremo sul catarinense, remetendo ao cenário de conflitos de uso das faixas terrestres e marítima, comprometendo a sustentabilidade dos recursos naturais, culturais e sociais, comprometendo a qualidade de vida e qualidade ambiental. O autor *op. cit.*, comenta que os panoramas futuros são preocupantes pois o desenvolvimento das regiões costeiras são fruto de um desenvolvimento pouco ou nada planejado. Para melhor entender este processo que se buscou entender o processo de ocupação do território municipal estudado.

### 5.1.1 Ocupação, expansão e densidade de ocupação do território do município de Balneário Gaivota

Historicamente o desenvolvimento das cidades costeiras no sul do Brasil e consequentemente a fixação humana, sempre estiveram diretamente interligadas com os recursos hídricos e no Sul Catarinense aconteceu da mesma forma (SILVEIRA, 2020). A colonização europeia da região litorânea sul catarinense marca o processo atual de ocupação e de antropização, mais especificamente, em 1801 com o Tratado de Badajoz fica registrado o domínio português sobre a região criando um processo de interesse na ocupação do sul de Laguna (LOPES, 2011). As margens lagunares da região de Sombrio, começou a se desenvolver em pequenas localidades pois era caminho para escoamento de produção para as capitais (HOLANDA, 1994).

A ocupação da região de Balneário Gaivota acontece em quatro principais períodos (LOPES *et al.*, 2016). Até 1920, praticamente não havia habitação, as terras pertenciam a fazendas e estâncias que faziam confrontação ao leste com Oceano Atlântico e fundos ao oeste com a lagoa do Sombrio (BITENCOURT *et al.*, 2011). Em um segundo momento, entre 1920-1950 por se localizar no litoral, os habitantes da então Paróquia de Sombrio, instalada em 1938 (SILVEIRA, 2020), começaram a perceber o potencial para pesca e lazer das terras próximas ao mar e assim, em meados de 1920, Balneário Gaivota ganha sua primeira comunidade de pescadores composta por algumas famílias de pescadores que se fixaram no litoral, a exemplo da família do senhor Gildo, que se fixou no litoral em 1920 dando nome ao então Arroio do Gildo (PEREIRA, 2003). De acordo com Cohenca *et al.* (2017):

Até a primeira metade do século XX, as pequenas propriedades rurais abrangiam a faixa que vai da Lagoa do Sombrio ao mar. Só havia acesso por estradas de carro de boi. Os terrenos litorâneos, encharcados ou cobertos de dunas, tinham pouca serventia, eram de difícil acesso e, na percepção da época, muito distantes. Os campos de dunas somente serviam para a pastagem do gado que ficava solto em época de alagamento, mas foi relatado que algumas cabeças de gado atolavam nos banhados e acabavam por perecer.

O período entre 1950-1980 foi marcado pela expansão territorial de loteamentos, que se fizeram em todo o território do município, sendo que o processo de urbanização do ambiente costeiro desde a década de 1960 (MORAES, 2008; BERTOLO *et al.*, 2012). Este período marca um dos problemas socioambientais que se desenvolveu por meio da pressão antrópica e proliferação das ocupações irregulares, que permanecem até os dias atuais, pois, sem critérios

ambientais e por vezes, sem nem se saber onde exatamente as glebas se encontravam, foram criados loteamentos que permanecem até a atualidade, muitos em áreas de preservação permanente (APPs), este período também marca a intensificação da criação de drenagens antrópicas e retificações dos canais existentes, atualmente existem 380,31 km de drenagens que representam 87,95% da hidrografia municipal, criadas de forma antrópica para drenar os ambiente úmidos. Na zona rural este período foi marcado pela presença das pequenas propriedades, haja visto as divisões de glebas por herança ao longo dos anos. Essa região, é marcada por moradores fixos, que usam a terra para subsistência, principalmente agrícola e pecuária (COHENCA *et al.*, 2017). Os estudos corroboram a existência apenas de 92 residências localizadas na imagem aérea 1956 em comparação com as 821 moradias encontradas em 1978, um acréscimo de 892% em 22 anos.

O período de 1978 é marcado pela expansão imobiliária nos Balneários (MORAES, 2008; BITENCOURT *et al.*, 2011; BERTOLO *et al.*, 2012) (Figura 23B). Ainda, neste período, observa-se o aumento do crescimento nas zonas interioranas (rurais) (Figura 23A) impulsionado pelas práticas agrícolas, marcado pela ocorrência de pequenas propriedades rurais que circundam os corpos lagunares para obtenção de recursos, principalmente pescados e água (LOPES, 2011; COHENCA *et al.*, 2017).

O período de 1980 até os dias atuais é marcado pela migração da população humana das cidades limítrofes e da região interiorana do extremo sul catarinense para as cidades litorâneas em busca de melhor qualidade de vida, migração que se acentua na época de veraneio. Com o crescimento populacional ocasionado pelo sonho de morar no litoral, tamanha tem sido a degradação do território natural, onde, pela pressão ocasionada principalmente pela especulação imobiliária e por plantações de *Pinus* spp. e *Eucalyptus* spp., bem como, pela pecuária, o ambiente costeiro está sendo degradado (COHENCA *et al.*, 2017; BITENCOURT *et al.*, 2011). Nas últimas três décadas esse crescimento vem se intensificando ainda mais (MORAES, 2008; BERTOLO *et al.*, 2012).

No período de 1978 a 2010 o número de edificações passou de 821 para 3.910 residências, uma taxa de crescimento de 376% (Figura 24B) e entre 2010 a 2020 houve um aumento de 98% no número de novas edificações (Figura 24A), sendo que, atualmente há no município 7.755 residências. Dados de áreas de intensidade de números de edificações também surpreendem, as áreas altamente edificadas tiveram uma progressão de 103,83% e classe de média a alta intensidade um aumento de 92%. Estas duas áreas cresceram no sentido SW-NE que é o sentido da costa, o sentido SE-NW fica condicionado aos limites naturais existentes,

constituídos principalmente de áreas alagadas onde se encontram as fontes atuais de recursos hídricos disponíveis para o consumo.

No município há 50.641 unidades cadastradas no sistema de IPTU, entre lotes baldios e edificados e os pedidos de novas construções também vem crescendo de forma exponencial. Somente no ano de 2021 foram computados pelo município 558 pedidos de construção de um total de 5.649 alvarás emitidos historicamente. Os dados do Número de Unidades Consumidoras de Energia Elétrica (NUCE) apresentam crescimento de 1997 a 2021, portanto 24 anos de 311% chegando atualmente à 11.535 ligações. A estimativa do IBGE é de que em 2021 a população humana do município seja de 11.537 habitantes, número que pode ser ainda maior, conforme dados supra apresentados.

### **5.1.2 Área Urbana Consolidada 2021**

A área do estudo, composta pela unidade municipal, ocupa 145,71 km<sup>2</sup> e destes, 51,07 km<sup>2</sup> ou seja 35% representam o perímetro urbano municipal aprovado pela Lei Municipal nº 10.52/2020 (BALNEÁRIO GAIVOTA, 2020). No Município, são disponibilizados serviços públicos de coleta de lixo e distribuição de energia elétrica em 18,91 km<sup>2</sup> correspondendo a 13 % da sua área total. A área das estradas, correspondem a 8,53 km<sup>2</sup> (5,8%) ou uma extensão de 396,12 km. A rede de distribuição de água municipal está disposta em 199,62 km de extensão, representando uma área municipal de 7,94 km<sup>2</sup>, 5,4% da área de estudo (Figura 27). Dentre as áreas de média a alta intensidade de residências somam-se 11,96 km<sup>2</sup> número inferior ao disposto em rede.

Dentre os serviços públicos necessários para o desenvolvimento de uma (AUC) a rede de distribuição de água é a que tem menor representatividade em extensão, ou seja, grande parte da população ainda não recebe água tratada em suas residências, reforçando a forma de abastecimento por ponteiros apontado por Troian *et al.*, (2017). Os dados socioambientais reforçam esta informação, quando perguntado, aos entrevistados qual o sistema de distribuição de água eles usavam, a resposta foi de que poços ou ponteiros representam 48,88% dos casos, e com água tratada e disponível por rede 46,38% (Figura 37).

### **5.1.3 Caracterização socioambiental (2021)**

A caracterização socioambiental buscou identificar a percepção da população quando ao seu direito, assegurado pela constituição do Brasil, de acesso ao meio ambiente

ecologicamente equilibrado, saudável e livre de poluição, garantindo um ambiente sustentável para as futuras gerações (IPAT, 2021). A caracterização socioambiental fornece subsídio para a gestão territorial, e para este estudo teve grande importância pois cerca de 18,70% das pessoas entrevistadas moram a uma quadra e 22,94% entre duas a três quadras, ou menos da praia. Estes 41,64% embasam a busca por qualidade de vida próximo ao mar citados nos estudos de Lopes *et al.*, (2018) Polette *et al.*, (2022). Dentre os recursos naturais mais visitados para recreação as praias com 90,02% da preferência da população, está em primeiro lugar, seguido das lagoas costeiras, dentre elas, a lagoa Cortada (54,11%), a lagoa de Fora (25,19%), Sombrio (7,23%), Rodeio (4,74%) e, a lagoa da Terneira (3,74%). Ainda, as práticas mais comuns na utilização destes recursos são tomar banho (43,89%) pescar (13,97%) e praticar esportes aquáticos (10,22%). Estes dados são complementados pelos estudos de Lanzer *et al.*, (2013) que reforçam que os recursos hídricos como as lagoas tem grande impacto no desenvolvimento turístico e de lazer. Bitencourt e Rocha (2014) assinalam em seu estudo que no que se refere à importância, o sistema lagunar holocênico destaca-se como um ambiente de grande relevância socioambiental, pois, as interligações que se fazem no sentido NE-SW funcionam como criadouros de espécies marinhas, como fontes de recursos alimentares e como sítios de repouso e alimentação durante os deslocamentos de espécies migratórias (JUST *et al.*, 2018).

Quanto a saúde da lagoa quanti e qualitativamente, alguns entrevistados entendem que os recursos de água doce do município não estão livres de esgoto (50%) e 40% acreditam que os córregos e lagoas tiveram uma piora na sua qualidade, porém 61,1% da população acreditam que estes recursos possuem condições de uso. Os dados de IQA levantados indicam uma boa qualidade dos corpos hídricos. Dentre os 19 pontos amostrados, apenas duas amostras da primeira campanha evidenciaram condições ruins; o restante se encontra em condição aceitável, boa ou ótima de uso. Em termos quantitativos, a percepção dos moradores é de que as lagoas costeiras estão diminuindo, uma vez que 55,86% dos entrevistados assinalaram que os recursos estão reduzindo. Esta percepção é fortalecida pelos dados deste trabalho, que apresentam uma redução de 31,81% da área das lagoas entre o período de 1980 e 2021, além de trabalhos como os de Scheibe e Pelegrin (1997) e Lopes (2011) que descrevem este processo.

Apesar da qualidade das lagoas estarem, em grande maioria, em acordo com os critérios do IQA, a área de estudo não conta com sistema de tratamento de esgoto. Neste sentido, a pesquisa identificou que 92,27% dos entrevistados descartam seu esgoto em fossas sépticas. Esta informação é preocupante pois 48,88% da população consome as águas provenientes dos

aquíferos rasos podendo haver contaminação cruzada conforme indicado pelos trabalhos de Troian *et al* (2017) e Troian (2021).

Quanto as mudanças de fluxo demográfico, se percebe que a população vem seguindo o mesmo processo descrito por Lopes *et al.* (2018) desde meados 1980, ou seja, mudando das áreas rurais mais internas para áreas urbanas, marcadas pela proximidade à praia. Em 2000, 54,6% da população do município de Balneário Gaivota vivia nas cidades, em 2010 este número era de 77,3%. Em razão da expansão demográfica das áreas urbanas, as zonas rurais que representavam 45,4% da população, em 2010 representava 22,7%. O fluxo migratório de forma geral também é ilustrado pela pesquisa realizada pelo IPAT (2021), onde, dos 401 entrevistados, 67,83% reside no município a menos de 10 anos.

Quando se fala em processos de ocupação do litoral e as pressões ocorridas neste ambiente é fundamental entender como funciona a população de residência fixa e a população flutuante, que que é representada por pessoas que, geralmente, vem para os municípios litorâneos nos períodos de férias. Em 2000, 25,7% da população ocupava suas residências permanentemente, este número cresceu para 43,6% em 2010. Porém, apesar da população fixa aumentar, os domicílios de uso ocasional também cresceram de 38,4% para 50,8%. No que se refere à quantidade de habitantes por domicílio, o estudo realizado pelo IPAT (2021) estabeleceu uma média de 2,96 habitantes por residência, muito próximo do indicado pelo IBGE em 2010 que era de 2,83 habitantes por moradia (IBGE, 2010).

Quanto a obtenção de energia elétrica, cerca de 89,28% dos entrevistados são atendidos por este serviço, dado importante pois por meio do NUCE, foi que se desenvolveram as projeções populacionais para 2030, 2040 e 2050 neste trabalho.

#### **5.1.4 Crescimento populacional (período 1956-2021)**

Os dados destacados no processo de ocupação e caracterização socioambiental reforçam o processo acelerado da área de estudo complementado pelos estudos de Bitencourt *et al.*, (2011) e Cohenca *et al.*, (2017). O crescimento entre 1956 e 1978 foi de 892%, de 1978 a 2010 a evolução foi de 376% e de 2010 a 2020 foi de cerca de 92%. Estes dados apontam para uma projeção geométrica, indo ao encontro com o trabalho de MARCON *et al.*, (2017) quanto ao crescimento regional, muito além das estimativas atuais em tendências lineares.

Às 92 residências apontadas em 1956 abrigavam o contingente populacional de 272 habitantes; em 1978 este número passou para 2.430 habitantes residindo na área de estudo, em 2010 este número seria de 11.573 e em 2020 este número estaria em cerca de 22.955 moradores

(fixos mais os flutuantes). Por meio da análise de projeção populacional, estima-se que atualmente o município tenha 13.923 habitantes, a estimativa do IBGE é que este número seja de 11.537.

### **5.1.5 Projeção de crescimento populacional para os anos de 2030, 2040 e 2050**

A estimativa de crescimento populacional considerada neste estudo se desenvolve de forma geométrica e está embasada nos levantamentos realizados que apontam para um nível de crescimento preocupante. Sendo assim, os dados de projeção geométrica apontam para uma população fixa de 21.610 pessoas para 2030, 33.541 para 2040 e em 2050 o número deverá ser de 52.060 habitantes. Já para a população total, representada pela população fixa mais a flutuante, os valores para 2030 são de 38.315, em 2040 de 59.470 e no máximo período em 2050 poderá alcançar a marca de 92.305 pessoas simultaneamente na área de estudo. O trabalho de Cohenca (2016) discorre sobre a possibilidade de quase extinção dos pequenos fragmentos de remanescentes naturais caso o ritmo de crescimento dos últimos dez anos se mantenha, aproximadamente constante nos próximos 30 anos.

## **5.2 CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA**

### **5.2.1 Formação da Planície Costeira Sul Catarinense**

Dentre os sistemas deposicionais do tipo “laguna barreira”, a barreira IV é a mais recente a se formar, ocasionada pela última grande transgressão pós-glacial e o máximo desta etapa ocorreu a 5.000 mil anos, alcançando até 4 metros acima do nível atual possibilitando a progradação sob condições de regressão forçada, esta variação originou cordões litorâneos regressivos (*beach and foredune ridges*) (TOMAZELLI e VILLWOCK, 2005; CANCELLI, 2012). Essa barreira se encontra bem desenvolvida com largura variável entre 2 e 8 km e caracteriza-se pela presença de grandes corpos lagunares que incluem: i) lagos e lagunas; ii) rios meandantes e canais inter-lagunares; iii) pântanos alagadiços e turfeiras (TOMAZELLI e VILLWOCK 1991; TOMAZELLI e VILLWOCK 2005; SILVA 2015). A formação das lagoas costeiras pertencentes ao sistema lagunar, foi gerado pelo isolamento de terrenos baixos até ao mar estabelecendo um sistema deposicional natural denominado “sistemas lagunares” (TOMAZELLI e VILLWOCK, 1991). Esta região está atualmente severamente comprometida pelos avanços antrópicos (*ibidem*).

A maior parte da planície lagunar holocênica da área de estudo se encontra atualmente ocupada por um conjunto de lagoas costeiras que se interligam por canais meandranes (TOMAZELLI e VILLWOCK, 1991). A morfologia destes corpos hídricos é moldada pela ação do vento que possui dominância no sentido (NE) soprando no sentido das lagoas e carreando sedimento para o seu interior, sendo assim é de se esperar que as dimensões destes lagos sejam menores do que originalmente (*ibidem*).

Na Planície Costeira Sul Catarinense no setor mais interno, com aproximadamente 4 km de largura, a Barreira IV é composta por alinhamento de cordões litorâneos com topografia das antigas dunas frontais (SILVA, 2015). Na linha de costa que se encontra entre o rio Mampituba e o rio Caverá se fazem presentes os alinhamentos de cordões de dunas frontais do tipo (*foredune ridges*) bem desenvolvidos (*ibidem*).

Os estudos de Mudat *et al.*, (2006) apresentaram a caracterização geológica e geomorfológica da folha Sombrio, onde se insere a área de estudo, no total foram avaliados 673 km<sup>2</sup>, sendo que desses, o sistema lagunar corresponde 645 km<sup>2</sup>. Nas áreas de estudo foram identificados entre outros o sistema deposicional Barreira IV e as principais feições de relevo da planície costeira compreendem principalmente, rampas, canais, terraços, dunas, lagoas e praias (*ibidem*).

Na avaliação de imagens históricas, de aproximadamente seis décadas pode-se perceber a diminuição das dunas livres e conseqüentemente o aumento de áreas alagadiças e de vegetações, ocasionado pelo aumento da umidade que pode ser consequência das mudanças ocasionadas no clima (SILVA, 2015). Os principais fenômenos que ocasionam controlam a estabilização dos campos de dunas são a variação do nível médio do mar, mudanças climáticas, topografia antecedente, morfotipo dinâmico e atividade humana (MARTINHO, 2008, DILLENBURG e HESP, 2009; MARTINHO *et al.*, 2010). Essa variação pode ser percebida quando se avaliou a área costeira PCRS e PCSC (até o Cabo de Santa Marta), onde o desenvolvimento de áreas de campos alagados e pantanosas, apesar de cíclicas, apresentam uma linha de tendência, mesmo que pequena, a aumentar a quantidade de campos alagados ou pantanosos (Figura 46).

Nos estudos de Dillenburg e Hesp (2009) se concluiu que desde 1948 os campos de dunas vem dando lugar à áreas de deflação, coberturas vegetais e áreas úmidas, este processo está, provavelmente, interligado com os aumentos históricos de chuva e diminuição da força do vento, como na área norte do Rio Grande do Sul e por semelhança ao sul de Santa Catarina que possui campos de dunas menores e possuindo menos areia se tornam mais suscetíveis ao

processo de estabilização. As planícies de deflação são áreas relativamente planas, úmidas e frequentemente vegetadas (MARTINHO *et al.*, 2010). Nos estudos de (MARTINHO, 2008) foram apresentados dados de variação climáticas ao longo das últimas décadas. De 1948 a 2003 a precipitação aumentou e o potencial de deriva eólica diminuiu entre 1964 e 1988 na região do litoral do Rio Grande do Sul, que possui morfodinâmica muito similar ao sul catarinense (*ibidem*). Mesmo com o balanço sedimentar positivo (progradação) a energia das ondas não transporta grandes aportes de sedimentos para o pós-praia, o baixo aporte sedimentar e a alta umidade favorecem o estágio de estabilização do ambiente (*ibidem*).

Apesar do ambiente estar mais úmido e com tendências à deflação, os dados quantitativos da classe de rios lagos e oceano representado nos 35 anos avaliados (1985 – 2020) por meio de análise de dados do Projeto MAPBIOMAS, apresentam uma aparente redução em suas áreas. Este fato vai em desencontro com a tendência natural de que, com um ambiente mais úmido e com a estabilização das dunas por vegetação, conseqüentemente diminuindo o aporte de sedimento, estas áreas deveriam estar aumentando. Percebe-se portando uma grande tendência em que o processo antrópico esteja impactando o sistema hídrico costeiro gerando tal desequilíbrio, conforme se observa na Figura 47.

### **5.2.2 Formação das lagoas costeiras da PCRS**

Entre os ambientes explorados na zona costeira, os sistemas aquáticos continentais são fundamentais para a manutenção da biodiversidade, ciclo biogeoquímico e ciclo hidrológico (BARBOSA *et al.*, 2019). Mesmo assim, a pressão antrópica e a poluição vêm ocasionando problemas relacionados a eutrofização das lagoas acarretando na impossibilidade da sua utilização (*ibidem*). As lagoas costeiras estudadas são semelhantes às dos estudos de Schwarzbald e Schäfer (1984), Schäfer *et al.* (2014) e Marchett (2017). Os estudos de Silva (2015) apresentam o mapeamento geomorfológico da área deste estudo, partindo do entorno da lagoa do Sombrio até os campos de dunas próximos à linha de costa onde foram identificados dois terraços lagunares que circundam a Lagoa do Sombrio, cordões litorâneos regressivos representados pela paleotopografia e cordões de dunas frontais (*foredune ridges*). Outra delimitação importante do estudo foram os denominados paleocanais que se estendem em linha paralela a costa (*ibidem*).

O principal corpo hídrico da região da área de estudo, é a lagoa do Sombrio, que possui 16 km de extensão no sentido (NW-SW) e larguras que variam entre 500 m e 5 km (SILVA,

2015). Esta Lagoa já chegou a medir 2,3 m de profundidade e atualmente atinge a profundidade máxima de 0,80 m da lâmina d'água, fato que resulta da degradação do manancial, ocasionado pela retificação dos canais de escoamento, a agricultura e o esgoto doméstico e hospitalar, os quais vem ocasionando insustentabilidade deste recurso hídrico (LOPES e NODARI, 2012). Importante ressaltar que atualmente 87,95% do sistema hídrico do município possui características antrópicas.

A área de estudo corresponde a um conjunto de lagoas menores e são citados no trabalho de Silva (2015) como “lagoas de fora”, segundo o autor *op. cit.*, a formação de tal conjunto se deu por meio de paleocanais que se interligavam com o rio Mampituba e atualmente são a fonte de água potável para a população do município de Balneário Gaivota. Outro trabalho que descreve a evolução paleoambiental da região costeira sul catarinense é o de Cancelli (2012), que estudou a região em busca de detectar influência marinha na lagoa do Sombrio durante o período do Holoceno. O trabalho consistiu em avaliar a evolução da deposição de sedimentos e estabelecimento da cobertura vegetal às margens da lagoa do Sombrio, através de estudos paleoclimáticos. O autor *op. cit.* identificou a ocorrência de três fases distintas, a Fase I, definida de fase lagunar, a qual se deu a 7.900 ka; a Fase II, denominada de fase de pântano, marcada pelo intervalo de tempo entre 3.800 – 2500 ka e; a Fase III, denominada de fase de consolidação de florestas, cujo período de ocorrência se deu de 2500 ka até o presente.

Nos estudos de Cancelli (2012) a Fase I representa a influência marinha sob o continente, com posterior rebaixamento de nível marinho, já a Fase II representa a passagem de um ambiente tipicamente lagunar para um pântano salobro que com a dessalinização, proporcionou o avanço das florestas e por último na Fase III se tem as florestas consolidadas.

### **5.2.3 Dinâmica das lagoas costeiras**

Este estudo apontou para um provável desequilíbrio regional das lagoas presentes na PCRS e PCSC (até o Cabo de Santa Marta) sendo que as taxas de diminuição da área das lagoas medidas apresentam uma linha de decréscimo ao longo do tempo. Na mesma direção, em nível local (município de Balneário Gaivota e entorno) foram avaliadas imagens temporais e aplicadas à técnica (*MNDWI*) que apresentaram um decréscimo de área superficial das lagoas na ordem de 31,81% em 41 anos e com projeção linear com aderência de  $R^2=0,8378$ . Os dados obtidos permitem inferir que em 2030 a redução irá representar 36,80%, em 2040 43,41% e, em 2050 pouco mais da metade dos recursos lagunares costeiros poderão deixar de existir (50,03%).

Neubert *et al.* (1999) comentam que problemas relacionados a quantidade de reserva hídrica estão principalmente ligados ao rebaixamento do freático aflorante, que nos últimos 60 anos diminuiu aproximadamente 1,40 m e conseqüentemente alterou sua reserva hídrica. Além destes trabalhos os estudos de Scheibe e Pelegrin (1997) e Lopes (2011) também apresentaram os processos degradatórios ocorridos nas lagoas e no seu entorno. Em nível local, a lagoa da Terneira, alvo de análise em maior detalhe neste estudo, se encontrava em 2018, anterior a dragagem realizada pela concessionária responsável pela distribuição de água para população, praticamente na fase de pântano (Figura 54). Mesmo assim, a profundidade máxima da lagoa é de 2,43 m e a média de 1,34 m. Estes dados são muito semelhantes aos apontados por Neubert *et al.* (1999) para a lagoa do Sombrio, cuja lâmina d'água é de 81 cm, porém a profundidade média da lama (sedimento de fundo) da lagoa é de 72 cm. Tais evidências revelam os impactos a que as lagoas da região sul catarinense vêm sendo submetidas, em função da gama de fatores antrópicos, que se somam aos processos naturais de degradação ambiental

#### **5.2.4 Vazão dos sangradouros**

Os Sangradouros representam o escoamento das águas dos continentes até ao mar (OLIVEIRA, 1993, SERPA *et al.*, 2008). Neste estudo, os sangradouros estudados em sua totalidade foram modificados e retificados por ação antrópica, acelerando a descarga de águas. Esta vazão é computada como aporte positivo de água, ou seja, escoam para o mar cerca de  $777,6 \text{ m}^3 \text{ hora}^{-1}$  isso significa  $18.622,40 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$  são despejados nos oceanos. Esta vazão poderia abastecer uma população de 122.537 pessoas, representando assim, uma fonte de água importante como reserva para o futuro, haja visto que os dados de IQA apontam para uma qualidade predominantemente boa destes recursos.

No entanto, esta vazão representa a vazão ecológica, a qual é parte importante dos serviços ecossistêmicos desempenhados pelo sistema laguna da região. Ao contrário do que se possa pensar, a vazão dos sangradouros não representa uma perda e nem pode ser cogitada de ser usada para uso humano, pois, caso venha a ser usada, os desequilíbrios ambientais já em curso tenderão a se acentuar ainda mais, contribuindo dessa forma para o aceleramento do desaparecimento das lagoas costeiras.

#### **5.2.5 Qualidade da água superficial**

Dentre os impactos a que os ecossistemas costeiros estão sujeitos, um dos mais relevantes está relacionado à alteração da qualidade da água e a perda de qualidade ecológica (MARINHO *et al.*, 2017). Essas alterações ocorrem principalmente pelo lançamento de grandes quantidades de esgoto doméstico na água o que eleva a quantidade, principalmente de nitrogênio (N) e de fósforo (P) desequilibrando o ambiente que passa de condição oligotrófica ou mesotrófica para eutrófica, ou seja, começa a produzir mais matéria orgânica do que é capaz de consumir ou decompor causando sérios problemas na sustentabilidade ecológica do ambiente (*ibidem*).

Na primeira campanha amostral observa-se que o IQA fica, em maioria, superior ao estado aceitável. Entretanto, a estação amostral BG-19, localizada no sangradouro próximo à rua da Praça, e a estação amostral BG-13, no sangradouro na estrada das Palmeiras a montante da área urbanizada, tiveram a classificação das águas enquadrada como ruim. Os demais pontos foram classificados como aceitáveis, ótimos, e na sua maioria, como de boa qualidade. As duas estações amostrais citadas estão entre aquelas realizadas em rios, canais, sangradores e drenagens naturais (BG-01, BG-04, BG-05, BG-11, BG-13, BG-14, BG-17, BG-19, BG-20 e BG-23).

Os resultados de ambas as análises indicaram DBO<sub>5,20</sub> e OD em desacordo com os limites estabelecidos pelo Conama nº 357/2005 (CONAMA, 2005) (1000 NMP.100 ml<sup>-1</sup>), bem como um número elevado de coliformes termotolerantes (9.200 e 3.500 NMP.100 ml<sup>-1</sup>, respectivamente). Entretanto, na segunda campanha amostral todos os parâmetros, na estação amostral BG-13 ficaram em acordo com a normativa, ocorrendo uma redução significativa das concentrações dos demais indicadores ambientais avaliados. A estação BG-19 estava seca na segunda campanha.

Em relação as lagoas, as amostras de água coletadas (pontos: BG-02, BG-06, BG-08, BG-09 e BG-15), em todas as estações amostrais tiveram a qualidade da água classificada como boa, com exceção da estação amostral BG-09 que na primeira campanha apresentou ótima qualidade. Importante a destacar valor dos coliformes termotolerantes, como esse ponto fica a montante da área urbana, a contaminação microbiológica está, provavelmente, relacionada a animais que circundam pela área. Essa presunção é complementada quando avaliada a estação amostral BG-14, que fica localizada a jusante da BG-13 (após a área urbanizada). Neste local a qualidade da água foi enquadrada como boa e os indicadores ambientais, em especial o coliforme termotolerante, apresentou valor inferior aos resultados da estação amostral BG-13 (490 NMP.100 m<sup>-1</sup>). Já a estação amostral BG-19, pela proximidade com as residências

localizadas no seu entorno, pode estar recebendo contribuições decorrentes da geração de esgoto sanitário.

Como citado, a eutrofização de lagos e rios é ocasionada pelo enriquecimento de nutrientes, principalmente de nitrogênio e fósforo, provocando assim impactos significativos para os usos da água e à vida aquática. Dessa forma, calculou-se, de acordo com a metodologia utilizada pela Cetesb (2006), o índice do estado trófico (IET) para fósforo total nas lagoas. Tal índice objetiva classificar o grau de trofia do corpo hídrico, sendo o resultado interpretados como uma medida do potencial de eutrofização, já que o fósforo atua como causador do processo (CETESB, 2019). De acordo com a classificação da Cetesb (2006), todos os pontos, quando identificada a presença de fósforo total, se enquadraram na categoria eutrófico, ou seja, possuem potencial de produtividade alta em relação as condições naturais. Entretanto, na primeira campanha, com exceção da Lagoa Cortada (BG-15), as demais não apresentaram a presença de fósforo, indicando assim um estado ultraoligotrófico, que corresponde a produtividade muito baixa.

Eutrofização é um processo natural das lagoas e lagos ao longo do tempo, ou seja, com o passar do tempo, o sedimento, que é proveniente do entorno, trazido por afluentes ou por energia eólica, se acumula no fundo dos corpos d'água dando origem à áreas pantanosas e evoluindo, posteriormente, para um ambiente terrestre (SCHÄFER *et al.*, 2009). Existe, contudo, diferenças no tempo de eutrofização de lagoas que são, a profundidade, a energia eólica, clima e uso da terra do entorno (*ibidem*). A variação do IET das lagoas é um processo comum devido as variabilidades sazonais que ocorrem ao longo do ano, sendo esses fatores influenciadores da intensificação ou não do processo de produção no ambiente. Dessa forma, a análise apresentada neste estudo indica uma variação do potencial do grau trofia nas lagoas, sendo necessário para o detalhamento do funcionamento desses ambientes aquáticos a realização de um monitoramento minucioso em diferentes pontos das lagoas, bem como, em diferentes períodos do ano.

### **5.2.6 Morfologia e morfometria da lagoa da Terneira**

A lagoa estudada reforça a semelhança aos estudos de Schwarzbald e Schäfer (1984) Scheibe e Pelegrin (1997), Schäfer *et al.* (2014) e Marchett (2017). O levantamento topobatimétrico levou em consideração as seções transversais por meio de equipamentos topográficos e geodésicos, ao total foram coletados 102 pontos. Como parâmetros

morfométricos diretos se tem a ( $Z_{\text{máx}}$ ) profundidade máxima de 2,43 m, a (A) área da Lagoa que é de 73.652,57 m<sup>2</sup> ou 7,37ha e (L) o comprimento da lagoa 545,74 m no sentido (NW-SW) e a largura (W) é de 164,85 metros no sentido Leste/Oeste. O perímetro (P) é de 1.319,97 m, ou 1,314 km. O volume (V) de reserva hídrica é de 98.890,44 m<sup>3</sup>.

Para determinação dos parâmetros indiretos foram necessários os parâmetros diretos. A profundidade média ( $Z_{\text{ave}}$ ) que representa a profundidade hipotética de um lago é de 1,34 m, caracterizando um lago raso. A razão de profundidade média e máxima ( $Z_{\text{ave}}/Z_{\text{máx}}$ ) é de 0,55 metros como esta variação e de 0,2 a 0,75, a lagoa tem característica rasa e plana, a profundidade relativa do lago é de 0,79%, ou seja, menor que 2%, representa um lago raso com ampla área exposta ao vento e conseqüentemente mistura da coluna de areia. O desenvolvimento do volume ( $D_V$ ) da Lagoa da Terneira é de 1,66 possuindo forma maior que a de um cone e o desenvolvimento do perímetro ( $D_p$ ) é de 1,37 representando uma forma arredondada.

### 5.2.7 Recarga hídrica seepage meter (+DAS e -INF)

O experimento foi colocado na lagoa no dia 14/08/2022 e retirado no dia 15/08/2022 em um período de 24h. A coleta de dados ocorreu em período com precipitação média entre 15/07/2022 a 31/07/2022 de 28,2 mm e entre 01/08/2022 a 15/08/2022 choveu 197,2 mm conforme dados da estação pluviométricas denominada “lagoa de Fora” (420207301A) localizada entre as coordenadas: Latitude -29,13328° e Longitude -49,60605°. Cabe ressaltar que no dia 09/08/2022 choveu cerca de 100,4 mm em um único dia e no dia 10/08/2022 a pluviometria foi de 53,4 mm. O Tx apontado no estudo indica advecção de 3,15 cm dia<sup>-1</sup> isso representa 847.282,55 m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup> e 2.321,32 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>. Esta taxa está acima dos dados obtidos por Rocha *et al.* (2015) com taxas de advecção variáveis de 0,16 a 1,02 cm dia<sup>-1</sup>, para as lagoas da Itapeva, Quadros, Pinguela e Barros localizadas na planície costeira do litoral norte do Rio Grande do Sul em condições similares a do presente estudo, porém encontra-se em concordância com dados do trabalho de Arcari *et al.* (2019), desenvolvidos na lagoa da conceição na localidade de Florianópolis, que chegou a resultados na ordem de 0,5 a 6,0 cm dia<sup>-1</sup>.

### 5.2.8 Balanço hídrico

Embora o ciclo hidrológico seja único para todo o planeta, o volume de cada um de seus componentes varia nas diferentes regiões, tendo particularidades principalmente quanto aos fluxos subterrâneos de água, que dependem do tipo e velocidade da recarga, precipitação, evapotranspiração, infiltração e consumo entre outros (TUNDISI, 2006). Importante citar que os cálculos de balanços hídricos são estimados e representam limitações (BACK, 2020). Neste contexto, os dados modelados neste estudo são preocupantes pois apenas no cenário atual (2021), considerando a população total do município, a lagoa da Terneira teria condições sustentáveis para dessedentação da população. A partir de 2030 a condição já passa para deficitária, representando insustentabilidade do recurso para o consumo humano, ao passo de que em 2050, considerando uma população de 52.060 pessoas fixas, o balanço torna-se negativo podendo chegar a  $-1.209.861,72 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$  ou  $3.314,69 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ . Cabe lembrar, que a lagoa tem capacidade de armazenamento de  $98.890,44 \text{ m}^3$  em média, isso significa que em 2050 o recurso hídrico irá ser exaurido. Caso a estimativa seja realizada por meio de simulação de quantidade máxima de habitantes, ou seja, 92.305 habitantes o déficit do sistema seria de  $-3.446.946,72 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$  ou  $9.443,69 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ , neste caso, o recurso entraria em colapso em 11 dias.

A que se considerar que atualmente a lagoa já recebe a adução de  $120 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$  proveniente de bombeamento por adutora a partir da lagoa do Rodeio. Esta situação tende a se agravar ainda mais.

### 5.3 SUSTENTABILIDADE E DISPONIBILIDADE HÍDRICA PARA CONSUMO HUMANO

Os problemas de sustentabilidade socioambiental tem assumido papel central nas reflexões sobre os impactos humanos na forma de desenvolvimento econômico até então posto (JACOBI, 1999). Uma importante e permanente tensão quanto as condições ambientais do planeta está relacionada ao balanço entre demanda (necessidade) de água para consumo humano e a oferta (disponibilidade) de recursos hídricos (HELLER e PÁDUA, 2010). O balanço entre a oferta e a demanda vem se encontrando em um ponto de insustentabilidade, enquanto cresce a demanda, impulsionado pelo crescimento geométrico de áreas costeiras, diminuem as reservas hídricas superficiais, responsáveis pela dessedentação humana.

#### 5.3.1 Projeção de consumo hídrico para 2030, 2040, 2050

O conceito de abastecimento de água está vinculado ao saneamento básico, por se tratar de um meio físico necessário ao homem (HELLER e PÁDUA, 2010). Os impactos das atividades humanas no ciclo hidrológico e na qualidade das águas são resultado das múltiplas formas de utilização deste recurso como i) água para abastecimento público, ii) abastecimento industrial, iii) agroindustrial, iv) recreativo, v) turístico, entre outros (TUNDISI, 2006). As vazões dos mananciais são muito vulneráveis ao uso e ocupação territorial das áreas de recarga (HELLER e PÁDUA, 2010). A atual forma de ocupação costeira descrita nos trabalhos de Gruber *et al.* (2003), Moraes (2008), Bertolo *et al.* (2012), Andrés *et al.* (2018) contribuem para degradação dos ambientes de recarga e de projeção de consumo hídrico crescente de forma geométrica e insustentável de utilização.

O consumo máximo atualmente, em 2021, medido, é de 3.775,06 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> este número poderá chegar aos valores de 5.835 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> em 2030, 9.057 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> em 2040 e 14.058 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> em 2050. O balanço hidrológico aponta para capacidade da lagoa da Terneira, que é o atual reservatório hídrico municipal, abastecer a população por 11 dias em 2050. A sua baixa capacidade de reserva hídrica ocorre pelas suas características morfométricas de ser rasa, semelhantes às apontadas nos estudo de Schwarzbald e Schäfer (1984), Scheibe e Pelegrin (1997), Schäfer *et al.* (2014) e Marchett (2017). Além disso, os usos antrópicos no seu entorno imediato junto as áreas de recarga, como plantio de espécies exóticas como *Eucalyptus* spp., o adensamento populacional, a compactação do solo e a contaminação do lençol freático, além das alterações causadas pela retificação artificial dos canais de drenagem na região central do município, contribuem sobremaneira para a piora do cenário hora apresentado que já não é muito bom.

Cabe então, pensar nas alternativas a curto prazo de fontes de recursos para abastecimento hídrico humano. Os dados apresentam grande insustentabilidade em relação à oferta e demanda, os estudos de Heller e Pádua (2010) descrevem que para o abastecimento, especialmente em áreas superficiais é importantes estabelecer as vazões de segurança para o fornecimento de água, para que se tenha garantia de que a vazão de captação seja menor que a mínima condição do ambiente se sustentar ecologicamente. Além disso, as reservas de abastecimento devem ter a capacidade de fornecer água com boa qualidade e de fácil acesso a população, respeitado os diversos usos dos mananciais e preservando o recurso natural e garantindo sua utilização para as futuras gerações (*ibidem*).

Apesar de ser essencial à vida humana e à economia de todas as regiões do planeta existem permanentes ameaças ao ciclo hidrológico e à quantidade e qualidade das águas. Essas

ameaças decorrem devido ao consumo insustentável e o uso excessivo da água para várias atividades humanas. Estes usos incluem as águas superficiais e subterrâneas, que são reservas importantes e substanciais de água em algumas regiões do planeta (HELLER e PÁDUA, 2010). Neste sentido é fundamental que as atuais formas de consumo, nos mais diversos usos sejam reduzidos, pois as futuras gerações irão necessitar desse recurso para usufruí-lo.

### 5.3.2 Projeção de disponibilidade hídrica para 2030, 2040, 2050

Importante destacar que a vazão estimada para 2020 neste estudo está muito próximo da vazão média nos hidrômetros da concessionária, sendo que pela estimativa em 2020 a população fixa consumiria  $2.120 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$  e a total em momentos de pico  $3.760 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ . Os dados medidos entre os períodos de maio a julho de 2022 apontam o valor médio de  $1.994,13 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$  com desvio padrão de  $304,41 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ , já os dados médios nos períodos de pico chegam a  $3.775,06 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ . Além das comparações estarem dentro do desvio padrão, a diferença no período de inverno chega a 5,9% e nos períodos de alta temporada 0,4%.

A população fixa para 2030 será de 21.610 pessoas, em 2040 de 33.541 pessoas e em 2050 o município deverá ter integralmente em seu território 52.060 habitantes. A população total, ou seja, a fixa mais a flutuante, deverá chegar em 2030 em 38.315 pessoas, em 2040 em 59.470 e poderá chegar à 92.305 habitantes. Sabe-se ainda, que a média de consumo *percapita* atual para o estado de Santa Catarina é de  $152,3 \text{ L dia}^{-1}$  (BRASIL, 2019). Para o ano de 2030 a população fixa irá consumir  $3.291 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$  de água em 2040 o consumo será de  $5.108 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$  e em 2050 este valor será de  $7.929 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ . Ainda mais preocupante são os dados de consumo da população total, que em 2030 poderá chegar à  $5.835 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ , em 2040 este valor passa para  $9.057 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$  e em 2050 o pico máximo de consumo, apontado neste estudo que é a vazão diária para consumo de  $14.058 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ .

Os recursos hídricos constituem um bem natural, renovável, cujo volume total no planeta é relativamente constante ao longo dos tempos, porém sua distribuição não é disposta uniformemente com insustentabilidades regionais agravadas pelas modificações ambientais ocorridas pelo homem (HELLER e PÁDUA, 2010). Em uma macro distribuição, 93,94% da água do planeta é disposta em forma de oceanos, 4,39% está alocado abaixo da superfície como águas subterrâneas e 1,65% são formados por geleiras e calotas polares (*ibidem*).

O papel essencial da água para a sobrevivência humana e para o desenvolvimento das sociedades é de conhecimento geral (HELLER e PÁDUA, 2010). A sustentabilidade da

quantidade e qualidade das águas doces continentais costeiras no planeta são fontes essenciais para manter os ciclos de vida, a biodiversidade e a manutenção da espécie humana (TUNDISI, 2006). Em muitos locais a disponibilidade deste recurso natural não é o suficiente e de fácil acesso para o consumo humano (HELLER e PÁDUA, 2010). As alterações na sustentabilidade hídrica e conseqüentemente ambiental das lagoas costeiras inseridas na PCRS e PCSC (até o Cabo de Santa Marta) no sul do Brasil é de fato um grave problema (NEUBERT *et al.*, 1999; ROSSO, 2007; SCHÄFER *et al.*, 2009; PORCHER *et al.*, 2010; LOPES e NODARI, 2012; LOPES, 2011; BITENCOURT *et al.*, 2011; BITENCOURT *et al.*, 2013; ESTADO DE SANTA CATARINA, 2017 e 2018; COHENCA *et al.*, 2017).

Em consonância com os paradigmas da sustentabilidade no desenvolvimento litorâneo, os dados levantados levam a crer que a linha de costa da PCRS e PCSC (até o Cabo de Santa Marta) e a área de estudo passam por alterações características ao Antropoceno citado nos estudos de Polette *et al.*, (2022) onde as condições geologicamente significativas como o ciclo da água estão sendo profundamente alteradas pelas atividades humanas. Os modelos atuais de desenvolvimento têm contribuído para o desaparecimento de atividades centenárias tradicionais que atualmente não seriam rentáveis economicamente (*ibidem*). Uma forma de alcançar um modelo de desenvolvimento sustentável pode ser por enfoque Ecosistêmico inter-relacionando Sociedade e Natureza (*ibidem*).

A área da lagoa atualmente fornecedora de recurso hídrico para uso humano no município representa apenas 0,77% de toda área lagunar do município, a primeira alternativa seria a utilização do restante das lagoas costeiras que em 2050 resultarão em 9,63 km<sup>2</sup> e com reserva de aproximadamente 12.904.200 m<sup>3</sup>. Porém, é importante frisar que 31,81% da área das lagoas costeiras pertencente ao local de estudo já deixaram de existir, e este valor deverá chegar à 50,03%. Se atual forma de ocupação não mudar, este recurso também irá exaurir.

Outras fontes de água doce são às águas que escoam para o mar por meio dos sangradouros, que representam uma descarga de 6.797.176m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup> (18.622,40 m<sup>3</sup> dia-1). Este recurso fica condicionado a medidas estruturantes de barramento, que comprometeria o ecossistema local, e a manutenção da boa condição do IQA, pois alguns deles passam por meio das áreas centrais, sem manutenção de Área de Preservação Permanente e suas matas ciliares, podendo, por vezes, possuir presença de contaminantes. O trabalho de Troian (2021) descreve a importância dos aquíferos costeiros como fonte de água, estes aquíferos tem grande capacidade de reserva e já fornecem, por meio de poços tubulares recursos hídricos para a população em alguns locais da PCRS. Apesar de uma boa fonte de recurso, os aquíferos

superficiais devem ser estudados de forma detalhada, pois a atual forma de esgotamento sanitário da área de estudo acontece por meio de fossas representando uma taxa de 92,27% da população e podem estar contaminando este aquífero. Outro fator que deve ser considerado quando se busca a obtenção de águas de aquíferos costeiro é a salinização do aquífero pelo excesso de uso.

O Plano Estadual de Recursos Hídricos (SANTA CATARINA, 2017) apresenta a alternativa para regiões onde o balanço hídrico quantitativo é muito crítico ou péssimo e onde as demais fontes de águas são limitadas como tratamentos avançados como dessalinização de águas salobras ou salinas e reciclagem de água. Este método ainda é bastante caro, e talvez em breve seja uma boa alternativa. Porém, mesmo com outras alternativas de recursos naturais, o atual modelo de desenvolvimento econômico continua produzindo inúmeras alterações no ciclo hidrológico e na qualidade da água, criando problemas, inclusive econômicos, para obtenção destas fontes naturais (TUNDISI, 2006).

Cabe ressaltar que para melhorar a forma de manter a sustentabilidade dos ambientes costeiros, principalmente relacionado aos recursos hídricos superficiais lagunares, é importante a redução do uso exagerado de água e a preservação dos ambientes ao qual esta fonte natural está inserida. Ações como manutenção das áreas úmidas e das regiões de recargas de aquíferos podem melhorar a disponibilidade de água para as futuras gerações. Além da melhoria em condições de demanda e consumo, a solução para alguns problemas referentes à água está no desenvolvimento de sistemas adequados de gestão e de procura permanente de inovações tecnológicas, e na adoção de medidas estruturais e não-estruturais para a gestão integrada e preditiva das águas (TUNDISI, 2006).

## 6 CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta dados importantes para diagnosticar a atual forma de sustentabilidade socioambiental das lagoas costeiras do sul do estado de Santa Catarina, tendo como escala local, o estudo de caso do Balneário Gaivota e a lagoa da Terneira, fonte atual de recursos hídricos municipais. Os caminhos de demanda e disponibilidade dos recursos lagunares andam em caminhos opostos, mas que tendem a convergir em um ponto de insustentabilidade ambiental.

O processo de ocupação histórica, atual e com tendências futuras, são preocupantes, os dados apontam para a continuidade de crescimento de forma geométrica com uma forma de ocupação baseado na insustentabilidade de obtenção dos recursos naturais, sobretudo, a hídrica, fonte inestimável para o desenvolvimento humano.

Mesmo com tendências climáticas regionais de ambientes mais úmidos na Zona Costeira, as características regionais são de diminuição das áreas de lagoas rios e oceanos deste ambiente, nesta mesma linha, no âmbito local, as lagoas costeiras terão mais da metade da sua área extintas até 2050. Este processo ocorreu em um extenso processo antrópico composto por retificação e retilinização de sangradouros, criação de drenagens antrópicas nas zonas urbanas e rurais.

Apesar da área da atual lagoa ser pequena em comparação a toda área de lagoas do município, o balanço hidrológico do reservatório que abastece o município demonstra um processo de sustentabilidade preocupante. A partir de 2030 a população total, em períodos de verão não terá mais condições de usar este recurso, em 2050 estima-se que a atual fonte hídrica poderá abastecer o município por apenas 11 dias. Sendo assim, a busca por alternativas de novas fontes hídricas é uma realidade.

Conclui-se, portanto, que a atual forma de ocupação humana e sua tendência futura está impactando os ambientes costeiros, sobretudo, as lagoas costeiras, fonte de água para consumo humano. O cenário para os anos de 2030, 2040 e 2050 são de insustentabilidade quanto a necessidade e disponibilidade de água. Recomenda-se para trabalhos futuros um modelo contínuo de monitoramento ambiental e hidrológico destas lagoas, de modo a melhorar o entendimento e sugerir recomendações de utilização com enfoque sustentável.

## REFERÊNCIAS

- ACHARYA, T. D.; SUBEDI, A.; LEE, D. H.. Evaluation of water indices for surface water extraction in a Landsat 8 scene of Nepal. **Sensors**, v. 18, n. 8, p. 2580, 2018.
- ALMEIDA, M. A. B.; SCHWARZBOLD, A. Avaliação sazonal da qualidade das águas do Arroio da Cria Montenegro, RS com aplicação de um índice de qualidade de água (IQA). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 1, p. 81-97, 2003.
- ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ANA, A. N. de Á. Conjuntura Recursos Hídricos Brasil. **Informe Anual**, n. 11, p. 9–11, 2019.
- ANDRÉS, M. de; BARRAGÁN, J. M.; SCHERER, M. Urban centres and coastal zone definition: Which area should we manage?. **Land use policy**, v. 71, p. 121-128, 2018.
- ARCARI, T de L. *et al.* As interações entre águas subterrâneas e superficiais em uma laguna costeira: Lagoa da Conceição, Florianópolis/SC, Brasil. **Águas Subterrâneas**, v.33, n.1, p. 34-44, 2018.
- ASMUS, M. L. *et al.* **Gestão costeira no Brasil: instrumentos, fragilidades e potencialidades**. 2004.
- BACK, A. J. **Medidas de vazão com molinete hidrométrico e coleta de sedimentos em suspensão**. Florianópolis: Epagri, 2006.
- BACK, A. J. **Chuvvas intensas e chuva para dimensionamento de estruturas de drenagem para o Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2013.
- BACK, A. J. **Informações climáticas e hidrológicas dos municípios catarinenses (com programa HidroClimaSC)**. Florianópolis: Epagri, 2020.
- BALNEÁRIO GAIVOTA. **Lei nº1052**, de 24 de dezembro de 2020. Define perímetro urbano da sede do município de Balneário Gaivota e localidade de Lagoa de Fora. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/sc/b/balneario-gaivota/lei-ordinaria/2020/108/1072/lei-ordinaria-n-1072-2020-define-perimetro-urbano-da-sede-do-municipio-de-balneario-gaivota-e-localidade-de-lagoa-de-fora-revoga-a-lei-n-1052-2020-e-da-outras-providencias>.
- BARBOSA, C. C. F.; NOVO, E. M. L. M.; MARTINS, V. S. **Introdução ao sensoriamento remoto de sistemas aquáticos: princípios e aplicações**. São José dos Campos: Inpe, 2019.
- BARRELL, J.; GRANT, J. Detecting hot and cold spots in a seagrass landscape using local indicators of spatial association. **Landscape ecology**, v. 28, n. 10, p. 2005-2018, 2013.
- BERTOLO, L. S.; LIMA, G. T. N .P.; SANTOS, R. F. Identifying change trajectories and evolutive phases on coastal landscapes. Case study: São Sebastião Island, Brazil. **Landscape and Urban Planning**, v. 106, n. 1, p. 115-123, 2012.
- BITENCOURT, N. de L. da R. Participação Pública no Processo de Tomada de Decisão para

as Ações das Políticas de Planejamento no Litoral Sul de Santa Catarina, Brasil. In: MONTARDO, D. L. O.; RUFINO, M. R. C. F. **Saberes e Ciência Plural: Diálogos e interculturalidade em Antropologia**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2021. p.182-201.

BITENCOURT, N. de L. da R.; LALANE, H. de C.; ROCHA, I. de O. O processo de ocupação dos espaços costeiros do extremo sul de Santa Catarina, Brasil. **Revista Geográfica de América Central**, v. 2, p. 1-15, 2011

BITENCOURT, N. de L. da R.; ROCHA, I. de O. Percepção das Populações Costeiras sobre os Efeitos dos Eventos Adversos no Extremo Sul de Santa Catarina– Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 14, n. 1, p. 15-25, 2014.

BITENCOURT, N. de L. da R.; SORIANO-SIERRA, E. J.; ERNANDORENA, P. R.. Ações Para Conter Impactos Ambientais na Orla Marítima: Caso do Município de Balneário Gaivota. **Olam. Ciência & Tecnologia**, v.13, n. 1, 2013.

BRASIL. Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências.. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 1997.

BRASIL. **Decreto 5.300**, de 7 de dezembro de 2004. Regulamenta a Lei no 7.661, de 16 de maio de 1988, que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro - PNGC, dispõe sobre regras de uso e ocupação da zona costeira e estabelece critérios de gestão da orla marítima, e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/decreto/d5300.html](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5300.html)

BRASIL. **Lei n. 13.465**, de 11 de julho de 2017. Dispõe sobre a regularização fundiária rural e urbana, sobre a liquidação de créditos concedidos aos assentados da reforma agrária e sobre a regularização fundiária no âmbito da Amazônia Legal; institui mecanismos para aprimorar a eficiência dos procedimentos de alienação de imóveis da União; e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2017/lei/113465.html](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/113465.html).

BRASIL. **Agenda 2030** de 2018. ODS – Metas Nacionais dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: [https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8855/1/Agenda\\_2030\\_ods\\_metas\\_nac\\_dos\\_obj\\_de\\_desenv\\_susten\\_propos\\_de\\_adequa.pdf](https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8855/1/Agenda_2030_ods_metas_nac_dos_obj_de_desenv_susten_propos_de_adequa.pdf).

CÂMARA, G.; CARVALHO, M. S. **Análise Espacial De Eventos**. São Paulo: Inpe, 2004.

CANCELLI, R. R. **Evolução paleoambiental da Planície Costeira sulcatarinense (Lagoa do Sombrio) durante o Holoceno, com base em dados palinológicos**. 2012. Tese (Doutorado em Geociências), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

CÂNDIDO, A. K. A. A.; da SILVA, N. M.; FILHO, A. C. P.. Imagens de Alta Resolução Espacial de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) no Planejamento do Uso e Ocupação do Solo. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 38, n. 1, 2015.

CAVALCANTE, J. da S. I.; ALOUFA, M. A. I. Gerenciamento costeiro integrado no Brasil:

uma análise qualitativa do Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro. **Drd Desenvolvimento Regional em debate**, v. 8, n. 2, p. 89-107, 2018.

CIRILO, J. A. Crise hídrica: desafios e superação. **Revista USP**, n. 106, p. 45-58, 2015.

COHENCA, D. **Modelagem de cenários de ocupação no litoral sul de santa catarina utilizando técnicas de análise geoespacial**. 2002. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Geografia) – Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2002.

COHENCA, D.; SCHERER, M. E. G.; VIEIRA, C. A. O. Ocupação na zona costeira do sul de Santa Catarina: uma análise histórica de vetores e processos. **Geosul**, v. 32, n. 64, p. 47-65, 2017.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 261**, de 30 de junho de 1999. Dispõe sobre aprovar, como parametro basico para analise dos estagios sucessionais de vegetacao de restinga para o estado de santa catarina, as diretrizes constantes no anexo desta resolução. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0261-300699.PDF>

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **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. Disponível em: [http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLUCAO\\_CONAMA\\_n\\_357.pdf](http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLUCAO_CONAMA_n_357.pdf).

CÔRTEZ, P. L. *et al.* Crise de abastecimento de água em São Paulo e falta de planejamento estratégico. **Estudos Avançados**, v. 29, p. 7-26, 2015.

CRÓSTA, A. P. **Análise de imagens de sensoriamento remoto**. 2002

CRUZ, J. L. M., MENOSSI, R. C. **Relatório Técnico Aerofotogramétrico**. 2012. .

D'ALGE, J. C. L. Cartografia Para Geoprocessamento. In: CÂMARA G.; DAVIS C.; MONTEIRO A. M. V. (Coord.) **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São Paulo: Inpe, 2001. p.1-32.

DENICOLA, E. *et al.* Climate change and water scarcity: The case of Saudi Arabia. **Annals of global health**, v. 81, n. 3, p. 342-353, 2015.

DENSKI, A. P. N.; BACK, Á. J. Tendência climatológica nos elementos meteorológicos e na evapotranspiração de referência de Urussanga-SC). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 17, 2015.

DILLENBURG, S. R.; HESP, P. A. Lecture Notes in Earth Sciences: Preface. In: DILLENBURG, S. R. (coord.). **Lecture Notes in Earth Sciences**, 2009.

DUARTE, P. A. **A discussao sobre o significado de Cartografia Tematica**. 1976.

EICHLER, P. P. B.; da SILVA, C. G.; da COSTA, R. S.; SOARES, G. B. Condições ambientais

no estuário de Laguna (SC. Brasil) baseado na dinâmica populacional de espécies indicadoras biológicas. In: LADWIG, C.; IVO, J. B. Ni. **Planejamento e gestão territorial: inovação, tecnologia e sustentabilidade**. Santa Catarina: Ediunesc, 2020. p. 129-151.

FALKENBERG, D. de B. Aspectos da flora e da vegetação secundária da restinga de Santa Catarina, Sul do Brasil. **INSULA Revista de Botânica**, v. 28, p. 01-01, 1999.

FARIAS, M. D. de; LADWIG, N. I.; MENEZES, C. T. B. de. Análise da paisagem na criação de unidade de conservação integral zona costeira sul do estado de Santa Catarina. **Sociedade & Natureza**, v. 29, p. 351-363, 2017.

FIGUEIREDO, S. A. de; CALLIARI, L. J. Sangradouros: distribuição espacial, variação sazonal, padrões morfológicos e implicações no gerenciamento costeiro. **Journal of Coastal Research**, v. 3, p. 47–57, 2005.

FREITAS, L. C. O canal de navegação Laguna a Porto Alegre. **Anais Das Primeiras Jornadas de Economia Regional Comparada**. Rio Grande do Sul, 2005.

FROST, K.; HUA, I. Quantifying spatiotemporal impacts of the interaction of water scarcity and water use by the global semiconductor manufacturing industry. **Water Resources and Industry**, v. 22, p. 100115, 2019.

GALVÃO, A. C. F.; MAGALHÃES, A. R.; MARTINS, E. S. P. R. Cenários de Mudanças Para Estudos de Adaptação so Setor de Recursos hídricos. **Centro de Gestão e Estudos Estratégicos**, 2014.

GAO, B. C. NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote sensing of environment**, v. 58, n. 3, p. 257-266, 1996.

GERLING, C. *et al.* **Manual de ecossistemas marinhos e costeiros para educadores**. Santos: Comunnicar, 2016.

GIANUCA, K. de S.; TAGLIANI, C. R. A. Análise em um sistema de informação geográfica (SIG) das alterações na paisagem em ambientes adjacentes a plantios de pinus no Distrito do Estreito, município de São José do Norte, Brasil. **Revista Da Gestão Costeira Integrada**, v. 12, n. 1, p. 43–55, 2012.

GODINEZ-MADRIGAL, J.; VAN CAUWENBERGH, N.; VAN DER ZAAG, P.. Production of competing water knowledge in the face of water crises: Revisiting the IWRM success story of the Lerma-Chapala Basin, Mexico. **Geoforum**, v. 103, p. 3-15, 2019.

GOYA, Y. **Análise da Evolução da Malha Urbana Utilizando Técnicas de Sensoriamento Remoto**. 1999. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 1999.

GRUBER, N. L. S.; BARBOZA, E. G.; NICOLODI, J. L. Geografia dos sistemas costeiros e oceanográficos: subsídios para gestão integrada da zona costeira. **Gravel**, v. 1, 81–89. 2003.

GUO, M. *et al.* A review of wetland remote sensing. **Sensors**, v. 17, n. 4, p. 777, 2017.

HÅKANSON, L. On lake bottom dynamics - the energy - topography factor. **Canadian Journal of Earth Sciences**, v. 18, n. 5, p. 899-909, 1981.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. de. **Abastecimento de água para consumo humano**. Minas Gerais:UFMG, 2010.

HIRATA, R.; ZOBY, J. L. G.; OLIVEIRA, F. R. de. Água subterrânea: reserva estratégica ou emergencial. **Águas do Brasil: análises estratégicas**, 2010.

HOBOLD, P. **História de Araranguá**: reminiscências desde os primórdios até o ano de 1930. Porto Alegre: Palmarinca/EST, 1994.

HOLANDA, S. B. de. **Caminhos e fronteiras**. São Paulo: Companhia das Letras, 1994.

HORN FILHO, N. H. Setorização da Província Costeira de Santa Catarina em base aos aspectos geológicos, geomorfológicos e geográficos. **Geosul**, v. 18, n. 35, p. 71-98, 2003.

HUGHES, D. A. Facing a future water resources management crisis in sub-Saharan Africa. **Journal of hydrology: Regional studies**, v. 23, p. 100600, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOLOGIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Sinopse do Censo 2010**: Domicílios Particulares e Coletivos. Rio de Janeiro, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOLOGIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Consumo Per capita de água**. Rio de Janeiro, 2017.

IPAT, I. de P. A. e T. **Estudo Técnico Socioambiental e Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica de Balneário Gaivota**. , 2021. E-book.

JACKSON, S.; HEAD, L. Australia's mass fish kills as a crisis of modern water: Understanding hydrosocial change in the Murray-Darling Basin. **Geoforum**, v. 109, p. 44-56, 2020.

JACOBI, P. Meio ambiente e sustentabilidade. **Desafio e Meio Ambiente**. p. 175-183, 1999.

JARDIM, C. H.. A " crise hídrica" no sudeste do Brasil: aspectos climáticos e repercussões ambientais. **Revista Tamoios**, v. 11, n. 2, 2015.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: Parêntese Editora, 2009.

JOHANNES, R. E. The ecological significance of the submarine discharge of groundwater. **Marine Ecology Progress Series**, p. 365-373, 1980.

JUST, J. P. G. *et al.* Bird diversity and conservation in the southern coast of Santa Catarina state, Brazil. **Papéis Avulsos de Zoologia**, v. 58, 2018.

KLEIN, A. H. F. *et al.* **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006.

KLEIN, A. S.; CITADINI-ZANETTE, V.; SANTOS, R. Florística e estrutura comunitária de

restinga herbácea no município de Araranguá, Santa Catarina. **Biotemas**, v. 20, n. 3, p. 15-26, 2007.

KRUEGER, C. P. Integração do GPS e da Ecobatimetria. **Bulletin of Geodetic Sciences**, v. 5, n. 1, 1999.

LADWIG, N. I. *et al.* A dinâmica espacial do estuário do rio Araranguá, litoral sul de Santa Catarina, Brasil. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 506-518, 2021.

LADWIG, I. N.; PEREIRA, J. R.; GERBER, R. **Ortomosaico obtido com uso de aeronave remotamente pilotada - RPA**. p. 1–14, 2021.

LANZER, R. M.; CASTRO RAMOS, B. V. de; MARCHETT, C. A. Impactos ambientais do turismo em lagoas costeiras do Rio Grande do Sul. **Caderno Virtual de Turismo**, v. 13, n. 1, p. 134-149, 2013.

LEE, D. R. A device for measuring seepage flux in lakes and estuaries 1. **Limnology and Oceanography**, v. 22, n. 1, p. 140-147, 1977.

LIU, J.; LIU, Q.; YANG, H. Assessing water scarcity by simultaneously considering environmental flow requirements, water quantity, and water quality. **Ecological indicators**, v. 60, p. 434-441, 2016.

LOPES, A. R. S. **A Lagoa do Sombrio corre que desaparece: uma história ambiental da degradação e o atual debate sobre a preservação da Lagoa de Sombrio**. 2011. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em História) – Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2011.

LOPES, A. R. S.; NODARI, E. S. "O que é da natureza não se mexe": memória e degradação ambiental na Lagoa de Sombrio" (1960-2010). **História Oral**, v. 15, n. 1, 2012.

LOPES, E. B.; RUIZ, T. C. D.; ANJOS, F. A. dos. A ocupação urbana no Litoral Norte do Rio Grande do Sul, Brasil, e suas implicações no turismo de segunda residência. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 10, p. 426-441, 2018.

LUZ, C. C. da; ANTUNES, A. F. B.; RATTON, P. Aplicabilidade da tecnologia vant na atualização de bases de dados cartográficos. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 73, n. 1, 2017.

MAPBIOMAS **MapBiomas general "handbook" - Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD)**. Mapbiomas, 2020.

MARCHETT, C. A. **Caracterização morfológica das lagoas de Osório, norte da planície costeira do Rio Grande do Sul**. (Mestrado Profissional em Engenharia e Ciências Ambientais) – Universidade de Caxias do Sul, Rio Grande do Sul, 2017.

MARCON, L.; ZOCHE, J. J.; LADWIG, N. I. A expansão urbana da cidade de Araranguá, Santa Catarina, no período de 1957 a 2010 e suas implicações ambientais. **Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)**, n. 43, p. 32-48, 2017.

MARINHO, C. C.; FONSECA, A. L. dos S.; ESTEVES, F. de A. Impactos antrópicos nas lagoas costeiras do norte do estado do Rio de Janeiro: uma revisão sobre a eutrofização artificial e gases de efeito estufa. **Revista Brasileira de Pós-Graduação**, v. 13, n. 32, 10 mar. 2017.

MAROTTA, G. S. *et al.* Avaliação posicional de um modelo digital de superfície derivado de câmera de pequeno formato. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 67, n. 7, p. 1467-1477, 2015.

MARTINELLI, M.; GRAÇA, A. J. S. Cartografia temática: Uma breve História repleta de inovações. **Revista Brasileira de Cartografia**, p. 913–928, 2015.

MARTINHO, C. T. **Morfodinâmica e Evolução de Campos de Dunas Transgressivos Quaternários do Litoral do Rio Grande do Sul**. 2008. Tese. (Programa de Pós-Graduação em Geociências.) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul., Rio Grande do Sul, 2008.

MARTINHO, C. T.; HESP, P. A.; DILLENBURG, S. R. Morphological and temporal variations of transgressive dunefields of the northern and mid-littoral Rio Grande do Sul coast, Southern Brazil. **Geomorphology**, v. 117, n. 1-2, p. 14-32, 2010.

MARTINS, R. *et al.* Estrutura de uma floresta brejosa em substrato turfoso, sul de Santa Catarina, Brasil. **Revista Árvore**, v. 37, p. 299-309, 2013.

MATEUS, A. P. **Geologia e Paleogeografia do Sistema Depositional Laguna-barreira IV na Região das Universidade Federal de Santa Catarina**. 2017. Dissertação. (Programa de Pós-Graduação em Geografia) – Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2017.

MCFEETERS, S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. **International journal of remote sensing**, v. 17, n. 7, p. 1425-1432, 1996.

MENEGUETTE, A. A. C. **Introdução à Cartografia Temática**. São Paulo: Unesp, 2003.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de. **Introdução ao Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. UNESP, 2012.

MENEZES, S. J. M. *et al.* Geotecnologias aplicadas à gestão ambiental. **Revista Diversidade e Gestão**, v. 1, n. 1, p. 57-69, 2017.

MENG, Z. *et al.* Crisis of Water Resources on the Ulan Buh Desert Oases, Inner Mongolia, China-A Case Study of Dengkou County. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 12, n. 8, p. 1409-1413, 2013.

MORAES, A. C. R.. **Contribuições para a gestão da zona costeira do Brasil**: elementos para uma geografia do litoral brasileiro. São Paulo: Annablume, 2007.

MORAES, E. C. de. **Fundamentos De Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos: Inpe. 2002.

MOURA, A. C. M.. Escolhas Conscientes em Tecnologias de Geoinformação para Representação, Análise, Simulação e Proposição para um Território: Suporte ao Geodesign. in: SUTIL *et al.* **Geoprocessamento na análise ambiental**. Santa Catarina: UNESC, 2020.

MUDAT, J.E.; *et al.* Geologia e geomorfologia costeira da folha sombrio, SC. In: VI SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 48., 2006, Santa Catarina. **Resumo Expandido**. Santa Catarina, p. 1-13.

MULLER, M. *et al.* Built infrastructure is essential. **Science**, v. 349, n. 6248, p. 585-586, 2015.

NOGUEIRA, V.; WESLEY, A.; DOS SANTOS, C. O.; GÜNTZEL, A. M. Sensoriamento Remoto na Elaboração de Diagnóstico Ambiental no Contexto de Microbacias Hidrográficas: Córrego Ribeirão do Veado (Coxim, MS). **Anuario do Instituto de Geociencias**, v. 43, n. 3, p. 170-179, 2020.

NOURI, H. *et al.* Water scarcity alleviation through water footprint reduction in agriculture: the effect of soil mulching and drip irrigation. **Science of the total environment**, v. 653, p. 241-252, 2019.

NYQUIST, J. E.; HEANEY, M. J.; TORAN, L. Characterizing lakebed seepage and geologic heterogeneity using resistivity imaging and temperature measurements. **Near Surface Geophysics**, v. 7, n. 5-6, p. 487-498, 2009.

OLIVEIRA, T. H. de *et al.* Índice de umidade (NDWI) e análise espaço-temporal do albedo da superfície da bacia hidrográfica do rio Moxotó-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 3, n. 2, p. 55-69, 2010.

OLIVEIRA, I. R. de *et al.* Análise físico-morfométrica e socioeconômica da Bacia Hidrográfica do Rio Cedro/SC. In: LADWIG, N. I.; CAMPOS, J. B. (org.). **Planejamento e gestão territorial: o papel e os instrumentos do planejamento territorial na interface entre o urbano e o rural**. Criciúma (SC): UNESC, 2019. p. 323-352.

ONU. **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. 2015. Disponível em: [http://www.un.org/ga/search/view\\_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E](http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E)

PARALTA, E. A. *et al.* Avaliação da recarga do sistema aquífero dos Gabros de Beja segundo critérios múltiplos – disponibilidades hídricas e implicações agro-ambientais. In: 6<sup>o</sup> SILUSBA –SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA, 2003 , Cabo Verde, **Resumo Expandido**. Cabo Verde, 2003, p.501-516.

PAZ, V. P. da S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C.. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, p. 465-473, 2000.

PEKEL, J. F. *et al.* High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. **Nature**, v. 540, n. 7633, p. 418-422, 2016.

PEREIRA, G. de S. *et al.* Ecologia histórica guarani: as plantas utilizadas no bioma Mata

Atlântica do litoral sul de Santa Catarina, Brasil (parte 1). **Cadernos do LEPAARQ (UFPEL)**, v. 13, n. 26, p. 197-246, 2016.

PEREIRA, G. H. de A.; LOHMANN, M.; MAGANHOTTO, R. F. Proposta e avaliação de índices para delimitar e mapear corpos d'água utilizando imagens do satélite LANDSAT 8. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 06, p. 1956-1968, 2016.

PEREIRA, R. M. F. do A. Formação sócio-espacial do litoral de Santa Catarina (Brasil): gênese e transformações recentes. **Geosul**, v. 18, n. 35, p. 99-129, 2003.

PINTO, E. J. de A. *et al.* Estimativa da recarga natural do aquífero livre de uma sub-bacia da bacia representativa de Juatuba (MG) aplicando o método da variação dos níveis d'água (VNA). **CPRM-Atlas de Abastecimento Urbano**, p. 1-19, 2010.

POLETTE, M. *et al.* **Praias: Princípios e Diretrizes para Gestão**. 2022

PORCHER, L. C. F. *et al.* Percepção dos moradores sobre os impactos ambientais e as mudanças na pesca em uma lagoa costeira do litoral sul do Brasil. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 36, n. 1, p. 61-72, 2010.

REITZ, R. **Paróquia de Sombrio: ensaio de uma monografia paroquial**. Brusque: Azambuja, 1948.

RIBEIRO, H. J. *et al.* Sensoriamento remoto em ecologia da paisagem: estado da arte. **Geociências**, v. 38, n. 1, p. 257-267, 2019.

ROCHA, C. M. **Adveção de Águas Subterrâneas para Lagoas Costeiras do Litoral Norte do RS, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Física, Química e Geológica) – Instituto de Oceanografia. Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2014.

ROCHA, C. M. da.; ANDRADE, C. F. F. de; NIENCHESKI, L. F. H.. Descarga de água subterrânea para as lagoas costeiras do litoral norte do RS, Brasil. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 19, n. 2, p. 76-84, 2015.

RODRIGUES, M. T. *et al.* Levantamento topográfico por meio de veículo aéreo não tripulado (Vant). **Energia na Agricultura**, v. 33, n. 4, p. 367-372, 2018.

RODRIGUES, T. W. P. *et al.* Delineamento amostral em reservatórios utilizando imagens Landsat-8/OLI: um estudo de caso no reservatório de Nova Avanhandava (estado de São Paulo, Brasil). **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 22, p. 303-323, 2016.

ROSA, M. L. C. da C. *et al.* High-Frequency Sequences in the Quaternary of Pelotas Basin (coastal plain): a record of degradational stacking as a function of longer-term base-level fall. **Brazilian Journal of Geology**, v. 47, p. 183-207, 2017.

ROSENFELDT, Y. A. Z.; LOCH, C. Uso de imagens multitemporais para o planejamento urbano e caracterização de áreas irregulares. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 65, n. 6, p. 1153-1166, 2013.

ROSSO, J. C. **Avaliação do Consumo de Água em Lavoura de Arroz Irrigado no Sistema Pré-Germinado nas Condições Climáticas do Sul**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação

em Ciências Ambientais) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Santa Catarina, 2007.

SAITO, C. H. Global Water Partnership e as ideias-chave em sua nova estratégia global 2020-2025. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 16, n. 2019, 2020.

SANN, J. G. O papel da cartografia temática nas pesquisas ambientais. **Revista do Departamento de geografia**, v. 16, p. 61-69, 2005.

SANTA CATARINA. **Decreto nº 3.077**, de 20 de abril de 2005. Institui a comissão Estadual para o Desenvolvimento do Projeto Orla. Disponível em: <https://leisestaduais.com.br/sc/decreto-n-3077-2005-santa-catarina-institui-a-comissao-estadual-para-o-desenvolvimento-do-projeto-orla>

SANTA CATARINA (Estado). Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável. **Plano estadual de recursos hídricos de Santa Catarina - PERH/SC**. Santa Catarina: Prognóstico das demandas hídricas de Santa Catarina, 2017.

SANTA CATARINA (Estado). Secretaria de estado de planejamento. **Revisão Do Plano De Gestão Da Zona Costeira Setor 03**: litoral central. Santa Catarina: Diretoria de desenvolvimento de cidades, 2013.

SANTA CATARINA. **Lei n. 10.054**, de 29 de dezembro de 1995. Cria o Município de Balneário Gaivota, e adota outras providências. Disponível em: [http://leis.alesc.sc.gov.br/html/1995/10054\\_1995\\_Lei.html](http://leis.alesc.sc.gov.br/html/1995/10054_1995_Lei.html).

SANTA CATARINA. **Lei n. 13.553**, de 16 de novembro de 2005. Intitui o Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro, 3. Disponível em: <https://leisestaduais.com.br/sc/lei-ordinaria-n-13553-2005-santa-catarina-institui-o-plano-estadual-de-gerenciamento-costeiro>.

SANTA CATARINA. **Lei n. 10.949**, de 09 de novembro de 1998, dispõe sobre a caracterização do Estado em 10 (dez) Regiões Hidrográficas. Disponível em: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/https://www.aguas.sc.gov.br/jsmallfib\\_top/DHRI/Legislacao/Lei-Estadual-10949-1998.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/https://www.aguas.sc.gov.br/jsmallfib_top/DHRI/Legislacao/Lei-Estadual-10949-1998.pdf).

SANTA CATARINA. **Lei n. 14.675**, de 13 de abril de 2009. Institui o Código Estadual do Meio Ambiente e estabelece outras providências. Disponível em: [http://leis.alesc.sc.gov.br/html/2009/14675\\_2009\\_Lei.html#:~:text=Institui%20o%20C%C3%B3digo%20Estadual%20do%20Meio%20Ambiente%20e%20estabelece%20outras%20provid%C3%Aancias.&text=das%20DISPOSI%C3%87%C3%95ES%20GERAIS-,Art.,qualidade%20ambiental%20no%20seu%20territ%C3%B3rio](http://leis.alesc.sc.gov.br/html/2009/14675_2009_Lei.html#:~:text=Institui%20o%20C%C3%B3digo%20Estadual%20do%20Meio%20Ambiente%20e%20estabelece%20outras%20provid%C3%Aancias.&text=das%20DISPOSI%C3%87%C3%95ES%20GERAIS-,Art.,qualidade%20ambiental%20no%20seu%20territ%C3%B3rio).

SANTINHOS, A. J.; MARTINHO, A. P.; CAEIRO, S. Perceção das populações locais face à sustentabilidade dos serviços das zonas costeiras: o caso da Lagoa de Santo André, Portugal. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 14, n. 3, p. 413-427, 2014.

SANTOS, S. M.; SOUZA, W. V. **Capacitação e Atualização em Geoprocessamento em Saúde**. 2007.

SANTOS, I. *et al.* **Hidrometria aplicada**. Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 2001.

SCHÄFER, A. E. *et al.* Morphological characterization of eighteen lakes of the north and middle coast of Rio Grande do Sul, Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 26, p. 199-214, 2014.

SCHÄFER, A.; PEREIRA, R.; LANZER, R. Atlas **Socioambiental Dos Municípios de Mostardas, Tavares, São José do Norte e Santa Vitoria do Palmar**. 1 ed. Caxias do Sul: Editora da Universidade de Caxias do Sul, 2009.

SCHEIBE, L. F.; PELEGRIN, J. **Qualidade Ambiental de Municípios de Santa Catarina: O Município de Sombrio**. Santa Catarina: Ioesc, 1997.

SCHWALM, H.; COSTA, P. R.; BACK, Á. J. Modelagem Topobatimétrica com a utilização de software topograph. In: XVIII SIMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2009, Campo Grande, **Resumo Expandido**. Campo Grande, 2009. p.1-17.

SCHWARZBOLD, A.; SCHÄFER, A. Gênese e morfologia das lagoas costeiras do Rio Grande do Sul-Brasil. **Amazoniana: Limnologia et Oecologia Regionalis Systematis Fluminis Amazonas**, v. 9, n. 1, p. 87-104, 1984.

SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto**. Brasil, 2019.

SERPA, C. G. *et al.* Gerenciamento de áreas úmidas relacionadas à presença de sangradouros na zona de transição entre praia-dunas e planície costeira. In: III CONGRESSO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA, 2008, Fortaleza, **Resumo Expandido**. Fortaleza, 2008.

SEYFERTH, G. Memória coletiva, identidade e colonização: representações da diferença cultural no Sul do Brasil. **MÉTIS: história & cultura**, v. 11, n. 22, p. 13-39, 2012.

SILVA, A. B. O. **A Herança Geológica, a Geomorfologia e a Estratigrafia da Barreira Complexa de Passo de Torres, Planície Costeira Sul-Catarinense**. 2015. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2015.

SILVA, C.; ALBERTO, J. G.; BASTOS, L. Uso de dados VANT na vetorização de rodovias. In: I Jornadas Lusófonas de Ciências e Tecnologia de Informação Geográfica, 2015, Coimbra, **Resumo Expandido**. Portugal, 2015. p. 787-788.

SILVA, C. A. da *et al.* Avaliação da acurácia do cálculo de volume de pilhas de rejeito utilizando VANT, GNSS e LiDAR. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 22, p. 73-94, 2016.

SILVA, C. H. R. T. Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável no Brasil. **Boletim do Legislativo**, n. 23, p. 9, 2012.

SILVEIRA, P. V. **Paisagem e Cultura Materia: A Ocupação Histórica nas Margens da Lagoa do Sombrio/SC**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Santa Catarina, 2020.

SIMON, F. W. *et al.* Estimativa de recarga do Sistema Aquífero Guarani por meio da aplicação

do método da variação da superfície livre na bacia do Rio Ibicuí-RS. **Águas Subterrâneas**, v. 31, n. 2, p. 12-29, 2017.

SINGH, K. V. *et al.* Evaluation of NDWI and MNDWI for assessment of waterlogging by integrating digital elevation model and groundwater level. **Geocarto International**, v. 30, n. 6, p. 650-661, 2015.

SISTO, N. P. *et al.* Climate threats, water supply vulnerability and the risk of a water crisis in the Monterrey Metropolitan Area (Northeastern Mexico). **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 91, p. 2-9, 2016.

SOARES FILHO, B. S. **Cartografia Assistida por Computador**. Minas Gerais: Universidade Federal de Minas Gerais, 2000.

SPERLING, M. V. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. Minas Gerais: DESA/UFMG, 2007.

SPERLING, M. V. **Estudos e Modelagens da Qualidade da Água em Rios**. 2014.

SPERLING, M. V. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 4ª ed. Minas Gerais: UFMG, 2018.

SWEDEN, B. R. **Cartografia**. 2014.

TOMAZELLI, L. J.; DILLENBURG, S. R.; VILLWOCK, J. A. Late Quaternary geological history of Rio Grande do Sul coastal plain, southern Brazil. **Brazilian Journal of Geology**, v. 30, n. 3, p. 474-476, 2000.

TOMAZELLI, L. J.; VILLWOCK, J. A. Mapeamento geológico de planícies costeiras: o exemplo da costa do Rio Grande do Sul. **Gravel**, v. 3, n. 1, p. 110-115, 2005.

TOMAZELLI, L.; VILLWOCK, J.. Geologia do sistema lagunar holocênico do litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, v. 18, n. 1, p. 13-24, 1991.

TOMAZELLI, L.; VILLWOCK, J. Considerações sobre o ambiente praial e a deriva litorânea de sedimentos ao longo do litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, v. 19, n. 1, p. 3-12, 1992.

TRAVESSAS, F. de A.; DILLENBURG, S. R.; CLEROT, L. C. P. Estratigrafia e evolução da barreira holocênica do Rio Grande do Sul no trecho Tramandaí-Cidreira. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 57, p. 57-73, 2005.

TROIAN, G. C. **Compartimentação Hidroestratigráfica do Sistema Aquífero Costeiro no Estado do Rio Grande do Sul**. Tese (Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2021.

TROIAN, G. C. *et al.* Estimativa De Recarga Pelo Método Water Table Fluctuation (Wtf) Na Porção Norte Do Aquífero Costeiro Do Estado Do Rio Grande Do Sul. In: XXII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2017, Rio Grande do Sul, **Resumo Expandido**.

Rio Grande do Sul, 2017. p.1-8.

TUNDISI, J. G.. Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. **Ciência e Cultura**, v. 55, n. 4, p. 31-33, 2003.

TUNDISI, José Galizia. Novas perspectivas para a gestão de recursos hídricos. **Revista USP**, n. 70, p. 24-35, 2006.

TUNDISI, J. G. Water resources in the future: problems and solutions. **Estudos avançados**, v. 22, p. 7-16, 2008.

US GEOLOGICAL SURVEY **Landsat 8 Data Users Handbook**. Nasa. Estados Unidos, 2016.

UN-WATER. **Un-water sdg 6 public dialogue report: Clean Water and Sanitation**. 2018.

UNESCO. **Water: a shared responsibility**. Paris: Berghahn Books, 2006.

VASCONCELOS, N. Impactos da crise hídrica 2014-2016 sobre os usuários dos rios Paraíba do Sul e Guandu. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 16, n. 2019, 2019.

VILLWOCK, JORGE ALBERTO. Geology of the Coastal Province of Rio Grande do Sul, Southern Brazil. A Synthesis. **Pesquisas em Geociências**, v. 16, n. 16, p. 45-49, 1984.

VILLWOCK, J. A.; TOMAZELLI, L. J. **Planície Costeira do Rio Grande do Sul: gênese e paisagem atual**. 1ª ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente/SBF, 2007.

WAECHER, J. L.; JARENKOW, J. A. Composição e estrutura do componente arbóreo nas matas turfosas do Taim, Rio Grande do Sul. **Biotemas**. v. 11, n.1, p.45-69, 1998.

WOODCOCK, C. E. *et al.* Free access to Landsat imagery. **Science**, v. 320, p. 1011-1012, 2008.

XU, H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. **International journal of remote sensing**, v. 27, n. 14, p. 3025-3033, 2006.

ZANETTI, J.; BRAGA, F. L. S.; SANTOS, A. de P. dos Comparativo das normas de controle de qualidade posicional de produtos cartográficos do Brasil, da ASPRS e da OTAN. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 70, n. 1, p. 359-390, 2018.