



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

Josiane Rovedder

**Unidade Integrada vis-à-vis Expressão Integrada:
modelagem de uma Bacia Hidrográfica para a sua Gestão**

Florianópolis
2025

Josiane Rovedder

**Unidade Integrada vis-à-vis Expressão Integrada:
modelagem de uma Bacia Hidrográfica para a sua Gestão**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Desenvolvimento Regional e Urbano.

Orientador: Prof. Milton Lafourcade Asmus, Dr.
Coorientadora : Prof. Tatiana Silva da Silva , Dra.

Florianópolis

2025

Rovedder, Josiane

Unidade Integrada vis-à-vis Expressão Integrada: :
modelagem de uma Bacia Hidrográfica para a sua Gestão /
Josiane Rovedder ; orientadora, Milton Asmus,
coorientadora, Tatiana Silva, 2025.

134 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Programa
de Pós-Graduação em Geografia, Florianópolis, 2025.

Inclui referências.

1. Geografia. 2. gestão ecossistêmica. 3. serviços
ecossistêmicos. 4. Habitat Risk Assessment. 5. bacia
hidrográfica. I. Asmus, Milton. II. Silva, Tatiana. III.
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-
Graduação em Geografia. IV. Título.

Josiane Rovedder

**Unidade Integrada vis-à-vis Expressão Integrada: modelagem de uma Bacia
Hidrográfica para a sua Gestão.**

O presente trabalho em nível de Doutorado foi avaliado e aprovado, em 24 de Julho de 2025, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Régis Pinto de Lima, Dr.

Instituição Instituto Mendes de conservação da Biodiversidade - ICMBio

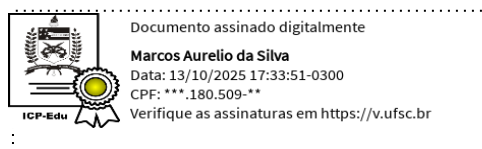
Profa. Marinez Eymael Garcia Scherer, Dra.

Instituição Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

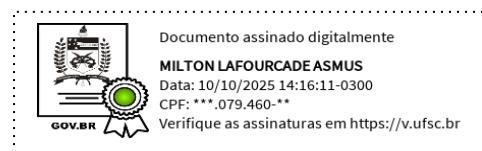
Profa. Julia Nyland do Amaral Ribeiro, Dra.

Instituição Universidade Federal do Rio Grande - FURG

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Doutora em Geografia.



Coordenação do Programa de Pós-Graduação



Prof. Milton Lafourcade Asmus, Dr.

Orientador

Florianópolis, 2025.

Dedico aos meus maiores amores, Mathias e Cecília.

AGRADECIMENTOS

A caminhada até aqui não foi solitária, e sou profundamente grata a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização desta tese.

Agradeço, primeiramente, à minha família, por acreditar em mim em todos os momentos e por ser meu porto seguro mesmo nas fases mais difíceis. Ao meu orientador, professor Milton Asmus, deixo meu sincero agradecimento pela paciência, orientação generosa e por compartilhar comigo seu vasto conhecimento e experiência. Sua confiança foi fundamental para que eu acreditasse no caminho que escolhi. À professora e minha co-orientadora Tatiana Silva, agradeço pela parceria, apoio técnico constante (com aquela objetividade de quem sabe muito) e também pela pressão amiga.

Agradeço à empresa de consultoria ambiental Acquaplan, em especial ao meu sócio Fernando Diehl, por ser um espaço de constante aprendizado e troca de experiências que enriqueceram significativamente meu percurso profissional e acadêmico. Há 15 anos tenho a oportunidade de vivenciar desafios reais da gestão ambiental, aplicar conhecimentos técnicos no campo e compreender, na prática, a complexidade dos sistemas socioambientais costeiros — experiências que contribuíram fundamentalmente para a construção desta tese.

Ao Grupo Gestão Marinha e Costeira Ecossistêmica (GMC-Eco), meu muito obrigada pelas discussões intensas e construtivas, que tanto ampliaram minha compreensão sobre gestão territorial e marinha. Agradeço à professora Marinez Scherer, por me possibilitar integrar o grupo de pesquisa do Laboratório de Gestão Costeira Integrada (LAGECI/UFSC), onde tive acesso aos fundamentos que me permitiram aprofundar nos conceitos de sistemas e serviços ecossistêmicos.

Registro também meu agradecimento especial à banca de qualificação da tese, composta pelos professores João Nicolodi, Daniel Conde e Régis Pinto, cujas contribuições técnicas e críticas construtivas foram decisivas para que eu pudesse alinhar o rumo técnico-científico desta pesquisa até sua conclusão.

Por fim, agradeço aos meus amigos e colegas de trabalho, pelo incentivo, pelas conversas e pela força nos momentos em que pensei em desistir, em especial a amiga Julia Nyland, que tem uma participação muito especial nessa jornada me ajudando tecnicamente e me incentivando até o fim. Sem vocês, este caminho teria sido bem mais difícil.

RESUMO

Esta Tese de Doutorado propõe um modelo metodológico de base ecossistêmica aplicado à gestão de bacias hidrográficas costeiras, tendo como estudo de caso a Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú (BHRC), em Santa Catarina. A pesquisa adotou uma abordagem sistêmica e integrada, iniciando pela análise histórica do uso e ocupação do solo entre 1957 e 2019, com base em imagens de satélite e fotografias aéreas. Foram identificados e caracterizados 16 sistemas ambientais terrestres e aquáticos, aos quais se associaram os serviços ecossistêmicos fornecidos, seus usos e beneficiários. Em seguida, utilizando o modelo Habitat Risk Assessment (InVEST), foi avaliado o risco de perda desses sistemas frente a sete estressores antrópicos, evidenciando os habitats mais vulneráveis. Com base nesses resultados, foi desenvolvido o Índice de Criticidade de Gestão (ICGest), que integra risco, pressão e relevância ecológica e socioeconômica como ferramenta de apoio à priorização de ações e tomada de decisão. A partir desse índice, foram propostas ações de gestão com base ecossistêmica, distribuídas entre medidas de prevenção, mitigação, recuperação e compensação. Por fim, foi elaborado um modelo conceitual sistêmico da bacia, representando graficamente a interação entre os subsistemas ecológico, socioeconômico e de gestão e política. O estudo oferece uma abordagem replicável para subsidiar políticas públicas e estratégias de gestão em outras bacias hidrográficas costeiras do Brasil, promovendo o uso sustentável dos serviços ecossistêmicos e a articulação entre conservação ambiental e desenvolvimento territorial.

Palavras-chave: gestão ecossistêmica; bacia hidrográfica costeira; serviços ecossistêmicos; sistemas ambientais; Habitat Risk Assessment; Índice de Criticidade de Gestão; sustentabilidade socioambiental.

ABSTRACT

This doctoral thesis proposes a methodological framework for ecosystem-based management applied to coastal watersheds, using the Camboriú River Watershed (BHRC), in Santa Catarina, Brazil, as a case study. The research adopted a systemic and integrated approach, beginning with a historical analysis of land use and land cover between 1957 and 2019, based on satellite imagery and aerial photographs. Sixteen terrestrial and aquatic environmental systems were identified and characterized, along with their associated ecosystem services, uses, and beneficiaries. Subsequently, the Habitat Risk Assessment model (InVEST) was applied to evaluate the risk of ecosystem loss under seven anthropogenic stressors, highlighting the most vulnerable habitats. Based on these results, the Management Criticality Index (ICGest) was developed, integrating risk, pressure, and ecological and socioeconomic relevance as a tool to support action prioritization and decision-making. From this index, ecosystem-based management actions were proposed, categorized into prevention, mitigation, restoration, and compensation measures. Finally, a systemic conceptual model of the watershed was developed, graphically representing the interaction among the ecological, socioeconomic, and governance subsystems. The study offers a replicable approach to support public policies and management strategies in other coastal watersheds in Brazil, promoting the sustainable use of ecosystem services and the integration of environmental conservation with territorial development.

Keywords: ecosystem-based management; coastal watershed; ecosystem services; environmental systems; Habitat Risk Assessment; Management Criticality Index; socio-environmental sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização e delimitação da área de estudo, Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú e área marinha adjacente.....	22
Figura 2 - Localização do rio Camboriú, que dá o nome à bacia, e seus principais afluentes.....	23
Figura 3 - Localização das praias de Balneário Camboriú.	24
Figura 4 - Fluxograma ilustrando a sequência metodológica aplicada na presente Tese de Doutorado.....	36
Figura 5 - Representação cartográfica da série histórica dos diferentes tipos de uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú, Santa Catarina.	47
Figura 6 - Gráfico comparativo da evolução do uso do solo na BHRC entre os anos de 1957 e 2019.....	48
Figura 7 - Gráfico comparativo das perdas e ganhos em km ² referentes ao uso e ocupação do solo na BHRC entre os anos de 1978 e 1991.....	48
Figura 8 - Gráfico comparativo das perdas e ganhos em km ² referentes ao uso e ocupação do solo na BHRC entre os anos de 1991 e 2002.....	49
Figura 9 - Gráfico comparativo das perdas e ganhos em km ² referente ao uso e ocupação do solo na BHRC entre os anos de 2002 e 2010.....	49
Figura 10 - Gráfico comparativo das perdas e ganhos em km ² referente ao uso e ocupação do solo na BHRC entre os anos de 2010 e 2019.....	49
Figura 11 - Sistema Ambiental Urbano da Bacia Hidrográfica do rio Camboriú.....	55
Figura 12 - Sistema Ambiental Industrial da Bacia Hidrográfica do rio Camboriú.....	58
Figura 13 - Sistema Ambiental Viário Terrestre da Bacia Hidrográfica do rio Camboriú.....	60
Figura 14 - Sistema Ambiental de Silvicultura da Bacia Hidrográfica do rio Camboriú.....	63
Figura 15 - Sistema Ambiental Predominantemente Agrícola da Bacia Hidrográfica do rio Camboriú.....	65
Figura 16 - Sistema Ambiental Predominantemente Pecuário da Bacia Hidrográfica do rio Camboriú.....	67

Figura 17 - Sistema Ambiental Florestal da Bacia Hidrográfica do rio Camboriú.....	69
Figura 18 - Sistema Ambiental Mata Ciliar da Bacia Hidrográfica do rio Camboriú.....	71
Figura 19 - Sistema Ambiental Manguezal da Bacia Hidrográfica do rio Camboriú.....	74
Figura 20 - Sistema Ambiental Nascentes da Bacia Hidrográfica do rio Camboriú.....	76
Figura 21 - Sistema Ambiental de Praias e Dunas Costeiras da Bacia Hidrográfica do rio Camboriú.....	78
Figura 22 - Sistema Ambiental Estuarino da Bacia Hidrográfica do rio Camboriú.....	81
Figura 23 - Sistema Ambiental Aquaviário da Bacia Hidrográfica do rio Camboriú.....	83
Figura 24. Sistema Ambiental Costão Rochoso da Bacia Hidrográfica do rio Camboriú.....	85
Figura 25 - Risco médio por habitat e por estressor na Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú.	91
Figura 26 - Riscos médios para os três habitats mais impactados e por estressor.....	93
Figura 27 - Risco médio por estressor em cada um dos habitats.....	94
Figura 28 - Modelo Conceitual de Gestão Baseada em Ecossistemas de uma Bacia Hidrográfica Costeira.....	109
Figura 29 - Representação da Fonte de Energia no Sistema Ambiental da Bacia Hidrográfica Costeira.....	110
Figura 30 - Representação do Subsistema Ecológico no Sistema Ambiental da Bacia Hidrográfica Costeira.....	116
Figura 31 - Representação do Subsistema Hidrológico no Sistema Ambiental da Bacia Hidrográfica Costeira.....	117
Figura 32 - Representação do Subsistema Geoquímico no Sistema Ambiental da Bacia Hidrográfica Costeira.....	118
Figura 33 - Representação dos Consumidores internos do Subsistema Ecológico.....	119

Figura 34 - Representação dos Consumidores externos do Subsistema Ecológico.....	120
Figura 35 - Representação do Subsistema Socioeconômico.	121
Figura 36 - Representação do Subsistema de Gestão e Política.	123
Figura 37 - Representação dos Interruptores internos do Sistema Ambiental da Bacia Hidrográfica.	125
Figura 38 - Representação dos Interruptores externos do Sistema Ambiental da Bacia Hidrográfica.	126
Figura 39 - Representação das Políticas Públicas e Base Legal externos do Sistema Ambiental da Bacia Hidrográfica.	127
Figura 40 - Representação da Economia externa do Sistema Ambiental da Bacia Hidrográfica.	129

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Critérios da Exposição do sistema ambiental ao estressor antrópico.....	40
Quadro 2 - Critérios de Consequência da exposição ao estressor antrópico.	40
Quadro 3 - Classificação dos serviços ecossistêmicos considerados.	86
Quadro 4 - Serviços ambientais oferecidos por cada sistema ambiental identificado, atividade beneficiada e atores envolvidos.	88
Quadro 5 - Estressores Antrópicos e Sistemas Ambientais.	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Área em km ² das classes de uso e ocupação do solo por ano na Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú, Santa Catarina.	48
Tabela 2 - Sistemas Ambientais da Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú e área marinha adjacente, Santa Catarina.	53
Tabela 3 - Proposição de ações de GBE em bacias hidrográficas costeiras.	99
Tabela 4 - Indicadores de monitoramento da qualidade dos sistemas ambientais da bacia hidrográfica costeira.	104
Tabela 5 - Descrição dos componentes de Fonte de Energia no Sistema Ambiental da Bacia Hidrográfica Costeira.	112

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

APP - Áreas de Preservação Permanente

BHRC - Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú

CDB - Convenção sobre Diversidade Biológica

FOD - Floresta Ombrófila Densa

GBE - Gestão com Base Ecológica

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICGest - Índice de Criticidade de Gestão

NE - Número de Estressores

ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

PE - Peso Ecológico

PNGC - Plano Nacional de Gestão Costeira

PS - Peso Socioeconômico

PSA - Pagamentos por Serviços Ambientais

RCM - Risco Cumulativo Médio

SIG - Sistema de Informações Geográficas

UC - Unidades de Conservação

ZC - ZC

ZEE - Zoneamento Ecológico-Econômico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
2	OBJETIVOS.....	20
2.1	OBJETIVO GERAL	20
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
3	ESTUDO DE CASO.....	21
4	REFERENCIAL TEÓRICO	26
4.1	BACIAS HIDROGRÁFICAS	26
4.1	SISTEMAS AMBIENTAIS	28
4.2	ECOSSISTEMAS E SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS.....	29
4.3	RISCO DE PERDA DE ECOSISTEMAS	30
4.4	GESTÃO COM BASE ECOSISTÊMICA.....	31
4.5	BASE LEGAL LOCAL	32
5	PROCESSO METODOLÓGICO	35
5.1	CLASSIFICAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO.....	36
5.2	DEFINIÇÃO DE SISTEMAS AMBIENTAIS	38
5.3	DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS.....	39
5.4	ANÁLISE DE RISCO À PERDA DOS SISTEMAS AMBIENTAIS.....	40
5.5	PROPOSIÇÃO DE AÇÕES DE GESTÃO COM BASE ECOSISTÊMICA EM BACIAS HIDROGRÁFICAS COSTEIRAS.....	41
5.6	INDICADORES AMBIENTAIS NATURAIS E SOCIOECONÔMICOS	41
5.7	ELABORAÇÃO DE UM MODELO CONCEITUAL SISTÊMICO	42
6	RESULTADOS	45
6.1	ANÁLISE HISTÓRICA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CAMBORIÚ.....	45
6.2	DEFINIÇÃO DOS SISTEMAS AMBIENTAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CAMBORIÚ.....	53
6.2.1	Sistema Ambiental Urbano.....	54
6.2.2	Sistema Ambiental Industrial	56
6.2.3	Sistema Ambiental Viário Terrestre	59
6.2.4	Sistema Ambiental de Silvicultura	61
6.2.5	Sistema Ambiental Predominantemente Agrícola.....	64
6.2.6	Sistema Ambiental Predominantemente Pecuário	66

6.2.7 Sistema Ambiental Florestal	68
6.2.8 Sistema Ambiental Mata Ciliar	70
6.2.9 Sistema Ambiental Manguezal	72
6.2.10 Sistema Ambiental Nascentes	75
6.2.11 Sistema Ambiental de Praia e Dunas Costeiras	77
6.2.12 Sistema Ambiental Estuarino do Rio Camboriú	79
6.2.13 Sistema Ambiental Aquaviário	82
6.2.14 Sistema Ambiental Costão Rochoso	84
6.3 IDENTIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS E DOS SEUS USOS PELAS ATIVIDADES ECONÔMICAS	86
6.4 ANÁLISE DE RISCO DE PERDA DE HABITATS (<i>HABITAT RISK ASSESSMENT</i>).....	90
6.5 ÍNDICE DE CRITICIDADE DE GESTÃO (ICGEST)	95
6.6 PROPOSIÇÃO DE AÇÕES DE GESTÃO COM BASE ECOSSISTÊMICA EM BACIAS HIDROGRÁFICAS COSTEIRAS.....	98
6.6.1 Monitoramento	103
6.7 MODELO CONCEITUAL COMO FERRAMENTA DE GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS	107
6.7.1 Fonte de Energia	110
6.7.2. Subsistemas	114
6.7.2.1 Subsistema Ecológico	114
6.7.2.2 Subsistema Hidrológico.....	116
6.7.2.2 Subsistema Geoquímico	117
6.7.2.3 Consumidores	118
6.7.2.4 Subsistema Socioeconômico	121
6.7.2.5 Subsistema de Gestão e Política	122
6.7.2.6 Interruptores.....	124
6.7.2.7 Políticas Públicas e Base Legal	127
6.7.2.8 Economia	129
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	132
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	134

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o Plano Nacional de Gerenciamento Costeira (PNGC), estabelecido através da Lei N° 7.661 de 16 de maio de 1988, define como ZC (ZC) o espaço geográfico composto por uma franja marítima e uma terrestre, onde ocorre uma interação entre o ar, o mar e a terra (BRASIL, 1988, 2004). A ZC e suas bacias hidrográficas comportam uma região de transição ecológica que contempla um complexo de ecossistemas contínuos importantes para a manutenção da vida terrestre e marinha. Tais ecossistemas interagem funcionalmente por meio de fluxos hidrológicos, sedimentos e substâncias dissolvidas e em suspensão, formando um contínuo fluvial-marinho costeiro (NICOLODI *et al.*, 2009).

Do ponto de vista demográfico, a concentração populacional nas cidades das ZC tem aumentado consideravelmente (CAVIEDES *et al.*, 2020). O Brasil possui uma ZC de aproximadamente 8.500 km de extensão, abrangendo 274 municípios distribuídos em 17 estados (MMA, 2018). Dados do Censo 2022, mostram que 111,28 milhões de pessoas vivem próximo ao litoral brasileiro, em uma faixa de território que inclui domicílios localizados a uma distância máxima de 150 quilômetros da costa. Isso representa 54,8% do total da população em 2022 (203,08 milhões), de acordo com o levantamento do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022). Sendo assim, há muitos anos as zonas costeiras vêm recebendo o efeito direto do crescimento demográfico, ocasionando o aumento na ocupação e multiplicação dos usos, com consequências diretas para seus ecossistemas (SCHERER *et al.*, 2014).

Como consequência dos diferentes tipos de ocupação e uso do território em bacias hidrográficas costeiras, diversos são os efeitos sobre os ecossistemas. A exemplo da perda da integridade e resiliência em função da fragmentação de habitats, incremento de patologias em meio aquático a partir das alterações no balanço de nutrientes e matéria orgânica nas águas costeiras, além do comprometimento do potencial de geração de bens e serviços fornecidos, tais como perda do potencial recreacional e pesqueiro através das modificações na estrutura das comunidades bióticas e mudanças na dinâmica desses ecossistemas costeiros (NICOLODI *et al.*, 2009).

Por se caracterizarem por uma intensa interação entre as atividades humanas e o suporte físico natural, as regiões costeiras se consolidam em autênticos sistemas socioecológicos, expressando cenários dinâmicos e complexos de administrar (MUÑOZ & GARCÍA, 2020). Tais cenários exigem respostas de gestão consistentes e inovadoras a partir do ponto de vista da sustentabilidade (MÓJICA *et al.*, 2018).

De modo geral, as abordagens de planejamento das atividades antrópicas e do uso dos recursos naturais, em modelos clássicos, têm falhado por dissociarem as questões socioeconômicas inerentes aos aspectos ambientais (JUNIOR *et al.*, 2019). Entretanto, a tendência emergente para uma gestão ecossistêmica com base ecossistêmica, vem permitindo uma abordagem progressivamente mais integradora (FILHO *et al.*, 2019).

A base ecossistêmica para a gestão considera, como concepção fundamental, que os sistemas marinhos e costeiros são entendidos como um conjunto de ecossistemas compostos por elementos ecológicos (naturais), econômicos e sociais integrados (ASMUS *et al.*, 2018). Isso difere do sistema tradicional, que define estratégias de gestão para componentes compartimentados, como elementos físicos, biológicos e socioeconômicos, sem uma lógica integradora entre eles.

A gestão com base ecossistêmica nas bacias hidrográficas é uma abordagem integrada que considera os ecossistemas aquáticos e terrestres, bem como as interações entre eles, para promover uma gestão mais sustentável dos recursos hídricos e da biodiversidade (GIANUCA, 2024). Ao adotar essa abordagem, os gestores buscam compreender os processos ecológicos, as relações entre as diferentes espécies e os serviços ecossistêmicos fornecidos pelos ambientes aquáticos e terrestres dentro de uma bacia hidrográfica, considerada como um macro sistema ambiental. Isso envolve a avaliação dos impactos das atividades humanas, como a agricultura, a urbanização e a extração de recursos naturais, sobre os ecossistemas e a implementação de medidas de conservação e manejo sustentável para mitigar esses impactos. Além disso, a gestão com base ecossistêmica nas bacias hidrográficas também considera a participação e o envolvimento das comunidades locais, dos usuários dos recursos hídricos e de

outras partes interessadas na tomada de decisões, objetivando buscar a equidade social, a justiça ambiental e a sustentabilidade a longo prazo dos sistemas aquáticos e terrestres (JACOBI, 2009). Essa abordagem holística e integradora é fundamental para garantir a qualidade da água, a conservação da biodiversidade e o bem-estar das comunidades que dependem de seus recursos hídricos.

Nesse contexto, para esta tese foram realizadas análises em uma área de estudo delimitada por uma Bacia Hidrográfica (BH) costeira. As metodologias aplicadas e os resultados buscaram responder às seguintes perguntas: (1) Como tem se manifestado a pressão das atividades humanas sobre os diferentes sistemas ambientais de uma BH? (2) Qual o modelo conceitual sistêmico possível e adequado para que os municípios costeiros possam utilizá-lo na gestão integrada, levando em consideração o funcionamento dos sistemas ambientais da BH?

Portanto, a hipótese do trabalho na qual esta pesquisa se baseia é a seguinte: BH costeiras se constituem de sistemas ambientais costeiros e marinhos onde mudanças importantes têm sido provocadas pelas diferentes políticas públicas. Essas têm respondido principalmente a demandas de desenvolvimento urbano-turístico, e têm ignorado os impactos negativos sobre os principais serviços ecossistêmicos. Ou seja, os modelos de gestão dos municípios costeiros caracteristicamente não levam em consideração o risco de perda dos serviços fornecidos pelos sistemas ambientais. Consequentemente, é possível supor que uma metodologia de base ecossistêmica aplicada pelos gestores públicos municipais, configurar-se-ia como o caminho processual indicado para a preservação e resiliência dos serviços ecossistêmicos das BH costeiras em que estão inseridos.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver e aplicar um procedimento metodológico sistêmico e integrado para subsidiar a gestão ambiental de bacias hidrográficas costeiras com base ecossistêmica, articulando o reconhecimento dos sistemas ambientais e dos serviços ecossistêmicos à avaliação de riscos e à proposição de ações de prevenção, mitigação, recuperação e compensação, por meio da construção de um modelo conceitual e de ferramentas de apoio à tomada de decisão.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

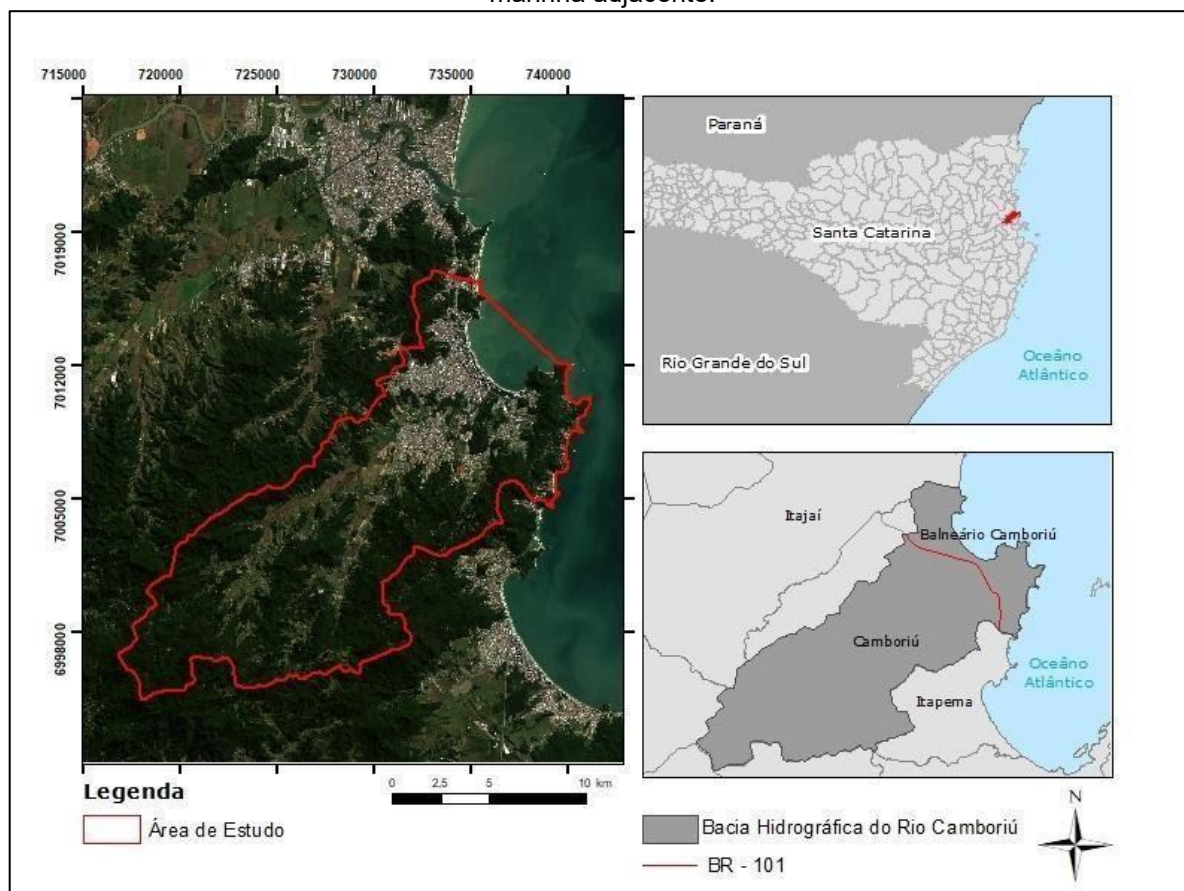
- a) Analisar o histórico de uso e ocupação do solo de uma BH costeira e suas implicações sobre a integridade ambiental e a configuração dos sistemas ambientais.
- b) Identificar, classificar e caracterizar os sistemas ambientais presentes na BH do Rio Camboriú, incluindo os componentes terrestres, aquáticos e a área marinha adjacente.
- c) Relacionar os serviços ecossistêmicos fornecidos pelos sistemas ambientais aos usos e atividades humanas, destacando os principais beneficiários e os impactos decorrentes.
- d) Avaliar o risco de perda de sistemas ambientais frente a estressores antrópicos, utilizando modelos de análise espacial e indicadores técnicos.
- e) Desenvolver o Índice de Criticidade de Gestão (ICGest) como ferramenta de apoio à priorização de áreas e sistemas ambientais para ação estratégica.
- f) Propor ações de gestão ambiental com base ecossistêmica, organizadas nos eixos de prevenção, mitigação, recuperação e compensação, visando orientar a formulação de políticas públicas em bacias hidrográficas costeiras.
- g) Construir um modelo conceitual sistêmico de gestão com base ecossistêmica que represente os fluxos de energia, matéria e informação entre os subsistemas ecológico, socioeconômico e de governança.

3 ESTUDO DE CASO

Na presente tese, foi adotado como estudo de caso uma Bacia Hidrográfica para aplicar o procedimento metodológico sistêmico e integrado que subsidie sua gestão ambiental. Sendo assim, a Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú foi escolhida como área de estudo devido à sua representatividade em relação à problemática abordada. Essa BH, localizada no litoral de Santa Catarina, abrange dois municípios – Balneário Camboriú e Camboriú – que possuem ações de gestão ambiental independentes, sem considerar a bacia hidrográfica como um sistema ambiental único e integrado. A escolha da Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú justifica-se pelo fato de que ela carece de uma gestão com enfoque sistêmico e visão integrada, o que coaduna-se com o foco central da tese, relacionado ao desenvolvimento de um procedimento de um procedimento metodológico que possibilitem a adoção de uma gestão com base ecossistêmica e integrada da bacia. Isso, porque essa abordagem trata problemas ambientais de forma mais eficaz, considerando as interações entre os componentes físicos, bióticos e socioeconômicos que compõem o sistema da bacia hidrográfica.

A área do estudo de caso compreende a Bacia Hidrográfica do rio Camboriú (BHRC) e área marinha adjacente (Figura 1), localizada no litoral norte do estado de Santa Catarina (SC), na Região Hidrográfica do Vale do Itajaí (RH7). A BHRC abrange os municípios de Camboriú e Balneário Camboriú que, de acordo com o último censo do IBGE, somam uma população estimada em 243.229 habitantes (IBGE, 2022).

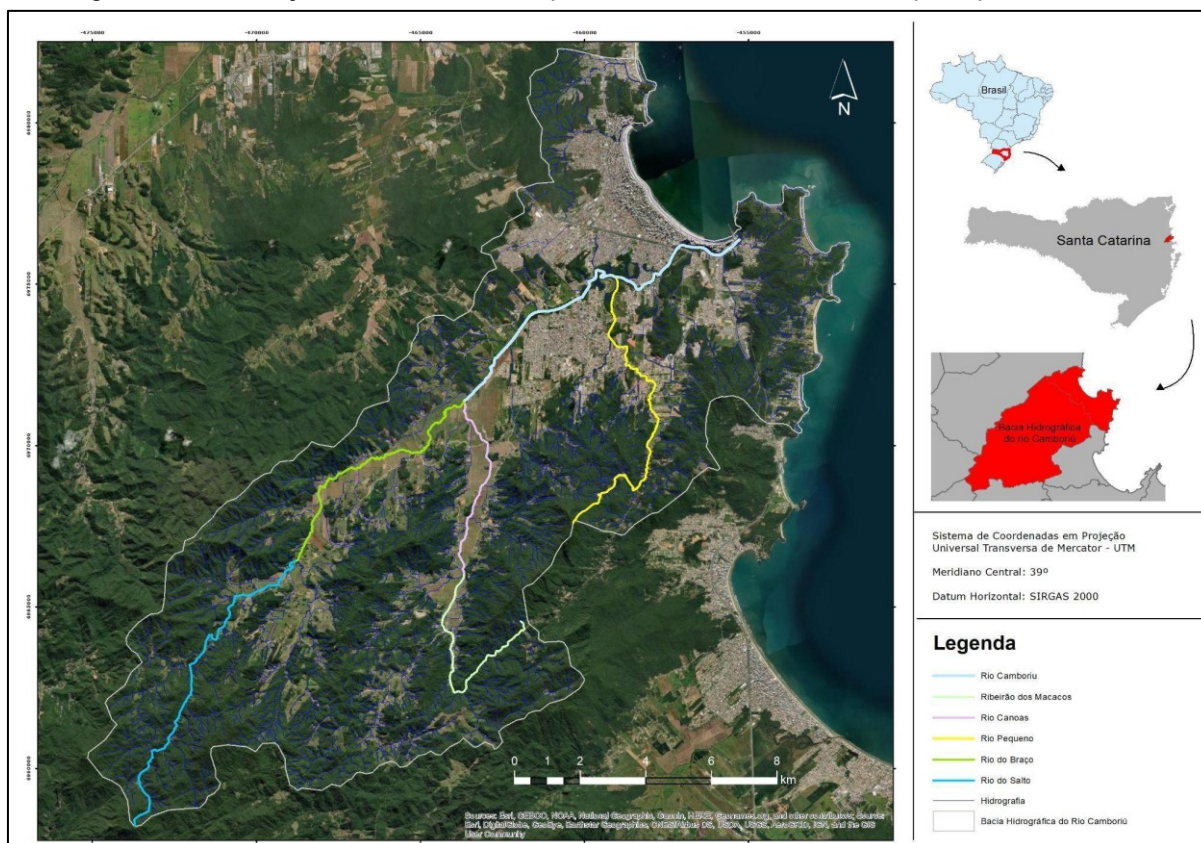
Figura 1 - Localização e delimitação da área de estudo, Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú e área marinha adjacente.



Fonte: elaborado pela autora.

A BHRC possui uma área de drenagem com cerca de 199 km², onde o rio principal que dá nome a bacia é o rio Camboriú, o qual possui aproximadamente, 32 km de extensão. O rio é nutrido pelos seus principais afluentes: ribeirão dos Macacos, rio do Salto, rio do Braço, rio Canoas e rio Pequeno (Figura 2).

Figura 2 - Localização do rio Camboriú, que dá o nome à bacia, e seus principais afluentes.



Fonte: elaborado pela autora.

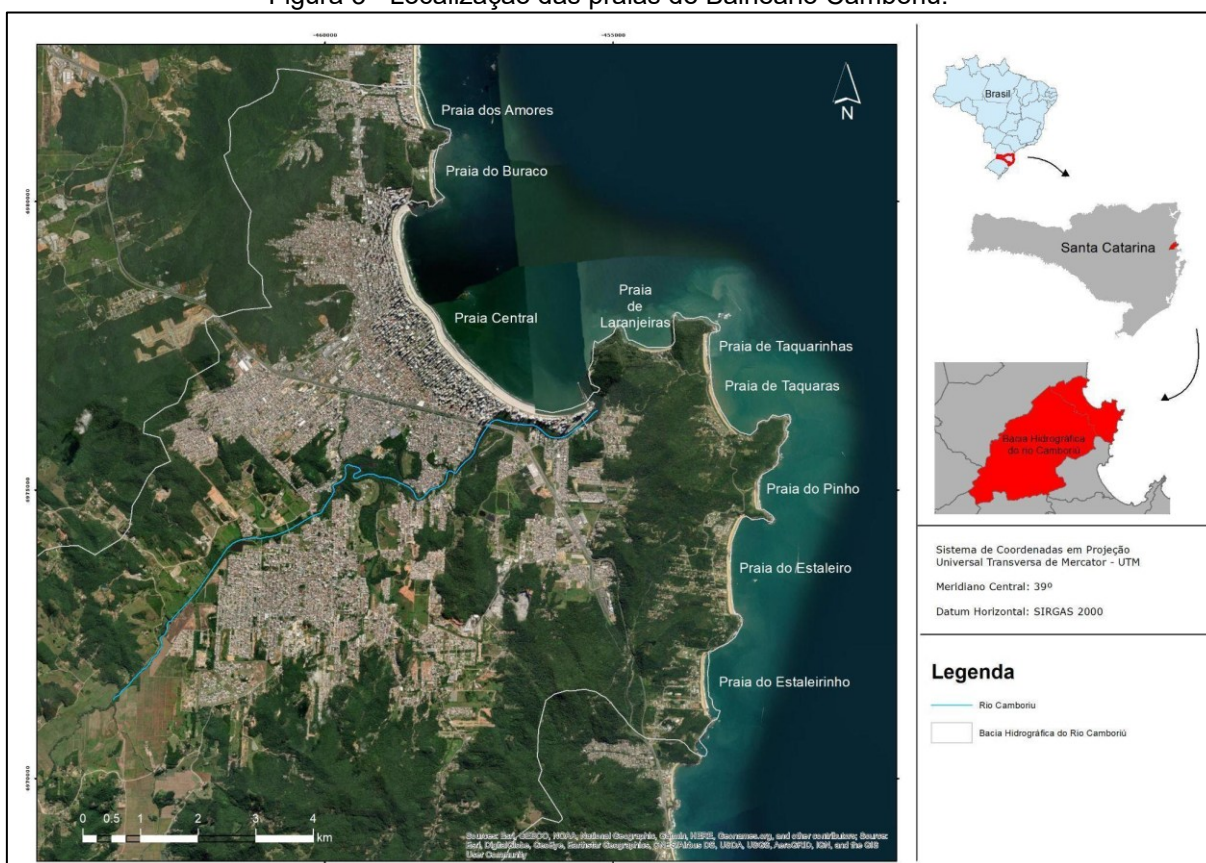
O rio Camboriú percorre os municípios de Camboriú e Balneário Camboriú, formando um estuário com extensão por volta de 9 km sob influência da maré, até alcançar a sua foz, na designada Praia Central de Balneário Camboriú e desaguar no Oceano Atlântico. A região da área marinha adjacente à costa do município de Balneário Camboriú, que também faz parte da área de estudo, corresponde a uma área marinha de, aproximadamente, 11,4 km².

A delimitação da área de estudo na porção marinha adjacente seguiu um critério prático e técnico, considerando os desafios inerentes à definição precisa dos limites de influência dos processos costeiros e hidrodinâmicos. Devido à complexidade dos fluxos oceânicos, à variabilidade das correntes e à influência de múltiplos fatores ambientais, optou-se por estabelecer um traçado linear que conecta os dois costões rochosos como referência para o limite externo da bacia hidrográfica costeira. Essa abordagem facilita a análise dos processos que conectam os sistemas terrestre e marinho, considerando a área de maior influência dos usos na

área marinha adjacente, incluindo atividades como pesca, turismo e transporte marítimo, que interagem diretamente com a dinâmica hidrológica e ecológica da bacia.

A BHRC está orientada na direção NE-SW, sendo cortada em toda sua extensão a nordeste pela rodovia federal BR-101. Sua linha de costa junto ao oceano Atlântico apresenta 24 km de extensão, cujas principais praias, no município de Balneário Camboriú, são denominadas, de sul para norte, de: Estaleirinho, Estaleiro, Pinho, Taquaras, Taquarinhas, Laranjeiras, Praia Central de Balneário Camboriú, Buraco, Coco e Amores (Figura 3). O município de Camboriú, drenado pela BHRC, apesar de ser um município costeiro catarinense, não é confrontante ao oceano Atlântico.

Figura 3 - Localização das praias de Balneário Camboriú.



Fonte: elaborado pela autora.

A Praia Central de Balneário Camboriú é uma praia oceânica arenosa de enseada, com extensão de 5.840 metros na direção NW-SE. Atualmente, a faixa de

areia da Praia Central de Balneário Camboriú possui uma largura média de aproximadamente 70 metros. Essa medida resulta de um projeto de alargamento concluído em 2021, que ampliou a largura média da praia de 25 para 70 metros. No entanto, em 2024, iniciaram-se obras para a construção de um novo calçadão na orla, o que reduziu a faixa de areia em cerca de 15 metros em determinados trechos. Portanto, a largura atual da faixa de areia varia entre 55 e 70 metros, dependendo do trecho considerado.

A existência de promontórios nas extremidades da praia (Ponta da Preguiça-Norte e a Ponta das Laranjeiras-Sul), e a Ilha das Cabras em sua porção central, resultam no processo de difração de ondas (espalhamento radial da energia de onda devido à interação com obstáculos como ilhas e quebra mares), estabelecendo assim a forma parabólica da praia (em forma de arco) (TEMME *et al.*, 1997; MENEZES, 2008). Destaca-se por ser a praia urbana mais consolidada do Estado de Santa Catarina, cujo município possui uma população fixa estimada em 139.155 habitantes (IBGE, 2022), atraindo anualmente um grande número populacional durante os meses de verão.

A Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú possui significância no contexto da gestão de bacias hidrográficas costeiras. Isso, porque apresenta características que refletem desafios comuns a diversas bacias costeiras do país, ao mesmo tempo em que possui particularidades que a tornam especialmente relevante. O Balneário Camboriú, um dos destinos turísticos mais procurados do Brasil, é conhecido por sua alta densidade populacional e intensa ocupação urbana. Essa pressão é combinada com a expansão de Camboriú, que, embora menos urbanizado, está em rápido crescimento. Esse cenário ressalta a necessidade de uma gestão integrada para lidar com os impactos ambientais associados ao crescimento urbano, como poluição hídrica, desmatamento e uso insustentável dos recursos.

A BHRC oferece um abastecimento hídrico compartilhado, ou seja, é responsável pelo abastecimento de água para ambos os municípios, sendo um exemplo emblemático da interdependência entre cidades vizinhas no uso dos recursos hídricos. A falta de uma gestão integrada pode resultar em conflitos pelo uso da água, especialmente durante períodos de escassez ou alta demanda turística. A forte dependência econômica de Balneário Camboriú no turismo adiciona

uma camada de complexidade à gestão desta bacia, pois o setor turístico exige não apenas infraestrutura adequada, mas também a manutenção da qualidade ambiental para atrair turistas. Isso torna a BHRC um caso representativo dos desafios de conciliar desenvolvimento econômico e preservação ambiental em zonas costeiras.

A falta de integração entre os municípios na gestão da bacia é um ponto de destaque em relação a outras bacias no Brasil. Embora muitas bacias hidrográficas enfrentam problemas semelhantes, a coexistência de dois municípios com gestões independentes que não consideram a bacia como uma unidade sistêmica evidencia a necessidade de desenvolver abordagens inovadoras, replicáveis e integradas para a gestão.

Por suas características específicas – dois municípios interdependentes, uso compartilhado da água, e a coexistência de turismo intenso e urbanização acelerada –, os métodos e soluções desenvolvidos na gestão da BHRC podem servir como modelo replicável para outras bacias hidrográficas costeiras do Brasil com características equivalentes.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico fundamentou-se em uma revisão da literatura existente, abordando os conceitos-chave e teorias relevantes para o tema em questão. Este capítulo tem como objetivo contextualizar o estudo no campo acadêmico, fornecendo uma base teórica para a comprovação da hipótese.

4.1 BACIAS HIDROGRÁFICAS

O conceito de bacia hidrográfica, fundamental na hidrologia e na gestão dos recursos hídricos, é definido como uma unidade territorial delimitada pelo relevo, onde toda a água precipitada converge para um ponto de saída comum, geralmente representado por um rio ou lago. As bacias hidrográficas são complexos sistemas naturais, cujas características físicas, como área, relevo e rede de drenagem, influenciam diretamente o regime hidrológico e, conseqüentemente, a disponibilidade e qualidade da água (CHRISTOFOLETTI, 1980). Esse conceito

ultrapassa a simples delimitação geográfica, incorporando a interação dinâmica entre os componentes abióticos e bióticos, bem como a influência das atividades humanas sobre os processos naturais.

A ecologia de bacias hidrográficas considera a interdependência entre os ecossistemas terrestres e aquáticos. Os ecossistemas dentro de uma bacia hidrográfica, como florestas, áreas úmidas e cursos d'água, desempenham funções ecológicas importantes, como a regulação do ciclo hidrológico, a manutenção da qualidade da água e o suporte à biodiversidade (JUNK *et al.*, 1989). Esses ecossistemas fornecem uma variedade de serviços ecossistêmicos, tais como o controle de inundações, a recarga de aquíferos e a retenção de nutrientes, que são fundamentais para o bem-estar humano e para a sustentabilidade dos recursos naturais (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005).

O uso do solo é um fator determinante na estrutura e no funcionamento dos ecossistemas dentro de uma bacia hidrográfica. A expansão agrícola, a urbanização e a exploração dos recursos naturais, como a mineração, alteram a cobertura vegetal e a dinâmica hidrológica, resultando em impactos significativos sobre os recursos hídricos e os ecossistemas (FAO, 2017). A modificação do uso do solo pode levar à erosão, ao assoreamento dos corpos d'água e à degradação da qualidade da água, comprometendo os serviços ecossistêmicos e a biodiversidade (PIRES, 2004). Esses impactos são frequentemente potencializados por práticas inadequadas de manejo do solo e pela ausência de planejamento ambiental.

A exploração dos recursos naturais em bacias hidrográficas, quando realizada de forma não sustentável, contribui para a degradação ambiental e a perda de funções ecossistêmicas. A retirada excessiva de água para irrigação, por exemplo, pode reduzir o fluxo dos rios, prejudicando a fauna aquática e comprometendo o abastecimento de água em regiões a jusante. Além disso, a exploração florestal descontrolada resulta na perda de cobertura vegetal, o que aumenta a vulnerabilidade das bacias hidrográficas à erosão e à desertificação (RODRIGUES *et al.*, 2011). A exploração inadequada dos recursos minerais também provoca impactos duradouros, como a contaminação de solos e águas, que afetam diretamente as comunidades locais e os ecossistemas.

Os impactos antrópicos em bacias hidrográficas são complexos e frequentemente inter-relacionados, exigindo uma abordagem multidisciplinar para sua compreensão e gestão. A poluição difusa proveniente da agricultura, a urbanização em expansão e o desmatamento são exemplos de atividades humanas que, ao alterarem as características naturais das bacias, afetam negativamente os processos ecológicos e a saúde dos ecossistemas (MACEDO *et al.*, 2013). Esses impactos podem ser mitigados por meio de políticas públicas eficazes e pela implementação de práticas de manejo sustentável, como a restauração ecológica e a proteção de áreas de preservação permanente.

A gestão de bacias hidrográficas deve ser integrada e participativa, envolvendo diferentes atores sociais e considerando as múltiplas funções e usos dos recursos naturais. Essa gestão deve buscar equilibrar as necessidades econômicas com a conservação ambiental, promovendo o uso sustentável dos recursos hídricos e a preservação dos serviços ecossistêmicos. A adoção de uma abordagem de gestão baseada em bacias hidrográficas permite uma visão holística dos processos ecológicos e sociais, facilitando a implementação de políticas e ações que promovam a sustentabilidade a longo prazo (OLIVEIRA e MARINS, 2017).

4.1 SISTEMAS AMBIENTAIS

Um sistema ambiental pode ser definido como uma unidade funcional composta por elementos físicos, químicos, biológicos e sociais, que interagem dinamicamente entre si e com o meio circundante (ODUM, 1997). Essa perspectiva reconhece a natureza interdependente e interconectada dos diferentes elementos que compõem um ambiente, destacando a importância de uma abordagem holística na análise e na gestão dos recursos naturais.

Os sistemas ambientais são caracterizados por fluxos de energia e matéria que mantêm o equilíbrio dinâmico entre os organismos e o ambiente (LEOPOLD, 1949). Esses processos incluem ciclos biogeoquímicos, como o ciclo da água, do carbono e do nitrogênio, bem como interações tróficas entre diferentes níveis tróficos em uma cadeia alimentar.

Além disso, os sistemas ambientais são influenciados por uma série de fatores externos, incluindo mudanças climáticas, atividades humanas e distúrbios naturais. São fatores que podem alterar significativamente a estrutura e a função dos ecossistemas, levando a mudanças nas populações de espécies, na disponibilidade de recursos e na dinâmica dos processos ecológicos (TURNER *et al.*, 2001). Portanto, uma abordagem de sistemas ambientais deve considerar não apenas os componentes internos de um ambiente, mas também as influências externas que podem afetar sua integridade ecológica.

4.2 ECOSSISTEMAS E SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS

O conceito de ecossistemas e serviços ecossistêmicos tem sido fundamental na compreensão da interação entre os sistemas naturais e a sociedade, destacando a importância dos serviços fornecidos pelos ecossistemas para o bem-estar humano e a sustentabilidade ambiental. Serviços ecossistêmicos podem ser entendidos como os benefícios diretos e indiretos que os seres humanos obtêm dos ecossistemas, incluindo provisão de alimentos, regulação do clima, purificação da água, serviço cultural, entre outros (COSTANZA, 1997). Esses serviços são essenciais para o funcionamento dos sistemas socioeconômicos e o bem-estar humano.

Os ecossistemas são definidos como sistemas complexos formados pela interação entre organismos vivos e seu ambiente físico, incluindo fatores abióticos como solo, água e clima (ODUM, 1997). Essa abordagem holística reconhece a interdependência entre os componentes bióticos e abióticos do ambiente

A avaliação dos serviços ecossistêmicos envolve a identificação, quantificação e valoração dos benefícios fornecidos pelos ecossistemas (MEA, 2005). Essa abordagem integrada considera não apenas os aspectos econômicos, mas também os aspectos sociais e ambientais dos serviços ecossistêmicos, reconhecendo sua contribuição para o desenvolvimento sustentável e bem-estar humano.

A análise dos serviços ecossistêmicos pode subsidiar a formulação de políticas e estratégias de conservação e gestão dos recursos naturais (TEEB, 2010).

Ao considerar os benefícios proporcionados pelos ecossistemas, os tomadores de decisão podem adotar medidas mais eficazes para promover a conservação da biodiversidade, a restauração de ecossistemas degradados e a promoção do uso sustentável dos recursos naturais.

No entanto, a degradação ambiental e a perda de biodiversidade representam ameaças significativas para a provisão de serviços ecossistêmicos (IPBES, 2019). O aumento da pressão antropogênica sobre os ecossistemas, decorrente do crescimento populacional e da expansão econômica tem levado à degradação de habitats naturais e à redução da resiliência dos ecossistemas, comprometendo sua capacidade de fornecer serviços essenciais.

4.3 RISCO DE PERDA DE ECOSSISTEMAS

O risco de perda de ecossistemas refere-se à probabilidade de que um ecossistema sofra degradação significativa ou colapso funcional devido a fatores naturais ou antrópicos. Fatores naturais incluem eventos como tempestades, erupções vulcânicas e terremotos, enquanto fatores antrópicos abrangem atividades humanas como desmatamento, poluição e introdução de espécies exóticas (DAGNINO & CARPI JUNIOR, 2007). É importante distinguir entre risco e ameaça: enquanto a ameaça se relaciona à presença de um agente ou evento potencialmente danoso, o risco envolve a probabilidade de ocorrência de danos resultantes dessa ameaça (CETESB, 2022).

A avaliação e gestão do Risco de Perda de Ecossistemas exigem uma compreensão abrangente dos processos ecológicos, bem como das interações complexas entre os componentes bióticos e abióticos de um determinado ambiente. Isso inclui a identificação das principais ameaças enfrentadas pelos ecossistemas, a análise dos impactos potenciais dessas ameaças e a implementação de estratégias de mitigação e adaptação (REGAN *et al.*, 2005; DÍAZ *et al.*, 2015).

Um aspecto importante na abordagem do Risco de Perda de Ecossistemas é a consideração da resiliência dos ecossistemas, ou seja, sua capacidade de se recuperar de perturbações e de manter suas funções ecológicas e serviços ecossistêmicos mesmo diante de mudanças ambientais (FOLKE *et al.*, 2004; BIGGS

et al., 2012). A promoção da resiliência requer a proteção e restauração de habitats naturais, a redução da fragmentação do habitat e a implementação de práticas de manejo sustentável dos recursos naturais (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005; IPBES, 2019).

Além disso, a avaliação do Risco de Perda de Ecossistemas deve levar em consideração os impactos sociais e econômicos associados à degradação ou perda de ecossistemas, especialmente para comunidades locais que dependem diretamente dos serviços ecossistêmicos para subsistência e meios de vida (MEA, 2005; IPBES, 2019). Isso requer uma abordagem integrada e participativa que envolva o engajamento de múltiplos stakeholders e a incorporação do conhecimento tradicional e científico (BERKES *et al.*, 2003; ARMITAGE *et al.*, 2009).

4.4 GESTÃO COM BASE ECOSSISTÊMICA

A Gestão com Base Ecossistêmica (GBE) é uma abordagem que busca integrar a conservação da biodiversidade e o uso sustentável dos recursos naturais, considerando a complexidade das interações ecológicas e os serviços ecossistêmicos prestados pelos diferentes ambientes. No contexto do gerenciamento costeiro, essa abordagem enfatiza a necessidade de planejamento integrado, gestão adaptativa e participação social para assegurar a resiliência dos ecossistemas frente às pressões antrópicas e mudanças ambientais (ASMUS *et al.*, 2020).

A GBE enfatiza a importância de entender os processos ecológicos subjacentes e de avaliar os serviços ecossistêmicos fornecidos, buscando promover o uso sustentável dos recursos naturais e a conservação da biodiversidade (FOLKE *et al.*, 2005; MEA, 2005).

No contexto da GBE, o manejo dos recursos naturais é orientado por uma abordagem adaptativa e participativa, que envolve o engajamento de múltiplos stakeholders, incluindo comunidades locais, setor privado, organizações não governamentais e órgãos governamentais. Essa abordagem busca promover a governança colaborativa e a tomada de decisão informadas, incorporando o

conhecimento tradicional e científico para garantir a sustentabilidade socioecológica a longo prazo (BERKES *et al.*, 2003; ARMITAGE *et al.*, 2009).

Um dos pilares da GBE é a promoção da resiliência dos ecossistemas e das comunidades humanas que deles dependem. Isso envolve o reconhecimento da dinâmica e da incerteza inerentes aos sistemas socioecológicos, bem como a adoção de estratégias flexíveis e adaptativas para lidar com mudanças e perturbações (GUNDERSON e HOLLING, 2002; WALKER *et al.*, 2004). A resiliência é vista como uma propriedade emergente dos sistemas complexos, resultante da diversidade, conectividade e *feedbacks* positivos existentes entre seus elementos (FOLKE, 2006).

Além disso, a GBE busca dar suporte para que sejam feitas ações visando a equidade social e a justiça ambiental, reconhecendo as diferentes necessidades, valores e perspectivas das partes interessadas envolvidas. Isso inclui o empoderamento das comunidades locais para participar ativamente dos processos de decisão e o reconhecimento dos direitos de acesso e uso dos recursos naturais por grupos tradicionais (LEACH *et al.*, 1999; BERKES, 2007).

No entanto, apesar do reconhecimento crescente da importância da GBE, sua implementação efetiva enfrenta uma série de desafios, incluindo a falta de integração entre os setores e escalas de governança, a insuficiência de dados e informações, e a resistência institucional e cultural à mudança. Portanto, avanços futuros na aplicação dessa abordagem exigirão o fortalecimento da capacidade institucional, o aprimoramento da cooperação interdisciplinar e a promoção de uma cultura de aprendizado contínuo e adaptação (CASH *et al.*, 2006; OLSSON *et al.*, 2006).

4.5 BASE LEGAL LOCAL

A base legal regional e local aqui apresentada é uma análise da legislação local e regional que rege a área de estudo (Bacia Hidrográfica do rio Camboriú), elaborada para entender o contexto jurídico que influencia as práticas de uso e ocupação do solo, conservação ambiental e desenvolvimento sustentável. Ao examinar as normas e regulamentos vigentes, é possível esclarecer como as

políticas públicas e os instrumentos legais moldam as ações de gestão territorial. Esse entendimento é importante para a proposição de estratégias eficazes de manejo e preservação, bem como para a implementação de práticas de gestão com base ecossistêmica na região.

Considerando o acima exposto, os principais instrumentos legais que regem as ações de uso e ocupação do solo nos municípios de Balneário Camboriú e Camboriú são:

1. Plano Diretor Municipal: Documento que estabelece diretrizes, objetivos, políticas e normas para o desenvolvimento urbano e rural do município, incluindo o zoneamento e as normas de uso e ocupação do solo.

2. Lei de Uso e Ocupação do Solo: Define as normas específicas relacionadas ao uso do solo, como zoneamento, índices urbanísticos, parâmetros de ocupação, entre outros.

3. Código de Obras e Edificações: Estabelece as normas e procedimentos para a construção de edificações no município, incluindo requisitos de segurança, padrões construtivos, licenciamento, entre outros.

4. Código Ambiental Municipal: Define as normas e diretrizes para a proteção e conservação do meio ambiente, incluindo áreas de preservação permanente, licenciamento ambiental, controle de poluição, entre outros.

5. Legislação Federal e Estadual: Além das normas municipais, as ações de uso e ocupação do solo também estão sujeitas à legislação federal e estadual, como o Código Florestal, o Estatuto da Cidade, entre outros, que estabelecem diretrizes gerais e complementares para o planejamento urbano e ambiental.

Artigos legais relevantes contidos nos instrumentos legais que regem as ações de uso e ocupação do solo nos municípios de Balneário Camboriú e Camboriú:

Município de Balneário Camboriú:

1. Lei Complementar nº 49/2006 - Plano Diretor Municipal de Balneário Camboriú:

- Artigos 4º a 11º: Definem os objetivos, diretrizes e instrumentos de ordenamento do território, incluindo zoneamento urbano, parcelamento do solo, proteção ambiental e políticas de desenvolvimento urbano.

Disponível em: Plano Diretor de Balneário Camboriú - SC

2. Lei Complementar nº 113/2011 - Código de Obras e Edificações de Balneário Camboriú:

- Artigos 27º a 35º: Estabelecem normas para uso e ocupação do solo, incluindo parâmetros de ocupação, gabaritos de altura, recuos obrigatórios, taxa de ocupação e índice de aproveitamento.

Disponível em: Código de Obras de Balneário Camboriú - SC

3. Lei Complementar nº 143/2013 - Plano de Mobilidade Urbana de Balneário Camboriú:

- Artigos 10º a 18º: Tratam das diretrizes e ações para o ordenamento do transporte e da circulação urbana, incluindo medidas para priorização do transporte coletivo, ciclovias, calçadas acessíveis e estacionamento.

Disponível em: Lei Complementar 42 2019 de Balneário Camboriú SC

Município de Camboriú:

1. Lei Complementar nº 028/2006 - Plano Diretor Municipal de Camboriú:

- Artigos 4º a 10º: Define os objetivos, diretrizes e instrumentos de ordenamento territorial, incluindo zoneamento, parcelamento do solo, proteção ambiental e desenvolvimento urbano.

Disponível em: Plano Diretor de Camboriú - SC

2. Lei Complementar nº 149/2014 - Código de Obras e Edificações de Camboriú:

- Artigos 21º a 29º: Estabelecem normas para uso e ocupação do solo, como parâmetros de ocupação, gabaritos de altura, recuos obrigatórios e índices de aproveitamento.

Disponível em: Código de Obras de Camboriú - SC

3. Lei Complementar nº 189/2019 - Plano de Mobilidade Urbana de Camboriú:

- Artigos 8º a 16º: Tratam das diretrizes e ações para o ordenamento do transporte e da circulação urbana, incluindo medidas para o transporte coletivo, infraestrutura cicloviária, acessibilidade e estacionamento.

Disponível em: Lei Complementar 90 2017 de Camboriú SC

5 PROCESSO METODOLÓGICO

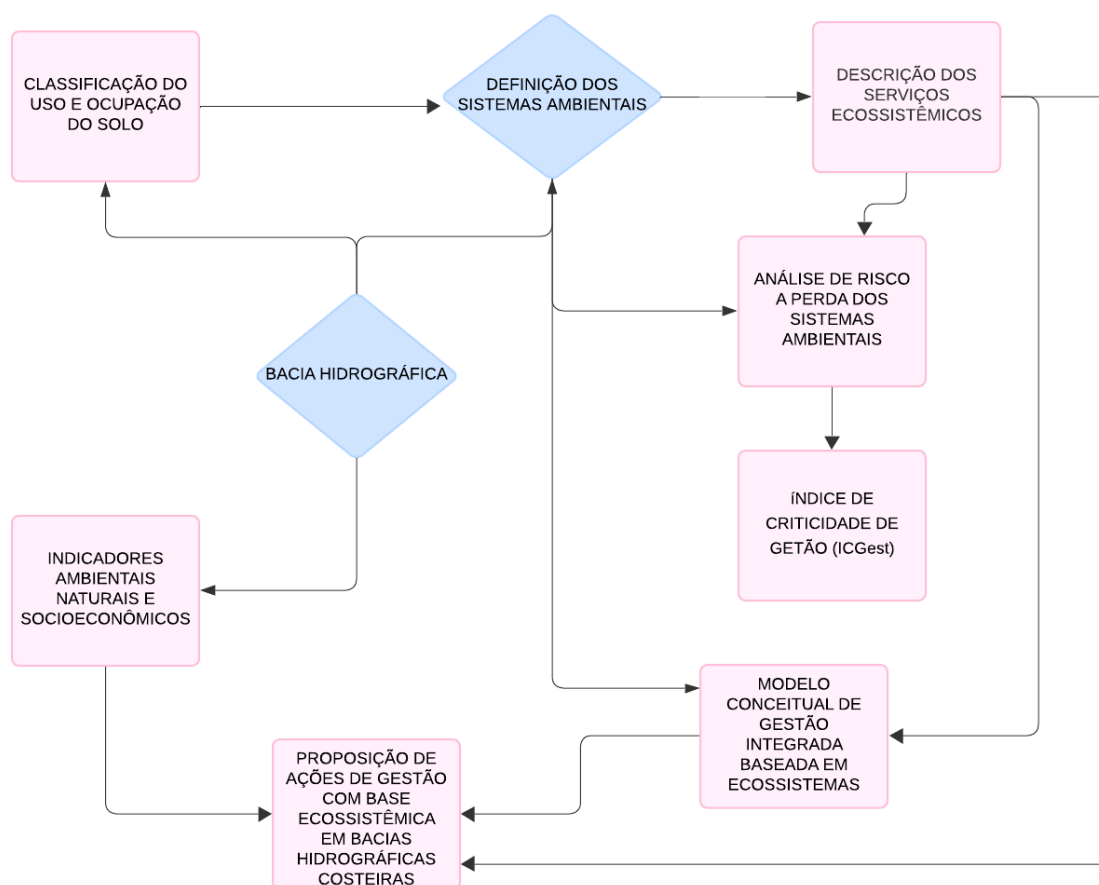
Este capítulo descreve as etapas metodológicas para a elaboração da tese. Inicialmente, definiu-se a área de estudo, estabelecendo o contexto espacial da pesquisa. Em seguida, procedeu-se à classificação do uso e ocupação do solo, o que permitiu identificar as diferentes categorias de uso do território, analisando também os diferentes usos ao longo de seis décadas de ocupação.

Foram definidos então os sistemas ambientais presentes na área de estudo. Com a identificação dos sistemas ambientais, foram descritos os serviços ecossistêmicos fornecidos por esses sistemas. Após foi analisado o risco à perda desses sistemas ambientais, fundamental para compreender as ameaças e vulnerabilidades existentes. Consequente foram analisados os indicadores ambientais naturais e socioeconômicos, os quais foram são integrados às metodologias de gestão com base ecossistêmica, visando à conservação e uso sustentável dos recursos naturais.

Por fim, foi elaborado um modelo conceitual sistêmico, que integra as informações e análises anteriores em uma estrutura teórica visual e analítica.

O fluxograma a seguir orienta a sequência lógica e a estrutura do processo metodológico (Figura 4). As atividades estão detalhadas a seguir.

Figura 4 - Fluxograma ilustrando a sequência metodológica aplicada na presente Tese de Doutorado.



Fonte: elaborado pela autora.

5.1 CLASSIFICAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

A classificação do uso e ocupação do solo teve como objetivo principal analisar as transformações espaciais e temporais do uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú (BHRC) ao longo de seis décadas, abrangendo os anos de 1957, 1978, 1991, 2002, 2010 e 2019. A metodologia aplicada visou fornecer uma compreensão detalhada das dinâmicas territoriais e dos impactos antrópicos sobre a paisagem local, a partir da classificação de imagens históricas e contemporâneas. Com a utilização de fotografias aéreas e imagens de satélite, distribuídas em diferentes períodos, foram estabelecidas classes de tipologia de uso do solo. A aplicação do método permitiu não apenas a identificação das mudanças

na cobertura da terra, mas também a quantificação do impacto dessas alterações na estrutura ecológica da BHRC. Assim, esta etapa buscou contribuir para o entendimento das pressões e usos na bacia ao longo de muitas décadas, fornecendo também subsídios para a próxima etapa deste trabalho, que foi a delimitação dos sistemas ambientais.

Para as análises de uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú, foram consideradas quatro classes de componentes dominantes, com base no conceito ecológico de Odum (2004). Os componentes dominantes são elementos estruturais do ecossistema que exercem influência significativa sobre os processos ecológicos e funcionais da paisagem, modulando fluxos de energia, matéria e interações bióticas. Esses componentes são responsáveis por determinar a dinâmica ambiental da bacia, influenciando diretamente a biodiversidade, a qualidade dos recursos hídricos e a estabilidade dos sistemas ecológicos e socioeconômicos.

Para entendimento do histórico de uso e ocupação do solo foram efetuadas classificações para os seguintes anos: 1957, 1978, 1991, 2002, 2010 e 2019. A escolha dessas imagens e fotografias foi baseada na disponibilidade de registros para o período analisado, bem como na qualidade da resolução espacial e na visibilidade da área de estudo, as quais permitiram a acurácia das análises. Além disso, priorizou-se imagens com mínima interferência de cobertura de nuvens, permitindo uma interpretação mais confiável das mudanças ocorridas na paisagem ao longo do tempo. Dessa forma, a seleção desses anos possibilitou a construção de uma linha temporal representativa das transformações no uso e ocupação do solo na BHRC.

Para os anos de 1957 e 1978 foram utilizadas fotografias aéreas pancromáticas na escala de 1:25.000, georreferenciadas, do levantamento aerofotogramétrico de Santa Catarina – voo Cruzeiro do Sul de 1957 e 1978 disponível no acervo aerofotogramétrico da Secretaria de Planejamento do Estado de Santa Catarina.

As classificações dos anos 1991, 2002, 2010 e 2019 foram executadas a partir de imagens de sensores de satélite. As bandas espectrais das imagens do sensor *Thematic Mapper* (TM) do satélite Landsat 5, com resolução espacial de 30

metros subsidiaram as classificações de uso e ocupação do solo dos anos 1991 e 2002, enquanto as imagens multiespectrais do sensor *Operational Land Imager* (OLI) do satélite Landsat 8, com resolução espacial de 15 metros foram utilizadas para classificar o uso do solo do ano de 2010. Já para a classificação do uso e ocupação do solo do ano de 2019, foram utilizadas as imagens das bandas espectrais do sensor *Multispectral Imager* (MSI) do satélite Sentinel – 2A, coletadas em agosto de 2019, as quais possuem 10 metros de resolução espacial.

As fotografias aéreas foram classificadas visualmente e cada polígono de classe foi delimitado manualmente em uma escala de 1:25.000, enquanto que para a classificação das imagens dos sensores de satélite, foram coletadas amostras de *pixels* de cada uma das 16 classes e foi utilizado o método de classificação *Maximum Likelihood Classification* no *software* ArcGIS 10.4.1. Para cada classe, foi calculado o valor percentual em relação à área total da bacia hidrográfica.

A partir da análise multi-temporal das imagens classificadas, foi possível descrever a variação das características da paisagem e do uso e ocupação do solo ao longo do tempo na Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú. As análises do uso e ocupação do solo foram processadas no *software* Terrset, mais precisamente no módulo *Land Change Modeler* (LCM), desenvolvido pelo *Clark Labs da Graduate School of Geography da Universidade de Clark*, Massachusetts, EUA.

5.2 DEFINIÇÃO DE SISTEMAS AMBIENTAIS

Os sistemas ambientais no presente trabalho são as unidades de maior escala de análise, aos quais se associam os serviços ecossistêmicos, benefícios/beneficiários, ameaças e demais características relevantes. Segundo ICSU (2008), a designação de “sistemas”, utilizada por MEA (2005) como unidade primária de análise, foi considerada adequada para integrar os sistemas antrópicos e os sistemas “naturais”. Sistemas ambientais são unidades mapeáveis que oferecem um conjunto previsível de serviços, levando em consideração a biogeografia, interação entre organismos e fatores econômicos e políticos.

Os sistemas ambientais na área de estudo foram identificados, espacialmente definidos e descritos, utilizando-se, como referência, a classificação

de uso e ocupação do solo e sua área de abrangência. Essa classificação e análise envolveram tanto o domínio terrestre da Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú, quanto o aquático, abrangendo a malha hidrográfica da BHRC e área marinha adjacente de Balneário Camboriú.

5.3 DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS

Os serviços ecossistêmicos foram elencados e caracterizados para cada um dos sistemas ambientais identificados e definidos na Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú e área marinha adjacente. Os conceitos de serviços ecossistêmicos foram, na presente tese, referenciados conforme o *Millennium Ecosystem Assessment* (2003) (Quadro 1).

Para cada sistema ecossistêmico foi gerada uma tabela de serviços potencialmente ofertados, já categorizados como serviços de provisão, de regulação, cultural e de suporte. Para a classificação dos serviços ecossistêmicos foram consideradas e adaptadas as listas discutidos em *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA, 2003), *Ecosystem Services & Biodiversity* (ESB) (FAO, 2018) e *The Economics of Ecosystems & Biodiversity* (2010). Com base na lista de serviços, e da própria natureza dos sistemas ambientais, também foram identificados os benefícios advindos da utilização destes serviços e seus potenciais beneficiários (ASMUS *et al.*, 2018).

Para a definição sobre os serviços ecossistêmicos que são prestados por cada sistema ambiental, foi utilizada a técnica de opinião especialista, como os elaborados em Asmus *et al.* (2015) e Ban *et al.* (2015). Nessa técnica, propõe-se a identificação dos sistemas ambientais, serviços ambientais, benefícios e os beneficiários com base na opinião especializada de profissionais que tenham conhecimento a respeito da área em análise.

5.4 ANÁLISE DE RISCO À PERDA DOS SISTEMAS AMBIENTAIS

Para a análise de risco à perda dos sistemas ambientais na área estudada foi utilizado o modelo *Habitat Risk Assessment*¹ do software *Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs* (INVEST). O modelo *Habitat Risk Assessment* possibilita a análise dos riscos que as atividades humanas representam para os ecossistemas, tratados como sistemas ambientais, e as possíveis consequências da exposição ao uso, tratados como estressores antrópicos, na oferta de serviços ecossistêmicos (*Natural Capital Project, Habitat Risk Assessment*. Disponível em: The Natural Capital Project. Acesso em: 18 mar. 2025). No modelo, o risco que as atividades humanas representam para os ecossistemas é determinado pela Exposição (E) do ecossistema ao estressor antrópico (Quadro 1) e pela Consequência (C) dessa exposição (Quadro 2). Para calcular E, o usuário fornece dados sobre a distribuição dos ecossistemas e das atividades, o tempo e a intensidade do uso, além da eficácia das práticas atuais de manejo e gestão na proteção dos ecossistemas. Para calcular C, são necessárias informações sobre a perda dos ecossistemas e sua capacidade de recuperação.

Quadro 1 - Critérios da Exposição do sistema ambiental ao estressor antrópico.

	Alto	Médio	Baixo
Sobreposição Temporal	8-12 meses do ano	4-8 meses do ano	0-4 meses do ano
Intensidade	Alta	Média	Baixa
Eficácia da Gestão	Não Eficaz, Mal Gerido	Pouco Eficaz	Muito Eficaz

Fonte: Invest Userguide.

Quadro 2 - Critérios de Consequência da exposição ao estressor antrópico.

	Alto	Médio	Baixo
Alteração da Área	Perda Elevada (50-100%)	Média Perda (20-50%)	Baixa Perda (0-20%)
Alteração na Estrutura	Alta ¹	Média ²	Baixa ³
Frequência de Perturbações Naturais	Anualmente ou Menos Frequente	Várias vezes por ano	Diariamente a Semanalmente

¹ Como funciona o modelo *Habitat Risk Assessment*? Link: http://releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/en/habitat_risk_assessment.html#how-it-works

	Alto	Médio	Baixo
Taxa de Mortalidade Natural	Baixa (0-20%)	Moderada (20-50%)	Alta (80% ou maior)
Taxa de Recrutamento	A cada 2 ou mais anos	A cada 1-2 anos	Anual ou Mais Frequentemente
Conectividade	Menor Dispersão (< 10km)	Dispersão Média (10-1000km)	Alta Dispersão (>1000km)
Tempo de Maturidade ou Recuperação	Mais de 10 anos	1-10 anos	Menos de 1 ano

Fonte: Invest Userguide.

5.5 PROPOSIÇÃO DE AÇÕES DE GESTÃO COM BASE ECOSSISTÊMICA EM BACIAS HIDROGRÁFICAS COSTEIRAS

A gestão com base ecossistêmica em bacias hidrográficas é uma abordagem integrativa que considera a complexidade e interconectividade dos sistemas naturais, sociais e econômicos. A proposição dessas ações de gestão na Bacia Hidrográfica do rio Camboriú na presente tese foi possível após a conclusão, análise e interpretação dos resultados relacionados a: delimitação dos sistemas ambientais, descrição dos serviços ecossistêmicos e análise de risco de perda dos sistemas ambientais.

A partir destes resultados foi possível fundamentar as diretrizes de gestão ecossistêmica, baseadas também em referências chave como Long *et al.* (2015) sobre a aplicação de princípios ecossistêmicos na gestão ambiental e Grumbine (1994), que oferece uma revisão abrangente dos conceitos de gestão ecossistêmica.

5.6 INDICADORES AMBIENTAIS NATURAIS E SOCIOECONÔMICOS

Um indicador pode ser interpretado como uma variável que atribui qualidade, característica e propriedade a um sistema (NIEMEYER, 2005). Na presente tese, os indicadores têm como objetivo explorar as principais características do território, especificamente da Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú e área marinha adjacente.

Para isso, foram selecionados indicadores ambientais que representam e resumem os principais aspectos do estado do meio ambiente, dos recursos naturais

e das atividades humanas relacionadas presentes na BHRC. Todos os indicadores foram definidos para a mensuração de parâmetros que possam ser monitorados ao longo do tempo, possibilitando um acompanhamento do sucesso da gestão baseada em ecossistemas na bacia.

Além de monitorar a qualidade da gestão da bacia hidrográfica, a análise desses indicadores visa também analisar a qualidade e a manutenção dos serviços ecossistêmicos identificados para que os sistemas ambientais permaneçam funcionais e capazes de sustentar as necessidades ecológicas e humanas ao longo do tempo.

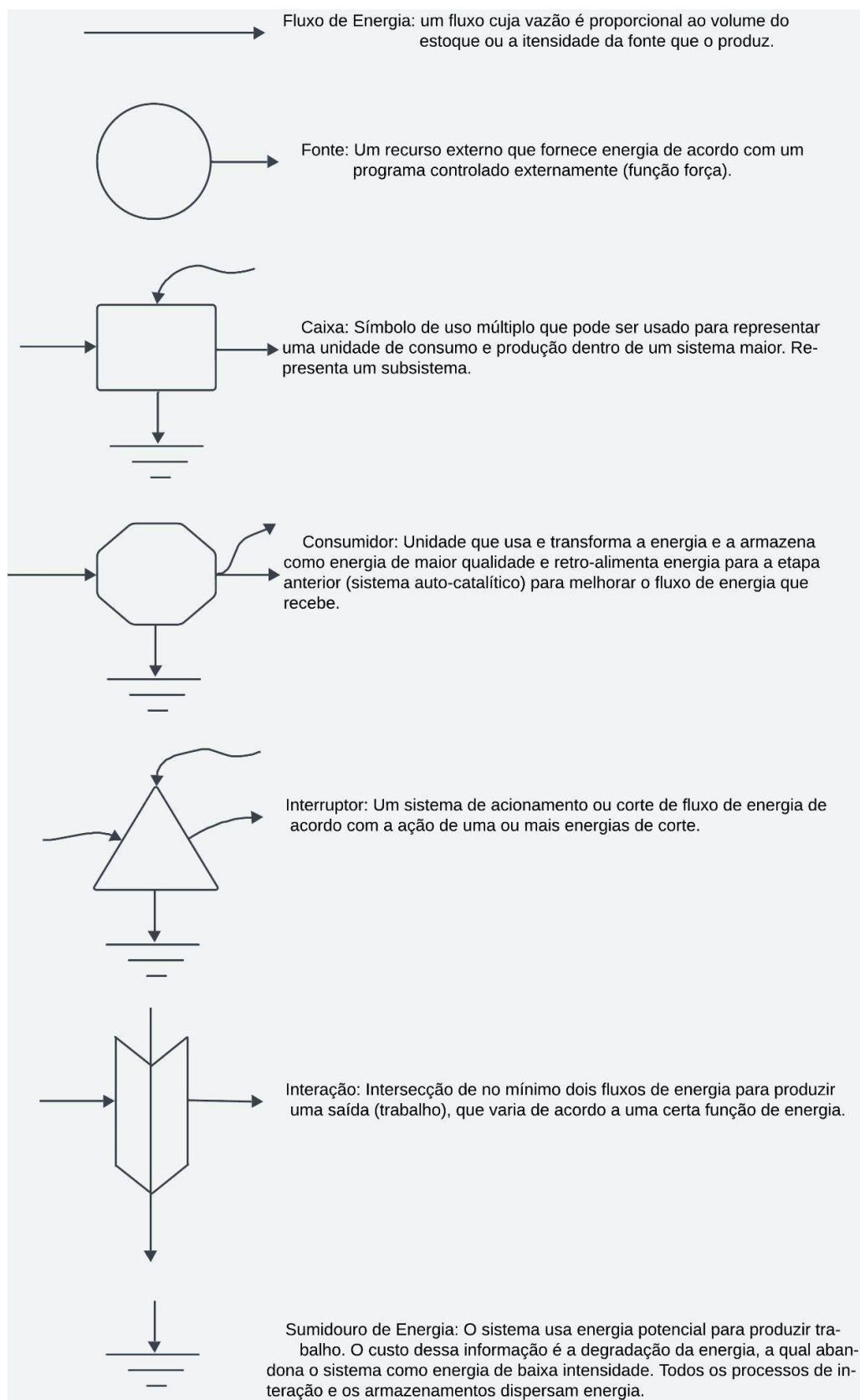
5.7 ELABORAÇÃO DE UM MODELO CONCEITUAL SISTÊMICO

Como subsídio ao planejamento e gestão ambiental integrados em bacias hidrográficas, foi elaborado um modelo conceitual sistêmico, como uma ferramenta que representa e analisa sistemas complexos de forma clara, concisa e visualmente interpretativa. Segundo a Teoria Geral dos Sistemas, proposta por Ludwig von Bertalanffy, um sistema é definido como um complexo de elementos em estado de interação, onde a interdependência entre os componentes caracteriza o sistema, diferenciando-o de um mero aglomerado de partes independentes (BERTALANFFY, 2011).

O modelo conceitual sistêmico oferece uma visão holística do sistema, ou seja, permite compreender, como um todo, as interações entre suas partes e como elas se influenciam mutuamente. A análise desses modelos possibilita identificar padrões de comportamento, pontos de inflexão e oportunidades de intervenção, servindo como uma linguagem comum para diferentes atores sociais, o que facilita a comunicação e a colaboração em torno de objetivos compartilhados (SOUZA, 2025). Nesse sentido, um modelo conceitual torna-se uma representação simplificada de um sistema natural ou social que utiliza diagramas e fluxos para ilustrar as relações fundamentais entre componentes e processos. Esses modelos servem para sintetizar o conhecimento atual sobre o sistema em estudo e podem ser usados para prever respostas a diferentes cenários de mudanças ambientais ou de gestão. Adicionalmente, ajudam a identificar as principais variáveis e as interações que

determinam o comportamento do sistema, oferecendo uma base para a construção de representações mais complexas e quantitativas dos sistemas analisados (ODUM, 2004).

A seguir estão conceitualmente descritas e representadas as simbologias utilizadas no desenvolvimento de um Modelo Conceitual, segundo Ortega (2004).



Fonte: adaptado de Ortega (2004).

Para criação do modelo conceitual sistêmico na presente tese, foi utilizado o *software* Lucidchart, disponível em <https://www.lucidchart.com/pages/concept-map>. O modelo elaborado pode ser aplicado e continuamente aprimorado à medida que novas informações e *insights* são obtidos em diferentes realidades de diferentes bacias hidrográficas.

6 RESULTADOS

A apresentação dos resultados alcançados para interpretação sistêmica da Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú, estão neste capítulo apresentados numa sequência lógica que correspondem aos objetivos da tese: (1) Análise Histórica do Uso e Ocupação do Solo da Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú; (2) Descrição dos Sistemas Ambientais da Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú; (3) Identificação e Descrição dos Serviços Ambientais e dos seus Usos pelas Atividades Econômicas; (4) Análise de Risco de Perda de Habitats, (5) Proposição de Ações de Gestão com Base Ecosistêmica para a BHRC; e (6) Elaboração do Modelo Conceitual da BHRC.

6.1 ANÁLISE HISTÓRICA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CAMBORIÚ

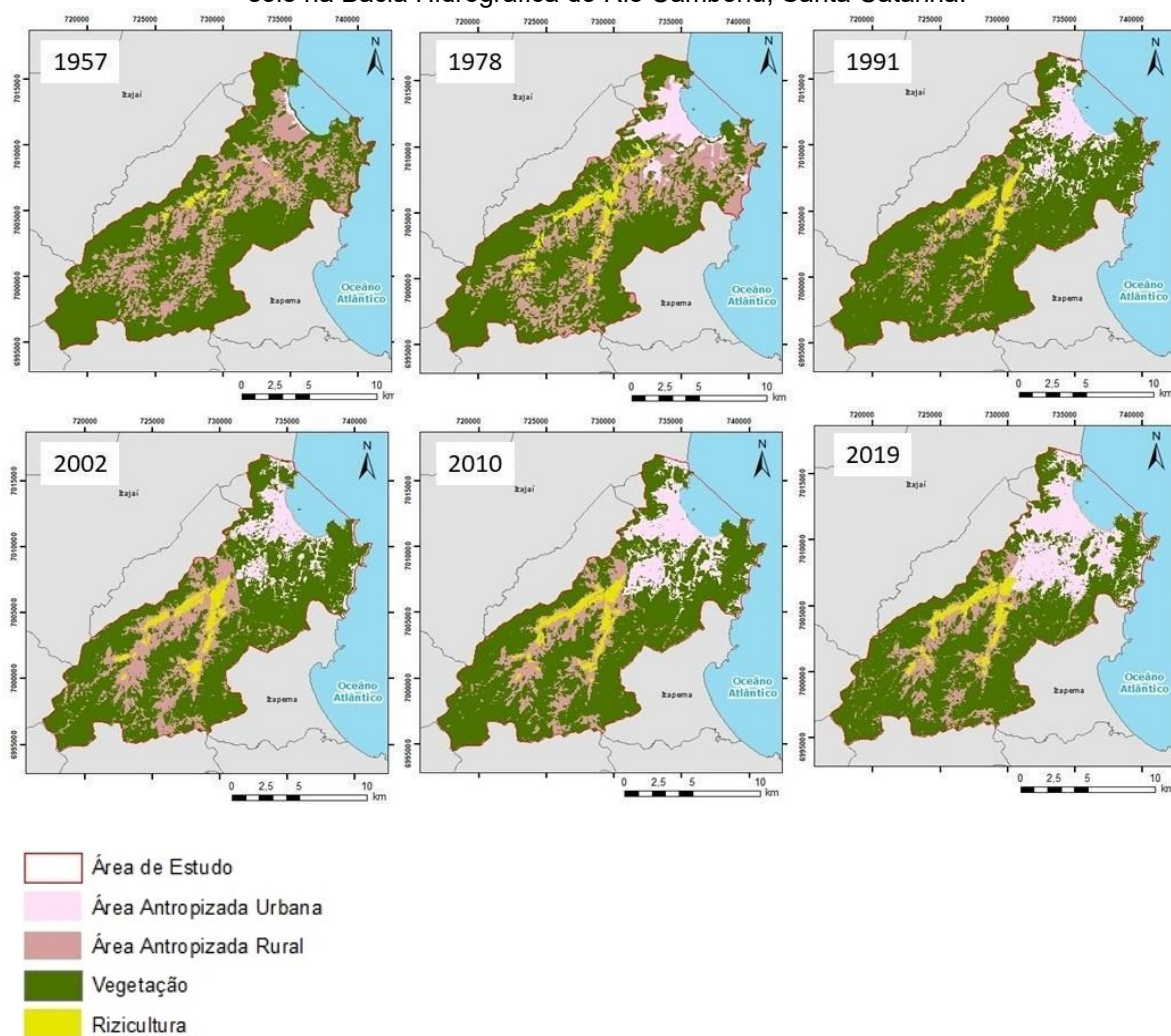
A análise histórica do uso e ocupação do solo da BHRC, foi gerada a partir da interpretação da classe de uso do solo em uma série histórica de 62 anos de imagens de sensores de satélites e fotografias aéreas, bem como pela verificação de dados secundários, como bibliografias, artigos científicos, teses de doutorado e dissertações de mestrado. Ela revelou informações relevantes no que diz respeito ao uso dos sistemas ambientais na BHRC ao longo dos anos.

Para uma representação cartográfica, a Figura 5 apresenta as alterações do uso e ocupação do solo ao longo de 62 anos, até 2019. Dessa forma, as quatro classes adotadas refletem os principais usos do solo e suas interações com os sistemas ambientais da bacia hidrográfica: (1) área antropizada urbana; (2) área antropizada rural; (3) rizicultura e (4) vegetação.

A classe (1) área antropizada urbana é composta pelas edificações das áreas urbanas de Balneário Camboriú e Camboriú, bem como pelas vias (ruas, estradas e avenidas) desses dois municípios. Representa o crescimento urbano, a impermeabilização do solo e as pressões sobre os recursos hídricos. A classe (2) área antropizada rural abrange as áreas compostas pelas propriedades que exercem atividades agropecuárias e de silvicultura, atividades essas que promovem mudanças na paisagem e na qualidade da água; enquanto a classe (3) rizicultura, devido à sua relevância na dinâmica hidrológica da bacia, especialmente no consumo de água, corresponde aos cultivos de arroz na BHRC; sendo a classe (4) vegetação, compreendida pelas áreas remanescentes de vegetação nativa da Mata Atlântica da BHRC.

A escolha da classe rizicultura em detrimento de outras classes de uso antrópico baseou-se em sua relevância histórica e espacial dentro da área rural de Camboriú, especialmente no início do período analisado. A rizicultura foi uma das atividades agrícolas predominantes na região, incentivada por programas governamentais na década de 50, mas que posteriormente foram sendo transformadas em outras áreas agrícolas e também de pecuária.

Figura 5 - Representação cartográfica da série histórica dos diferentes tipos de uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú, Santa Catarina.



Fonte: elaborado pela autora.

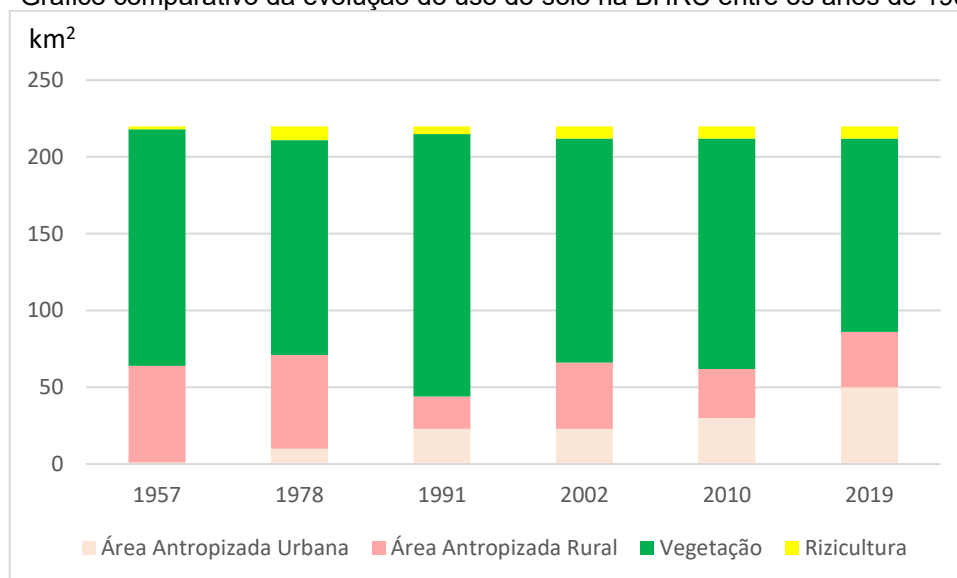
A Tabela 1 indica, por ano (1957, 1978, 1991, 2002, 2010 e 2019), as áreas em km², correspondentes a cada classe de uso e ocupação do solo e seu percentual em relação à área total da BHRC. A Figura 6 apresenta o gráfico das alterações dos usos na área de estudo e as Figura 7 a Figura 10 as áreas em km² de perdas e ganhos entre as diferentes classes de uso e ocupação do solo para os seis anos.

Tabela 1 - Área em km² das classes de uso e ocupação do solo por ano na Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú, Santa Catarina.

Classes	Área em km ² e % em relação a área total da BHRC											
	1957		1978		1991		1462002		2010		2019	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	K43m ²	%	km ²	%	km ²	%
Área Antropizada Urbana	1	0,45	10	4,54	23	10,45	23	10,45	30	13,63	50	22,72
Área Antropizada Rural	63	28,63	61	27,72	21	9,54	43	19,54	32	14,54	36	16,36
Vegetação	154	70	140	63,63	171	77,72	146	66,36	150	68,18	126	57,27
Rizicultura	2	9	9	4	5	2,27	8	3,63	8	3,63	8	3,63
Total	220	100	220	100	220	100	220	100	220	100	220	100

Fonte: elaborado pela autora.

Figura 6 - Gráfico comparativo da evolução do uso do solo na BHRC entre os anos de 1957 e 2019.



Fonte: elaborado pela autora.

Figura 7 - Gráfico comparativo das perdas e ganhos em km² referentes ao uso e ocupação do solo na BHRC entre os anos de 1978 e 1991.



Fonte: elaborado pela autora.

Figura 8 - Gráfico comparativo das perdas e ganhos em km² referentes ao uso e ocupação do solo na BHRC entre os anos de 1991 e 2002.



Fonte: elaborado pela autora.

Figura 9 - Gráfico comparativo das perdas e ganhos em km² referente ao uso e ocupação do solo na BHRC entre os anos de 2002 e 2010.



Fonte: elaborado pela autora.

Figura 10 - Gráfico comparativo das perdas e ganhos em km² referente ao uso e ocupação do solo na BHRC entre os anos de 2010 e 2019.



Fonte: elaborado pela autora.

O livro Camboriú & Balneário de Isaque Corrêa publicado no ano de 2019, apresenta que, historicamente, anos depois da Grande Guerra, a Praia de Camboriú começou a receber um grande número de pessoas. Esses visitantes eram denominados de “veranistas”. Segundo Corrêa (2019), lugares turísticos atraem moradores fixos também, e, por isso, em 1952, ocorreu um aumento significativo voltado ao desenvolvimento urbano em Balneário Camboriú.

Na época, a prefeitura aprovava a construção de uma média de 40 casas por ano até 1951. No ano seguinte, em 1952, os requerimentos somaram um montante de 620 unidades. Foi um “boom” de crescimento, de mais de 1.200%, fato que guinou a Praia de Camboriú ao topo das cidades turísticas do sul do Brasil e, também, a decretar sua emancipação, em 1964 (CORRÊA, 2019). Esse comportamento de alteração do uso e ocupação do solo destacada pela substituição da vegetação pela urbanização pode ser visualizado nas imagens de 1957 e 1978 (Figura 5), representada quantitativamente no gráfico da Figura 6.

Ainda conforme Corrêa (2019), mesmo com a emancipação, o pensamento generalizado entre os políticos da época era de que “o povo sempre vai precisar de comida e lazer não enche barriga”. Entretanto, por diversas razões, esse mesmo grupo de políticos não percebeu que estavam surgindo técnicas mais modernas na agricultura e na economia. Então, na década de 60, o contexto socioeconômico da época derrubou o modelo mini-fundiário, e o padrão camboriuense de produzir alimentos, de forma extensiva, sucumbiu. Infelizmente, muitos agricultores também não levaram em conta que outras formas modernas na agricultura poderiam advir, principalmente da mecanização e, por isso, aos pequenos produtores de Camboriú, coube abandonar as terras e buscar oportunidades de trabalho nos grandes centros industriais do Estado. Consequentemente, localidades rurais, outrora florescentes em Camboriú, foram tomadas novamente pela vegetação nativa nos anos 70/80.

Segundo Dortzbach *et al.* (2015), relatos de moradores antigos corroboram com a afirmação de que muitas áreas atualmente florestadas em Camboriú eram, no passado, utilizadas para culturas, especialmente o café que teve seu declínio na década de 1950, devido às adversidades climáticas da região. Entre a década de 50 e 60, as espécies cultivadas eram: café sombreado, mandioca, banana, cana, feijão, milho, amendoim, maracujá, melancia, fumo, batata doce e olericultura (RABELO, 2019). As plantações eram orgânicas e os cultivos agroflorestais, sendo que, ao mesmo tempo, ocorria o corte de árvores nativas para a venda.

O surgimento da floresta secundária, principalmente nas áreas de encosta, pode estar relacionado tanto ao abandono das áreas pelos elevados índices de erosão e degradação dos solos, ocasionados pelo uso com culturas e pastagens nas áreas declivosas, quanto também pelo êxodo rural. Fatores como desincentivo às

práticas agrícolas e as adversidades climáticas, provavelmente contribuíram para a diminuição das áreas de agricultura e pecuária, assim como para o acréscimo de vegetação no período entre 1957 e 1991, que pode ser constatado a partir da análise das fotografias aéreas e imagens de sensores de satélite (Figura 5), e representado nos valores do gráfico da Figura 7. Além disso, na década de 70, ocorreu a derrubada dos cafezais e o desaparecimento da produção de bananas, dando início a expansão da produção de arroz (REBELO, 2019).

Apesar de ter sofrido uma redução significativa da vegetação entre os anos de 1957 e 1978, na década de 80 nota-se um período de regeneração. Entretanto, na década de 90 há novamente um avanço no processo de perda da vegetação, provocado provavelmente pelo desenvolvimento das áreas antropizadas urbanas e rurais, principalmente das áreas urbanas de Balneário Camboriú. Em Camboriú, em função do difícil acesso às morrarias, a existência das áreas naturais com a presença de vegetação ainda se mantém. Cabe ressaltar que esse aumento das áreas de vegetação constatado entre os anos 70 e 90 pode estar associado ao plantio de eucaliptos. Granemann (2014) destaca que 14% da BHRC é ocupada pela monocultura do eucalipto, que é uma espécie exótica na região.

Por outro lado, a extensa faixa que compreende a praia de Balneário Camboriú ficou deserta por muito tempo, já que, no passado, a prioridade dos investimentos do país estavam voltados para as atividades de agricultura e não de turismo e lazer. Porém, com a inauguração da BR-101, houve uma diminuição sensível de fluxo no trânsito da cidade de Camboriú e um aumento no fluxo de turistas em Balneário Camboriú.

No contexto do período aqui analisado, o censo do IBGE do ano 1970 denota 10.839 habitantes em Balneário Camboriú, enquanto em 1991 a população chegou a 40.308 habitantes, dobrando de tamanho desde os anos 1980, quando era habitada por 21.854 pessoas. Os censos do IBGE apresentam ainda os valores de 73.455 habitantes no ano 2000, passando para 108.089 em 2010 e 139.155 habitantes em 2022.

Já o município de Camboriú, o qual era habitado por menos de 5 mil habitantes antes da década de 70, passou a ter 14.038 habitantes em 1980, 25.806 em 1991, 41.445 habitantes em 2000 e 62.361 em 2010. Para o ano de 2022,

Camboriú conta com uma população de 104.074 habitantes, expressando, proporcionalmente, um crescimento maior em número de habitantes que o município vizinho, Balneário Camboriú, reflexo visualizado no gráfico da Figura 6.

O município de Camboriú, no ano de 2013, apresentava 1.004 imóveis rurais cadastrados no INCRA, correspondendo a uma área de, aproximadamente, 17.643,80 hectares, conforme apresentado no Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú e Bacias Contíguas (2017). No entanto, de acordo com os dados consultados no INCRA, no ano de 2020 foi constatado um incremento de 40% nos imóveis rurais cadastrados, chegando a um número de 1.410 imóveis, e uma área ocupada de 23.256,50 hectares. Porém, segundo o Plano Diretor de Balneário Camboriú (Lei N° 2794/2008), não são mais verificados imóveis rurais no município. Dessa forma, observa-se que as áreas agrícolas apresentaram um crescimento contínuo entre as décadas de 1950 e 1980, seguido por um período de retração ao longo de 20 anos, até os anos 2000. No entanto, a partir desse período, verificou-se uma retomada da expansão agrícola, que se manteve até o ano analisado de 2019 (Figura 10).

Um aumento gradativo nas áreas de arroz irrigado, demonstra que essa cultura representa uma importante atividade econômica para a região do BHRC, conforme pode ser visualizado nos gráficos da Figura 6.

Entre os fatores que contribuíram para o aumento dessas áreas, destaca-se a implantação do Programa de Aproveitamento Racional das Várzeas Irrigáveis (Provárzeas), elaborado em 1978 pelo Governo João Figueiredo e oficializado através do Decreto N° 86.146 de 23 de junho de 1987 (DORTZBACH *et al.*, 2015). Esse programa visou a utilização econômica das várzeas para o saneamento agrícola, a drenagem e a irrigação.

Assim, o que se nota é o cultivo do arroz nas regiões de planície do município de Camboriú, ao longo do curso médio do rio Camboriú. Entretanto, a rizicultura e as áreas alagáveis vem sendo substituídas por uma expansão urbana desordenada (REBELO, 2019).

6.2 DEFINIÇÃO DOS SISTEMAS AMBIENTAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CAMBORIÚ

A partir dos resultados obtidos na classificação e uso do solo, foram identificados e mapeados dezesseis sistemas ambientais, compostos por ecossistemas e sistemas antrópicos (construídos) na Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú.

Considerando os usos antrópicos dos recursos naturais na BHRC, foram definidos os sistemas ambientais da área de estudo, sendo os terrestres classificados em: (1) sistema de praia e dunas costeiras; (2) sistema de silvicultura; (3) sistema predominantemente agrícola; (4) sistema predominantemente pecuário; (5) sistema florestal; (6) sistema de mata ciliar; (7) sistema ambiental de manguezal; (8) sistema urbano; (9) sistema industrial; (10) sistema viário terrestre.

Os sistemas ambientais aquáticos da BHRC e enseada de Balneário Camboriú foram delimitados com base na presença de ambientes que abrigam um sistema ecológico específico, sendo os sistemas ambientais definidos: (11) sistema de nascentes; (12) sistema estuarino; (13) sistema aquaviário; (14) sistema ambiental praial; (15) sistema costão rochoso; (16) sistema marinho adjacente.

De acordo com o acima exposto, a Tabela 2 apresenta os sistemas ambientais terrestres e aquáticos mapeados para a Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú e área marinha adjacente.

Tabela 2 - Sistemas Ambientais da Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú e área marinha adjacente, Santa Catarina.

AMBIENTE	SISTEMA
Terrestre	Sistema de Praia e Dunas Costeiras
	Sistema de Silvicultura
	Sistema Predominantemente Agrícola
	Sistema Predominantemente Pecuário
	Sistema Florestal
	Sistema Mata Ciliar
	Sistema Manguezal
	Sistema Urbano
	Sistema Industrial
	Sistema Viário Terrestre

AMBIENTE	SISTEMA
Aquático	Sistema Estuarino
	Sistema de Nascentes
	Sistema Ambiental Praial
	Sistema Costão Rochoso
	Sistema Marinho Adjacente
	Sistema Aquaviário

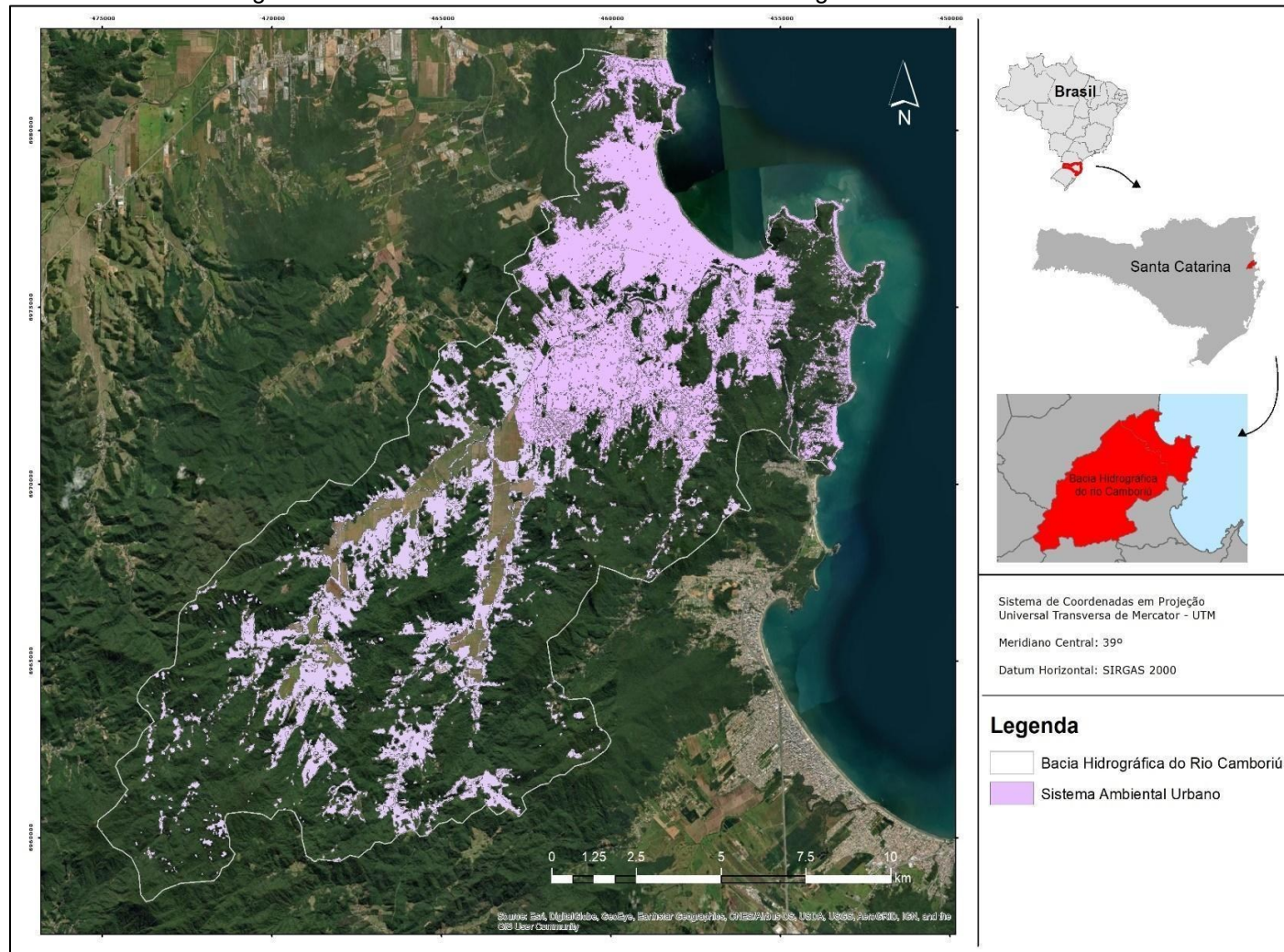
Fonte: elaborado pela autora.

A descrição e a representação cartográfica de cada um dos sistemas da BHRC estão apresentados a seguir.

6.2.1 Sistema Ambiental Urbano

O Sistema Ambiental Urbano é caracterizado pela concentração de pessoas em um determinado ambiente com complexa infraestrutura, no qual há trocas, ligações, transferências materiais e imateriais, que envolve fluxos, circulação e escalas variadas (IBGE, 2016) (Figura 11). O início da estruturação desse sistema se dá com a colonização a partir de territórios já povoados e a ocorrência de vilas e cidades associadas à exploração de recursos naturais (MOURA & PÊGO, 2017).

Figura 11 - Sistema Ambiental Urbano da Bacia Hidrográfica do rio Camboriú.



Fonte: elaborado pela autora.

A área total do Sistema Ambiental Urbano na BHRC é de aproximadamente 42,4 km². A intensa ocupação e a aptidão turística fazem de Balneário Camboriú um dos destinos de lazer mais requisitados do sul do país, principalmente pela infraestrutura oferecida, aliada à beleza cênica presente ao longo de toda a orla marítima do município. Essa característica tem como consequência uma intensa ocupação urbana, seja essa voltada à instalação de prédios residenciais, quanto à uma ampla rede hoteleira, além de uma diversificada estrutura de serviços e comércios voltados, prioritariamente, ao turismo.

O município de Balneário Camboriú possui a maior densidade populacional do Estado, chegando a 2.309,74 hab/km², enquanto Camboriú possui 290,73 hab/km² (ACQUAPLAN, 2017). A população de Balneário Camboriú é 100% urbana, visto que o município é classificado como 100% urbano desde o ano 1998; enquanto Camboriú apresenta 95% da sua população residente na área urbana do município (ACQUAPLAN, 2017).

Segundo o Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú (CERTI, 2017), o crescimento populacional total dos municípios da bacia foi impulsionado majoritariamente pelo aumento da população urbana, com um crescimento médio de 1.920 habitantes/ano entre os anos de 1970 e 2010, enquanto a taxa média de crescimento da população rural foi negativa neste período, ou seja, aproximadamente, -94 habitantes/ano.

Por conta do viés turístico, na temporada de verão a população total de Balneário Camboriú (flutuante e fixa), chega facilmente a um milhão de pessoas (IBGE, 2010), fazendo com que a densidade populacional aumente para cerca de 21.700 hab/km². Isso coloca o município no topo da lista das cidades do Brasil com a mais alta densidade demográfica.

6.2.2 Sistema Ambiental Industrial

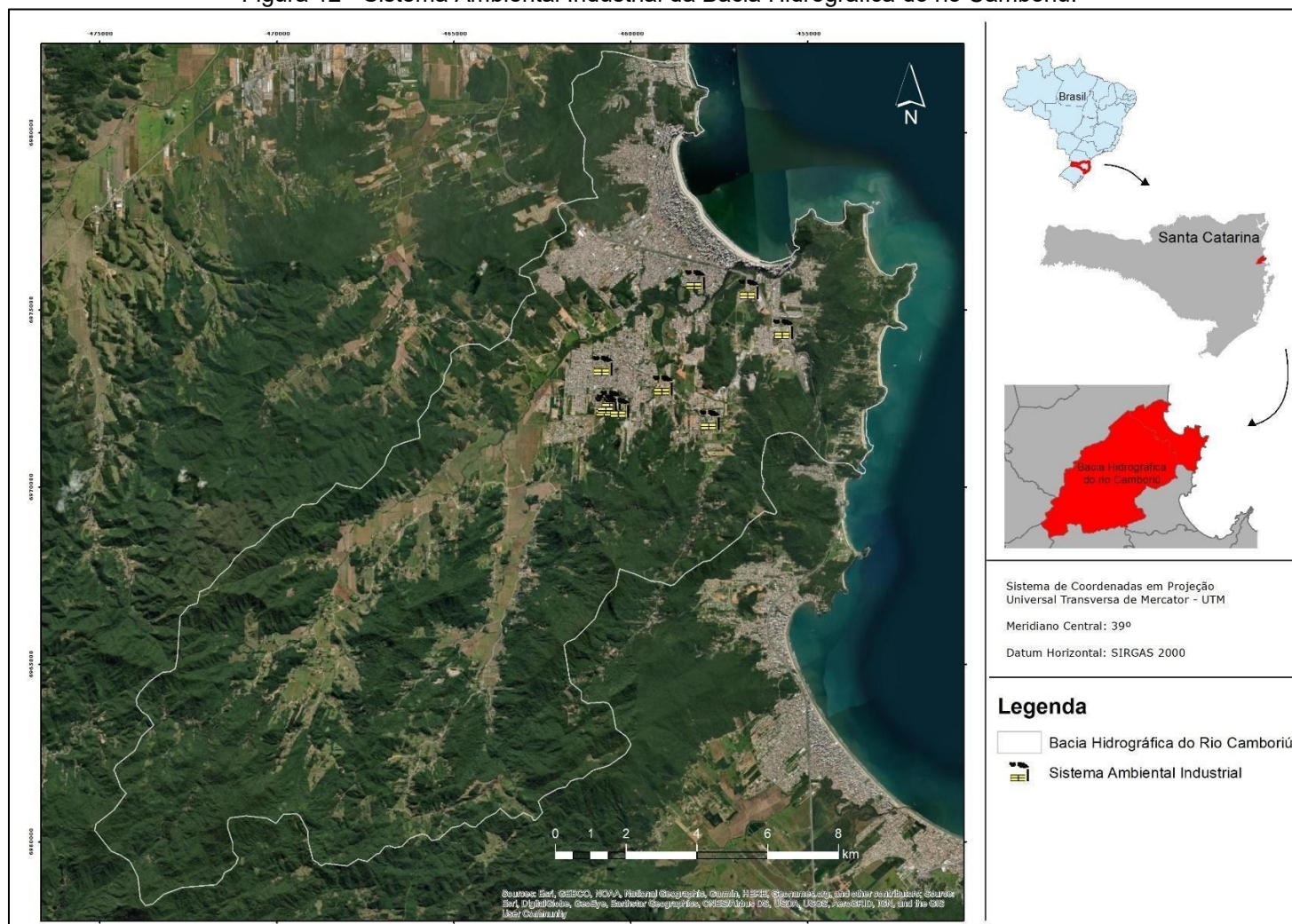
O Sistema Ambiental Industrial na BHRC (Figura 12) é composto por estabelecimentos de atividades econômicas que transformam matéria-prima em produtos comercializáveis, utilizando mão de obra humana, máquinas e energia. Em 2016, o setor industrial do município de Balneário Camboriú registrou uma

participação de aproximadamente R\$ 40.003,30 no PIB municipal, enquanto o município de Camboriú apresentou, em torno de R\$ 842.000,00 (SIDRA/IBGE, 2016).

Em Balneário Camboriú a economia local é amplamente dominada pelo setor de serviços, especialmente turismo e construção civil. No entanto, o município abriga indústrias de destaque, como a HR Group, que atua no setor de transformação, e a Philozon Indústria e Comércio de Geradores de Ozônio Ltda, especializada na fabricação de equipamentos médicos e hospitalares. Além disso, empresas como a Zikeli Indústria Mecânica Ltda contribuem para o segmento metalúrgico na região. Pode-se dizer que Balneário Camboriú possui atualmente um setor industrial diversificado com ênfase em transformação e metalurgia.

Já em Camboriú, historicamente, a economia tem se baseado na agricultura familiar e no comércio. Recentemente, o município tem demonstrado uma crescente vocação para o setor industrial, beneficiando-se de sua localização estratégica próxima à BR-101 e à infraestrutura logística regional. As principais indústrias emergentes incluem cerâmicas para produção de telhas e tijolos, madeireiras, metalúrgicas, concreteiras, fábricas de móveis e têxteis.

Figura 12 - Sistema Ambiental Industrial da Bacia Hidrográfica do rio Camboriú.

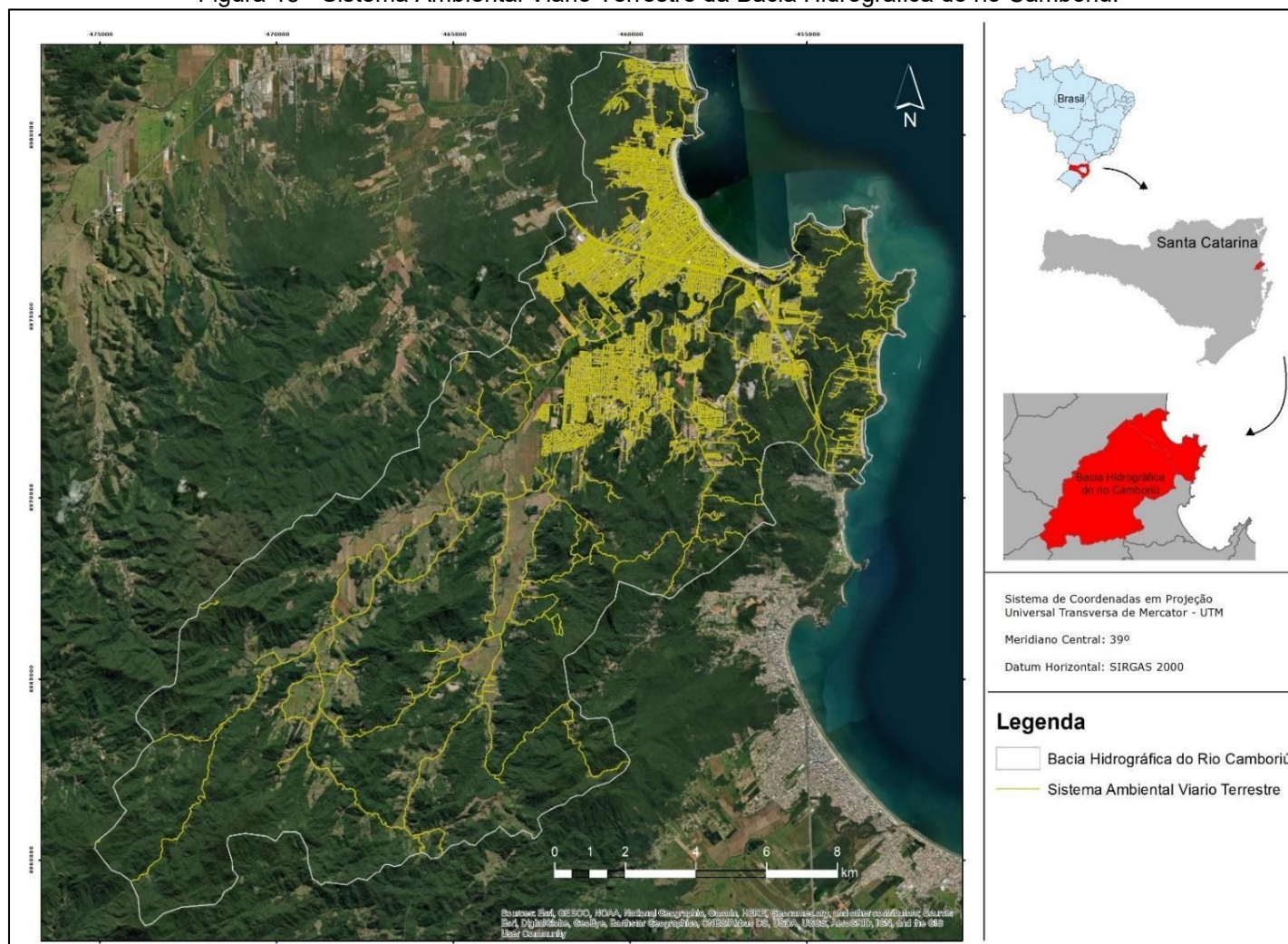


Fonte: elaborado pela autora.

6.2.3 Sistema Ambiental Viário Terrestre

O Sistema Ambiental Viário Terrestre na BHRC é caracterizado por um conjunto de infraestruturas, as vias, que tem como objetivo a comunicação terrestre entre dois ou mais lugares (Figura 13). Estas vias são espaços físicos em que circulam pessoas e veículos. De acordo com o PlanMob (2007), desenvolvido pelo Ministério das Cidades, o Sistema Viário “é o espaço público no qual as pessoas circulam, articulando, no espaço, as atividades humanas intra e interurbanas, além de abrigar redes de distribuição dos serviços urbanos”.

Figura 13 - Sistema Ambiental Viário Terrestre da Bacia Hidrográfica do rio Camboriú.



Fonte: elaborado pela autora.

Cabe destacar que o Sistema Viário Terrestre inclui um trecho da BR-101, rodovia brasileira que tem início no Rio Grande do Norte e termina no extremo sul do Rio Grande do Sul, sendo um dos principais trechos rodoviários do país, com 4.650 km de extensão. Esse sistema na BHRC corresponde a, aproximadamente, 925 km de extensão.

O sistema viário em Balneário Camboriú é composto por avenidas principais que estruturam o trânsito urbano, como a Avenida Atlântica, a Avenida Brasil e a Avenida do Estado. Para melhorar a fluidez do tráfego, foram implementados projetos como o "Binário", que cria vias paralelas de sentido único, otimizando o fluxo de veículos. Essa iniciativa está sendo implementada em 2025 e transformará a conexão com o município vizinho de Itajaí, melhorando o fluxo que atualmente encontra-se saturado. Por sua vez, em Camboriú, o sistema viário caracteriza-se por ruas estreitas que se interligam com poucas avenidas principais. A ligação entre Camboriú e Balneário Camboriú é realizada principalmente pela Avenida Santa Catarina, que enfrenta desafios de capacidade devido ao aumento do tráfego. Para enfrentar essas questões, o município tem investido em melhorias na infraestrutura viária, incluindo a ampliação e pavimentação de vias, além da implementação de projetos de mobilidade urbana que buscam integrar diferentes modais de transporte e melhorar a acessibilidade. Entretanto, ambos os municípios reconhecem a importância de um planejamento viário eficiente para atender às necessidades crescentes de mobilidade, visando reorganizar e melhorar o fluxo de veículos entre os municípios.

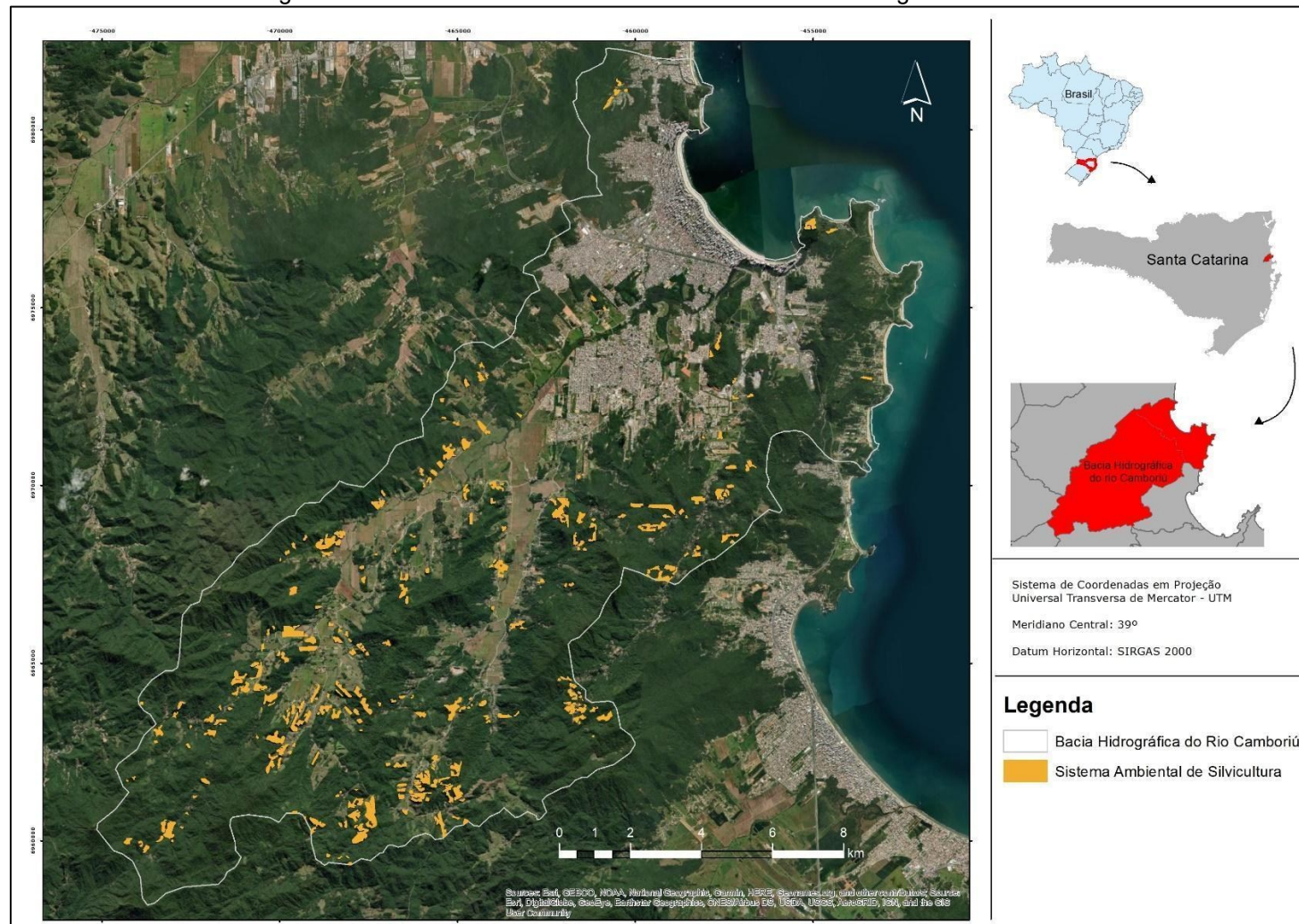
6.2.4 Sistema Ambiental de Silvicultura

O Sistema Ambiental de Silvicultura abrange um sistema de florestas de espécies introduzidas ou nativas, plantadas pelo homem, que visam à produção de madeira, fibra, carvão, resina, entre outros (Figura 14).

A prática da silvicultura vem se expandindo nos últimos anos em todo o mundo. Em 2005, havia 105 milhões de hectares plantados, número que aumentou para 291 milhões de hectares em 2015.

Estima-se que, dos 5,4 milhões de hectares de plantações florestais no Brasil, 60% são da espécie do gênero *Eucalyptus*, 36% do gênero *Pinus* (espécies exóticas de rápido crescimento) e, apenas, 4% de outras espécies (PENSAF, 2006). Para a área da BHRC, a partir da classificação do uso e ocupação do solo, foram mapeados aproximadamente 9,8km² de Sistema Ambiental de Silvicultura em 2020.

Figura 14 - Sistema Ambiental de Silvicultura da Bacia Hidrográfica do rio Camboriú.



Fonte: elaborado pela autora.

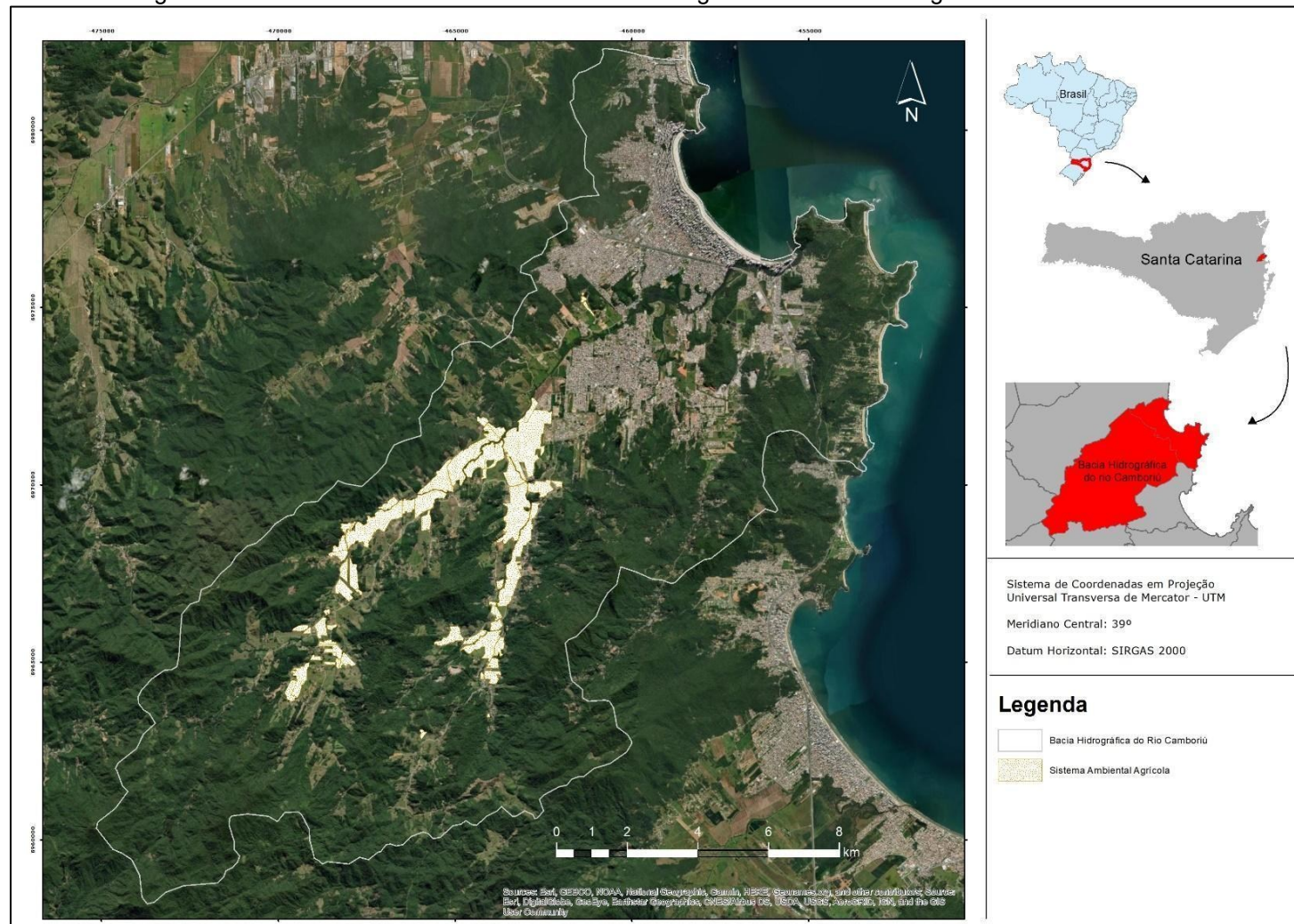
Segundo dados do IBGE (2023), atualmente a silvicultura é considerada uma atividade agrícola de média relevância na BHRC, destacando-se no município de Camboriú com uma produção de aproximadamente R\$ 450 mil por ano, para a qual se destina à produção de lenha de eucalipto em uma área aproximada de 700 ha na área rural do município. Conforme apontam as informações do IBGE, em 2004 a produção de eucalipto em Camboriú era de aproximadamente 250 ha em 2004, passando para 1.000 ha em 2015 e baixando para 700 ha no ano de 2017 e assim se mantém estável até o presente. A silvicultura em Camboriú caracteriza-se principalmente pelo cultivo de espécies exóticas, como *Pinus sp.* e *Eucalyptus sp.*, destinadas à produção de madeira para serrarias, papel e celulose, além de carvão vegetal. A região apresenta condições climáticas favoráveis para o crescimento rápido dessas espécies, o que incentiva a prática da silvicultura.

6.2.5 Sistema Ambiental Predominantemente Agrícola

O Sistema Ambiental Predominantemente Agrícola é composto por áreas de solos utilizados para cultivo de culturas como de grãos, vegetais, árvores frutíferas e plantas em geral. É um sistema associado a um manejo mais intensivo, com adubação natural ou química, rotação de culturas, e, por consequência, com um maior nível de alteração e transformação quando comparado ao sistema natural de origem (Figura 15).

Segundo o levantamento do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), que, por sua vez, utiliza a base de dados do IBGE (2010), o percentual da área territorial ocupada por plantações na BHRC corresponde a 4,41%, sendo que 91,22% da área plantada corresponde às lavouras de arroz, e os demais 8,78% se dividem em cultivos de cana-de-açúcar, milho, feijão, mandioca, banana, tomate, entre outros (IPEADATA, 2014). Na área da BHRC, o Sistema Ambiental Predominantemente Agrícola correspondia, aproximadamente, a 9,4km² em 2020, concentrando-se preferencialmente nas planícies de inundação e vales fluviais do Rio Camboriú e de seus principais afluentes. Essas regiões apresentam relevo mais plano e maior disponibilidade hídrica ao longo do ano, condições que favorecem especialmente a rizicultura, tradicional na região.

Figura 15 - Sistema Ambiental Predominantemente Agrícola da Bacia Hidrográfica do rio Camboriú.



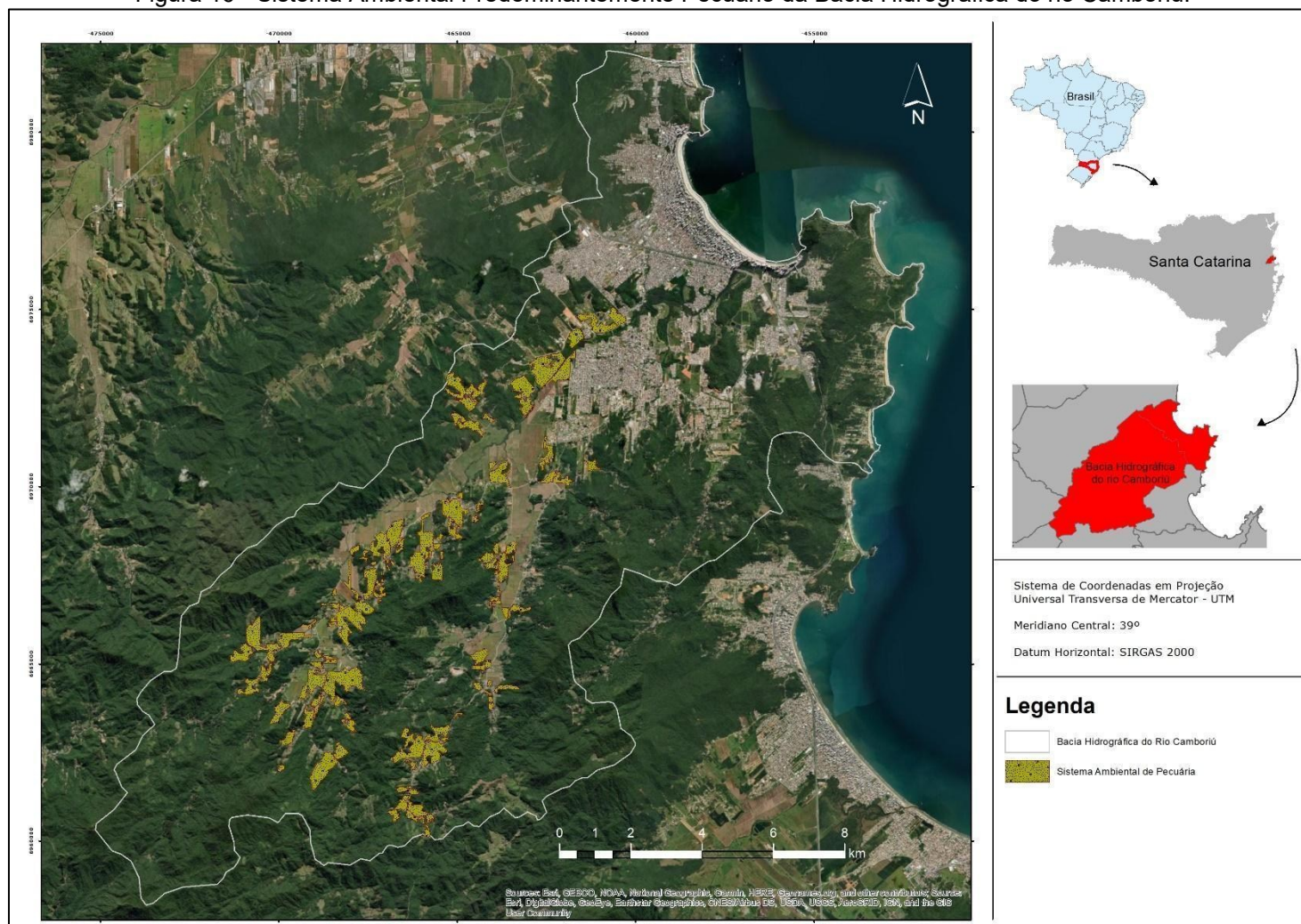
Fonte: elaborado pela autora.

6.2.6 Sistema Ambiental Predominantemente Pecuário

O Sistema Ambiental Predominantemente consiste na criação de animais para comercialização, principalmente para obtenção de matérias-primas, como carne, leite, couro, lã, entre outros. É formado por áreas de solo cobertas, essencialmente, pela vegetação de gramíneas e arbustos, em um relevo suave e plano (MMA, 2009) (Figura 16).

Em consulta ao sistema SIDRA/IBGE (2016), os dados referentes ao ano de 2014 apontam para criação de bovinos, bubalinos, equinos, suínos, caprinos, ovinos e galináceos nos municípios de Balneário Camboriú e Camboriú. A partir da classificação do uso e ocupação do solo, no ano de 2020, o Sistema Ambiental Predominantemente Pecuário tinha, aproximadamente, 11 km² na BHRC. A atividade pecuária tende a se concentrar em áreas de topografia suavemente ondulada, localizadas nas encostas baixas e elevadas próximas ao vale principal do Rio Camboriú. Essas regiões, situadas acima das planícies de inundação utilizadas pela agricultura, oferecem condições adequadas para o pastoreio extensivo, especialmente voltado à criação de bovinos.

Figura 16 - Sistema Ambiental Predominantemente Pecuário da Bacia Hidrográfica do rio Camboriú.



Fonte: elaborado pela autora.

6.2.7 Sistema Ambiental Florestal

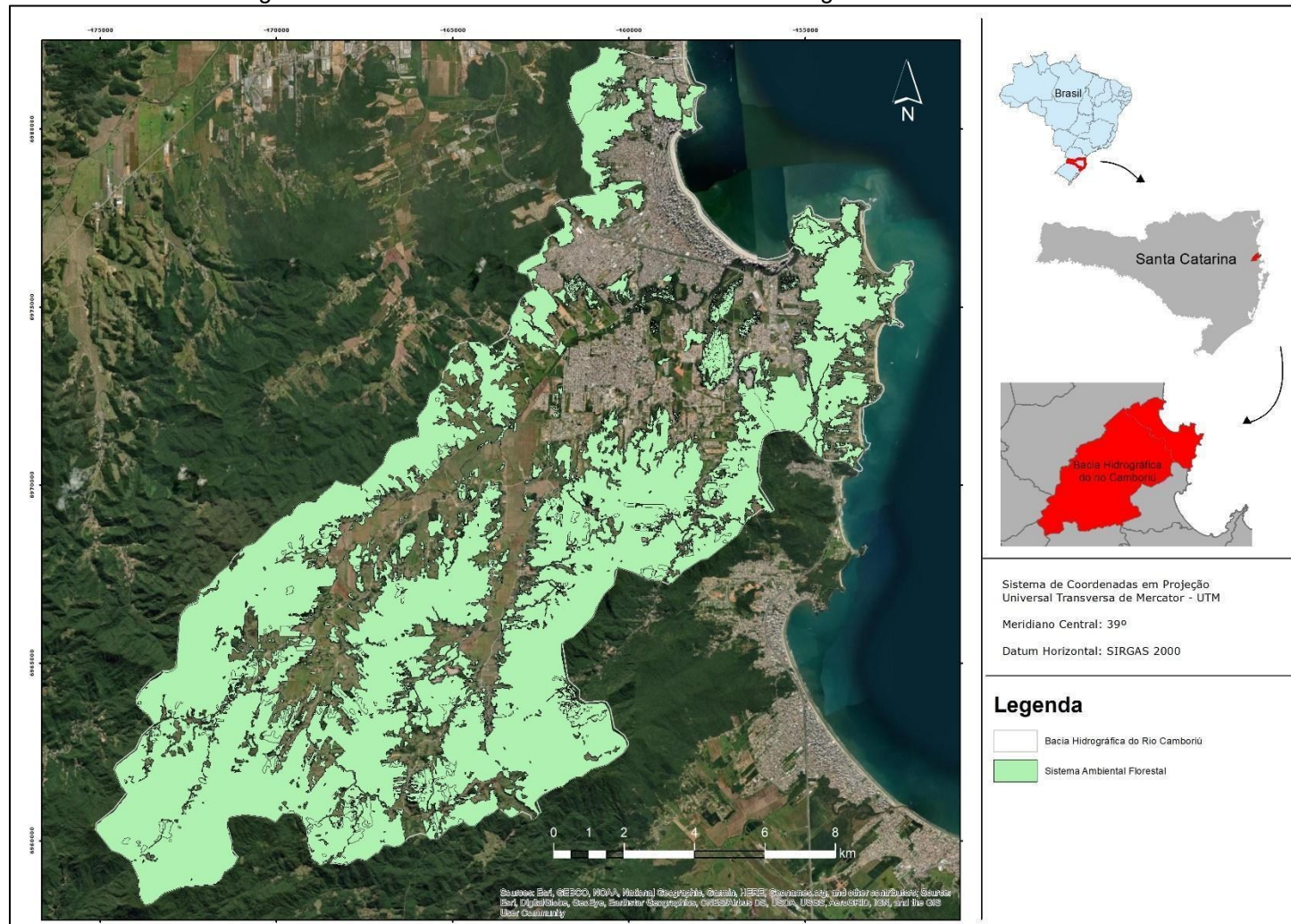
O Sistema Ambiental Florestal da BHRC (Figura 17) é composto predominantemente pela fitofisionomia Floresta Ombrófila Densa (FOD), situando-se no domínio do Bioma da Mata Atlântica. A FOD é uma formação exuberante, complexa e subdividida em sub-formações, quanto à composição, estrutura e aspecto fitofisionômico. Ocupa grande parte de Santa Catarina, margeando o Oceano Atlântico e, estendendo-se em direção ao interior, no Vale do Itajaí.

Na BHRC, a Floresta Ombrófila Densa é, predominantemente, caracterizada pela Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas, Floresta Ombrófila Densa Submontana, Vegetação com Influência Marinha (Restingas) e Vegetação com Influência Fluviomarina (Manguezal). Em muitas regiões, os antigos maciços florestais, atualmente, se encontram fragmentados, ou seja, interrompidos por barreiras antrópicas (estradas, bairros urbanos, culturas agrícolas, pastagens, etc.).

Próximo à desembocadura do rio Camboriú, após cruzar a rodovia BR-101, a vegetação está se tornando cada vez mais fragmentada devido à pressão da urbanização no Município de Balneário Camboriú, impulsionada pelo mercado imobiliário. As Áreas de Preservação Permanentes (APP) às margens do rio Camboriú, onde deveria haver vegetação nativa, acabaram sendo substituídas por residências, comércio e indústrias, restando apenas alguns fragmentos de vegetação distribuídos ao longo das margens do rio.

A classificação do uso e ocupação do solo, referente ao ano de 2020, resultou em uma área de, aproximadamente, 136 km² de Sistema Ambiental Florestal na BHRC. Porém, apesar da grande pressão da urbanização constatada até então, esse sistema é predominante na área da BHRC.

Figura 17 - Sistema Ambiental Florestal da Bacia Hidrográfica do rio Camboriú.



Fonte: elaborado pela autora.

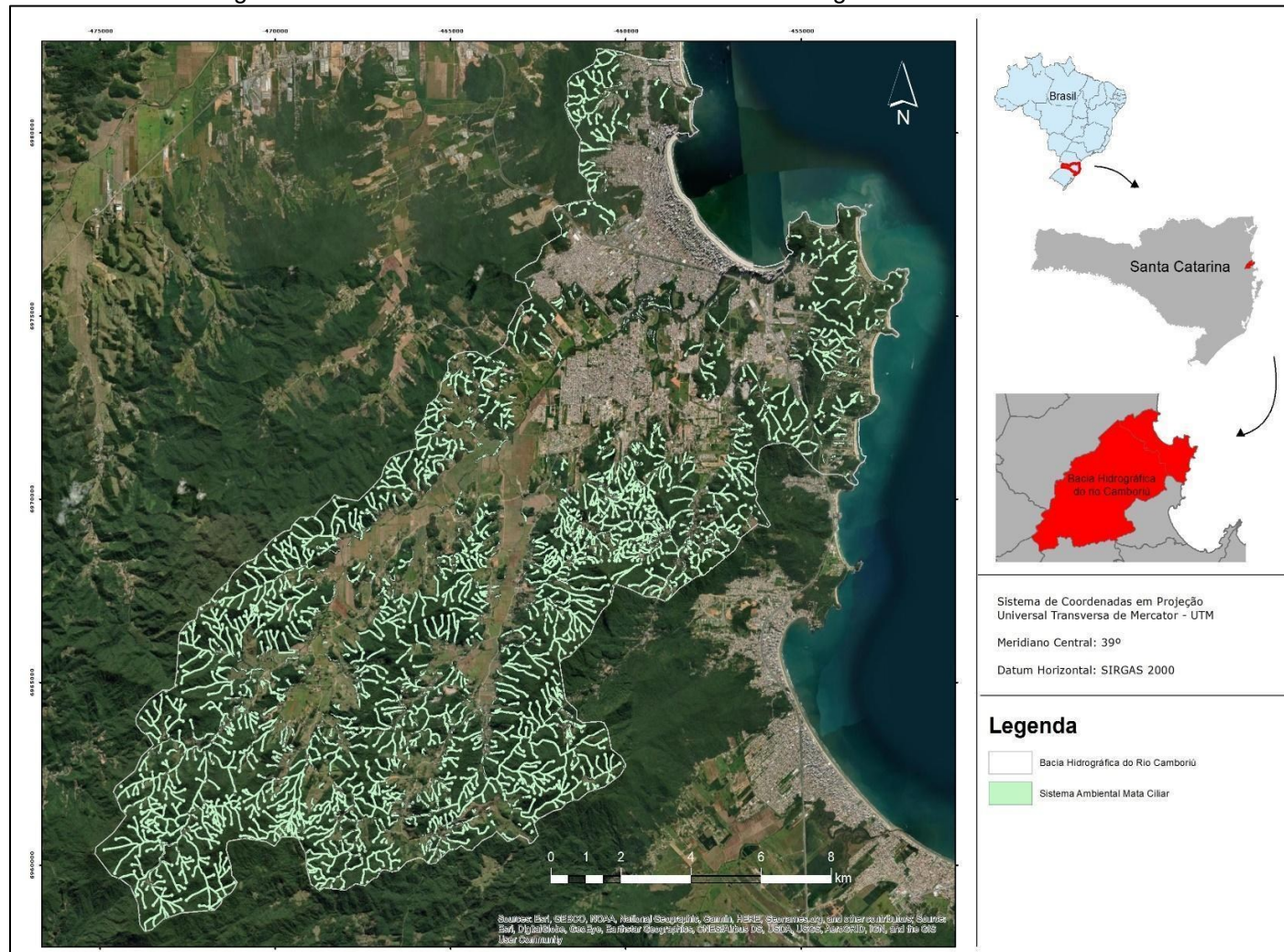
6.2.8 Sistema Ambiental Mata Ciliar

O Sistema Ambiental Mata Ciliar é a cobertura vegetal nativa estabelecida às margens dos rios, igarapés, lagos, olhos d'água e represas. São sistemas imprescindíveis à proteção das margens desses cursos d'água, tanto no combate à erosão, manutenção da diversidade florística, abrigo para fauna, fluxo gênico, entre outras funções.

A mata ciliar é uma formação vegetal nativa protegida pelo Código Florestal (Lei N° 12.651 de 2012), sendo qualificada como APP. Além da legislação florestal, o Brasil possui um arcabouço legal ambiental com diferentes enfoques quanto aos instrumentos de proteção, que visam restringir os impactos em corpos hídricos e orientar o uso racional desses recursos, em razão das múltiplas funções ambientais que estas áreas podem desempenhar.

Na BHRC, foram mapeados aproximadamente 5,8 km² do Sistema Ambiental de Mata Ciliar (Figura 18), entretanto, essa vegetação é fragmentada ao longo da bacia, tanto nos tributários, quanto no próprio rio Camboriú (ACQUAPLAN, 2016).

Figura 18 - Sistema Ambiental Mata Ciliar da Bacia Hidrográfica do rio Camboriú.



Fonte: elaborado pela autora.

6.2.9 Sistema Ambiental Manguezal

O Sistema Ambiental Manguezal é um ecossistema associado ao bioma Mata Atlântica (CAMPANALI; PROCHNOW, 2006), que ocorre nas regiões entre marés, das zonas tropicais e subtropicais do mundo (SCHAEFFER-NOVELLI, 1995, ALMEIDA *et al.*, 2008). Geralmente, ocorre associado às margens de baías, enseadas, estuários, lagunas e reentrâncias, cobrindo cerca de 70% das zonas costeiras tropicais em todo o mundo (SCHAEFFER-NOVELLI, 1995).

O ecossistema é formado a partir da interação dos processos geomorfológicos da ZC com as condições de clima, maré e vazão dos rios, associados ainda à ação biológica, a qual atua modificando a microtopografia e drenagem do solo; causando a bioturbação dos sedimentos e a ciclagem de nutrientes (LACERDA, 2009).

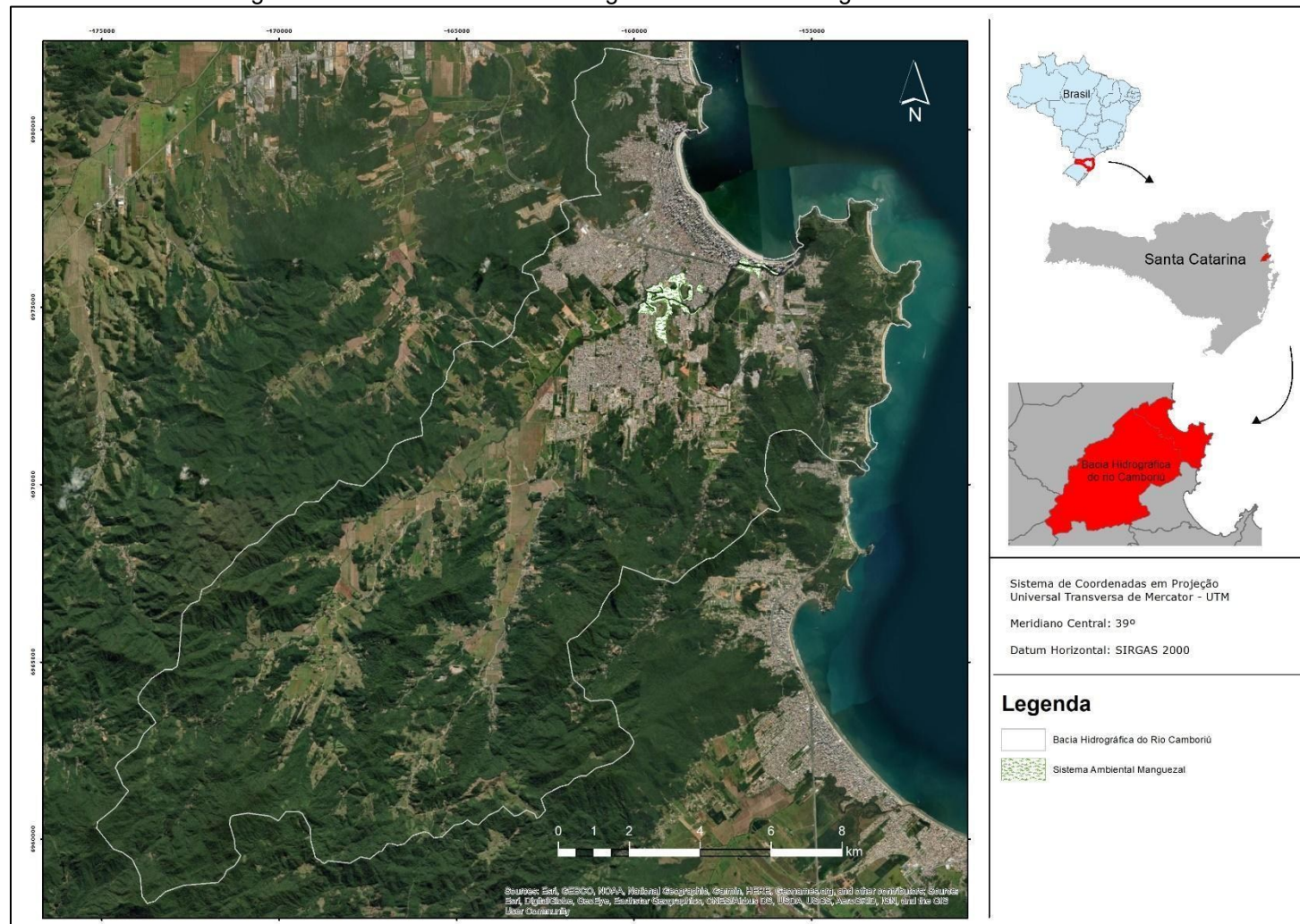
Os manguezais apresentam diversas e importantes funções ecológicas, sendo considerado um dos mais relevantes ecossistemas das zonas úmidas costeiras tropicais e subtropicais. Atuam como fontes de matéria orgânica para as áreas costeiras adjacentes, provendo bens e serviços socioambientais que atendem, diretamente e indiretamente, seres humanos e organismos costeiros (LUGO; SNEDAKER, 1974). São ecossistemas de elevada riqueza biológica, sendo importantes áreas de alimentação, berçário e abrigo para uma fauna altamente diversificada e que utiliza o ecossistema em pelo menos uma fase do ciclo de vida (SCHAEFFER-NOVELLI, 2002; VANUCCI, 2002). Essa fauna é composta de organismos residentes, especialmente crustáceos e moluscos; organismos migratórios como peixes, aves e mamíferos que frequentam o ecossistema em parte do seu ciclo de vida para alimentação, proteção e reprodução, e que dão os primeiros passos no processo de decomposição da matéria vegetal morta depositada no solo, reciclando os nutrientes nos manguezais (LACERDA, 2009).

Para o Brasil, são descritas sete espécies de plantas típicas de mangue, distribuídas em quatro gêneros, sendo: *Rhizophora mangle* L; *Rhizophora racemosa* G. F. Mayer; *Rhizophora harrisonii* Leechman; *Avicennia shaueriana* Stapf. E Leech; *Avicennia germinans* (L.) Stearn; *Laguncularia racemosa* (L.) Gaetern. f. e *Conocarpus erectus* (L) (SCHAEFFER-NOVELLI, 1986).

As áreas de manguezais na Bacia Hidrográfica do rio Camboriú estão atualmente restritas em uma pequena porção às margens do rio Camboriú, no estuário. Assim como no caso da restinga, os manguezais foram bastante descaracterizadas na região em função da expansão urbana desordenada ao longo do litoral (GUADAGNIN, 1999; PROSUL, 2013; TOGNELLA; OLIVEIRA, 2012). Tognella e Oliveira (2012) realizaram um estudo de caracterização estrutural do estuário do rio Camboriú e destacaram a ausência do mangue-vermelho *Rhizophora mangle* e predominância da espécie *Avicennia schaueriana*, a exemplo do que ocorre em outros manguezais catarinenses.

A partir da classificação do uso do solo de 2020, foi mapeado apenas 1 km² desse sistema ambiental na BHRC (Figura 19).

Figura 19 - Sistema Ambiental Manguezal da Bacia Hidrográfica do rio Camboriú.



Fonte: elaborado pela autora.

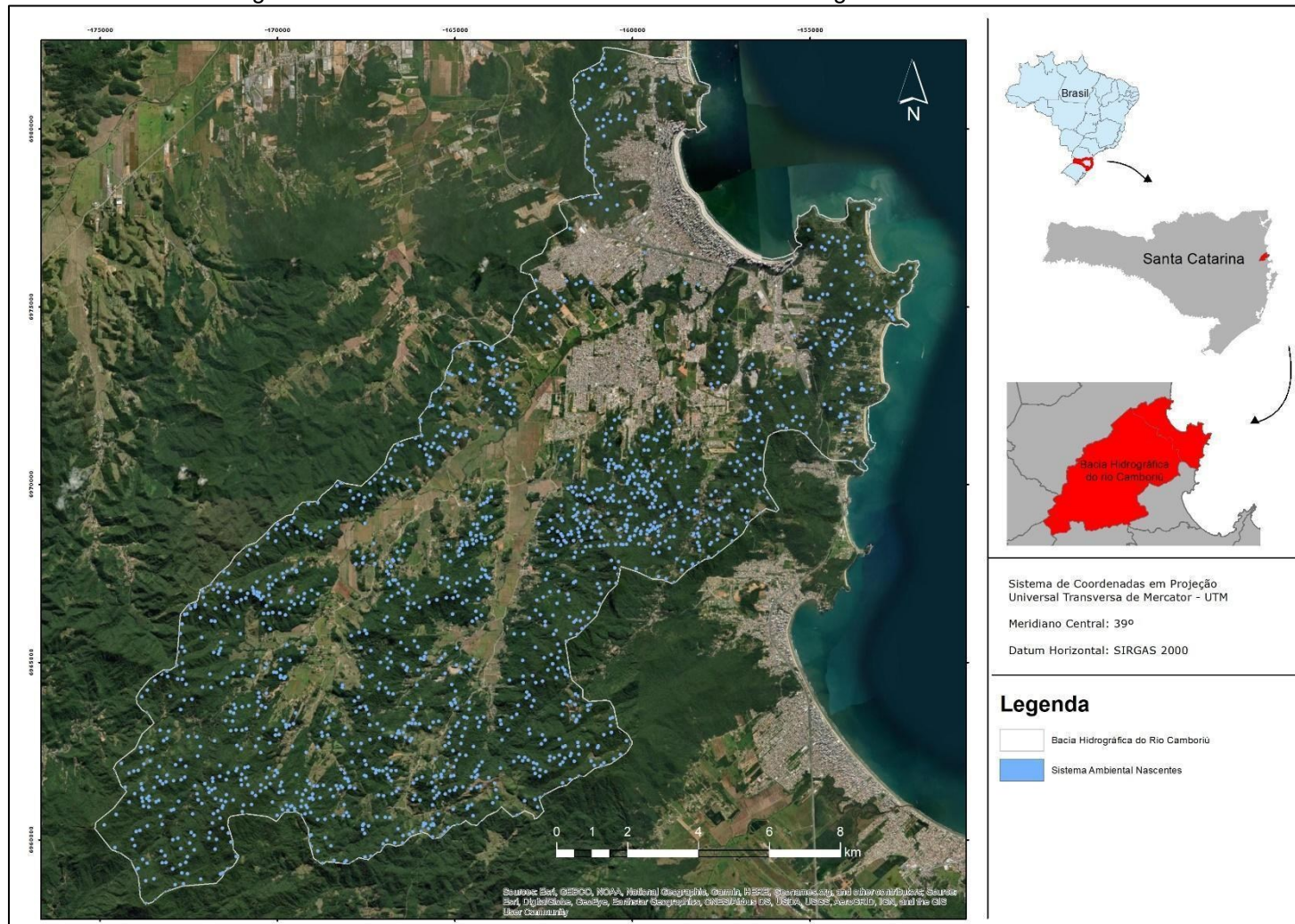
6.2.10 Sistema Ambiental Nascentes

Existem inúmeros conceitos na literatura que buscam definir o que é uma nascente. Considerando as diversas definições consultadas, optou-se pela definição de nascente como o afloramento do lençol freático, que vai dar origem a uma fonte de água de acúmulo (lagoa, represa), ou curso d'água (regatos, rios e ribeirões).

Conforme a Lei nº 12.651/2012, as áreas de faixas marginais e entorno desses bens naturais são passíveis de proteção a partir das Áreas de Preservação Permanente (APP). Nelas, o regime de proteção é diferenciado, com a necessidade de manutenção ou de recomposição da vegetação local. A intervenção nessas áreas ou a supressão de vegetação nativa em APP somente é possível em hipóteses excepcionais previstas na legislação.

A partir do uso e ocupação do solo e métodos de identificação de nascentes a partir do mapeamento de corpos d'água, foram identificadas 1.527 nascentes na BHRC, correspondendo a uma área de APP com, aproximadamente, 11,6 km² (Figura 20).

Figura 20 - Sistema Ambiental Nascentes da Bacia Hidrográfica do rio Camboriú.



Fonte: elaborado pela autora.

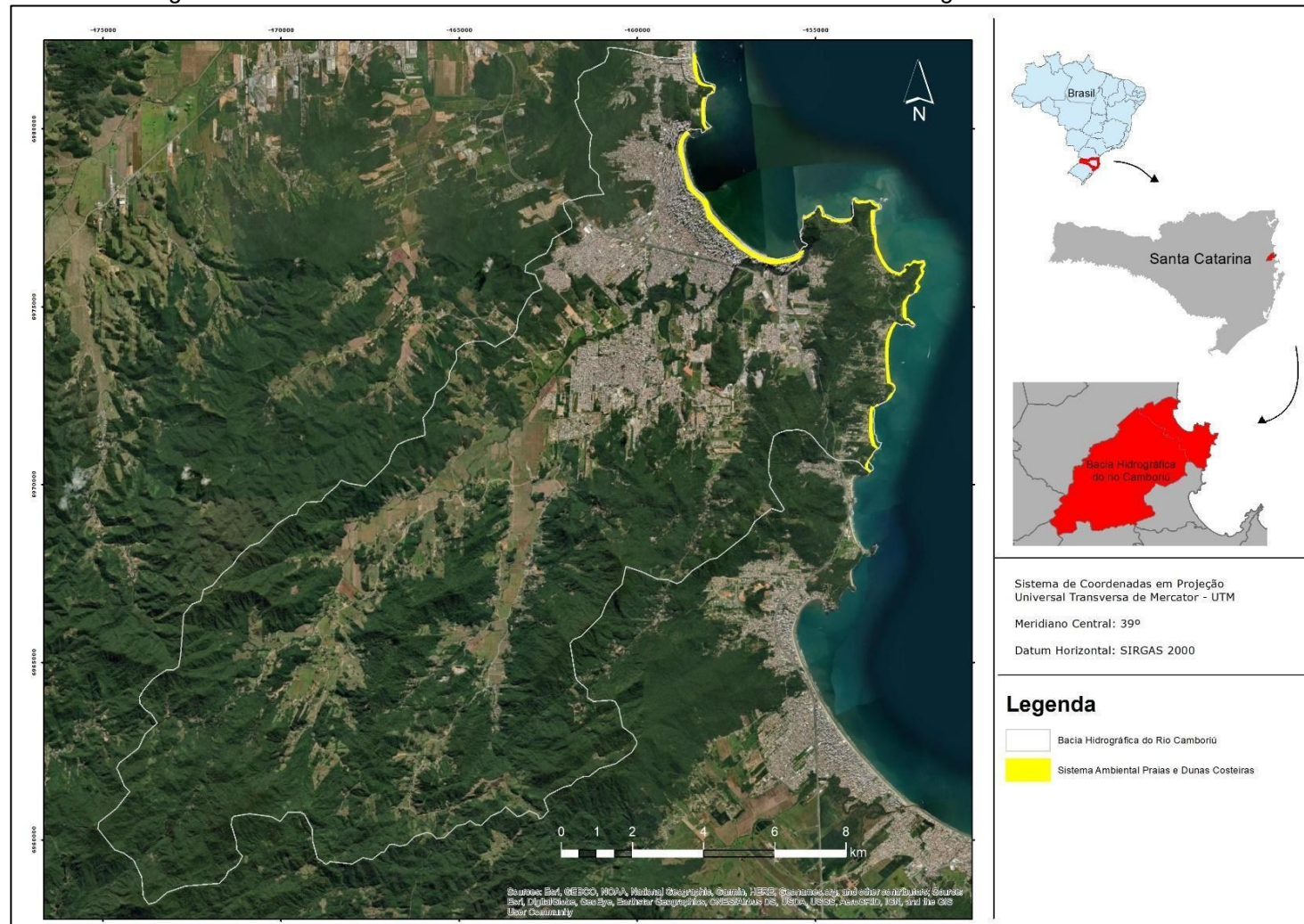
6.2.11 Sistema Ambiental de Praia e Dunas Costeiras

As praias se caracterizam por serem faixas da região litorânea cobertas por sedimentos arenosos compreendidas desde a linha de baixa-mar até o local em que se configura uma mudança fisiográfica (DIEHL, 1997). As dunas frontais são estruturas geológicas que se formam contiguamente às praias (REBELO & BRITO, 2004). A sua gênese e evolução, segundo Rebelo & Brito (2004), estão ligadas à existência de transporte eólico da praia para o interior do continente, e à capacidade de retenção de areia por parte da vegetação costeira, que vai aprisionar o sedimento, dando assim origem à formação das dunas.

O Sistema Ambiental de Praia e Dunas Costeiras da BHRC (Figura 21) se constitui, no ano de 2020, de uma área de aproximadamente 1,5 km², e percorre uma faixa em curvas, desde a Ponta da Preguiça até a Ponta da Praia de Laranjeiras, no município de Balneário Camboriú.

Cabe destacar que recentemente, no ano de 2020, o sistema de praia na Praia Central de Balneário Camboriú foi recuperado através de uma ação mecânica denominada engorda artificial, sendo depositado, aproximadamente, 2 milhões de metros cúbicos de areia de mesmo tamanho, densidade e granulometria do material original da praia, segundo informações da Prefeitura Municipal de Balneário Camboriú. Foi executado um alargamento de 70 metros na faixa de praia.

Figura 21 - Sistema Ambiental de Praias e Dunas Costeiras da Bacia Hidrográfica do rio Camboriú.



Fonte: elaborado pela autora.

6.2.12 Sistema Ambiental Estuarino do Rio Camboriú

Os estuários são ecossistemas de elevada importância biológica e socioeconômica. A sua abundante e diversificada comunidade e capacidade de renovação periódica de suas águas faz destes ecossistemas, locais onde ocorrem intensas transformações da matéria orgânica, representando um importante elo de ligação entre os ecossistemas fluvial e marinho.

O Sistema Ambiental Estuarino é o principal fornecedor de nutrientes para região costeira, pois recebem e concentram o material originado de sua bacia de drenagem e podem vir a receber aportes significativos por ação antrópica. Todo esse aporte de nutrientes coloca os estuários entre os sistemas mais produtivos do mundo, com altas taxas de produção primária e teores de biomassa autótrofa e heterótrofa (BRAGA *et al.*, 2000; PEREIRA FILHO *et al.*, 2001).

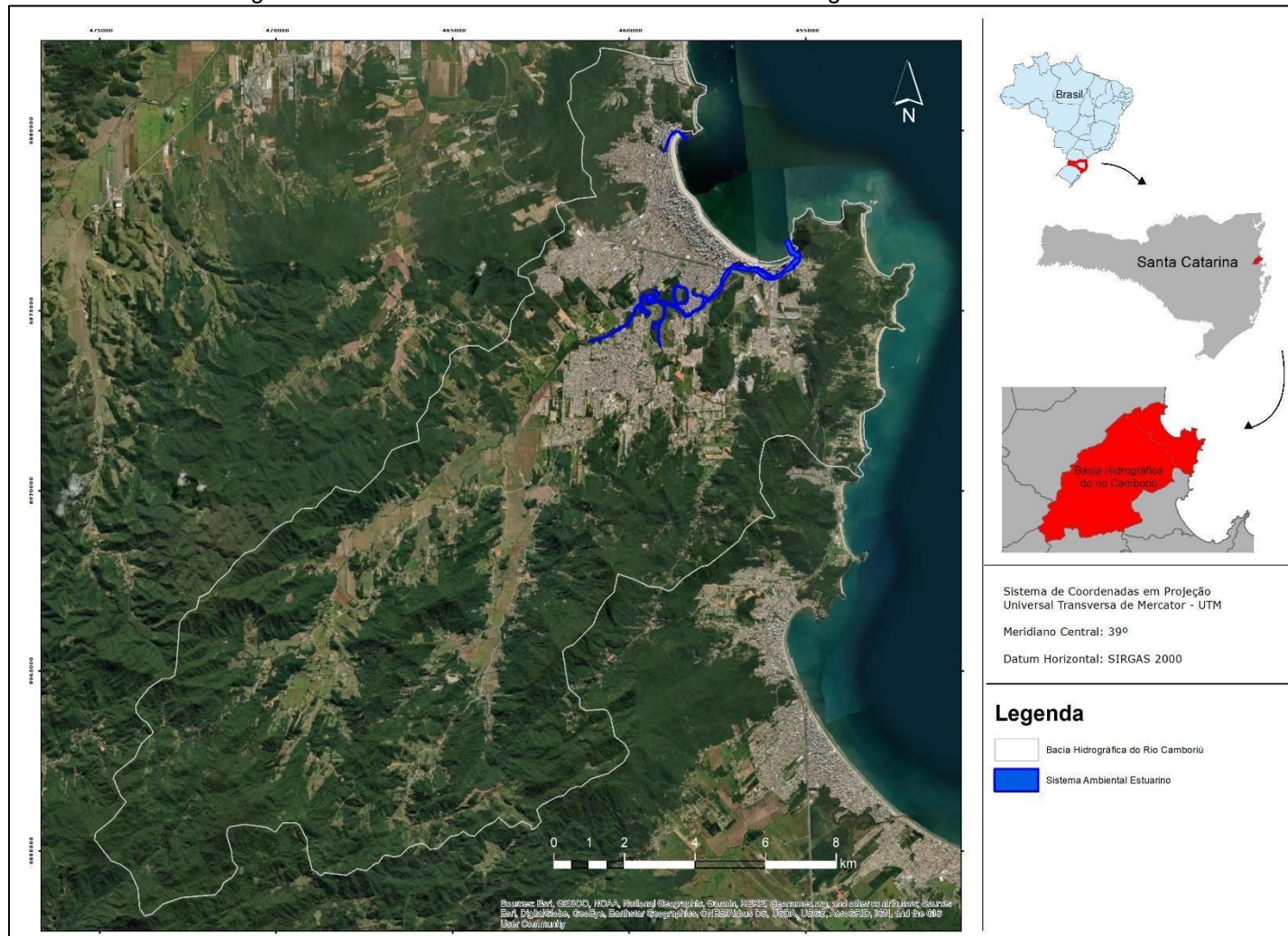
Por ser um ambiente semi fechado, o estuário do rio Camboriú sofre diretamente a influência de fatores físicos e hidrodinâmicos na distribuição dos parâmetros físico-químicos. Estes fatores podem ser a maré, a descarga de água doce, forçantes meteorológicas (ventos), bem como a própria geomorfologia da bacia de drenagem (KJERFVE, 1985). Os estuários, pela sua localização estratégica entre o oceano e os corpos de águas continentais, recebem diretamente o impacto das atividades humanas ocorridas nas bacias de drenagem, podendo influenciar na qualidade ambiental das áreas marinhas adjacentes.

Na BHRC, o estuário do rio Camboriú está localizado entre os municípios de Balneário Camboriú e Camboriú, representando a porção terminal do rio Camboriú, o qual representa 8 km de extensão, iniciando pelo ponto de captação de água que abastece os municípios de Balneário Camboriú e Camboriú, até a desembocadura. O Sistema Ambiental Estuarino da BHRC foi mapeado em uma área de, aproximadamente, 0,7 km² (Figura 22).

Nas proximidades de sua desembocadura, o estuário apresenta um canal de aproximadamente 120 metros de largura, com cerca de 2 metros de profundidade, sendo margeado por vegetação de manguezal, já degradada (PEREIRA FILHO *et al.*, 2001). Cabe aqui destacar que, após o ano de 2002, foram realizadas várias obras de intervenção na região de desembocadura deste rio, com a fixação de sua

barra com a construção de um molhe, e também, com a obra de dragagem de aprofundamento e alargamento do canal de navegação, dragagem esta que se estendeu até a altura da rodovia BR-101 (ACQUAPLAN, 2016).

Figura 22 - Sistema Ambiental Estuarino da Bacia Hidrográfica do rio Camboriú.



Fonte: elaborado pela autora.

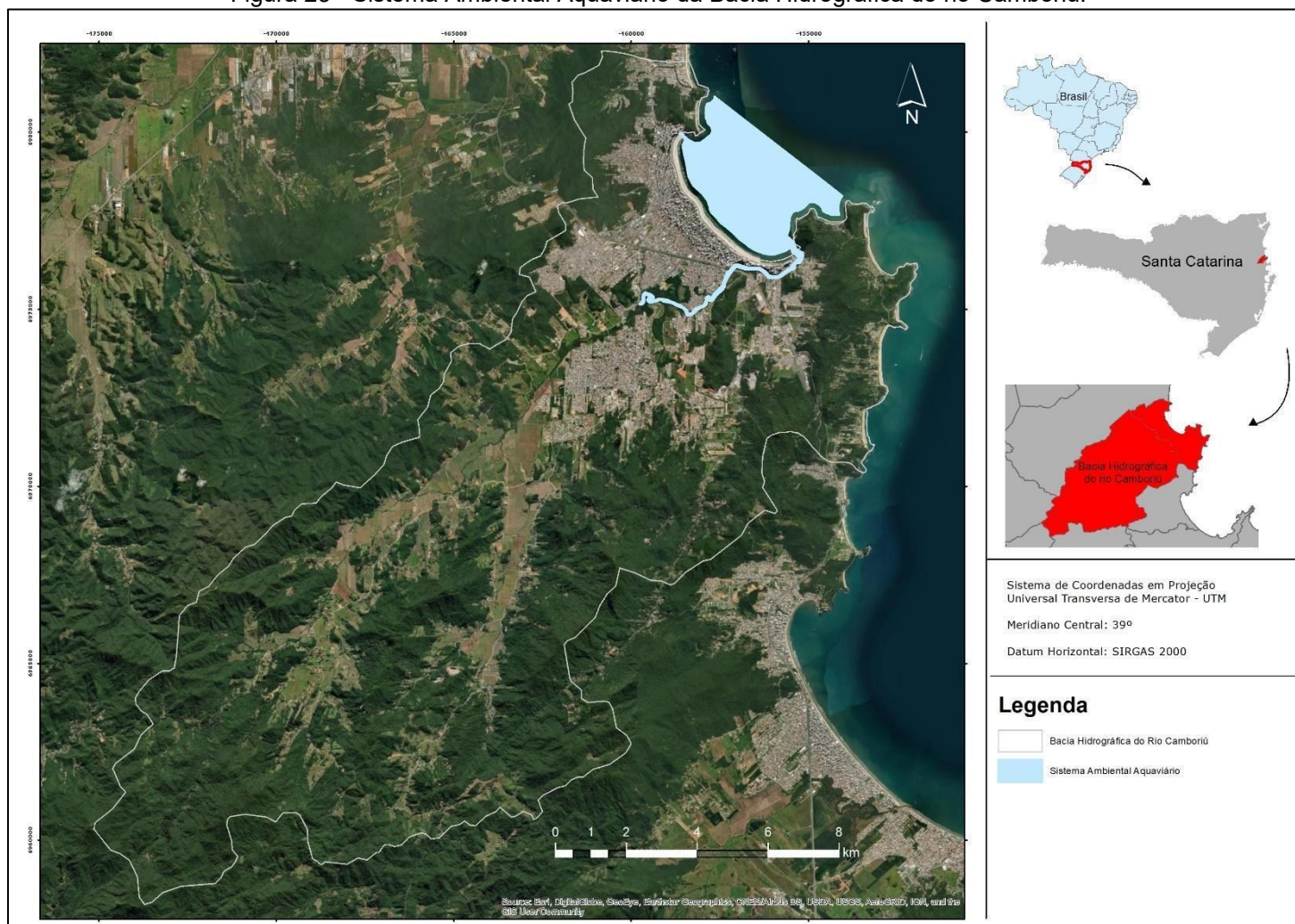
6.2.13 Sistema Ambiental Aquaviário

O Sistema Ambiental Aquaviário é constituído por hidrovias, percursos pré-determinados para o tráfego sobre água, onde é realizado o transporte de mercadorias e pessoas (SEMA, 2018). Esse sistema, geralmente, é alocado nas regiões de maior profundidade dos cursos d'água, como rios, lagos, lagoas e oceano. É possível definir as hidrovias como rotas navegáveis que receberam algum tipo de melhoria/sinalização/balizamento para que um determinado tipo de embarcação possa trafegar com segurança.

Na BHRC, não há uma delimitação instituída específica para o tráfego das embarcações. Os barcos de passeio, de atrativos turísticos e de pesca podem trafegar livremente ao longo do rio Camboriú e área marinha adjacente, com exceção da zona de recreação, que perfaz uma linha paralela à linha de costa, a uma distância de 200 metros a partir da zona de varrido na praia. A área calculada do Sistema Ambiental Aquaviário da BHRC corresponde, aproximadamente, 10 km² (Figura 23).

A enseada da Praia Central de Balneário Camboriú também é rota de destino para muitos navios de cruzeiro, os quais levam centenas de turistas para visitar a cidade durante a temporada de novembro a abril, todos os anos.

Figura 23 - Sistema Ambiental Aquaviário da Bacia Hidrográfica do rio Camboriú.



Fonte: elaborado pela autora.

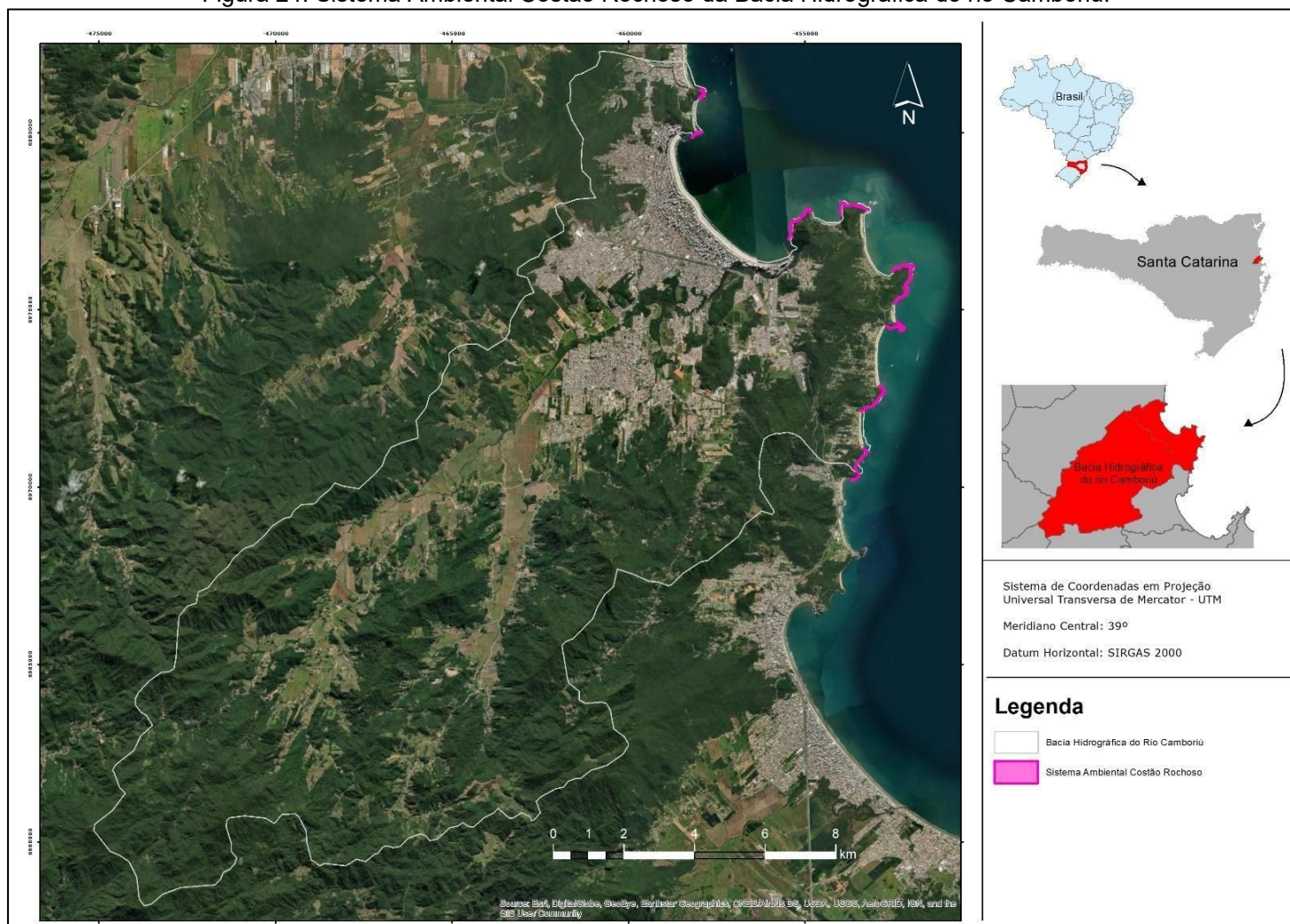
6.2.14 Sistema Ambiental Costão Rochoso

Promontório é uma porção saliente e alta de qualquer área continental de natureza cristalina ou sedimentar, que avança para dentro de um corpo aquoso (lago, mar ou oceano) (SUGUIO, 1998).

No ambiente litorâneo, os promontórios são caracterizados quanto à presença de costões rochosos, erosão intensa, falésias íngremes e, de maneira, geral são feições que compartimentam a linha de costa (AB RAZAK, 2015). Ressalta-se que os promontórios são importantes feições geomorfológicas que possuem atuação direta no balanço sedimentar costeiro, uma vez que podem ser considerados obstáculos naturais do transporte longitudinal e estão associadas a formação de dos pontais arenosos, já que se estabelecem como ponto de ancoragem a estas feições e logo auxiliam na identificação de evidências da ocorrência do processo de transposição sedimentar (CAMARGO, 2020).

Existem quatro pontos de costões rochosos na área marinha adjacente de Balneário Camboriú, sendo dois localizados a sul, na Praia de Laranjeiras e Praia Central, e outros dois promontórios a norte da enseada, na Praia Central e Praia do Buraco, constituindo assim, o Sistema Ambiental Costão Rochoso (Figura 24).

Figura 24. Sistema Ambiental Costão Rochoso da Bacia Hidrográfica do rio Camboriú.



Fonte: elaborado pela autora.

6.3 IDENTIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS E DOS SEUS USOS PELAS ATIVIDADES ECONÔMICAS

Serviços ecossistêmicos são os benefícios que o homem obtém dos ecossistemas. Segundo a *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA, 2005), estes abrangem serviços de provisão, incluindo o fornecimento de alimentos, água, madeira e fibras; serviços reguladores, que afetam climas, inundações, doenças, resíduos e a qualidade da água; serviços culturais, que fornecem benefícios recreacionais, estéticos e espirituais; e serviços de suporte, tais como formação de solo e ciclo de nutrientes.

Para cada sistema ambiental da BHRC e área marinha adjacente foram elencados todos os beneficiários diretos (que estão espacialmente alocados dentro dos limites do Sistema Ambiental) e indiretos (que estão espacialmente alocados fora dos limites do Sistema Ambiental, mas que utilizam os serviços ecossistêmicos fornecidos por ele) (Quadro 3).

Quadro 3 - Classificação dos serviços ecossistêmicos considerados.

CLASSE	SERVIÇO ECOSSISTÊMICO	DEFINIÇÃO
Suporte	Área de atracação	Espaço no cais, entre cabeços de amarração, em que navios podem atracar, operar, embarcar e desembarcar cargas em segurança.
	Espaço para ocupação	Espaço adequado para a instalação de infraestrutura urbana.
	Área de refúgio	Área de ambiente natural que assegura condições para a existência e/ou reprodução de espécies ou comunidades da flora e fauna locais.
	Habitat para a biodiversidade	Espaço vital para plantas e animais que mantém uma diversidade de processos complexos.
	Formação de solo	A pedogênese inclui o intemperismo químico de rochas, transporte e acumulação de matéria orgânica e inorgânica.
	Infraestrutura	Sistema técnico de equipamentos e serviços necessários ao desenvolvimento das funções urbanas, sejam sociais, econômicas ou institucionais.
	Navegabilidade	Conectividade de sistemas aquaviários, essencial para garantir o fluxo e reduzir o tempo de viagem e os custos das transações relacionadas.
	Trafegabilidade	Conectividade de sistemas viários terrestres, essencial para garantir o fluxo e reduzir o tempo de viagem e os custos das transações relacionadas.
	Ciclagem de nutrientes	Movimento de nutrientes entre e dentro de entidades bióticas e abióticas, com conversões entre as formas (gasosa, mineral, inorgânica e orgânica) mediadas pelos

CLASSE	SERVIÇO ECOSSISTÊMICO	DEFINIÇÃO
		ecossistemas.
Provisão	Produção de alimento	Ecossistemas provêm condições para o cultivo, coleta, caça ou colheita de alimentos.
	Aporte de água	Ecossistemas possuem papel fundamental na manutenção de fluxo e armazenamento de água.
	Aporte de recursos medicinais	Ecossistemas naturais provêm uma variedade de plantas, fungos e outros organismos com potencial medicinal, que são utilizados na medicina tradicional, popular e no desenvolvimento de farmacêuticos.
	Aporte de matéria-prima	Ecossistemas provêm uma grande diversidade de materiais para construção e indústria, como minérios, fibras e madeira.
	Produção de manufaturados e insumos	Matérias-primas são convertidas em produtos com o uso de recursos como prédios, equipamentos, mão-de-obra e tecnologia.
	Aporte de recursos genéticos	Genes e informações genéticas utilizadas pela biotecnologia e na reprodução de animais e plantas.
	Aporte de energia	Ecossistemas provêm fontes de energia como carvão, biomassa, a força das águas e dos ventos.
	Oferta de serviços urbanos	Serviços públicos e privados oferecidos aos residentes de uma área urbana.
Regulação	Regulação hídrica	A magnitude e a velocidade do escoamento superficial e recarga do aquífero pode ser fortemente influenciada por mudanças de uso e cobertura do solo.
	Regulação da fertilidade do solo	A cobertura vegetal previne a erosão do solo e garante a sua fertilidade através de processos biológicos naturais como a fixação do nitrogênio. Solos produtivos consistem em minerais, ar, água, matéria orgânica e organismos vivos.
	Regulação climática	Ecossistemas influenciam o clima local e globalmente. Na escala local, mudanças de uso e cobertura do solo podem afetar a temperatura e precipitação. Na escala global, os ecossistemas sequestram e emitem gases do efeito estufa.
	Controle biológico de doenças e pragas	Mudanças nos ecossistemas podem afetar diretamente a abundância de patógenos e vetores de doenças. Predadores e parasitas atuam como controles naturais de pestes.
	Tratamento de efluentes	Ecossistemas podem ser fonte de impurezas, mas também exercem papel fundamental na filtração e decomposição de substâncias tóxicas e eliminação de patógenos.
	Polinização	Vetores bióticos (insetos, aves e morcegos) e abióticos (vento) transferem gametas masculinos de uma flor para o estigma de outra da mesma espécie, sendo este serviço essencial para muitas culturas de sistemas agrários.
	Moderação de eventos extremos	Desastres naturais e eventos extremos como inundações, tempestades, tsunamis, avalanches e movimentos de massa podem ser atenuados por ecossistemas, prevenindo possíveis danos. Áreas úmidas, por exemplo, retêm a água de inundações e as árvores auxiliam na estabilização de encostas.
	Regulação Socioeconômica	Efeito de controle sobre processos sociais e/ou econômicos.

CLASSE	SERVIÇO ECOSISTÊMICO	DEFINIÇÃO
	Sequestro e armazenamento de carbono	Plantas, ao longo de seu crescimento, removem o dióxido de carbono da atmosfera e armazenam esse carbono em seus tecidos de forma eficaz.
Cultural	Relações sociais	Ecosistemas influenciam os tipos de relações estabelecidas em algumas culturas. Sociedades pesqueiras, por exemplo, diferem de sociedades de pastores nômades.
	Valor estético/contemplativo	Muitas pessoas valorizam aspectos estéticos do ecossistema, o que pode ser traduzido no apoio para a criação de parques e na escolha de locais de moradia, por exemplo.
	Reprodução cultural	A diversidade de paisagens influencia a variedade de valores compartilhados e aceitos e as práticas comuns àqueles que vivem em determinados locais. Os ecossistemas provêm os recursos necessários para a geração, transmissão, manutenção, adaptação e uso de muitos sistemas de conhecimento.
	Recreação	A prática de esportes e atividades de lazer é comum em áreas verdes e praias, e auxilia na manutenção da saúde mental e física do ser humano.
	Pertencimento ao território	Muitas pessoas valorizam a sensação de pertencimento associada a características reconhecidas do seu ambiente, incluindo aspectos do ecossistema.
	Serviços espirituais e religiosos	Muitas religiões atribuem valores espirituais e religiosos aos ecossistemas e seus componentes.

Fonte: adaptado de FAO (2018); MEA (2003); TEEB (2010).

No Quadro 4, são apresentados os serviços ecossistêmicos de cada Sistema Ambiental da BHRC, os usos ou benefícios advindos da utilização destes serviços e os atores envolvidos, que são os beneficiários dos serviços.

Quadro 4 - Serviços ambientais oferecidos por cada sistema ambiental identificado, atividade beneficiada e atores envolvidos.

SISTEMA AMBIENTAL	SERVIÇO ECOSISTÊMICO OFERECIDO	ATIVIDADES BENEFICIADAS	ATORES ENVOLVIDOS E/OU BENEFICIÁRIOS
Sistema Urbano	Recreação, infraestrutura urbana	Moradia, comércio, serviços públicos	População urbana, gestores municipais, setor de construção
Sistema Industrial	Transformação de matéria-prima, geração de empregos e renda	Produção de bens, desenvolvimento econômico	Empresas e indústrias, trabalhadores, governo local
Sistema Viário Terrestre	Mobilidade e acesso, conectividade entre sistemas	Transporte de bens e pessoas	Departamento de transportes, usuários, operadores logísticos

SISTEMA AMBIENTAL	SERVIÇO ECOSSISTÊMICO OFERECIDO	ATIVIDADES BENEFICIADAS	ATORES ENVOLVIDOS E/OU BENEFICIÁRIOS
Sistema de Silvicultura	Produção de madeira, sequestro de carbono	Indústria madeireira, reflorestamento	Empresas florestais, órgãos ambientais
Sistema Predominantemente Agrícola	Produção de alimentos, regulação do solo	Agricultura comercial e familiar	Agricultores, cooperativas, secretarias de agricultura
Sistema Predominantemente Associados à Pecuária	Produção de carne e leite, fertilização do solo	Pecuária extensiva e intensiva	Pecuaristas, setor agropecuário, órgãos sanitários
Sistema Florestal	Regulação hídrica, biodiversidade, serviços climáticos	Conservação, turismo, coleta de produtos florestais	ICMBio, ONGs, comunidades tradicionais
Sistema de Mata Ciliar	Proteção de margens, controle de erosão, filtragem de poluentes	Abastecimento de água, agricultura sustentável	Gestores de bacia, agricultores, órgãos ambientais
Sistema Manguezal	Criação de peixes, proteção costeira, sequestro de carbono	Pesca artesanal, controle de inundações	Pescadores, ONGs, gestores costeiros
Sistema de Nascentes	Manutenção da vazão hídrica, abastecimento de água	Consumo humano, uso agrícola	Companhias de abastecimento, agricultores, moradores locais
Sistema de Praia e Dunas Costeiras	Turismo, proteção contra ressacas, valor paisagístico	Lazer, geração de renda turística	Turistas, prefeituras, setor de turismo
Sistema Estuarino Rio Camboriú	Filtragem de nutrientes, suporte à biodiversidade aquática	Pesca, transporte náutico	Maricultores, pescadores, setor náutico
Sistema Aquaviário	Navegação, conectividade fluvial e costeira	Transporte de cargas e passageiros	Autoridades portuárias, operadores logísticos

Fonte: elaborado pela autora.

6.4 ANÁLISE DE RISCO DE PERDA DE HABITATS (*HABITAT RISK ASSESSMENT*)

Como resultado da análise de risco de perda de ecossistemas, foi obtido o Risco Cumulativo para os sistemas ambientais, indicador que representa a soma dos riscos individuais associados à presença e intensidade de diferentes estressores antrópicos sobre cada sistema natural. Esse modelo possibilitou uma avaliação integrada dos impactos que os usos humanos exercem sobre os sistemas ambientais e das consequências potenciais dessa exposição na oferta e manutenção dos serviços ecossistêmicos. No contexto desta análise, foram considerados sete estressores antrópicos atuando sobre sete sistemas ambientais, permitindo identificar as pressões mais significativas e posteriormente orientar estratégias de gestão voltadas à mitigação de riscos e à conservação da funcionalidade ecológica (Quadro 5).

Quadro 5 - Estressores Antrópicos e Sistemas Ambientais.

Estressores Antrópicos	Urbanização
	Estradas
	Indústrias
	Pecuária
	Agricultura
	Silvicultura
	Sistema Aquaviário
Sistemas Ambientais Naturais	Manguezal
	Mata Ciliar
	Praia e Dunas Costeiras
	Estuários
	Área Marinha Adjacente
	Costão Rochoso
	Nascentes

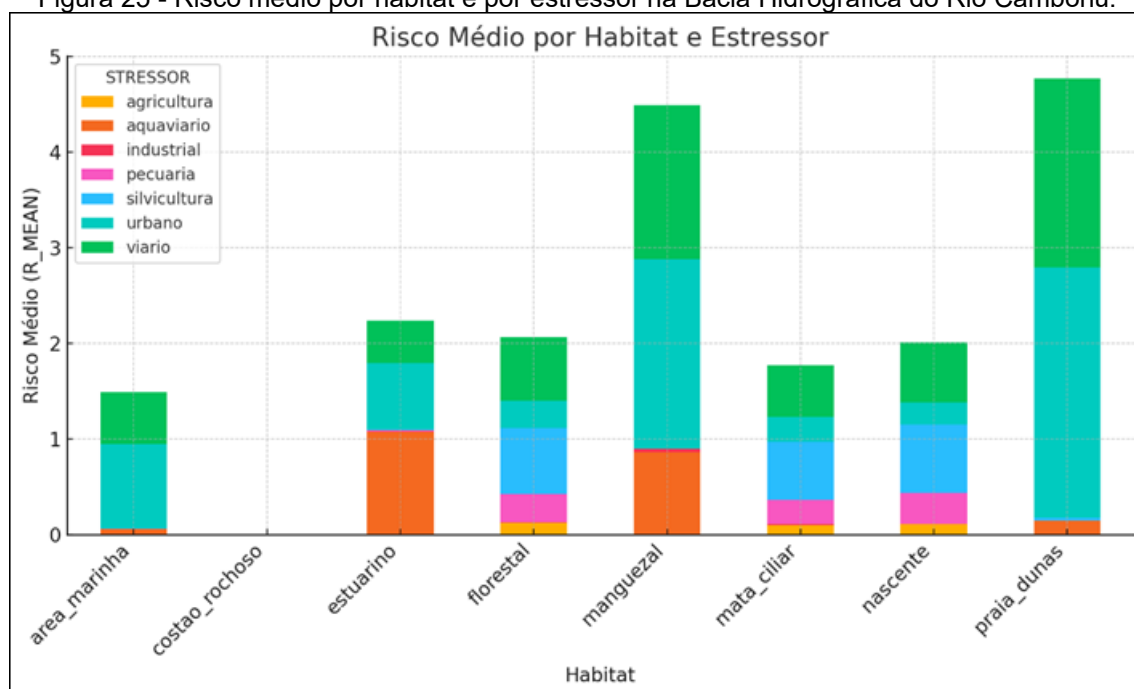
Fonte: elaborado pela autora.

A análise de risco cumulativo realizada para os habitats naturais da Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú (BHRC) forneceu uma visão integrada sobre as pressões antrópicas incidentes nos diferentes sistemas ambientais. A metodologia aplicada, baseada no modelo *Habitat Risk Assessment*, permitiu a quantificação da média dos riscos associados a cada estressor por habitat (R_MEAN), evidenciando os pontos mais críticos para a manutenção dos serviços ecossistêmicos. Esta abordagem sistematiza o entendimento dos impactos espaciais e funcionais das

atividades humanas e possibilita a orientação de estratégias de mitigação e conservação.

Foram analisados sete sistemas ambientais principais: praia e dunas costeiras, manguezal, área urbana, área agrícola, área de mata nativa, estuário, e corpos hídricos (rios e canais). Cada um desses sistemas apresenta níveis distintos de vulnerabilidade, determinados tanto pela sua localização na bacia quanto pela intensidade e tipo dos estressores que incidem sobre eles. A seguir, na Figura 25, o gráfico representa o risco médio por habitat e por estressor na Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú.

Figura 25 - Risco médio por habitat e por estressor na Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú.



Fonte: elaborado pela autora.

O sistema ambiental sob maior risco cumulativo foi identificado como praia e dunas costeiras, com destaque para a influência do uso urbano, que apresentou o maior valor médio de risco ($R_MEAN = 2,62$). Esta constatação está fortemente relacionada ao crescimento urbano na ZC de Balneário Camboriú, especialmente na faixa litorânea densamente urbanizada. A ocupação da linha de costa ao longo dos anos causou a compactação de solos arenosos, a supressão de vegetação nativa e

a alteração dos fluxos naturais de vento e sedimentos, o que compromete a estabilidade e a funcionalidade ecológica do sistema de praia e dunas costeiras.

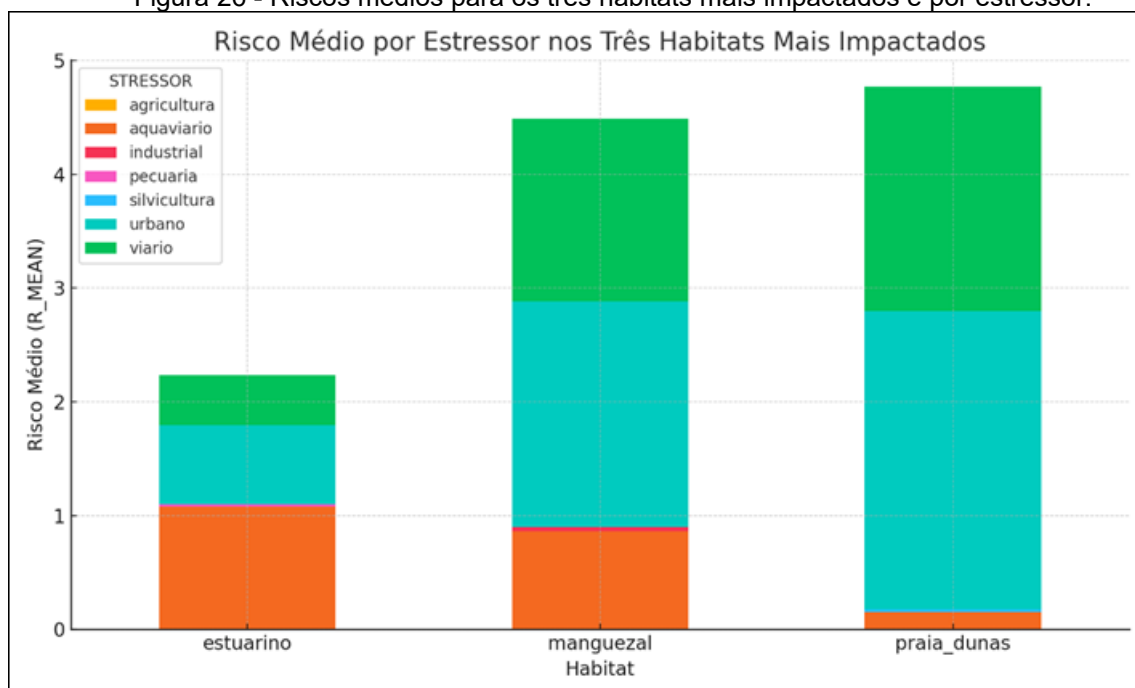
O segundo habitat com maior risco cumulativo foi o manguezal, onde o principal estressor identificado foi o uso urbano. Os manguezais da BHRC, localizados na zona de transição entre os rios e o mar, têm sofrido alterações em sua funcionalidade ecológica por estarem hoje localizados dentro da área urbana de Balneário Camboriú. A ocupação do solo e a expansão de infraestrutura urbana nas áreas adjacentes ao pequeno fragmento de manguezal existente geraram modificações hidrológicas, introdução de resíduos sólidos e aumento da carga orgânica e de nutrientes, levando à degradação do habitat e à diminuição da sua resiliência ecológica.

Nas áreas de mata nativa, os riscos associados foram os mais baixos entre os habitats avaliados, com baixa intensidade de estressores diretos. Entretanto, a influência indireta do entorno urbano e agrícola — em especial a expansão da silvicultura e a pressão da pecuária — ainda representa uma ameaça à integridade ecológica desses fragmentos nas regiões baixas de planície, também áreas próximas aos cursos hídricos. A fragmentação florestal, resultante da abertura de áreas para atividades produtivas, compromete funções como a regulação do microclima, o controle de erosão e a manutenção da biodiversidade local.

O estuário do rio Camboriú também apresentou riscos decorrentes das atividades aquaviárias e urbanas. A navegação intensa, especialmente relacionada à atividade náutica e ao turismo de marinas, somada à emissão de poluentes principalmente urbanos, impacta a qualidade da água e dos sedimentos. Além disso, a dragagem, a construção de píeres e o tráfego de embarcações afetam diretamente os habitats bentônicos e a fauna aquática associada.

O gráfico da Figura 26 apresenta a distribuição gráfica dos riscos médios para os três habitats mais impactados e por estressor.

Figura 26 - Riscos médios para os três habitats mais impactados e por estressor.



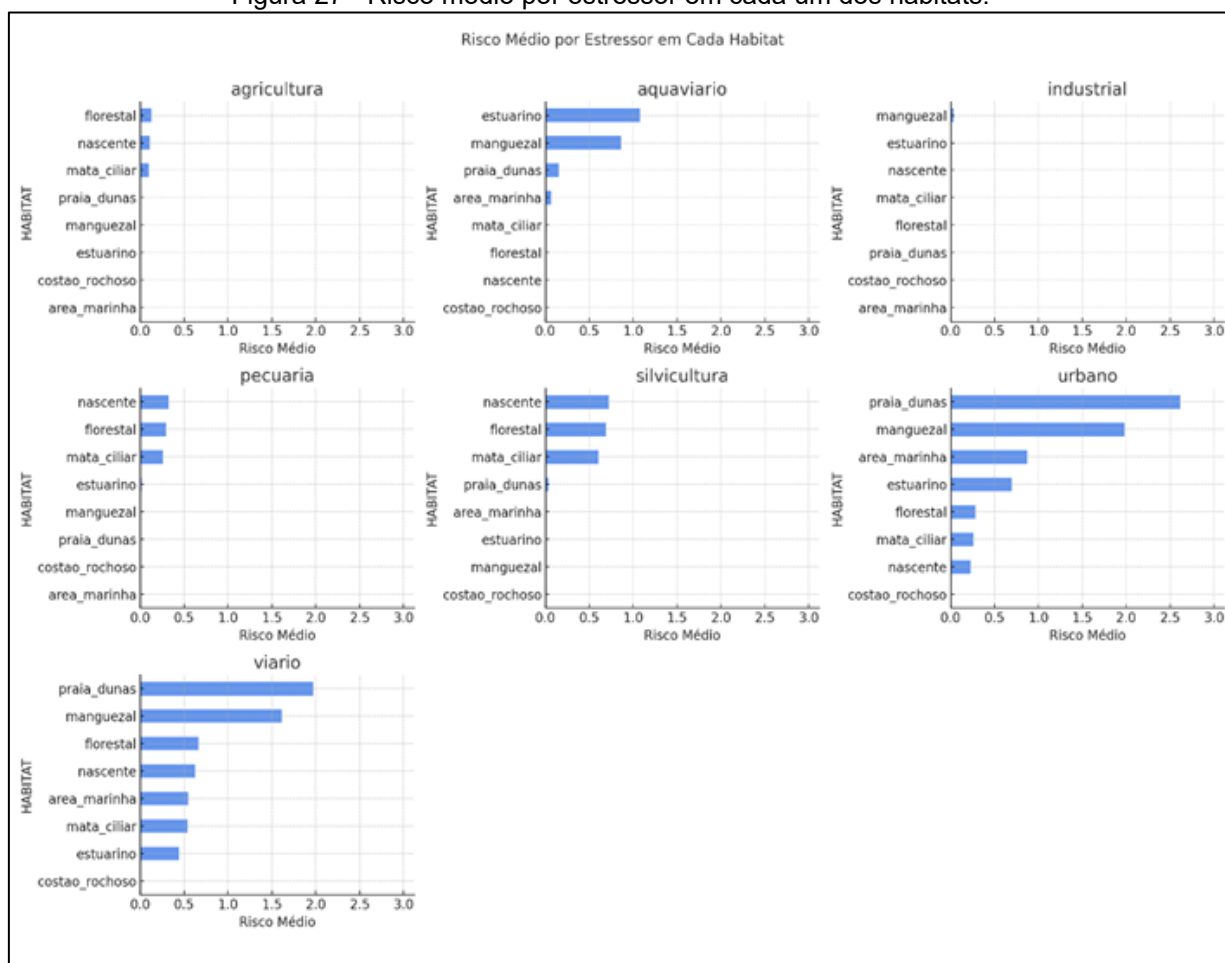
Fonte: elaborado pela autora.

Com base na análise, verifica-se que o uso urbano é o estressor mais abrangente e significativo, atingindo quase todos os habitats avaliados. Em seguida, destacam-se os estressores viário e silvicultura, o que revela o papel estrutural da ocupação do solo e da infraestrutura na intensificação do risco ecológico.

Outro aspecto importante é a sobreposição espacial de estressores, como ocorre nos manguezais e no estuário, onde coexistem pressões urbanas e aquaviárias. Essa acumulação de riscos reduz a capacidade de resiliência dos ecossistemas e compromete a prestação de serviços ecossistêmicos essenciais, como a regulação hídrica, a proteção costeira e a provisão de recursos pesqueiros.

A análise de risco também fornece subsídios para inferir quais serviços ecossistêmicos estão mais ameaçados. Os resultados reforçam a importância de integrar os dados de risco à gestão integrada da bacia, através de ações de recuperação ecológica, regulamentação dos usos e proteção dos habitats mais sensíveis. A identificação dos estressores dominantes (Figura 27) permite o direcionamento de políticas públicas e a priorização de intervenções, como o controle da expansão urbana em áreas de alta sensibilidade ecológica.

Figura 27 - Risco médio por estressor em cada um dos habitats.



Fonte: elaborado pela autora.

Recomenda-se também o fortalecimento de mecanismos participativos e intersetoriais no planejamento territorial. A pressão para expansão de áreas urbanas, industriais e turísticas deve ser analisada à luz dos impactos cumulativos, com base em instrumentos como o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) e os Planos Diretores Municipais.

Os principais vetores de risco estão relacionados ao padrão de desenvolvimento econômico que se sobrepõe às funções ecológicas da paisagem. A mudança desse paradigma requer o fortalecimento da governança ambiental e a incorporação efetiva dos princípios da gestão baseada em ecossistemas nas decisões territoriais.

6.5 ÍNDICE DE CRITICIDADE DE GESTÃO (ICGEST)

A gestão integrada de bacias hidrográficas exige instrumentos capazes de traduzir informações complexas em diretrizes claras para a tomada de decisão. A partir da abordagem ecossistêmica desenvolvida nesta tese, foram identificados os habitats mais vulneráveis da BHRC, bem como os principais estressores antrópicos que incidem sobre esses sistemas.

Nesse contexto, com objetivo de sintetizar as informações sobre os habitats mais vulneráveis e os estressores que incidem sobre esses sistemas, foi elaborado um critério integrador, que permite priorizar ações de gestão, conservação e regulação. Propõe-se o Índice de Criticidade de Gestão (ICGest), um instrumento de avaliação sintética que visa identificar os habitats e sistemas ambientais cuja gestão demanda maior urgência, esforço e articulação institucional. O índice combina dados de risco cumulativo, diversidade de estressores, importância ecológica e socioeconômica dos habitats, proporcionando uma visão mais operativa e estratégica da gestão territorial.

O ICGest é composto por quatro dimensões principais, ponderadas e combinadas de forma aditiva e normalizada:

1. Risco Cumulativo Médio (RCM): Média dos valores de R_MEAN por sistema ambiental, considerando todos os estressores.
2. Número de Estressores (NE): Quantidade de estressores distintos que atuam sobre o sistema ambiental.
3. Peso Ecológico (PE): Escore baseado na importância ecológica do habitat (ex.: presença de espécies ameaçadas, conectividade ecológica, capacidade de regulação climática e hídrica).
4. Peso Socioeconômico (PS): Escore relacionado à dependência das atividades humanas em relação ao serviço ecossistêmico do sistema ambiental (ex.: pesca artesanal, turismo, abastecimento hídrico).

A fórmula proposta para o índice é:

$$ICGest_i = \alpha \cdot RCM_i + \beta \cdot Ne_i + \gamma \cdot PE_i + \delta \cdot PS_i$$

Onde:

- i = sistema ambiental considerado
- $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ = pesos definidos com base em critérios técnicos e participativos
(neste estudo, pesos iguais foram utilizados como abordagem preliminar).

Todos os componentes do índice foram normalizados em uma escala de 0 a 1, permitindo comparabilidade entre habitats e identificação de faixas de criticidade.

A aplicação do ICGest na BHRC permitiu a identificação de três sistemas ambientais com alta criticidade de gestão: manguezal, estuário do rio Camboriú e praia e dunas costeiras. Esses habitats combinam alto risco cumulativo, presença de múltiplos estressores (urbano, viário e aquaviário), elevada importância ecológica e expressiva relevância socioeconômica para o turismo, proteção costeira, pesca e serviços ambientais.

O manguezal foi classificado com ICGest alto devido à sua função como berçário marinho, à sua vulnerabilidade frente à urbanização e à sobreposição de estressores intensos. O estuário destacou-se pela pressão antrópica relacionada à atividade náutica, ao aporte de efluentes e à dragagem. As praias e dunas, por sua vez, apresentaram risco elevado associado ao avanço urbano sobre áreas sensíveis e à perda de vegetação nativa, com impactos diretos no turismo e na proteção da linha de costa.

Sistemas como áreas de mata nativa e sistemas florestais apresentaram baixos valores de ICGest, o que indica menor urgência de intervenção direta, embora sua função de suporte ecológico deva ser preservada por meio de políticas de conservação preventiva.

Embora os resultados do ICGest tenham destacado os mesmos sistemas ambientais já identificados na análise do risco cumulativo — como os manguezais, o estuário e o sistema de praia e dunas — é importante enfatizar que o índice vai além de uma mera (embora não menos importante) confirmação. O ICGest incorpora uma visão mais abrangente e integradora, reunindo dimensões de risco, pressão antrópica, importância ecológica e relevância socioeconômica em uma métrica composta. Essa estrutura permite que diferentes territórios expressem diferentes configurações de criticidade, refletindo sua realidade socioambiental e econômica.

A coincidência dos resultados com os obtidos pelo modelo InVEST, neste caso específico da BHRC, decorre do fato de que os sistemas mais afetados estão situados na área urbana de Balneário Camboriú — a porção mais densamente ocupada da bacia e com maior concentração de atividades econômicas e infraestrutura urbana. O adensamento populacional, a expansão urbana e a presença de atividades náuticas exercem pressão direta sobre esses sistemas, reduzindo sua resiliência e comprometendo múltiplos serviços ecossistêmicos.

No entanto, cabe ressaltar que em outras bacias hidrográficas costeiras, com características distintas — por exemplo, uso do solo mais homogêneo, menor densidade populacional, ou uma matriz agrícola predominante — os resultados do ICGest podem ser totalmente diferentes. Nessas regiões, outros sistemas ambientais, como áreas de silvicultura, pastagens ou matas ciliares, podem emergir como prioritários, dependendo do grau de pressão e da relevância dos serviços ecossistêmicos prestados.

Isso sugere o fato de que o ICGest não é um modelo fixo, mas uma ferramenta adaptável, cuja eficácia está justamente na capacidade de refletir a complexidade e a diversidade dos territórios analisados. O método proposto é sensível às diferenças locais e pode ser calibrado conforme a relevância atribuída a cada um de seus componentes (RCM, NE, PE, PS), com pesos ajustáveis mediante processos participativos ou critérios técnicos.

Portanto, o ICGest representa não apenas uma síntese de criticidade, mas também uma plataforma orientadora para a tomada de decisão territorial. Sua aplicação pode guiar o planejamento ambiental, a alocação de recursos, a priorização de áreas para restauração ou conservação e até mesmo subsidiar mecanismos de compensação ambiental e licenciamento. Além disso, o índice proporciona um campo fértil para a inovação na governança socioambiental. Pode ser incorporado a plataformas de gestão adaptativa, atualizado periodicamente com dados de monitoramento e cruzado com informações de vulnerabilidade climática ou segurança hídrica, por exemplo.

Dessa forma, os resultados obtidos com o ICGest não apenas reforçam os diagnósticos anteriores, como também abrem espaço para a formulação de estratégias de gestão ambiental mais direcionadas e contextualizadas. A partir da

identificação dos sistemas mais críticos, torna-se possível propor ações específicas que respondam às pressões identificadas, respeitando os limites ecológicos e promovendo o uso sustentável dos serviços ecossistêmicos. É com base nessa lógica que se desenvolve o próximo capítulo, em que são apresentadas as propostas de ações de gestão com base ecossistêmica para bacias hidrográficas costeiras, utilizando a BHRC como referência metodológica e aplicada.

6.6 PROPOSIÇÃO DE AÇÕES DE GESTÃO COM BASE ECOSSISTÊMICA EM BACIAS HIDROGRÁFICAS COSTEIRAS

A Gestão com Base Ecossistêmica (GBE) em bacias hidrográficas costeiras emerge como uma abordagem estratégica frente à degradação dos ecossistemas e à intensificação dos usos antrópicos nos territórios litorâneos. Essa abordagem reconhece a interdependência entre os sistemas ecológicos, sociais e econômicos e articula uma visão integrada do manejo dos recursos naturais (GRUMBINE, 1994; OSTROM, 2009).

A aplicação do IGest realizada na BHRC demonstrou que os sistemas ambientais manguezais, estuário e praia e dunas estão sob alto risco devido a estressores como o uso urbano, industrial e atividades aquaviárias. Tais pressões comprometem a oferta de serviços ecossistêmicos destes sistemas. Diante disso, foram elaboradas estratégias de GBE em quatro níveis de intervenção: prevenção, mitigação, recuperação e compensação. Essas ações articulam a proteção e o uso sustentável dos sistemas ambientais, buscando evitar perdas de serviços ecossistêmicos, atenuar impactos, restaurar áreas degradadas e compensar danos irreversíveis.

A Tabela 3 apresenta uma síntese dessas ações, relacionando os diferentes sistemas ambientais com os serviços ecossistêmicos oferecidos, às atividades beneficiadas, os atores envolvidos e as ações sugeridas para os quatro níveis de GBE: prevenção, mitigação, recuperação, compensação. Esse modelo foi construído a partir da realidade da BHRC, mas sua estrutura é adaptável a outras bacias hidrográficas costeiras.

Tabela 3 - Proposição de ações de GBE em bacias hidrográficas costeiras.

SISTEMA AMBIENTAL	SERVIÇO ECOSSISTÊMICO OFERECIDO	ATIVIDADES BENEFICIADAS	ATORES ENVOLVIDOS	PREVENÇÃO	MITIGAÇÃO	RECUPERAÇÃO	COMPENSAÇÃO
Sistema Urbano	Regulação microclimática, recreação, infraestrutura urbana	Moradia, comércio, serviços públicos	População urbana, gestores municipais, setor de construção	Zoneamento urbano, áreas verdes	Readequação de áreas urbanizadas, corredores verdes	Renaturalização de canais, remoção de impermeabilização excessiva	Criação de áreas verdes compensatórias, fundos de compensação ambiental
Sistema Industrial	Transformação de matéria-prima, geração de empregos e renda	Produção de bens, desenvolvimento econômico	Empresas, trabalhadores, governo local	Tecnologias limpas, controle de emissões	Licenciamento ambiental rigoroso, compensações ambientais	Reabilitação de áreas industriais desativadas, recuperação de áreas degradadas	Compensação ambiental obrigatória via licenciamento
Sistema de Silvicultura	Produção de madeira, sequestro de carbono	Indústria madeireira, reflorestamento	Empresas florestais, órgãos ambientais	Manutenção de cobertura vegetal, reflorestamento	Reflorestamento compensatório, manejo florestal sustentável, certificações (ex. FSC)	Projetos de sequestro de carbono	Compra de créditos de carbono de reflorestamento
Sistema Predominantemente Agrícola	Produção de alimentos, regulação do solo	Agricultura comercial e familiar	Agricultores, cooperativas, secretarias de agricultura	Boas práticas agrícolas, conservação do solo	Técnicas agroecológicas, reflorestamento de APPs	Restauração de solos degradados, reflorestamento de áreas agrícolas	Apoio técnico e financeiro a práticas sustentáveis em propriedades degradadas
Sistema Predominantemente Associados à Pecuária	Produção de carne e leite, fertilização do solo	Pecuária extensiva e intensiva	Pecuaristas, setor agropecuário, órgãos sanitários	Gestão integrada e preventiva com base ecossistêmica	Práticas de uso sustentável com monitoramento adaptativo	Restauração funcional e ecológica com participação comunitária	Medidas compensatórias pactuadas com base na perda funcional identificada
Sistema Florestal	Regulação hídrica, biodiversidade, serviços climáticos	Conservação, turismo, coleta de produtos florestais	ICMBio, ONGs, comunidades tradicionais	Conservação de habitats, corredores	Restauração ecológica, reflorestamento,	Programas de restauração ecológica,	Criação de reservas legais equivalentes ou

SISTEMA AMBIENTAL	SERVIÇO ECOSSISTÊMICO OFERECIDO	ATIVIDADES BENEFICIADAS	ATORES ENVOLVIDOS	PREVENÇÃO	MITIGAÇÃO	RECUPERAÇÃO	COMPENSAÇÃO
				ecológicos	controle de espécies invasoras	reintrodução de espécies nativas	bancos de biodiversidade
Sistema de Mata Ciliar	Proteção de margens, controle de erosão, filtragem de poluentes	Abastecimento de água, agricultura sustentável	Gestores de bacia, agricultores, órgãos ambientais	Faixas de vegetação ciliar, saneamento básico, controle de uso do solo	Sistemas de tratamento de águas, restauração de vegetação ciliar	Restauração de zonas úmidas, recuperação de matas ciliares	Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) para conservação de matas ciliares
Sistema Manguezal	Criação de peixes, proteção costeira, sequestro de carbono	Pesca artesanal, controle de inundações	Pescadores, ONGs, gestores costeiros	Preservação de dunas e vegetação nativa	Barreiras naturais, contenção de erosão, reflorestamento	Reconstrução de dunas, replantio de vegetação nativa	Investimentos em projetos de restinga e amortecimento de ondas
Sistema de Nascentes	Manutenção da vazão hídrica, abastecimento de água	Consumo humano, uso agrícola	Companhias de abastecimento, agricultores, moradores locais	Proteção de nascentes, manejo de recarga hídrica	Reuso da água, reservação, redução de perdas	Recuperação de nascentes, reabilitação de bacias hidrográficas	Financiamento de projetos de proteção de mananciais em outras áreas da bacia; PSA
Sistema de Praia e Dunas Costeiras	Turismo, proteção contra ressacas, valor paisagístico	Lazer, geração de renda turística	Turistas, prefeituras, setor de turismo	Preservação de dunas e vegetação nativa	Barreiras naturais, contenção de erosão, reflorestamento	Reconstrução de dunas, replantio de vegetação nativa	Investimentos em projetos de restinga e amortecimento de ondas
Sistema Estuarino Rio Camboriú	Filtragem de nutrientes, suporte à biodiversidade aquática	Pesca, transporte náutico	Maricultores, pescadores, setor náutico	Faixas de vegetação ciliar, saneamento básico, controle de uso do solo	Sistemas de tratamento de águas, restauração de vegetação ciliar	Restauração de zonas úmidas, recuperação de matas ciliares	Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) para conservação de matas ciliares
Sistema Aquaviário	Navegação, conectividade fluvial e costeira	Transporte de cargas e passageiros	Autoridades portuárias, operadores logísticos	Gestão integrada da hidrovia, controle de assoreamento	Dragagem controlada, manejo adaptativo do	Reconfiguração de margens e leitos, retirada de obstruções	Compensações por dragagem com restauração de margens ou

SISTEMA AMBIENTAL	SERVIÇO ECOSISTÊMICO OFERECIDO	ATIVIDADES BENEFICIADAS	ATORES ENVOLVIDOS	PREVENÇÃO	MITIGAÇÃO	RECUPERAÇÃO	COMPENSAÇÃO
					leito		habitats aquáticos

Fonte: elaborado pela autora.

As medidas preventivas ganham destaque no contexto da GBE por atuarem na manutenção dos processos ecológicos antes que ocorram danos. Entre essas medidas, o Zoneamento Ecológico-Econômico contribui para a regulação do uso da terra, evitando a fragmentação de habitats e a ocupação de áreas sensíveis, o que assegura a proteção da biodiversidade e a qualidade da paisagem. A proteção de nascentes e a manutenção da cobertura vegetal, por sua vez, são necessárias para a regulação hídrica, o aporte de água para abastecimento, o controle de erosão e a filtragem de nutrientes, serviços para a integridade dos ecossistemas aquáticos e terrestres.

No campo da mitigação são valorizadas intervenções que atenuam os impactos decorrentes dos usos antrópicos sem demandar processos extensivos de correção. A infraestrutura verde em áreas urbanas, por exemplo, melhora a regulação microclimática, promove a recarga de aquíferos e reduz o escoamento superficial contaminado, favorecendo a qualidade da água. O regramento da carga turística em ambientes frágeis como dunas, manguezais e estuários protege serviços culturais como a recreação e a contemplação paisagística, ao passo que a adoção de boas práticas agrícolas mitiga a contaminação dos solos e da água, conservando os serviços de ciclagem de nutrientes e produção de alimentos.

As ações de recuperação, por sua natureza corretiva, são aplicadas em sistemas ambientais que já perderam parcial ou totalmente suas funções ecológicas trazendo prejuízos também aos serviços ecossistêmicos. A restauração de zonas ripárias, a reintrodução de espécies nativas e a renaturalização de corpos d'água visam restituir serviços como a filtragem de poluentes, o sequestro de carbono, a conectividade ecológica e o suporte à biodiversidade. Nos manguezais, por exemplo, a recuperação da vegetação pode restaurar serviços como a proteção costeira e o refúgio para espécies marinhas, trazendo benefícios para a manutenção da pesca artesanal.

As ações compensatórias devem integrar os instrumentos legais e operacionais da gestão ambiental. Elas são aplicadas quando a perda de serviços ecossistêmicos é inevitável ou irreversível, e objetivam compensar por meio de benefícios equivalentes em outros Sistemas Ambientais. A aquisição de créditos de carbono pode compensar a perda de áreas florestadas e os serviços de sequestro

de carbono. Já os Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) incentivam a conservação de áreas estratégicas para a regulação hídrica, a biodiversidade ou a recreação. As compensações de biodiversidade, exigidas em processos de licenciamento, também são instrumentos relevantes para repor valores ecológicos críticos perdidos por grandes empreendimentos ou expansão urbana.

A integração entre os subsistemas ecológico, socioeconômico e político-institucional é outro princípio norteador. A articulação entre atores públicos, privados e comunitários viabiliza a implementação de políticas eficazes e o acompanhamento contínuo dos impactos e resultados. Instrumentos como os Planos de Recursos Hídricos, os Planos Diretores Municipais e os Zoneamentos Ecológico-Econômicos são fundamentais para institucionalizar essas diretrizes e incorporar os princípios ecossistêmicos nos marcos regulatórios. A adoção de uma abordagem ecossistêmica nas bacias costeiras é, portanto, uma via promissora para sustentabilidade e resiliência ambiental. A matriz proposta neste estudo pode funcionar como uma base orientadora para a formulação de políticas públicas, projetos técnicos e pactos territoriais colaborativos.

6.6.1 Monitoramento

Os programas de monitoramento ambiental e social da bacia hidrográfica tem como objetivo fornecer uma avaliação contínua e detalhada das condições ambientais e sociais da área. As ações elencadas no Item 6.6 da presente tese abrangem diversos aspectos ambientais e sociais, proporcionando uma visão holística do estado da bacia. Esses indicadores podem ser medidos periodicamente, fornecendo dados sobre a qualidade dos serviços ecossistêmicos da bacia. A seguir na Tabela 4 estão descritos os indicadores propostos para monitoramento da qualidade dos sistemas ambientais em bacias hidrográficas costeiras. A tabela também indica os sistemas ambientais e os serviços ecossistêmicos associados a cada indicador, demonstrando como cada indicador de monitoramento é utilizado para avaliar a qualidade de sistemas ambientais específicos, bem como os serviços ecossistêmicos vinculados a esses sistemas.

Tabela 4 - Indicadores de monitoramento da qualidade dos sistemas ambientais da bacia hidrográfica costeira.

INDICADOR	OBJETIVO	SISTEMA AMBIENTAL	SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS
Batimetria	Realizar levantamentos batimétricos regulares para mapear as profundidades e detectar mudanças no leito dos principais corpos d'água - rio Camboriú e área marinha adjacente	- Estuarino - Marinho Adjacente	Regulação hidrológica; Habitat para biodiversidade; Provisão de recursos hídricos.
Sedimentologia	Avaliar a composição e distribuição dos sedimentos dos corpos d'água - rio Camboriú e área marinha adjacente - para prever impactos ambientais	- Estuarino - Marinho Adjacente	Regulação de erosão e sedimentos; Manutenção da qualidade da água.
Captação de Água Lançamento de Efluentes	Controlar os pontos de captação de água e lançamento de efluentes para garantir a qualidade da água	- Estuarino - Marinho Adjacente	Provisão de água doce; Regulação da qualidade da água; Purificação da água.
Recursos Hídricos Qualidade da Água	Monitorar a quantidade e qualidade dos recursos hídricos através de análises regulares da qualidade da água para detectar poluentes	- Estuarino - Marinho Adjacente	Provisão de água doce; Regulação da qualidade da água; Suporte à biodiversidade aquática.
Fitoplâncton Zooplâncton Ictioplâncton	Monitorar a composição e abundância de plânctons para avaliar a saúde ecológica do sistema marinho adjacente e estuário do rio Camboriú	- Estuarino - Marinho Adjacente	Suporte à biodiversidade; Regulação do ciclo de nutrientes; Base da cadeia alimentar.
Fauna Terrestre Fauna Aquática	Monitorar a biodiversidade da BHRC para identificar a qualidade e alterações nos ecossistemas	- Florestal - Manguezal - Estuarino - Marinho Adjacente	Suporte à biodiversidade; Habitat; Regulação de serviços climáticos e ecológicos.
Geologia Geomorfologia Relevo	Monitorar a composição geológica de áreas de encosta e declividade acentuada para identificar áreas vulneráveis a deslizamentos e erosões, identificar áreas de risco e planejar o uso sustentável do solo	- Florestal - Matas Ciliares	Regulação de erosão e formação do solo; Manutenção da estabilidade ecológica.
Unidades de Conservação	Verificar a integridade e efetividade das Unidades de Conservação ao longo do tempo e observar potenciais novas áreas para fins	- Florestal - Matas Ciliares	Habitat e conservação da biodiversidade; Regulação climática; Serviços culturais e recreativos.

INDICADOR	OBJETIVO	SISTEMA AMBIENTAL	SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS
	conservacionistas	- Manguezal - Estuarino - Marinho Adjacente	
Remanescente de Vegetação Natural	Mapear e monitorar a preservação e qualidade da vegetação remanescente e os corredores ecológicos	- Florestal	Regulação climática; Habitat para biodiversidade; Manutenção do ciclo hidrológico.
Áreas de Preservação Permanente	Monitorar a proteção das APPs, regeneração natural e eficácia das ações de recuperação	- Florestal - Matas Ciliares	Regulação climática; Purificação da água; Suporte à biodiversidade.
Áreas Turísticas e de Recreação	Monitorar o uso e a qualidade das áreas de turismo e recreativas ao longo do tempo, identificando a funcionalidade das áreas já existentes e potenciais novas áreas e a compatibilidade de usos com a capacidade de suporte do sistema ambiental. Avaliar o impacto do turismo e promover práticas sustentáveis	- Praias e Dunas - Estuarino - Marinho Adjacente - Florestal	Serviços culturais: recreação e turismo; Provisão de identidade estética; Educação ambiental.
Agricultura e Pecuária	Monitorar as práticas agrícolas e pecuárias para minimizar impactos ambientais	- Predominantemente Agrícola - Predominantemente Pecuário	Provisão de alimentos e matérias-primas; Regulação de serviços do solo; Ciclagem de nutrientes.
Quantitativo Populacional Densidade Demográfica Crescimento Populacional Projeção Demográfica	Analisar os dados demográficos para planejar políticas públicas e expansão e conservação dos sistemas ambientais	- Urbano	Planejamento sustentável; Regulação de impactos ambientais urbanos.
População Economicamente ativa	Monitorar a situação econômica da população para fomentar o desenvolvimento sustentável	- Urbano - Industrial	Serviços de suporte à economia local; Desenvolvimento sustentável.
Migração	Estudar os padrões migratórios para entender a dinâmica populacional	- Urbano - Predominantemente Agrícola - Predominantemente Pecuário	Planejamento sustentável; Mitigação de pressões nos recursos naturais.
Estrutura Produtiva e Serviços	Avaliar a estrutura econômica para promover a diversificação e sustentabilidade	- Urbano - Predominantemente Agrícola	Provisão de recursos econômicos e sustentáveis; Regulação do uso da terra e dos recursos naturais.

INDICADOR	OBJETIVO	SISTEMA AMBIENTAL	SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS
		- Silvicultura	
Arranjos Institucionais	Fortalecer a governança ambiental e social	- Urbano	Serviços culturais: governança ambiental; Planejamento para conservação e uso sustentável dos ecossistemas.
Atividade Pesqueira	Avaliar e acompanhar a sustentabilidade das práticas pesqueiras	- Estuarino - Marinho Adjacente	Provisão de alimentos (peixes); Regulação das práticas sustentáveis; Suporte à biodiversidade marinha.

Fonte: elaborado pela autora.

A implementação dos programas de monitoramento considera, idealmente, a colaboração entre diversas instituições, incluindo órgãos governamentais, empresas privadas, ONGs, universidades e a comunidade local. É necessário estabelecer uma base de dados centralizada e acessível para o armazenamento e análise das informações coletadas. A gestão deve ser adaptativa, permitindo ajustes conforme novas informações e tecnologias estejam disponíveis, considerando-se que a GBE é um processo dinâmico que requer adaptações constantes. Os resultados do monitoramento devem ser analisados e comunicados aos *stakeholders*, configurando-se um ciclo de *feedback* contínuo. Tal processo adaptativo permite ajustar as ações de gestão às novas condições e desafios da bacia, buscando a desejada sustentabilidade a longo prazo.

6.7 MODELO CONCEITUAL COMO FERRAMENTA DE GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

A elaboração do modelo conceitual sistêmico apresentado neste capítulo é resultado direto da integração de todos os dados e análises desenvolvidos ao longo desta tese. A caracterização dos sistemas ambientais da BHRC, a identificação dos serviços ecossistêmicos ofertados, a avaliação de riscos de perda frente a estressores antrópicos, e o desenvolvimento do Índice de Criticidade de Gestão (ICGest) forneceram a base empírica e teórica para sua construção. O modelo conceitual surge, portanto, como uma ferramenta de síntese e de apoio à tomada de decisão, permitindo representar, de forma visual e integrada, os principais fluxos de energia, matéria e informação que interligam os subsistemas ecológico, socioeconômico e de gestão e política. Ele não é um fim em si mesmo, mas um recurso técnico-científico para comunicar a complexidade do sistema ambiental da bacia, identificar pontos críticos de intervenção e orientar estratégias de planejamento. A proposta deste modelo dentro da tese justifica-se como uma ferramenta prática e adaptável para apoiar a gestão com base ecossistêmica de bacias hidrográficas costeiras, articulando ciência, política e sociedade.

A gestão sustentável de bacias hidrográficas costeiras requer um entendimento integrado dos processos ecológicos, socioeconômicos e políticos que

regem o funcionamento desses sistemas complexos. No modelo conceitual aqui proposto, a bacia hidrográfica costeira é estruturada como um sistema ambiental dinâmico, composto por diversas interações entre fontes de energia, subsistemas funcionais, consumidores, interruptores e um sistema econômico externo (Figura 28). Esse modelo permite compreender como os fluxos de matéria e energia se organizam dentro da bacia, influenciando a disponibilidade de recursos e os impactos ambientais e sociais decorrentes do uso desses recursos.

O modelo conceitual parte da identificação das fontes de energia, que representam os insumos externos necessários para o funcionamento do sistema, como radiação solar, precipitação, vento e marés. Essas fontes são classificadas em três grupos principais: Clima, Forçantes Hidrológicas e Dinâmica dos Oceanos, demonstrando a interdependência entre os fatores atmosféricos, hidrológicos e marinhos na bacia. A partir dessas fontes, a energia é distribuída e processada dentro dos subsistemas ambientais, que atuam como unidades de consumo e produção, com papéis específicos na dinâmica da bacia.

Entre os principais subsistemas, destacam-se o Subsistema Ecológico, responsável pela manutenção da biodiversidade e pela sustentação dos serviços ecossistêmicos; o Subsistema Hidrológico, que regula o armazenamento e a distribuição da água na bacia; e o Subsistema Geoquímico, que governa os ciclos de nutrientes, a sedimentação e os processos erosivos. Além desses, o Subsistema Socioeconômico engloba as atividades humanas que dependem dos recursos naturais da bacia, como agricultura, pesca, turismo e indústria, sendo simultaneamente uma unidade de consumo e produção. Já o Subsistema de Gestão e Política estabelece os mecanismos de governança, regulamentação e planejamento necessários para equilibrar as demandas ambientais e socioeconômicas da bacia.

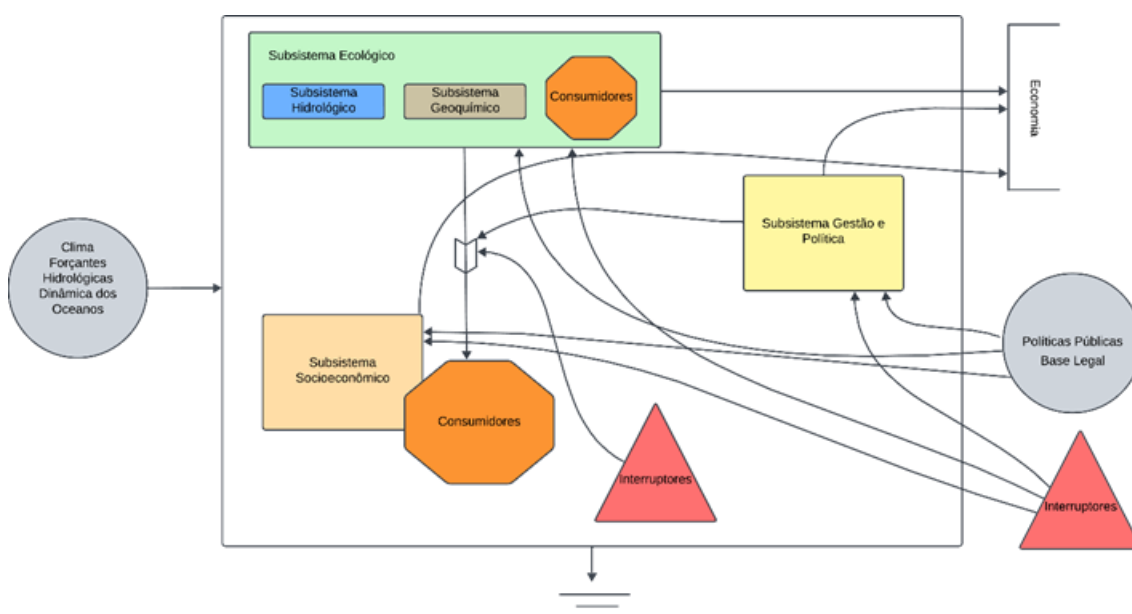
Os Consumidores transformam e distribuem a energia e os recursos disponíveis. Eles podem ser classificados em internos, que englobam os organismos e processos naturais que reciclam nutrientes e sustentam os ecossistemas, e externos, que correspondem às atividades humanas que exploram os recursos da bacia para fins produtivos. Esses consumidores interagem com os interruptores, elementos que modulam, aceleram ou restringem os fluxos de energia e matéria

dentro da bacia. Os interruptores internos atuam nos processos ecológicos e hidrológicos locais, enquanto os interruptores externos incluem fatores como políticas públicas, infraestrutura e mudanças climáticas, que impactam a bacia em múltiplos níveis.

Por fim, o modelo conceitual considera a existência de um Sistema Economia externo à bacia hidrográfica, que opera em uma escala mais ampla e influencia diretamente os processos internos da bacia. Esse sistema aberto integra fluxos financeiros, políticas de mercado e cadeias produtivas que dependem dos insumos naturais e serviços ecossistêmicos fornecidos pelos subsistemas da bacia. A interconexão entre os componentes internos da bacia e a economia global destaca a necessidade de abordagens de gestão que conciliam o desenvolvimento econômico com a conservação ambiental.

Dessa forma, o modelo conceitual proposto fornece uma estrutura analítica para compreender a dinâmica da bacia hidrográfica costeira de maneira integrada, o que permite a formulação de estratégias eficazes para a gestão visando o uso equilibrado dos serviços ecossistêmicos.

Figura 28 - Modelo Conceitual de Gestão Baseada em Ecossistemas de uma Bacia Hidrográfica Costeira.



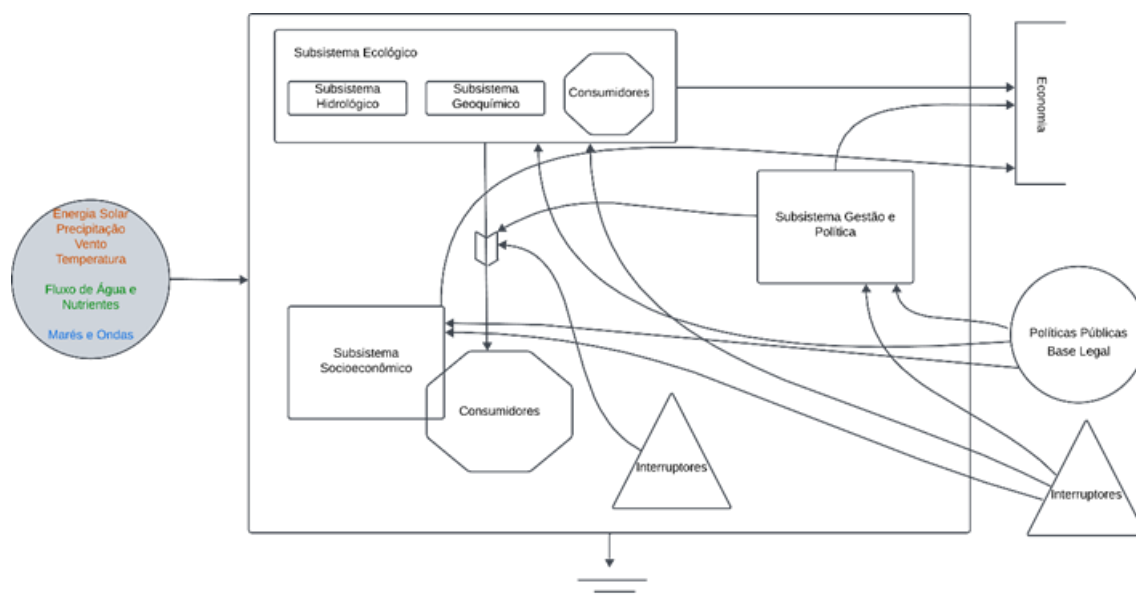
Fonte: elaborado pela autora.

6.7.1 Fonte de Energia

No modelo conceitual proposto, a Fonte de Energia representa uma fonte externa de energia que entra no sistema, como a radiação solar, precipitação ou vento, por exemplo. A seta que aponta para baixo indica a direção do fluxo energético para dentro do sistema ambiental da BHRC como um todo, mostrando como essas fontes alimentam os processos internos. No contexto de uma bacia hidrográfica costeira, essas fontes de energia são essenciais para impulsionar os processos naturais e as atividades humanas que ocorrem dentro da bacia.

No modelo conceitual a Fonte de Energia foi subdividida em três grupos: (1) Clima; (2) Forçantes Hidrológicas; (3) Dinâmica dos Oceanos. A Figura 29 apresenta a Fonte de Energia no Sistema da Bacia Hidrográfica Costeira e a seguir estão descritas as principais fontes de uma bacia hidrográfica costeira em cada um dos grupos supracitados.

Figura 29 - Representação da Fonte de Energia no Sistema Ambiental da Bacia Hidrográfica Costeira.



Fonte: elaborado pela autora.

Os componentes da Fonte de Energia controlam o clima local e a atmosfera na bacia hidrográfica, influenciando na evapotranspiração, no ciclo hidrológico e nas condições ambientais para os organismos vivos. Também interagem com o

subsistema hidrológico e os outros subsistemas, afetando os padrões de escoamento, a disponibilidade de água e os processos biogeoquímicos. Produz condições climáticas que regulam processos ecológicos, enquanto consome energia solar e influência de massas de ar. A descrição dos componentes da fonte de energia está na Tabela 5 a seguir.

Tabela 5 - Descrição dos componentes de Fonte de Energia no Sistema Ambiental da Bacia Hidrográfica Costeira.

FONTE DE ENERGIA		
Clima	Energia Solar	A energia solar é uma das principais fontes de energia para uma bacia hidrográfica costeira. Ela atua como a força motriz por trás de vários processos, incluindo a fotossíntese, que é fundamental para a produção primária nos ecossistemas aquáticos e terrestres. Além disso, a energia solar influencia o ciclo hidrológico através da evaporação da água e da formação de nuvens, contribuindo para a precipitação. O aquecimento da superfície da água e da atmosfera pela energia solar também afeta as correntes marinhas e os padrões climáticos locais, que, por sua vez, têm impacto sobre os ecossistemas costeiros.
	Precipitação	A precipitação, que inclui chuva, neve e granizo, é uma fonte externa de água que entra na bacia hidrográfica. Ela fornece a energia necessária para alimentar os rios, córregos e aquíferos, e é um dos principais fatores que determinam o escoamento superficial e a recarga de águas subterrâneas. A precipitação é controlada por processos climáticos que ocorrem em escalas regionais e globais, influenciando o balanço hídrico da bacia hidrográfica costeira e afetando a disponibilidade de água para os ecossistemas e as atividades humanas.
	Vento	O vento é uma fonte de energia que influencia diretamente os processos climáticos e oceanográficos na bacia hidrográfica costeira. Ele controla a evaporação da água, o transporte de massas de ar e a formação de padrões climáticos locais, como tempestades e frentes frias. Além disso, o vento afeta a dinâmica das zonas costeiras através da geração de ondas e correntes, que podem causar erosão, transporte de sedimentos e a redistribuição de nutrientes nos ecossistemas marinhos e costeiros. O vento, portanto, possui a função de modular os fluxos de energia e matéria na bacia.
	Temperatura	A temperatura, como uma fonte de energia associada ao clima, influencia diretamente os processos biológicos, físicos e químicos em uma bacia hidrográfica costeira. Alterações na temperatura da atmosfera e da superfície da água modulam a evaporação, a transpiração das plantas e a circulação atmosférica, que afetam o ciclo hidrológico e os padrões de precipitação. A variação de temperatura também regula processos biológicos como o metabolismo dos organismos aquáticos, a produtividade primária e a distribuição das espécies nos ecossistemas costeiros. No contexto da dinâmica costeira, temperaturas mais elevadas podem acelerar a decomposição da matéria orgânica, intensificar os fluxos de nutrientes e alterar a estrutura dos habitats sensíveis, como os manguezais e os estuários.

FONTE DE ENERGIA		
Forçantes Hidrológicas	Fluxo de Água e Nutrientes de Áreas Terrestres	As águas de escoamento provenientes de áreas urbanas, agrícolas e florestais adjacentes à bacia hidrográfica costeira são uma fonte significativa de energia e matéria. Esse escoamento transporta nutrientes, sedimentos, poluentes e matéria orgânica para os corpos d'água costeiros, alimentando processos biológicos e geofísicos. A quantidade e a qualidade desses fluxos são controladas por fatores externos, como a gestão do uso do solo, práticas agrícolas e padrões de urbanização, que afetam a saúde e a função dos ecossistemas aquáticos costeiros.
Dinâmica dos Oceanos	Marés e Ondas	As marés e as ondas, impulsionadas principalmente pela interação gravitacional entre a Terra, a Lua e o Sol, são fontes de energia que têm uma influência significativa nas áreas costeiras de uma bacia hidrográfica. Elas regulam o movimento das águas costeiras, facilitando a troca de nutrientes e organismos entre os ambientes marinhos e de água doce. As marés também influenciam os processos de sedimentação, a distribuição de habitats e a estruturação dos ecossistemas costeiros, como manguezais, pântanos e estuários.

Fonte: elaborado pela autora.

6.7.2. Subsistemas

Em um modelo conceitual para a gestão com base ecossistêmica, a "caixa" é um símbolo usado para representar subsistemas que atuam como unidades de consumo e produção dentro de um sistema maior. No contexto de uma bacia hidrográfica costeira, essas caixas encapsulam os diversos subsistemas que interagem e se inter-relacionam para formar o funcionamento completo do ecossistema da bacia.

A seguir estão descritos os componentes de cada Subsistema identificado para uma bacia hidrográfica costeira, bem como as interações ecológicas que ocorrem em cada um deles.

6.7.2.1 *Subsistema Ecológico*

O Subsistema Ecológico representa a biodiversidade e os habitats naturais dentro do sistema ambiental de uma bacia hidrográfica costeira, incluindo florestas, zonas úmidas, manguezais, estuários e ecossistemas aquáticos (Figura 30). Este subsistema engloba a flora e a fauna, as interações entre as espécies e as funções ecológicas fundamentais, como a produção primária, a ciclagem de nutrientes, a decomposição da matéria orgânica e a regulação climática. Ele atua como um dos pilares do equilíbrio ambiental, contribuindo tanto para a sustentação da vida quanto para a oferta de serviços ecossistêmicos, como a purificação da água, a estabilização do solo e o sequestro de carbono.

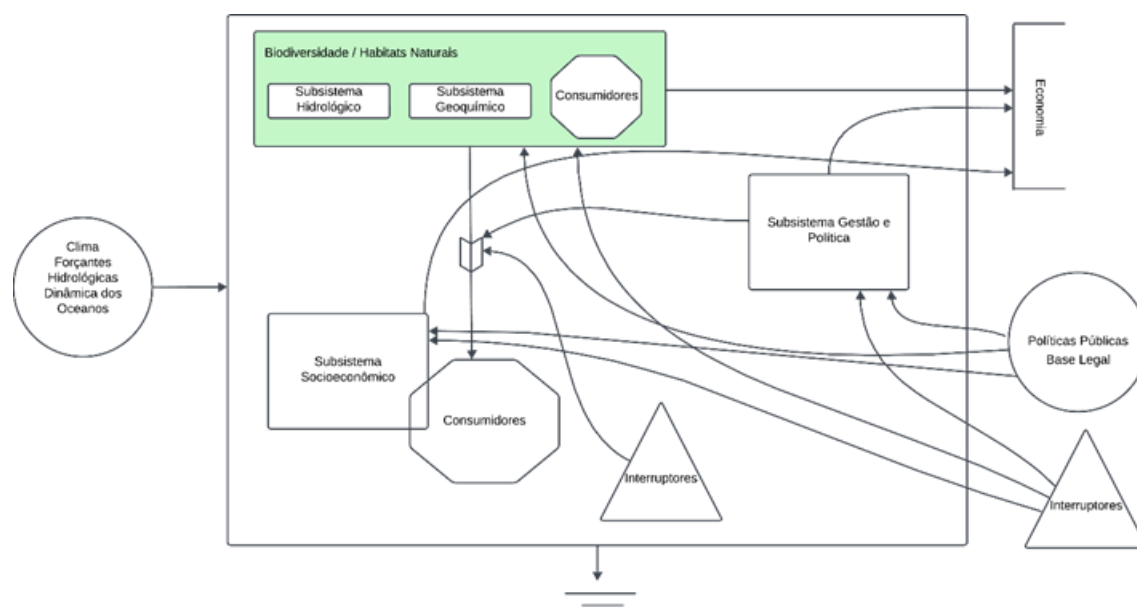
No Subsistema Ecológico, os fluxos de energia e matéria são articulados através das interações entre os produtores primários (como plantas aquáticas e terrestres) e os fluxos de nutrientes provenientes dos processos hidrológicos e geoquímicos. A energia solar captada pelos produtores primários por meio da fotossíntese é convertida em energia química, que alimenta toda a cadeia trófica. Essa energia é transferida para os consumidores primários (herbívoros), secundários (carnívoros) e decompositores, que transformam a energia ingerida em energia metabólica e biomassa. Os nutrientes, muitas vezes transportados pelos processos

hidrológicos e sedimentares, contribuem para a manutenção da produtividade primária e da biodiversidade dos habitats costeiros.

Os herbívoros, carnívoros e decompositores participam na retroalimentação do sistema, através da decomposição da matéria orgânica por microrganismos libera nutrientes para o meio ambiente, que retornam para os produtores primários, fechando o ciclo de nutrientes e otimizando o fluxo de energia. Além disso, interações ecológicas como a polinização, a dispersão de sementes e as relações simbióticas fortalecem a biodiversidade e garantem a resiliência do sistema. Essas interações ajudam a sustentar a produtividade do ecossistema, permitindo que o subsistema ecológico funcione como um sistema autocatalítico, onde os processos naturais são continuamente otimizados.

O Subsistema Ecológico inclui os Subsistemas Hidrológico, abrangendo os componentes relacionados ao ciclo da água dentro da bacia hidrográfica (rios, córregos, lagos, aquíferos, estuários e área marinha adjacente), e o Geoquímico, abrangendo os processos físicos e químicos que controlam a composição e a dinâmica do solo, dos sedimentos e da água na bacia hidrográfica. Além dos subsistemas, os denominados Consumidores também interagem diretamente e indiretamente com os três subsistemas mencionados, e esta interação será detalhada mais adiante.

Figura 30 - Representação do Subsistema Ecológico no Sistema Ambiental da Bacia Hidrográfica Costeira.



Fonte: elaborado pela autora.

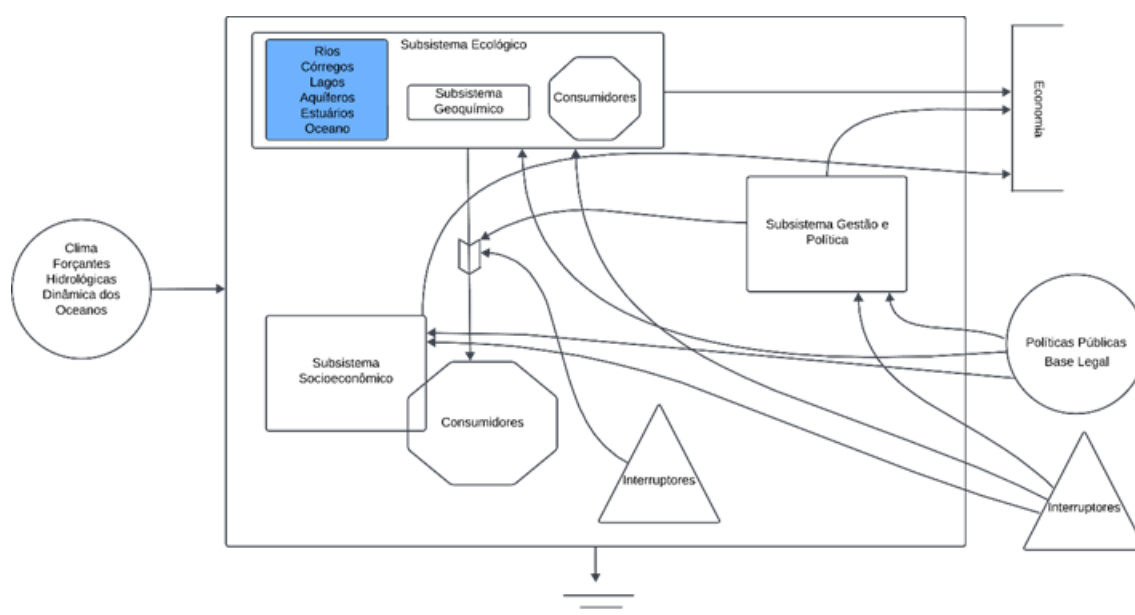
6.7.2.2 Subsistema Hidrológico

O Subsistema Hidrológico é responsável pela captação, armazenamento e distribuição da água, influenciando processos como a recarga de águas subterrâneas, o escoamento superficial e o transporte de sedimentos e nutrientes (Figura 31). Ele é uma unidade de produção e consumo, pois produz fluxos de água que alimentam ecossistemas e atividades humanas, enquanto consome água da precipitação e do escoamento. As interações dentro deste subsistema afetam diretamente a disponibilidade de água doce, a qualidade da água e a conectividade entre os ambientes terrestres e aquáticos. O Subsistema Hidrológico armazena energia na forma de água, sedimentos e calor, e retroalimenta o sistema por meio da recarga de aquíferos, a manutenção dos habitats aquáticos e a provisão de água para outros subsistemas, como o ecológico, geoquímico e o socioeconômico. Esta retroalimentação ajuda a melhorar a qualidade e a disponibilidade da água, apoiando a biodiversidade e as atividades humanas.

Este subsistema atua como uma caixa onde diversas interações ocorrem, principalmente envolvendo fluxos de energia da precipitação, da energia solar e do

escoamento superficial. A energia solar provoca a evapotranspiração, que transforma a água líquida em vapor, influenciando o ciclo hidrológico. A precipitação alimenta os corpos d'água, enquanto o escoamento superficial carrega nutrientes e sedimentos para os rios, lagos, estuários e oceano. A interação desses fluxos de energia resulta em saídas como a recarga de aquíferos, a manutenção dos níveis dos rios e o transporte de materiais para os sistemas aquáticos. O trabalho produzido por essas interações gera a provisão de água doce, a diluição de poluentes e o suporte à vida aquática.

Figura 31 - Representação do Subsistema Hidrológico no Sistema Ambiental da Bacia Hidrográfica Costeira.



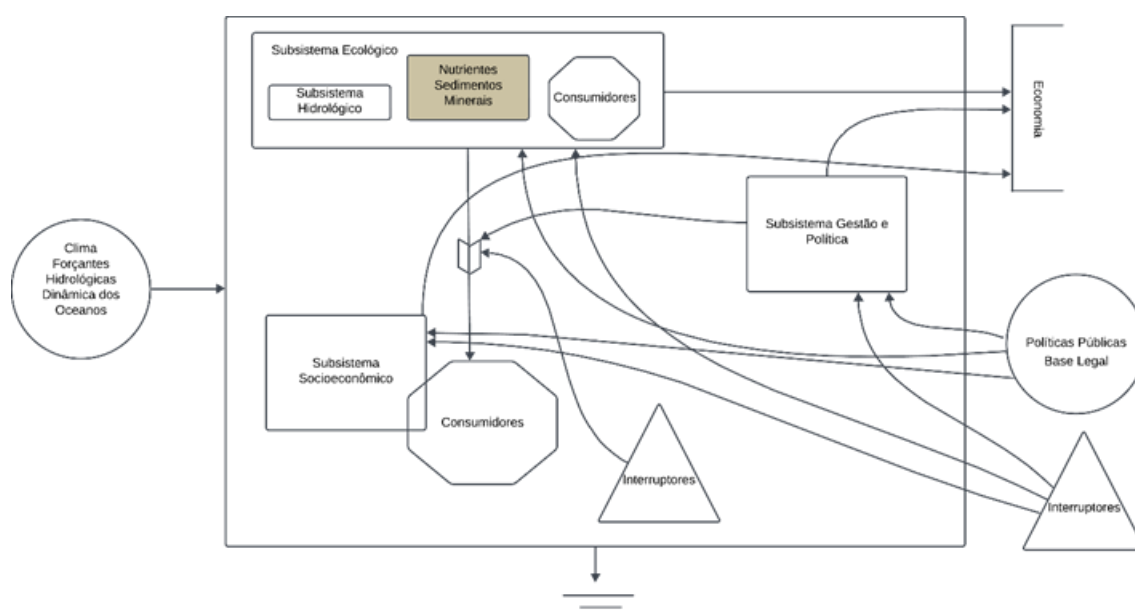
Fonte: elaborado pela autora.

6.7.2.2 Subsistema Geoquímico

Por sua vez, o Subsistema Geoquímico abrange ciclos de nutrientes (como o ciclo do carbono e do nitrogênio), erosão, sedimentação e transporte de partículas (Figura 32). O subsistema geoquímico é uma unidade de produção ao fornecer nutrientes e elementos químicos essenciais para a vida, é uma unidade de consumo ao receber entrada de material orgânico e inorgânico do escoamento, da erosão e

das atividades humanas. As interações neste subsistema afetam a fertilidade do solo, a qualidade da água e a produtividade dos ecossistemas aquáticos e terrestres. A energia proveniente do escoamento superficial e das correntes fluviais do Subsistema Hidrológico contribui para a erosão do solo e o transporte de sedimentos para os corpos d'água. Esses sedimentos transportam nutrientes que são liberados no ambiente aquático. Ao mesmo tempo, processos bioquímicos, como a decomposição da matéria orgânica, liberam nutrientes que são reutilizados pelos produtores primários no Subsistema Ecológico.

Figura 32 - Representação do Subsistema Geoquímico no Sistema Ambiental da Bacia Hidrográfica Costeira.



Fonte: elaborado pela autora.

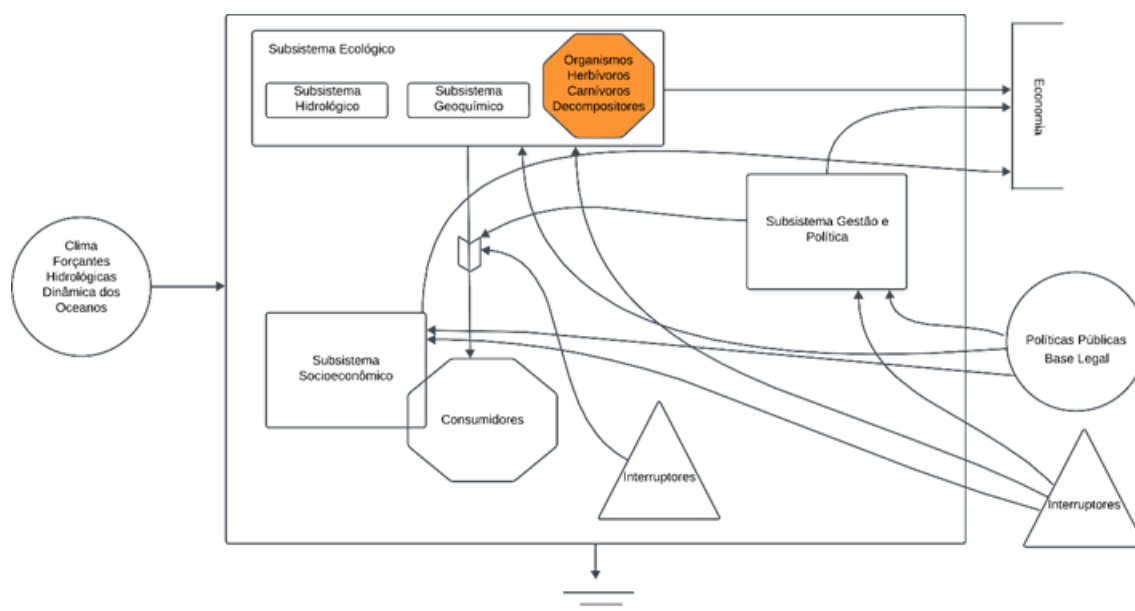
6.7.2.3 Consumidores

No modelo conceitual para gestão com base ecossistêmica proposto, o consumidor é uma unidade que usa e transforma energia, armazena essa energia em uma forma de maior qualidade e retroalimenta energia para a etapa anterior, atuando como um sistema autocatalítico (ODUM, 2004). Esse processo de

retroalimentação ajuda a otimizar o fluxo de energia que a unidade recebe, contribuindo com a eficiência e a resiliência do sistema (ORTEGA, 2004).

Os consumidores do Subsistema Ecológico podem ser classificados em internos e externos. Os Consumidores internos correspondem aos organismos e processos naturais que utilizam a energia proveniente dos produtores primários e dos fluxos de nutrientes para sustentar as funções ecológicas da bacia hidrográfica (Figura 33). Isso inclui organismos herbívoros, carnívoros e decompositores, que participam ativamente da transferência e reciclagem de energia dentro dos ecossistemas aquáticos e terrestres, permitindo a continuidade dos ciclos biogeoquímicos e a estabilidade do sistema (MARGALEF, 1997). Esses consumidores internos interagem dinamicamente com os produtores primários, regulando as populações biológicas, influenciando a biodiversidade e mantendo os serviços ecossistêmicos, como a depuração da água, o controle de pragas e a fertilização natural do solo.

Figura 33 - Representação dos Consumidores internos do Subsistema Ecológico.

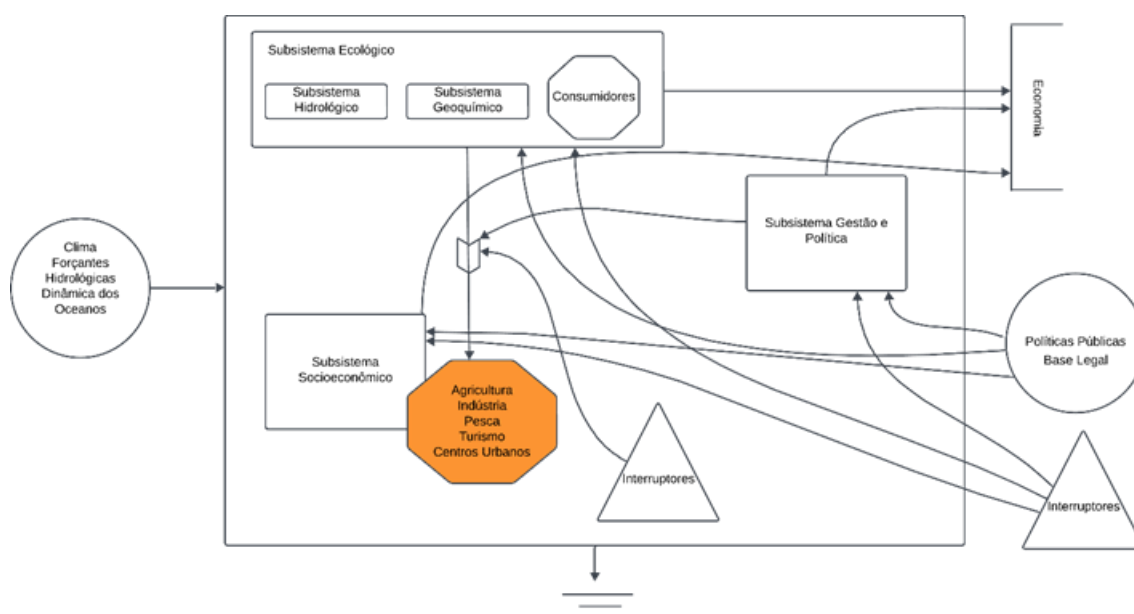


Fonte: elaborado pela autora.

Já os consumidores externos estão ligados às atividades humanas do Subsistema Socioeconômico e representam o uso direto e indireto da energia produzida pelos Subsistemas Ecológico, Hidrológico e Geoquímico. Esse grupo

inclui setores econômicos como a agricultura, a indústria, o turismo, a pesca e os centros urbanos, que consomem energia e matéria provenientes do meio natural para sustentar suas demandas socioeconômicas (COSTANZA *et al.*, 1997). A interação entre os consumidores externos e os processos ecológicos podem gerar impactos sobre os serviços ecossistêmicos da bacia, fato que requer uma atenção acerca da sua gestão (Figura 34).

Figura 34 - Representação dos Consumidores externos do Subsistema Ecológico.



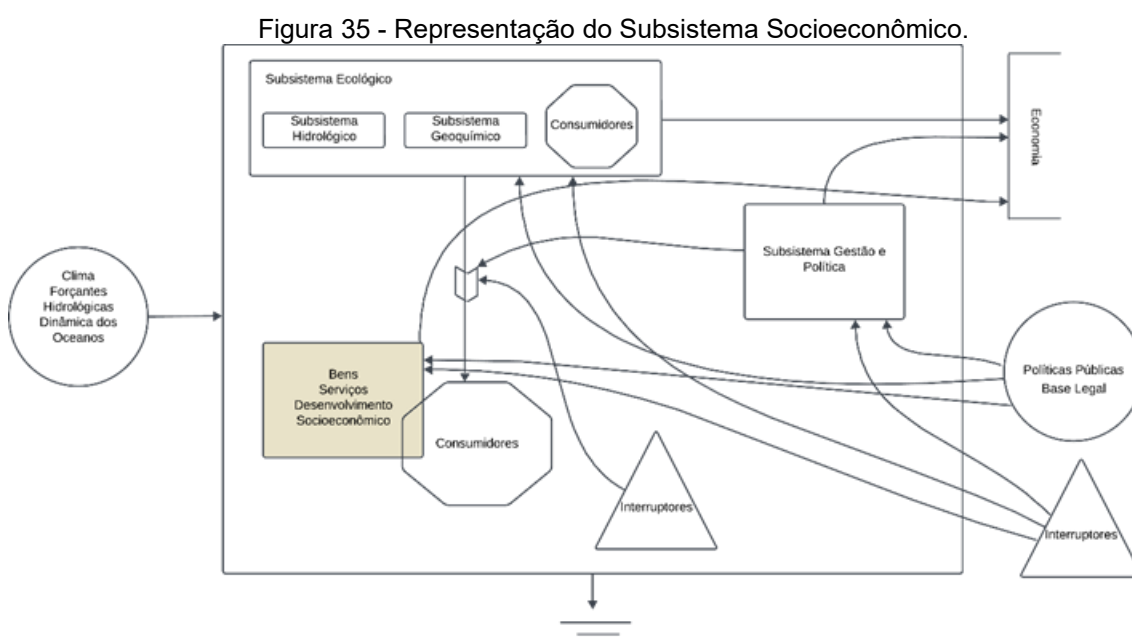
Fonte: elaborado pela autora.

Os Consumidores do Subsistema Socioeconômico no presente Modelo Conceitual utilizam energia e recursos naturais (água, solo, biomassa) para produzir bens e serviços. Por exemplo, a agricultura consome energia solar e nutrientes do solo para cultivar plantas, enquanto a indústria utiliza energia hidrelétrica ou fóssil para produzir bens. O Subsistema Socioeconômico armazena energia na forma de produtos agrícolas, energia elétrica e infraestrutura, e retroalimenta energia ao sistema por meio de atividades como o manejo de recursos naturais, práticas de conservação e o investimento em tecnologias sustentáveis. Essa retroalimentação pode melhorar o fluxo de energia na bacia através de práticas que preservam a qualidade dos recursos naturais.

Considerando o acima exposto, o Subsistema Ecológico não opera isoladamente, mas interage dinamicamente com os outros subsistemas da bacia hidrográfica, como o Hidrológico e o Geoquímico, além dos Consumidores internos do subsistema e externos. Essas conexões asseguram o fluxo contínuo de energia e matéria, sustentando os serviços ecossistêmicos que beneficiam tanto os ecossistemas naturais quanto as populações humanas.

6.7.2.4 Subsistema Socioeconômico

O Subsistema Socioeconômico abrange as atividades humanas e os usos dos recursos naturais dentro da bacia hidrográfica costeira, incluindo agricultura, urbanização, indústria, pesca e turismo (Figura 35). O Subsistema Socioeconômico atua como uma unidade de consumo ao utilizar recursos como água, solo e biodiversidade para atividades produtivas e de subsistência. Ao mesmo tempo, ele é uma unidade de produção, gerando bens e serviços, como alimentos, energia, infraestrutura e desenvolvimento econômico. Este subsistema interage com os demais, influenciando e sendo influenciado pelos processos naturais e pelos fluxos de energia e matéria na bacia.



Fonte: elaborado pela autora.

Os componentes do Subsistema Socioeconômico consomem recursos naturais, como água, solo e biomassa, e produzem saídas como alimentos, energia e bens manufaturados. Por exemplo, a energia solar e os nutrientes captados pelas plantações agrícolas são transformados em alimentos, enquanto a energia hídrica pode ser convertida em eletricidade. No entanto, essas atividades também podem introduzir fluxos de poluentes e resíduos no ambiente. O trabalho resultante dessas interações é observado na produção de bens e serviços que sustentam as populações humanas, mas também pode incluir impactos negativos, como a degradação ambiental, que afeta outros subsistemas.

Um exemplo prático da atuação do Subsistema Socioeconômico é a pesca artesanal, que depende diretamente da produtividade primária e da saúde dos ecossistemas costeiros para garantir a subsistência das comunidades tradicionais (DIEGUES, 1999). Da mesma forma, a agricultura irrigada em áreas de várzea utiliza os recursos hídricos da bacia para produção de alimentos, mas, quando mal manejada, pode gerar impactos como contaminação por agroquímicos (SPAROVEK *et al.*, 2010). No setor do turismo, atividades como o ecoturismo e o turismo de sol e praia podem representar tanto uma oportunidade para o desenvolvimento sustentável quanto uma ameaça aos ecossistemas, dependendo do manejo e da capacidade de carga das áreas visitadas (BUCKLEY, 2009).

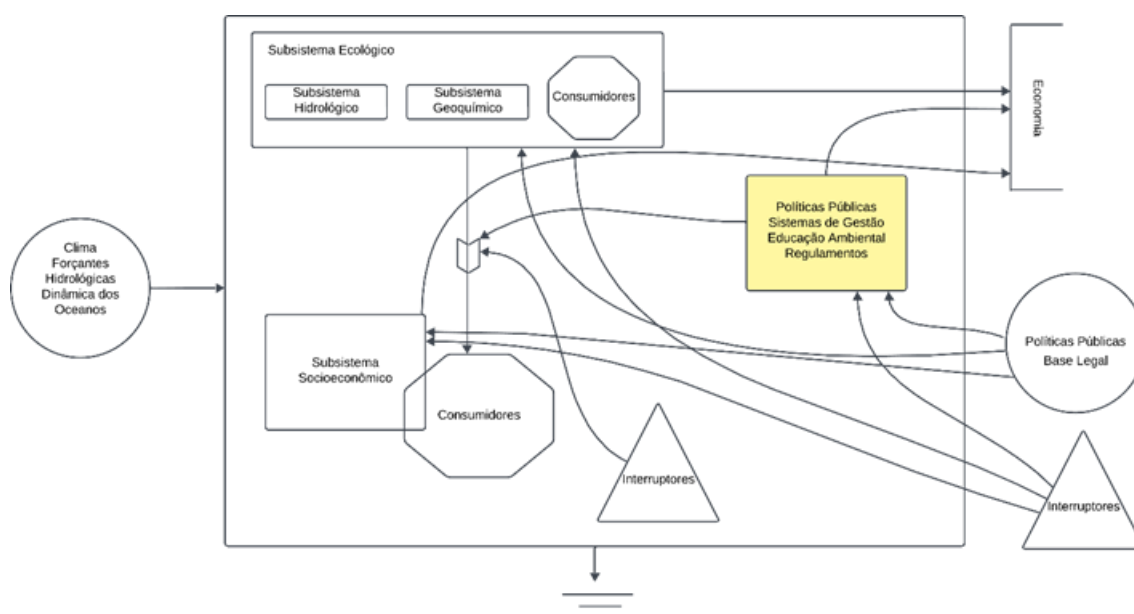
Neste sentido, o fluxo de energia e matéria produzido pelo Subsistema Ecológico como um todo podem ser controlados para que haja um uso/consumo adequado sem que haja um esgotamento dos recursos naturais da bacia hidrográfica e colapso dos seus serviços ecossistêmicos. A função do Subsistema de Gestão e Política é exercer esse controle, como detalhado a seguir.

6.7.2.5 Subsistema de Gestão e Política

O Subsistema de Gestão e Política compreende os mecanismos de governança, regulamentações, políticas e práticas de conservação específicos para cada bacia hidrográfica, adaptando-se às particularidades ambientais, sociais e econômicas da região. Esse subsistema inclui a formulação e implementação de políticas públicas, o desenvolvimento de programas de gestão sustentável, a

promoção da educação ambiental e a aplicação de regulamentos ambientais alinhados à realidade local. Um exemplo prático dessa estrutura é a elaboração dos Planos de Gestão de Recursos Hídricos, desenvolvidos pelos Comitês de Bacia Hidrográfica, que estabelecem diretrizes para o uso racional da água, a mitigação de impactos ambientais e a compatibilização entre as diferentes demandas dos setores produtivos e da conservação ambiental (Figura 36).

Figura 36 - Representação do Subsistema de Gestão e Política.



Fonte: elaborado pela autora.

A criação de Unidades de Conservação (UCs), como parques nacionais e reservas extrativistas em áreas costeiras e estuarinas, tem sido uma estratégia eficaz para proteger ecossistemas sensíveis, como manguezais e recifes de coral, preservando a biodiversidade e a manutenção dos serviços ecossistêmicos (DUDLEY, 2008). No âmbito da governança, a participação ativa de comunidades locais por meio de comitês de bacia hidrográfica fortalece a tomada de decisão participativa e permite que diferentes atores sociais contribuam para a formulação de políticas e ações sustentáveis (JACOBI, 2009). Outro exemplo relevante é a fiscalização e controle de impactos ambientais gerados por atividades econômicas, como o monitoramento da qualidade da água em áreas com alto grau de urbanização ou exploração industrial, controlando o cumprimento das legislações

ambientais e mitigando riscos à saúde dos ecossistemas e das populações humanas (PHILIPPI JR. *et al.*, 2017). Esse subsistema visa, portanto, o equilíbrio entre os diferentes usos dos recursos naturais e o controle das atividades humanas.

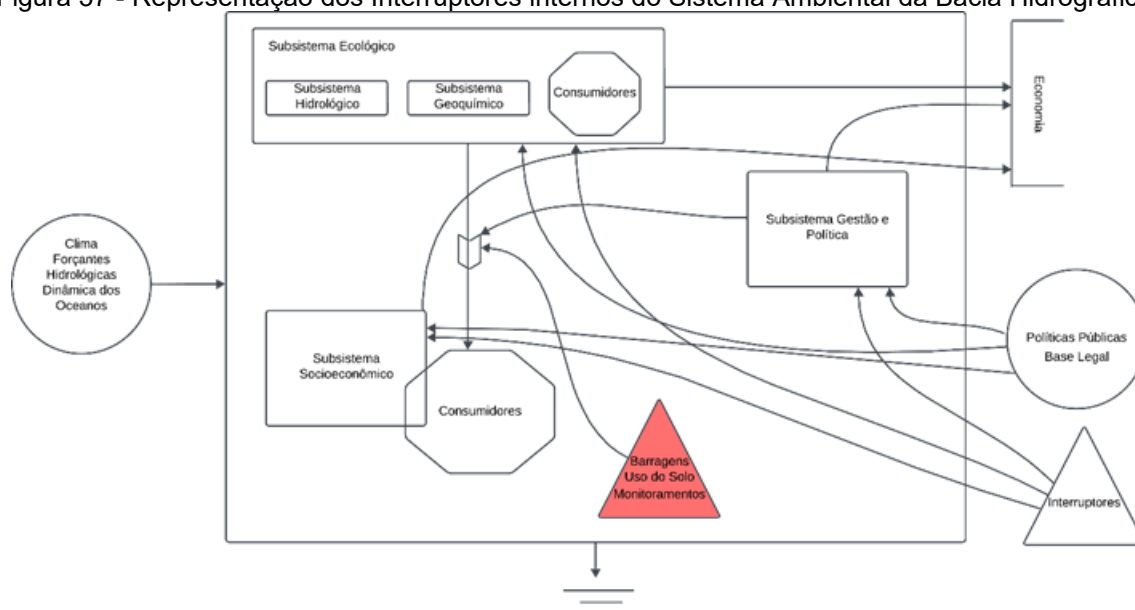
Da mesma forma que o fluxo de energia e matéria provindo do Subsistema Ecológico pode possuir controles através de políticas e regras de uso, esse fluxo pode sofrer perdas e até mesmo interrupções antes que possam ser usufruídos pelos Consumidores do Subsistemas Socioeconômico. São os denominados Interruptores que interferem neste fluxo, conforme descrito a seguir.

6.7.2.6 Interruptores

No modelo conceitual de GBE, os interruptores representam elementos que modulam, regulam ou interrompem o fluxo de energia e matéria dentro do sistema ambiental da bacia hidrográfica. Eles podem atuar como barreiras ou catalisadores, influenciando diretamente a dinâmica dos Subsistemas Ecológico, Socioeconômico e de Gestão e Política. Esses interruptores podem ser classificados em internos, que operam dentro do próprio sistema ambiental da bacia, e externos, que exercem influência vinda de fora do sistema, podendo impactar múltiplos subsistemas simultaneamente.

Os interruptores internos atuam dentro dos processos naturais da bacia, interferindo na relação entre o Subsistema Ecológico e os Consumidores do Subsistema Socioeconômico (Figura 37). Eles controlam fluxos de energia e matéria que servem para a manutenção da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos, além de regular a disponibilidade dos recursos naturais utilizados pelas atividades humanas.

Figura 37 - Representação dos Interruptores internos do Sistema Ambiental da Bacia Hidrográfica.



Fonte: elaborado pela autora.

As barragens e diques, por exemplo, controlam o fluxo de água em rios, córregos, lagos e aquíferos, regulando a quantidade de água disponível e o escoamento superficial. Essas infraestruturas impactam diretamente no fluxo entre os Subsistemas Ecológico e Socioeconômico, na irrigação, o abastecimento urbano e o controle de enchentes, ao modificar a dinâmica natural do ciclo hidrológico.

As práticas de uso do solo também exercem forte influência sobre os sistemas, podendo atuar como elementos que melhoram ou degradam a qualidade ambiental do sistema como um todo. O manejo inadequado, como o desmatamento e o uso intensivo de agroquímicos, altera a fertilidade do solo e intensifica o transporte de partículas, aumentando a turbidez da água e comprometendo os ecossistemas aquáticos. Além disso, a vegetação influencia a recarga de aquíferos, o padrão de escoamento e a infiltração da água, impactando diretamente o regime hidrológico da bacia.

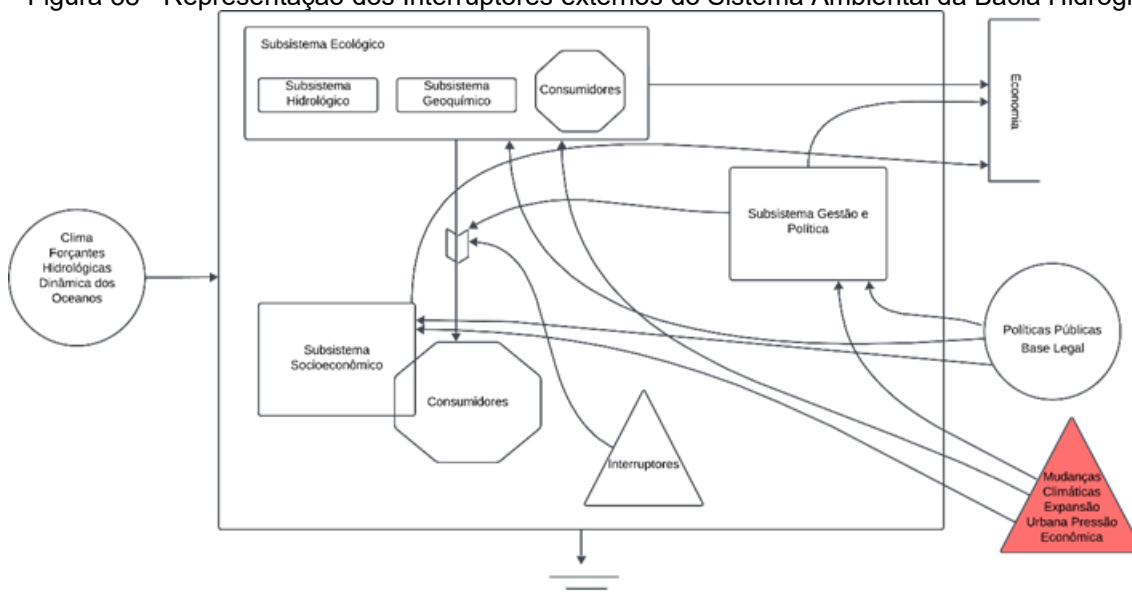
O setor produtivo, representado pela agricultura e pela indústria, exerce pressão sobre o ciclo de nutrientes e a qualidade do solo, ao introduzir poluentes e alterar a composição química da água e dos sedimentos. A irrigação em larga escala e a expansão da infraestrutura industrial modificam os fluxos hídricos em rios e aquíferos, alterando sua disponibilidade e potencializando impactos sobre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos. Além disso, essas atividades

consomem recursos naturais, como água, solo e biodiversidade, e podem gerar fluxos de poluentes e sedimentos que alteram profundamente a dinâmica dos ecossistemas.

Os interruptores externos não pertencem diretamente ao Sistema Ambiental da bacia hidrográfica, mas exercem influência sobre os três Subsistemas: Socioeconômico, Ecológico e de Gestão e Política (Figura 38). Eles podem gerar impactos ambientais positivos ou negativos, dependendo da forma como interagem com os processos naturais e com a governança da bacia.

O aumento das temperaturas, a elevação do nível do mar e eventos climáticos extremos, como furacões e tempestades, são exemplos de forças externas que impactam diretamente os subsistemas da bacia hidrográfica costeira. Esses fatores podem alterar a disponibilidade de água, intensificar processos erosivos e modificar padrões de biodiversidade, exigindo adaptações nas estratégias de gestão e políticas públicas. O crescimento desordenado de cidades e a intensificação das atividades industriais e agrícolas podem atuar como fortes interruptores externos, pressionando o subsistema ecológico com aumento da poluição, desmatamento e demanda por água. Esse processo interfere na governança da bacia, exigindo maior regulação e planejamento para evitar impactos irreversíveis.

Figura 38 - Representação dos Interruptores externos do Sistema Ambiental da Bacia Hidrográfica.

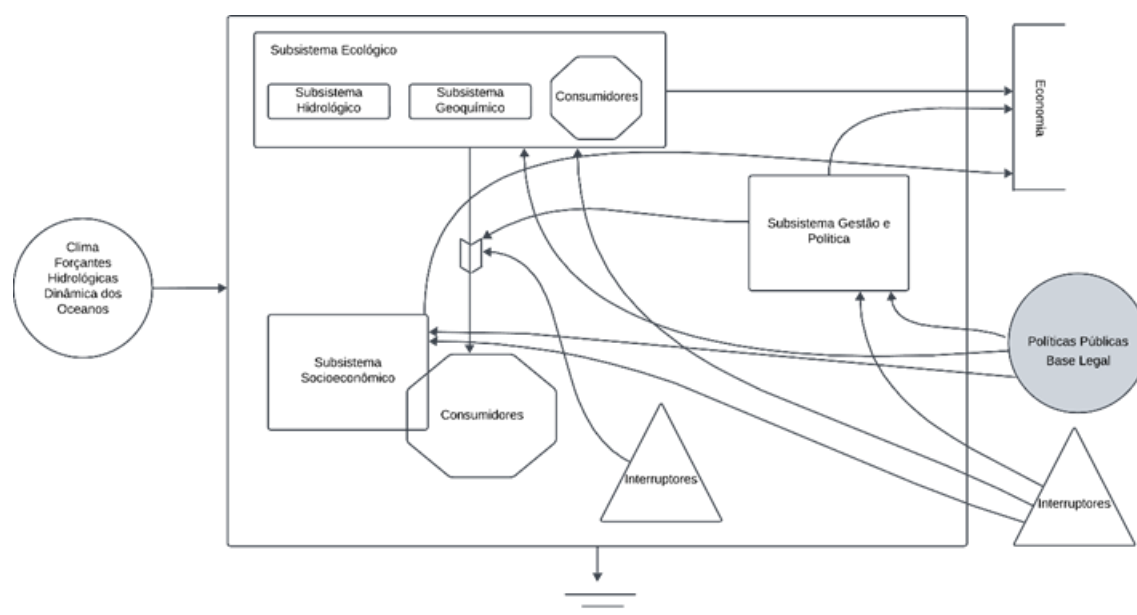


Fonte: elaborado pela autora.

6.7.2.7 Políticas Públicas e Base Legal

No modelo conceitual de GBE proposto existe ainda um sistema de Fonte de Energia de políticas públicas e legislações que estão fora do sistema ambiental da bacia hidrográfica costeira, consistindo em normativas, regulamentos e diretrizes estabelecidos em esferas nacionais e internacionais, que orientam o uso do solo, dos recursos naturais e a gestão ambiental. Embora elaboradas em um contexto mais amplo, essas normas incidem diretamente sobre os subsistemas da bacia hidrográfica, influenciando sua dinâmica ecológica, socioeconômica e de governança (Figura 39). O impacto dessas regulamentações pode se dar por meio da definição de limites para atividades produtivas, da criação de áreas protegidas, do estabelecimento de critérios de qualidade ambiental e da implementação de incentivos econômicos para a sustentabilidade.

Figura 39 - Representação das Políticas Públicas e Base Legal externos do Sistema Ambiental da Bacia Hidrográfica.



Fonte: elaborado pela autora.

As políticas ambientais e legislações voltadas à conservação da biodiversidade e à proteção de ecossistemas impactam diretamente o Subsistema Ecológico da bacia hidrográfica costeira. Leis, por exemplo, como o Código Florestal

Brasileiro (Lei nº 12.651/2012) estabelece regras para a proteção da vegetação nativa, determinando a necessidade de preservação de Áreas de Preservação Permanente (APPs) ao longo dos rios e manguezais, o que contribui para a manutenção da biodiversidade e a regulação dos ciclos hidrológicos e biogeoquímicos. A criação de Unidades de Conservação (UCs), por sua vez, pode restringir ou condicionar o uso dos ecossistemas costeiros, protegendo habitats sensíveis, como recifes de corais e restingas. Além disso, acordos internacionais, como a Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB) e o Acordo de Paris, influenciam políticas nacionais de conservação, estimulando ações para mitigar a perda de biodiversidade e adaptar os ecossistemas aos impactos das mudanças climáticas.

O Subsistema Socioeconômico é afetado por políticas públicas e legislações que regulam o uso dos recursos naturais, o ordenamento territorial e o desenvolvimento de atividades produtivas, como agricultura, pesca, indústria e turismo. Leis ambientais, como a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997), impõem regras para a captação e o uso da água, determinando outorgas e limites para diferentes setores. Políticas de incentivo ao turismo sustentável e à pesca artesanal podem incrementar o desenvolvimento econômico sem comprometer os ecossistemas, enquanto restrições legais à pesca predatória e à poluição industrial buscam evitar a degradação ambiental. Além disso, políticas fiscais, como o ICMS Ecológico, criam incentivos financeiros para municípios que investem na proteção de seus recursos naturais, influenciando diretamente o equilíbrio entre o crescimento econômico e a conservação ambiental.

O Subsistema de Gestão e Política da bacia hidrográfica é fortemente influenciado por legislações externas que definem as competências institucionais, os instrumentos de gestão ambiental e os mecanismos de participação social. Regulamentações nacionais, como a Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/1981), estabelecem diretrizes para o licenciamento ambiental e a avaliação de impactos ambientais, exigindo que grandes empreendimentos considerem os efeitos de suas atividades sobre a bacia hidrográfica. Além disso, programas internacionais, como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, influenciam a

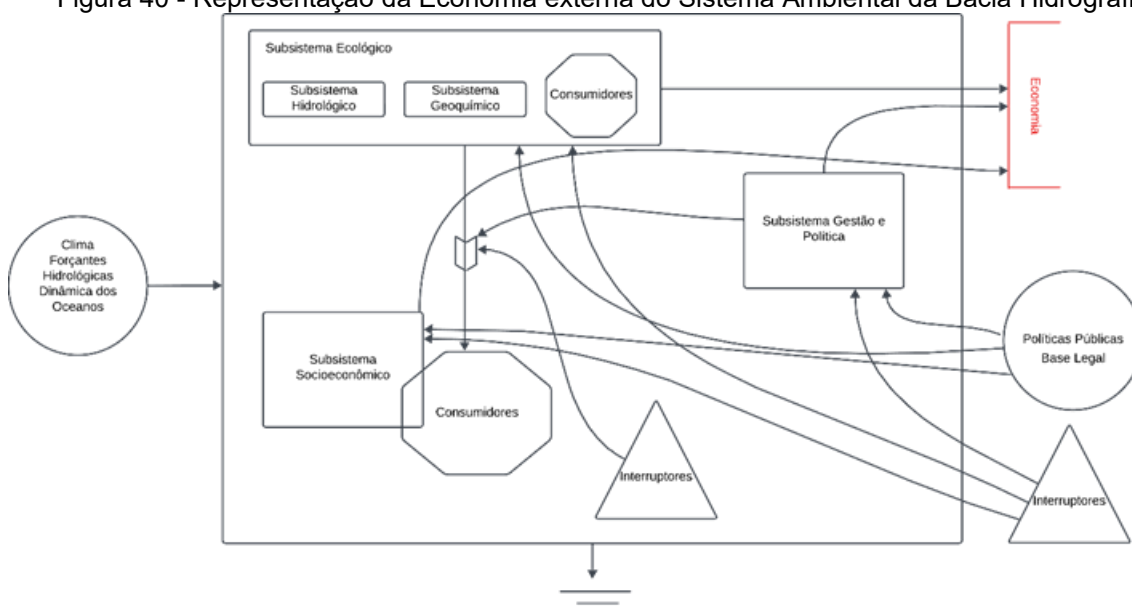
formulação de políticas ambientais e sociais, incentivando a adoção de práticas de gestão mais sustentáveis e integradas.

6.7.2.8 Economia

No modelo conceitual de GBE, além do Sistema Ambiental da bacia hidrográfica costeira, existe um sistema externo e aberto, denominado Sistema Economia. Esse sistema opera em uma escala mais ampla, integrando atividades econômicas, fluxos financeiros, políticas de mercado e demandas por bens e serviços ecossistêmicos que extrapolam os limites da bacia hidrográfica. Diferentemente do sistema ambiental da bacia, que se baseia nos princípios da ecologia e da gestão sustentável dos recursos naturais, o Sistema Economia está estruturado sobre relações de produção, consumo e comércio, muitas vezes subordinado a fatores como crescimento econômico, competitividade e globalização.

Os três subsistemas da bacia hidrográfica costeira (Ecológico, Socioeconômico e de Gestão e Políticas) alimentam diretamente esse Sistema Econômico externo, fornecendo insumos naturais, infraestrutura e processos regulatórios que sustentam as cadeias produtivas e os mercados (Figura 40).

Figura 40 - Representação da Economia externa do Sistema Ambiental da Bacia Hidrográfica.



Fonte: elaborado pela autora.

O Subsistema Ecológico da bacia hidrográfica costeira fornece a base material para diversas atividades econômicas, como recursos como água, solo fértil, biodiversidade e matéria-prima biológica. Esse fluxo ocorre de forma direta, por meio da exploração dos recursos naturais, e de forma indireta, por meio dos serviços ecossistêmicos que sustentam os processos produtivos. Por exemplo, os estoques pesqueiros de estuários e zonas costeiras fornecem matéria-prima para a indústria pesqueira e mercados locais e internacionais. Ecossistemas costeiros como manguezais, recifes de coral e praias atraem turistas e movimentam setores econômicos como hotelaria, gastronomia e serviços de transporte. Além disso, a fertilidade do solo e a disponibilidade hídrica dentro da bacia sustentam atividades agropecuárias que abastecem mercados regionais e globais.

Já o Subsistema Socioeconômico atua como um intermediário entre os recursos naturais da bacia e o sistema econômico externo, transformando insumos ambientais em bens e serviços comercializáveis. Esse subsistema envolve tanto as populações locais quanto os setores produtivos que dependem dos recursos da bacia hidrográfica para sustentar suas atividades. A extração de areia para construção civil, a produção de energia hidrelétrica e a exploração de petróleo e gás em áreas costeiras representam exemplos de como o setor produtivo se apropria dos recursos naturais da bacia para gerar riqueza. O crescimento das cidades costeiras e a especulação imobiliária impulsionam a conversão de ecossistemas naturais em áreas urbanizadas, o que pode gerar impactos como impermeabilização do solo, aumento da demanda por água e poluição de corpos hídricos.

Por sua vez, o Subsistema de Gestão e Política atua na regulação dos fluxos entre os Subsistemas Ecológico e Socioeconômico, estabelecendo regras e incentivos para garantir que a exploração dos recursos da bacia ocorra de maneira sustentável. A governança ambiental e a formulação de políticas públicas são, portanto, fatores determinantes para o equilíbrio entre conservação e crescimento econômico. Iniciativas que remuneram produtores rurais e comunidades tradicionais pela conservação de florestas e mananciais ajudam a garantir o fornecimento de serviços ecossistêmicos para suprir a economia, por exemplo. As normas ambientais determinam como as atividades industriais e agrícolas podem operar dentro da bacia, e devem visar a manutenção dos serviços ecossistêmicos para que a

economia possa continuar usufruindo desses benefícios. Ainda, regulamentações externas, como certificações ambientais para produtos pesqueiros e agrícolas (ex.: selo FSC para madeira manejada), influenciam diretamente a dinâmica econômica da bacia hidrográfica, impondo restrições ou abrindo novos mercados.

O Sistema Economia, enquanto sistema aberto e externo ao sistema ambiental da bacia hidrográfica costeira, depende diretamente dos Subsistemas Ecológico, Socioeconômico e de Gestão e Políticas para sua manutenção e crescimento. O equilíbrio entre esses sistemas deve fazer com que o desenvolvimento econômico ocorra sem comprometer a integridade dos recursos naturais e o bem-estar das populações locais. Dessa forma, a implementação de políticas de gestão com base ecossistêmica são eficazes para que seja possível a resiliência do sistema ambiental e seus subsistemas e a viabilidade econômica de longo prazo da bacia hidrográfica costeira.

O modelo conceitual apresentado neste capítulo cumpre um papel central na proposta metodológica desta tese, ao traduzir em linguagem gráfica e sistêmica a complexa rede de interações que estruturam a dinâmica ambiental de uma bacia hidrográfica costeira. Ao integrar os subsistemas ecológico, socioeconômico e de gestão e política, o modelo sintetiza os principais elementos identificados nas análises anteriores — os sistemas ambientais, os serviços ecossistêmicos, os estressores e os usos — e revela de forma clara os fluxos e conexões entre eles. Mais do que uma representação descritiva, trata-se de uma ferramenta operacional de gestão, que permite visualizar os impactos potenciais, os pontos de fragilidade e as oportunidades de intervenção integrada. Sua aplicabilidade não se restringe à BHRC: ele pode ser adaptado a outras bacias hidrográficas costeiras como instrumento de apoio ao planejamento e à tomada de decisão.

Ao representar graficamente a interação entre os subsistemas ecológico, socioeconômico e de gestão e política, o modelo permite situar o ICGest no interior de uma estrutura de governança integrada, evidenciando os fluxos de influência, os atores envolvidos, os limites institucionais e as interdependências sistêmicas. Assim, o índice indica *onde agir com urgência*, e o modelo conceitual orienta *como agir com coerência*, reforçando a complementaridade entre técnica e estratégia, visando uma gestão mais adaptativa e eficaz.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ausência de uma abordagem de gestão que considere explicitamente os serviços ecossistêmicos e os limites de sua capacidade de suporte ainda é uma das maiores lacunas na governança ambiental de bacias hidrográficas, especialmente nas regiões costeiras. As ações de planejamento e uso do território permanecem setoriais e fragmentadas, ignorando as interações entre sistemas naturais e atividades humanas. Isso tem resultado na degradação progressiva dos sistemas ecológicos, que, embora resilientes, vêm apresentando sinais claros de esgotamento funcional.

Grande parte dos conflitos socioambientais identificados na Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú decorre da superposição de usos em áreas sensíveis, sem critérios técnicos que considerem a capacidade do sistema em manter os serviços ecossistêmicos ao longo do tempo. Não há, na prática, mecanismos que orientem a gestão dos usos com base na análise integrada dos sistemas ambientais e da demanda crescente por serviços como abastecimento de água, proteção costeira, turismo e regulação climática.

Neste cenário, o método desenvolvido nesta tese constitui uma contribuição relevante, ao propor um caminho estruturado e replicável para implementar a gestão com base ecossistêmica em bacias hidrográficas costeiras. Ao partir da identificação dos sistemas ambientais, seus serviços e respectivos estressores, o método permite avaliar riscos, orientar decisões e priorizar ações de maneira técnica e transparente.

A inovação metodológica reside na articulação entre análise espacial, avaliação de risco, caracterização dos usos e formulação de estratégias de gestão ambiental distribuídas entre prevenção, mitigação, recuperação e compensação. Esse ciclo permite não apenas reduzir os impactos negativos, mas também restaurar processos ecológicos e compensar perdas inevitáveis. O foco em serviços ecossistêmicos funciona como elo entre conservação e desenvolvimento.

A aplicação prática do método na BHRC demonstrou sua utilidade para revelar áreas críticas, propor ações específicas e apresentar um entendimento mais claro sobre a dinâmica dos conflitos ambientais. Com isso, reforça-se a importância

de instrumentos técnicos que articulem gestão territorial, ciência ecológica e participação social.

Enquanto o ICGest permite identificar e hierarquizar áreas prioritárias para intervenção com base em critérios técnicos integrados — risco, pressão antrópica e relevância ecológica e socioeconômica — o modelo conceitual oferece a estrutura lógica e funcional que contextualiza essas prioridades dentro do sistema de governança da bacia hidrográfica. Ao representar graficamente a interação entre os subsistemas ecológico, socioeconômico e político-institucional, o modelo conceitual dá suporte à implementação efetiva das ações indicadas pelo índice, ao mesmo tempo em que revela as interdependências e as dinâmicas que moldam a paisagem socioambiental. Essa complementaridade fortalece a aplicabilidade da abordagem em contextos reais de gestão, contribuindo para a transição de práticas fragmentadas para uma governança verdadeiramente sistêmica, participativa e adaptativa.

Em um contexto nacional marcado por crescentes pressões antrópicas e mudanças climáticas, a replicabilidade do modelo é estratégica. Ele pode ser adaptado para diferentes escalas e contextos, contribuindo para o aprimoramento dos instrumentos de planejamento, como Planos de Bacia Hidrográfica, Zoneamentos Ecológico-Econômicos e políticas municipais de uso do solo.

Portanto, esta tese deixa como principal legado uma ferramenta aplicada, inovadora e alinhada aos princípios da sustentabilidade. Ao reconhecer os serviços ecossistêmicos como base da vida, da economia e da cultura, o modelo proposto viabiliza caminhos de gestão que conciliem conservação ambiental com os legítimos interesses sociais e econômicos das populações que vivem e dependem das bacias hidrográficas costeiras.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB RAZAK, M.S. Natural Headland Sand Bypassing: Towards identifying and modelling the mechanisms and process. PhD Thesis. TUDelft. Netherlands, 2015.

ABERS, R. N., & KECK, M. E. Practical authority: Agency and institutional change in Brazilian water politics. Oxford University Press, 2021.

ALBERNAZ. M.B. Análise de Longo Prazo da Dinâmica Morfossedimentar da Praia Central De Balneário Camboriú – SC, Por Meio De Métodos Estatísticos Multivariados. Monografia em Oceanografia. UNIVALI, Itajaí, 2010.

ALMEIDA, P. M. M.; SOARES, M. L. G.; KAMPEL, M. Monitoramento de uma área de manguezal na região metropolitana do Rio de Janeiro através de técnicas de Sensoriamento Remoto. III Congresso Brasileiro de Oceanografia. 3 p., 2008.

ANA - Agência Nacional de Águas. Atlas Brasil: abastecimento urbano de água. Brasília, DF. 2013.

ASMUS, M. L.; NICOLODI, J.L; SCHERER, M.E.G.; GIANUCA, K.; COSTA, J.C.; GOERSCH, L.; HALLAL, G.; VICTOR, K.D.; FERREIRA, W.L.S.; RIBEIRO, J.N.A.; PEREIRA, C.R.; BARRETO, B.T.; TORMA, L.F.; SOUZA, B.B.G.; MARCARELLO, M.; VILLWOCK, A. Simples para ser útil: Base Ecológica para a Gestão Costeira. Desenvolvimento e meio ambiente. v. 44, p. 4-19. 2018. doi: 10.5380/dma.v44i0.54971. e-ISSN 2176-9109/2018.

ASMUS, M.L. *et al.* Planilha de Ecossistemas e Serviços para o Baixo Estuário da Lagoa dos Patos (BEP). In: D. CONDE, M. POLETTE, M. ASMUS. Risk, perception and vulnerability to Climate Change in wetland dependent coastal communities in the Southern Cone of Latin America. Final Report, 2015. IDRC Climate Change and Water program Project 6923001.

ASMUS, M.L., MARRONI, E.V., AND G.G. VIEIRA. Brazil's National Ocean Policy, pp. 236-259. In B. Cicin-Sain, D. VanderZwaag, and M.C. Balgos (Eds.) Routledge Handbook of National and Regional Ocean Policies, Abingdon, 2015.

ASMUS, M.L.; NICOLODI, J.L.; ANELO, L.S.; GIANUCA, K. The risk to lose ecosystem services due to climate change: A South American case. Ecological Engineering, in press, 2017.

Ban SS, Pressey RL, Graham NAJ. Assessing the Effectiveness of Local Management of Coral Reefs Using Expert Opinion and Spatial Bayesian Modeling, 2015. PLoS ONE 10(8): e0135465.

BARRAGÁN MUÑOZ, J. M.; ANDRÉS GARCÍA, MARÍA. The management of the socio-ecological systems of the Bay of Cádiz: new public policies with old

instruments? Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, 85, 2866, 1–42, 2020.

BERKES, F., COLDING, J., & FOLKE, C. Rediscovery of Traditional Ecological Knowledge as Adaptive Management. *Ecological Applications*, 10(5), 1251-1262, 2000.

BERTALANFFY, Ludwig von. Teoria geral dos sistemas: fundamentos, desenvolvimento, aplicações. 3. ed. Petrópolis: Vozes, 2011.

BRAGA, Benedito *et al.* *Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável*. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006.

BRAGA, E.S., BONETTI, C.V.D., BURONE, L. & J. BONETTI FILHO. Eutrophication and Bacterial Pollution caused by Industrial and Domestic Wastes at the Baixada Santista Estuarine System - Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 40(2):165-173, 2000.

BUCKLEY, Ralf. *Ecotourism: principles and practices*. Wallingford: CABI, 2009.

CAMARGO, J.M. Litoral do estado de Santa Catarina, Brasil: Promontórios rochosos, comportamento da linha de costa e processo de transposição sedimentar. Tese de Doutorado, Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, 2020.

CAMPANALI, M.; PROCHNOW, M. Mata Atlântica, uma rede pela floresta. Brasília: RMA. 334 p., 2006.

CETESB. (2022). Risco Climático. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Recuperado de <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/36/2022/11/RISCO-CLIMATICO.pdf>
Christofolletti, A. Geomorfologia. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

CISSEL, J. H., SWANSON, F. J., MCKEE, W. A., & BURDITT, A. L. Using the past to plan the future in the Pacific Northwest. *Ecological Applications*, 8 (3), 662-685, 1998.

COHEN-SHACHAM, E., WALTERS, G., JANZEN, C., & MAGINNIS, S. Nature-based Solutions to address global societal challenges. IUCN International Union for Conservation of Nature, 2016

COSTANZA, R. et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, v. 387, n. 6630, p. 253-260, 1997.

DAGNINO, R. S., & CARPI JUNIOR, S.. Risco ambiental: conceitos e aplicações. *Climatologia e Estudos da Paisagem*, 2(2), 50-60, 2007.

DALE, V. H.; BEYELER, S. C. Challenges in the development and use of ecological indicators. *Ecological Indicators*, v. 1, p. 3–10, 2001.

DIEGUES, A. O mito moderno da natureza intocada. São Paulo: Hucitec, 1999.

Decreto nº 5.300. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2004-2006/2004/decreto/D5300.htm

DIEHL, F.L. Aspectos Evolutivos, Morfodinâmicos e Ambientais do Pontal de Daniela, Ilha de Santa Catarina (SC). Dissertação de Mestrado em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, 1997.

DORTZBACH, D.; BLAISKI, E.; FARIAS, M.G.; PEREIRA, A.P.E.; PEREIRA, M.G.; GONZÁLEZ, A.P. Análise da Dinâmica da Paisagem no Uso e Cobertura das Terras nos Municípios de Camboriú e Balneário Camboriú, SC. Caderno Prudentino de Geografia, Presidente Prudente, n.37, v.2, p.5-26, 2015.

DUDLEY, Nigel (Ed.). Guidelines for applying protected area management categories. Gland, Suíça: IUCN, 2008.

FAO - Food and agriculture organization of the United Nations. Global Forest Resources: Assessment update 2005. Roma: FAO, 2005.

FAO - Food and agriculture organization of the United Nations. Global Forest Resources Assessment 2015: How are the world's forests changing? Second edition. Roma: FAO, 2016.

FAO - Food and Agriculture Organization. The future of food and agriculture – Trends and challenges. Rome, 2017

FAO, 2018. Ecosystem Services & Biodiversity (ESB). Disponível em: <<http://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/background/en/>>. Acesso em: 05 mai. 2020.

FILHO, J.R.S.; ELLIF, C.I.; FERNANDINO, G.; SILVA, I.R.; NUNES, F.C. Evaluación cualitativa de los servicios ambientales del litoral norte del município de Ilheus, Bahia, Brasil. 2019. In, C. Milanés; R. Lastra y P. Sierra-Correa (ed.), Estudios de caso sobre manejo integrado de zona costeras em Iberoamérica: gestión, riesgo y buenas prácticas (1 ed., pp. 450-465). Barranquilla: Corporación Universidad de la Costa.

GIANUCA, K. Modelagem espacial para a avaliação de serviços ecossistêmicos hidrológicos (SEH) em bacias hidrográficas: estudo de caso da Bacia da Lagoa Mirim-RS, Brasil. 2024. Dissertação (Mestrado) ou Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2024.

GRANEMANN, A.R.B. Estudo das áreas de preservação permanente dos afluentes da Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú (SC) frente a legislação vigente. 29f. Monografia (Especialização em Direito Ambiental), Universidade do Vale do Itajaí. Itajaí, 2014.

GUADAGNIN, D.L. Diagnóstico da situação e ações prioritárias para a conservação da ZC da região sul - Rio Grande Do Sul e Santa Catarina, 1999.

HOLLING, C. S., & GUNDERSON, L. H. Resilience and adaptive cycles. In L. H. Gunderson & C. S. Holling (Eds.), **Panarchy: Understanding Transformations in Human and Natural Systems** (pp. 25-62). Island Press, 2002.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia. @Cidades. Censo Demográfico 2010 – Balneário Camboriú. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br>.

ICSU (2008). Ecosystem Change and Human Well-being: Research and Monitoring Priorities Based on the Millennium Ecosystem Assessment. ICSU-UNESCO-UNU. Paris, International Council for Science. 55p. Disponível em: <https://www.icsu.org/cms/2017/05/ICSU-UNESCO-UNU_Ecosystem_Report.pdf>. Acesso em: 11 de abril de 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA). Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/>. Acessado em: 18 de julho de 2020.

JACOBI, P. *Governança da água e gestão de bacias hidrográficas no Brasil*. *Revista Ambiente & Sociedade*, v. 12, n. 2, p. 115-132, 2009.

JACOBI, P. *Governança da água e gestão de bacias hidrográficas no Brasil*. *Revista Ambiente & Sociedade*, v. 12, n. 2, p. 115-132, 2009.

JUNIOR, J.H.P.; FERRÃO, A.M.A. Aspectos de gestão integrada de bacias hidrográficas: O caso da área urbana da microbacia hidrográfica do córrego Água Boa do município de Dourados (MS), Brasil. *Cidades, Comunidades e Territórios* 37, 2018.

JUNK, W. J., BAYLEY, P. B., & SPARKS, R. E. The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences*, 106(1), 110-127, 1989.

LACERDA, L.D. Manguezais, ecossistemas-chave sob ameaça. *Scientific American Brasil, Coleção Oceanos*. v.1, p. 77-82, 2009.

LACERDA, L.D. Manguezais, ecossistemas-chave sob ameaça. *Scientific American Brasil, Coleção Oceanos*. v.1, p. 77-82, 2009.

Lanna, A. E. *Gestão dos recursos hídricos: uma visão interdisciplinar*. Rio de Janeiro: UFRJ., 1996.

Lanna, A. E. *Gestão de recursos hídricos: Princípios e práticas*. Interciência, 2020.

LUGO, A. E. Mangrove ecosystem: sucessional or steady state? *Biotropica*, 12. p. 65-72, 1980.

Macedo, R. S., Castro, S. S., & Silva, D. D. Avaliação dos impactos da urbanização sobre a qualidade da água em bacias hidrográficas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 18(2), 181-194, 2013.

MARGALEF, Ramón. *Our Biosphere. Excellence in Ecology*, v. 10, Oldendorf/Luhe: Ecology Institute, 1997.

MEA. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Millennium Ecosystem Assessment. Island Press, Washington, 2005. Disponível em: <http://www.millenniumassessment.org/en/Synthesis.html>.

MEA. *Millenium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being. A framework for assessment*. Island Press, Washington, 2003.

MENEZES, J. T. Balanço de sedimentos arenosos da enseada de Balneário Camboriú – SC. Tese de doutorado em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

Millennium Ecosystem Assessment (MEA). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, 2005.

Millennium Ecosystem Assessment (MEA). *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Washington, DC: Island Press, 2005.

ASMUS1, M.; NICOLODI, J.; SCHERER, MARINEZ; GIANUCA, K.; COSTA, J.; GOERSCH, L.; HALLAL, G.; VICTOR, K.; FERREIRA, W.; RIBEIRO, J.; PEREIRA, C.; BARRETO, B.; TORMA, L.; SOUZA, B.; MASCARELLO, M.; VILLWOCK, A. Simples para ser útil: base ecossistêmica para o gerenciamento costeiro. Edição especial: X Encontro Nacional de Gerenciamento Costeiro Vol. 44, fevereiro 2018. DOI: 10.5380/dma.v44i0.54971. e-ISSN 2176-9109.

MMA, 2009. *Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade*. Ministério do Meio Ambiente. Departamento de Conservação da Biodiversidade. Brasília, DF.

Mójica Vélez, M., Barrasa García, S., Espinoza Tenorio, A. Policies in coastal wetlands: Key challenges. *Environmental Science and Policy*, 88, 72–82, 2018.

MOURA, R.; PÊGO, B. O Sistema Urbano Brasileiro e suas Articulações na Escala Sul-Americana. *Boletim Regional, Urbano e Ambiental*, n. 16, p. 71-80, jan.-jun, 2017.

MUÑOZ, J. M. B. Progress of Coastal management in Latin America and the Caribbean. *Ocean and Coastal Management* 154, 2020.

NICOLODI, J.L.; ZAMBONI, A.; BARROSO, G.F. Gestão Integrada de Bacias Hidrográficas e Zonas Costeiras no Brasil: Implicações para a Região Hidrográfica Amazônica. *Revista da Gestão Costeira Integrada* 9(2):9-32, 2009.

NIEMEYER, H. M. Indicadores ambientais: fundamentos e aplicações. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

RIBEIRO, J.; SILVA, T.; ASMUS, M.; OLIVCÚA, M. A.; YAMAZAKI, P. H.; MONTENEGRO SILWIN, V. M. Ecosystem-based metric for the characterization and management of coastal lagoons. *Revista Ota*, V. 2, N. 1, 105-144, 2020. DOI: 10.26359/OOAWJL602.

ODUM, Howard T. *Ecologia*. São Paulo: Editora Guanabara Koogan, 2004.

OLIVEIRA, A. F., & MARINS, R. V. Gestão integrada de bacias hidrográficas: um enfoque sistêmico. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 10(2), 507-520, 2017.

ORTEGA, E. *Ecologia de Sistemas: Teoria e Aplicações*. Campinas: Editora da Unicamp, 2004.

PENSAF, 2006. Plano Nacional de Silvicultura com Espécies Nativas e Sistemas Agroflorestais – PENSAF. Ministério do Meio Ambiente, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério do Desenvolvimento Agrário, Ministério da Ciência e Tecnologia. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/pnf/_arquivos/pensaf_v1.pdf>. Acesso em: (IPEADATA, 2014. Ipea – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br/Default.aspx>. Acesso em: 18 maio 2020.

PEREIRA FILHO, J.; SCHETTINI, C.A.F.; RÖRIG, L.R. & E. SIEGLE. Intratidal variation and net transport of dissolved inorganic nutrients, POC and chlorophyll-a in the Camboriú River Estuary, Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 53:249-257, 2001.

PHILIPPI JR., Arlindo *et al.* *Gestão ambiental: responsabilidades e instrumentos de ação*. Barueri: Manole, 2017.

Pires, M. O. Conservation of riparian forests in the Brazilian Cerrado. *Conservation Biology*, 18(4), 1113-1119, 2004.

PROSUL; ACQUAPLAN. Relatório de Impacto Ambiental: Alimentação artificial da praia central de Balneário Camboriú. Maio 2014.

RABELO, L.; SCHWINGEL, P..R. Resgate Histórico como Instrumento de avaliação da Degradação Ambiental em Bacia Hidrográfica Costeira. *Geosul*, Florianópolis, v. 34, n. 73, p. 238-261, 2019.

REBELO, L.P.; BRITO, P. A importância das dunas frontais na avaliação da evolução da linha de costa – O caso da Praia da Manta Rota. V Encontro de Professores de Geociências do Algarve Vila Real de Santo Antônio, 2004.

REPÚBLICA DO BRASIL. Governo Federal (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, dispõe sobre regras de uso e ocupação da ZC e estabelece critérios de gestão da orla marítima, e dá outras providências.

REPÚBLICA DO BRASIL. Governo Federal. (16 de maio de 1988a). Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro e dá outras providências. [Lei nº 7.661]. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7661.htm

REPÚBLICA DO BRASIL. Governo Federal. (1988b). Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Disponível em <http://www2.camara.leg.br>

Rodrigues, R. R., Lima, R. A., Gandolfi, S., & Nave, A. G. On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic Forest. *Biological Conservation*, 142(6), 1242-1251, 2011.

SCHAEFFER-NOVELI, Y. Situação Atual do Grupo de Ecossistemas: “Manguezal, Marisma e Apicum” Incluindo os principais vetores de pressão e as perspectivas para sua conservação e usos sustentável. ProBio, MMA, 2002.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Manguezal. Ecossistema entre a terra e o mar. EDUSP, São Paulo, 1995.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; CINTRÓN, G. Guia para estudo de área de manguezais: estrutura função e flora. Caribbean Ecological Research, 1986.

SCHERER, M.E.G.; EMERIM, E.G.; FELIX, A.; PRATA, P.M. Gerenciamento Costeiro Municipal, uma Abordagem Metodológica. Editora Nova Letra, 2014.

SEMA - SECRETARIA DO AMBIENTE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO RIO GRANDE DO SUL. Diretrizes ambientais para restauração e matas ciliares. Departamento de Florestas e Áreas Protegidas. Porto Alegre: SEMA, 2007.

Silva, A. P., Lima, I. B., & Santos, M. A. Participação social na gestão de bacias hidrográficas: Experiências e desafios. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 24(1), 85-102, 2019.

SOUZA, M. P.; SILVA, R. S. Modelo conceitual para identificação da influência dos stakeholders em processos decisórios. In: ANPET – Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2014. Disponível em: <https://anpet.org.br>. Acesso em: 19 mar. 2025.

SPAROVEK, Gerd *et al.* A revisão do código florestal brasileiro. *Novos estudos CEBRAP*, v. 86, p. 111-135, 2010.

SUGUIO K. Dicionário de geologia sedimentar e áreas afins. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 1998.

Tallis, H. T., *et al.* InVEST 3.0.1 User's Guide. The Natural Capital Project. 2013.

TEEB. The Economics of Ecosystem and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature: A synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB, 2010.

TEMME, B.; KLEIN, A. H. F.; CARVALHO, J. L. B. & DIEHL, F. L. Morphologic Behaviour of the Beach of Balneário Camboriú: Preliminary Results. *Notas Técnicas da Facimar*. n. 1, p. 49 – 65, 1997.

TILMAN, D. The ecological consequences of changes in biodiversity: a search for general principles. *Ecology*, 80: 1455–1474, 1999.

TOGNELLA, M.M.P.; OLIVEIRA, R.G. Manguezal do Rio Camboriú: dados preliminares. *Enciclopédia Biosf.*, v. 8, p. 1828–1844, 2012.

TORRES, L. Impactos da urbanização em zonas costeiras: desafios para a sustentabilidade ambiental. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, v. 4, n. 8, p. 57-74, 2017.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: Ciência e aplicação. 4ª ed. Editora da UFRGS. 2018.

VANUCCI, M. Os manguezais e nós: Uma Síntese de Percepção. EDUSP. 2ª ed. 276 p., 2002.

WAIDE, R.B.; WILLIG, M.R.; STEINER, C.F.; MITTELBACH, G.; GOUGH, L.; DODSON, S.I.; JUDAY, G.P.; PARMENTER, R. The relationship between productivity and species richness. *Annual. Reviews of Ecology and Systematics*. 30, 257–300, 1999.