

---

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DOS IMPACTOS DA EXPANSÃO DAS  
ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO À EROÇÃO COSTEIRA NA ORLA DO  
BALNEÁRIO DO HERMENEGILDO - RS**

SPATIAL-TEMPORAL ANALYSIS OF THE IMPACTS OF THE EXPANSION OF  
CONTAINMENT STRUCTURES AGAINST COASTAL EROSION ON THE EDGE OF  
BALNEÁRIO DO HERMENEGILDO - RS

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS IMPACTOS DE LA EXPANSIÓN DE  
ESTRUTURAS DE CONTENCIÓN ANTE LA EROSIÓN COSTERA EN LA COSTA  
DEL BALNEARIO DE HERMENEGILDO – RS

**Ana Carolina Fonte Boa Moura Santos**

Universidade Federal de Rio Grande, Rio Grande, Brasil. [acmoura89@gmail.com](mailto:acmoura89@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-8920-5072>

**Ulisses Rocha de Oliveira**

Universidade Federal de Rio Grande, Rio Grande, Brasil. [ulissesoliveira@furg.br](mailto:ulissesoliveira@furg.br)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7306-3593>

**Elaine Siqueira Goulart**

Universidade Federal de Rio Grande, Rio Grande, Brasil. [elainegoulart@gmail.com](mailto:elainegoulart@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2836-4485>

**Joao Luiz Nicolodi**

Universidade Federal de Rio Grande, Rio Grande, Brasil. [joaonicolodi@furg.br](mailto:joaonicolodi@furg.br)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3413-9863>

**Vanessa Lessa de Freitas**

Universidade Federal de Rio Grande, Rio Grande, Brasil. [vanessalessadefreitas@gmail.com](mailto:vanessalessadefreitas@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-9134-5953>

## RESUMO

O estudo analisa os efeitos da expansão das estruturas de contenção à erosão costeira no Balneário do Hermenegildo, RS. Esta pesquisa localiza-se entre os eixos prioritários de análise natural (fenômeno da erosão costeira) e histórico (modelo urbanístico/obras de contenção). Utilizando o Digital Shoreline Analysis (DSAS), foram comparadas as posições da praia em 2005 e 2022. O mapeamento das estruturas de contenção em 2009, 2013, 2016 e 2023 revelou um aumento dos enrocamentos, estabilizando parcialmente o limite superior da praia, especialmente na parte central do balneário. Os setores norte e sul, contudo, mostraram maiores taxas de erosão, atribuídas à fixação das estruturas. O estudo das estruturas destacou uma diminuição das dunas frontais entre 2009 e 2023, seguida de aumento em estruturas como enrocamento e blocos pré-moldados de concreto. Conclui-se que a erosão costeira na área é influenciada por diversos fatores além dos aspectos oceanográficos, e a população local está se adaptando às mudanças, com o crescimento contínuo das estruturas de contenção e a redução das dunas e da faixa de praia. Além disso, os diferentes tipos de estruturas existentes, por terem valores e eficácia distintos, tornam evidentes a desigualdade social na adaptação costeira. Esses resultados ressaltam a necessidade de uma abordagem integrada para gerenciar os impactos das estruturas de contenção, e assim fornecer medidas mais adequadas para comunidade.

**Palavras-chave:** Gestão costeira; Adaptação; Análise Geoespacial; Enrocamentos.

## ABSTRACT

The study analyzes the effects of expanding erosion control structures at Balneário do Hermenegildo, RS. This research focuses on two main areas of analysis: natural (coastal erosion phenomenon) and historical (urban planning/model of containment structures). Using the Digital Shoreline Analysis System (DSAS), beach positions from 2005 and 2022 were compared. Mapping of containment structures in 2009, 2013, 2016, and 2023 revealed an increase in riprap, which partially stabilized the upper limit of the beach, especially in the central part of the area. However, the northern and southern sectors showed higher erosion rates, attributed to the structures' fixation. The study highlighted a decrease in foredunes from 2009 to 2023, followed by an increase in structures such as riprap and pre-cast concrete blocks. The findings conclude that coastal erosion in the area is influenced by various factors beyond oceanographic aspects, with the local population adapting to changes through continuous growth of containment structures and a reduction in dunes and beach width. Additionally, the different types of existing structures, each with distinct values and effectiveness, reveal social inequality in coastal adaptation. These results underscore the need for an integrated approach to manage the impacts of containment structures, aiming to provide appropriate measures for the community.

**Keywords:** Coastal management; Adaptation; Geospatial Analysis; Rock Armor.

## RESUMEN

El estudio analiza los efectos de la expansión de las estructuras de contención contra la erosión costera en el Balneario del Hermenegildo, RS. Esta investigación se sitúa entre los ejes prioritarios de análisis natural (fenómeno de la erosión costera) e histórico (modelo urbanístico/obras de contención). Utilizando el Digital Shoreline Analysis System (DSAS), se compararon las posiciones de la playa en 2005 y 2022. El mapeo de las estructuras de contención en 2009, 2013, 2016 y 2023 reveló un aumento en los enrocados, estabilizando parcialmente el límite superior de la playa, especialmente en la parte central del balneario. Los sectores norte y sur, sin embargo, mostraron mayores tasas de erosión, atribuidas a la fijación de las estructuras. El estudio de las estructuras destacó una disminución de las dunas frontales entre 2009 y 2023, seguida de un aumento en estructuras como enrocados y bloques prefabricados de concreto. Se concluye que la erosión costera en el área está influenciada por diversos

factores más allá de los aspectos oceanográficos, y la población local se está adaptando a los cambios, con el crecimiento continuo de las estructuras de contención y la reducción de las dunas y de la franja de playa. Además, los diferentes tipos de estructuras existentes, debido a sus distintos valores y eficacia, evidencian la desigualdad social en la adaptación costera. Estos resultados resaltan la necesidad de un enfoque integrado para gestionar los impactos de las estructuras de contención y así proporcionar medidas adecuadas para la comunidad.

Palabras clave: Gestión costera; Adaptación; Análisis Geoespacial; Enrocados.

---

## 1 - Introdução

O ambiente costeiro é composto por um complexo sistema de interações entre os elementos marinhos, continentais e atmosféricos, constituindo um sistema dinâmico que resulta em processos hidrodinâmicos e deposicionais de grande complexidade (Brown & Mclachlan, 1990). A linha de costa apresenta alta dinâmica espaço-temporal, decorrente de respostas a processos costeiros de diferentes magnitudes e frequências (Mazzer & Dillenburg, 2009). A erosão é um processo natural que sempre existiu no Planeta Terra e desempenha papel importante na modelação da costa.

Porém, este processo vem sendo potencializado ao longo dos anos de modo a ameaçar a capacidade de adaptação das zonas costeiras aos efeitos gerados pelas alterações climáticas por meio da subida do nível do mar e o aumento de eventos extremos (IPCC, 2022), acarretando desastres naturais atrelados a perdas econômicas e vidas humanas. Nesse contexto, há um conflito que se dá, basicamente, através da oposição das forças ambientais e das tendências de uso e ocupação antrópica desse espaço. De um lado, a natureza age movendo a linha de costa de modo que se adapte a forças como tempestades, balanço de sedimentos e elevação do nível do mar; e, do outro, o ser humano age para fixá-la, no intuito de proteger o patrimônio construído e ameaçado pela erosão (Koerner et al., 2013).

Os desastres naturais associados à erosão marinha são uma preocupação crescente em regiões costeiras de todo o mundo, especialmente em áreas densamente povoadas onde os impactos econômicos e ambientais são mais significativos. No Japão, por exemplo, e ao longo da costa atlântica dos Estados Unidos, os governos investem em uma variedade de obras de engenharia costeira, como espigões e muros de contenção, além de soluções mais naturais, como a restauração de dunas e recifes artificiais, que diminuem o impacto da erosão e preservam a linha

costeira (Kuriyama et al., 2005). Na Europa, políticas como a “retirada planejada” (ou *managed retreat*) no Reino Unido buscam adaptar áreas vulneráveis ao avanço do mar, permitindo que sejam gradualmente desocupadas e devolvidas à natureza (French, 2001). Esse enfoque reflete a diversidade de abordagens globais para lidar com a erosão costeira, que é adaptada às especificidades ambientais e socioeconômicas de cada região.

Diversas metodologias de avaliação e planejamento têm sido desenvolvidas para promover o uso sustentável do solo em áreas costeiras. Uma dessas metodologias é o *Coastal Vulnerability Index* (CVI), que avalia a vulnerabilidade costeira com base em critérios como elevação do terreno, geomorfologia, intensidade das ondas e marés, além do impacto humano na costa (Gornitz et al., 1994). Outra técnica importante, utilizada no Reino Unido, é o *Shoreline Management Planning* (SMP), que promove uma gestão integrada do litoral, considerando os efeitos de longo prazo da erosão e da subida do nível do mar (DEFRA, 2006). Essas metodologias permitem um mapeamento detalhado e a identificação das áreas mais suscetíveis, orientando as políticas de ocupação e preservação de zonas costeiras.

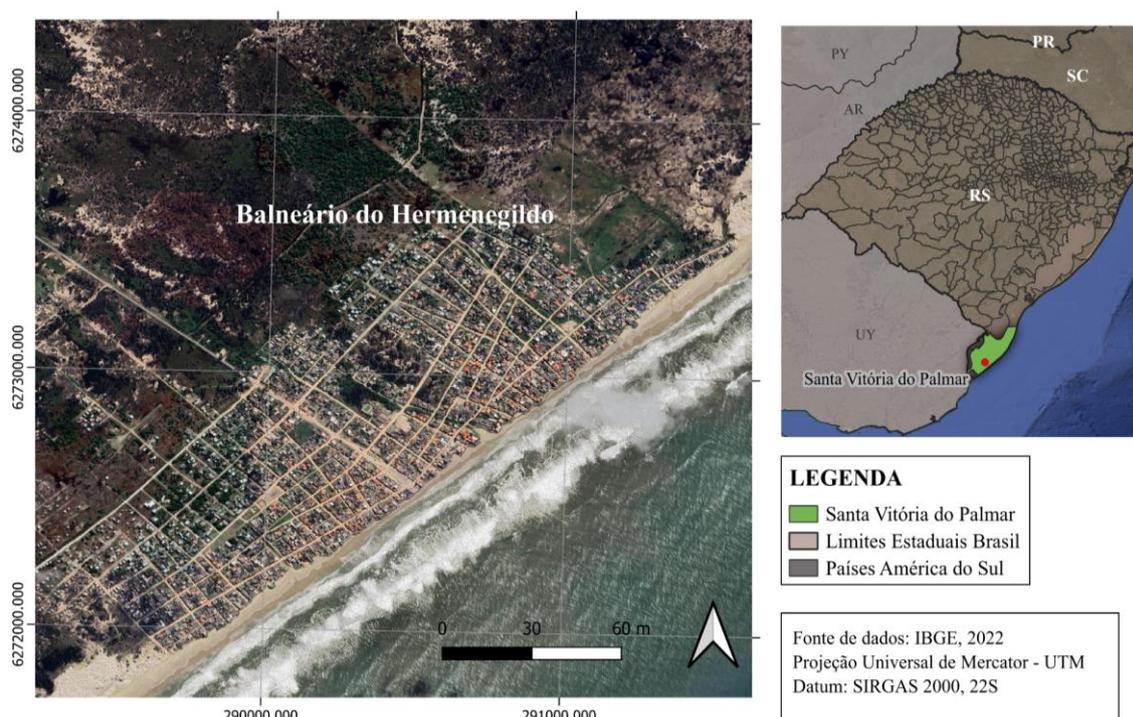
A legislação também desempenha um papel fundamental na gestão da ocupação das áreas costeiras. Nos Estados Unidos, por exemplo, o *Coastal Zone Management Act* incentiva os estados a adotarem medidas que mitiguem os riscos de erosão, promovendo o uso de soluções naturais (NOAA, 2021). Na Austrália, as regulamentações costeiras buscam restringir construções em áreas de risco e incentivar o uso sustentável do solo (Thom & Hall, 1991). Na União Europeia, a *Directiva Quadro Estratégia Marinha* exige que os Estados-membros elaborem planos de gestão que priorizem a conservação dos ecossistemas costeiros, considerando os impactos das atividades humanas e das mudanças climáticas (European Parliament, 2008).

Os impactos da erosão costeira vão além da retração da linha de costa e da perda de ecossistemas e serviços ambientais. Os prejuízos econômicos derivados deste processo são relevantes. Nicolodi et al. (2023) analisaram dados do Sistema Único do Ministério Público Federal (MPF) e do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres - S2ID, vinculado à Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil - SEDEC para todo o litoral brasileiro e chegaram à conclusão que, no período entre 1976 e 2022, foram danificadas diferentes estruturas públicas e privadas, que

somam R\$ 458.116.378.054,00 (458 bilhões de reais) de danos materiais (privados) e afetados serviços públicos que somam prejuízos de R\$ 175.882.386,00 (175 milhões de reais).

O balneário do Hermenegildo é uma pequena localidade costeira do extremo sul do Brasil que apresenta um vasto histórico de erosão costeira. A área de estudo (Figura 1) localiza-se a cerca de 18 Km do município de Santa Vitória do Palmar e 12 Km da fronteira com o Uruguai ( $33^{\circ} 40'S$  e  $53^{\circ} 15'W$ ) no extremo sul da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS). Sob uma perspectiva físico-natural, situa-se aproximadamente a 40 km ao norte do extremo sul da Bacia Sedimentar de Pelotas (na região de La Coronilla, Uruguai) e está localizado no setor meridional de um sistema de barreira laguna holocênica conhecido como o sistema da Lagoa Mangueira (Oliveira et al., 2018).

**Figura 1.** Mapa de localização da área de estudo. Balneário do Hermenegildo, localizado em Santa Vitória do Palmar, Rio Grande do Sul, Brasil.



Fonte: IBGE, 2022. Elaboração: Os autores, 2024.

Inicialmente é válido ressaltar que, na área de estudo, a linha de costa naturalmente vem retrogradando para o interior do continente (Lima, 2018) dado o avanço do mar a pelo menos

1000 anos. Além disso, outros processos como a subida do nível do mar (Tomazzelli & Dillenburg, 1998), a concentração da energia de ondas por refração (Pimenta, 1999; Calliari et al., 2000; Calliari & Speranski, 2006; Nicolodi et al. 2021) e as marés meteorológicas positivas associadas à passagem de frentes frias (Calliari et al., 1998), constituem-se nos processos naturais causadores da erosão no balneário do Hermenegildo. Esta praia apresenta moderada a alta variação dos parâmetros morfométricos e baixas taxas de permeabilidade do sedimento (Pereira, 2005), sugerindo que a presença de turfas e lamas lagunares no local aumentam a impermeabilidade no subsolo praiar, o que pode deixar a praia bastante umedecida, facilitando assim a retirada de sedimentos durante a ação do varrido das ondas, catalisando o processo erosivo.

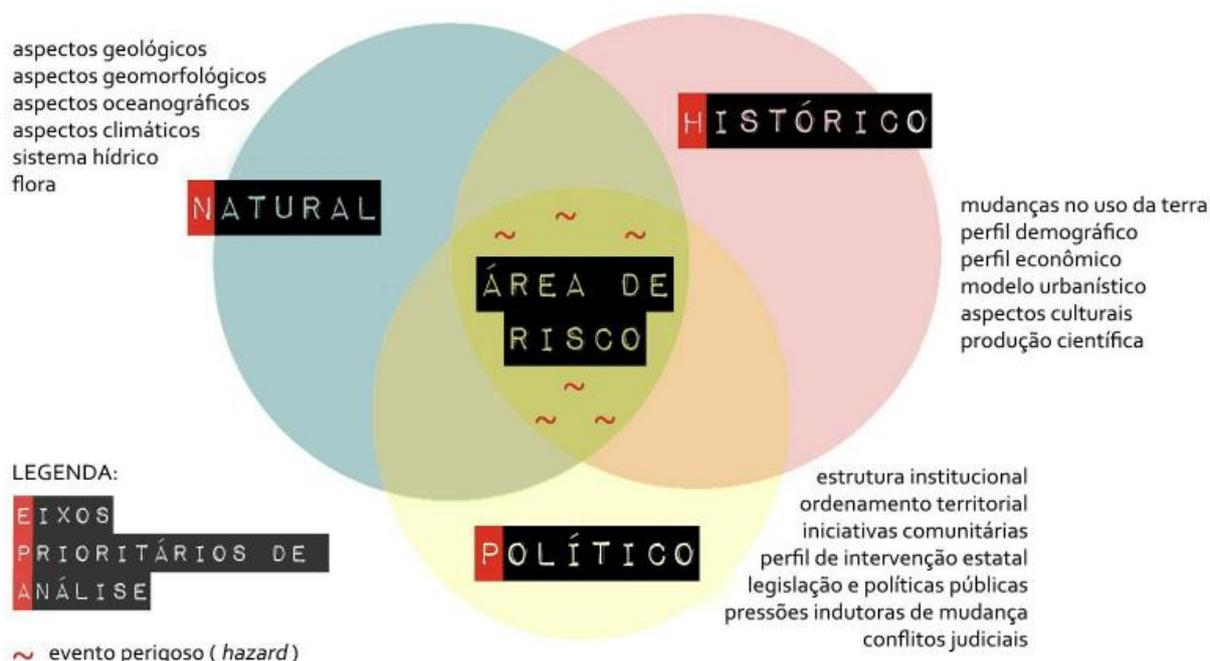
Os estudos da orla iniciaram com Esteves et al. (2002), e de acordo com esta autora na década de 1990, a população enfrentou uma fase de instabilidade devido à intensificação dos processos erosivos. Exemplos incluem muros de concreto que, apesar dos esforços, cediam, resultando na degradação de casas. Revestimentos inadequados e ausência de proteção da base dos muros contribuíram para seu colapso. A abordagem individual na construção de estruturas de contenção deixou a orla fragmentada, expondo casas desprotegidas à ação erosiva, onde o tipo de contenção varia com a condição financeira. Atualmente, a orla exibe uma variedade de tentativas de proteções costeiras devido à urbanização e à erosão.

Neste contexto, a área de estudo pode ser considerada como um ambiente suscetível, baseado em todos os processos que ocorrem no local, sobretudo no potencial erosivo que possui, além de todo impacto social e econômico que o ambiente está sujeito devido a erosão costeira em orla urbanizada.

Segundo Short & Masselink (2019), a identificação das áreas mais vulneráveis e dos fatores de risco são fundamentais para definir a estratégia de manejo mais adequada. Como resposta das sociedades aos efeitos da erosão, medidas de proteção são adotadas visando estabilizar a linha de costa e reduzir danos (Dean & Dalrymple, 2002). Complementando essa premissa, Mota et al. (2018) consideram a importância de uma análise integrada para a governança da temática da erosão costeira, considerando aspectos naturais, históricos e políticos para a tomada de decisão frente as áreas de risco (figura 2). Os autores desenvolveram uma abordagem metodológica de análise territorial de áreas de costa em erosão denominada NHP, a qual considera aspectos

naturais, históricos e políticos para a definição e para a proposição de alternativas de mitigação aos efeitos da erosão costeira.

**Figura 2.** Análise da origem das áreas de risco- proposta metodológica NHP. Proposta metodológica NHP destinada a avaliação conceitual da gênese histórica das áreas de risco de desastres.



Fonte: Adaptado de Mota et al, 2018.

No Balneário Hermenegildo, Koerner et al. (2013) inferiram que as estruturas de contenção ali implementadas estão contendo a retração da linha de costa. Cálculos realizados nesse estudo sugerem que, sem essas estruturas, uma maior porção de área urbana já teria sido consumida.

Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar de modo espaço-temporal os impactos da expansão das estruturas de contenção à erosão implantadas na orla do Balneário Hermenegildo na prevenção da migração da linha de costa. Esta pesquisa localiza-se entre os eixos prioritários de análise natural (fenômeno da erosão costeira) e histórico (modelo urbanístico/obras de contenção) na análise NHP proposta por Mota et al, 2018.

## **2 - Material e Métodos**

### **2.1 - Mapeamento e classificação das estruturas de contenção à erosão em 2009, 2013, 2016 e 2023**

A Universidade Federal do Rio Grande (FURG), monitora as estruturas de contenção do balneário do Hermenegildo desde 1998. Inicialmente mapeadas por Esteves et al. (1999) para avaliar os efeitos da erosão costeira, as estruturas de contenção no balneário Hermenegildo foram subsequentemente estudadas por outros pesquisadores como (Esteves et al. 2002, Teixeira 2007, Koerner 2009, Oliveira et al. 2015 e Mota 2017). Teixeira (2007) criou uma planilha de lotes e quadras à beira-mar, com descrições das obras de contenção.

A partir de 2009, passaram a ser utilizados mosaicos de fotografias a partir da face da praia para analisar essas estruturas (Koerner, 2009; Oliveira e Koerner, 2015). Estes mosaicos consistem na união de diversas fotografias tiradas ao longo da orla do balneário, a cada 30 metros, sempre nas primeiras horas da manhã, para evitar o sombreamento. As fotografias foram capturadas a partir da face da praia em direção ao balneário, mantendo um ângulo frontal de captura das fotografias da face da praia em direção as estruturas de contenção, permitindo a sobreposição das cenas e garantindo a cobertura completa da área de interesse. A figura 3 visa ilustrar a captação dessas fotografias num determinado segmento do balneário. No presente estudo, foram utilizados os mosaicos de fotografias de 28/8/2009, 25/1/2013, 5/2/2016 e 03/05/2023.

Com base nos mosaicos obtidos e mantendo a classificação adotada por Oliveira e Koerner (2015) (Figura 4), a orla do balneário foi inicialmente dividida em três categorias: 1) sem estruturas (dunas ou depósitos eólicos); 2) com estruturas de contenção (resíduos de construção e demolição; pneus; postes de madeira; muros de madeira, muros de concreto; areia e concreto ensacado; blocos pré-moldados de concreto e enrocamento) e; 3) com estruturas mistas (quanto foram encontrados mais de um tipo em um mesmo lote).

**Figura 3.** Captação de fotografias das estruturas de contenção à erosão costeira capturadas a partir da face da praia no segmento centro-norte do balneário do Hermenegildo.



Fonte: Autores, 2024.

**Figura 4.** Tipos de estruturas de contenção presentes na orla do Balneário do Hermenegildo: (a) dunas frontais; (b) resíduos da construção e demolição; (c) pneumáticos; (d) postes de madeira, (e) muros de madeira; (f) muros de concreto; (g) enrocamento; (h) blocos pré-moldados de concreto e (i) areia e concreto ensacado.



Fonte: Oliveira e Koerner (2015).

## 2.2 - Análise da posição do limite superior da praia entre 2005 e 2022

O conceito de linha de costa abrange uma ampla gama de interpretações, sendo a interface entre a terra e a água. Diversos autores fornecem definições variadas desse conceito como Silvester & Hsu (1997) e Oertel (2005), os quais identificam a linha de costa como a delimitação entre as áreas secas e úmidas da praia, considerando também as flutuações das marés que alteram

essa interface. Bird (2008), define a linha de costa como o ponto exato onde a água encontra a terra, enfocando a área entre os limites da água na maré baixa e o ponto máximo afetado pelas ondas. Boak e Turner (2004) propõem diversos indicadores da linha de costa, adaptados à dinâmica costeira da região estudada, objetivos e disponibilidade de dados. Alguns dos indicadores mais comuns incluem a linha de maré alta, linha d'água, crista da berma, escarpas erosivas, base das dunas e linha de vegetação permanente. Neste trabalho, optou-se pela análise do limite superior da praia, visto que o objetivo desta caracterização da variação da linha de costa foi relacionar esta variação a presença ou ausência destas estruturas de “proteção” do balneário quanto ao avanço marinho.

Para esta análise, foram utilizadas duas imagens de alta resolução espacial (Pixel inferior a 1m), de Julho de 2005 e Maio de 2022, obtidas no software Google Earth PRO. Para este georreferenciamento, foram utilizados dados de posicionamento obtidos através do método de posicionamento relativo cinemático em tempo real (Real Time Kinematic – RTK) de levantamento de dados pelo Sistema de Posicionamento por Satélites (GPS) por Maia et al., (2016), cedidos ao presente trabalho.

A aquisição de dados foi realizada com uso de um GPS geodésico (RTK) da marca *South*, o qual possui um erro mínimo de 5mm, dados altimétricos referenciados ao elipsóide GRS-80 e opera com código C/A (1023 MHz) e portadoras L1(1575,42 MHz) e L2 (1227,60 MHz). A coleta de dados foi realizada através do método *stop and go*, o qual consiste na coleta de dados por meio de uma controladora e um *roover*, via 28 *bluethouth*, com período estático de 10 a 15s. A base do GPS foi instalada no marco geodésico de coordenadas UTM e altitude conhecida localizada próxima à estátua de Iemanjá, na praia do Hermenegildo.

Dos 2290 pontos que foram fornecidos por Maia et al., (2016), foram escolhidos 40 pontos espalhados pela área de estudo. A escolha destes pontos foi devido a presença de cantos ou quinas de edificações ou muros que estavam presentes em ambas as imagens analisadas. Após o georreferenciamento das duas imagens foi vetorizado o limite superior da praia de toda orla urbanizada, além de um segmento de 1 km ao norte e 1 km ao sul da área urbana. Vale ressaltar que na área urbanizada foram vetorizados os limites entre o limite superior da praia e as diferentes estruturas de contenção e para os segmentos de 1 km ao norte e 1 km ao sul foram o limite entre o limite superior da praia e a base das dunas frontais.

O método utilizado para a quantificação da variação da linha de costa foi o *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS). O DSAS é uma ferramenta disponibilizada pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos da América (USGS), que permite realizar uma análise cartográfica quantitativa das taxas de alteração costeira, seja recuo ou acréscimo da linha de costa. Para a aplicação do DSAS, é necessário o uso de dados vetoriais de linhas de costa obtidos em diferentes períodos (normalmente a partir de imagens de satélite georreferenciadas ou levantamentos de campo), que são então convertidos em linhas vetoriais para a análise. Além das linhas de costa, é comum definir parâmetros como a distância entre as linhas temporais e a orientação da linha de base, a partir da qual são traçados os transectos para a medição das alterações ao longo do tempo, permitindo assim, uma boa planificação e subsídios a gestão dos ambientes costeiros.

O DSAS 5.1 amplia as funcionalidades do software ArcGIS 10.5, permitindo a automatização de grande parte das tarefas relacionadas com a análise quantitativa da evolução das tendências de erosão e deposição através de uma série estatística de tempo e posições múltiplas da linha de costa (Thieler et al., 2005). O DSAS trabalha gerando transectos ortogonais a uma linha de base determinada pelo usuário (baseline) em um espaçamento definido e calcula assim as taxas de mudanças através de métodos estatísticos distintos que são mostrados em uma tabela de atributos.

O critério de medição escolhido foi o End Point Rate (EPR), ele é responsável por calcular o intervalo entre a linha de costa mais antiga e a mais recente, dividindo pelo tempo total desse intervalo (m/ano), fazendo assim uma média da movimentação anual da linha de costa durante o período analisado. O EPR é considerado um dos métodos mais simples e que, ao utilizá-lo, os resultados já se mostram completos o suficiente para conclusões a respeito da dinâmica costeira, auxiliando na gestão integrada da zona costeira (Souza, 2016).

Os valores negativos apresentados pelo DSAS representam as áreas onde pôde ser constatado recuo da linha de costa, enquanto que os valores positivos denotam tendências de deposição nas regiões estudadas. Utilizando o software ArcMap 10.5 as linhas de costa foram vetorizadas em formato shapefile. Para este formato, também foi criada uma linha de base e foi criada uma base de dados geográficos. A determinação da variação da linha de costa foi então obtida através de

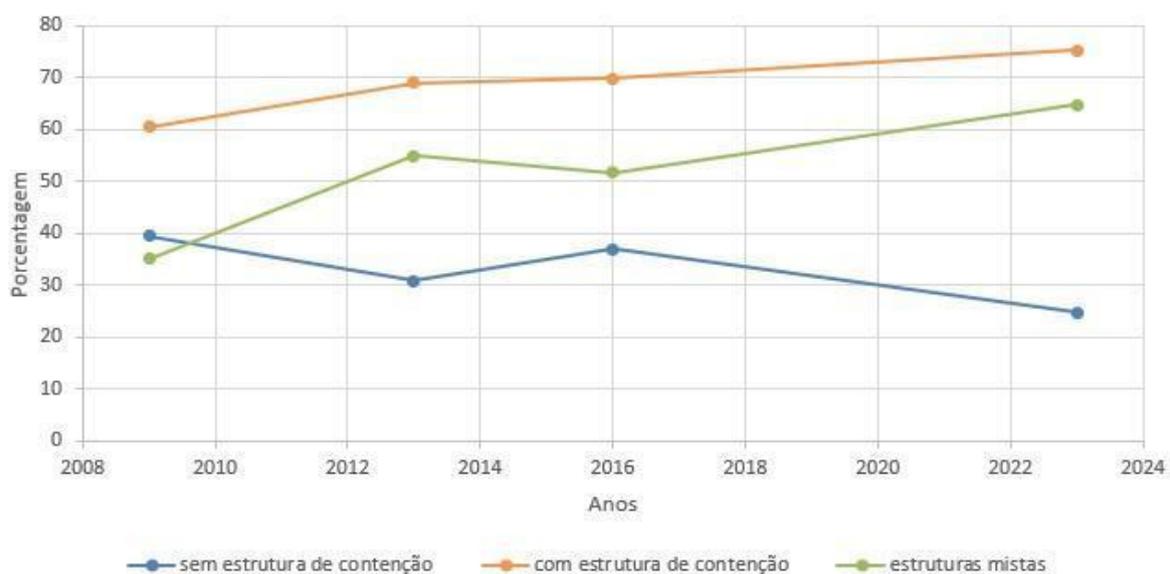
transectos perpendiculares com espaçamento de 50 metros a partir das linhas de costa das séries multitemporais geradas pelo DSAS.

### 3 - Resultados e discussões

#### 3.1 - Mapeamento da expansão das estruturas de contenção à erosão

A análise dos mosaicos de fotografias dos monitoramentos permitiu Oliveira & Koerner (2015) a identificação de nove formas de estruturas de contenção da orla do balneário do Hermenegildo, uma considerada natural, oito antrópicas, sendo estas: dunas frontais; resíduos da construção e demolição; pneus; postes de madeira; muros de madeira; muros de concreto; enrocamento; blocos pré-moldados de concreto; areia e concreto ensacado (Figura 4). No presente estudo, a classificação foi expandida temporalmente até 2023 (Figura 5).

**Figura 5.** Classificação dos lotes da orla do balneário do Hermenegildo com a presença de estruturas mistas (cor verde); sem estruturas de contenção (cor azul); com estrutura de contenção (cor laranja).



Fonte: Os autores, 2024.

Analisando as estruturas individualmente, apenas a ausência de estruturas de contenção teve diminuição de 15% entre 2009 e 2013, e entre 2016 e 2023 esta diminuição se manteve em 15%, ressaltando a supressão de dunas e depósitos eólicos pela erosão e urbanização

progressiva da orla do balneário com as estruturas antrópicas. A orla do balneário foi assim diagnosticada com diversas estruturas:

- Dunas frontais: Podem indicar ausência de qualquer tipo de estrutura de contenção antrópica, mesmo com função de proteção costeira. Têm sido progressivamente suprimidas pela erosão costeira e construção de estruturas de contenção. Permanecem ainda nos extremos norte e sul do balneário. Uma das principais alterações na orla do balneário foi a diminuição de lotes defrontantes ao mar que apresentam dunas, com diminuição de mais de 50% para pouco mais de 30% no referido período, deixando de ser a forma predominante da orla urbana.

- Areia e concreto ensacado: Estes podem preencher bem uma determinada porção, quando preenchidos com areia, ou ter bom poder de contenção quando preenchido com concreto. Em 2013, baseado em Oliveira & Koerner (2015), foi a forma de contenção menos utilizada, menos de 5%, mantendo estabilidade em relação ao seu uso até 2023.

- Blocos pré-moldados de concreto: Com a mesma utilidade do enrocamento, apresenta diâmetro mais homogêneo, mas pode apresentar diferentes diâmetros e formas (paralelepípedos e tetrápodes). Tiveram um decréscimo no período, chegando a 9% dos lotes em 2023. Apesar de haver fabricação local, não tendem a dominar a orla junto aos enrocamentos, diferente do que era esperado por Koerner (2013).

- Enrocamento: Predomínio de rochas ígneas e metamórficas, com diferentes diâmetros. Geralmente num determinado lote o diâmetro é semelhante. Os blocos graníticos são trazidos de outras cidades, como Capão do Leão e do Uruguai, tendo o custo da mina e do transporte, processo descrito em Koerner (2012). Esta forma de contenção passou de 28% para mais de 50% no período analisado. Em 2023, os lotes que apresentaram enrocamento superaram os que apresentaram dunas, sendo a forma predominante na orla urbanizada. Em alguns dos lotes, os enrocamentos vêm sendo complementados pelos blocos pré-moldados de concreto.

- Postes de madeira: Em certos locais, a porção defrontante a uma residência é composta somente de postes (colunas) com ou sem espaçamento, enquanto na maioria das vezes estes compõem muros de madeira em crescimento, sendo a segunda forma de contenção mais encontrada, só perdendo para o enrocamento, apresentando crescimento em relação a seu uso indo de 40% a 60%.

- Muros de madeira: Os muros de madeira têm a função mais eficaz de delimitar e/ou preencher o terreno. Geralmente são acompanhados de outra forma de contenção na base, como enrocamento (ou blocos pré-moldados de concreto) ou mesmo de postes de madeira, o que compõem estruturas mistas. Os percentuais onde os muros são encontrados acompanhavam os de postes de madeira, pois em muitas vezes ambos ocorrem conjuntamente, entretanto houve um desnível entre os postes de madeira e os muros, com os postes de madeira representando um aumento de mais de 12%.

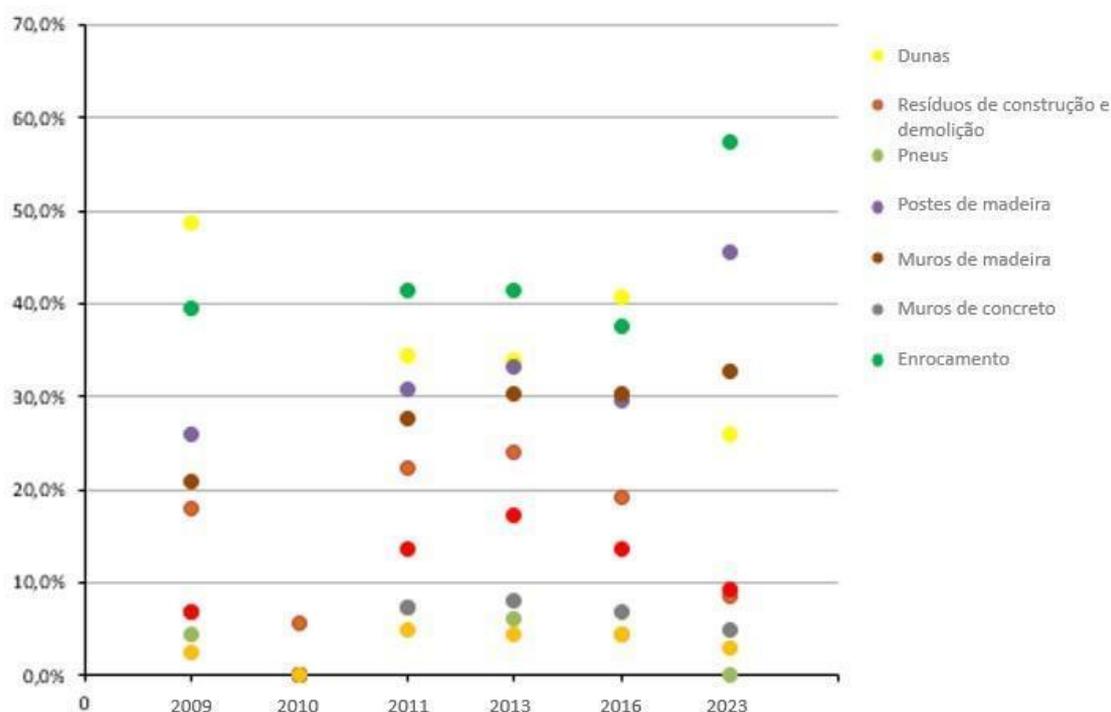
O maior crescimento no período analisado foi de “estruturas mistas”, que estavam presentes em apenas 39,5 % dos lotes em 2009, já em dezembro de 2013 representaram 55% dos lotes passando em 2016 para 51, e para 85% e em 2023 caracterizando um grande aumento, que representa cerca de 64,81%.

Baseado nos dados de Esteves (1999) de 1999 para 2013 houve um crescimento de estruturas mistas na ordem de 40%, já de 2013 para 2023 foi de 9,88%, mostrando um crescimento desde a primeira avaliação na ordem de 51, 81% em 24 anos. Dentre estas, algumas tiveram aumento em relação ao uso, como é o caso do enrocamento e blocos pré-moldados de concreto, ou mantiveram estabilidade, caso dos muros de concreto e pneumáticos entre 2009 e 2013. Entre 2016 e 2023, além do aumento de enrocamentos, houve o aumento de postes de madeira. Em contrapartida, em 2023 foi o primeiro de todos os anos de monitoramento que não houve a presença de pneus, sendo estes substituídos por estruturas mistas, além da diminuição considerável de resíduos de concreto. Ressalta-se que lotes que apresentaram dunas frontais e alguma estrutura de origem antrópica foram contabilizados em duas ou mais categorias.

É notável que lotes somente com a presença de depósitos eólicos têm diminuído gradativamente ao decorrer dos anos, e o que ainda resta está associado a algum tipo de estrutura de materiais de diversos tipos para conter o avanço marinho. No ano de 2009, nenhum dos lotes do extremo norte do balneário apresentava alguma forma de contenção de origem antrópica, tendo as dunas frontais apenas uma pequena escarpa na base, com grande parte da sua morfologia preservada e vegetada (Koerner et al., 2013). Já em 2013 cinco casas desse segmento já apresentavam alguma estrutura de contenção antrópica, como muros de concreto, resíduos da construção e demolição, além de muros de madeira, caracterizadas como estruturas simples de contenção.

Este processo ocorreu em anos anteriores com outras porções do balneário, inclusive a porção central, que, hoje, é a parte mais reforçada do balneário (Esteves et al., 2000; Esteves e Santos, 2001). Em 2016 as dunas representavam cerca de 40%, sendo um valor maior que 2013 (34%) e menor que 2023 (23%). Além disso, já havia uma tendência de aumento do uso de estruturas mistas em sua maioria na parte central, e que progressivamente tem aumentado seus usos nos extremos norte e sul do Balneário. No ano de 2023 restaram apenas alguns resquícios de dunas nos trechos norte e sul da orla do balneário, com a parte urbanizada predominante dominada por estruturas de proteção e cerca de 25% dos lotes desse setor com a presença de depósitos eólicos.

**Figura 6.** Gráfico da porcentagem dos nove tipos de estrutura de contenção presentes na orla do balneário do Hermenegildo ao longo dos anos 2009 - 2023.



Fonte: Os autores, 2024.

A Figura 6 mostra que os trechos de orla classificados como “sem estrutura de contenção” representaram cerca 39,5% em 2009, passando para 30,86% em 2013, uma diminuição de cerca de 9%.

Na avaliação realizada em 2013, cerca de 70% dos lotes foram classificados em “com estrutura de contenção” antrópica, com crescimento de cerca de 10%, desde a primeira avaliação realizada em 1999 por Esteves et al. (1999).

Os dados indicam que a evolução do processo erosivo fez com que os moradores passassem a substituir estruturas mais simples para formas mais complexas de proteção. Muros de madeira estão presentes em cerca de 33% dos lotes e postes de madeira em 46%. Ademais, apesar de serem umas das estruturas mais utilizadas, elas têm a maior serventia na delimitação do terreno do que na contenção à energia das ondas. As estruturas que vêm se mostrando mais eficientes são as que se adaptam a morfodinâmica praias. No entanto, há necessidade de manutenção periódica pois muitos blocos acabam afundando devido ao peso e o constante trabalho da água com o substrato arenoso.

Com isto há, sobretudo no setor central do balneário, um reforço das estruturas de contenção mais adaptativa a variação morfológica praias, com predomínio do enrocamento, tipo de estrutura mais utilizado, que possibilita relativa estabilização, que possibilitam relativa estabilização da linha de costa no local, preservando o patrimônio edificado, o que propicia inclusive a reforma de casas a beira mar, quando os moradores percebem que suas estruturas estão contendo o avanço do mar naquele setor.

Com base no estudo de Koerner (2012), observa-se que as estruturas de contenção mais eficientes e que melhor se adaptam à dinâmica das praias, como os enrocamentos feitos de blocos de rochas ou concreto, são também as mais caras. Esses enrocamentos conseguem acompanhar os processos erosivos, porém criam um perfil de praia convexa e interrompem a fixação natural dos sedimentos, o que intensifica o desequilíbrio ambiental e afeta a paisagem da orla — um paradoxo entre proteção e impacto.

Em contrapartida, as alternativas mais acessíveis, como as estacas de madeira, oferecem apenas proteção temporária. Por serem frágeis e facilmente removidas pela ação das ondas, essas estruturas proporcionam pouca segurança em cenários de alta energia, como tempestades.

Esse contexto torna evidente a desigualdade social na adaptação costeira: moradores com menor poder aquisitivo, geralmente impossibilitados de investir nas alternativas mais eficazes e duráveis, ficam mais expostos aos impactos de eventos climáticos extremos. Assim, o custo

elevado das estruturas de contenção mais eficientes agrava a vulnerabilidade socioeconômica da população local, acentuando o ciclo de risco e desigualdade nas regiões costeiras.

### **3.2 - Caracterização da variação da linha de costa**

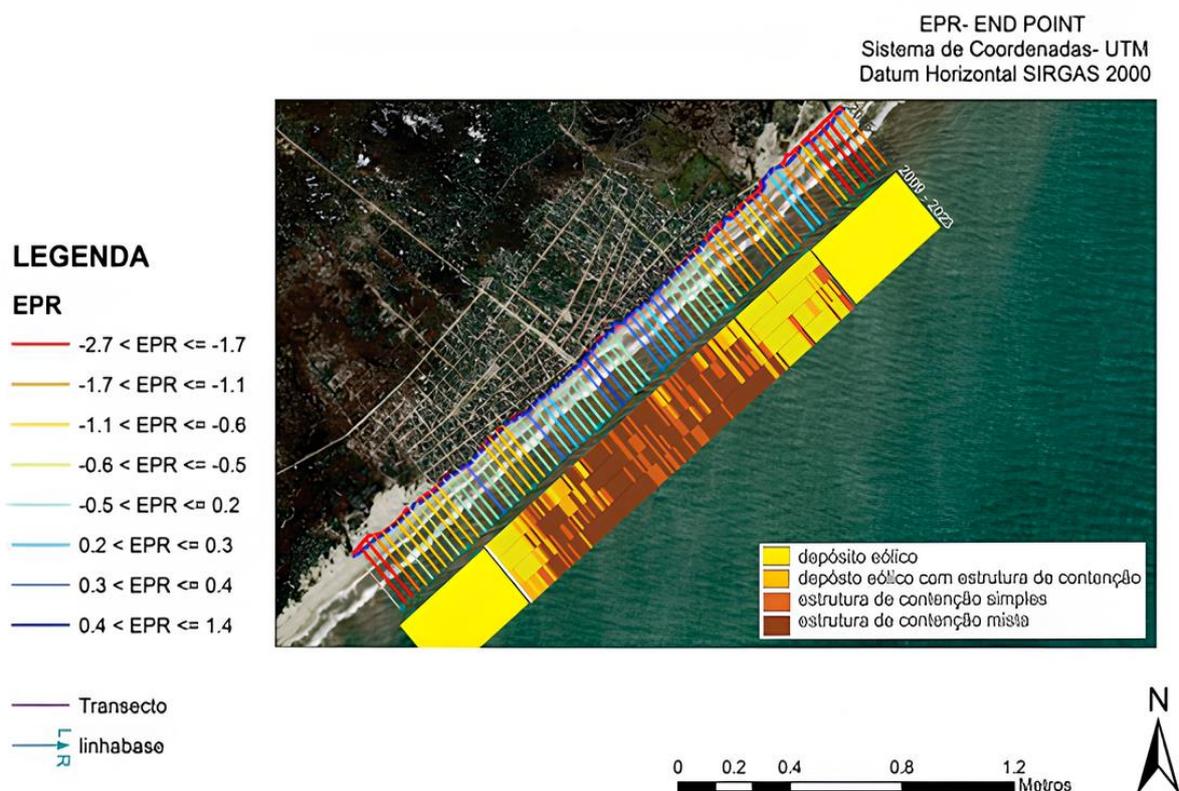
A figura 7 mostra a linha de costa, linha de base e transectos ao longo de toda a área analisada, além das taxas de mudança da linha costeira ao longo dos diferentes transectos. Foi observada uma variação que começa em -2,7 metros por ano, indo até 1,4 metros por ano. Os valores negativos indicam uma tendência erosiva, já os positivos, indicam acreção, logo os transectos que estão com valores mais próximos de 0, estão em equilíbrio. Há também a presença de uma barra de classificação em tons terrosos que indicam a presença de depósito eólico (amarelo); depósito eólico com estrutura de contenção (laranja claro); estrutura de contenção simples (laranja escuro) e estrutura de contenção mista (marrom).

Baseado nas taxas observadas, pode-se perceber que a parte central do Balneário é a mais estável, com as menores taxas de variação. Já os limites norte e sul apresentam maior recuo do limite superior da praia. Isso pode ser explicado pela fixação que as estruturas de proteção promovem na linha de costa, que diferente da porção central, as laterais apresentam um número bem inferior.

Analisando os dados associados ao tipo de proteção, ou seja, quais transectos apresentam depósito eólico, depósito eólico com estrutura de contenção, estrutura de contenção simples ou estrutura de contenção mista, foi possível identificar os valores médios das taxas de EPR, além dos máximos e mínimos associados ao tipo de proteção. Assim, ao longo de todo período estudado, a variação de linha de costa (limite superior da praia) média nos transectos vinculados a estruturas mistas foi de 16,30; estruturas simples -28,40; depósitos eólicos associados a estruturas de contenção -35,78; e somente depósitos eólicos foram de -69,00.

O efeito desses valores positivos associados a estruturas mistas, pode ser observado na estabilização da linha de costa que esses tipos de estruturas proporcionam, uma vez que quando são mistas, conseguem se adaptar mais facilmente a dinâmica praial e, por consequência, faz com que a linha de costa apresente um padrão estável ou acrescivo. Já as estruturas simples não são tão adaptáveis quanto as mistas, porém conseguem estabilizar em partes a linha de costa.

**Figura 7.** Resultado do processo realizado pelo Digital Shoreline Analysis System (DSAS) dos anos 2005 a 2022, associado a barra de classificação dos lotes com depósito eólico; depósito eólico com estrutura de contenção; estrutura de contenção simples; e estrutura de contenção mista dos anos 2009 a 2023.



Fontes: IBGE, 2020; Maia et al., 2016. Elaboração: Os autores, 2024.

Os depósitos eólicos associados às estruturas de contenção apresentaram maiores taxas de variação que as regiões em que havia somente depósitos eólicos, justamente pela presença de estruturas. E os perfis que apresentaram maiores valores negativos foram aqueles que estavam associados somente aos depósitos eólicos. Dessa forma, especialmente em perfis sem estruturas de contenção, as taxas de EPR foram mais negativas, indicando uma maior tendência à erosão. Isso ressalta a importância das estruturas de proteção na promoção da linha do limite superior da praia mais estável. Evidencia-se, portanto, que a presença e o tipo de estruturas de contenção desempenham um papel crucial na determinação da estabilidade da linha de costa (limite superior da praia), influenciando diretamente a dinâmica costeira e a vulnerabilidade à erosão em diferentes áreas do Balneário.

Já analisando os perfis de forma espacial, observou-se uma significativa mudança nas taxas de erosão e acresção nos setores norte, centro e sul do balneário. Enquanto os setores sul e norte, localizados nas extremidades, ainda mantêm a presença de depósitos eólicos, a região central é predominantemente urbanizada, caracterizada pela presença de estruturas antrópicas. Essa distinção facilita a compreensão das implicações da presença ou ausência de estruturas de contenção. Analisando as médias anuais de erosão ou acresção por setor, observa-se que, ao longo desse período, no setor sul, registrou-se uma erosão total de -38,76 metros, com a maior taxa negativa atingindo -2,28 metros e uma média anual de -0,98 metros. No setor central, ao longo dos 17 anos, verificou-se uma erosão total de -25,16 metros, com o valor máximo negativo alcançando -1,48 metros e uma média anual de -0,20 metros. Por fim, no setor norte, ao longo do mesmo período, observou-se uma erosão total de -34,85 metros, com o máximo negativo atingindo -2,05 metros e uma média anual de -1,53 metros.

Albuquerque et al. (2018) e Oliveira et al. (2019) caracterizaram a retração da linha de costa no balneário do Hermenegildo, especificamente resultante da ação de um evento extremo de energia de onda ocorrido em outubro de 2016 na costa central e sul do Estado do Rio Grande do Sul. Neste evento a altura significativa de onda ( $H_s$ ) superou os 5 m próximo à costa e, em águas mais profundas, a altura significativa superou 6 m, com altura máxima ( $H_m$ ) acima de 10 m, valores não descritos nos últimos 40 anos nesta costa oceânica.

Segundo Albuquerque et al. (2018) a retração do limite superior da praia foi de 5.91 m. Já Oliveira et al. (2018) analisou mais detalhadamente o setor norte do balneário, onde a retração média foi de 8,8 m, numa área onde a presença das dunas frontais é maior. Isso indica que a variação do limite superior durante a ação de eventos extremos, que geram os chamados pulsos erosivos, erode mais o limite superior onde há dunas e depósitos eólicos, enquanto que as estruturas de contenção acabam permanecendo mais na orla costeira.

O presente trabalho caracterizou a presença das estruturas de contenção em 2016, num período anterior e posterior a este evento extremo de alta energia de onda. Posteriormente a este período, as estruturas de contenção na orla do balneário foram ainda mais reforçadas, conforme mostram as figuras 4 e 5. Os resultados mostram que o incremento das estruturas de proteção diminuíram consideravelmente a taxa de regressão do limite superior da praia analisado.

Ainda que a estabilização artificial da linha de costa tenha minimizado os efeitos da erosão costeira ao patrimônio público e privado, os impactos negativos decorrentes dessa estabilização por estruturas de contenção são latentes. Destacam-se progressiva perda de dunas e da faixa de praia. Apesar de estável, essa área com mais estruturas de contenção está projetada, apresentando uma forma convexa, como apontou Koerner et al. (2013) (Figura 8), com a praia substancialmente mais estreita neste segmento, por vezes com porção subaérea ausente, como observou Oliveira et al. (2018). No entanto, nas adjacências do balneário, a praia mantém a sua dimensão natural, uma vez que a variação da linha de costa está intimamente ligada à migração do próprio ambiente sedimentar (perfil praial) como um todo. Além disso, do ponto de vista urbanístico, a utilização de diferentes tipos de estruturas de contenção sem nenhum tipo de planejamento prévio ou estudo de impacto faz com que a costa apresente um perfil recortado, sem nenhum tipo de padrão estético.

**Figura 8.** Fotografias aéreas obtidas com drone em outubro de 2019 a partir das extremidades norte (A) e sul (B) do balneário, mostrando a urbanização sobre as dunas e faixa de praia.



Fonte: Os autores, 2024.

A figura 9 ilustra a mudança nas características da orla do balneário, passando de uma orla marcada pela presença de dunas frontais, para uma orla em grande parte marcada pelas estruturas de contenção à erosão costeira.

**Figura 9.** (A) Segmento centro-norte da orla do balneário do Hermenegildo na década de 1990, identificando a presença de dunas frontais. (B) Mesmo segmento de orla em 2022, identificando o predomínio de estruturas de contenção do tipo enrocamento.



Fonte: Os autores, 2024.

Segundo Short & Masselink (1999) as estruturas de contenção diminuem a permeabilidade dos sedimentos e induzem processos de reflexão das ondas, tornando a praia mais plana e acelerando o processo erosivo, principalmente vertical. Oliveira (2009) observou que com o avanço do mar, aumento das contenções e projeção das estruturas, há intensificação do efeito backwash, uma vez que, as estruturas de contenção causam aumento do refluxo das ondas, intensificando o transporte para a porção subaquosa da praia. Isso faz com que a praia se apresente mais erodida nas proximidades dos segmentos mais projetados (devido ao enrocamento), com a linha de água mais próxima das estruturas, além de escarpas mais elevadas.

Assim, é evidente que apesar das estruturas estabilizarem o limite horizontal da praia, a faixa de areia defronte a esse setor tende a ser diminuída, por vezes havendo ausência de praia subaérea, mesmo em períodos de mar relativamente calmo. Este fato pode limitar as atividades

recreativas na faixa de praia, potencialmente reduzindo o fluxo de usuários e acarretando prejuízos financeiros e até culturais.

#### **4 - Considerações finais**

O balneário experimentou um processo de ocupação desordenada ao longo dos anos, com um crescimento urbano significativo e a adoção de medidas individuais de combate a erosão costeira, sem um projeto certificado de engenharia. O mapeamento das estruturas de contenção à erosão revelou um aumento significativo das estruturas antrópicas entre 2009 e 2023. O crescimento das estruturas mistas e a redução das dunas frontais destacam a influência do desenvolvimento humano na modificação do ambiente costeiro.

Os resultados da análise da variação da linha de costa apontam para um gradiente de erosão mais pronunciado nas laterais do balneário entre 2005 e 2023, em contraste com uma porção central mais estável, mas projetada em direção ao mar. Essa distribuição assimétrica da erosão pode ser atribuída às estruturas de proteção, que exercem influência na fixação da linha de costa.

No entanto, a presença de estruturas de proteção, embora tenha desempenhado um papel momentâneo na mitigação da erosão costeira e na segurança das edificações, trouxe consigo um conjunto de consequências que merecem atenção. O aumento dessas estruturas modificou a dinâmica natural da praia, influenciando a deposição de sedimentos na parte subaquosa, diminuindo faixa de praia na parte central que poderia ser usada pelos moradores e turistas e ocasionou a supressão de grande parte das dunas na área urbana.

Em relação aos procedimentos adotados, o uso do software Digital Shoreline Analysis System (DSAS) mostrou-se uma ferramenta eficaz para monitorar as mudanças na linha de costa ao longo dos anos, permitindo uma visualização detalhada e confiável dos processos erosivos em diferentes setores do balneário. Os autores recomendam o uso do DSAS em outras pesquisas, pois sua aplicação fornece dados robustos e precisos, o que pode ser especialmente útil para gestores e pesquisadores que buscam embasar ações e políticas de proteção costeira.

Contudo, a técnica apresenta algumas limitações. A análise depende da qualidade das imagens e da precisão dos pontos de controle, o que pode variar de acordo com o período e a resolução dos dados disponíveis. Além disso, o DSAS, por ser uma ferramenta de análise geoespacial,

não considera fatores dinâmicos e temporais diretamente ligados à hidrodinâmica local e aos impactos antrópicos, exigindo, portanto, complementação com outros métodos de coleta e monitoramento em campo.

Em suma, apesar das limitações, essa extensão do ArcGIS é recomendada, especialmente em estudos de médio e longo prazo voltados ao monitoramento da linha de costa. Aliado a metodologias complementares, o DSAS contribui para uma compreensão mais completa das alterações costeiras, fornecendo uma base sólida para a tomada de decisões no planejamento e na gestão integrada de áreas costeiras.

Por fim, ressalta-se que construções sobre as dunas frontais, sem recuo em relação à praia, podem ameaçar a capacidade de adaptação das zonas costeiras aos efeitos gerados pelas alterações climáticas. Estes aspectos não apenas alteram o equilíbrio entre os processos naturais, mas também podem limitar a capacidade da praia de se adaptar às variações climáticas futuras. Sendo assim, é fundamental considerar uma abordagem integrada para o gerenciamento costeiro que leve em conta tanto os aspectos naturais quanto os antrópicos.

### **Agradecimentos**

A Universidade Federal do Rio Grande (FURG) pelo espaço. Ao Laboratório de Oceanologia Geológica (LOG), por toda infraestrutura e licença do Arcgis. Ao Instituto de Ciências Humanas e da Informação (ICHI) por disponibilizar o laboratório, onde foi realizada a maior parte desta pesquisa.

### **Referências**

ALBUQUERQUE, M.; ALVES, D. C. L.; ESPINOZA, J. M. A.; OLIVEIRA, U. R.; SIMÕES, R. S. **Determining shoreline response to meteo-oceanographic events using remote sensing and Unmanned Aerial Vehicle (UAV): Case study in southern Brazil.** Journal Of Coastal Research, v. 85, p. 766-770, 2018. DOI: <https://doi.org/10.2112/SI85-154.1>

BIRD, E. C. **Coastal Geomorphology.** New York: John Wiley and Sons, 2008. 143 p.

BOAK, A. C.; TURNER, I. L. **Shoreline definition and detection: a review.** Journal of Coastal Research, v. 21, n. 4, p. 688-703, 2005. DOI: <https://doi.org/10.2112/03-0071.1>

BROWN, A. C.; MCLACHLAN, A. **Sandy shore ecosystems and the threats facing them: some predictions for the year 2025.** Environmental Conservation, v. 29, p. 62-77, 1990. DOI: <https://doi.org/10.1017/S037689290200005X>

CALLIARI, L. J.; BOUKAREVA, I.; PIMENTA, F.; SPERANSKI, N. **Classificação da costa gaúcha com base nos padrões de refração de ondas de tempestade e evidências geomorfológicas de erosão costeira.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE PRAIAS ARENOSAS: MORFODINÂMICA, ECOLOGIA, USOS, RISCOS E GESTÃO, Itajaí, 2000. Anais [...]. Itajaí, 2000. p. 195-198.

CALLIARI, L. J.; TOZZI, H. A. M.; KLEIN, A. H. F. **Beach morphology and coastline erosion associated with storm surges in southern Brazil – Rio Grande to Chuí, RS.** Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 70, n. 2, p. 231-247, 1998.

DEAN, R. G.; DALRYMPLE, R. A. **Coastal Processes with Engineering Applications.** Cambridge: Cambridge University Press, 2002. 627 p.

DEFRA. **Shoreline Management Plans: Guidance for coastal managers.** Department for Environment, Food & Rural Affairs, 2006.

ESRI Inc. ArcMap (versão 10.5.1). Redlands, Estados Unidos, 2024.

ESTEVES, L. S.; DOS SANTOS, I. R. **Impacto econômico da erosão na praia do Hermenegildo (RS), Brasil.** Pesquisa em Geociências, v. 28, p. 393-403, 2002. DOI: <https://doi.org/10.22456/1807-9806.20313>

ESTEVES, L. S.; PIVEL, M. A. G.; SILVA, A. R. P.; BARLETTA, R. C.; VRANJAC, M. C.; OLIVEIRA, U. R.; VANZ, A. **Beachfront owners perception of beach erosion along an armored shoreline in Southern Brazil.** Revista Pesquisas em Geociências, v. 27, p. 93-109, 1999. DOI: <https://doi.org/10.22456/1807-9806.20194>

EUROPEAN PARLIAMENT. **Directive 2008/56/EC establishing a framework for community action in the field of marine environmental policy (Marine Strategy Framework Directive).** European Parliament, 2008.

FRENCH, P. **Coastal Defences: Processes, Problems, and Solutions**. London: Routledge, 2001.

GORNITZ, V.; BEATY, T. W.; DANIELS, R. C. **A Coastal Hazards Database for the U.S. East Coast**. 1994.

IPCC. **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. 3056 p. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009325844>

KOERNER, K. F. **Alternativas de manejo para o problema da erosão costeira no balneário do Hermenegildo, Rio Grande do Sul**. 2012. 156 f. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento Costeiro) – Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2012.

KOERNER, K. F.; OLIVEIRA, U. R. **Efeito de estruturas de contenção à erosão costeira sobre a linha de costa: Balneário Hermenegildo, Rio Grande do Sul, Brasil**. Revista de Gestão Costeira Integrada, v. 13, n. 4, p. 16, 2013. DOI: [10.5894/rgci405](https://doi.org/10.5894/rgci405)

KURIYAMA, Y.; et al. **Wave transmission and energy dissipation of low-crested structures**. Coastal Engineering, v. 52, n. 3, p. 269-282, 2005.

LIMA, L. G. **Estratigrafia e evolução da barreira holocênica na praia do Hermenegildo (RS)**. 2018. 78 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

MAIA, N. Z.; CALLIARI, L. J.; NICOLODI, J. L. **Analytical model of sea level elevation during a storm: support for coastal flood risk assessment associated with cyclone passage**. Continental Shelf Research, p. 23-34, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.csr.2016.04.012>

MAZZER, A. M.; DILLENBURG, S. **Variações temporais da linha de costa em praias arenosas dominadas por ondas do sudeste da Ilha de Santa Catarina (Florianópolis, SC, Brasil)**. Pesquisa em Geociências, v. 36, n. 1, p. 117-135, 2009. DOI: <https://doi.org/10.22456/1807-9806.17880>

MOTA, G. S. **A gênese do risco sob a ótica das dinâmicas naturais e humanas: erosão costeira nas orlas urbanizadas de Aguas Dulces/Uruguai e Hermenegildo/Brasil. 2017.** 248 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2017.

MOTA, G.S.; GOSO AGUILAR, C. & NICOLODI, J.L. **Das palafitas ao risco de erosão costeira: um panorama natural, histórico e político dos conflitos ambientais em Aguas Dulces (Uruguai).** Revista de la Sociedad Uruguaya de Geología. Número 21 - 2018. ISSN 0797 - 2997.

NICOLODI, J. L.; FIGUEIREDO, S. A.; TOLDO JR, E.; CALLIARI, L. J. **Regional coastline changes and future predicted scenario on southern Brazil.** Revista Geográfica de Chile Terra Australis Número Especial 1, Vol.57 (2021) 76-95 ISSN 0719-9562. DOI: <https://doi.org/10.23854/07199562.2021571esp.Nicolodi76>

NICOLODI, J. L.; FILHO, N.E.D.; SCHERER, M.; MOREIRA, J.; CRUZ, L. F.; LEAL, K. B.; COSTA, J.D. **A erosão costeira no contexto da gestão territorial no Brasil: análises e perspectivas** *In: Gestão das zonas costeiras: a influência continental na qualidade ambiental.* 1 ed. Rio de Janeiro: UERJ, 2023, v.12, p. 341-358.

NOAA. **Coastal Zone Management Act.** National Oceanic and Atmospheric Administration, 2021.

OERTEL, G. F. **Coasts, coastlines, shores, and shorelines.** Encyclopedia Coastline Science, v. 14, n. 3, p. 23-327, 2005.

OLIVEIRA, U. R. **Relações entre a morfodinâmica e a utilização em trechos da costa oceânica da Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil. 2009.** 222 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

OLIVEIRA, U. R.; KOERNER, K. F.; SIMÕES, R. S.; MOTA, G. S.; LEAL, K. B.; GAUTÉRIO, B. C. **Histórico de antropização e supressão das dunas no Balneário Hermenegildo, Rio Grande do Sul, Brasil.** Revista Brasileira de Geografia Física, v. 11, n. 2, p. 687-704, 2018. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v10.6.p687-704>

OLIVEIRA, U. R.; SIMÕES, R. S.; CALLIARI, L. J.; GAUTÉRIO, B. C. **Erosão de dunas sob ação de um evento extremo de alta energia de ondas na costa central e sul do Rio Grande do Sul, Brasil.** Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 20, n. 1, p. 137-158, 2019.

DOI: <https://doi.org/10.20502/rbg.v20i1.1352>

PEREIRA, P. S. **Variabilidade da orla oceânica do Rio Grande do Sul e suas implicações na elaboração de planos de contingência: aspectos morfodinâmicos, sedimentológicos e geomorfológicos.** 2005. 161 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2005.

PIMENTA, F. M. **Caracterização dos regimes de refração de onda ao longo da zona costeira do Rio Grande do Sul.** 1999. 66 f. Monografia (Graduação em Oceanologia) – Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 1999.

SHEIK, M.; CHANDRASEKAR, N. **A shoreline change analysis along the coastal between Kanyakumari and Tuticorin, India, using digital shoreline analysis system.** Geo-Spatial Information Science, v. 14, n. 4, p. 282-293, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11806-011-0551-7>

SHORT, A. D.; MASSELINK, G. **Embayed and structurally controlled beaches.** In: **SHORT, A. D.** (Ed.). Handbook of beach and shoreface morphodynamics. Chichester: John Wiley & Sons, 1999. p. 230-249.

Short, A.D. & Masselink. **Sandy Beach Morphodynamics.** Journal Coastline Research. 37 (2), 456–457p, 2019.

SILVESTER, R.; HSU, J. R. C. **Coastal stabilization: innovative concepts.** Englewood Cliffs: PTR Prentice Hall, 1993. 578 p.

SOUZA, W. F. **Sensoriamento remoto e SIG aplicados à análise da evolução espaço temporal da linha de costa do município de Icapuí, Ceará - Brasil.** 2016. 136 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

THIELER E.R.; HIMMELSTOSS E. A.; ZICHICHI J.L.; MILLER T. L. **Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 3.0: an ArcGIS extension for calculating shoreline change.** US GeolSurv., 1304. 2005.

THOM, B. G.; HALL, W. **Behavior of beach profiles during accretion and erosion dominated periods.** *Coastal Engineering.* v. 15, n. 1, p. 67-82. 1991.