



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS
COORDENADORIA ESPECIAL DE OCEANOGRAFIA
CURSO DE BACHARELADO EM OCEANOGRAFIA

Lilli Fonseca Valle

**Análise do comportamento da porção sul da Praia do Morro das Pedras,
Florianópolis, SC, através do CoastSnap**

Florianópolis
2024

Lilli Fonseca Valle

**Análise do comportamento da porção sul da Praia do Morro das Pedras,
Florianópolis, SC, através do CoastSnap**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Oceanografia do Centro de Ciências Físicas e Matemáticas da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharela em Oceanografia.

Orientador: Prof. Pedro de Souza Pereira, Dr.

FLORIANÓPOLIS - SC

2024

Ficha de identificação da obra elaborada pela autora, através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Ficha catalográfica para trabalhos acadêmicos

Valle, Lilli Fonseca
ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DA PORÇÃO SUL DA PRAIA DO
MORRO DAS PEDRAS, FLORIANÓPOLIS, SC ATRAVÉS DO COASTSNAP /
Lilli Fonseca Valle ; orientador, Pedro de Souza Pereira,
2024.
72 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências
Físicas e Matemáticas, Graduação em Oceanografia,
Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Oceanografia. 2. Oceanografia. 3. Linha de Costa. 4.
Dinâmica praial. 5. CoastSnap. I. Pereira, Pedro de Souza.
II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em
Oceanografia. III. Título.

Lilli Fonseca Valle

**Análise do comportamento da porção sul da praia do Morro das Pedras, Florianópolis, SC,
através do CoastSnap**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharel e
aprovado em sua forma final pelo Curso de Oceanografia.

Local: Florianópolis, 08 de Agosto de 2024.



Coordenação do Curso

Banca examinadora



Prof. Pedro de Souza Pereira, Dr.
Orientador



Prof. Norberto Olmiro Horn Filho, Dr.
Instituição UFSC



Prof. Jarbas Bonetti Filho, Dr.
Instituição UFSC

Florianópolis, 2024

AGRADECIMENTOS

Nunca imaginei que um Trabalho de Conclusão de Curso fosse demandar tanta auto reflexão, dúvidas sobre si mesmo, crises de ansiedade, uma mistura de emoções que se formar em oceanografia é quase uma sobrevivência. Um desafio, que se torna amadurecimento, se conectar com uma nova versão de quando você entra no curso e quando se percebe, finalmente, como oceanógrafa, e que as lutas diárias, certamente não foram feitas sozinha. Dentro dessas reflexões percebi que desde que nasci sempre tive um suporte da minha família entre muitas idas, se iniciando ali nas primeiras pedaladas de bicicleta com a ajuda do meu pai ou dos incentivos da minha mãe em descer ladeiras de skate sem saber parar. Aventuras, essa vida sempre foi marcada por elas, e consigo olhar pra trás e ver quantas pessoas já embarcaram em muitas comigo, seja fazendo trilha, virando noites de madrugada só pra dar um apoio moral nessa finalização de etapa, conselhos e ajudas, docinhos no laboratório, idas para contemplar o mar, sair com amigos para comer um italiano, fazendo esportes, risadas em bares, conselhos por telefone ou só caminhando por aí, guardo no meu coração tudo e todos que “deixei e recebi um tanto”, tanta gente que talvez não caiba nesta uma página de agradecimento. Bom, começo pela minha mãe (Mônica) e meu pai (Alvaro) por todos os conselhos, suporte, aprendizados e por terem moldado a minha integridade e caráter, por serem porto seguro e quem posso contar sempre. Aos meus primos, Olívia, Mariana, Gabriel, Natasha, Davi e Rodrigo. Agradeço também, aos meus amigos do Rio por todo o carinho, mesmo que de longe: Alice, Catarina, Fernanda, Henrique, João, Julia, Milena, Natacha, Sabrina, Sophia e Taísa. Agradeço aos amigos que fiz no Maranhão por tanto acolhimento: Breno, Catarina, Franklin, Karollayne, Layla, Maria Clara, Ruan e Thais. Agradeço aos amigos de Floripa e do laboratório pelas conversas e serem um solzinho atrás de tempos nublados: Anatan, Aruã, Carol, Eloisa, Flora, Gabriela, Gillian, Jéssica, Juana, Ligia, Lorenzo, Mariana, Mariane, Pedros, Renata, Tainá, Thiago, Verônica. Não menos importante agradeço ao meu orientador Pedro Pereira por toda ajuda e consideração, e agradeço também à todos os professores da UFSC que tive o prazer de ter aulas e/ou contribuir com trabalhos, foi enriquecedor cada etapa, oportunidade e troca, Alessandra Fonseca, Antonio Fetter, Antonio Klein, Carla Bonetti, Felipe Pimenta, Jarbas Bonetti, Juliana Leonel, Kátia Kuroshima, Norberto Horn Filho, Rubens Duarte, Tatiana Leite, Tito Almeida, entre outros. Muito obrigada de coração.

RESUMO

As praias arenosas oceânicas são ambientes dinâmicos, continuamente moldados por processos hidrodinâmicos e influenciados por atividades humanas, como urbanização e obras costeiras, que impactam significativamente esses sistemas. Este estudo analisou a variabilidade costeira entre 2022 a 2024, no extremo sul da praia do Morro das Pedras, Florianópolis (SC). A metodologia combina o uso do CoastSnap, um projeto de ciência cidadã que investiga a dinâmica da linha de costa com imagens coletadas pela população e a análise de dados de ondas (direção, altura e período). Adicionalmente, o CoastSat, uma ferramenta de código aberto com imagens de satélite, foi usado para determinar variações na linha de costa e integrar dados com o CoastSnap avaliando a correlação de Pearson entre os conjuntos de dados. Também foram avaliadas as evidências de geoindicadores de erosão costeira para identificar os setores mais suscetíveis a tendência erosiva de largura de praia, bem como, a presença de escarpas sazonalmente como indicador de processo erosivo. Como resultado observou-se que as maiores frequências de direções de ondas foram de Leste e Sudeste, no inverno comparativo entre 2022 e 2023, percebeu-se que no inverno de 2022, as ondas predominantes foram Sul e Sudeste, resultando em maior erosão de largura da praia em comparação com 2023, que teve ondas predominantes Leste e Sul. Na primavera de 2022, as ondas predominantes foram Leste e Sudeste, e em 2023, também predominou Leste, com menor frequência de Sudeste e menores alturas de ondas, além de uma praia mais larga. No outono de 2023, as ondas foram principalmente Sudeste e Sul, enquanto em 2024, as direções das ondas foram mais variadas e a praia mais larga. No verão, houve uma predominância de ondas Leste em 2022 e Sudeste e Sul em 2023, explicando o aumento da largura da praia em 2023. A análise geral da linha de costa mostrou uma tendência acrescional geral de +1,95m/ano. Os padrões das ondas e sua direção influenciaram a dinâmica da linha de costa, com direções predominantes Sul e Sudeste associadas a maiores períodos de ondas e energia. A comparação entre os dados de CoastSat e CoastSnap mostrou um coeficiente de Correlação de Pearson (r) de 0.76 indicado com uma correlação positiva forte. A presença de escarpas variou com as condições energéticas e intervenções antrópicas apresentando maior tendência erosiva no setor mais ao sul da praia.

Palavras-chave: linha de costa; geoindicadores de erosão; dinâmica praial.

ABSTRACT

Ocean sandy beaches are dynamic environments continuously shaped by hydrodynamic processes and influenced by human activities such as urbanization and coastal engineering, which significantly impact these systems. This study analyzed coastal variability between 2022 and 2024 at the southernmost stretch of Morro das Pedras beach, Florianópolis (SC). The methodology combines the use of CoastSnap, a citizen science project investigating shoreline dynamics through images collected by the public, with wave data analysis (direction, height, and period). Additionally, CoastSat, an open-source tool using satellite imagery, was employed to determine shoreline variations and integrate data with CoastSnap by evaluating the Pearson correlation between the datasets. Coastal erosion geoindicators were also assessed to identify the most erosion-prone beach sectors, along with the seasonal presence of scarps as indicators of erosive processes. Results revealed that the highest wave direction frequencies were from East and Southeast during the winters of 2022 and 2023. In the winter of 2022, predominant waves from South and Southeast caused greater beach width erosion compared to 2023, when waves were primarily from East and South. During spring 2022, the predominant waves were from East and Southeast, while in 2023, East predominated, with lower Southeast frequencies and smaller wave heights, resulting in a wider beach. In the autumn of 2023, waves were mainly Southeast and South, whereas in 2024, wave directions were more varied, accompanied by a wider beach. During the summer, East waves predominated in 2022, while Southeast and South waves dominated in 2023, explaining the increased beach width in 2023. Overall shoreline analysis indicated a general accretion trend of +1.95 m/year. Wave patterns and directions influenced shoreline dynamics, with South and Southeast directions associated with longer wave periods and higher energy. The comparison between CoastSat and CoastSnap data showed a strong positive Pearson correlation coefficient (r) of 0.76. The presence of scarps varied according to energetic conditions and anthropogenic interventions, with the southernmost sector of the beach showing a greater erosive tendency.

Keywords: shoreline; coastal erosion geoindicators; beach dynamics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma das atividades realizadas na metodologia do CoastSnap.....	18
Figura 2: Fluxograma das atividades realizadas na metodologia do CoastSat.....	19
Figura 3: Mapa de Caracterização da Praia Morro das Pedras, SC, Brasil.....	21
Figura 4: Processo de captura de imagem da Praia Morro das Pedras, SC. (A) Totem. (B) Posicionamento do aparelho de celular para captura da imagem. (C) Exemplos de imagem capturada na estação.....	23
Figura 5: Transectos demarcados no CoastSat da porção Sul da Praia Morro das Pedras, Florianópolis, SC.....	27
Figura 6: Mapa de Localização dos Pontos de Coleta.....	30
Figura 7: Histograma das classes de nível em relação ao número de ocorrências das imagens recebidas no período de análise no totem do CoastSnap na praia do Morro das Pedras, Florianópolis, SC.....	35
Figura 8: Nível em relação a quantidade de imagens recebidas pela Estação Morro do CoastSnap.....	36
Figura 9: Total de linhas de costa digitalizadas durante o período de estudo com imagem base de 19 de janeiro de 2023 ao fundo da praia do Morro das Pedras, SC.....	37
Figura 10: Variação da largura da praia e padrão de tendência da Praia Morro das Pedras, Florianópolis, SC.....	38
Figura 11: Gráfico de Tendência de Largura da Praia do Morro das Pedras, Florianópolis, SC de 1985 a 2015.....	41
Figura 12: Gráfico de Tendência de Largura da Praia do Morro das Pedras, Florianópolis, SC gerada no CoastSat.....	42
Figura 13: Gráficos de comparação observados de Largura da Praia do Morro das Pedras, Florianópolis, SC. (A) Do CoastSat. (B) Do CoastSnap. (C) Dados Integrados CoastSat e CoastSnap.....	43
Figura 14: Gráfico de correlação de Pearson dos dados de largura de praia obtidos pelo CoastSnap e CoastSat, na praia do Morro das Pedras, Florianópolis, SC.....	43
Figura 15: Identificação de minerais pesados a partir de imagens. (A) Presença de minerais pesados evidenciada na imagem do sedimento. (B) Presença de minerais pesados evidenciada na imagem da praia.....	50
Figura 16: Exemplo do dia 05 de maio de 2023 com presença de escarpa. (A) Imagem coletada na estação do CoastSnap. (B) Imagem retificada.....	51
Figura 17: Presença ou ausência de escarpas erosivas nas imagens recebidas no período de setembro de 2022 a maio de 2024.....	52
Figura 18: Gráfico da quantidade de escarpas encontradas nas imagens tiradas do totem do CoastSnap na praia do Morro das Pedras, Florianópolis, SC.....	52
Figura 19: Rosa das Ondas acumulada com Altura Significativa e Direção na praia do Morro das Pedras, SC.....	54
Figura 20: Rosa das Ondas com Altura Significativa maior que 3m e Direção na praia do Morro das Pedras, SC.....	54
Figura 21: Rosa das Ondas com Altura Significativa menor que 2m e Direção na praia do Morro das Pedras, SC.....	55

Figura 22: Série Temporal de Linha de Costa das Imagens do CoastSnap, Altura Significativa, Direção e Período de Ondas no período de Setembro de 2022 a Maio de 2024 na praia do Morro das Pedras, SC.....	57
Figura 23: Imagens obtidas dos períodos de maior erosão (A) e maior acreção (B) pelo CoastSnap da Praia do Morro das Pedras, Florianópolis, SC.....	58
Figura 24: Rosa das Ondas com Altura Significativa e Direção nas Estações: Inverno 1 (A), Inverno 2 (B), Primavera 1 (C) e Primavera 2 (D).....	60
Figura 25: Rosa das Ondas com Altura Significativa e Direção nas Estações: Outono 1 (A), Outono 2 (B), Verão 1 (C) e Verão 2 (D).....	61
Figura 26: Ilustração de direção de ondas Leste (A) e Sudeste (B) na Praia do Morro das Pedras.....	62

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Identificação e Localização dos Pontos de Coleta.....	29
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Distribuição sazonal da quantidade de imagens recebidas.....	33
Tabela 2: Distribuição da quantidade de imagens recebidas sazonalmente detalhada de forma mensal.....	33
Tabela 3: Data de realização das atividades em campo (campanhas).....	44
Tabela 4: Presença (P) ou Ausência (A) de Geoindicadores na Observação In Situ nos 4 setores de cada campanha.....	45
Tabela 5: Frequência de Presença de Geoindicadores na Observação In Situ nos 4 setores.....	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

C3S	Copernicus Climate Change Service - Serviço de Mudanças Climáticas Copérnico
EPAGRI	Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina
ERA5	European Reanalysis v5 - Quinta geração de reanálise atmosférica
GEE	Google Earth Engine
GNSS	Global Navigation Satellite System - Sistema Global de Navegação por Satélite
GPS	Global Position System - Sistema de Posicionamento Global
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
MNDWI	Modified Normalized Difference Water Index - Índice de Água Diferença Normalizada Modificado
RGB	Red, Green and Blue - Vermelho, verde e azul
RMSE	Root Mean Square Error - Erro Médio Quadrático
RTK	Real Time Kinematics - GPS Cinemático em Tempo Real
$\tan\beta$	Medida de inclinação da face praial

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. OBJETIVOS.....	17
2.1. OBJETIVO GERAL.....	17
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
3. METODOLOGIA.....	18
3.1. ÁREA DE ESTUDO.....	19
3.2. COASTSNAP.....	21
3.2.1. <i>Instalação da Estação e Coleta de Pontos de Controle (GCPs)</i>	22
3.2.2. <i>Recebimento das Imagens</i>	22
3.2.3. <i>Armazenamento em Banco de Dados</i>	23
3.2.4. <i>Correção de Maré</i>	24
3.2.5. <i>Georretificação das Imagens</i>	24
3.2.6. <i>Identificação da linha de costa</i>	25
3.3. COASTSAT.....	26
3.3.1. <i>Definição da Região de Interesse, Aquisição de Imagens e Processamento de Imagens de Satélite</i>	26
3.3.2. <i>Extração e Classificação da Linha de Costa e Posicionamento de Transectos e Validação</i>	27
3.3.3. <i>Análise Temporal da Linha de Costa e Integração com Dados do CoastSnap</i>	28
3.4. DADOS DE ONDAS.....	28
3.5. OBSERVAÇÃO DE GEOINDICADORES IN SITU.....	29
3.5.1. <i>Área amostral</i>	29
3.5.2. <i>Ocorrência de Geoindicadores</i>	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
4.1. COMPARTILHAMENTO DE IMAGENS ATRAVÉS DO COASTSNAP.....	32
4.2. DADOS DE MARÉ PARA IMAGEM BASE.....	34
4.3. ANÁLISES DAS LINHAS DE COSTA.....	36
4.4. ANÁLISE DE LINHA DE COSTA ATRAVÉS DE IMAGENS DE SATÉLITE.....	41
4.5. GEOINDICADORES EROSIVOS.....	44
4.5.1. <i>Variabilidade De Escarpas Erosivas</i>	50
4.6. VARIABILIDADE DO CLIMA DE ONDAS.....	53
4.6.1. <i>Linha de Costa e Dados de Ondas</i>	55
5. CONCLUSÃO.....	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
ANEXO A – IMAGENS COMO EXEMPLO DOS GEOINDICADORES UTILIZADOS.....	72

1. INTRODUÇÃO

As praias arenosas oceânicas são ambientes que se caracterizam como sistemas transicionais dinâmicos, sensíveis e complexos, por serem constantemente moldados por processos hidrodinâmicos, como ondas, marés e correntes (MERLOTTO et al., 2023). Esses processos alteram o perfil da praia em diferentes escalas de tempo e espaço (KONSTANTINO et al., 2023), visto que, a erosão e a deposição de sedimentos ajustam-se às flutuações nos níveis de energia local, ao sofrerem retrabalhamento contínuo por processos naturais ao longo do tempo, resultando em uma morfodinâmica costeira em equilíbrio dinâmico.

Como observado no trabalho de Luijendijk et. al. (2018), a frequência de processos erosivos se amplificaram a nível global, e a diminuição da linha de costa também se intensificou pelo aumento do nível do mar (DEAN e GALVIN JR., 1976). Dado que, o Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), divulgado em 2023, também destacou o aumento das temperaturas, a perda de gelo e a elevação do nível do mar, além de prever uma maior frequência de eventos climáticos extremos e um agravamento da erosão costeira em algumas regiões.

Nesse contexto, vale ressaltar que, a dinâmica costeira é influenciada também por fatores biológicos e atividades antrópicas, como a urbanização e as obras costeiras, que alteram significativamente esses ambientes (BROGGIO, 2015; LUIJENDIJK, 2018, GOMES, et al., 2022) e as causas da erosão da linha de costa podem se agravar em alguns casos devido à construção e às alterações da linha costeira (DEAN e GALVIN JR., 1976; HOEFEL, 1998).

O estudo da dinâmica costeira é crucial para a compreensão e avaliação dos impactos ambientais e como ferramenta para a gestão costeira, devido aos serviços ecossistêmicos prestados pelas zonas costeiras, considerando a importância econômica, recreacional e ambiental para a sociedade (COSTANZA et. al., 1997).

Para gerar subsídio aos estudos de adaptação de zonas costeiras frente a estas interferências é essencial que se faça o monitoramento prévio e contínuo da praia, a exemplo do monitoramento da variação da linha de costa (KLEIN, 2016). Conseqüentemente, diversas análises sobre as variações da linha de costa têm sido realizados globalmente (STIVE et. al., 2002; ARAUJO et. al., 2013; SILVA et. al., 2013; SANTOS e BONETTI, 2018; LUIJENDIJK et. al., 2018; AZEVEDO, 2022; TEBECHRANI, 2023; RUSA, 2024).

Esse monitoramento fornece dados que auxiliam na identificação das causas da erosão e no planejamento de medidas mais apropriadas, considerando o elevado custo associado à execução de obras costeiras de mitigação.

Em virtude da necessidade de acompanhamento das mudanças na costa, as técnicas de monitoramento das praias são diversas e estão em constante evolução. Elas incluem imagens aéreas de aeronaves (COSTA et al., 2019), drones (NOVAIS et al., 2020), imagens de vídeo (PEREIRA et al., 2012) e imagens de satélite (CONTI et al., 2017; HARLEY et al., 2019; VOS et al., 2019).

Uma metodologia amplamente utilizada é o CoastSat, que consiste num recurso em código numa ferramenta em Python, de código aberto, que emprega imagens de satélite obtidas pelo Google Earth Engine, nas quais são combinadas com técnicas de processamento digital para monitorar a variação da linha de costa em larga escala. Onde permite observar dados progressos e atuais com alta resolução temporal e espacial, oferecendo uma ferramenta robusta para avaliar tendências de longo prazo e eventos erosivos críticos (VOS et al., 2019). A utilização de dados do CoastSat consegue fornecer informações detalhadas em regiões onde o acesso a dados terrestres é limitado. Outro exemplo relevante é o projeto CoastSnap, que utiliza o sensoriamento remoto através do processamento digital de imagens capturadas por cientistas cidadãos. Essas imagens, coletadas por dispositivos móveis e compartilhadas nas redes sociais do projeto, oferecem uma alternativa de baixo custo para monitorar a variação da linha de costa (HARLEY et al., 2019).

Com o crescimento do projeto CoastSnap, sua abrangência engloba diversos países ao redor do mundo, inclusive o Brasil com alguns trabalhos publicados (FREIRE, 2022; AZEVEDO, 2022; LINS DE BARROS et al., 2023).

No estado de Santa Catarina, utiliza-se os totens, que são suportes para captura de imagens, instalados em locais previamente definidos com o objetivo de coletar as imagens por moradores, turistas e transeuntes. As imagens têm sido utilizadas para estudo sobre o comportamento costeiro, a variabilidade de linha de costa e sua tendência.

Na cidade de Florianópolis ocorrem casos de ocupação de moradias em áreas de dunas e de praias, como no caso da praia do Morro das Pedras, Florianópolis, SC, que possui um histórico de alta vulnerabilidade costeira uma vez que o amortecimento

de eventos erosivos é reduzido pela baixa quantidade de dunas frontais e a ocupação próximas ao nível da água, exposta à ondulação de leste e sudeste (RUDDORF E BONETTI, 2010), comprometendo não apenas o valor estético e paisagístico desses ambientes, mas também interrompendo o fluxo natural de sedimentos entre a praia e as dunas. Essa interrupção resulta na perda significativa de sedimentos arenosos, reduzindo a capacidade de proteção das praias contra os efeitos adversos das tempestades costeiras (TORRONTÉGUY, 2002).

A combinação deste conhecimento acadêmico com os procedimentos práticos e metodológicos empregados no estudo, como a análise de geoindicadores de erosão, utilização de dados de ondas, a utilização do projeto CoastSnap e a ferramenta do CoastSat para monitoramento da linha de costa, oferece uma abordagem abrangente e integrada para compreender e gerenciar esses sistemas costeiros complexos.

Este estudo visa compreender a variabilidade da linha de costa na praia do Morro das Pedras, localizada na Ilha de Santa Catarina. Sua relevância está associada ao monitoramento costeiro, em particular à análise da dinâmica da linha de costa, considerando os processos sazonais nas praias, recuando e progredindo a costa. Dessa forma, o estudo busca fornecer subsídios científicos que orientem decisões voltadas à mitigação de impactos, sejam eles de origem natural ou antrópica, na região costeira.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Analisar a variação da linha de costa da Praia do Morro das Pedras por meio de dados obtidos através do projeto CoastSnap e medições de ondas para entender melhor os processos de erosão e acreção.

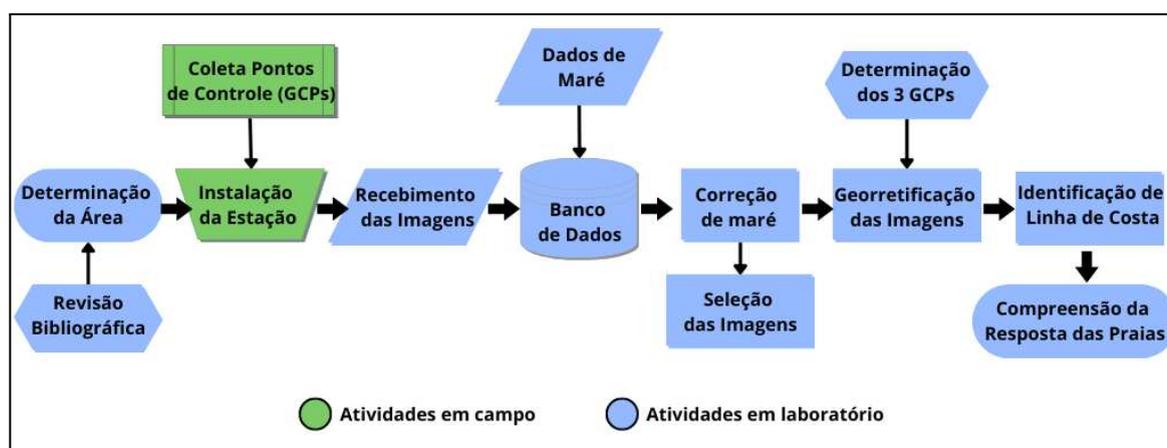
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Estudar o comportamento da linha de costa através de imagens compartilhadas através da ciência cidadã;
- b) Ver se tem correlação entre os dados de linha de costa do CoastSnap e do CoastSat;
- c) Analisar geoindicadores de erosão como auxílio para compreender a variabilidade da linha de costa
- d) Analisar a relação entre a presença de escarpas e a erosão costeira;
- e) Relacionar os dados analisados com a variabilidade local do clima de ondas.

3. METODOLOGIA

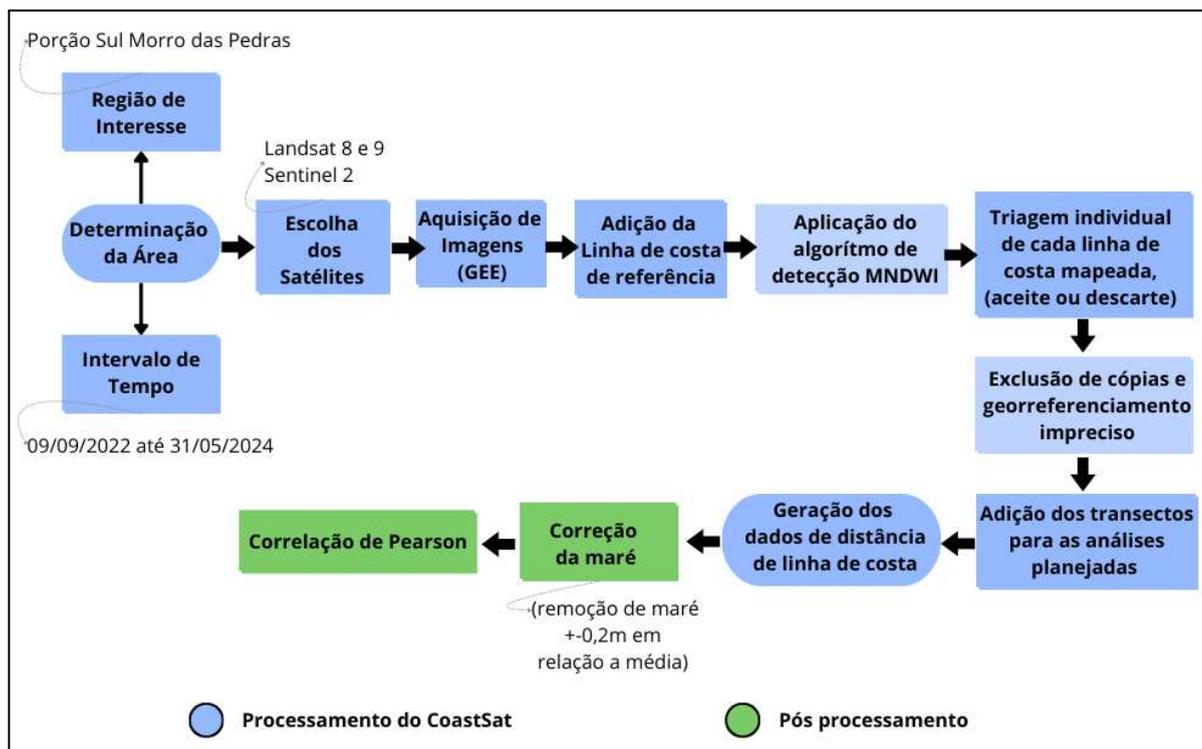
Na Figura 1, pode-se observar o fluxo de atividades conduzidas durante esta pesquisa e necessárias para os estudos com o CoastSnap, as quais serão explicadas nos Tópicos 3.1 e 3.2. Em sequência, na Figura 2, apresenta-se o fluxograma das atividades realizadas na metodologia do CoastSat melhor informadas no Tópico 3.3, detalhando as etapas de processamento e pós-processamento, incluindo a aplicação da correlação de Pearson para a comparação entre os dados do CoastSat e do CoastSnap. Adicionalmente, os Tópicos 3.4 e 3.5 detalham a coleta e análise dos dados de ondas e a observação de geoindicadores *in situ*, respectivamente, proporcionando uma visão completa da metodologia adotada neste trabalho.

Figura 1: Fluxograma das atividades realizadas na metodologia do CoastSnap.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 2: Fluxograma das atividades realizadas na metodologia do CoastSat.



Fonte: Elaborado pela autora, baseado em Vos et al. (2019) e Tebechrani (2023)

3.1. ÁREA DE ESTUDO

A praia do Morro das Pedras, possui uma extensão de 3.000m (HORN et. al., 2017), delimitada por um costão rochoso ao Sul e um pontal arenoso ao Norte, este último formado devido a uma zona de sombra gerada pela Ilha do Campeche (RUDORFF E BONETTI, 2010). A praia (latitude 27°42'54.5S e longitude 48°30'09.3W) tem largura de 41,2m e declividade de 11° mas chega a 33° no extremo sul (HORN et. al., 2017). De acordo com Abreu de Castilhos (1995), esta praia é classificada como parabólica com orientação NNE-SSW, apresentando um azimute de 25° (APASC, 2020).

A granulometria predominante é de areia média na parte Norte e Central da praia e na parte Sul de areia grossa (HORN et. al., 2017), com presença de corrente de retorno e zona de surfe comum com presença de cúspides praias (TORRONTÉGUY, 2002). Quanto ao estágio morfodinâmico, é caracterizada como uma praia intermediária, mas a sua face praias é considerada refletiva (TORRONTÉGUY, 2002).

A maré no litoral de Santa Catarina é caracterizada por ser mista com predominância semidiurna, tendo amplitudes médias de 0,8m e máximas de 1,2m, conforme Schettini et. al. (1996). De acordo com a classificação de Davies (1964), essas amplitudes enquadram a região na classe de micromaré.

As praias dominadas por ondas apresentam mudanças constantes em seu perfil praial, especialmente durante eventos de tempestade. Nessas ocasiões, ocorre a perda de sedimentos (erosão) do banco externo, que se ajusta à altura das ondas de alta energia. Após o término das condições de tempestade, a praia se recupera (retorno do sedimento) com o banco sedimentar voltando à sua condição inicial, e as ondas passam a quebrar apenas na face da praia devido à continuidade de condições de energia moderada a baixa (OLIVEIRA et al., 2014; EGUCHI e ALBINO, 2022).

Este estudo abrangeu a porção sul da Praia do Morro das Pedras, utilizando uma linha amostral de 300m (Figura 3). A escolha dessa área de estudo baseou-se em vários critérios específicos. Primeiramente, a morfodinâmica praial da região foi considerada, classificando a praia como intermediária com características refletivas (RUDORFF e BONETTI, 2010). A urbanização local, identificada como um fator contribuidor para a erosão da praia (ABREU DE CASTILHOS, 1995), também foi levada em conta. Pela dinâmica praial da área ser influenciada pela exposição a marés e ondulações, exacerbada pela ausência de uma zona de amortecimento na parte sul, devido a ocupações residenciais na duna frontal (GOMES et. al., 2022). Além disso, a importância social do local, com moradias diretamente na frente da areia da praia, e sua relevância econômica, devido ao potencial turístico de avistamento de baleias e à presença de quiosques, foram fatores significativos na seleção do local. Por fim, a escolha da praia foi influenciada pela disponibilidade de um local elevado o suficiente para a instalação do totem, permitindo uma visão panorâmica necessária para a análise da linha de costa (HARLEY et al., 2019).

Figura 3: Mapa de Caracterização da Praia Morro das Pedras, SC, Brasil.



Fonte: Elaborado pela autora.

3.2. COASTSNAP

O projeto do CoastSnap oportuniza a participação social de cientistas cidadãos, por meio da captura de imagens de praias utilizando smartphones em locais estratégicos, chamados estações. Essas imagens são transformadas em dados que são armazenados em uma base de dados centralizada. Através de técnicas avançadas de processamento de imagem, é possível obter informações sobre a posição da linha de costa e parâmetros geomorfológicos (HARLEY et. al., 2019). No contexto específico do projeto, a praia do Morro das Pedras, chamada de Estação Morro, foi escolhida para estudar o comportamento erosional e fornecer informações específicas para decisões de gestão.

3.2.1. Instalação da Estação e Coleta de Pontos de Controle (GCPs)

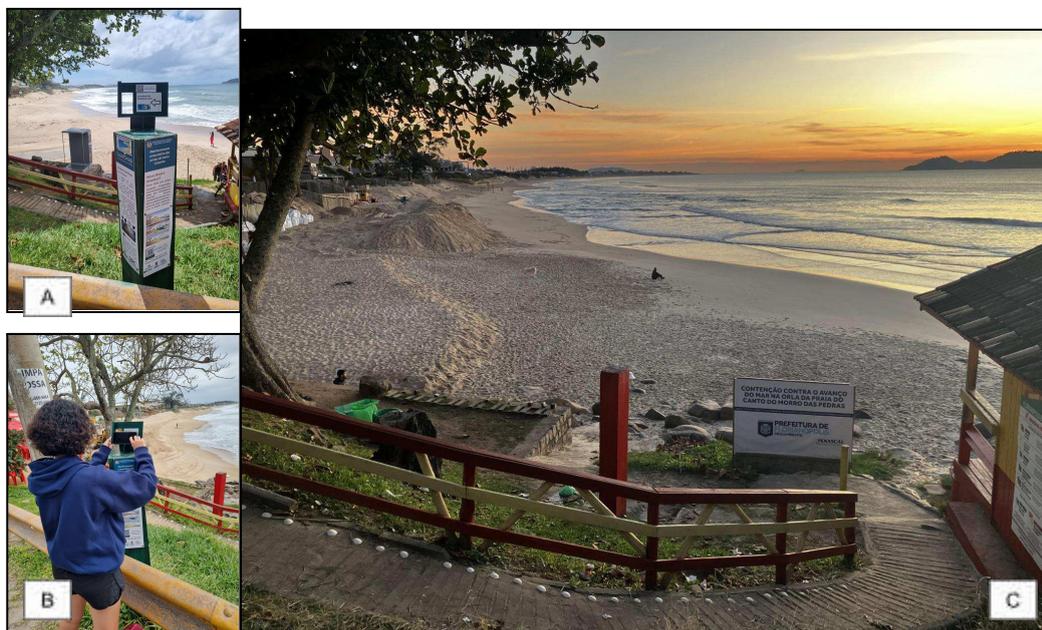
Com a área de estudo determinada, e tendo a relação do porquê da sensibilidade desta praia por meio de revisões bibliográficas (Tópico 3.1). Antes da instalação da estação, foi realizada, em laboratório, a seleção de pontos de controle (GCPs), que são localizações terrestres utilizadas para garantir maior precisão nas coordenadas reais do terreno, ajustando a localização dos dados. Além disso, foi identificado o marco geodésico mais próximo ($27^{\circ}43'04.14''S$, $48^{\circ}30'13.13''O$) para auxiliar na amarração dos pontos escolhidos.

O trabalho de campo para a instalação e montagem do totem ocorreu no dia 9 de setembro de 2022, (Figura 4.A), bem como a determinação dos GCPs (*Ground Control Points*) utilizando o GNSS RTK da marca *Trimble*®[®], modelo R6, para obtenção dos mesmos. A estimativa prévia dos pontos permitiu uma otimização do tempo de trabalho em campo, organização de etapas e maior precisão da definição das localizações dos pontos.

3.2.2. Recebimento das Imagens

Através das mídias sociais do CoastSnapSC, vinculado ao Laboratório de Oceanografia Costeira (LOC - UFSC), foram recebidas as imagens coletadas por meio da participação social, integrando-se à ciência cidadã. Este processo é parte integrante da prática científica e da produção de conhecimento (SiBBr, 2024), com o objetivo de obter dados e promover a participação ativa da comunidade. Na Figura 4.B observa-se o processo de captura de imagem na estação.

Figura 4: Processo de captura de imagem da Praia Morro das Pedras, SC. (A) Totem. (B) Posicionamento do aparelho de celular para captura da imagem. (C) Exemplos de imagem capturada na estação.



Fonte: (A) Autora, 2024; (B) Jefferson Alves, 2023 e (C) Thiago Gandra, 2023

3.2.3. Armazenamento em Banco de Dados

Com as imagens armazenadas em nossos computadores, foi necessário realizar uma organização para padronizar os arquivos e registrar os dados em planilhas através de rotinas computacionais. Cada entrada foi documentada com suas respectivas especificações, incluindo a data e o horário de coleta das imagens, o nome do contribuinte que as enviou, o nome da estação, o tipo de imagem (*snap* ou *timex*) e a plataforma utilizada para compartilhamento (*WhatsApp* ou *Instagram*).

Outra planilha elaborada foi a dos dados de maré, os quais foram descarregados mensalmente a partir de dados medidos do marégrafo de Imbituba disponibilizado pela Epagri (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina). Esses dados brutos foram posteriormente processados e, em alguns casos, interpolados para preencher lacunas de registros em datas ou horários específicos, utilizando rotinas computacionais.

3.2.4. Correção de Maré

Cada imagem foi capturada em diferentes estágios da maré, sendo necessário fazer a correção de nível para a elevação de referência, na realização de comparações de suas posições transversais à costa. Esta correção linear do nível foi aplicada utilizando o dado de nível e utilizou a $\tan\beta$, determinada por Torronteguy (2002) como $0,101^\circ$. O deslocamento vertical devido à inclinação da praia também foi considerado, assim como as características das ondas, como altura e período típico, obtidos por Torronteguy (2002), para que a elevação estivesse constante ao longo da costa no momento em que a imagem foi capturada. Esse processo indicou as linhas na zona de espraiamento para uma elevação de referência, corrigindo a linha de costa (HARLEY et al., 2019), proporcionando uma representação precisa da dinâmica costeira.

Ao estabelecer um valor de nível médio para as imagens recebidas em relação à maré, identificou-se a imagem base e definiu-se o intervalo de nível correspondente. Esse procedimento visou aprimorar a qualidade dos dados. Assim, iniciou-se um processo de filtragem e seleção das imagens previamente recebidas da população, visando assegurar a confiabilidade e qualidade para os resultados obtidos na investigação da dinâmica costeira.

3.2.5. Georretificação das Imagens

A partir dos GCPs e dos dados de marco geodésico, utilizando o software *Trimble*, foi possível obter um panorama detalhado de cada ponto em linhas de saída e a atualização dos bancos de dados realizando uma especificação da estação, pelo ajuste na planilha do tilt, coordenadas da estação, roll, azimute e coordenadas de três GCPs. Também para a estimativa do deslocamento de nível incluído nas análises, foram utilizados dados de altura significativa média das ondas de 1,25m e período de pico médio das ondas de 9,36s (TORRONTÉGUY et al., 2002). Assim, foi possível realizar a transformação do plano da imagem (recebida da população) em imagens oblíquas de coordenadas de pixel (U, V) para coordenadas globais (x, y, z).

Em laboratório, o processo de filtragem das imagens foi continuado para a retificação. Imagens foram excluídas com base na quantidade disponível dentro do intervalo de nível estabelecido e na seleção das de melhor qualidade. As

características consideradas para a seleção incluíram a ausência de cortes que compromettesse a visualização dos pontos de controle, iluminação adequada (evitando imagens noturnas que dificultasse a observação da linha de costa), e a captura pelo dispositivo móvel posicionado horizontalmente no totem. Entretanto, foi necessário incluir um critério adicional para a retificação das imagens: todas as imagens deveriam estar no formato JPG.

Apenas as imagens que atenderam a todos os critérios estabelecidos e permitiram a retificação adequada foram incluídas na análise da linha de costa.

Para a georretificação das imagens, utilizaram-se rotinas computacionais onde cada imagem de qualidade passava pelo processo de seleção dos três GCPs pré-estabelecidos, assegurando uma taxa de erro RMSE inferior a 3. Após essa etapa, foram definidos os transectos transversais à zona de espraiamento para realizar o cálculo da largura de praia. A área abrangida pelo mapeamento feito pelo CoastSnap foi estabelecida na parte centro-norte da área de estudo.

3.2.6. Identificação da linha de costa

No estudo, foi definida a área amostral longitudinal de 300m com o intervalo da zona de praia média até o pós-praia, observada na imagem tirada no totem (Figura 4.C), com o objetivo de identificar a linha de costa na zona de espraiamento.

Através do *Map Shoreline*, ferramenta de identificação da linha de costa, diferenciou-se as áreas “molhadas” (superfície do mar) e “secas” (sedimentos da praia) da zona de espraiamento das imagens, e a detecção da linha de costa foi baseada na intersecção entre os pixels, com base nas variações nos canais de cores vermelho, verde e azul (*RGB*) (HARLEY et al., 2019).

Após a determinação da linha de costa, foi possível analisar sua dinâmica a partir dos resultados plotados para o período desejado. Compararam-se os dados entre os períodos de erosão e acreção dentro da linha de nível utilizada. Dessa forma, foram gerados gráficos de tendência que representaram a variação da linha de costa ao longo dos meses, permitindo uma visualização precisa da sua dinâmica.

3.3. COASTSAT

O CoastSat é um conjunto de ferramentas de software de código aberto desenvolvido em Python pelo Vos et al. (2019) na qual pode ser destinada para a extração automática da linha de costa e mudança na ocupação do solo, por exemplo. Sendo possível realizar a análise de dados advindas de imagens de satélite, disponíveis desde 1985 em plataformas públicas como o Google Earth Engine, tornando viável estudar a dinâmica costeira em larga escala e ao longo de séries temporais extensas. Sua metodologia combina algoritmos de processamento de imagem com técnicas de machine learning, garantindo uma extração precisa e eficiente da linha de costa em diferentes condições ambientais (VOS et al., 2019).

3.3.1. Definição da Região de Interesse, Aquisição de Imagens e Processamento de Imagens de Satélite

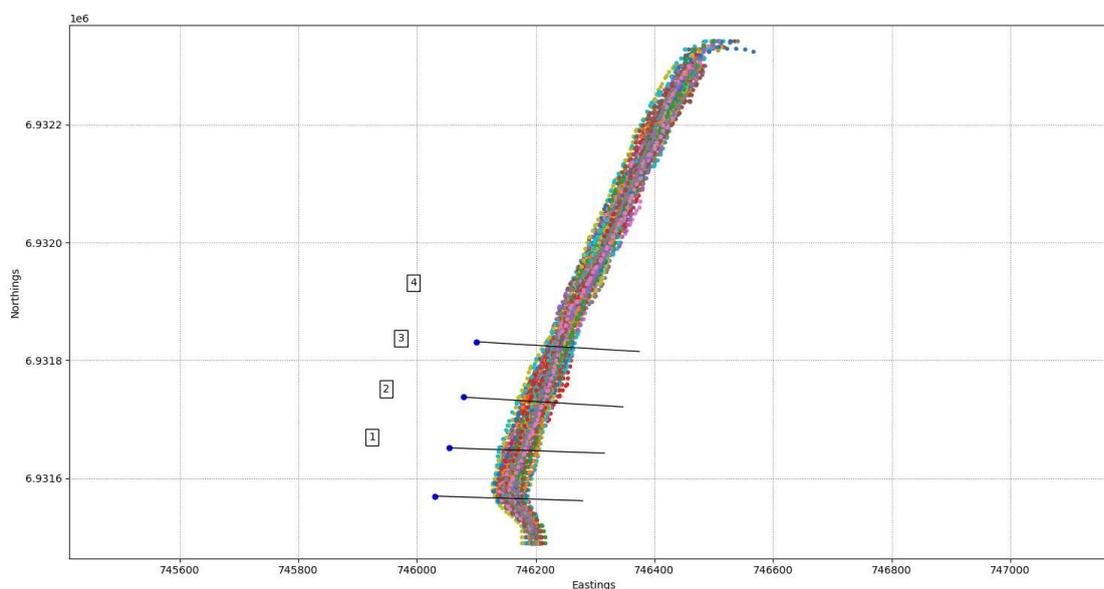
A região de interesse deste estudo foi delimitada na porção sul da praia do Morro das Pedras, abrangendo uma extensão de 300 metros, a mesma área previamente analisada com os dados do CoastSnap. Em seguida, foram selecionadas as missões dos satélites Landsat 8 e 9, bem como o Sentinel-2, para a aquisição das imagens. O período analisado compreendeu de 9 de setembro de 2022 a 31 de maio de 2024, incluindo todas as imagens disponíveis na plataforma Google Earth Engine (GEE). As imagens foram filtradas para selecionar aquelas com baixa cobertura de nuvens e boa qualidade visual, garantindo representatividade espacial e temporal no conjunto de dados.

As imagens selecionadas foram processadas utilizando as ferramentas do CoastSat, que incluem a remoção de artefatos atmosféricos, correção radiométrica e ajuste geométrico. Adicionalmente, a ferramenta aplica um método de interpolação bilinear para aumentar automaticamente a resolução das bandas para o nível de subpixel. Após essas etapas, uma linha de referência foi traçada manualmente na posição da linha de costa na imagem mais recente disponível, servindo como calibração inicial do sistema.

3.3.2. Extração e Classificação da Linha de Costa e Posicionamento de Transectos e Validação

Com o processamento concluído, o CoastSat aplicou seu algoritmo de classificação para identificar a linha de costa. Este algoritmo utiliza o índice MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index), que combina a banda verde do espectro visível e a banda de infravermelho de ondas curtas para diferenciar áreas de areia, água, e outros elementos (vegetação, promontórios rochosos). Linhas de costa duplicadas ou com georreferenciamento impreciso foram removidas automaticamente, aumentando a confiabilidade do resultado. Em seguida, as linhas de costa foram exportadas em formato vetorial para análises posteriores. Transectos foram posicionados manualmente em locais estratégicos (Figura 5), próximos às barreiras perpendiculares à linha de costa do município, para análise detalhada. Sendo o transecto de número 3 o utilizado para análise de comparação com o CoastSnap.

Figura 5: Transectos demarcados no CoastSat da porção Sul da Praia Morro das Pedras, Florianópolis, SC.



Fonte: Elaborado pela autora

3.3.3. Análise Temporal da Linha de Costa e Integração com Dados do CoastSnap

Os dados extraídos passaram por uma correção de maré +/- 0,2m em relação a média e por fim, foram utilizados para realizar uma análise temporal para produzir gráficos de tendência com perfis gerados para identificar mudanças na posição da linha de costa, distinguindo eventos de erosão e acreção permitindo uma compreensão aprofundada dos processos costeiros na região sul da praia do Morro das Pedras que ilustrassem as mudanças na linha de costa ao longo do período de estudo detalhada da dinâmica da linha de costa.

As linhas de costa extraídas pelo CoastSat foram comparadas com os dados obtidos pelo CoastSnap, utilizando análises estatísticas, incluindo a correlação de Pearson. Essa abordagem visou avaliar a consistência entre os dois métodos, identificar padrões comuns e validar os resultados de ambas as ferramentas, proporcionando maior confiança nas análises da dinâmica costeira.

3.4. DADOS DE ONDAS

Os dados de ondas foram obtidos a partir do modelo de reanálise climática ERA5 (C3S, 2017). Na plataforma de disponibilização dos dados do ERA5 utilizou-se a mesma linha temporal de análise utilizada no CoastSnap, abrangendo o período de 9 setembro de 2022 a 31 de maio de 2024.

Os dados estabelecidos incluíram: i) altura significativa (H_s) em metros, ii) período de pico (T_p) em segundos, e iii) direção das ondas (Dir) em graus. Desta maneira, foi possível identificar relações entre as taxas de dinâmica da linha de costa e a distribuição da energia de ondas incidentes. Os dados foram extraídos das sub-regiões de $-27^\circ N$ a $-28^\circ S$ e $-48,5^\circ O$ a $-47,5^\circ L$, a aproximadamente 34km da costa da Ilha de Santa Catarina. Foram gerados gráficos de rosa das ondas e séries temporais para a análise do clima de ondas.

3.5. OBSERVAÇÃO DE GEOINDICADORES IN SITU

3.5.1. Área amostral

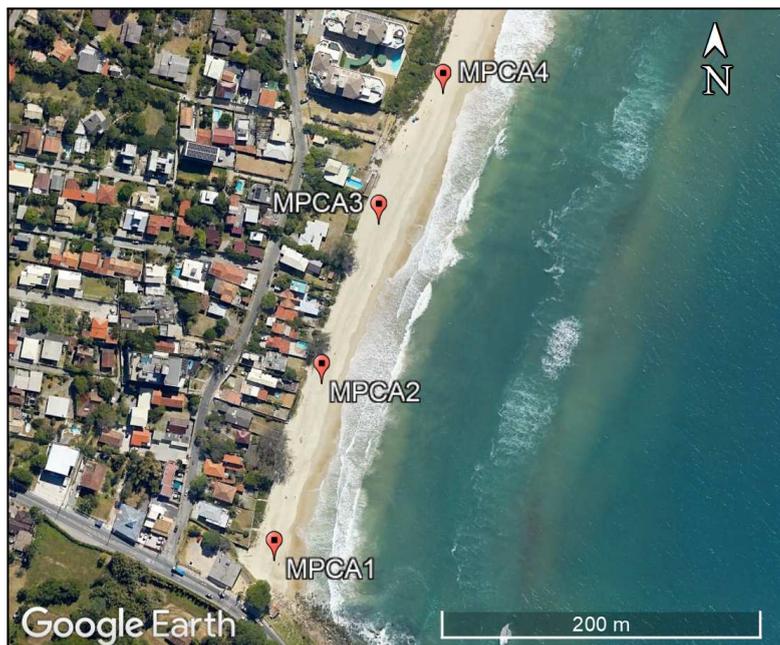
Foram realizadas onze campanhas durante o período de 27 de outubro de 2023 a 27 de maio de 2024, sempre nos dias 27 de cada mês e dois dias após os eventos de tempestade. A extensão da análise cobriu 300m ao longo da praia, desde a parte extrema sul do Morro das Pedras, abrangendo toda a região amostral das imagens tiradas no totem do CoastSnap (Figura 6). Dessa forma, foram estabelecidos por meio do auxílio de um GPS portátil, quatro setores (sendo eles: MPCA1, MPCA2, MPCA3 e MPCA4) de observação na faixa de linha de costa, com espaçamento de 100m entre eles (Quadro 1).

Quadro 1: Identificação e Localização dos Pontos de Coleta.

Setores de Observação	Latitude	Longitude	Espaçamento
MPCA1	22J 0746131	6931588	0m
MPCA2	22J 0746163	6931697	100m
MPCA3	22J 0746200	6931794	200m
MPCA4	22J0746242	6931876	300m

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 6: Mapa de Localização dos Pontos de Coleta.



Fonte: Elaborado pela autora

3.5.2. Ocorrência de Geoindicadores

Para a identificação de parâmetros que proporcionem uma rápida avaliação qualitativa da vulnerabilidade de costa a curto prazo (períodos menores que 100 anos) e de baixo custo, com ênfase no risco potencial de erosão, conforme descrito por Bush et al. (1999), foram observados a presença ou ausência de proxies em diferentes setores da praia de forma a auxiliar no monitoramento ambiental da dinâmica costeira.

Neste estudo, foram coletadas imagens comprobatórias de sete dos dez principais geoindicadores identificados no estudo de Martins et al. (2016) aplicáveis a toda a zona costeira do Brasil. Estes geoindicadores, descritos abaixo, encontram-se no Anexo A:

i) Escarpas: Conforme descrito por Jackson e Short (2020) são formadas por um corte abrupto numa elevação ou um barranco formado na praia ou nas dunas frontais como resultado da erosão. Sua formação ocorre quando a força do fluxo de retorno das ondas remove sedimentos da praia ou das dunas durante tempestades (erosão por tempestade);

ii) Concentrações de minerais pesados: São indicadores de transporte sedimentar, conforme Giannini (2004). Assim, uma mudança no comportamento mineralógico da praia indica a movimentação de sedimentos, que pode ocorrer como um processo erosivo, servindo como um geoindicador de erosão;

iii) Maquinário de Movimentação de Sedimento na Praia: As escavadeiras são maquinários utilizados na praia estudada para intervir artificialmente, preenchendo e construindo dunas frontais ou estabilizando-as, além de movimentar os sedimentos (USACE, 2024), suplementando com quantidades adicionais de areia para contrariar a remoção natural de sedimentos pelas ondas e correntes. Este é um método utilizado como geoindicador de erosão, pois é utilizado para mitigar a perda de areia e a proteger infraestruturas (residências e comércios);

iv) Sacos de areia: São utilizados como proteção não estrutural contra ondas em eventos de alta energia, conforme demonstrado por Sousa et al. (2011). Na área de estudo do Morro das Pedras, eles também são empregados para mitigar riscos erosivos. Nesse contexto, os sacos de areia atuam como geoindicadores de erosão, sinalizando a necessidade de incrementar a quantidade de sedimento artificialmente para proteger a área. Esses dispositivos são frequentemente instalados em conjunto com paliçadas e escavadeiras;

v) Paliçadas de madeira: São estacas de madeira fixadas na vertical, como por exemplo ilustrado no estudo de engenharia de Neto (2004) de forma a ser uma cerca ou uma barreira reduzindo a ação das ondas, demonstrando ser um bom geoindicador de erosão pela necessidade do mesmo em conter eventos erosionais. Na praia do Morro das Pedras, são frequentemente instalados juntamente aos sacos de areia;

vi) Vegetação rasteira ou restinga na duna: É um geoindicador de qualidade ambiental e erosão na praia analisada, pois de acordo com Abreu de Castilhos (1995), a redução de áreas de restinga na praia da Armação (incluindo o setor norte da Armação, onde está a praia do Morro das Pedras) deve-se ao aumento da ocupação sobre essas áreas e às fortes ressacas. Dessa forma, a presença e condição da vegetação de restinga das dunas funcionam como um *proxy* de erosão, sinalizando alterações no equilíbrio sedimentar e na estabilidade das praias e,

vii) Restos de construção civil na praia: Segundo Sousa e De Paula (2017), mudanças paisagísticas causadas pela erosão costeira deixam restos, como estacas de madeira soltas, tijolos e sacos de areia vazios, ao longo da faixa praial. A exposição

de estruturas humanas resulta da erosão, sendo cobertas ou descobertas pela areia conforme a agitação marítima.

Posteriormente, esses parâmetros foram tabulados para análise de compreensão da dinâmica da linha de costa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. COMPARTILHAMENTO DE IMAGENS ATRAVÉS DO COASTSNAP

Desde a implementação do totem do CoastSnap na praia do Morro das Pedras, em Santa Catarina, em 9 de setembro de 2022, até 31 de maio de 2024 (um período de 630 dias, equivalente a quase 21 meses), foram capturadas imagens por meio de smartphones pela comunidade local, transeuntes e turistas na referida estação e subsequentemente compartilhadas através das mídias sociais (*WhatsApp* e *Instagram*), totalizando 307 imagens recebidas. Dentre as imagens disponíveis, 95 foram relativas ao ano de 2022, 146 do ano de 2023 e 66 imagens do ano de 2024. Se tratando de usuários, 97 cidadãos contribuíram com imagens.

A coleta das imagens realizada por meio do totem do CoastSnap na praia do Morro das Pedras abrangeu um período que compreendeu as quatro estações completas do ano de 2023 e com estações parcialmente amostradas nos anos de 2022 e 2024, conforme indicado a seguir:

- **Inverno:** de 9 de setembro a 22 de setembro de 2022; 21 de junho a 23 de setembro de 2023.
- **Primavera:** 23 de setembro a 21 de dezembro de 2022; 23 de setembro a 21 de dezembro de 2023.
- **Verão:** 22 de dezembro de 2022 a 19 de março de 2023; 22 de dezembro de 2023 a 19 de março de 2024.
- **Outono:** 20 de março a 20 de junho de 2023; 20 de março a 31 de maio de 2024.

A divisão temporal proporcionou uma análise mais detalhada das mudanças sazonais e um dado da quantidade de imagens recebidas da região.

A relação das imagens recebidas nas estações do ano, desde a instalação até maio de 2024, está exemplificada nas Tabelas 1 e 2. Em 2022, a maior quantidade de

imagens foi recebida na primavera, com outubro sendo o mês com o maior número de imagens. Em 2023, a maioria das imagens foi recebida no verão, com fevereiro sendo o mês mais ativo. Em 2024, o outono apresentou a maior quantidade de imagens, com abril sendo o mês com o maior número de registros. Vale destacar que a estação foi instalada no final do inverno de 2022, não estando em operação no outono daquele ano, e o período de análise em 2024 terminou no meio do outono.

Tabela 1: Distribuição sazonal da quantidade de imagens recebidas.

Ano	Inverno	Primavera	Verão	Outono
2022	17	77	38	-
2023	41	21	45	40
2024	-	-	-	24

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 2: Distribuição da quantidade de imagens recebidas sazonalmente detalhada de forma mensal.

	Inverno				Primavera				Verão				Outono				Total
	21 Jun	Jul	Ago	22 Set	23 Set	Out	Nov	21 Dez	22 Dez	Jan	Fev	19 Mar	20 Mar	Abr	Mai	20 Jun	
2022	*	*	*	➤17	9	44	21	3	1	*	*	*	*	*	*	*	95
2023	5	23	13	4	1	9	11	0	3	9	21	7	4	7	15	14	146
2024	*	*	*	*	*	*	*	*	*	22	12	8	9	10	5	*	66

Legenda:

(*) - Ausência de dados

➤ - Início da coleta

Fonte: Elaborado pela autora.

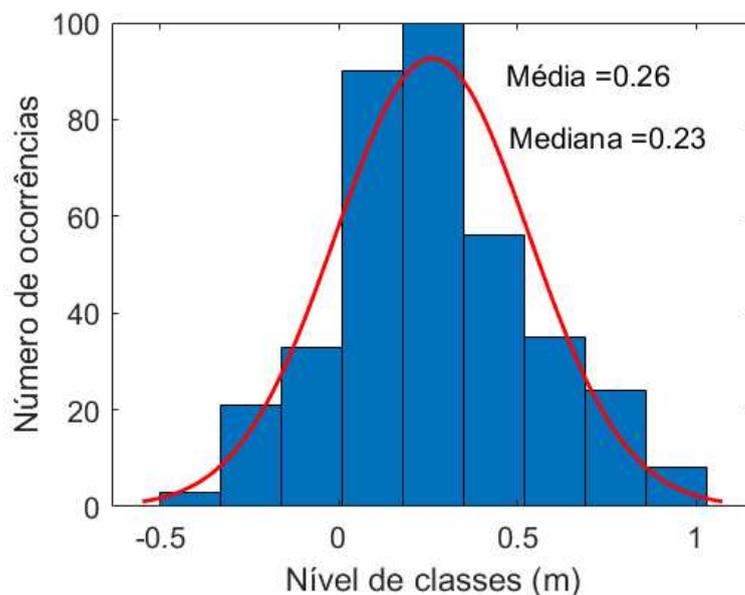
4.2. DADOS DE MARÉ PARA IMAGEM BASE

Durante o período de 20 meses e 22 dias, foram realizadas análises das mudanças na linha de costa com base nas imagens recebidas. Para compreender melhor o comportamento da praia em relação às suas variações naturais, foi necessário adotar um nível específico de maré, a fim de separar os efeitos das oscilações harmônicas do nível da maré das flutuações naturais da praia.

Os dados do histograma foram utilizados para determinar o nível de referência para a análise das imagens. O histograma, apresentado na Figura 7, foi gerado com base em todas as imagens registradas no banco de dados durante o período analisado. Esse histograma fornece uma visão detalhada da distribuição dos níveis, mostrando a frequência de ocorrência de diferentes valores (classes) de nível.

A análise do histograma revelou que a média dos níveis foi de 0,26m e a mediana foi de 0,23m. A média representa o valor médio dos níveis de maré registrados, enquanto a mediana indica o valor central, com 50% das observações abaixo e 50% acima desse valor. No entanto, não foram encontradas imagens com o valor exato da maré média de 0,26 m. Portanto, foi selecionada a imagem mais próxima desse nível, que registrou uma maré de 0,27m e foi obtida em 19 de janeiro de 2023, para servir como imagem base na análise.

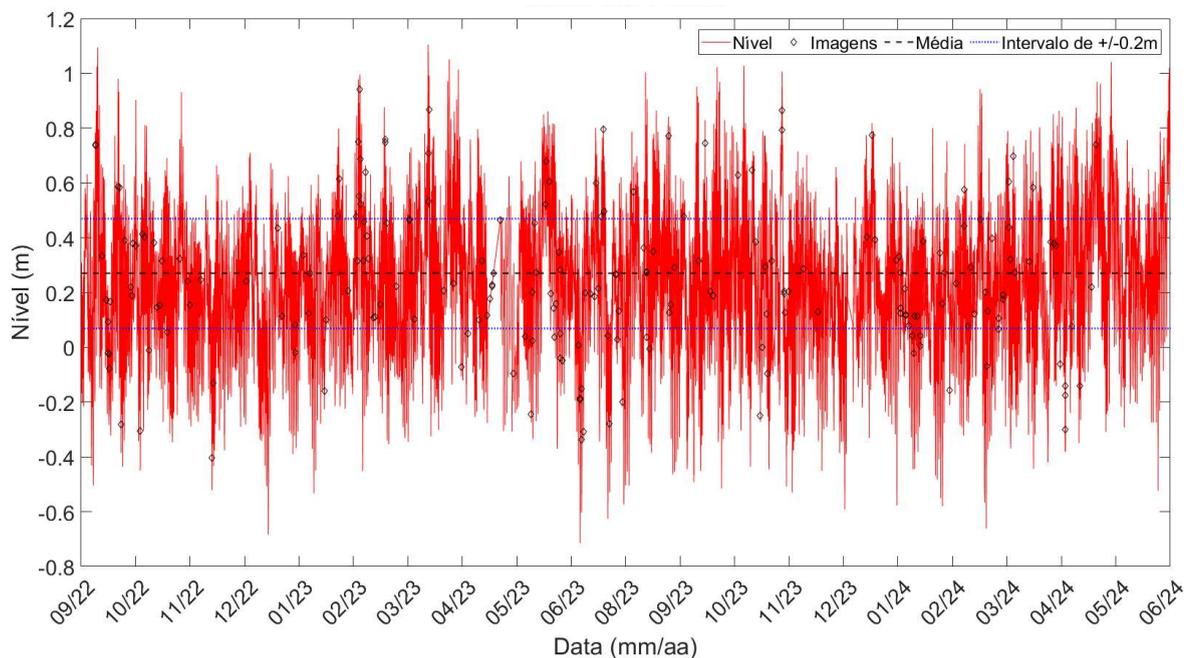
Figura 7: Histograma das classes de nível em relação ao número de ocorrências das imagens recebidas no período de análise no totem do CoastSnap na praia do Morro das Pedras, Florianópolis, SC.



Fonte: Elaborado pela autora.

Após a determinação do nível mais recorrente, gerou-se o gráfico de variação do nível em relação à quantidade de imagens recebidas (Figura 8) para a visualização temporal da quantidade de imagens dentro do intervalo de nível estabelecido. A Figura 8 traz como linha de referência o valor adotado (0,27m) e o intervalo de nível utilizado de $\pm 0,2$ m. Vale salientar que, as imagens foram selecionadas dentro dessa faixa de variação de nível e, conseqüentemente, aquelas que se situaram fora dessa faixa, ou seja, com variação de nível além dos limites de 0,47 a 0,07 metros não foram consideradas na avaliação das mudanças da linha de costa.

Figura 8: Nível em relação a quantidade de imagens recebidas pela Estação Morro do CoastSnap.



Fonte: Elaborado pela autora.

Ainda no gráfico (Figura 8), destaca-se também uma disparidade na amplitude das marés ao longo do período analisado. Observa-se uma significativa variação vertical entre o ápice da preamar e a menor baixamar, com uma amplitude máxima de 1,10m, registrada em fevereiro de 2023, contrastada com uma mínima de -0,76m, observada em junho de 2023. Em 2022, os maiores níveis foram registrados em setembro, enquanto os menores em dezembro. No ano de 2023, os maiores níveis foram observados em fevereiro, março, abril, julho, setembro e outubro, e os menores foram em junho, julho, novembro e dezembro. Já no ano de 2024, os maiores níveis foram registrados em abril, e os menores em janeiro e fevereiro.

4.3. ANÁLISES DAS LINHAS DE COSTA

Para a utilização das imagens como dados, foi conduzido uma análise criteriosa para a seleção das imagens que seriam empregadas no processo de retificação, anteriormente citada na metodologia utilizando: i) imagens com qualidade de

iluminação; ii) imagem tirada com celular na horizontal e; iii) pontos de controle visíveis na imagem; iv) imagem em formato JPG e v) resolução inferior a 1 MB.

Após a filtragem do conjunto total de 307 imagens recebidas entre setembro de 2022 e maio de 2024, e considerando os critérios de qualidade das imagens e ajustes de nível, resultou em 117 imagens utilizadas para a análise das linhas de costa (Figura 8). Especificamente, foram retificadas 21 imagens em 2022, 63 imagens em 2023 e 33 imagens em 2024.

Figura 9: Total de linhas de costa digitalizadas durante o período de estudo com imagem base de 19 de janeiro de 2023 ao fundo da praia do Morro das Pedras, SC.

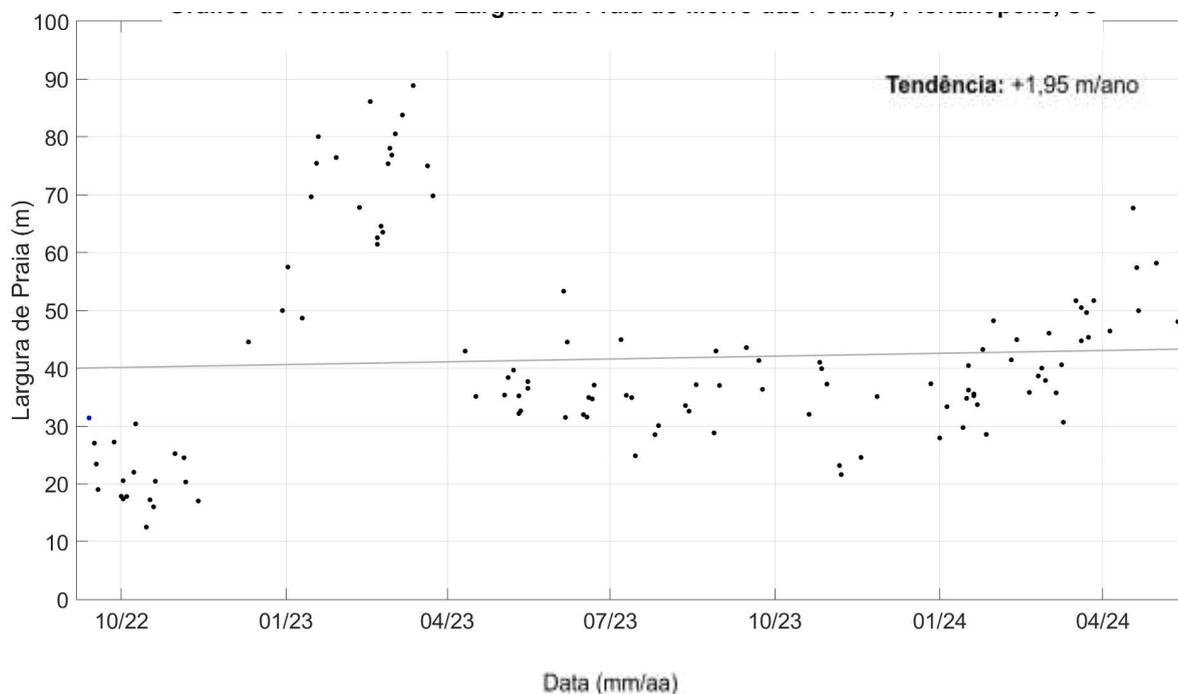


Fonte: Elaborado pela autora.

Na Figura 9, são exibidas todas as linhas de costa digitalizadas ao longo do período de estudo. A imagem apresenta a variabilidade total do conjunto de dados coletados, destacando a amplitude das movimentações de areia na área analisada. A linha de costa base, cor azul, obtida em 19 de janeiro de 2023 com um nível de 0,27m, serve como referência.

A Figura 10 fornece dados detalhados sobre a variação da largura da praia ao longo do período de estudo, permitindo uma avaliação aprofundada dos períodos sazonais e mensais, e da sua tendência total, explicadas abaixo.

Figura 10: Variação da largura da praia e padrão de tendência da Praia Morro das Pedras, Florianópolis, SC.



Durante o verão de 2022-2023, a análise das imagens iniciou-se em 30 de dezembro de 2022 e terminou em 13 de março de 2023. A largura da praia começou em aproximadamente 50m e aumentou para 58m no dia 2 de janeiro de 2023. Após uma breve erosão para 45m em 10 de janeiro, a largura da praia apresentou um aumento gradual, atingindo 80m no final de janeiro (29/01). No dia 11 de fevereiro foi registrado uma largura de praia de aproximadamente 67m, havendo uma acreção adicional no dia 17 de fevereiro, chegando a 85m, seguida por uma redução e subsequente aumento até 88m no dia 13 de março. Este foi o maior aumento registrado para largura de costa no período estudado, marcando o verão de 2022-2023, como o mais acrescivo de todas as estações.

No outono de 2023, a partir de 21 de março até 19 de junho, a largura da praia apresentou uma variação significativa. A largura inicial era de aproximadamente 75m, reduzindo-se para 70m ao final de março (24/03) e continuando a diminuir até 35m em 17 de abril. No mês de maio, houve pequenas variações com períodos de acréscimo e erosão, terminando em 37m no dia 16 de maio. Em 5 de junho a largura da praia era de 55m com um período erosivo chegando a 35m em 19 de junho. Da primeira imagem à última, a largura variou de aproximadamente 75m a 35m, com uma diferença de 40m. O que eflite essa tendência erosional predominante ao longo do outono.

Durante o inverno de 2023, a análise foi feita entre 21 de junho e 22 de setembro. A largura da praia começou em 35m, aumentando para 44m em 7 de julho, seguida por uma erosão para 24m (15/07). No mês de agosto ocorreu uma recuperação gradual para 37m, seguida de uma erosão no dia 28 para 28m. No mês de setembro a praia passou por uma acreção de largura de praia com 43m no dia 15, e mais um pequeno processo erosivo finalizando o inverno com 41m no dia 22. Da primeira imagem à última, a largura de praia variou de 35 a 41 metros, indicando uma leve tendência acrescional durante o inverno.

Na primavera de 2023, de 24 de setembro a 27 de novembro, a largura da praia começou em 36m e diminuiu para 32m até o dia 20 de outubro. Após um breve aumento para 41m, a largura reduziu para 21m no dia 6 de novembro, seguida por um aumento final no dia 27 de novembro para 35m. Apesar dessas flutuações ocorre uma tendência erosional predominante durante a primavera.

No verão de 2023-2024, entre 27 de dezembro e 17 de março, houveram algumas oscilações de largura da praia. No início de janeiro, a largura diminuiu de 37m para cerca de 28m (01/01), seguida por uma acreção para 33m (05/01). Em meados de

janeiro, ocorreu outra erosão, reduzindo a largura para cerca de 29m (14/01). Em seguida, houve uma acreção gradual que atingiu 40m (17/01). Outro episódio erosivo ocorreu, diminuindo a largura para 33m (22/01), e dois dias depois, uma acreção aumentou a largura para 43m (25/01). Após nova erosão, a largura chegou a 28m dois dias depois (27/01), encerrando janeiro com uma acreção que alcançou 48m (31/01). Em meados de fevereiro (13/02), ocorreu uma acreção que atingiu 45m, seguida por erosão que reduziu a largura para 35m (20/02). No final do mês (25/02), a largura aumentou para 38m. No início de março (02/03), houve uma acreção que atingiu 46m, seguida por erosão que reduziu a largura para 35m. Em 9 de março, a largura aumentou para 40m, mas no dia seguinte, uma erosão reduziu para 30m. O verão terminou em 17 de março com uma acreção que resultou em uma largura de praia de 51m. Essas oscilações entre erosão e acreção, variando de aproximadamente 28m a 51m, com uma diferença entre a primeira e última imagem de 23m. Indicam uma tendência acrescional durante o verão, com aumento na largura da praia.

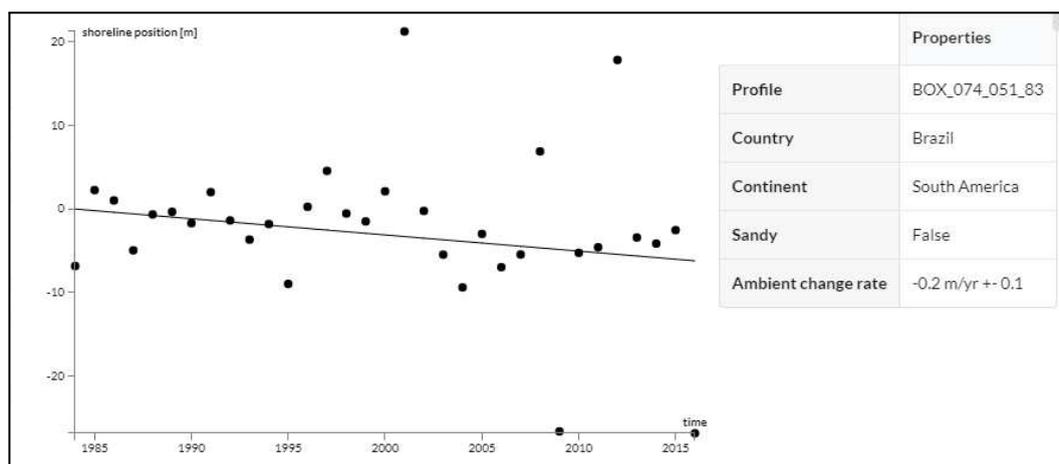
Por fim, no outono de 2024, de 20 de março a 13 de maio, iniciou com uma largura de praia de aproximadamente 50m. Três dias depois, a largura aumentou de 44m a 49m (23/03), seguida por acreção gradual no final de março (27/03) aumentando a largura para 51m. No início de abril (05/04), a praia reduziu a largura para 46m. Em meados de abril (18/04), uma acreção significativa aumentou a largura para 67m, seguida por uma erosão gradual que reduziu a largura para 50m no final de abril (21/04). Em maio, uma acreção elevou a largura para 58m, mas uma erosão subsequente reduziu a largura para 48m no dia 13. O que reflete essa dinâmica de variação acrescional da largura da praia ao longo do período.

Dessa forma, é possível observar uma sazonalidade na movimentação da praia ao longo das estações. No inverno de 2022, houve uma tendência erosiva, enquanto no inverno de 2023, a tendência foi acresciva. Na primavera de 2022, observou-se uma tendência acresciva, em contraste com a primavera de 2023, que apresentou uma tendência erosiva. O verão de 2022-2023 teve uma tendência acresciva, com a maior variação encontrada no período, e o verão de 2023-2024 também apresentou uma tendência acresciva. No outono de 2023, houve uma tendência erosiva, enquanto no outono de 2024 a tendência foi acresciva.

No total, a linha de tendência acumulada de setembro de 2022 a maio de 2024 indicou uma tendência de acreção de +1,95m/ano (Figura 10), apesar das flutuações na largura da linha de costa. Vale salientar que estudos anteriores, como o de

Luijendijk (2018) (Figura 11), observaram uma tendência erosiva de $-0,2\text{m/ano}$ para a mesma praia entre 1984 e 2015.

Figura 11: Gráfico de Tendência de Largura da Praia do Morro das Pedras, Florianópolis, SC de 1985 a 2015.



Fonte: Elaborado por Luijendijk, 2018

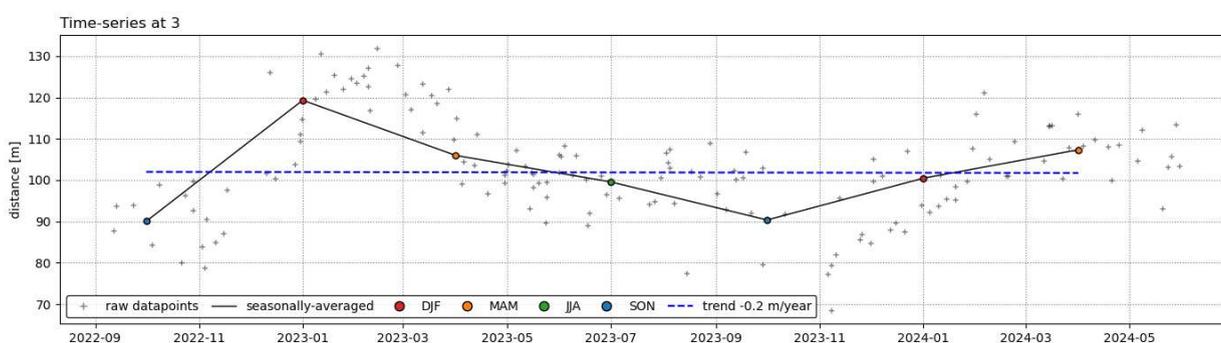
4.4. ANÁLISE DE LINHA DE COSTA ATRAVÉS DE IMAGENS DE SATÉLITE

Outra análise observada foi utilizando os dados do CoastSat (VOS et al., 2019), nos quais foram utilizados dados do mesmo período amostral de 09 de setembro de 2022 a 31 de maio de 2024. Para este período foram obtidas 297 imagens de satélites (L8: 53 imagens, L9: 58 imagens, S2: 186 imagens). E no final após correções de maré foram mapeadas 148 linhas de costa. Com uma taxa de variação de linha de costa de $-0,2\text{m/ano}$ (Figura 12).

Vale salientar que tanto os dados do CoastSat (Figura 13.A) quanto aos dados do CoastSnap (Figura 13.B) apresentaram uma proporcionalidade nos dados de erosão e acreção em datas relativas (Figura 13.C). Dessa forma para validar o esperado, foi feita uma análise onde obteve os Resultados da Regressão Linear: tendo encontrado o Coeficiente Angular (slope): 0.98 sendo próximo a 1 indicando uma relação linear positiva; o Coeficiente de Correlação de Pearson (r): 0.76 indicado com uma correlação positiva forte (SHORT & TREMBANIS, 2004) (Figura 14), mostrando que quando a linha de costa tem uma acreção observada nos dados gerados pelo

CoastSat ocorre o mesmo nos dados gerados pelo CoastSnap; e obteve o valor-p: 6.750^{-29} este valor tão baixo indica que a correlação é estatisticamente significativa; e um erro Padrão: 0.07 sugerindo que o coeficiente angular está bem estimado e com alta precisão. Apesar da correlação forte, as linhas não se sobrepõem e isso se dá pelos pontos de origem do CoastSnap e CoastSat serem diferentes em cada transecto.

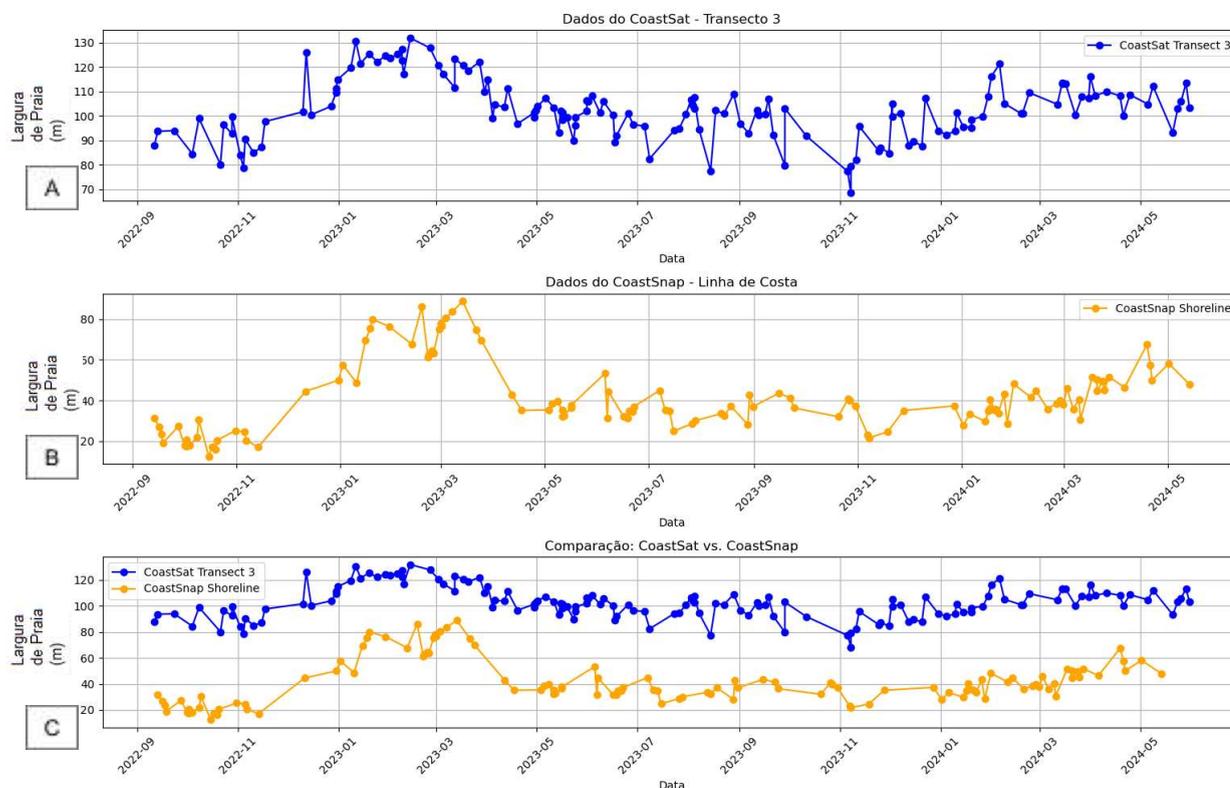
Figura 12: Gráfico de Tendência de Largura da Praia do Morro das Pedras, Florianópolis, SC gerada no CoastSat.



Fonte: Elaborado pela autora, 2024

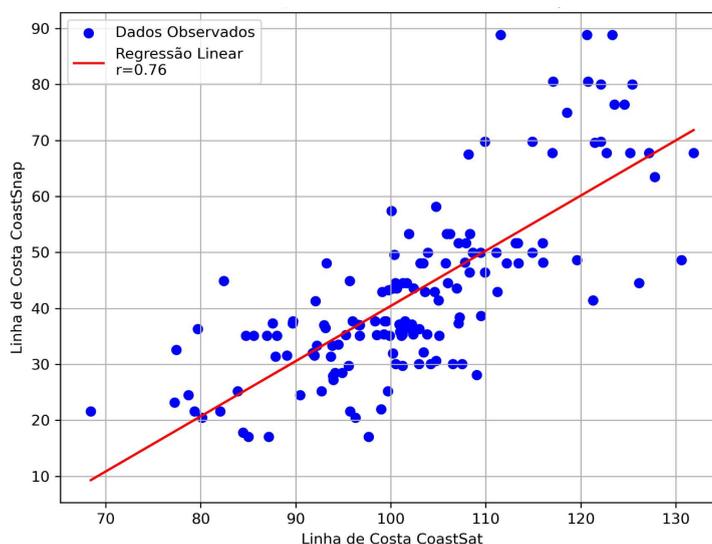
Em subsequência existe um outro estudo desenvolvido por Torronteguy (2002), no qual o autor analisou dados coletados de 2000 a 2001, onde foi observada uma variação na largura da praia de +9,05m, mas de acordo com o mesmo, o balanço final não pode ser interpretado como tendência do perfil. Entretanto, Gomes et. al. (2022), 2018 a 2019 analisou significativo recuo de linha de costa, com taxas de -1,6m/ano e pequenas acreções de até +1,07m/ano. E de acordo com este estudo atual, de 2022 a 2024 há uma tendência acresciva de +1,95m/ano, em conformidade com a tendência positiva encontrada por Torronteguy (2002), porém com o seu valor de acreção em declínio. É próxima aos valores encontrados em Gomes et. al., (2022), e contrapondo os valores de Luijendijk (2018), porém, este último acompanha um período de análise costeira maior, com mais de 30 anos de estudo.

Figura 13: Gráficos de comparação observados de Largura da Praia do Morro das Pedras, Florianópolis, SC. (A) Do CoastSat. (B) Do CoastSnap. (C) Dados Integrados CoastSat e CoastSnap.



Fonte: Elaborado pela autora, 2024

Figura 14: Gráfico de correlação de Pearson dos dados de largura de praia obtidos pelo CoastSnap e CoastSat, na praia do Morro das Pedras, Florianópolis, SC.



Fonte: Elaborado pela autora, 2024

4.5.GEOINDICADORES EROSIVOS

Na Tabela 3 encontram-se as datas que cada campanha foi realizada. E a Tabela 4 apresenta os resultados obtidos visualmente para cada campanha, indicando a presença e ausência de cada proxy nos quatro setores correspondentes (Figura 6).

Tabela 3: Data de realização das atividades em campo (campanhas).

Campanha	Data
MPC1A	27/10/2023
MPC2A	06/11/2023
MPC3A	27/11/2023
MPC4A	27/12/2023
MPC5A	20/01/2024
MPC6A	27/01/2024
MPC7A	18/02/2024
MPC8A	27/02/2024
MPC9A	27/03/2024
MPC10A	27/04/2024
MPC11A	17/05/2024

Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 4: Presença (P) ou Ausência (A) de Geoindicadores na Observação In Situ nos 4 setores de cada campanha.

	MPC1A				MPC2A				MPC3A				MPC4A				MPC5A				MPC6A				MPC7A				MPC8A				MPC9A				MPC10A				MPC11A											
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A								
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4								
Escarpas	A	P	A	A	A	P	A	A	P	A	A	A	P	P	A	A	P	A	A	A	P	A	A	A	P	A	A	A	A	A	P	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	P	A	A	A
Minerais Pesados	P	A	P	P	A	P	A	A	P	A	A	P	P	A	A	P	P	A	A	A	P	P	A	P	P	P	A	A	A	A	P	P	A	A	A	A	P	P	A	A	P	P	A	A	P	P	A	A	P	P	P	P
Escava-deiras	P	-	-	-	P	-	-	-	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Sacos de areia	P	A	A	P	P	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	P	P	A	P	P	P	A	P	P	P	A	P	P	P	A	P	P	P	A	P	P	P	A	P	A	P	A	A				
Paliçadas	P	A	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P				
Restinga de duna	A	A	P	P	A	A	P	P	A	A	P	P	A	A	P	P	A	A	P	P	A	A	P	P	A	A	P	P	A	A	P	P	A	A	P	P	A	A	P	P	A	A	P	P	A	P	P	P				
Restos de Const. da Praia	A	A	A	A	A	A	A	A	P	A	A	A	P	A	A	A	P	A	A	A	P	A	P	A	P	A	A	P	A	P	A	P	A	A	A	A	P	A	P	A	A	A	A	A	P	A	A	A	P	P	A	A

Fonte: Elaborado pela autora

Como mostrado na Tabela 5, observou-se que, no setor A1 dos geoindicadores analisados, encontraram-se: escarpas (54,54%), concentrações de minerais pesados (72,72%), escavadeiras (18,18%), sacos de areia (63,63%), obras de proteção ambiental (paliçada) (90,90%) e restos de construção (72%). A baixa porcentagem de escavadeiras deve-se ao fato de terem sido observados em apenas duas campanhas (27/10/2023 e 06/11/2023), mas ainda assim, foi o único local onde apareceram. No setor A2, encontraram-se: escarpas (27,27%), concentrações de minerais pesados (45,45%), sacos de areia (90,90%), obras de proteção ambiental (paliçada) (90,90%), e restinga de duna (9,09%). A baixa porcentagem de restinga na duna é resultado de um pequeno crescimento observado apenas uma vez na última campanha (17/05/2024). No setor A3, encontraram-se: escarpas (9,09%), concentrações de minerais pesados (27,27%), obras de proteção ambiental (paliçada) (100%), restinga de duna (100%) e restos de construção (18,18%). A baixa porcentagem de escarpas deve-se a um desenvolvimento observado apenas uma vez em 27/02/2024. No setor A4, encontraram-se: concentrações de minerais pesados (54,54%), sacos de areia (100%), obras de proteção ambiental (paliçada) (100%) e restinga de duna (100%).

Tabela 5: Frequência de Presença de Geoindicadores na Observação In Situ nos 4 setores

	MPC			
	A1	A2	A3	A4
Escarpas	54,54%	27,27%	9,09%	0%
Minerais Pesados	72,72%	45,45%	27,27%	54,54%
Escavadeiras	18,18%	0%	0%	0%
Sacos de Areia	63,63%	90,90%	0%	100%
Obra de proteção (paliçada)	90,90%	90,90%	100%	100%
Restinga de Duna	0%	9,09%	100%	100%
Restos de Construção na Praia	72%	0%	18,18%	0%

Fonte: Elaborado pela autora

A distribuição e frequência dos geoindicadores erosivos ao longo da praia são fenômenos complexos, influenciados por uma variedade de fatores oceanográficos, geomorfológicos e antropogênicos. Com a análise dos padrões e relações dos setores A1, A2, A3 e A4, destacando suas características distintas e os processos que caracterizaram a presença ou ausência desses proxies em termos de maiores porcentagens, foram melhor compreendidos alguns fatores relacionados.

A presença abundante de paliçadas (estacas de madeira) em todos os setores da praia, sugere uma intervenção significativa para mitigar a erosão costeira ou restaurar artificialmente as dunas e restingas. Conforme observado por Oliveira et al. (2014), a construção de paliçadas foi uma solução adotada para enfrentar os desafios erosivos. No entanto, é importante destacar que, conforme alertado por Kraus (1988), a implementação inadequada de estruturas de contenção costeira, como paliçadas, pode resultar em consequências severas e custosas.

Na percepção da presença e ausência de sacos de areia, correlacionou-se com as paliçadas, pois ambos são perceptíveis nos setores A1, A2 e A4 e em grande quantidade, porém com uma diferença de sacos de areia com menor frequência no setor A1, isso ocorreu pois os sacos de areia são recobertos pela duna frontal e não aparecem, mas certamente os sacos estão abaixo do sedimento e reaparecem após eventos de tempestade onde ocorre uma diminuição da quantidade de volume da duna. Quanto ao A3, também diferente da paliçada (que tem a presença) não foram encontrados sacos de areia por já ser um setor onde a duna está um pouco mais estabilizada pela presença da restinga em crescimento, diferente de A1 que não apresenta e A2 com pouca vegetação rasteira.

Quanto às escarpas encontradas nos setores, percebeu-se que, enquanto A1 e A2 tem grande presença, em A3 foram pouquíssimas as observadas e no A4 em momento algum foi possível analisar a presença das escarpas. Essa distribuição assimétrica teve como fatores intervenções antrópicas específicas e características geomorfológicas que limitam a ação das ondas. Isso inclui a presença de estacas de madeira (paliçadas) que atuam como barreira física contra a erosão, reduzindo a extensão da zona de espraiamento, como no setor A1 onde o refluxo de ondas (*backwash*) retira sedimento da duna frontal. Em seu estudo Abreu de Castilho (1995) aponta sobre a face sul da praia da Armação (onde se localiza a praia do Morro das Pedras), como uma área caracterizada pela urbanização e presença de granulometria mais grossa, o que resulta em uma energia de ondas mais elevada, favorecendo a formação de escarpas. Já o setor A4 não apresentou nenhuma escarpa pela constância da linha de *swash* estar próxima a estrutura formada pela paliçada, e sacos de areia juntos.

De acordo com, Fisher e Overton (1985) em seu estudo analisaram que a quantidade de sedimento perdido de uma duna, causado pela formação de escarpas está associada ao fluxo de retorno da onda; isso também explicou o porquê nas dunas de A1 não apresentaram restinga na duna, pois constantemente sofreu alterações pela energia de ondas e no A2 só foi encontrado uma única vez, enquanto em A3 foi encontrado mais vezes por sua maior faixa de areia no pós praia e em A4 por ter tido as paliçadas e sacos de areia em grande quantidade, formando uma barreira mais rígida que é possível encontrar mais vegetação em crescimento.

Isso também explicou a ausência de restinga nas dunas de A1, que frequentemente sofrem alterações devido à energia das ondas. Vale salientar que, de

acordo com Abreu de Castilhos (1995), devido a crescente pressão imobiliária, tem-se diminuído a restinga, e em momentos fortes de ressacas a mesma pode desaparecer. Quanto ao setor A2, a presença de restinga foi observada apenas uma vez, enquanto em A3 ocorreu com maior frequência devido à extensão maior da faixa de areia na zona pós-praia. Já em A4, onde as paliçadas e sacos de areia foram amplamente utilizadas, formando uma barreira mais robusta, foi possível encontrar maior vegetação em crescimento.

Quanto à presença de maquinários (escavadeiras) foi observado somente no setor A1, e coincidentemente, por ser o local onde mais necessitou a movimentação de sedimento para a reconstrução da duna. E de acordo com Kraus (1996), a construção de muros de contenção, apesar de serem projetados para resguardar a costa, não é possível afirmar que aumenta o risco de erosão ao invés de mitigá-la, mas sim que, com estudos antes da obra (erosão passiva) e depois (erosão ativa) é possível ter um dado mais apurado.

Quanto aos minerais pesados encontrados, foi observado em todos os setores porém com maior incidência no A1 e A4. De acordo com Souza (1997), poucos estudos são conclusivos quanto à erosão estar totalmente correlacionada com minerais pesados, apesar de existirem estudos como Frihy e Dewidar (1993) que fazem esta correlação. Apesar da frequência ter sido percebida em maioria, imagens foram tiradas dentro da geolocalização de cada setor e sempre no mesmo local de uma certa porção de sedimentos e dentro dela se encontrou a olho nu, nem sempre em grande quantidade, como é possível perceber na Figura 15.

A maior presença de restos de construção na praia foi observada no setor A1, enquanto que no setor A3 foi mínima e inexistente nos demais setores. A concentração de resíduos no setor A1 pode ser atribuída à intensa atividade de obras artificiais nessa área, que, conseqüentemente, apresenta maior energia de ondas devido à sua maior inclinação. Embora a praia possua uma face praiar refletiva, característica de praias com areia mais grossa (TORRATEGUY, 2002), ela se comporta como uma praia intermediária, frequentemente formando bancos de areia e caracterizada pela presença de correntes de retorno, associado a regimes de alta energia de ondas (WRIGHT & SHORT, 1984).

Figura 15: Identificação de minerais pesados a partir de imagens. (A) Presença de minerais pesados evidenciada na imagem do sedimento. (B) Presença de minerais pesados evidenciada na imagem da praia.



Fonte: Elaborado pela autora.

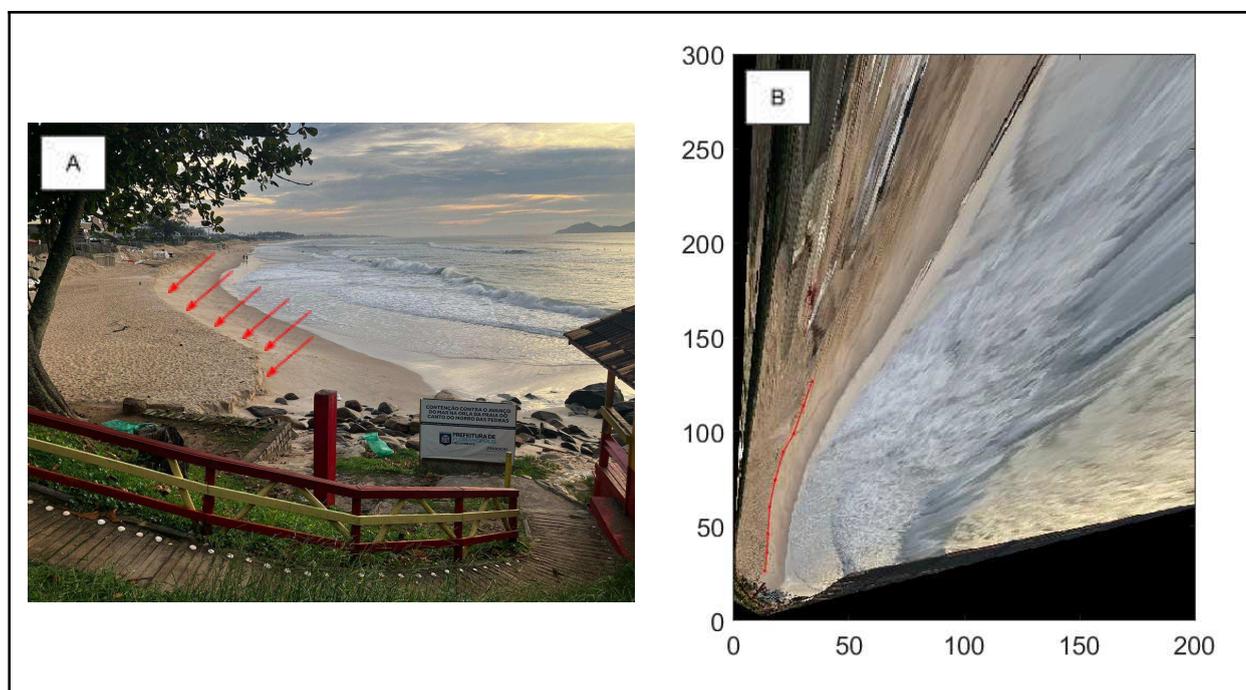
4.5.1. Variabilidade De Escarpas Erosivas

Escarpas de Praia são cortes abruptos numa elevação, sendo que, em formações lineares surgem quando o perfil da praia é excessivamente inclinado em relação às condições predominantes de ondas, resultando em um desequilíbrio (Figura 16). Essas escarpas geralmente se formam quando uma praia, previamente acumulada (presença de duna), é exposta a um aumento na energia das ondas. Nesse processo, a parte inferior do perfil da praia tende a se tornar mais plana, enquanto a parte superior retém seu declive original. Quando a descontinuidade entre essas duas partes se torna suficientemente acentuada, ocorrem deslizamentos e colapsos, intensificando a inclinação da face da escarpa (JACKSON E SHORT, 2020).

Dessa forma sua alta presença é extrapolada para a análise amostral de setembro de 2022 a maio de 2024 (Figura 17). Tendo tido total de escarpas erosivas observadas durante o período de análise das imagens do CoastSnap, de 65 imagens com presença de escarpas e 242 com ausência, totalizando uma frequência encontrada de escarpas de 21,2%. Sendo que, no ano de 2022, foram 4 observadas de 95 imagens (4,2%), no ano de 2023 foram observadas 38 de 146 (26%) e no ano de 2024 foram observadas 21 de 66 (31,8%).

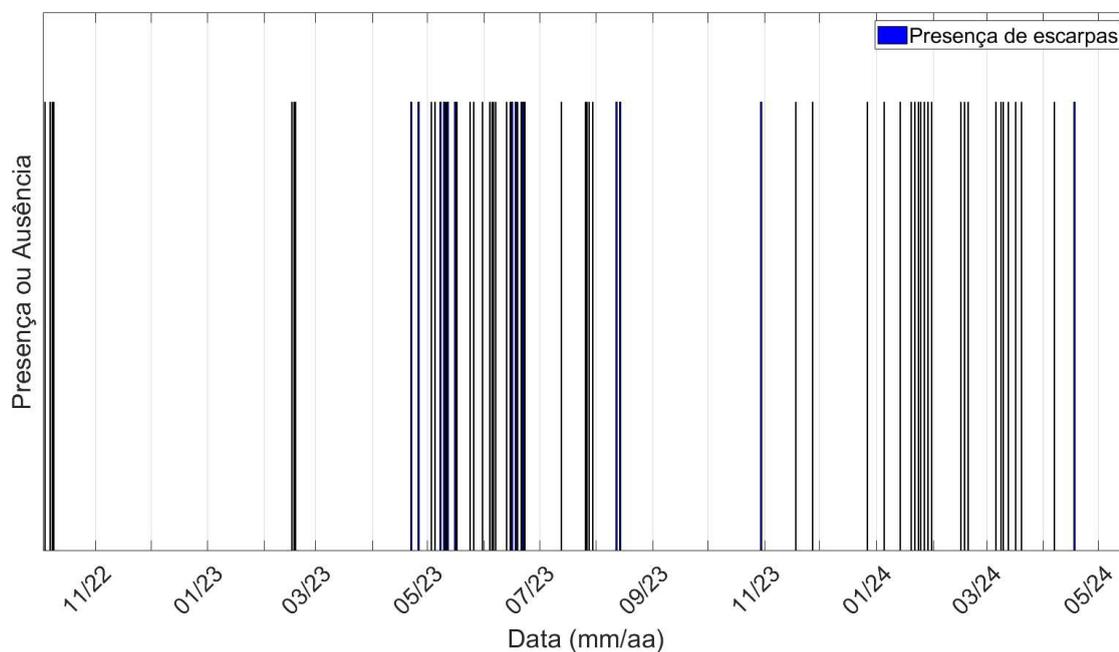
Para uma melhor observação sazonal ao longo dos anos, foi criada a Figura 18. Percebeu-se que em 2022, por abranger apenas o final do inverno (parte do mês de setembro de 2022), toda a primavera e o início do verão (dezembro de 2022), além de ser um ano com a maior acreção observada durante o período do estudo, houve uma menor quantidade de escarpas, todas na primavera (4). Em contraste, no ano de 2023, observou-se uma maior presença de escarpas, com a maior quantidade ocorrendo no outono (21) e inverno (9), épocas caracterizadas pela maior energia das ondas. E no ano de 2024, que abrangeu a estação completa do verão e parte do outono (até maio de 2024), com 18 ocorrências no verão e 4 no outono, vale salientar que o verão de 2023/2024 foi menos acrecivo que o verão de 2022/2023, podendo ser também um indicador do porque foi observada uma grande quantidade de escarpas, além do outono de 2024 ter sido acrecivo em comparação ao de 2023 que foi erosivo e com a presença de mais escarpas.

Figura 16: Exemplo do dia 05 de maio de 2023 com presença de escarpa. (A) Imagem coletada na estação do CoastSnap. (B) Imagem retificada.



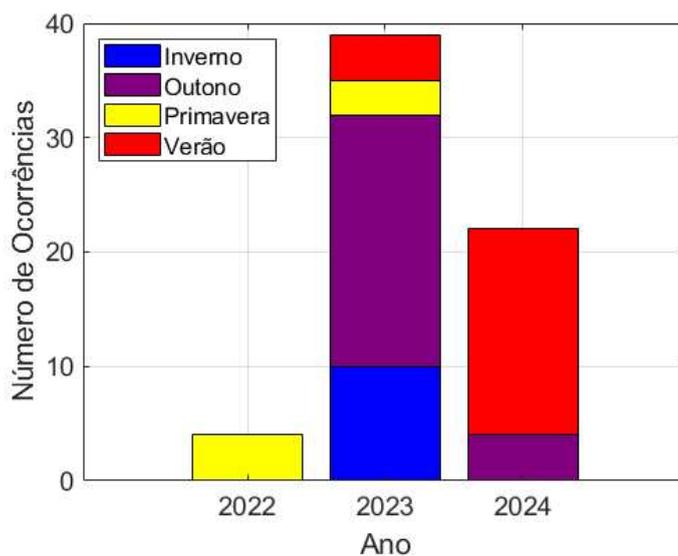
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 17: Presença ou ausência de escarpas erosivas nas imagens recebidas no período de setembro de 2022 a maio de 2024.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 18: Gráfico da quantidade de escarpas encontradas nas imagens tiradas do totem do CoastSnap na praia do Morro das Pedras, Florianópolis, SC.



Fonte: Elaborado pela autora.

4.6. VARIABILIDADE DO CLIMA DE ONDAS

Foram analisados os dados de altura e direção de ondas no período estudado (Figura 19), observando-se a maior predominância nas direções Leste (37,39%), Sudeste (34,43%), Nordeste (19,25%) e Sul (8,11%). As menores frequências de direção ocorreram nas direções Norte (0,68%) e Sudoeste (0,14%), com muito poucas presenças. Verificando as maiores frequências nas direções Leste e Sudeste, como também observado nos trabalhos de monitoramento anteriores (TORRONGUY, 2002; ARAUJO et. al., 2003; BROGGIO, 2015; GOMES et. al., 2022).

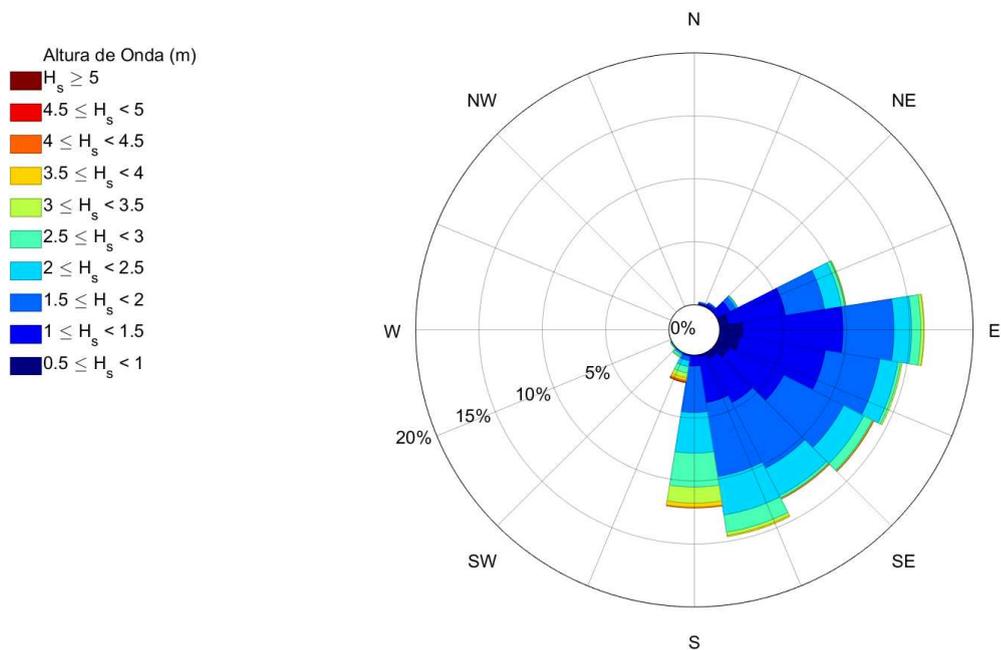
A média de altura de ondas foi maior na direção Sul, com 2,58m e período médio de 10 segundos. Em seguida, a direção Sudoeste apresentou média de altura de 2,42m e período médio de 7,8 segundos, enquanto a direção Sudeste registrou média de altura de 1,84m e período médio de 10,23 segundos. As direções Leste e Nordeste apresentaram médias de altura de 1,54m e 1,53m, respectivamente, com períodos médios de 8,9 segundos e 8,1 segundos. Por fim, a direção Norte teve média de altura de 1,43m e período médio de 7,03 segundos.

Isso indica um maior período de ondas no Sul e Sudeste, menor em Norte e Sudoeste, e maior média de altura de ondas nas direções Sul, Sudoeste e Sudeste. E no caso da praia analisada, tirando os dados de Sudoeste sugere que, direções com maiores alturas de ondas tendem a ter períodos de ondas mais longos, enquanto direções com menores alturas de ondas tendem a ter períodos mais curtos.

Sobre os maiores períodos energéticos encontrados, foi possível observar, nos momentos com maiores alturas de ondas ($>3\text{m}$), conforme a Figura 20, que o período de direção Sul e Sudeste foram os mais frequentes, correspondendo a 53,9% e 28,8%, respectivamente. Na direção Sul, o período médio foi de 10 segundos, enquanto na direção Sudeste foi de 12 segundos.

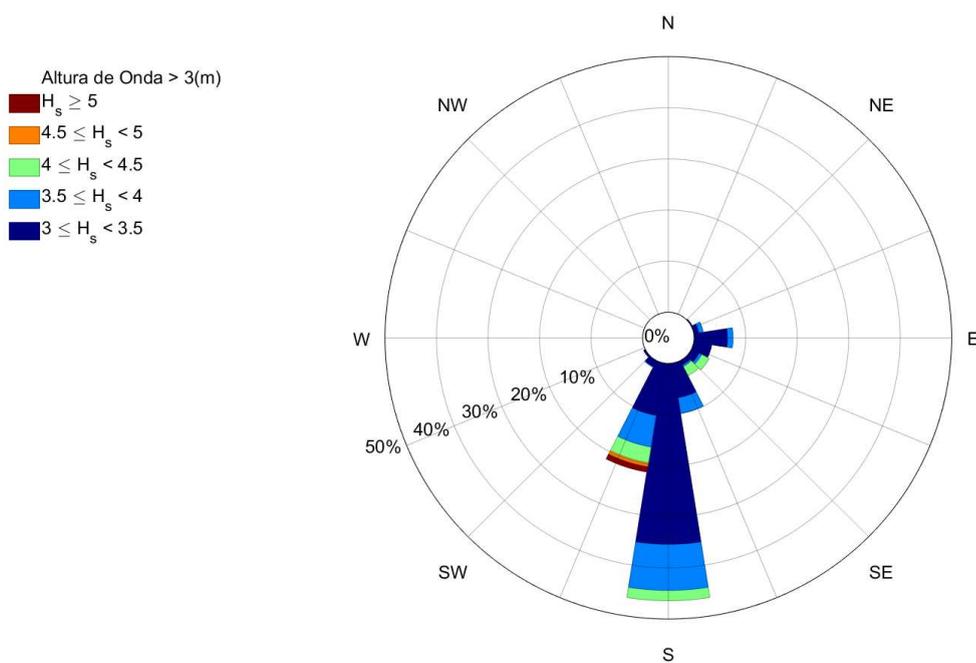
Sobre os menores períodos energéticos encontrados, foi possível observar, nos momentos com menores alturas de ondas ($<2\text{m}$), conforme a Figura 21, que o período de direção Leste e Sudeste foram os mais frequentes, correspondendo a 42,9% e 32%, respectivamente. Na direção Leste, o período médio foi de 9 segundos, enquanto na direção Sudeste foi de 10 segundos.

Figura 19: Rosa das Ondas acumulada com Altura Significativa e Direção na praia do Morro das Pedras, SC.



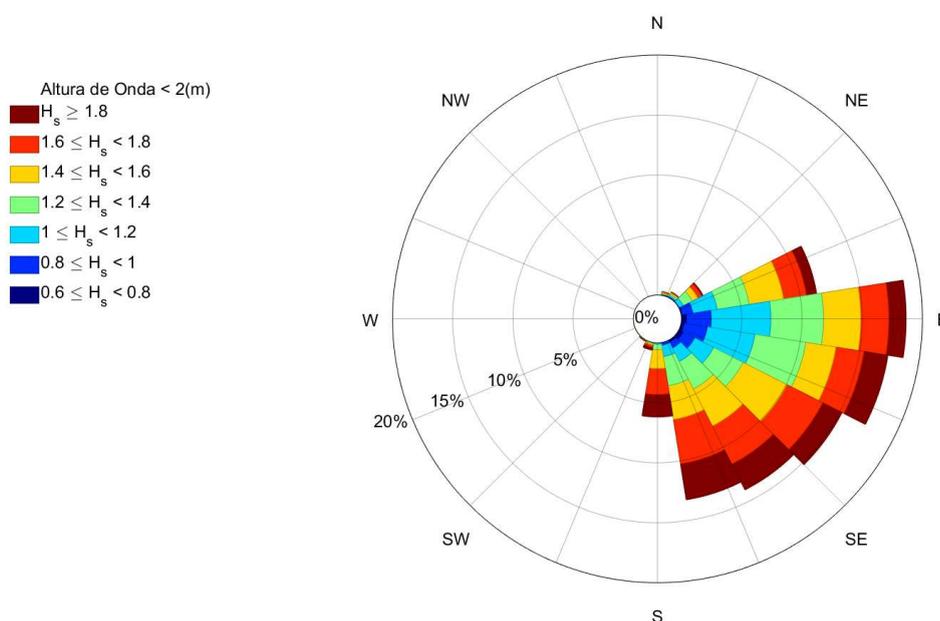
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 20: Rosa das Ondas com Altura Significativa maior que 3m e Direção na praia do Morro das Pedras, SC.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 21: Rosa das Ondas com Altura Significativa menor que 2m e Direção na praia do Morro das Pedras, SC.



Fonte: Elaborado pela autora.

4.6.1. Linha de Costa e Dados de Ondas

Para uma compreensão mais aprofundada da dinâmica costeira baseada na largura da praia ao longo de um período de 21 meses, foram analisados os dados de ondas, incluindo altura significativa (H_s), período (T) e direção (Dir). A integração desses conjuntos de dados é apresentada na Figura 22, onde se identificaram 20 episódios mais significativos que caracterizam períodos em que a praia apresentou maior energia. Esses episódios foram analisados com base na ocorrência de ondas com altura superior a 3 metros, considerando os diferentes períodos sazonais:

No inverno de 2022, com tendência erosiva de acordo com dados anteriormente analisados do CoastSnap, observou-se em setembro de 2022 um clima de ondas mais energético, caracterizado pela direção Sul e período médio de 9 segundos.

Na primavera de 2022, em novembro, houve um período energético com ondas provenientes das direções Sul e Sudeste e período médio de 9 segundos. Já em dezembro, ocorreu outro episódio energético com ondas vindas das direções Leste e Nordeste, com período médio de 8 segundos.

No verão de 2022 para 2023, com tendência acrescida conforme os dados do CoastSnap, registraram-se episódios de clima energético em dezembro, com ondas na direção Sul e período médio de 7 segundos. Em fevereiro, os episódios energéticos continuaram com ondas na direção Sul e período médio de 9 segundos.

No outono de 2023, marcado por tendência erosiva previamente analisada, em abril houve episódios de clima energético com ondas na direção Sul e período médio de 11 segundos. Em junho, foram observadas ondas na direção Sul, com período médio de 8 segundos, e na direção Sudeste, com 9 segundos.

No inverno de 2023, com leve tendência acrescida, ocorreram episódios energéticos em julho, com ondas nas direções Sul e Sudeste, com períodos médios de 11 e 12 segundos, respectivamente. Em agosto, registraram-se períodos energéticos com ondas na direção Sul, com período médio de 7 segundos, e na direção Sudeste, com período médio de 15 segundos. Em setembro, os eventos energéticos foram caracterizados por ondas nas direções Sul e Sudeste, com período médio de 9 segundos.

Na primavera de 2023, com tendência erosiva avaliada pelo método CoastSnap, em setembro houve um período energético com ondas na direção Sul, com período médio de 9 segundos. Em novembro, também se observou um episódio energético com ondas na direção Sul, com período médio de 13 segundos.

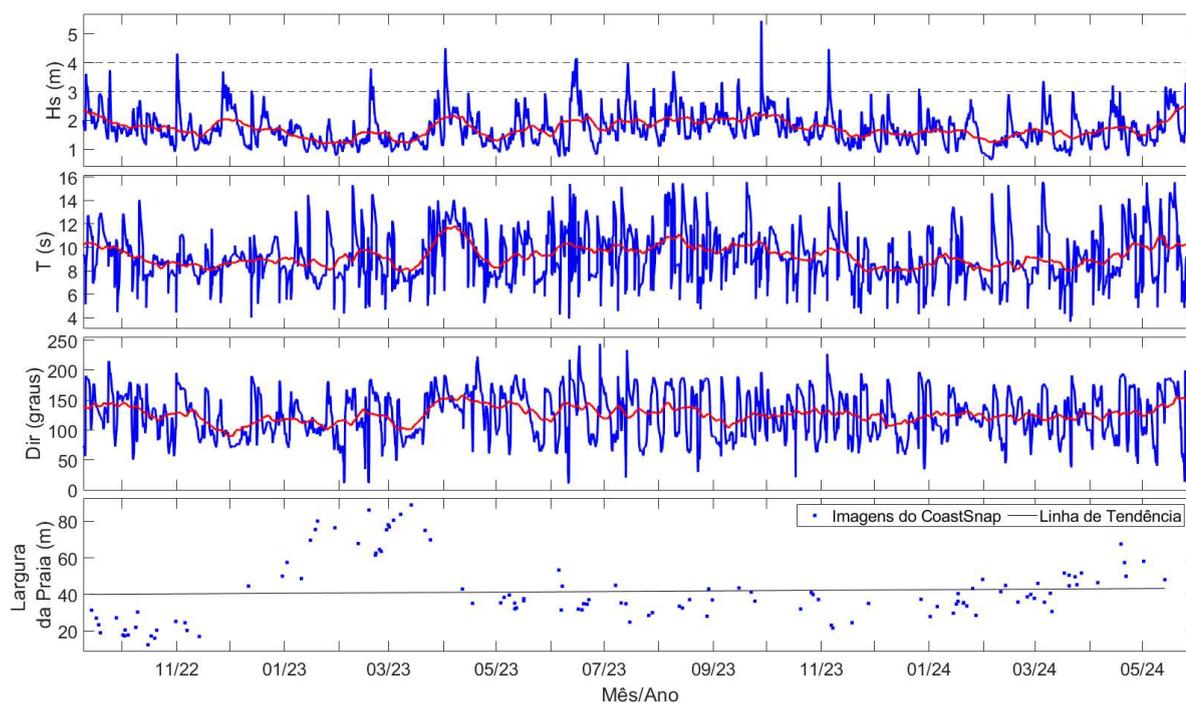
No verão de 2023 para 2024, com leve tendência acrescida, houve um período energético em dezembro, com ondas na direção Sul e período de 8 segundos. Em março, registrou-se um episódio energético com ondas na direção Sudeste e período de 15 segundos.

No outono de 2024, com tendência acrescida, em março houve um período energético com ondas na direção Sudeste, com período de 8 segundos. Em abril, observaram-se ondas na direção Leste, com período de 8 segundos. Em maio, registraram-se ondas na direção Sul, com período médio de 12 segundos, e na direção Nordeste, com período médio de 8 segundos.

As direções predominantes associadas aos períodos de maior energia das ondas foram Sul e Sudeste, o que está em consonância com os achados de Abreu de Castilhos (1995). O estudo confirmou que ondas com altura superior a 3 metros predominam nessas direções. Além disso, os maiores períodos de ondas foram frequentemente observados nas direções Sul e Sudeste, corroborando as observações anteriores de Abreu de Castilhos (1995). Essas evidências sugerem uma possível

influência significativa dessas direções na erosão costeira da praia, o que se confirma com estudos anteriores que afirmam que, na costa Leste de Florianópolis, as direções de ondas advindas de Sul, são mais encontradas no inverno com características erosivas (ABREU DE CASTILHOS, 1995; ARAUJO et al., 2003), interpretado pela maior ocorrência de frentes frias na estação (TORRONTÉGUY, 2002; GOMES et. al., 2022). Em contraste, as direções Leste e Nordeste, embora também apresentem episódios energéticos, demonstraram períodos médios menores. Isso sugere que seu impacto na dinâmica costeira pode ser menos pronunciado em comparação com as direções Sul e Sudeste.

Figura 22: Série Temporal de Linha de Costa das Imagens do CoastSnap, Altura Significativa, Direção e Período de Ondas no período de Setembro de 2022 a Maio de 2024 na praia do Morro das Pedras, SC.



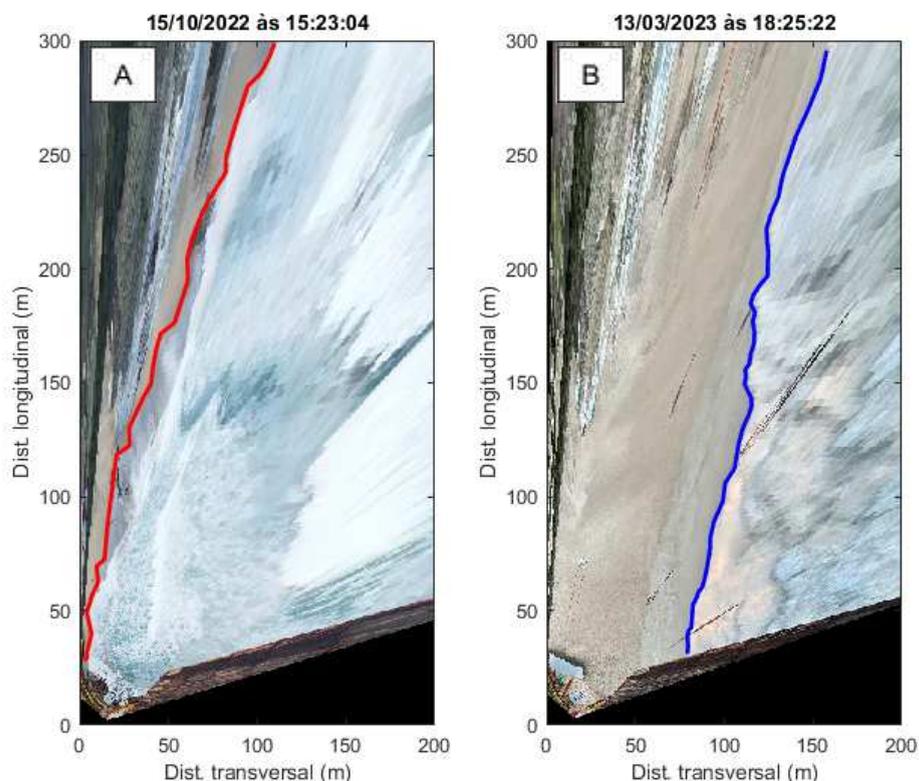
Fonte: Elaborado pela autora.

O maior pico de erosão observado ocorreu em 15/10/2022 às 15h. Durante este evento, a altura de ondas observada foi de 2,15m, com direção sudeste e um período de 7,7 segundos. Nos dias anteriores, as ondas provinham predominantemente do sul.

A imagem correspondente a este momento (Figura 23.A), marcada pela linha vermelha, mostra uma linha de costa significativamente recuada, evidenciando o impacto das condições de maré e direção de ondas na redução da largura da praia.

Já o maior pico de acreção foi registrado em 13/03/2023 às 18h. Nesse momento, a altura das ondas era de 1,29m, com direção nordeste e um período de ondas de 6,7 segundos. Nos dias anteriores, as ondas vinham da direção leste/nordeste. A imagem desse episódio (Figura 23.B), destacada pela linha azul, mostra uma linha de costa avançada, indicando um aumento na largura da praia. Este evento de acreção máxima ilustra como condições mais favoráveis, como ondas menos intensas e mudanças na direção do vento, podem contribuir para a recuperação e expansão da linha de costa.

Figura 23: Imagens obtidas dos períodos de maior erosão (A) e maior acreção (B) pelo CoastSnap da Praia do Morro das Pedras, Florianópolis, SC.



Fonte: Elaborado pela autora.

Durante o inverno de 2022 (Figura 24.A), observou-se que as direções predominantes das ondas foram Sul e Sudeste. Comparativamente, no inverno de 2023 (Figura 24.B), as direções predominantes foram Leste e Sul, sugerindo uma

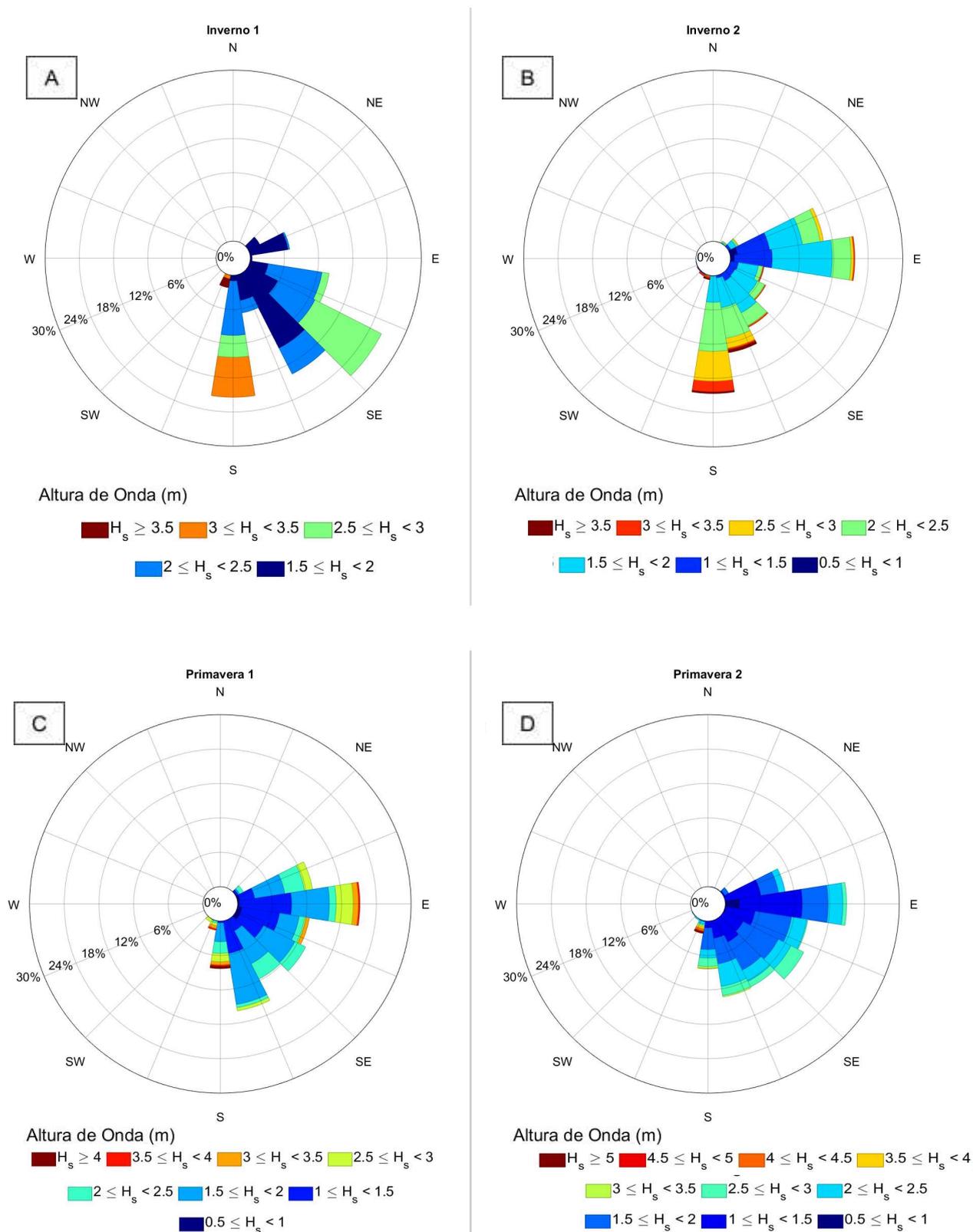
tendência mais acentuada para a erosão em 2022 devido à menor largura da praia em comparação com o inverno de 2023.

Na Primavera de 2022 (Figura 24.C), observaram-se direções predominantes de ondas Leste e Sudeste. Em comparação, na Primavera de 2023 (Figura 24.D), também se identificaram direções predominantes de Leste e Sudeste, embora com uma menor frequência de ondas provenientes da direção Sudeste. Além disso, as alturas das ondas na Primavera de 2023 foram menores do que em 2022. Apesar de ambas as primaveras apresentarem uma tendência erosiva, a largura da praia em 2023 foi maior em relação à de 2022.

No outono de 2023 (Figura 25.A), observou-se uma predominância das direções de ondas Sudeste e Sul, com menor frequência de ondas provenientes da direção Leste. Em contraste, no outono de 2024 (Figura 25.B), as direções das ondas estavam mais diversificadas, abrangendo Sul, Sudeste, Leste e Nordeste de maneira quase uniforme. Quanto às alturas, o outono de 2023 apresentou maiores valores, quando comparado ao outono de 2024. Dessa forma, reforçando os dados de largura da praia, que mostraram uma diminuição no outono de 2023, que pode ser atribuída às maiores alturas de ondas. Em contrapartida, no outono de 2024, observou-se uma tendência de aumento na largura da praia, acompanhada de menores alturas de ondas.

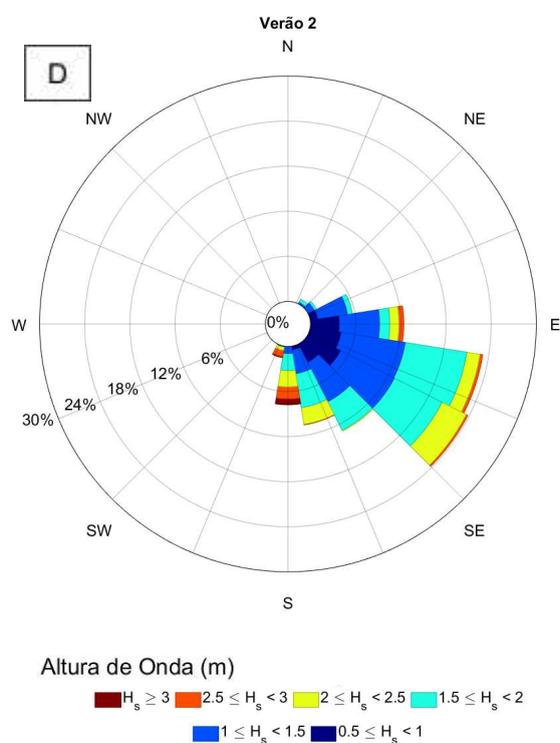
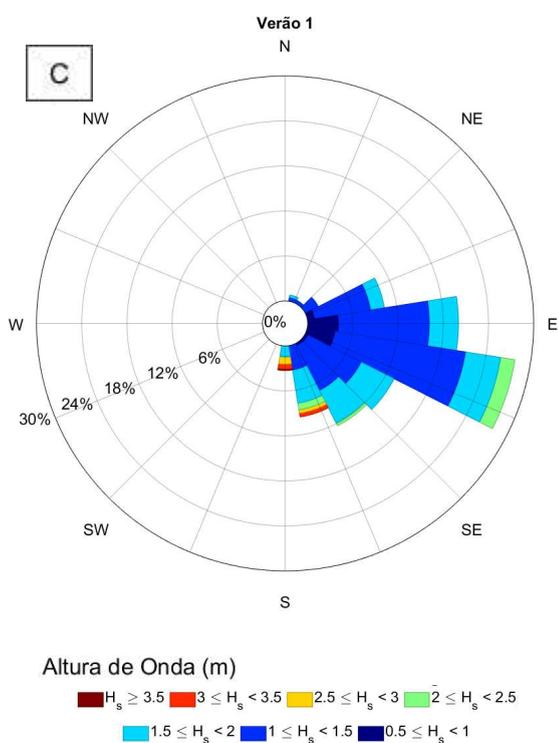
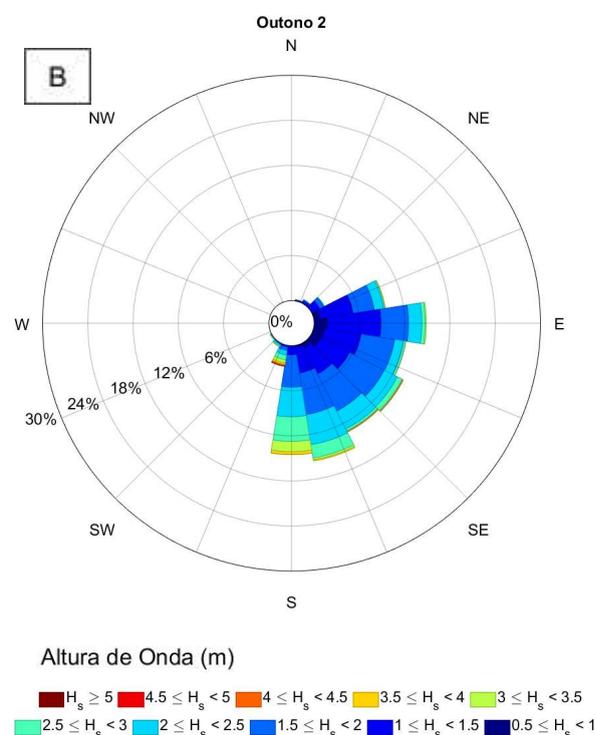
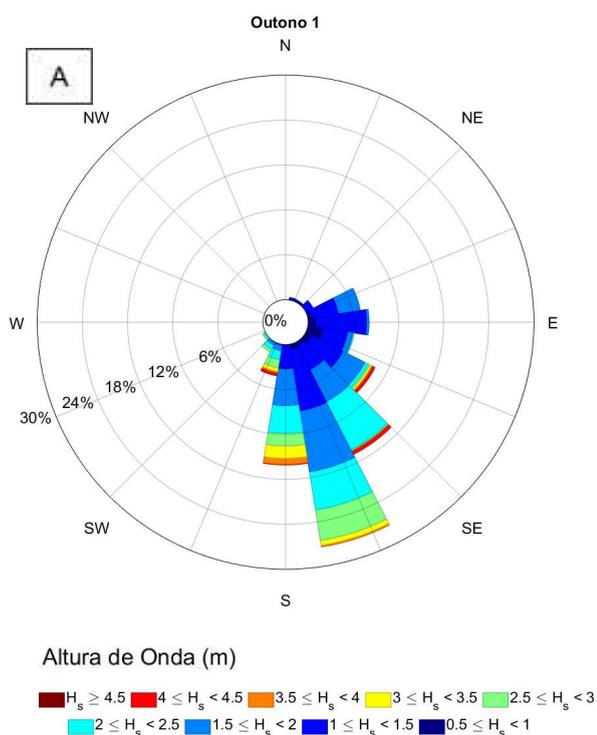
No verão de 2022 para 2023 (Figura 25.C), observou-se uma maior frequência de ondas provenientes da direção Leste. Em contraste, no verão de 2023 para 2024 (Figura 25.D), houve uma predominância das direções Sudeste e Sul em comparação com o verão anterior. Esta diferença na direção das ondas pode explicar o aumento significativo da largura da praia no verão de 2023, em contraste com o verão seguinte. As direções Sudeste e Sul tendem a gerar um clima de ondas mais energético do que a direção Leste, já que a orientação da praia do Morro das Pedras é NNE/SSW. Estas ocorrências estão melhor ilustradas na Figura 26. A para a direção Leste e na Figura 26.B para a direção Sudeste. De acordo com Araujo et al. (2003), no verão, existe um certo equilíbrio entre as direções de ondas *sea* de Leste e ondulações de *swells* de Sul. Estas ondulações provenientes do Sul na linha de costa são associadas a uma maior energia de ondas, o que pode causar tendência à erosão (Oliveira et al. 2014). Esta observação é reafirmada na análise comparativa entre os dois verões.

Figura 24: Rosa das Ondas com Altura Significativa e Direção nas Estações: Inverno 1 (A), Inverno 2 (B), Primavera 1 (C) e Primavera 2 (D).



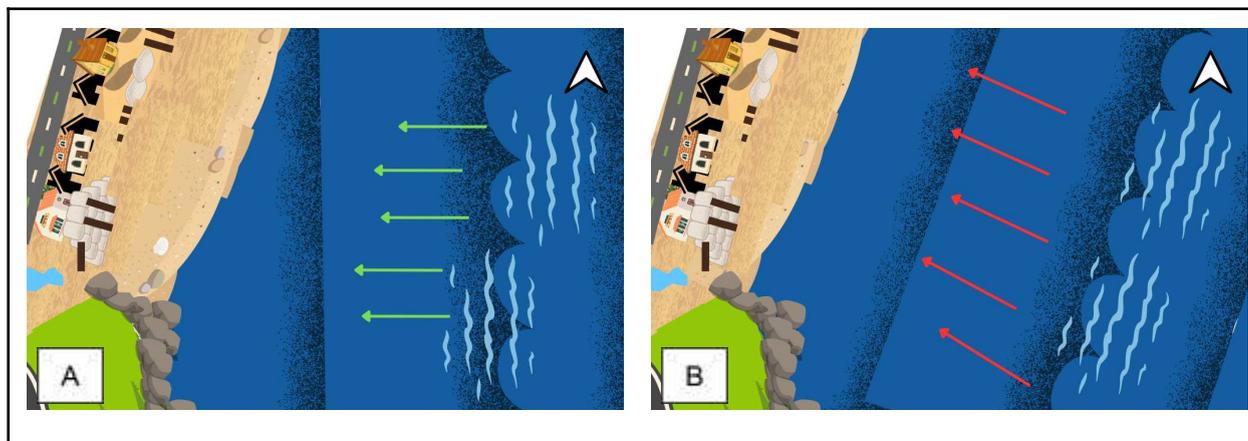
Fonte: Elaborado pela autora

Figura 25: Rosa das Ondas com Altura Significativa e Direção nas Estações: Outono 1 (A), Outono 2 (B), Verão 1 (C) e Verão 2 (D).



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 26: Ilustração de direção de ondas Leste (A) e Sudeste (B) na Praia do Morro das Pedras.



Fonte: Elaborado pela autora

5. CONCLUSÃO

Nesta monografia, a análise da dinâmica costeira da praia do Morro das Pedras, no período de 9 de setembro de 2022 a 31 de maio de 2024, permitiu identificar padrões locais através de metodologias de baixo custo, como o uso de imagens compartilhadas e dados de ondas do modelo ERA5, bem como através de geoindicadores erosivos.

A participação ativa da comunidade, que contribuiu significativamente para o banco de dados, fortaleceu a relação entre a ciência e a universidade, destacando a importância dos cientistas cidadãos como um agente participativo na coleta de dados. Com a aceitação positiva do projeto, foi possível identificar e definir tendências erosivas e acrescivas da praia. Os resultados corroboram estudos anteriores que indicavam uma tendência de acréscimo na largura da praia, embora este aumento tenha sido inferior ao observado em outros estudos.

Uma análise comparativa foi realizada entre os dados de ondas e a largura da praia. Diferenças sazonais foram constatadas e se destacaram na comparação entre os verões de 2022-2023 e 2023-2024. Ambos os períodos apresentaram acréscimos na largura da praia; no entanto, o verão de 2022-2023 teve uma largura expressiva, sugerindo-se que é devido à menor altura das ondas e à predominância de ondas vindas do Leste, enquanto o verão de 2023-2024 registrou ondas mais altas nas direções Sul, Sudeste e Leste.

Ao comparar as larguras da linha de costa obtidas a partir dos dados do CoastSat e do CoastSnap, verificou-se uma forte correlação, representada por um Coeficiente de Correlação de Pearson (r) de 0,76. Esse resultado evidencia que ambos os métodos apresentam desempenho consistente e eficaz na análise da dinâmica da linha de costa.

Verificou-se a presença de geoindicadores de erosão nos setores mais impactados por atividades urbanas, evidenciando uma relação de interdependência. Esses setores, que apresentam uma maior quantidade de geoindicadores erosivos, são também os mais expostos a atividades antrópicas, tornando-se, assim, mais suscetíveis à erosão. Este padrão é corroborado pela observação de que o setor MPCA1 apresenta uma concentração elevada desses proxies e uma maior

interferência antrópica, indicando também que, apesar da tendência total de linha de costa ter sido acrescida, há evidências de erosão.

Adicionalmente, observou-se que a maior quantidade de escarpas ocorreu sazonalmente durante o inverno e o outono. Ao comparar os outonos de 2023 e 2024, verificou-se que, em 2023, houve um aumento no número de escarpas e uma tendência erosiva, enquanto em 2024, observou-se uma tendência acrescida com menos escarpas. Destaca-se também o verão de 2022-2023, que apresentou menos escarpas em comparação ao verão de 2023-2024, o qual teve um aumento no número de escarpas e, conseqüentemente, um padrão menos acrescido que o anterior.

Dessa forma, o trabalho contribuiu com análises de acompanhamento de comportamento da dinâmica de costa, podendo ser aplicados no gerenciamento da gestão costeira, para estudos de mitigação e planejamento de costa.

Para futuros trabalhos, recomendo que o monitoramento contínuo, que se adicionem na pesquisa contribuição de dados sedimentológicos quanto ao extremos sul da praia para comparações dos geoindicadores e estudos de acompanhamento de obras de mitigação de erosão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU DE CASTILHOS, J. **Estudo evolutivo – sedimentológico e morfodinâmico da praia da Armação, ilha de Santa Catarina- SC**. Florianópolis. 179p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Geociências. Universidade Federal de Santa Catarina. 1995. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/76302>. Acesso em: 15 fev. 2024.

ARAUJO, R.; DA SILVA, G.; NETO, D.; KLEIN, A. H. Georreferenciamento de Fotografias Aéreas e Análise da Variação da Linha de Costa. 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Guilherme-Da-Silva/publication/269097463_Georreferenciamento_d_e_Fotografias_Aereas_e_Analise_da_Variacao_da_Linha_de_Costa/links/547fbb030cf2ccc7f8bb0571/Georreferenciamento-de-Fotografias-Aereas-e-Analise-da-Variacao-da-Linha-de-Costa.pdf. Acesso em: 18 jan. 2024.

ARAUJO, C. E. S.; FRANCO, D.; MELO, E. e PIMENTA, F. Wave regime characteristics of the Southern Brazilian coast. **VI International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries**. 4. 1-15. 2003. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/309281912_Wave_regime_characteristics_of_the_Southern_Brazilian_coast. Acesso em: 16 jan. 2024.

AZEVEDO, L. Z. **O uso de geotecnologias para análise da variabilidade temporal da linha de costa do arco praial Pântano do Sul-Açores, ilha de Santa Catarina, SC**. TCC(graduação). Curso de Oceanografia. Centro de Ciências Físicas e Matemáticas. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 53 p. 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/233355>. Acesso em: 14 dez. 2023.

BRASIL. Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira (SIBBR). [Brasília]: **SIBBR**, [2023?]. Disponível em: <https://sibbr.gov.br/cienciadada/oquee.html#:~:text=A%20ci%C3%Aancia%20cidad%C3%A3%20consiste%20na,ambiental%2C%20onde%20qualquer%20pessoa%20em>. Acesso em: 15 dez. 2023.

BROGGIO, M. F. **Caracterização Morfossedimentar da Saliência da Praia do Campeche, Ilha de Santa Catarina/SC, Brasil**. TCC(graduação). Curso de Oceanografia. Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 116 p. 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/157327>. Acesso em: 13 mar. 2024.

BUSH, D. M. et al. Utilization of geoindicators for rapid assessment of coastal-hazard risk and mitigation. **Ocean & Coastal Management**, v. 42, n. 8, p. 647-670, 1999. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0964-5691\(99\)00027-7](https://doi.org/10.1016/S0964-5691(99)00027-7). Acesso em: 19 mar. 2024.

CONTI, Luis Américo; RODRIGUES, Marcelo. Variação da linha de costa na região da Ilha dos Guarás – PA através de análise de série temporal de imagens de satélites. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 5, p. 922-937, 2011.

COSTA, Glauber Carvalho; PEDROSA, Fabio José de Araújo; MORAIS, Matheus Cordeiro de; BRITO JÚNIOR, Waldemar Melo de. **Análise da evolução da acreção da linha de costa da extremidade norte do Pontal da praia de Maria Farinha, litoral norte do estado de Pernambuco**. Recife: Maia Melo Engenharia; Universidade Católica de Pernambuco, 2019.

COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R.; PARUELO, J.; RASKIN, R.; SUTTON, P.; VAN DEN BELT, M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature** 387, p. 253–260. 1997. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/387253a0>. Acesso em: 20 fev. 2024.

Copernicus Climate Change Service (C3S). ERA5: Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate. 2017. **Copernicus Climate Change Service Climate Data Store (CDS)**. Disponível em: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>. Acesso em: 12 mar. 2024.

DAVIES, L.J. A Morphogenic Approach to the Worlds' Shorelines. **Zeitschrift für Geomorphologie**, 8, 127-142. 1964. Disponível em: https://www.schweizerbart.de/papers/zfg/detail/8/96126/A_morphogenic_approach_to_world_shorelines. Acesso em: 17 mar. 2024.

DEAN, R. G.; GALVIN JR, C. J. Beach erosion: causes, processes, and remedial measures. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 6, n. 3, p. 259-296, 1976. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/10643387609381643>. Acesso em: 22 fev. 2024.

EGUCHI, B.; ALBINO, J. Metodologia para determinação do grau de exposição às ondas utilizando energia de ondas e respostas de perfis praias, aplicada ao litoral sul do Espírito Santo. **Pesquisas em Geociências**, [S. l.], v. 49, n. 2, p. e115485, 2022. DOI: 10.22456/1807-9806.115485. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/PesquisasemGeociencias/article/view/115485>. Acesso em: 01 maio. 2024.

FREIRE, G. F. **Análise da circulação costeira utilizando imageamento através de celular**. TCC(graduação). Curso de Oceanografia. Centro de Ciências Físicas e Matemáticas. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 55 p. 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/238793>. Acesso em: 11 fev. 2024.

FRIHY, O. E.; DEWIDAR, K. M. Influence of shoreline erosion and accretion on texture and heavy mineral compositions of beach sands of the Burullus coast, north-central Nile delta, Egypt. **Marine geology**, v. 114, n. 1-2, p. 91-104, 1993. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/002532279390041S>. Acesso em: 07 mar. 2024.

GIANNINI, P. C. F. et al. A erosão na costa leste da Ilha do Mel, Baía de Paranaguá estado do Paraná: modelo baseado na distribuição espacial de formas deposicionais e propriedades sedimentológicas. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 34, n. 2, p. 231-242, 2004.

GOMES, G. de O. ; HORN FILHO, N. O. ; MORESCO, B. S. Evidências deposicionais e/ou erosivas em dois setores do arco praiial Joaquina - Morro das Pedras, ilha de Santa Catarina, SC, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S. l.], v. 23, n. 1, 2022. DOI: 10.20502/rbg.v23i1.1970. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/1970>. Acesso em: 07 mar. 2024.

GORELICK, Noel et al. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, v. 202, p. 18-27, 1 dez. 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425717302900>. Acesso em: 27 fev. 2024.

HARLEY, M. D.; KINSELA, M. A.; SÁNCHEZ-GARCIA, E.; VOS, K. Shoreline change mapping using crowd-sourced smartphone images. **Coastal Engineering**, v. 150, p. 175-189. 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/332664621_Shoreline_change_mapping_using_crowd-sourced_smartphone_images. Acesso em: 01 mar. 2024.

HOEFEL, F. G. **Morfodinâmica das praias arenosas oceânicas**: uma revisão bibliográfica. Itajaí: Editora da Univali, 1998.

HORN FILHO, N. O.; DE OLIVEIRA, J. S.; LEAL, P. C. **Geologia das 117 praias arenosas da Ilha de Santa Catarina**, Brasil. 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/178811>. Acesso em: 23 mar. 2024.

HORN FILHO, N. O.; SCHMIDT, A. D.; ESTEVAM, C. N.; OLIVEIRA, U. R. de. **Atlas geológico-oceanográfico das praias arenosas oceânicas de Santa Catarina, Brasil (APASC)**. 1ed. Florianópolis: Edições do Bosque, 523p. (E-ISBN 978-65-991949-6-2). 2020.

IPCC. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 184 p. 2023. doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_FullVolume.pdf. Acesso em: 23 fev. 2024.

JACKSON, D.; SHORT, A. **Sandy Beach Morphodynamics**. Ed. Elsevier, 769p. 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/338988284_Sandy_Beach_Morphodynamic. Acesso em: 23 fev. 2024.

KLEIN, A. H. F.; PRADO, M. F. V.; DALINGHAUS, C.; CAMARGO, J. M. Metodologia para quantificação de perigos costeiros e projeção de linhas de costas futuras como subsídio para estudos de adaptação das zonas costeiras: litoral norte da Ilha de Santa Catarina e entorno. 1. ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2016. 252p.

KONSTANTINO, Aikaterini; SCOTT, Tim; MASSELINK, Gerd; STOKES, Kit; CONLEY, Daniel; CASTELLE, Bruno. Satellite-based shoreline detection along high-energy macrotidal coasts and influence of beach state. *Marine Geology*, v. 462, p. 107082, ago. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2023.107082>. Acesso em: 11 mar. 2024.

KRAUS, N. The effects of seawalls on the beach: An extended Literature Review. **Journal of Coastal Research**, 4: p.1-28, 1988. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/25735349>. Acesso em: 23 fev. 2024.

KRAUS, N. C.; MCDUGAL, W. G. The effects of seawalls on the beach: Part I, an updated literature review. **Journal of Coastal Research**, p. 691-701, 1996. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/4298517>. Acesso em: 3 fev. 2024.

LINS DE BARROS, F.; PIRES FRANCISCO, A. B.; CAÇADINI BIZERRA DA SILVA, L.; RAMOS MACIEL RIBEIRO, P.; SAD MILCZEWSKI, R.; JESUS DE SOUSA, R. E. Contribuições de monitoramentos participativos de praias arenosas para a gestão costeira integrada a partir do Projeto Mar à Vista (UFRJ) e da metodologia CoastSnap. **Costas**, [S. l.], v. 4, n. 1, p. 117–148, 2023. DOI: 10.25267/Costas.2023.v.3.i2.07. Disponível em: <https://revistas.uca.es/index.php/costas/article/view/9082>. Acesso em: 11 mar. 2024.

LUIJENDIJK, A.; HAGENAARS, G.; RANASINGHE, R.; FEDOR, B.; DONCHYTS, G.; AARNINKHOF, S. The State of the World's Beaches. **Scientific Reports** 8, 6641. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24630-6>.

MARTINS, K. A.; DE SOUZA PEREIRA, P.; PEREIRA LINO, A.; MIKOSZ GONÇALVES, R. DETERMINAÇÃO DA EROSIÃO COSTEIRA NO ESTADO DE PERNAMBUCO ATRAVÉS DE GEOINDICADORES. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S. l.], v. 17, n. 3, 2016. DOI: 10.20502/rbg.v17i3.854. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/854>. Acesso em: 23 fev. 2024.

MERLOTTO, A.; BÉRTOLA, G. R. Seasonal beach profile variability and short to medium-term evolution of beaches in the municipality of General Alvarado, Buenos Aires province, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 129, p. 104534, set. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104534>. Acesso em: 23 mar. 2024.

NETO, P. E. M. **Morfodinâmica de cordões dunares intervencionados com paliçadas** (Order No. 30622677). Available from ProQuest Dissertations & Theses Global. (2877963756). 2014. Disponível em: <https://www.proquest.com/dissertations-theses/morfodinamica-de-cordoes-dunares-intervencionados/docview/2877963756/se-2>. Acesso em: 10 fev. 2024.

NOVAIS, Jorge Leandro Ramalho. **Aplicação de sistemas de informação geográfica e drones para análise da erosão costeira no Parque Natural do Litoral Norte**. 2020. Dissertação (Mestrado) — Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2020. Disponível em: <https://www.proquest.com/openview/1a2ba167130220f3a31898d03e88ed3b/1?cbl=2026366&diss=y&pq-origsite=gscholar>. Acesso em: 12 fev. 2024.

OLIVEIRA, U. R.; BARLETTA, R. C.; HORN FILHO, N. O. Distribuição espacial das características morfodinâmicas das praias arenosas da costa oceânica da Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, [S. l.], v. 41, n. 2, p. 89–103, 2014. DOI: 10.22456/1807-9806.78075. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/PesquisasemGeociencias/article/view/78075>. Acesso em: 11 mai. 2024.

PEREIRA, Pedro de Souza; CALLIARI, Lauro Júlio; GUEDES, Rafael M. C.; SCHETTINI, Carlos A. F. Variabilidade temporal da posição dos bancos arenosos da praia do Cassino (RS): uma análise através de imagens de vídeo. **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, v. 39, n. 3, p. 195-211, set./dez. 2012. Disponível em: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/37370>. Acesso em: 01 mar. 2024.

RUSA, Rafaela Trabuco. Integração entre clima de ondas, índices climáticos e linha de costa para o estudo da variabilidade temporal da linha de costa de praias arenosas da Ilha de Santa Catarina de 1984 a 2022. 2023. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/260692>. Acesso em: 23 mar. 2024.

RUDORFF, F. M.; BONETTI, J. Avaliação da suscetibilidade à erosão costeira de praias da Ilha de Santa Catarina com base em geoindicadores e técnicas de análise espacial de dados. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 14, n. 1, p. 9-20, 2010. Disponível em: <https://periodicos.univali.br/index.php/bjast/article/view/2250>. Acesso em: 23 mar. 2024.

SANTOS, E.; BONETTI, J. Análise da taxa de variação da linha de costa da Enseada de Tijucas (SC) em diferentes escalas temporais como indicadora de suscetibilidade costeira. **Quaternary and Environmental Geosciences**. 9. 19-25. 10.5380/abequa.v9i2.53650. 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/327031172_Analise_da_taxa_de_variacao_da_linha_de_costa_da_Enseada_de_Tijucas_SC_em_diferentes_escalas_temporais_como_indicadora_de_suscetibilidade_costeira. Acesso em: 03 fev. 2024.

SCHETTINI, C. A. F.; CARVALHO, J. L. B.; JABOR, P. Comparative hydrology and suspended matter distribution of four estuaries in Santa Catarina State, Southern Brazil. **Workshop on Comparative Studies of Temperate Coast Estuaries**, Bahia Blanca, Argentina. Bahia Blanca/AR, p 29-32. 1996.

Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/270535776_HIDRODINAMICA_E_DISTRIBUICAO_DE_SOLIDOS_EM_SUSPENSAO_NO_ESTUARIO_DO_RIO_ITAJAI-ACU_RELATORIO. Acesso em: 22 fev. 2024.

SERRAO, P. F. **Formação e manutenção de correntes de retorno: influência da morfologia e das ondas incidentes**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2019. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/21/21136/tde-17052019-105634/en.php>. Acesso em: 08 abr. 2024.

SHORT, A. D.; TREMBANIS, A. C. Decadal scale patterns in beach oscillation and rotation Narrabeen Beach, Australia—time series, PCA and wavelet analysis. **Journal of Coastal Research**, v. 20, n. 2, p. 523-532. 2004

SILVA, A. N.; TABORDA, R.; ANTUNES, C.; CATALÃO, J.; DUARTE, J. Understanding the coastal variability at Norte beach, Portugal. **Journal of Coastal Research**, n. 65, p. 2173-2178, 2013. Disponível em: <https://meridian.allenpress.com/jcr/article-abstract/doi/10.2112/SI65-367.1/192709/Understanding-the-coastal-variability-at-Norte>. Acesso em: 23 abr. 2024.

SOUSA, P.H.G. de O.; SIEGLE, E. T. M. G.; TESSLER, M. G. Environmental and anthropogenic indicators for coastal risk assessment at Massaguaçu Beach (SP) Brazil. **Journal of Coastal Research**, p. 319-323, 2011. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/26482185>. Acesso em: 11 fev. 2024.

SOUZA, C. R. de G. **As células de deriva litorânea e a erosão nas praias do Estado de São Paulo**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 1997. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44136/tde-10042015-161455/en.php>. Acesso em: 23 jan. 2024.

SOUSA, E. N. C.; DE PAULA, D. P. Erosão costeira e riscos associados ao uso balnear e recreativo da praia do Icaraí, Caucaia, Ceará, Brasil. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, p. 2964-2969, 2017.

STIVE, M.; AARNINKHOF, S.; HAMM, L.; HANSON, H.; LARSON, M.; WIJNBERG, K.; NICHOLLS, R.; CAPOBIANCO, M. Variability of shore and shoreline evolution. **Coastal Engineering**. 47. 211-235. 10.1016/S0378-3839(02)00126-6. 2002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378383902001266>. Acesso em: 13 maio. 2024.

TEBECHRANI, L. de F. **Comportamento da linha de costa, interferência de obras costeiras e relações interpraisais: estudo de caso nas praias arenosas de Barra Velha, Santa Catarina.** Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Florianópolis, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/253271>. Acesso em: 14 maio. 2024.

TORRONTÉGUY, M. de C. **Sistema Joaquina - Morro das Pedras e praias adjacentes da costa leste da Ilha de Santa Catarina: aspectos morfodinâmicos, sedimentológicos e fatores condicionantes.** Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geografia. Departamento de Geociências. Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 177 p. 2002. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/82807>. Acesso em: 11 maio. 2024.

USACE. Beach nourishment. Disponível em: <https://www.iwr.usace.army.mil/Missions/Coasts/Tales-of-the-Coast/Corps-and-the-Coast/Shore-Protection/Beach-Nourishment/>. Acesso em: 23 jun. 2024.

VOS, K.; SPLINTER, K. D.; HARLEY, M. D.; SIMMONS, J. A.; TURNER, I. L. CoastSat: A Google Earth Engine-enabled Python toolkit to extract shorelines from publicly available satellite imagery. **Environmental Modelling & Software**, Volume 122, 104528, ISSN 1364-8152. 2019.

WRIGHT, L.D. and SHORT, A.D. Morphodynamics Variability of Surf Zones and Beaches: A Synthesis. **Marine Geology**, 56, p. 93-118. 1984. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(84\)90008-2](https://doi.org/10.1016/0025-3227(84)90008-2).

ANEXO A – IMAGENS COMO EXEMPLO DOS GEOINDICADORES UTILIZADOS

Exemplos dos geoindicadores encontrados na praia do Morro das Pedras incluem: i) escarpas, ii) concentração de minerais pesados, iii) maquinário de movimentação de sedimento na praia, iv) sacos de areia, v) estacas de madeira, vi) vegetação rasteira (restinga em crescimento) na duna e vii) restos de construção na praia (estacas de madeira soltas, tijolos, sacos de areia vazios).