



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

Rafaela Trabuco Rusa

**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**

Florianópolis
2024

Rafaela Trabuco Rusa

**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**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Mestre em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Pedro de Souza Pereira

Florianópolis
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. / Rafaela Trabuco Rusa ; orientador, Pedro de Souza Pereira, 2024.

128 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Oceanografia. 2. Linha de costa. 3. Clima de ondas. 4. Teleconexões. 5. Variabilidade climática. I. Pereira, Pedro de Souza. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia. III. Título.

Rafaela Trabuco Rusa

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.

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 28 de março de 2024, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Pedro de Souza Pereira, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Antônio Fernando Härter Fetter Filho, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Rodrigo Mikosz Gonçalves., Dr.
Universidade Federal de Pernambuco

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Mestra no Programa de Pós-Graduação em Oceanografia.

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Prof. Pedro de Souza Pereira, Dr.

Orientador

Florianópolis, 2024.

RESUMO

O aumento da pressão antrópica na zona costeira e alterações dos padrões climáticos têm interferido nos processos físicos responsáveis pelo equilíbrio dos sistemas costeiros. No atual cenário de mudanças climáticas globais, regiões costeiras de todo o mundo deverão tornar-se, de forma geral, mais vulneráveis a erosão. Nas últimas décadas estudos locais indicam que processos erosivos de longo prazo vêm ocorrendo em praias da Ilha de Santa Catarina (ISC). O presente trabalho buscou analisar as variações espaço-temporais da linha de costa de 17 praias arenosas da costa oceânica da Ilha de Santa Catarina, Brasil, através da utilização de imagens de satélite, clima de ondas local e suas relações com índices climáticos atuantes na região nos últimos 39 anos. Para a análise da linha de costa foi utilizado a ferramenta CASSIE (*Coastal Analyst System from Space Imagery Engine*), onde a partir de imagens de satélite foram extraídos dados temporais e espaciais de linha de costa das praias arenosas da ISC, bem como taxas de erosão e acreção de cada praia. Os dados foram filtrados para remoção de *outliers* e correção da influência da maré. Posteriormente os dados foram projetados em diagramas de Hovmöller para visualização de comportamentos temporais e espaciais. Foi feita a análise do clima de ondas da região através dos dados de reanálise ERA5 do *European Centre for Medium Range Weather Forecasts* (ECMWF). Foram calculadas tendências e parâmetros estatísticos, assim como a correlação dos parâmetros de ondas com índices climáticos e a linha de costa a fim de explicar a dinâmica destes no comportamento da região. Os resultados apontam as praias da costa SE mais susceptíveis a processos erosivos. Quanto às variações do clima de ondas na região, foram verificadas tendências de aumento nos parâmetros de ondas H_s , T_p e WP e diminuição do ângulo θ de incidência das ondas nos 39 anos de dados analisados, demonstrando um aumento na altura e energia de ondas com o clima de ondas chegando mais de direções leste (giro anti-horário) com o passar dos anos. A análise de correlação linear dos parâmetros de ondas índices climáticos (AMO, PDO, SOI, Niño 3.4, TSA e SAM) correlação entre H_s e θ com o índice AMO, T_p com Niño 3.4 e direção, menos representativo, com PDO e TSA. A resposta da linha de costa de praias oceânicas da ISC em relação às variações no clima de ondas e índices climáticos demonstrou que: (1) Praias voltadas para norte são mais susceptíveis a influência de ondas, principalmente altura e direção e tem maiores correlações com índices climáticos; (2) Praias de sul apresentam baixa correlação tanto com os índices quanto com as variáveis de onda e demonstram alta resiliência; (3) Praias com orientação NE/SW e campo de dunas preservado são estáveis/acrescidas; (4) Praias voltadas para leste tem como principal agente modificador a direção de incidência de ondas e são mais vulneráveis a erosão, sendo mais susceptíveis a ação de ondas e mudanças no clima. Os pontos declarados erosivos neste estudo ocorrem em locais de intensa urbanização.

Palavras-chaves: Linha de Costa, Clima de Ondas, Variabilidade Temporal, Teleconexões.

ABSTRACT

The increased human pressure in the coastal zone and changes in climate patterns have interfered with the physical processes responsible for the balance of coastal systems. In today's global climate change scenario, coastal regions around the world are expected to become more vulnerable to erosion. In the last few decades, local studies indicate that long-term erosion processes have been occurring on beaches on the island of Santa Catarina. The present work sought to analyze the spatio-temporal variations of the coastline of 17 sandy beaches of the oceanic coast of Santa Catarina Island, Brazil through the use of satellite images, climate and its relations with climate indices acting in the region in the last 39 years. The CASSIE tool (Coastal Analyst System from Space Imagery Engine) was used to analyze the coastline, where temporal and spatial data were extracted from satellite images of the coastline of the ISC's sandy beaches, as well as erosion rates and accretion of each beach. The data was filtered for the removal of outliers and correction of tidal influence. Subsequently, the data was projected into Hovmöller diagrams to visualize temporal and spatial behaviors. An analysis was made of the region's wave climate obtained using data from the ERA5 reanalysis from the European Center for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF). Trends and statistical parameters were calculated, as well as the correlation of wave parameters with climatic indices and the coastline in order to explain the dynamics of these in the behavior of the region. The results show the beaches of the SE coast more susceptible to erosive processes. As for the variations of the wave climate in the region, there were trends of increase in the parameters of waves H_s , T_p and WP and decrease of the angle θ of incidence of waves in the 39 years of data analyzed, showing an increase in height and energy of waves with the climate of waves coming more from east directions (counter-clockwise rotation) over the years. The linear correlation analysis of the wave parameters climatic indexes (AMO, PDO, SOI, Niño 3.4, TSA and SAM) correlation between H_s and θ with the AMO index, T_p with Niño 3.4 and direction, less representative, with PDO and TSA. The response of the coastline of ISC ocean beaches in relation to variations in wave climate and climate indices demonstrated that: (1) Beaches facing north are more susceptible to the influence of waves, mainly height and direction and have greater correlations with indices climate; (2) Southern beaches show low correlation with both indices and wave variables and demonstrate high resilience; (3) Beaches with NE/SW orientation and preserved dune fields are stable/accretive; (4) Beaches facing east have the direction of wave incidence as their main modifying agent and are more vulnerable to erosion, being more susceptible to wave action and changes in climate. The points declared erosive in this study occur in places of intense urbanization.

Keywords: Coastline, Wave Climate, Temporal Variability, Teleconnections.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, que sempre me incentivaram e apoiaram as minhas maluquices, mesmo não entendendo muito. Muito obrigada pelo apoio, incentivo, pela compreensão e dedicação sem tamanho depositada em mim. Vocês são meus maiores exemplos, amo vocês mais que tudo.

Ao meu irmão Vinícius pela quantidade colossal de memes, todos os dias.

Às sereias Theia, Marina e Júlia que estão sempre ao meu lado desde o início da minha jornada oceanográfica.

Agradeço ao professor e orientador Pedro de Souza Pereira, por ter topado me orientar mesmo à distância no início numa realidade pós-pandêmica, por ter confiado esse trabalho a mim e ter me dado à oportunidade de trabalhar junto a ele. Obrigada Pedro por todo ensinamento, incentivo, paciência e compreensão em todos os momentos. És um baita.

Aos colegas e amigos do Laboratório de Oceanografia Costeira (LOC/UFSC): Ligia de Freitas Tebechrani, Gabriela Freire, Lilli Valle, Lais Pool, Mariane Pullig, Patrícia Tortora, Mario Pedro Alípio, Marcos Tomasi; as amigas do mestrado e de casa: Barbara Viana, e Flora Sauerbronn. Agradeço ao Micael pela troca de ideias e ajuda com o Matlab. Obrigada a todos pelas conversas, risadas, cafés, bolinhos e amizade compartilhada.

Agradeço aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Oceanografia (PPGOceano/UFSC) pelo conhecimento compartilhado.

Por fim, agradeço à CAPES pela bolsa de mestrado, sem ela esse trabalho não seria possível.

“ 初心 ”

[sho-shin] | Japanese

(n.) a beginner's mind – a state of openness and wonder that allows a person to approach life without any biases associated with knowledge and experience.

A curious mind without ego.”

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área de estudo. A) Área de estudo em escala continental. B) Área de estudo em escala regional. C) Área de estudo em escala municipal. Praias estudadas destacadas numericamente.....	22
Figura 2: Fluxo metodológico aplicado no trabalho	34
Figura 3: Comportamento de linha de costa da praia de Jurerê. Parte superior: Posição dos transectos e diagrama de Hovmöller. Parte inferior: Taxa de regressão linear (LRR), Taxa de ponto final (EPR), movimento líquido da linha de costa (NSM) e cobertura de mudança da linha de costa (SCE).....	42
Figura 4: Mapa de calor das correlações entre índices climáticos, variáveis de ondas e transectos da praia de Jurerê.....	43
Figura 5: Comportamento de linha de costa da praia de Canasvieiras. Acima: Posição dos transectos e diagrama de Hovmöller. Abaixo: Taxa de regressão linear (LRR), Taxa de ponto final (EPR), movimento líquido da linha de costa (NSM) e mudança total da linha de costa (SCE).	45
Figura 6: Mapa de calor das correlações entre índices climáticos, variáveis de ondas e transectos.....	46
Figura 7: Comportamento de linha de costa da praia da Lagoinha do Norte. Acima: Posição dos transectos e diagrama de Hovmöller. Abaixo: Taxa de regressão linear (LRR), Taxa de ponto final (EPR), movimento líquido da linha de costa (NSM) e mudança total da linha de costa (SCE).....	49
Figura 8: Mapa de calor das correlações entre índices climáticos, variáveis de ondas e transectos da praia da Lagoinha do Norte.	50
Figura 9: Comportamento de linha de costa da praia Brava. Acima: Posição dos transectos e diagrama de Hovmöller. Abaixo: Taxa de regressão linear (LRR), Taxa de ponto final (EPR), movimento líquido da linha de costa (NSM) e mudança total da linha de costa (SCE).	52
Figura 10: Mapa de calor das correlações entre índices climáticos, variáveis de ondas e transectos da praia Brava.	53
Figura 11: Comportamento de linha de costa da praia dos Ingleses. Acima: Posição dos transectos e diagrama de Hovmöller. Abaixo: Taxa de regressão linear (LRR), Taxa de ponto final (EPR), movimento líquido da linha de costa (NSM) e mudança total da linha de costa (SCE).	55
Figura 12: Mapa de calor das correlações entre índices climáticos, variáveis de ondas e transectos da praia dos Ingleses.....	56
Figura 13: Comportamento de linha de costa da praia dos Santinho. Acima: Posição dos transectos e diagrama de Hovmöller. Abaixo: Taxa de regressão linear (LRR), Taxa de ponto final (EPR), movimento líquido da linha de costa (NSM) e mudança total	

da linha de costa (SCE).....	58
Figura 14: Mapa de calor das correlações entre índices climáticos, variáveis de ondas e transectos da praia do Santinho.....	59
Figura 15: Comportamento de linha de costa do arco praial Moçambique-Barra da Lagoa. Acima: Posição dos transectos e diagrama de Hovmöller. Abaixo: Taxa de regressão linear (LRR), Taxa de ponto final (EPR), movimento líquido da linha de costa (NSM) e mudança total da linha de costa (SCE).....	61
Figura 16: Mapa de calor das correlações entre índices climáticos, variáveis de ondas e transectos do arco praial Moçambique - Barra da Lagoa.....	62
Figura 17: Comportamento de linha de costa do arco praial da Galheta. Acima: Posição dos transectos e diagrama de Hovmöller. Abaixo: Taxa de regressão linear (LRR), Taxa de ponto final (EPR), movimento líquido da linha de costa (NSM) e mudança total da linha de costa (SCE).....	64
Figura 18: Mapa de calor das correlações entre índices climáticos, variáveis de ondas e transectos da praia da Galheta.	65
Figura 19: Comportamento de linha de costa do arco praial Mole. Acima: Posição dos transectos e diagrama de Hovmöller. Abaixo: Taxa de regressão linear (LRR), Taxa de ponto final (EPR), movimento líquido da linha de costa (NSM) e mudança total da linha de costa (SCE).	67
Figura 20: Mapa de calor das correlações entre índices climáticos, variáveis de ondas e transectos da praia Mole	68
Figura 21: Comportamento de linha de costa do arco praial Joaquina -Campeche. Acima: Posição dos transectos e diagrama de Hovmöller. Abaixo: Taxa de regressão linear (LRR), Taxa de ponto final (EPR), movimento líquido da linha de costa (NSM) e mudança total da linha de costa (SCE).....	71
Figura 22: Mapa de calor das correlações entre índices climáticos, variáveis de ondas e transectos do arco praial Joaquina – Campeche.	72
Figura 23: Comportamento de linha de costa do arco praial Campeche – Morro das Pedras. Acima: Posição dos transectos e diagrama de Hovmöller. Abaixo: Taxa de regressão linear (LRR), Taxa de ponto final (EPR), movimento líquido da linha de costa (NSM) e mudança total da linha de costa (SCE).....	74
Figura 24: Mapa de calor das correlações entre índices climáticos, variáveis de ondas e transectos do arco praial Campeche – Morro das Pedras.	75
Figura 25: Comportamento de linha de costa do arco praial da Armação Acima: Posição dos transectos e diagrama de Hovmöller. Abaixo: Taxa de regressão linear (LRR), Taxa de ponto final (EPR), movimento líquido da linha de costa (NSM) e mudança total da linha de costa (SCE).....	77
Figura 26: Mapa de calor das correlações entre índices climáticos, variáveis de ondas e transectos da praia da Armação	79

Figura 27: Comportamento de linha de costa do arco praiado do Matadeiro. Acima: Posição dos transectos e diagrama de Hovmöller. Abaixo: Taxa de regressão linear (LRR), Taxa de ponto final (EPR), movimento líquido da linha de costa (NSM) e mudança total da linha de costa (SCE).....	81
Figura 28: Mapa de calor das correlações entre índices climáticos, variáveis de ondas e transectos da praia do Matadeiro.....	82
Figura 29: Comportamento de linha de costa do arco praiado da Lagoinha do Leste. Acima: Posição dos transectos e diagrama de Hovmöller. Abaixo: Taxa de regressão linear (LRR), Taxa de ponto final (EPR), movimento líquido da linha de costa (NSM) e mudança total da linha de costa (SCE).....	84
Figura 30: Mapa de calor das correlações entre índices climáticos, variáveis de ondas e transectos da praia da Lagoinha do Leste.	85
Figura 31: Comportamento de linha de costa do arco praiado da Pântano do Sul - Açores. Acima: Posição dos transectos e diagrama de Hovmöller. Abaixo: Taxa de regressão linear (LRR), Taxa de ponto final (EPR), movimento líquido da linha de costa (NSM) e mudança total da linha de costa (SCE).....	87
Figura 32: Mapa de calor das correlações entre índices climáticos, variáveis de ondas e transectos do arco praiado Pântano do Sul – Açores.	88
Figura 33: Comportamento de linha de costa do arco praiado da Solidão. Acima: Posição dos transectos e diagrama de Hovmöller. Abaixo: Taxa de regressão linear (LRR), Taxa de ponto final (EPR), movimento líquido da linha de costa (NSM) e mudança total da linha de costa (SCE).....	90
Figura 34: Mapa de calor das correlações entre índices climáticos, variáveis de ondas e transectos da praia da Solidão.....	91
Figura 35: Comportamento de linha de costa do arco praiado de Naufragados. Acima: Posição dos transectos e diagrama de Hovmöller. Abaixo: Taxa de regressão linear (LRR), Taxa de ponto final (EPR), movimento líquido da linha de costa (NSM) e mudança total da linha de costa (SCE).....	93
Figura 36: Mapa de calor das correlações entre índices climáticos, variáveis de ondas e transectos da praia de Naufragados.	94
Figura 37: Dado de reanálise de onda para a área de estudos oriundos do ERA5: a) Altura significativa (Hs); b) Período (Tp); c) Direção (Dir); e d) Potência. Fonte dos dados: ECMWF	96
Figura 38: Rosa de ondas com direção e altura de ondas.	97
Figura 39: Gráfico de distribuição empírica acumulada de altura de onda de 1984 a 2022	98
Figura 40: Análise de tendência linear para dados anuais médios de Hs.	98
Figura 41: Análise de tendência linear para dados anuais médios de Tp.	99

Figura 42: Fluxo direcional de energia média para todos os anos analisados. Unidade de fluxode energia em [kW/m].....	100
Figura 43: Análise de tendência linear para dados anuais médios de WP	101
Figura 44: Análise de tendência linear para dados anuais médios de direção de onda	102
Figura 45: Série temporal dos índices climáticos AMO, PDO, SOI, Niño 3.4, TSA e SAM para operíodo analisado.....	125

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Espaçamento e comprimento dos transectos aplicados em cada praia	36
Tabela 2: Variação das correlações (r) significantes ($p < 0,05$) de cada variável com os valores máximo, mínimo e média encontrados na praia de Jurerê. O símbolo ‘-’ representa ausência de correlação significativa.....	44
Tabela 3: Variação das correlações (r) significantes ($p < 0,05$) de cada variável com os valores máximo, mínimo e média encontrados na praia de Canasvieiras.	47
Tabela 4: Variação das correlações (r) significantes ($p < 0,05$) de cada variável com os valores máximo, mínimo e média encontrados na praia da Lagoinha do Norte. O símbolo ‘-’ representa ausência de correlação significativa.....	51
Tabela 5: Variação das correlações (r) significantes ($p < 0,05$) de cada variável com os valores máximo, mínimo e média encontrados na praia Brava. O símbolo ‘-’ representa ausência de correlação significativa.....	54
Tabela 6: Variação das correlações (r) significantes ($p < 0,05$) de cada variável com os valores máximo, mínimo e média encontrados na praia dos Ingleses. O símbolo ‘-’ representa ausência de correlação significativa.....	57
Tabela 7: Variação das correlações (r) significantes ($p < 0,05$) de cada variável com os valores máximo, mínimo e média encontrados na praia do Santinho. O símbolo ‘-’ representa ausência de correlação significativa.....	60
Tabela 8: Variação das correlações (r) significantes ($p < 0,05$) de cada variável com os valores máximo, mínimo e média encontrados no arco praial Moçambique-Barra da Lagoa.	63
Tabela 9: Variação das correlações (r) significantes ($p < 0,05$) de cada variável com os valores máximo, mínimo e média encontrados na praia da Galheta. O símbolo ‘-’ representa ausência de correlação significativa.....	66
Tabela 10: Variação das correlações (r) significantes ($p < 0,05$) de cada variável com os valores máximo, mínimo e média encontrados na praia Mole. O símbolo ‘-’ representa ausência de correlação significativa.....	69
Tabela 11: Variação das correlações (r) significantes ($p < 0,05$) de cada variável com os valores máximo, mínimo e média encontrados no arco praial Joaquina - Campeche.	73
Tabela 12: Variação das correlações (r) significantes ($p < 0,05$) de cada variável com os valores máximo, mínimo e média encontrados no arco praial Campeche – Morro das Pedras.	76
Tabela 13: Variação das correlações (r) significantes ($p < 0,05$) de cada variável com os valores máximo, mínimo e média encontrados na praia da Armação.	79

Tabela 14: Variação das correlações (r) significantes ($p < 0,05$) de cada variável com os valores máximo, mínimo e média encontrados na praia do Matadeiro.....	83
Tabela 15: Variação das correlações (r) significantes ($p < 0,05$) de cada variável com os valores máximo, mínimo e média encontrados na praia da Lagoinha do Leste. O símbolo '-' representa ausência de correlação significativa.....	85
Tabela 16: Variação das correlações (r) significantes ($p < 0,05$) de cada variável com os valores máximo, mínimo e média encontrados no arco praias Pântano do Sul - Açores. O símbolo '-' representa ausência de correlação significativa.....	89
Tabela 17: Variação das correlações (r) significantes ($p < 0,05$) de cada variável com os valores máximo, mínimo e média encontrados na praia da Solidão. O símbolo '-' representa ausência de correlação significativa.....	92
Tabela 18: Variação das correlações (r) significantes ($p < 0,05$) de cada variável com os valores máximo, mínimo e média encontrados na praia de Naufragados. O símbolo '-' representa ausência de correlação significativa.	95
Tabela 19: Valores máximos, mínimos, médias, mediana e desvio padrão, das variáveis de onda analisadas oriundas do ERA5. Fonte dos dados: ECMWF	96
Tabela 20: Matriz de Correlação de Pearson (r): Valores de correlação entre as médias anuais das variáveis utilizadas. Os valores em vermelho possuem nível de significância inferior a $p < 0,05$	103
Tabela 21: Valores de correlação entre as variáveis do clima de ondas e os índices climáticos. Os valores em vermelho possuem nível de significância inferior a $p < 0,05$	103
Tabela 22: Numero de imagens adquiridas e utilizadas após aplicação do filtro por ano analisado das praias de Jurerê, Canasvieiras, Lagoinha do Norte, Brava, ingleses e Santinho.	126
Tabela 23: Numero de imagens adquiridas e utilizadas após aplicação do filtro por ano analisado das praias de Moçambique – Barra da Lagoa, Galheta, Mole, Joaquina – Campeche, Campeche – Morro das Pedras.	127
Tabela 24: Numero de imagens adquiridas e utilizadas após aplicação do filtro por ano analisado das praias da Armação, Matadeiro, Lagoinha do Leste, Pântano – Açores, Solidão, Naufragados.	128

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMO	Oscilação Multidecadal do Atlântico (Atlantic Multidecadal Oscillation)
cm	centímetro
E	Leste
ECMWF	Centro Europeu de Previsões Meteorológicas de Médio Prazo (European Centre for MediumRange Weather Forecasts)
ENOS	El Nino Oscilação Sul (El Nino Southern Oscillation)
ESSE	Leste – Sudeste
Hs	Altura de onda
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change)
m	metro
N	Norte
PDO	Pacific Decadal Oscillation
S	Sul
SAM	Modo Anular Sul (Southern Annular Mode)
SE	Sudeste
SOI	Southern Oscillation Index
SSE	Sul – Sudeste
Tp	Período de onda
TSA	Índice do Atlântico Sul Tropical (Tropical South Atlantic Index)
WEF	Fluxo de Energia de Onda (Wave Energy Flux)
WP	Wave Power
Θ	Direção de incidência de onda

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	18
1.1.1. Objetivo Geral	21
1.1.2. Objetivos Específicos	21
2. ÁREA DE ESTUDO	22
2.2.1. Aspectos climáticos.....	24
2.2.2. Aspectos oceanográficos	26
2.3.1. Oscilação Multidecadal do Atlântico (AMO)	27
2.3.2. Oscilação Decadal do Pacífico (PDO).....	27
2.3.3. Índice de Oscilação Sul (SOI)	28
2.3.4. Índice Niño 3.4	28
2.3.5. Índice do Atlântico Sul Tropical (TSA).....	29
2.3.6. Modo Anular do Sul (SAM).....	29
3. MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1. MATERIAIS	31
3.1.2. ERA-5.....	32
3.2.1. Análise de linha de costa.....	35
3.2.2. Filtragem de dados.....	37
3.2.3. Diagrama de Hovmöller.....	38
4. RESULTADOS E ANÁLISES.....	41
4.1.1. Praia de Jurerê.....	41
4.1.2. Praia de Canasvieiras – Cachoeira de bom Jesus.....	44
4.1.3. Praia da Lagoinha do Norte	48
4.1.4. Praia Brava	51
4.1.5. Praia dos Ingleses.....	54
4.1.6. Praia do Santinho.....	58

4.1.7. Arco praial Moçambique – Barra da Lagoa	60
4.1.8. Praia da Galheta	63
4.1.9. Praia Mole	66
4.1.10. Arco praial Joaquina - Campeche	69
4.1.11. Arco praial Campeche - Morro das Pedras	73
4.1.12. Praia da Armação.....	76
4.1.13. Praia do Matadeiro	80
4.1.14. Praia da Lagoinha do Leste	83
4.1.15. Praia do Pântano do Sul - Açores	86
4.1.16. Praia da Solidão.....	89
4.1.17. Praia de Naufragados	92
5. DISCUSSÕES	104
6. CONCLUSÕES.....	112
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115
Anexo - I.....	125
Anexo II.....	126

1. INTRODUÇÃO

A zona costeira reúne um conjunto de sistemas extremamente dinâmicos onde mudanças ocorrem em diferentes escalas temporais e espaciais (Del Rio *et al.*, 2013). Essas mudanças podem ser ocasionadas tanto por processos naturais, como ventos, ondas, marés e oscilações do nível médio do mar, quanto por fatores antrópicos como obras costeiras e urbanização da orla (Martins *et al.*, 2004).

A avaliação das tendências da linha de costa é considerada um indicador crucial da vulnerabilidade costeira aos perigos naturais e é tida como um dos parâmetros mais importantes para determinar índices de tais vulnerabilidades (Almeida *et al.*, 2021). Estes índices são utilizados no planejamento, gestão e adaptação de regiões costeiras como, por exemplo, na avaliação dos efeitos das mudanças climáticas ou na alimentação de modelos numéricos para previsões (Almeida *et al.*, 2021; Martins *et al.*, 2004).

As ondulações que atingem a costa, conhecidas como ondas gravitacionais de superfície oceânica, são geradas em alto-mar pela ação dos ventos, o que as torna intrinsecamente ligadas à variabilidade atmosférica. Os padrões de variabilidade atmosférica e oceânica em grande escala são frequentemente analisados por meio de índices climáticos (Hemer *et al.*, 2010; Reguero *et al.*, 2013). Sendo assim, a variabilidade do clima de ondas em um determinado local é modulada pela combinação de vários índices climáticos e padrões de teleconexões (Reguero *et al.*, 2019; Silva *et al.*, 2020; Maia *et al.*, 2022).

Diversos autores têm demonstrado, através de seus estudos, alterações significativas no clima de ondas do Atlântico Sul e as conseqüentes repercussões para a costa, um fenômeno provavelmente em resposta à alteração da dinâmica atmosférica e às teleconexões inter-hemisféricas em associação com o aumento da temperatura global (Marshall *et al.*, 2018; Reguero *et al.*, 2019; Maia *et al.*, 2022, 2023). Com isso, torna-se fundamental compreender a variabilidade e as tendências climáticas de ondas oceânicas.

O conceito de mudanças climáticas refere-se às alterações do clima através do tempo e estão associadas tanto à variabilidade natural quanto à variabilidade originada como consequência das atividades do homem (Correa *et al.*, 2008; IPCC,

2023). A alteração do padrão das forçantes ambientais causada pelas mudanças climáticas pode agravar ou desencadear fenômenos de erosão e inundação costeira, afetando a segurança da população e as atividades econômicas envolvidas. Nesse sentido, a identificação de áreas suscetíveis a esses fenômenos torna-se importante para a gestão territorial da zona costeira (Dalinghaus *et al.*, 2018).

Nas últimas décadas diversas pesquisas indicam que processos erosivos de longo prazo vêm ocorrendo em escala global. Em seu trabalho, Luijendijk e colaboradores (2018) mostram que entre os anos 1984 e 2016, 24% das praias arenosas do mundo mostraram-se em erosão persistente com taxa superior a 0,5 m/ano e cerca de 18% apresentam taxas superiores a 1 m/ano.

Da mesma maneira, nas praias da Ilha de Santa Catarina estudos locais mostram que processos erosivos vêm sendo observados com maior frequência ao longo dos anos em toda ilha (Mazzer *et al.*, 2008; Rudorff e Bonetti, 2010; Castilhos, Horn Filho, Gré, 2011; Klein *et al.*, 2016; Horn Filho *et al.*, 2018; Marins, 2020; Estevam *et al.*, 2021).

Estudos sobre mudanças costeiras inicialmente desenvolvidos com base na fotogrametria aérea nas décadas de 1920 e 1930, avançaram significativamente a partir das décadas de 1980 e 1990 com o uso de sistemas de informação geográfica (SIG) e aprimoramentos metodológicos (Estevam *et al.*, 2021).

Na ilha de Santa Catarina estudos de monitoramento de linha de costa foram amplamente realizados utilizando técnicas de fotogrametria, monitoramento topográfico in loco, e o uso de imagens de satélite desde o início da década de 1970 (Horn Filho, 2004).

Entre os estudos quantitativos de variação da linha de costa na Ilha de Santa Catarina destacam-se os trabalhos de Mazzer e Dillenburg (2009), que realizaram a análise da variação da linha de costa em 64 anos das praias da região sul da ilha de Santa Catarina em escala interdecadal e interanual com o uso de aerofotos. Klein *et al.* (2016) apresentaram uma metodologia para quantificação de perigos costeiros e projeção de linhas de costa futuras como subsídio para estudos de adaptação das zonas costeiras do litoral norte da Ilha de Santa Catarina utilizando receptores GNSS e 53 anos de fotografias aéreas e imagens de satélite.

Mais recentemente, Estevam *et al.* (2021) realizaram um estudo comparativo entre 3 diferentes modelos de análise de linha de costa em 78 anos utilizando fotos aéreas no setor centro-sul da Ilha. Ainda, Silva *et al.* (2020) abordaram a orientação de linhas de costa pretéritas e ondulação predominante durante o Holoceno Tardio na Planície da Pinheira (Santa Catarina-BR), onde foram observados padrões atmosféricos e de ondulação coincidentes a períodos de SAM positivo e negativo os últimos 2700 anos.

Em relação às variações no clima de ondas no Hemisfério Sul e influência de índices climáticos, um dos estudos mais significativos foi conduzido por Hemer *et al.*, (2010). Já Reguero *et al.* (2013) apresentou em seu estudo correlações significativas entre índices climáticos e a direção do fluxo médio de energia das ondas para o Atlântico Sul

Mais recentemente, Ramos *et al.* (2021) analisaram as relações entre os índices climáticos SAM, PDO e ENSO e o clima de ondas no Atlântico Sul e encontraram correlação entre as fases dos índices estudados e variações na altura de ondas na região. Maia *et al.* (2023) investigaram as variações e tendências climáticas das ondas no Oceano Atlântico Sul entre 1950 e 2021 e identificaram aumento na altura de ondas na região. Além disso, relatam que eventos extremos estão mais fortes, mais longos e mais frequentes. A variação destas propriedades apresentou correlações com os índices climáticos AMO, TSA e SAM.

Os outros dois trabalhos analisaram a variabilidade climática das ondas offshore de Santa Catarina, Brasil: Dalinghaus (2016) estabeleceu ligações entre ENSO, SAM, PDO e parâmetros de ondas, enquanto Oliveira *et al.* (2019) encontraram no litoral de Santa Catarina correlações entre direção de onda e SOI.

Neste contexto, o presente trabalho propõe o uso de uma nova ferramenta de análise automática da linha de costa. Utilizando imagens de satélite públicas, a ferramenta proporciona maior frequência amostral de imagens para análise e realiza a detecção da linha de costa com resolução a nível subpixel afim de obter uma melhor visão de seu estado e comportamento ao longo do período analisado. Junto a isso, a inclusão da análise do clima de ondas local e índices climáticos atuantes na região complementam o estudo e trazem uma visão local e global dos fatores que influenciam o comportamento da linha de costa.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Analisar variações espaço-temporal da linha de costa de praias arenosas da ilha de Santa Catarina através da correlação entre dados obtidos por séries temporais da linha de costa, reanálises globais de dados de ondas e índices climáticos oceano-atmosfera entre 1984 e 2022.

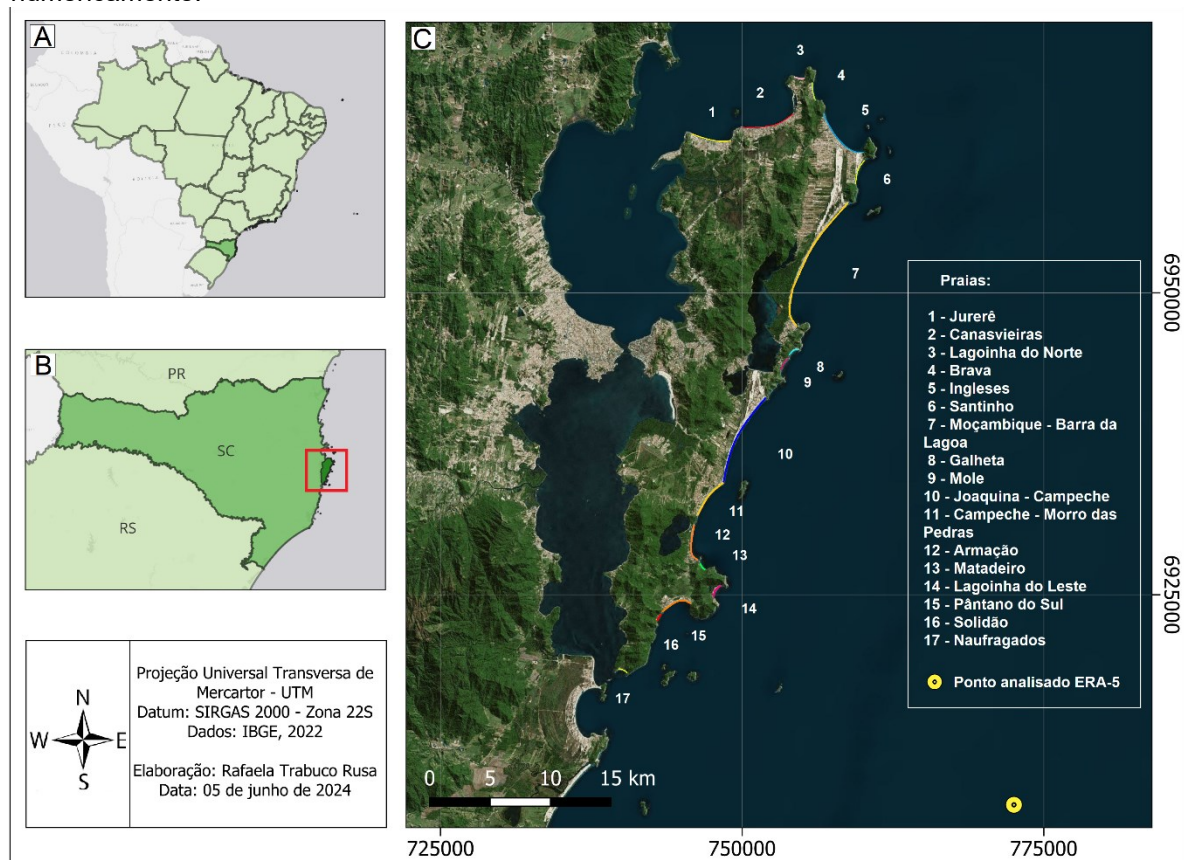
1.1.2. Objetivos Específicos

- Identificar processos erosivos e/ou acrescivos atuantes na Ilha de Santa Catarina e a sua dominância;
- Analisar a variação do clima de ondas nas praias da Ilha durante o período estudado;
- Investigar as relações entre a variabilidade do clima de ondas, variações na linha de costa das praias oceânicas da ISC e Modos de Variabilidade Climática no Oceano Atlântico Sul.

2. ÁREA DE ESTUDO

A ilha de Santa Catarina está localizada no setor Central do litoral do estado de Santa Catarina, costa Sudeste-Sul do Brasil (Diehl; Horn Filho, 1996) entre as latitudes sul de 27°22' e 27°50' e as longitudes oeste de 48°20' e 48°35', com orientação preferencial NNE-SSW (Figura 1).

Figura 1: Localização da área de estudo. A) Área de estudo em escala continental. B) Área de estudo em escala regional. C) Área de estudo em escala municipal. Praias estudadas destacadas numericamente.



Fonte: Autora

A compartimentação geológico-morfológica do litoral da ilha de Santa Catarina feita por Horn Filho *et al.* (1999) dividem a ilha em 6 costas distintas: 1) costa Norte (do pontal da Daniela à praia dos Ingleses); 2) costa Nordeste (da praia dos Ingleses à praia da Joaquina); 3) costa Sudeste (da praia da Joaquina à praia da Lagoinha do Leste); 4) costa Sul (da praia da Lagoinha do Leste à ponta dos Naufragados); 5) costa Sudoeste (da ponta dos Naufragados à ponte Hercílio Luz); e 6) costa Noroeste (da ponte Hercílio Luz ao pontal da Daniela).

Já com base nos riscos à erosão costeira, Horn Filho *et al.* (2000) dividem a costa da ilha de Santa Catarina em três setores segundo suas características geológicas e oceanográficas: setor Leste (de alta energia), setor Oeste (de baixa energia) e setor Norte/Sul (de média energia).

2.1. GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

A ilha de Santa Catarina é classificada como uma ilha do tipo continental, localizada integralmente dentro da região costeira. Sua composição geológica é constituída por duas principais províncias: (1) embasamento cristalino - mais antigo, representado pelas unidades geológicas do Escudo Catarinense e Formação Serra Geral. Apresenta granitos, riolitos e diabásios como rochas dominantes; e (2) a planície costeira - caracterizada por depósitos sedimentares mais novos, é representada pelos sedimentos de origem continental. Sua formação é originária de ambientes de sedimentação marinha, eólico, paludial, lagunar e coluvial (Caruso JR e Awdziej, 1993; Horn Filho, 2006; Horn Filho, Leal & Oliveira, 2017).

Os principais traços geomorfológicos da ilha de Santa Catarina podem ser subdivididos em Embasamentos em Estilos Complexos, compreendendo a unidade geomorfológica Serras do Leste Catarinense, e Acumulações Recentes, compreendendo a unidade geomorfológica Planícies Litorâneas (Horn Filho, Leal & Oliveira, 2017).

Na ilha de Santa Catarina (ISC), as Serras do Leste Catarinense representam a porção das terras altas, representada na forma dos morros, os quais são expressos em uma série de elevações orientadas no sentido NE-SW, com altitudes médias em 290 m, máximas de 532 m e mínimas de 75 m (Horn Filho, Leal & Oliveira, 2017).

Essa unidade possui o relevo com tendência favorável à erosão, e é caracterizado pela ocorrência de encostas íngremes e vales profundos, e interflúvios alocados nas rochas graníticas. Enquanto que, junto ao litoral, promontórios, pontais e maciços rochosos são frequentes ao longo da ISC, influenciando diretamente na geomorfologia dos ambientes costeiros (Horn Filho, Leal & Oliveira, 2017).

As terras baixas representadas pela unidade das Planícies Litorâneas, são compostas por um complexo de formas de modelado continental-marinho, advindos dos processos erosivos e de acumulação ao longo dos tempos geológicos mais recentes (Silva, Bortoluzzi, 1987).

Segundo Horn Filho, Leal e Oliveira (2017), as altitudes dessa unidade tangem a zona dos 10 m, ocorrendo extrapolações nos depósitos de encostas eólicas. Essa unidade é compartimentada entre os ambientes praial, eólico, lagunar e colúvio-aluvionar, exibindo desde superfícies planas a onduladas, e horizontais a inclinadas, cujas principais feições morfológicas são agrupadas em: (1) Domínio marinho - terraços marinhos pleistocênicos e holocênicos, esporões praias, planícies de marés atuais (manguezais) e praias atuais; (2) Domínio Eólico - dunas litorâneas antigas e atuais; (3) Domínio lagunar - terraços lagunares holocênicos e (4) Domínio colúvio-aluvionar – rampas.

2.2. CLIMA E OCEANOGRAFIA

2.2.1. Aspectos climáticos

Segundo classificação de Köppen-Geiger (1928), a ilha de Santa Catarina se enquadra em uma região de clima mesotérmico úmido, com invernos relativamente frios e verões quentes, com chuvas bem distribuídas durante todo o ano. Os sistemas atmosféricos atuantes no sul do Brasil durante o ano são: a Massa Tropical Atlântica (MTA) que atua o ano inteiro (80%), principalmente durante a primavera e verão, elevando a temperatura local; e a Massa Polar Atlântica (MPA), menos presente durante o ano (20%), atuando principalmente no outono e inverno, precedida pela Frente Polar Atlântica, que exerce grande influência térmica na região. A dinâmica resultante do encontro dessas duas massas de ar leva a formação da frente fria (polar), que ocasiona mudanças repentinas e bruscas nas condições atmosféricas em qualquer estação do ano, no entanto, a maior intensidade dessas frentes se dá durante os meses de inverno e primavera (Santa Catarina, 1986; Monteiro, 1995).

Dados climáticos referentes à ilha de Santa Catarina indicam temperatura média anual de 21,5°C e precipitação média anual de 1.492mm e a média de umidade relativa do ar é de 80%. Devido a sua localização, Santa Catarina é um dos

estados brasileiros com melhor distribuição pluviométrica nacional. As chuvas são bem distribuídas durante todo o ano, não existindo uma estação seca definida, sendo mais abundantes nos meses de verão do que durante o inverno (Monteiro, 1995; 2001).

Os ventos predominantes apresentam velocidade média de 3,31m/s, sendo os de direção norte e nordeste os mais frequentes (cerca de 47%), e os de sul os mais intensos (cerca de 32,5%), alcançando velocidade de até 6,5m/s (Porto Filho, 1993; Felix, 2005).

Monteiro e Furtado (1995), afirmaram que os ventos de quadrante N-NE possuem origem no Anticiclone Semipermanente do Atlântico Sul, no centro da Massa Tropical Atlântica, enquanto que os de quadrante S – SW são associados às diversas trajetórias das massas polares e suas frentes ocasionadas pelo Anticiclone Móvel Polar. A incidência de ventos desse quadrante é responsável por eventos de maiores energias, acarretando erosão episódica da costa.

De acordo com Bigarella e colaboradores (1994), as características climáticas presentes nesta região são resultado da influência de quatro sistemas atmosféricos principais: Baixa Pressão Móvel Polar, Anticiclone do Atlântico Sul, Anticiclone do Pacífico Sul e Centro de Baixa Pressão do 'Chaco'. Esses sistemas associam-se aos principais eventos meteorológicos, os quais têm influência direta nos processos morfodinâmicos da linha de costa na forma de geração de ondas e marés meteorológicas. Estas são controladas basicamente por três mecanismos: sistemas frontais, ciclones extratropicais e atuação semipermanente do sistema de alta pressão, ou Anticiclone do oceano Atlântico sul. Os dois primeiros mecanismos apresentam amplos gradientes de pressão atmosférica, gerando ventos de forte intensidade do sul, enquanto o anticiclone ocorre em caráter semipermanente, representando 80% das ocorrências de vento na zona costeira catarinense ao longo do ano (Porto Filho, 1993).

É notório que os sistemas frontais influenciam o clima no sul do Brasil. Esses sistemas de pequena e média escala são responsáveis por alterar as condições atmosféricas e acabam gerando grandes mudanças no estado meteorológico. Normalmente três a quatro frentes frias atingem Santa Catarina a cada mês. Elas percorrem o litoral da América do Sul e são configuradas na direção noroeste-

sudeste e apresentam uma trajetória de sudoeste para nordeste (Rodrigues *et al.*, 2004).

2.2.2. Aspectos oceanográficos

A área compreendida neste estudo está contida na porção meridional da Plataforma Continental Sudeste (PCSE) também denominada de Bacia de Santos. Esta se estende do Cabo Frio (RJ) até o Cabo de Santa Marta (SC) e aglomera boa parte do litoral catarinense (Pereira; Schettini; Omachi, 2009). Como ilha costeira, todo o entorno da ilha de Santa Catarina está sujeito à atuação de agentes oceanográficos, dentre eles as ondas e as marés (Leal, 1999; Horn Filho, 2006).

Segundo Araújo *et al.*, (2003), o regime de ondas na região é similar nas estações de primavera e verão, onde predominam as ondulações de leste com valores bem definidos de altura média de onda de 1,25m e período de 8 s. Já no outono e inverno o regime é dominado por ondulações de orientação sul com período de 12s, sendo a altura média de onda no outono de 1,5 m e no inverno de 1,25 m a 2,5 m.

Araújo *et al.* (2003) destacam ainda a ocorrência de eventos cujas alturas das ondas ultrapassam os 4 m em todas as estações do ano, com maior frequência nos meses de inverno.

Em relação às marés, a Ilha de Santa Catarina apresenta um regime de micromarés semidiurna que varia entre 0,4 e 1,2 m (Truccolo *et al.*, 2006). Na região, as maiores alterações do nível do mar ocorrem devido às marés meteorológicas. As marés meteorológicas positivas, geradoras de uma breve elevação do nível do mar, na costa Sul do Brasil, são originadas da ação de eventos de alta energia, associados a fortes ventos e ondulações provenientes de sul/sudeste. Segundo Truccolo, Franco e Schettini (2006), as marés meteorológicas podem elevar em 1 m as altitudes atingidas pelas marés de sizígia na região. Por sua vez, durante as marés meteorológicas negativas, observa-se o abaixamento pontual do nível do mar, podendo ser associadas a ventos e vagas provenientes de leste-nordeste nas adjacências da ilha de Santa Catarina (Cruz, 1998).

2.3. MODOS DE VARIABILIDADE CLIMÁTICA

2.3.1. Oscilação Multidecadal do Atlântico (AMO)

A Oscilação Multidecadal do Atlântico (*Atlantic Multidecadal Oscillation* - AMO, na língua inglesa) foi identificada como um modo de variabilidade natural que ocorre no Oceano Atlântico com base nas anomalias médias da temperatura da superfície do mar (TSM) na bacia do Atlântico Norte, tipicamente entre 0° - 70°N (Reboita *et al.*, 2009) e sua variação é mensurada pelo índice homônimo AMO.

Essa oscilação varia em uma escala de tempo de aproximadamente 70 anos, alternando entre as fases quente (positiva) por aproximadamente 40 anos, e fria (negativa) da TSM por aproximadamente 20 anos com 0,4°C de amplitude (Wang *et al.*, 2009; Trenberth *et al.*, 2021).

A AMO influencia de forma significativa as mudanças no clima global (Yang *et al.*, 2020) e diferentes efeitos são observados em todo o mundo, como variações de temperatura e pressão no Atlântico Sul, Pacífico e Oceano Antártico (Lyu e Yu, 2017; Odériz *et al.*, 2020). Por ser um dos mais importantes Modos de Variabilidade Climática, a AMO tem sido associada a anomalias climáticas regionais que podem modular a atividade de furacões e ciclones tropicais no Atlântico (Goldenberg *et al.*, 2001; McCabe *et al.*, 2004; Wang *et al.*, 2008) e o fluxo de energia de ondas no Oceano Antártico (Reguero *et al.*, 2019)

2.3.2. Oscilação Decadal do Pacífico (PDO)

A Oscilação Decadal do Pacífico (*Pacific Decadal Oscillation* - PDO, na língua inglesa) é o principal componente da variabilidade da temperatura na superfície do mar (TSM) do Oceano Pacífico. Com ciclos de 20 a 30 anos, possui uma fase quente e outra fria, gerando implicações significativas no clima global (Mantua *et al.*, 1997). Essa variabilidade é medida pelo índice correspondente, que avalia a anomalia da intensidade da Oscilação Decadal do Pacífico (PDO) na região do Pacífico Norte, comparando-a com os valores médios históricos por meio do número de desvios padrão (Castro; Souza Filho e Silveira, 2013).

Segundo Mantua e Hare (2002), diversos estudos sugerem que a variação da PDO exibe uma simetria com as variações climáticas interdecadais nos hemisférios

Norte e Sul, em especial na Ásia Oriental, nas Américas e na Austrália. Segundo Sleiman e Silva (2010), o clima na América do Sul é modificado por flutuações de prazos mais longos, além da variabilidade interanual, tal como a apresentada pela PDO.

O PDO pode intensificar ou diminuir os impactos do El Niño-Oscilação Sul (ENOS) de acordo com sua fase. Se o ENOS e o PDO estiverem na mesma fase os impactos do El Niño/La Niña possam ser fortalecidos ou enfraquecidos.

2.3.3. Índice de Oscilação Sul (SOI)

O Índice de Oscilação Sul (*Southern Oscillation Index* - SOI, na língua inglesa) é conhecido como um índice que indica oscilação na pressão atmosférica entre os setores leste e oeste do oceano Pacífico Tropical (Walker, 1928). O índice é calculado como a diferença da pressão atmosférica ao nível médio do mar entre uma estação meteorológica localizada no Tahiti e outra em Darwin (Austrália), $SOI = P_{Tahiti} - P_{Darwin}$ e é conhecido como a componente atmosférica do ENOS (Reboita *et al.*, 2009)

Quando o SOI é positivo/negativo indica que a pressão atmosférica ao nível médio do mar é maior/menor em Tahiti do que em Darwin. Quando o índice apresenta por uma sequência de meses valores negativos/positivos isso está relacionado com eventos de El Niño/La Niña. Nota-se aqui, que o SOI tem sinal inverso aos índices calculados com TSM para indicar os eventos de El Niño e La Niña.

2.3.4. Índice Niño 3.4

O índice Niño 3.4 representa as anomalias na temperatura da superfície do mar equatoriais na área entre as longitudes 120°O e 170°O e as latitudes 5°N e 5°S.

Existem vários índices usados para monitorar o Pacífico tropical, todos baseados em anomalias da SST calculadas em uma região específica. Essa região é particularmente sensível às variações nas temperaturas da superfície do mar, que são indicativas do ENOS. O índice Niño 3.4 e o *Oceanic Niño Index* (ONI) são os índices mais comumente usados para definir eventos de El Niño e La Niña.

O Niño 3.4 normalmente usa uma média contínua de 5 meses, e os eventos El Niño ou La Niña são definidos quando as TSMs do Niño 3.4 excedem +/- 0,4C por um período de seis meses ou mais (Reboita *et al*, 2021). Já o Índice de Oscilação do El Niño (ONI), utiliza as temperaturas médias na região Niño 3.4 em seu cálculo para classificar e monitorar os eventos de El Niño e La Niña.

Neste estudo optou-se por utilizar apenas o índice Niño 3.4 para representar a variação de temperatura no Pacífico tropical por ter obtido uma melhor resposta nas análises com esse índice apenas.

2.3.5. Índice do Atlântico Sul Tropical (TSA)

O índice do Atlântico Sul Tropical (*Tropical Southern Atlantic Index – TSA*, na língua inglesa) é um indicador da TSM no oeste do Oceano Atlântico Sul tropical, caracterizando-se por anomalias quentes ou frias entre 0°-20°S e 30°W- 10°E. Valores positivos (negativos) do TSA indicam que a TSM é anormalmente quente (fria) no oceano Atlântico Sul Tropical (Enfield *et al.*, 1999; Souza e Reboita, 2021).

Enfield *et al.* (1999) definiram o índice TSA utilizando padrões dipolares de TSM no Atlântico Sul tropical onde foram encontrados uma periodicidade de 8 a 12 anos para a primavera-inverno e de 2 a 3 anos para a primavera-verão. Os valores positivos do índice indicam que a temperatura da superfície do mar é anormalmente quente e valores negativos indicam anomalia fria sobre a região sul do Oceano Atlântico. Segundo Reguero *et al.* (2013) o TSA está associado a aumento na altura, fluxo de energia e mudanças na direção das ondas na zona equatorial do Oceano Atlântico e também na região do Rio da Plata. Tais alterações são principalmente provocadas pelo reforço dos ventos alísios de sudeste e de leste no Atlântico equatorial ocidental devido a uma migração para norte da zona de convergência intertropical.

2.3.6. Modo Anular do Sul (SAM)

O Modo Anular Sul (*Southern Annular Mode - SAM*, na língua inglesa), também conhecido como Oscilação Antártica (AAO) é o principal modo de variabilidade na

circulação atmosférica extratropical e de altas latitudes no Hemisfério Sul (HS). Esta oscilação é caracterizada por perturbações de altura geopotencial zonalmente simétricas com sinais opostos entre a Antártica e as latitudes a cerca de 45°S. que pode variar de semanas a meses apresentando variação intrasazonal e interanual (Thompson & Wallace, 2000; Reboita et al., 2009; Fogt & Marshall, 2020).

A fase positiva do SAM é caracterizada por anomalias negativas de temperatura e anomalias positivas de vento zonal ao longo da Antártica, com condições opostas próximo à latitude média de 45°S (Sen Gupta & England; Reboita et al., 2009).

SAM é considerado o principal modo que influencia a altura, a variabilidade direcional e o fluxo de energia das ondas no sul do *Hemisfério Sul* (Hemer et al., 2010; Marshall et al., 2018), contribuindo com as ondulações de sul de alta energia e para o fluxo de energia de ondas que se propagam ao longo da costa sul-americana (Silva et al., 2020).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. MATERIAIS

3.1.1. CASSIE

A ferramenta web de código aberto CASSIE (*Coastal Analyst System From Space Imagery Engine*) (<https://cassiengine.org/>), desenvolvida por Almeida *et al.* (2021) para mapeamento e análise automática da linha de costa utilizando imagens de satélite foi utilizada para a aquisição dos dados brutos e estatísticos sobre a variação da linha de costa.

Essa ferramenta pode ser aplicada a qualquer região costeira onde há contraste água/areia. Por meio das imagens de satélites Landsat e Sentinel-2, o CASSIE executa a identificação automática da linha de costa através do índice de diferença normalizada da água (NDWI) e do algoritmo de segmentação de imagem de Otsu (Otsu, 1979). O cálculo do NDWI baseia-se na diferença, a nível subpixel, das bandas de verde visível e infravermelho próximo. A partir dos valores resultantes, áreas com e sem cobertura de água são identificadas nas imagens de satélite analisadas. A imagem com o índice NDWI é então submetida ao algoritmo delimitação de Otsu (1979), resultando na geração de uma imagem binária, na qual os pixels com valor zero (0) correspondem à classe de água e os pixels com valor um (1) correspondem à classe de terra.

Após a extração automática da linha de costa das imagens selecionadas, integrada ao CASSIE, a ferramenta DSAS (*Digital Shoreline Analysis System*) gera os dados estatísticos de cada transecto, sendo eles:

- *Shoreline Change Envelope* (SCE) - Envelope de alterações da linha de costa:

Representa a distância (em metros) entre a linha de costa mais distante e a mais próxima da linha de base definida que intercepta cada transecto. Esse índice representa a variação total do movimento da linha de costa para todas as posições mapeadas, independentemente do tempo (Thieler *et al.*, 2009; Santos, 2021).

- *Net Shoreline Movement* (NSM) - Movimento resultante da linha de costa:

Representa a distância (em metros) entre a linha de costa mais antiga e a mais recente de cada transecto, desta forma, considera apenas duas imagens.

- *End Point Rate* (EPR) - Taxa de ponto de terminação:

Representa a taxa de mudança da linha de costa (em metros por ano), onde expressa o movimento entre a linha de costa mais antiga e mais recente ao longo do tempo decorrido. É calculada dividindo NSM pelo tempo decorrido entre a linha de costa mais antiga e a mais recente.

- *Linear Regression Rate* (LRR) - Taxa de regressão linear:

A taxa de mudança da linha de costa (em metros por ano) equivale a inclinação da reta da regressão, gerando a linha de tendência para todos os pontos e transectos.

O LRR é o parâmetro utilizado para a classificação proposta por Esteves e Finkl (1998) em relação ao estado da praia em cada transecto: criticamente erosivo (<-1 m/ano), erosivo (-1 a 0,5 m/ano), estável (-0,5 a 0,5 m/ano) ou acrescivo (>0,5 m/ano).

3.1.2. ERA-5

A reanálise global para clima e tempo ERA-5, produzida pelo European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF; <https://cds.climate.copernicus.eu/>), é um modelo que assimila dados observacionais para fornecer informações de cobertura global desde 1950 até o presente, com alta resolução espacial (31 km) e temporal (horária) (Hersbach et al., 2020).

Neste estudo foram utilizados 38 anos (1984-2022) de dados de reanálise de ondas globais com resolução temporal horária, de um único ponto localizado nas coordenadas 27°55'43.39"S e 48°13'50.52"W (Figura 1). Foram extraídos dados de altura significativa de ondas (H_s), período médio das ondas (T_p) e direção de incidência de ondas (θ) para a caracterização do clima de ondas local.

3.1.3. Índices climáticos e Teleconexões globais

Com base em suas influências, os índices AMO, PDO, SOI, Niño 3.4, TSA, e SAM foram utilizados para representar processos de grande escala que podem influenciar as condições climáticas no Oceano Atlântico Sul.

O termo “teleconexão” refere-se à ligação entre anomalias climáticas locais e forçantes localizadas, geralmente, a grandes distâncias e aparentemente não

relacionadas (Liu e Alexander, 2007; Ambrizzi *et al.*, 2014; Rebiota e Santos, 2014). Essas ligações são causadas pelo transporte de energia e propagação de ondas na atmosfera e no oceano, permitindo assim que a atmosfera e o oceano conectem diferentes regiões do globo (Liu e Alexander, 2007)

Os índices mensais de AMO, PDO, SOI, Niño 3.4 e TSA foram baixados do Laboratório de Ciências Físicas da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (www.psl.noaa.gov/). O SAM foi obtido do British Antarctic Survey (www.bas.ac.uk/). As séries temporais dos índices estão disponibilizados no Anexo I deste documento.

3.1.4. MATLAB

O software MATLAB (www.mathworks.com/products/matlab.html) foi utilizado para o tratamento dos dados adquiridos com o desenvolvimento de filtros para a remoção de dados espúrios de maré e linha de costa, produção de diagramas de Hovmöller, correlação entre as variáveis e a realização de análises estatísticas complementares.

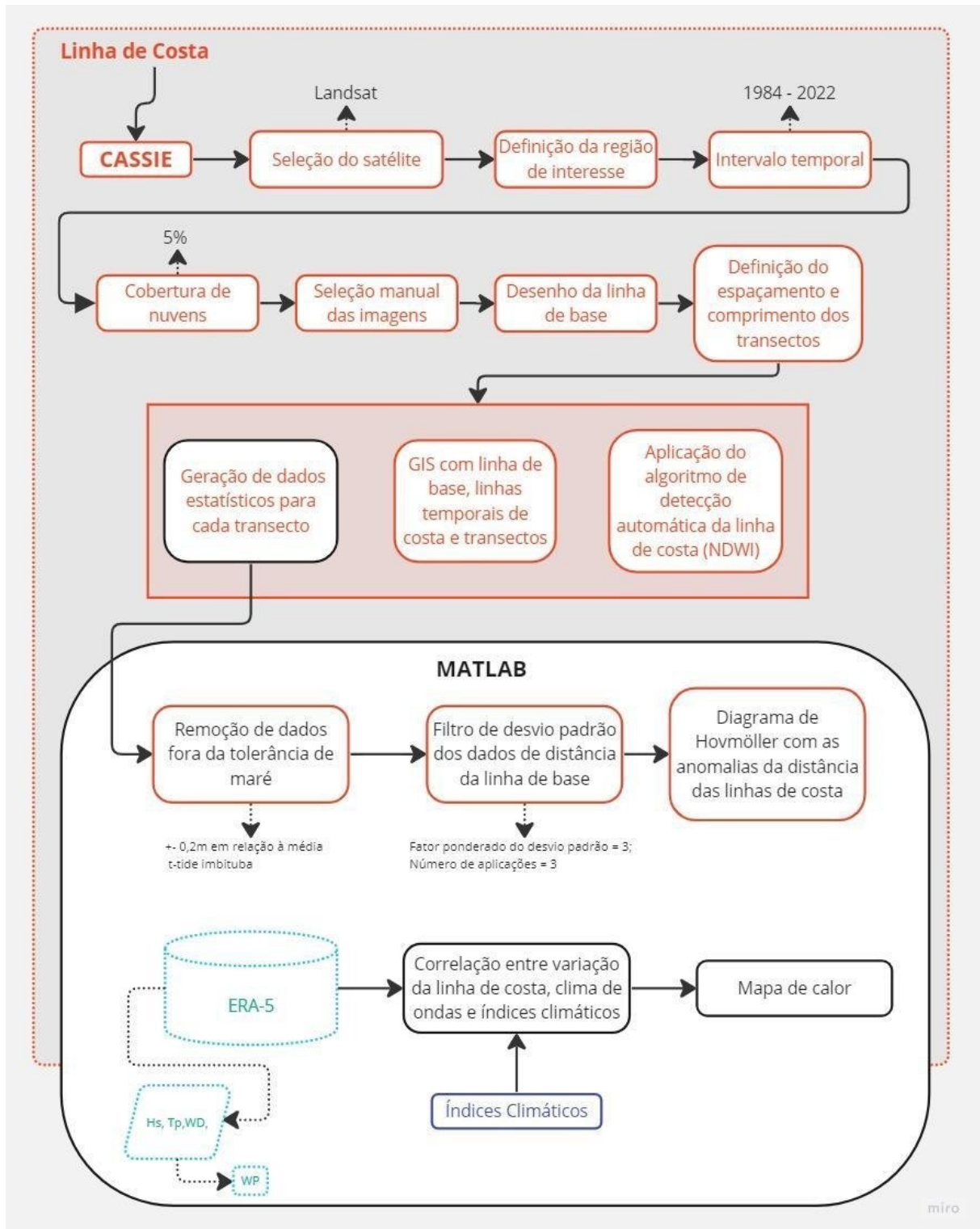
3.2. MÉTODOS

A metodologia aplicada neste trabalho consistiu em três passos principais:

i) Análise da linha de costa; ii) Análise do clima de ondas regional e iii) correlações entre variáveis.

A metodologia adotada é apresentada de forma esquemática no fluxograma da Figura 2 onde é possível acompanhar o fluxo de trabalho realizado no CASSIE para a obtenção dos dados de linha de costa, seguido do processamento e limpeza dos dados extraídos no MATLAB e a integração dos dados de onda, índices climáticos e os produtos finais do trabalho como os diagramas de Hovmöller e os mapas de calor.

Figura 2: Fluxo metodológico aplicado no trabalho



Fonte: Autora

3.2.1. Análise de linha de costa

Inicialmente na ferramenta CASSIE é necessário seleccionar o satélite para a aquisição das imagens. Neste estudo as imagens de satélites das missões Landsat 5, 7 e 8 foram utilizadas para análise. Em seguida foram seleccionadas a área de interesse de cada praia, que compreendeu 17 praias arenosas oceânicas da ISC entre as praias de Jurerê, no norte, e Naufragados, no sul, (Figura 1). A percentagem de nuvens foi definida em no máximo 5% e o período de amostragem foi de 1984 a 2022, totalizando 38 anos de dados.

Logo após foi feita a seleção manual das imagens disponíveis para minimizar eventuais erros de processamento, onde foram excluídas imagens com nuvens e/ou zona de surfe marcada por intensa arrebentação e ondas próximas a linha de costa. A quantidade de imagens utilizadas em cada praia ao longo do período estudado pode ser encontrada no Anexo II desse trabalho

A ferramenta em seguida pede para que o usuário trace manualmente a linha de base (que pode ser em terra ou na água) e defina o espaçamento e comprimento dos transectos. Devido as diferenças morfológicas entre as praias analisadas nesse trabalho o espaçamento e comprimento dos transectos foi adaptado de acordo com a extensão de cada arco praial conforme a Tabela (1):

Tabela 1: Espaçamento e comprimento dos transectos aplicados em cada praia

<i>Praia</i>	<i>Largura do transecto</i>	<i>Comprimento do transecto</i>	<i>Extensão do arco praial</i>
<i>Jurerê</i>	100 m	1200 m	3400 m
<i>Canasvieiras</i>	100 m	1200 m	4300 m
<i>Lagoinha do Norte</i>	50 m	800 m	920 m
<i>Brava</i>	50 m	800 m	1900 m
<i>Inglese</i>	100 m	1000 m	5000 m
<i>Santinho</i>	50 m	1000 m	1980 m
<i>Moçambique-Barra</i>	200 m	1600 m	12000 m
<i>Galheta</i>	50 m	800 m	900 m
<i>Mole</i>	50 m	800 m	1190 m
<i>Joaquina-Campeche</i>	200 m	1200 m	8000 m
<i>Campeche-Morro das Pedras</i>	100 m	1200 m	3400 m
<i>Armação</i>	100 m	1000 m	3500 m
<i>Matadeiro</i>	50 m	500 m	862 m
<i>Lagoinha do Leste</i>	50 m	1000 m	1260 m
<i>Pântano-Açores</i>	100 m	1000 m	3920 m
<i>Solidão</i>	50 m	800 m	600 m
<i>Naufregados</i>	50 m	1000 m	750 m

Fonte: Autora

Após este processo, a ferramenta aplica o algoritmo de detecção automática de linha de costa (*Normalized Difference Water Index - NDWI*) em cada imagem da seleção e a ferramenta DSAS (*Digital Shoreline Analysis System*) integrada ao CASSIE gera os dados estatísticos de cada transecto.

A ferramenta gera ao final do processamento uma planilha com dados estatísticos de cada transecto e um documento GIS com a linha de base, linhas temporais de costa e transectos da praia.

3.2.2. Filtragem de dados

Seguindo o fluxo da metodologia, a planilha com os dados estatísticos extraída do CASSIE foi levada ao MATLAB onde passou por um filtro desenvolvido para a remoção de dados fora da tolerância da maré e logo após, um filtro de desvio padrão dos dados de distância da linha de base para a remoção de dados espúrios.

3.2.2.1. Influência da maré

Para a correção da influência da maré nos dados de linha de costa obtidos foi utilizado o pacote de Matlab T_TIDE 1.5 (Pawlowicz *et al.*, 2002) para determinar as componentes harmônicas de uma série temporal de elevação já existente e sua posterior reconstrução para o período deste trabalho.

A análise harmônica foi realizada com base em dados horários com um ano de duração, de junho de 2022 a junho de 2023, provenientes de um marégrafo localizado em Imbituba. O marégrafo é operado e mantido pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) e os dados estão disponíveis no sítio da internet da Comissão Oceanográfica Intergovernamental (COI - UNESCO, 2023). Com essa abordagem foi possível estimar o nível do mar em cada linha de costa extraída.

Em cada praia analisada foi calculado o valor médio do nível do mar em relação a cada conjunto de dados obtidos e delimitada tolerância de $\pm 0,2\text{m}$ desse valor. Dados que extrapolassem a tolerância foram removidos da análise.

3.2.2.2. Filtro linha de costa

Após a correção da maré, os dados passaram pela última etapa de filtragem. O filtro, desenvolvido no software MATLAB, aplica um critério de três desvios padrões iterativamente três vezes aos dados de linha de costa, a fim de remover dados espúrios. Dessa forma, quaisquer dados de linha de costa que extrapolaram essa margem foram excluídos do processamento.

3.2.3. Diagrama de Hovmöller

Ainda no software MATLAB, os dados filtrados de distância de linha de costa em relação à linha de base foram utilizados para a criação de Diagramas de Hovmöller (Hovmöller, 1949) para cada praia. O diagrama ilustra a média anual dos resultados dos processos de mudança na posição da linha de costa ao longo do período estudado, sendo possível identificar padrões de periodicidade (ciclos de acreção/erosão). Tons vermelhos representam linhas de costa mais próximas à linha de base e tons azuis exibindo linhas de costa mais distantes.

3.3. POTÊNCIA DE ONDA

Os dados de onda extraídos do ERA-5 foram trabalhados para obter a potência de ondas (WP).

A potência de onda (WP) foi calculada utilizando-se o período médio de pico da onda (T_p) e da altura significativa de onda (H_s – combinação de ondas de vagas e ondulação), através da equação (Como et al., 2015):

$$WP = 0,98H_s^2T_p \quad (1)$$

onde, H_s é a altura significativa da onda e T_p é o período de pico médio da onda, sendo os resultados expressos em kW/m. Os dados de reanálise global de ondas ERA-5, com resolução horizontal de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$, corresponderam (como referência padrão) ao ponto de águas oceânicas mais próximo possível à região costeira da área de estudo.

3.4. ANÁLISES ESTATÍSTICAS COMPLEMENTARES

Além das análises realizadas pelo CASSIE e Hovmöller, foram realizadas análises e cálculos estatísticos complementares para melhorar o entendimento e visualização dos dados de onda e índices climáticos.

Primeiramente foi feita uma análise de correlação entre todas as variáveis climáticas (AMO, PDO, SOI, Niño 3.4, TSA, SAM) e de onda (Hs, Tp, θ e WP) através do cálculo do Coeficiente de Correlação de Pearson (r) (Equação 2) para identificar possíveis relações entre os índices climáticos e as variáveis de onda.

A fórmula do coeficiente de correlação de Pearson (r) é:

$$r = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \left(\frac{A_i - \mu_A}{\sigma_A} \right) \left(\frac{B_i - \mu_B}{\sigma_B} \right) \quad (2)$$

Onde N é o número de dados, A e B representam as variáveis a serem correlacionadas, μ é a média e σ é o desvio padrão.

O coeficiente varia de -1 a 1, sendo que 1 indica uma correlação direta (positiva) perfeita, -1 indica uma correlação indireta (negativa) perfeita e 0 indica que a relação linear entre as duas variáveis é nula.

Este trabalho utilizou a classificação de níveis de correlação baseada nos resultados de Short e Trembanis (2004) que utilizou a metodologia de correlação para identificação de rotação praial.

No estudo Short e Trembanis (2004) consideraram:

- $|0| \leq r < |0,3|$ = correlação baixa;
- $|0,3| \leq r < |0,6|$ = correlação média;
- $r \geq |0,6|$ = correlação alta.

Para garantir que os valores encontrados fossem significativos estatisticamente, os resultados de correlação foram submetidos ao teste de significância. Considerou-se significativos os resultados de p -valor $< 0,05$.

Para a análise de comportamento e tendência das variáveis de onda foi aplicada a média móvel e a correlação por mínimos quadrados em cada uma. A aplicação da média móvel suaviza a série temporal ajudando a reduzir a

aleatoriedade e flutuações de curto prazo, tornando mais fácil identificar padrões de longo prazo na série. Já a correlação por mínimos quadrados é uma abordagem estatística utilizada para investigar a relação entre duas variáveis, determinando a melhor linha de ajuste que minimiza a soma dos quadrados das diferenças entre os valores observados e os valores previstos.

Também foi gerado um gráfico de distribuição empírica acumulada para os dados de Hs com o intuito de analisar de forma abrangente o comportamento da série temporal das alturas das ondas ao longo do período em estudo.

Por fim, foram gerados mapas de calor de cada praia com o objetivo de visualizar a influência das variáveis climáticas e de onda ao longo dos transectos. A análise foi feita através da correlação das médias mensais de cada variável aos transectos definidos. Tendo em vista a descontinuidade na série temporal das imagens de satélite em comparação às séries de ondas e índices climáticos, foram considerados somente os meses em que houvesse imagem correspondente para a análise.

4. RESULTADOS E ANÁLISES

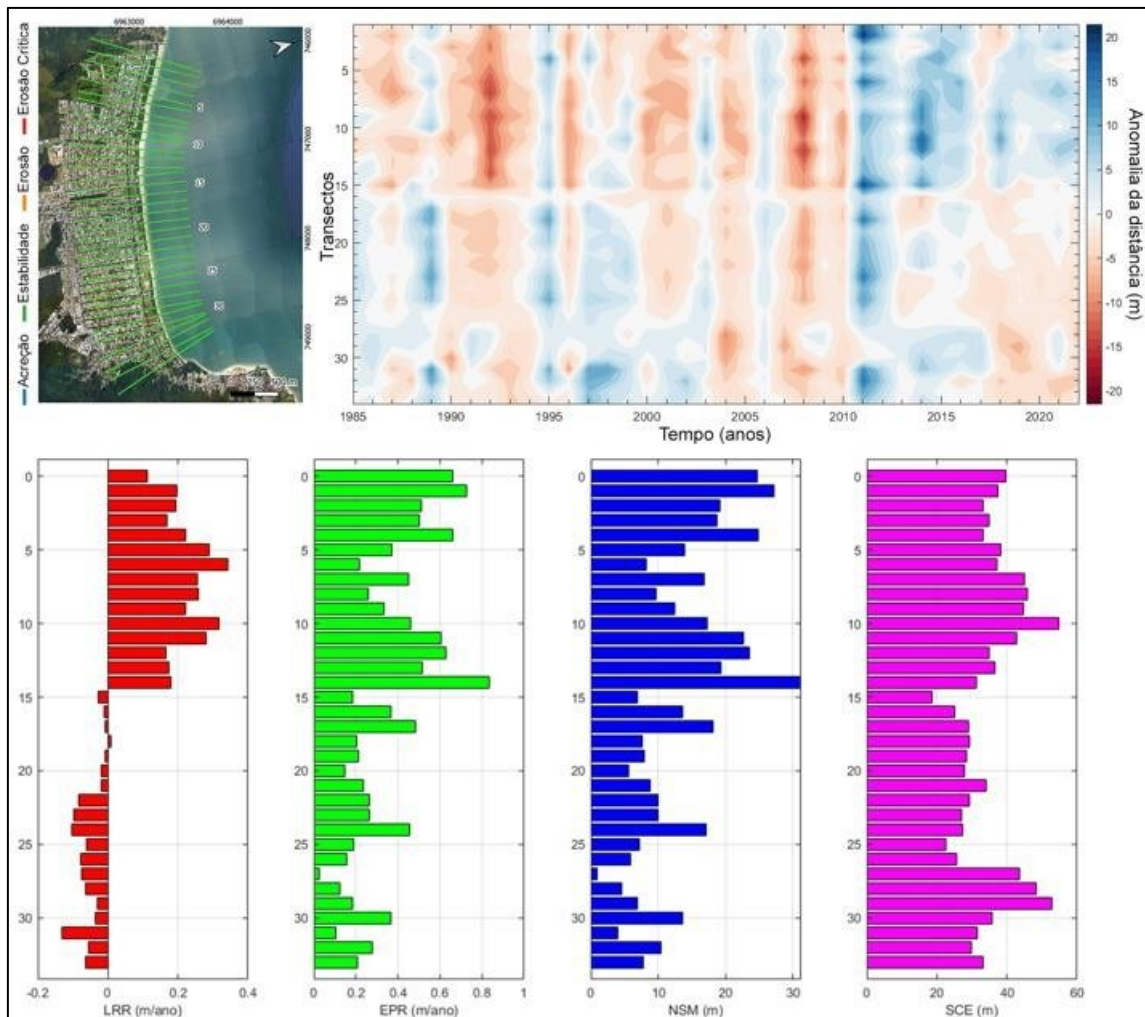
4.1. ANÁLISE DA LINHA DE COSTA

4.1.1. Praia de Jurerê

A praia de Jurerê está localizada na costa norte da ilha de Santa Catarina, entre as praias da Daniela (a oeste) e Canasvieiras (a leste). Possui uma linha de costa de 3,4 km de extensão, largura média de 20 m (Horn Filho, Leal e Oliveira, 2017). Geomorfologicamente a área de estudo representa uma praia de enseada, demarcada por dois promontórios, sendo eles morro do Forte a oeste e o morro do Jurerê a leste.

Através do diagrama de Hovmöller (Figura 3) é possível observar os ciclos erosivos e acrescionais que a praia sofreu durante o período analisado. Nota-se uma divisão aparente da praia entre os transectos 15 e 16, onde na porção mais a Leste os processos erosivos foram mais intensos, porém, com tendência acresciva desde 2011. Já na porção oeste, após a acresção aparente sofrida em 2011 na praia toda, vem apresentando tendências erosivas.

Figura 3: Comportamento de linha de costa da praia de Jurerê. Parte superior: Posição dos transectos e diagrama de Hovmöller. Parte inferior: Taxa de regressão linear (LRR), Taxa de ponto final (EPR), movimento líquido da linha de costa (NSM) e cobertura de mudança da



Fonte: Autora

Primeiramente é importante destacar que no centro da praia encontra-se uma construção localizada sobre a restinga, entre os transectos 15 e 16, o que acabou causando interferência nos dados analisados, conforme observado no gráfico de Hovmöller acima.

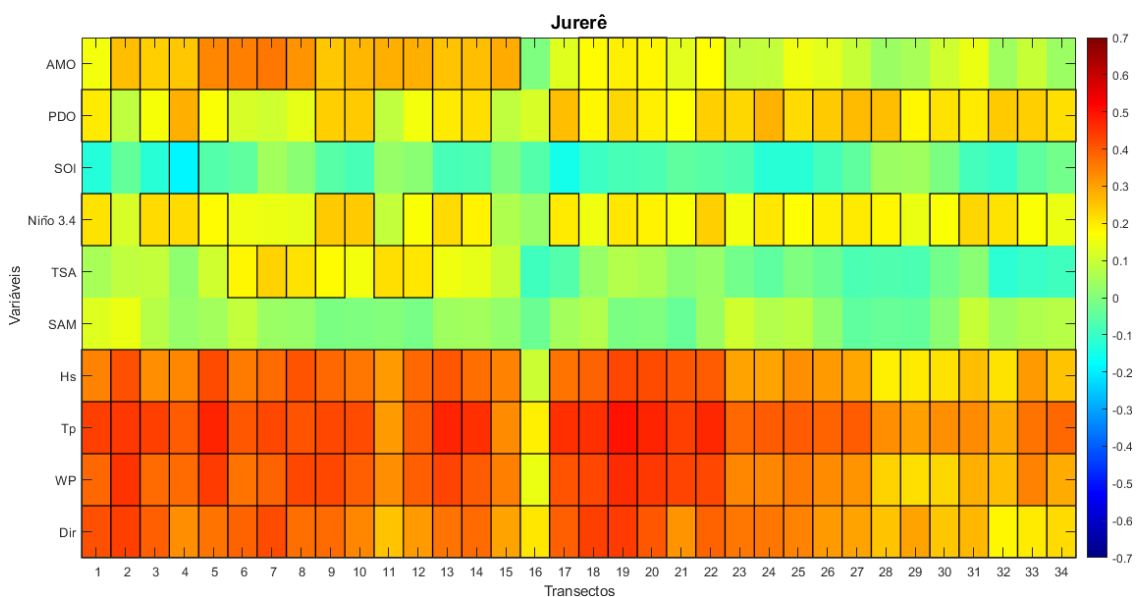
É possível observar o comportamento e a variação em metros dos perfis ao longo desse período através das estatísticas extraídas com valores de variação máxima (NSM), variação absoluta (SCE), média de variação anual (EPR) e tendência anual de regressão linear (LRR)

A praia foi classificada como em equilíbrio em sua totalidade, com a LRR positiva no setor oeste da praia com média de 0,2 m/ano e negativa na porção leste com média aproximada de -0,1 m/ano.

A variação absoluta da praia foi em média de 30 m em toda praia. Já o EPR e NSM demonstram uma maior variação da linha de costa nos setores mais oeste da praia.

O mapa de calor apresentado na Figura 4 indica que ao longo da praia de Jurerê os índices AMO, PDO e Niño 3.4 obtiveram as maiores correlações (r) significativas ($p < 0,05$) em relação às variações da linha de costa.

Figura 4: Mapa de calor das correlações entre índices climáticos, variáveis de ondas e transectos da praia de Jurerê.



Fonte: Autora

As correlações significativas dos transectos com AMO variaram entre $r = 0,36$ e $r = 0,17$ com média de $r = 0,26$. PDO entre $r = 0,28$ e $r = 0,17$ média de $r =$

$r = 0,22$. Niño 3.4 entre $r = 0,24$ e $r = 0,17$ e média de $r = 0,20$. TSA entre $r = 0,23$ e $r = 0,18$ com média $r = 0,20$. SOI apresenta valor significativo em apenas um transecto com $r = -0,19$.

Quanto às variáveis de onda, pode-se dizer que a praia toda é influenciada por variações de Hs, Tp, WP e direção, com maiores valores de correlação no centro da praia e no setor oeste. Hs entre $r = 0,42$ e $r = 0,20$ com média $r = 0,34$, Tp entre $r = 0,49$ e $r = 0,29$ com média $r = 0,40$, energia de onda WP com $r = 0,46$ e $r = 0,22$ e média $r = 0,36$ e direção de onda θ entre $r = 0,44$ e $r = 0,18$ e média $r = 0,34$.

A correlação positiva das ondas indica relação direta entre as variáveis, ou seja, com o aumento de altura, energia, e maior grau de incidência de ondas (ondulações para sul), o perfil tende a aumentar seu tamanho e vice versa.

A Tabela 2 mostra os valores máximo, mínimo e a média dos valores de correlação encontrados na análise da praia de Jurerê.

Tabela 2: Variação das correlações (r) significantes ($p < 0,05$) de cada variável com os valores máximo, mínimo e média encontrados na praia de Jurerê. O símbolo ‘-’ representa ausência de correlação significativa.

	<i>Máx</i>	<i>Mín</i>	<i>Média</i>
<i>AMO</i>	0,36	0,17	0,26
<i>PDO</i>	0,28	0,17	0,22
<i>SOI</i>	-	-	-0,19
<i>Niño 3.4</i>	0,24	0,17	0,2
<i>TSA</i>	0,23	0,18	0,2
<i>SAM</i>	-	-	-
<i>Hs (m)</i>	0,42	0,2	0,34
<i>Tp (s)</i>	0,49	0,29	0,4
<i>WP (kW/m)</i>	0,46	0,22	0,36
<i>Dir (°)</i>	0,44	0,18	0,34

Fonte: Autora.

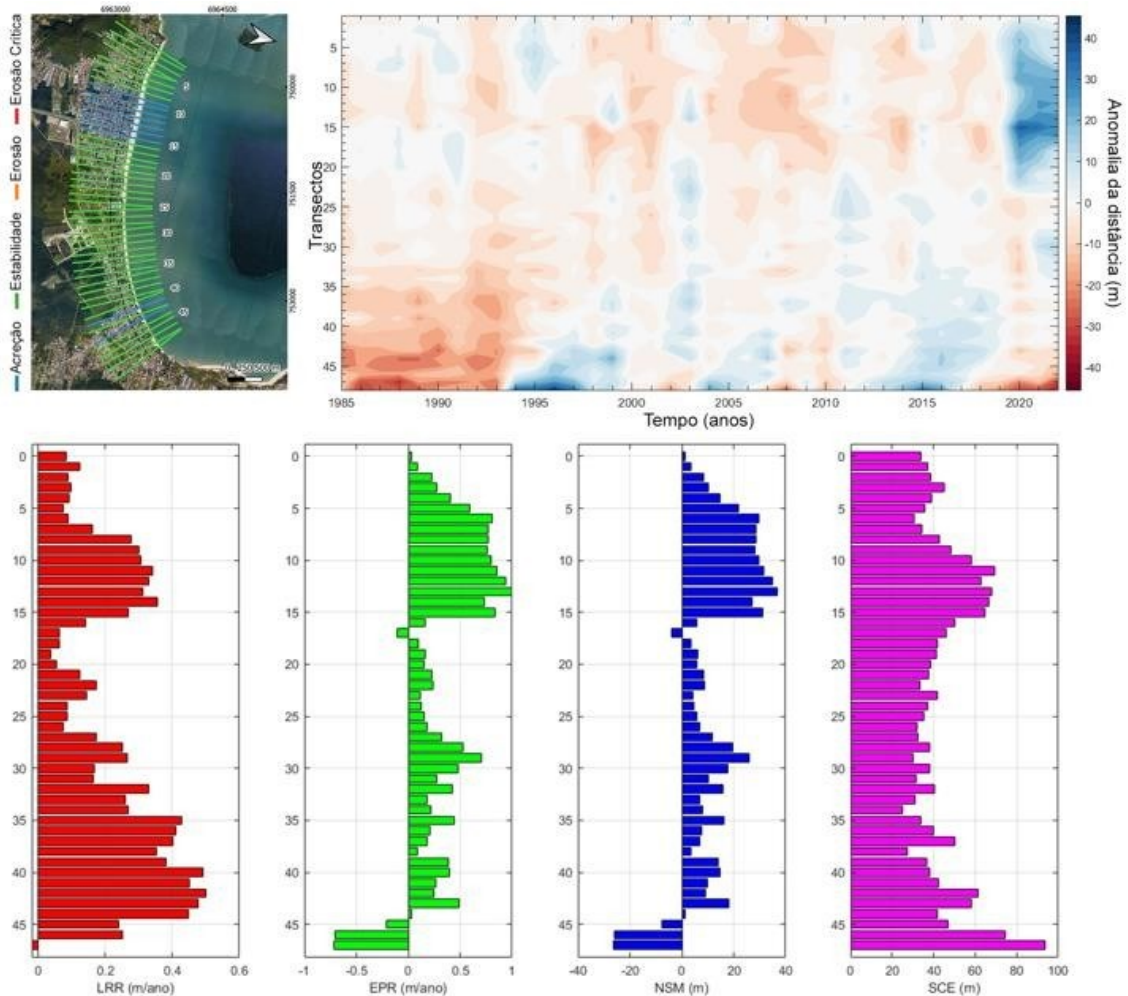
É possível observar uma grande influência das variáveis de onda em todo arco praial, assim como a presença significativa de AMO, PDO e Niño 3.4.

4.1.2. Praia de Canasvieiras – Cachoeira de bom Jesus

O arco praial de Canasvieiras está localizado na costa norte da ISC, com orientação leste-oeste. O arco praial possui características refletivas (Wright & Short, 1984; Oliveira *et al*, 2014; Klein *et al*, 2016) e de areias finas (Horn Filho *et al*, 1999). Como prolongamento da praia de Canasvieiras, após o Rio do Brás, encontra-se a praia de Cachoeira de Bom Jesus. Juntas, essas duas praias apresentam aproximadamente 4,3 km de extensão.

No diagrama de Hovmoller (Figura 5) é possível notar maiores tendências erosivas nos perfis mais a oeste do arco até 1994, seguido de pequenos ciclos de acreção e erosão que podem ser explicados por cíclicos pulsos de areia ocasionados pela deriva local descritos por Silva *et al* (2016) em seu trabalho no norte da ilha sobre o transporte local de sedimentos.

Figura 5: Comportamento de linha de costa da praia de Canasvieiras. Acima: Posição dos transectos e diagrama de Hovmöller. Abaixo: Taxa de regressão linear (LRR), Taxa de ponto final (EPR), movimento líquido da linha de costa (NSM) e mudança total da linha de costa (SCE).



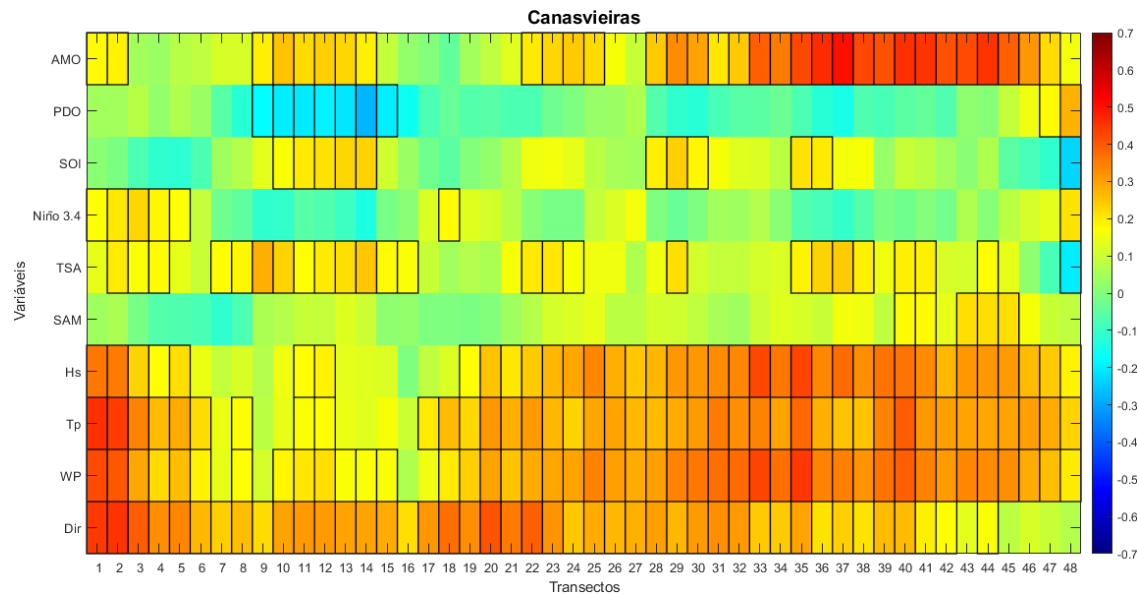
Fonte: Autora.

Adicionalmente, entre 2019 e 2020 foi realizada uma obra de engorda no setor leste da praia que pode ser observada no diagrama de Hovmöller como uma expressiva acreção a partir de 2020.

A LRR é positiva para todo o arco praiar, sendo mais expressiva na parte oeste da praia, mais abrigada, e na região onde foi feita a obra de engorda em Canasvieiras. Os gráficos de EPR, NSM e SCE também são influenciados pela presença da obra, porém, o gráfico de SCE aponta no setor oeste da praia a maior variação absoluta da linha de costa para o arco.

No mapa de calor apresentado na Figura 6 é possível observar que na praia de Canasvieiras, os índices que tem maior influência na linha de costa foram o AMO, com forte correlação (r) no setor mais ao leste da praia e o TSA, com alterações significativas ($p < 0,05$) ao longo de toda praia.

Figura 6: Mapa de calor das correlações entre índices climáticos, variáveis de ondas e transectos



Fonte: Autora

AMO apresentou correlações significativas entre $r = 0,50$ e $r = 0,17$ com média de $r = 0,31$. PDO variou entre $r = 0,28$ e $r = -0,28$ com média de $r = -0,11$. Niño 3.4 teve a menor variação, com correlações entre $r = 0,23$ e $r = 0,17$ e média de $r = 0,19$. TSA $r = 0,28$ e $r = -0,20$ com média de $r = 0,17$. SOI $r = 0,24$ e $r = -0,23$ com média de $r = 0,17$. SAM $r = 0,22$ e $r = 0,18$ e média $0,20$.

Em relação às variáveis de onda é possível observar correlação significativa ao longo de toda praia, com exceção da área entre os transectos 5 e 18.

Também são observadas correlações positivas dos índices AMO, SOI e TSA e negativa de PDO na área em questão. Como observado no diagrama deHovmöller anteriormente (Figura 14), entre 2019 e 2020 foi feito engordamento artificial da faixa de areia na porção oeste da praia de Canasvieiras, o que pode ter afetado a correlação dos dados nesse trecho.

A variação entre as correlações significativas de onda foram: Hs entre $r = 0,43$ e $r = 0,17$ com média $r = 0,29$, Tp entre $r = 0,46$ e $r = 0,17$ e média $r = 0,29$, energia de onda WP com $r = 0,45$ e $r = 0,17$ e média $0,30$ e direção de onda θ entre $r = 0,45$ e $r = 0,17$ e média $r = 0,29$.

A Tabela 3 mostra os valores máximo, mínimo e a média dos valores de correlação encontrados na análise da praia de Canasvieiras.

Tabela 3: Variação das correlações (r) significantes ($p < 0,05$) de cada variável com os valores máximo, mínimo e média encontrados na praia de Canasvieiras.

	<i>Máx</i>	<i>Mín</i>	<i>Média</i>
<i>AMO</i>	0,50	0,18	0,31
<i>PDO</i>	0,28	-0,28	-0,11
<i>SOI</i>	0,24	-0,23	0,17
<i>Niño 3.4</i>	0,23	0,17	0,19
<i>TSA</i>	0,28	-0,20	0,17
<i>SAM</i>	0,22	0,18	0,20
<i>Hs (m)</i>	0,43	0,17	0,29
<i>Tp (s)</i>	0,46	0,17	0,29
<i>WP (kW/m)</i>	0,45	0,17	0,30
<i>Dir (°)</i>	0,45	0,17	0,29

Fonte: Autora

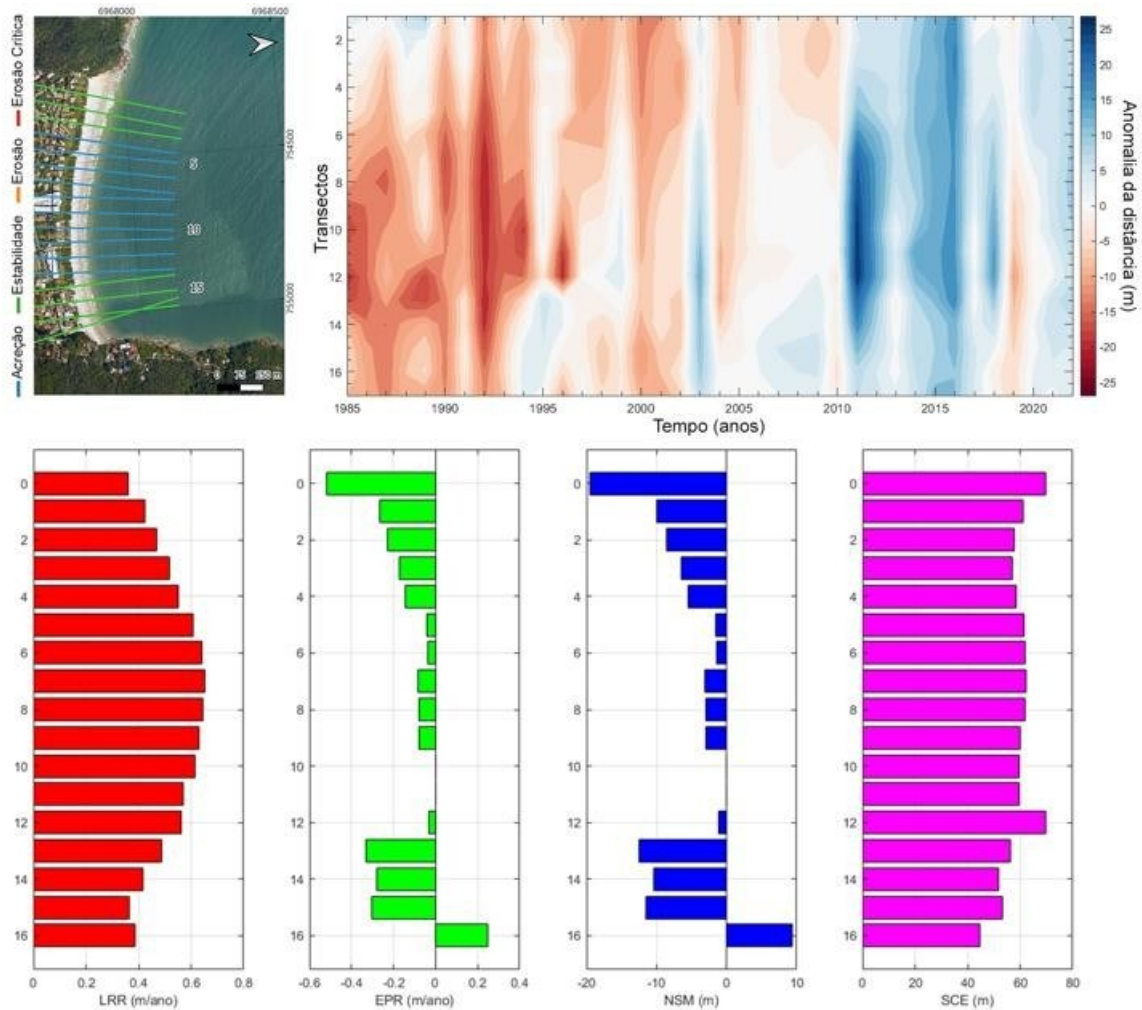
Analisando os dados de correlação para a praia de Canasvieiras é notável a alta correlação entre ondas, índices climáticos e variações na linha de costa. A praia apresentou correlações moderadamente fortes para o índice AMO, mais precisamente na região próxima a praia da Cachoeira de Bom Jesus. As variáveis de onda também tiveram correlações moderadamente fortes em todo arco praiial, com exceção da região onde foi feita a engorda.

4.1.3. Praia da Lagoinha do Norte

A praia da Lagoinha do Norte está localizada no extremo norte da ISC, com 920 m de extensão e largura média de 35 m, constitui-se de areias finas a médias e bem compactadas (Horn Filho, Leal & Oliveira, 2017).

Através do diagrama de Hovmöller (Figura 7) pode-se observar maior tendência erosiva da praia até o início dos anos 2000, com destaque para os anos de 1991 e 1992 com grandes períodos erosivos. Entre 2005 e 2010 a praia manteve um padrão levemente erosivo na porção oeste e acréscimo a leste. Após 2010 é notável forte acréscimo na praia e um padrão que tem sido mantido, embora com menos intensidade, com exceção do ano de 2019.

Figura 7: Comportamento de linha de costa da praia da Lagoinha do Norte. Acima: Posição dos transectos e diagrama de Hovmöller. Abaixo: Taxa de regressão linear (LRR), Taxa de ponto final (EPR), movimento líquido da linha de costa (NSM) e

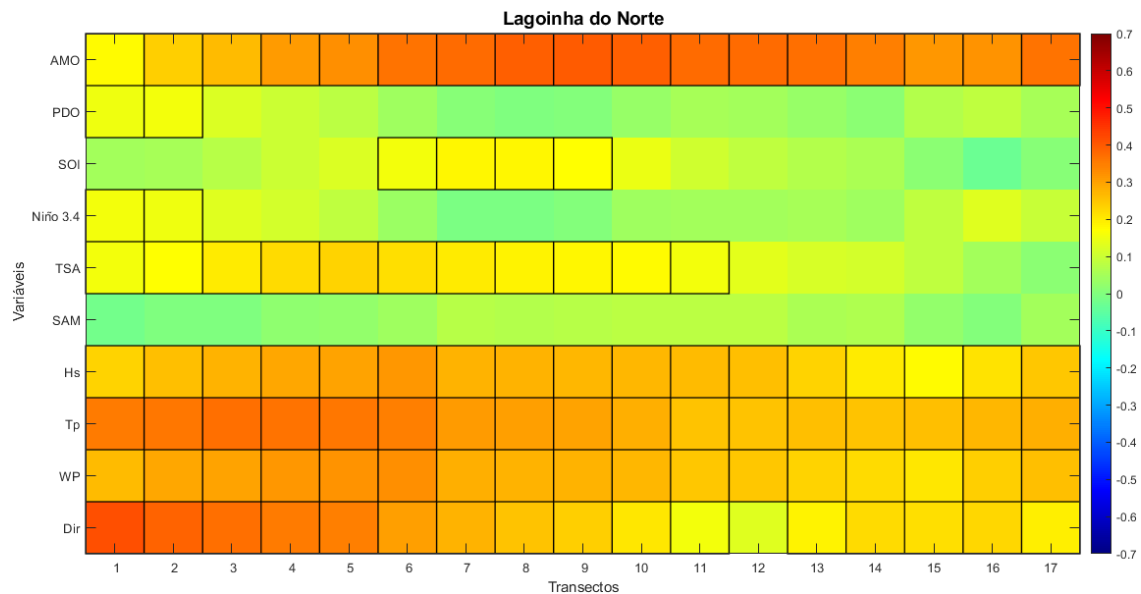


Fonte: Autora

A Taxa de Regressão Linear (LRR) se mostrou positiva durante o período analisado com média de 0,5 m/ano. Sendo assim, a praia apresentou tendência à estabilidade com maior ponto acrescivo no setor central da praia com transectos superando 0,6 m/ano. O gráfico de SCE mostrou uma variação relativamente uniforme em toda praia entre 40 a 70 m. Os gráficos de EPR e NSM juntamente com LRR indicam uma linha de costa que sofreu perdas significativas em alguns pontos e vem se recuperando.

A Figura 8 ilustra as correlações entre os transectos, índices climáticos e variáveis de onda na praia da Lagoinha do Norte

Figura 8: Mapa de calor das correlações entre índices climáticos, variáveis de ondas e transectos da praia da Lagoinha do Norte.



Fonte: Autora

Entre os índices que incidem maior influência na variação da linha de costa da praia da Lagoinha do Norte, AMO apresenta-se como o mais significativo, seguido do TSA. Os índices PDO, SOI e Niño 3.4 apresentam poucos setores com correlação positiva e significativa ao longo da praia, já o SAM não apresentou nenhuma significância.

As variáveis de onda se mostraram significativas ao longo de toda praia, com destaque de correlações mais fortes ocorrendo no setor oeste da praia. AMO apresentou correlações significativas entre $r = 0,40$ e $r = 0,18$ e média de r

$= 0,34$. PDO e Niño 3.4 tiveram apenas dois transectos significativos cada, ambos com $r = 0,15$. SOI variou entre $r = -0,22$ e $r = -0,25$ com média de $r = -0,13$ e TSA entre $r = 0,24$ e $r = 0,16$ com média de $r = 0,19$.

Os resultados das correlações de ondas foram significativos em todos os transectos, com correlações mais fortes na porção mais oeste da praia. Os valores variaram entre: Hs $r = 0,32$ e $r = 0,18$ com média $r = 0,23$, Tp entre $r = 0,37$ e $r = 0,25$ e média $r = 0,30$, energia de onda WP com $r = 0,32$ e $r = 0,21$ e média $0,27$ e direção de onda θ entre $r = 0,42$ e $r = 0,16$ e média $r = 0,27$

A Tabela 4 mostra os valores máximo, mínimo e a média dos valores de correlação encontrados na análise da praia da Lagoinha do Norte.

Tabela 4: Variação das correlações (r) significantes ($p < 0,05$) de cada variável com os valores máximo, mínimo e média encontrados na praia da Lagoinha do Norte. O símbolo ‘-’ representa ausência de correlação significativa

	<i>Máx</i>	<i>Mín</i>	<i>Média</i>
<i>AMO</i>	0,40	0,18	0,34
<i>PDO</i>	0,15	0,15	0,15
<i>SOI</i>	-0,22	-0,25	-0,23
<i>Niño 3.4</i>	0,15	0,15	0,15
<i>TSA</i>	0,24	0,16	0,19
<i>SAM</i>			
<i>Hs (m)</i>	0,32	0,18	0,26
<i>Tp (s)</i>	0,37	0,25	0,30
<i>WP (kW/m)</i>	0,32	0,21	0,27
<i>Dir (°)</i>	0,42	0,16	0,27

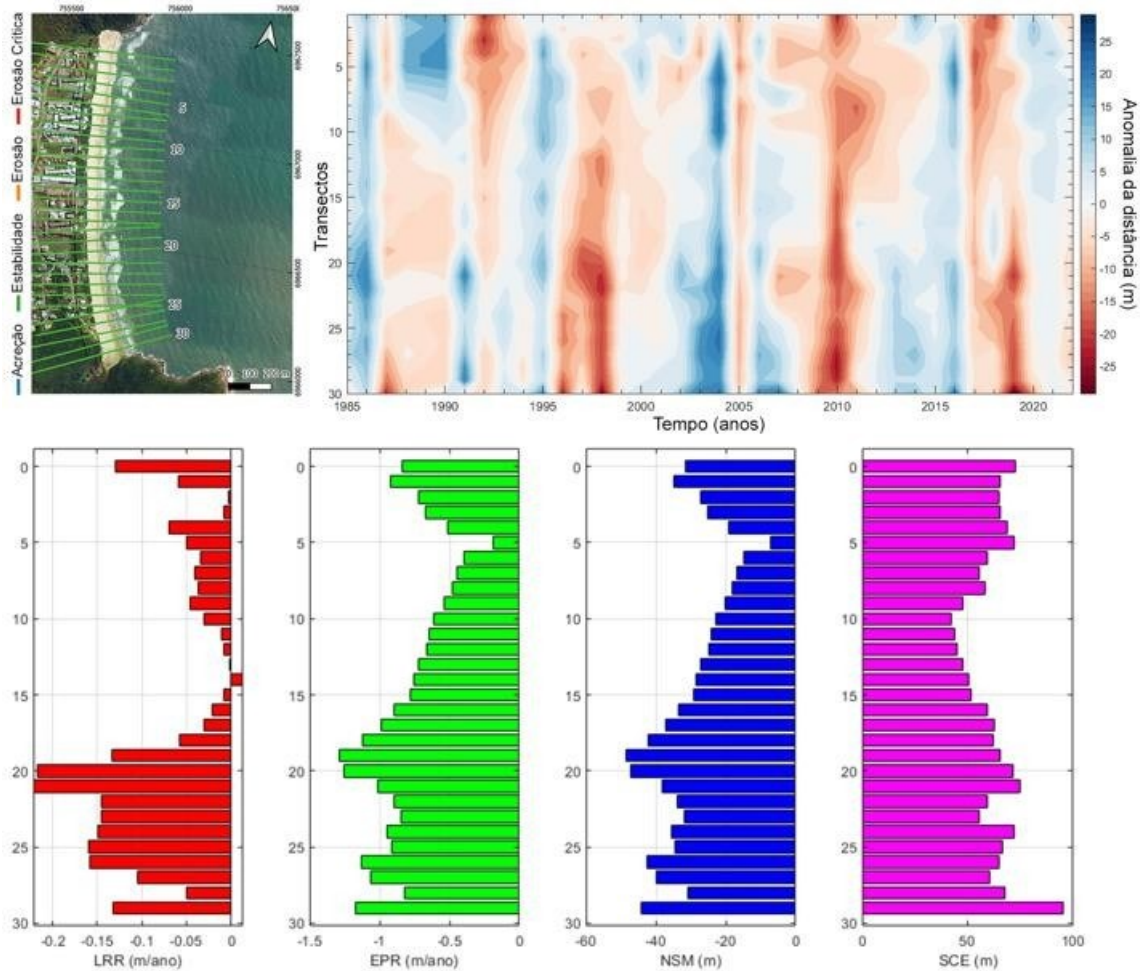
Fonte: Autora

4.1.4. Praia Brava

A praia Brava está situada próximo ao ponto mais oriental da ilha de Santa Catarina, entre os promontórios rochosos da ponta do Rapa ao norte e ponta das Feiticeiras ao sul. É considerada uma praia de bolso (Abreu, 2011) apresentando 1900 m de extensão, largura média de 45m e declividade média de 4° (Horn Filho, Leal & Oliveira, 2017) voltada para Leste. Sua granulometria é composta predominantemente de areias finas de tonalidades claras (Horn Filho, 2006; Schweitzer, 2007). É classificada morfodinamicamente como uma praia intermediária (Oliveira *et al.*, 2014) em equilíbrio estático (Silveira *et al.*, 2010).

Através do diagrama de Hovmöller (Figura 9) é possível observar os ciclos de acresção e erosão resultantes do processo de mudança na posição da linha de costa ao longo do período estudado. Destacam-se o período acrescivo de 2002 a 2005 os fortes eventos erosivos nos anos de 1995-1998, 2010-2011 e 2017-2019.

Figura 9: Comportamento de linha de costa da praia Brava. Acima: Posição dos transectos e diagrama de Hovmöller. Abaixo: Taxa de regressão linear (LRR), Taxa de ponto final (EPR), movimento líquido da linha de costa (NSM) e mudança total da linha



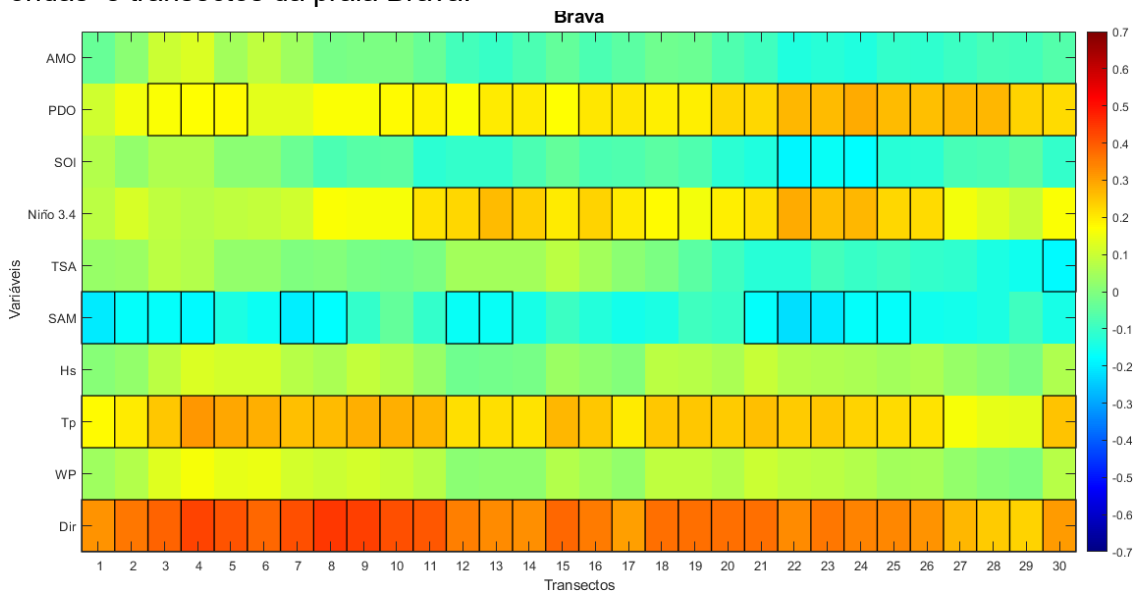
Fonte: Autora

A Taxa de Regressão Linear (LRR) se mostrou levemente negativa durante o período analisado, não ultrapassando $-0,2$ m/ano, indicando uma praia estável. A variação total (SCE) foi em torno de 60 m, podendo chegar até quase 100 m no setor mais ao sul.

Apesar da estabilidade indicada pelo LRR, os gráficos de EPR e NSM apontam uma linha de costa que sofreu regressão desde o início da análise.

Analisando os dados de correlação e o mapa de calor criado para a praia Brava (Figura 10), é possível afirmar que os índices climáticos que exercem maior influência na praia Brava foram PDO, Niño 3.4 seguido do SAM que apresentou correlações negativas ao longo de toda praia. Os índices SOI e TSA quase não obtiveram pontos de significância ao longo da praia, já o AMO não teve nenhuma significância no local.

Figura 10: Mapa de calor das correlações entre índices climáticos, variáveis de ondas e transectos da praia Brava.



Fonte: Autora

PDO apresentou correlações entre $r = 0,29$ e $r = 0,17$ e média de $r = 0,22$. SOI variou entre $r = -0,18$ e $r = -0,19$ com média de $r = -0,18$. Niño 3.4 entre $r = 0,28$ e $r = 0,16$ e média de $r = 0,22$. TSA apresentou correlação significativa somente em um transecto de $r = 0,28$ e SAM entre $r = -0,17$ e $r = -0,22$ com média de $-0,18$.

As variáveis de onda apontam que período e direção de onda são os principais agentes transformadores dessa praia, sendo a direção a mais expressiva, principalmente na porção mais norte do arco praiar. Os valores máximo e mínimo de período T_p variam entre $r = 0,31$ e $r = 0,13$ com média $r = 0,24$ e direção de onda θ entre $r = 0,44$ e $r = 0,23$ e média $r = 0,35$. Tanto a altura quanto a energia de onda local não apresentaram significância na alteração da linha de costa.

A Tabela 5 mostra os valores máximo, mínimo e a média dos valores de correlação encontrados na análise da praia da Lagoinha do Norte.

Tabela 5: Variação das correlações (r) significantes ($p < 0,05$) de cada variável com os valores máximo, mínimo e média encontrados na praia Brava. O símbolo ‘-’ representa ausência de correlação significativa.

	<i>Máx</i>	<i>Mín</i>	<i>Média</i>
<i>AMO</i>			
<i>PDO</i>	0,29	0,17	0,22
<i>SOI</i>	-0,18	-0,19	-0,18
<i>Niño 3.4</i>	0,28	0,16	0,22
<i>TSA</i>			-0,18
<i>SAM</i>	-0,17	-0,22	-0,18
<i>Hs (m)</i>			
<i>Tp (s)</i>	0,31	0,13	0,24
<i>WP (kW/m)</i>			
<i>Dir (°)</i>	0,44	0,23	0,35

Fonte: Autora

Observa-se aqui um padrão diferente das praias analisadas até o momento. Orientada para leste, a praia Brava não possui correlação significativa com o índice AMO e apresentou correlações indireta com SAM, ou seja, com menores valores de SAM os transectos da Brava tendem a aumentar, e com maiores valores a linha de costa regride.

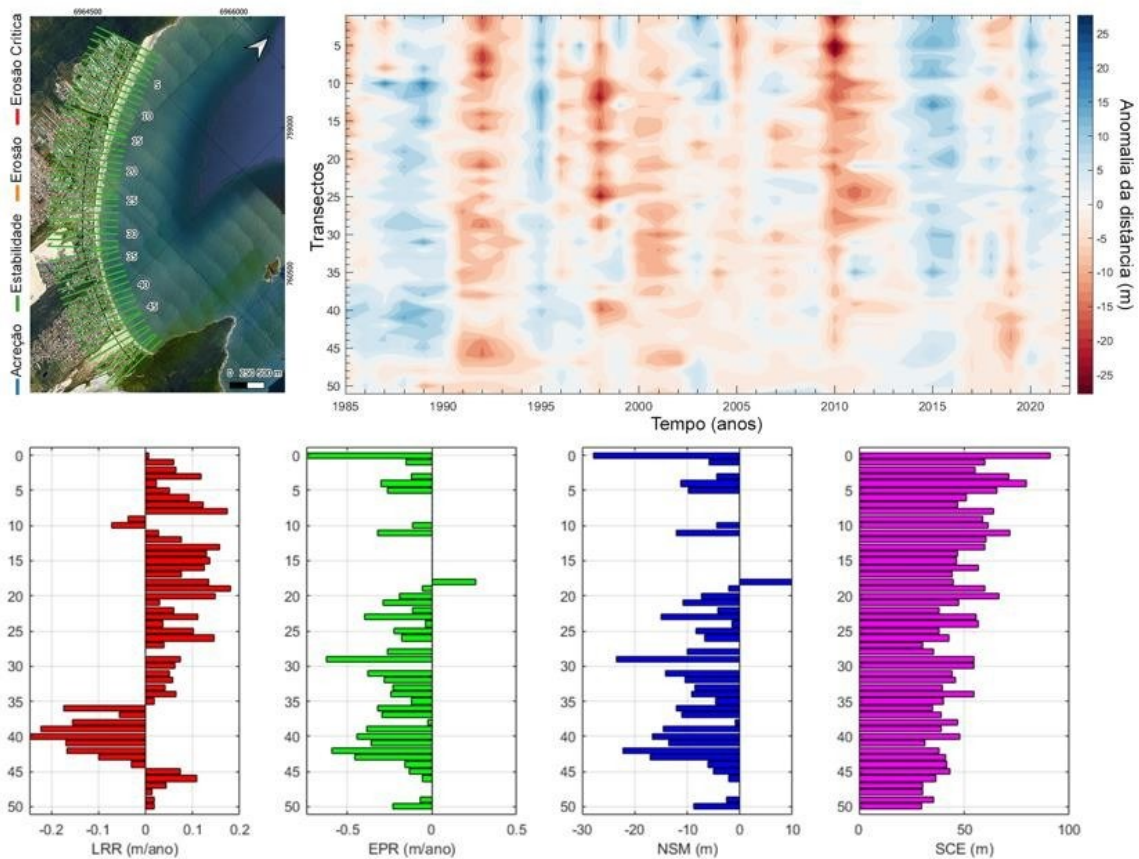
4.1.5. Praia dos Ingleses

A praia dos Ingleses é uma praia parabólica localizada a nordeste da ilha de Santa Catarina, delimitada a sudeste pelo morro dos Ingleses e a noroeste pelo morro das Feiticeiras (Faraco, 2003). Possui orientação SE-NW e aproximadamente 5km de extensão, com largura e declividade média de 20 m e 5° respectivamente (Horn Filho, Leal & Oliveira, 2017). É uma praia semi-exposta quanto à incidência das ondas, voltada para nordeste.

É considerada uma praia intermediária (Klein *et al.*, 2004) e classificada em equilíbrio dinâmico por Silveira *et al.* (2010). Apresenta predominância de sedimentos arenosos finos (Horn Filho, Leal & Oliveira, 2017).

A praia apresentou tendência à estabilidade em toda sua extensão. O diagrama de Hovmöller (Figura 11) destaca períodos erosivos no centro-norte da praia entre 1991-1993, 1998-2001, e 2010, e ciclos acrescivos de 1987-1989, 1995 e 2014-2016.

Figura 11: Comportamento de linha de costa da praia dos Ingleses. Acima: Posição dos transectos e diagrama de Hovmöller. Abaixo: Taxa de regressão linear (LRR), Taxa de ponto final (EPR), movimento líquido da linha de costa (NSM) e mudança total da



Fonte: Autora

A Taxa de Regressão Linear (LRR) se mostrou positiva na maioria dos perfis durante o período analisado, mais precisamente no centro-norte da praia.

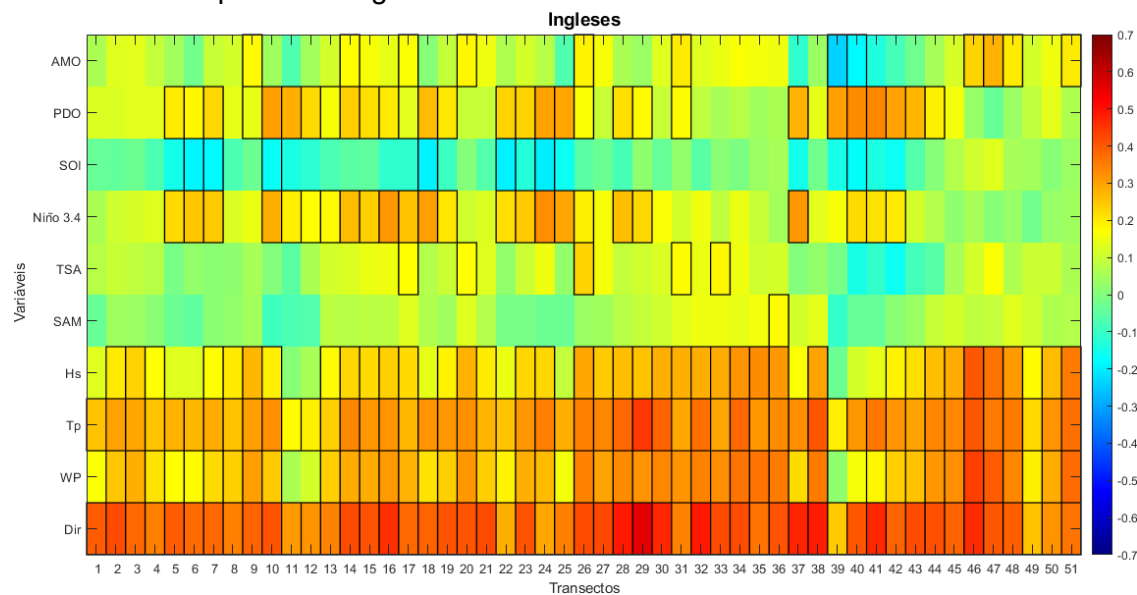
Na porção sul a LRR foi negativa, não ultrapassando 0,3 m/ano. Sendo assim, a praia apresentou tendência à estabilidade com maior ponto acrescivo ao norte da praia. Considerando a maior exposição do setor norte e à deriva local (de sul para norte), é esperado que este setor seja o que mais sofra variações. Já no setor sul encontra-se o campo de dunas Santinho-Ingleses que pode fornecer sedimentos para a região.

Os valores negativos de EPR e NSM indicam uma pequena retração na linha de costa total desde o início da análise, e SCE indica maiores variações ocorrendo na porção norte/oeste da praia, que pode ser explicada pela deriva local.

Os valores negativos de LRR coincidem com o setor mais densamente urbanizado da orla, onde não há mais vegetação entre as construções e a praia. A praia apresenta tendência à estabilidade em sua totalidade, com menores taxas de deposição notadas no sudeste (entre os transectos 35 e 45) da orla onde construções avançam sobre a faixa de areia.

Analisando os dados de correlação e o mapa de calor gerado para a praia dos Ingleses (Figura 12) os índices climáticos que exercem maior influência na variação de linha de costa local são PDO e Niño 3.4, com maiores valores de correlação, com valores significativos em 57% e 47% dos transectos analisados respectivamente.

Figura 12: Mapa de calor das correlações entre índices climáticos, variáveis de ondas e transectos da praia dos Ingleses.



Fonte: Autora

AMO apresentou correlações entre $r = 0,28$ e $r = -0,24$ e média de $r = 0,13$. PDO entre $r = 0,30$ e $r = 0,17$ e média de $r = 0,24$. SOI variou entre $r = -0,17$ e $r = -0,20$ com média de $r = -0,19$. Niño 3.4 entre $r = 0,32$ e $r = 0,17$ e média de $r = 0,24$. TSA = $0,23$ e $r = 0,17$ e média de $r = 0,19$. SAM apresentou correlação significativa somente em um transecto de $r = 0,18$.

Entre as variáveis de onda, todas se mostraram significantes na praia em questão, com destaque para a direção de onda que apresentou os maiores valores de correlação dessa análise, com todos os transectos com correlações significativas. Outro destaque vai para a porção mais ao sul do arco praial, onde se concentram os maiores valores significativos de onda com as maiores correlações. As correlações máxima e mínimo de altura de onda foram de $r = 0,40$ e $r = 0,17$ com média $r = 0,25$, período T_p variam entre $r = 0,45$ e $r = 0,18$ com média $r = 0,31$, energia (WP) entre $r = 0,43$ e $r = 0,17$ com média $r = 0,28$ e direção de onda θ entre $r = 0,56$ (o maior observado em todo estudo) e $r = 0,24$ e média $r = 0,39$.

A Tabela 6 mostra os valores máximo, mínimo e a média dos valores de correlação encontrados na análise da praia da Lagoinha do Norte.

Tabela 6: Variação das correlações (r) significantes ($p < 0,05$) de cada variável com os valores máximo, mínimo e média encontrados na praia dos Ingleses. O símbolo '-' representa ausência de correlação significativa.

	<i>Máx</i>	<i>Mín</i>	<i>Média</i>
<i>AMO</i>	0,28	-0,24	0,13
<i>PDO</i>	0,30	0,17	0,24
<i>SOI</i>	-0,17	-0,20	-0,19
<i>Niño 3.4</i>	0,32	0,17	0,24
<i>TSA</i>	0,23	0,17	0,19
<i>SAM</i>			0,18
<i>Hs (m)</i>	0,40	0,17	0,25
<i>Tp (s)</i>	0,45	0,18	0,31
<i>WP (kW/m)</i>	0,43	0,17	0,28
<i>Dir (°)</i>	0,56	0,24	0,39

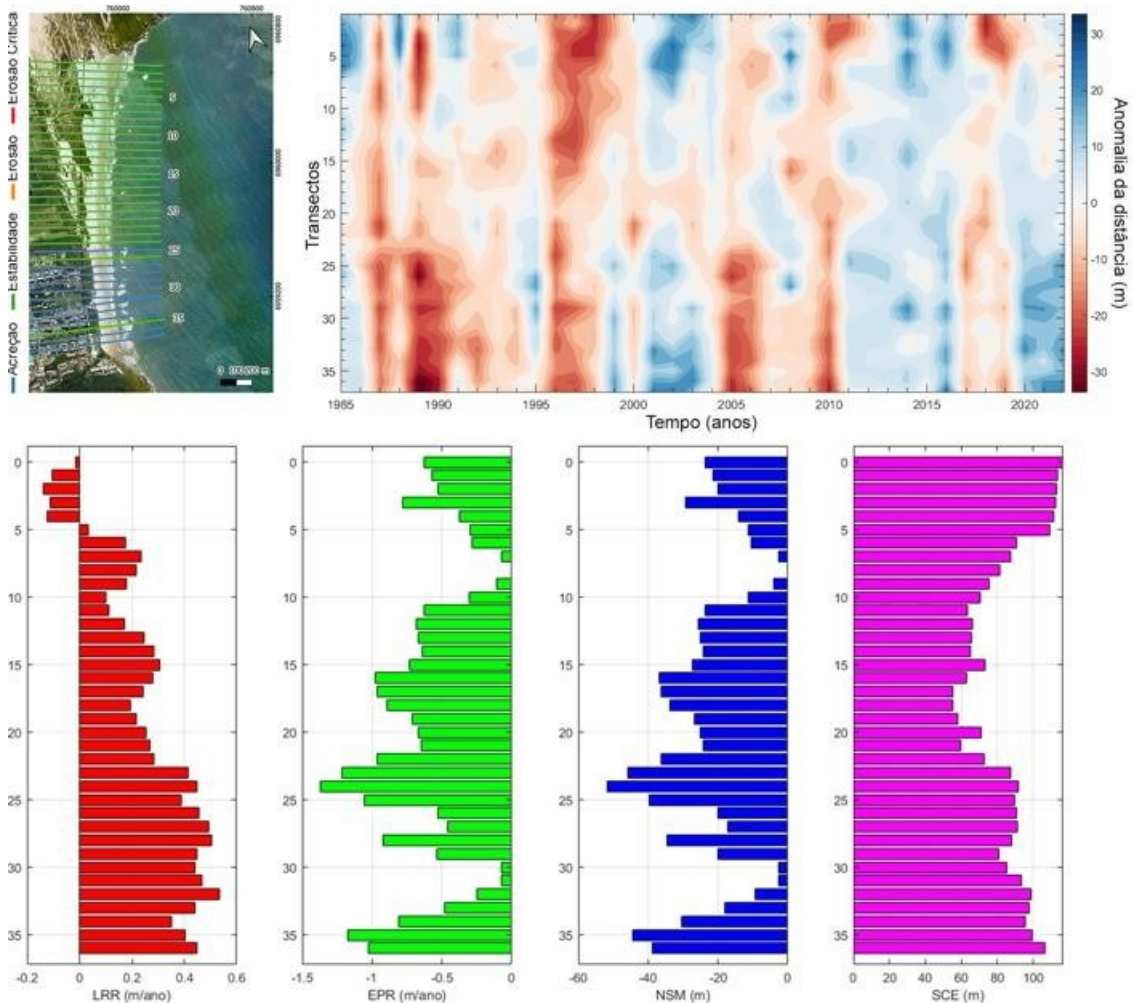
Fonte: Autora

4.1.6. Praia do Santinho

A praia do Santinho está localizada na costa leste da ilha de Santa Catarina e possui 1.908 m de extensão, largura média de 54 m e declividade média de 3° (Horn Filho, Leal & Oliveira, 2017). É uma praia parabólica delimitada a norte pelo morro dos Ingleses e a sul o morro do Calhau Miúdo, classificada como intermediária (Peixoto, 2005) e em equilíbrio dinâmico (Silveira *et al.*, 2010). Apresenta sedimentos predominantes composto por areia fina e grãos muito bem selecionados (Horn Filho, Leal & Oliveira, 2017).

No diagrama de Hovmoller (Figura 13) destaca-se os períodos erosivos entre 1988 e 1990, 1995 e 1997, 2005/2006, 2010 e 2018/19, e os períodos acrescivos de 2001-2003, 2015-2017 e 2020-2022.

Figura 13: Comportamento de linha de costa da praia dos Santinho. Acima: Posição dos transectos e diagrama de Hovmöller. Abaixo: Taxa de regressão linear (LRR), Taxa de ponto final (EPR), movimento líquido da linha de costa (NSM) e mudança total da linha de



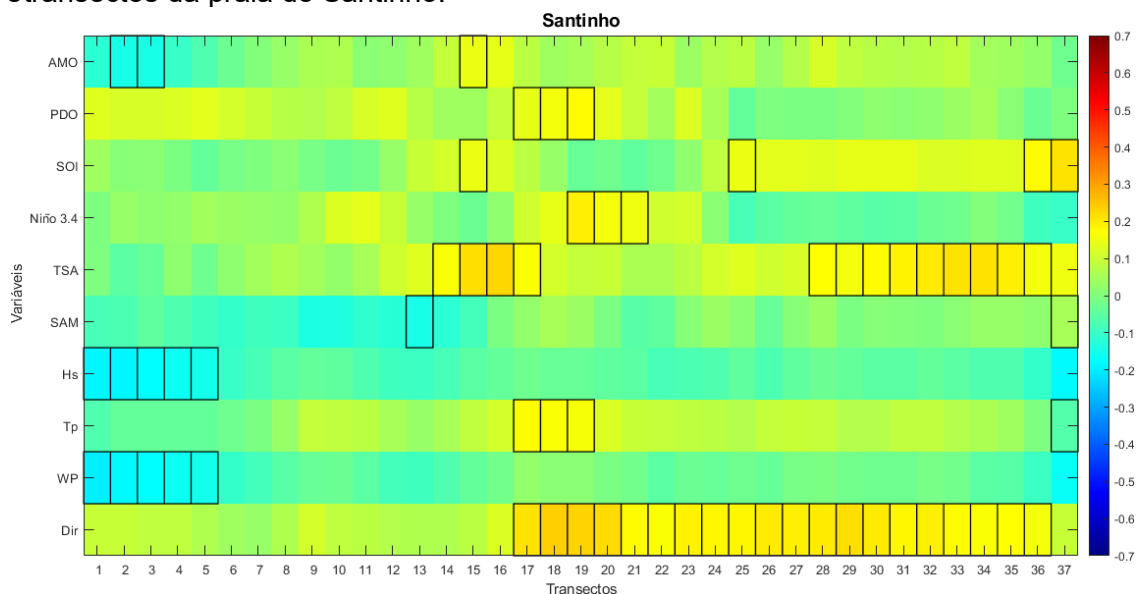
Fonte: Autora

A análise estatística da praia do Santinho apresentou comportamento estável nos transectos mais ao norte e tendências acrescidas mais ao sul, com LRR médio próximo a 0,3 m/ano, variando de -0,1 m/ano a 0,5 m/ano. Os valores de SCE apresentam grande variação, com mínima de 50 m no centro da praia e ultrapassando os 100 m nas extremidades. Os gráficos de EPR e NSM indicam retração na linha de costa total desde o início da análise.

A praia do Santinho apresentou baixa ocorrência de significância entre os índices climáticos analisados e valores pouco expressivos de correlação de modo geral, como pode ser observado através do mapa de calor (Figura 14).

As regiões central e sul da praia foram as mais influenciadas pelos índices. AMO apresentou correlações entre $r = 0,14$ e $r = -0,15$ e média de $r = -0,05$, PDO $r = 0,18$ e $r = 0,14$ e média de $r = 0,16$, SOI $r = 0,21$ e $r = 0,14$ e média de $r = 0,17$, Niño 3.4 $r = 0,19$ e $r = 0,15$ e média de $r = 0,17$, TSA $r = 0,23$ e $r = 0,15$ e média de $r = 0,19$, e SAM foi observado em apenas um transecto da praia com $r = -0,15$.

Figura 14: Mapa de calor das correlações entre índices climáticos, variáveis de ondas e transectos da praia do Santinho.



Fonte: Autora

As variáveis de onda também apresentaram baixa significância ao longo da praia, sendo a direção a variável mais significativa no centro e sul da praia. Vale destacar também que na região mais ao norte da praia, AMO, Hs e WP apresentam

correlação negativa à variação da linha de costa com valores significativos. Como visto na Tabela 7, a AMO apresenta correlação direta e significativa com Hs e WP.

Os valores máximo e mínimo de correlação entre a linha de costa da praia do Santinho e Hs variaram entre $r = -0,15$ e $r = -0,19$ com média $r = -0,17$, Tp entre $r = 0,18$ e $r = 0,16$ e média $r = 0,17$, WP $r = -0,15$ e $r = -0,20$ com média $r = -0,17$, e direção de onda θ entre $r = 0,24$ e $r = 0,15$ e média $r = 0,19$.

Tabela 7: Variação das correlações (r) significantes ($p < 0,05$) de cada variável com os valores máximo, mínimo e média encontrados na praia do Santinho. O símbolo ‘-’ representa ausência de correlação significativa.

	<i>Máx</i>	<i>Mín</i>	<i>Média</i>
AMO	0,14	-0,15	-0,05
PDO	0,18	0,14	0,16
SOI	0,21	0,14	0,17
Niño 3.4	0,19	0,15	0,17
TSA	0,23	0,15	0,19
SAM			-0,15
Hs (m)	-0,15	-0,19	-0,17
Tp (s)	0,18	0,16	0,17
WP (kW/m)	-0,15	-0,20	-0,17
Dir (°)	0,24	0,15	0,19

Fonte: Autora

4.1.7. Arco praial Moçambique – Barra da Lagoa

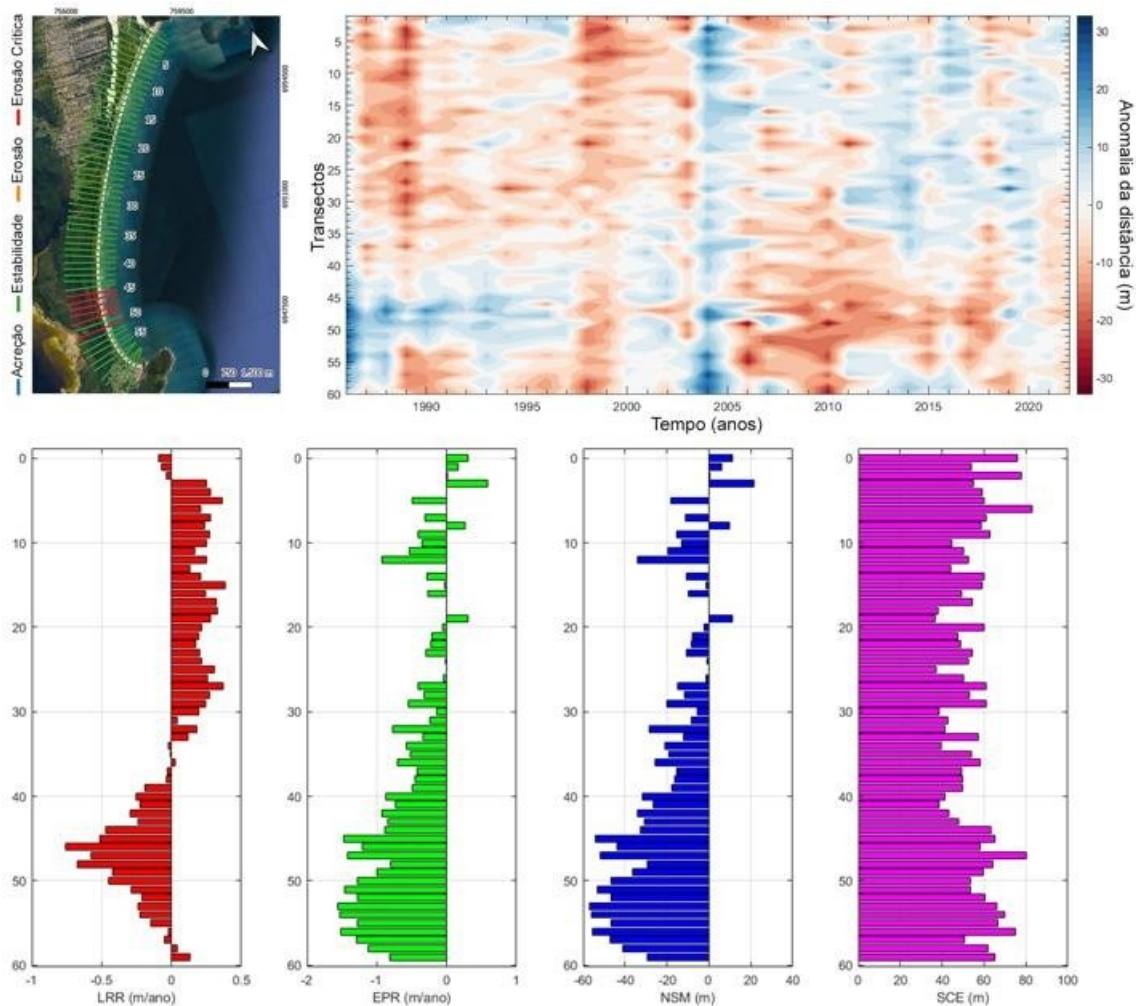
O sistema praial Moçambique – Barra da Lagoa está localizado na costa nordeste da ISC, entre o promontório rochoso da Ponta das Aranhas, ao norte eo Canal da Barra da Lagoa ao sul. Apresenta 12 km de extensão e sua orientação geral é nordeste-sudoeste (NE-SW) (Horn Filho, Leal & Oliveira, 2017).

Classificado como intermediário, o setor Norte é o de menor energia e o que apresenta maior variação transversal à linha de costa, visto que é o receptor dos sedimentos oriundos das correntes longitudinais quando há atuação dos ventos de direção sul (Leal, 1999) bem como ondulações da mesma direção. Já o setor Central possui características intermediárias a refletivas, apresentando sedimentos com texturas variando entre areia média a grossa. O setor Sul da praia é protegido de ondulações provenientes de sul pelo promontório da pontada Galheta, é marcado pela presença de areias de granulometria fina a muito fina e grãos muito bem

selecionados (Leal, 1999; Horn Filho, Leal & Oliveira, 2017). Silveira *et al.* (2010) classificaram a praia como em equilíbrio dinâmico.

Foram extraídos 60 perfis da do arco praial Moçambique - Barra da Lagoa, com intervalo de 200 m entre eles, distribuídos entre os anos de 1984 e 2022. Com o diagrama de Hovmöller (Figura 15) é possível notar uma inversão no padrão de erosão/acresção da praia de 1998 a 2010, onde anterior aos anos 2000 a porção norte apresentava um padrão mais erosivo e a partir de uma grande acresção em 2004 o setor sul do sistema passou a sofrer maiores erosões.

Figura 15: Comportamento de linha de costa do arco praial Moçambique-Barra da Lagoa. Acima: Posição dos transectos e diagrama de Hovmöller. Abaixo: Taxa de regressão linear (LRR), Taxa de ponto final (EPR), movimento líquido da linha de costa



Fonte: Autora

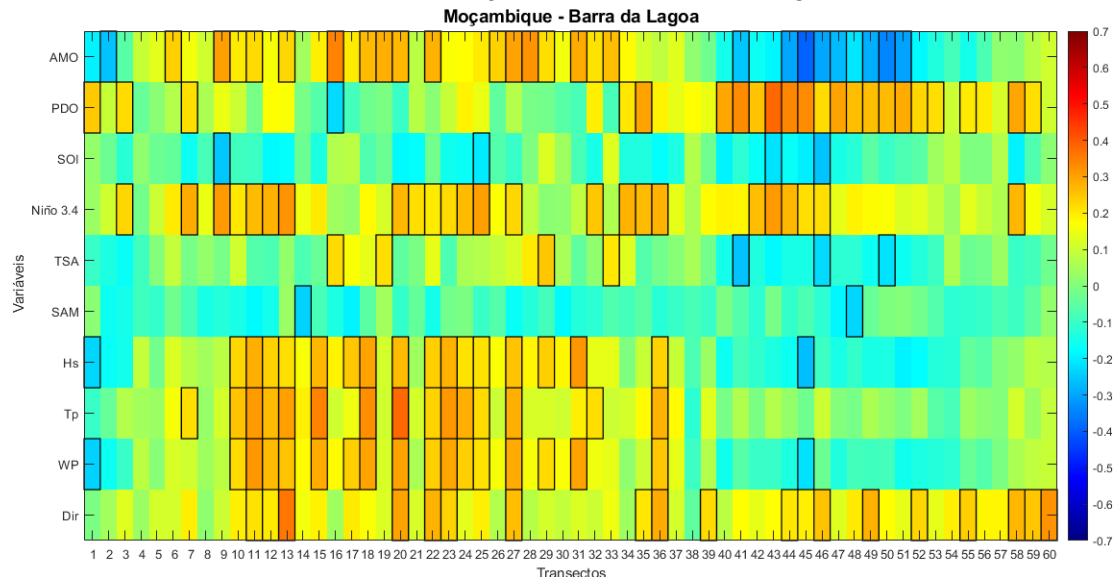
O sistema praiar Moçambique – Barra da Lagoa apresentou tendência à estabilidade de forma geral com perfis erosivos mais próximo a porção sul. A análise estatística ilustrou o comportamento da praia.

A Taxa de Regressão Linear (LRR) apresentou-se estável e positiva na porção centro-norte da praia e negativa a partir do transecto 40, e erosivos (LRR entre -0,5 a -1,0 m/ano) entre os transectos 45 e 51.

A variação absoluta (SCE) dos perfis é bem distribuída por toda praia com valores entre 40 e 80m, com os maiores encontrados nas extremidades do arco. Os gráficos de EPR e NSM indicam maior recuo na linha de costa na porção sul do arco praiar, na região da praia da Barra da Lagoa.

Através do mapa de calor (Figura 16) o arco praiar Moçambique - Barra da Lagoa demonstrou aparentemente duas sessões distintas de correlações na praia.

Figura 16: Mapa de calor das correlações entre índices climáticos, variáveis de ondas e transectos do arco praiar Moçambique - Barra da Lagoa.



Fonte: Autora

O primeiro com maiores correlações de onda na porção norte (entre os transectos 10 e 36) região mais exposta a ação de ondas onde está localizada a praia do Moçambique. Nessa mesma região, os índices Niño 3.4 e AMO aparecem de forma significativa com correlações diretas.

E o segundo na porção sul do arco praiial, região da Barra da Lagoa, com baixa correlação com variáveis de onda e maiores correlações com os índices PDO e AMO, tendo este, correlação indireta com a variação da linha de costa entre os transectos 41 e 50.

Através da Tabela 8 é possível observar que apesar da diferença entre os setores da praia, as correlações de todas as variáveis são tidas como moderadamente fortes.

Tabela 8: Variação das correlações (r) significantes ($p < 0,05$) de cada variável com os valores máximo, mínimo e média encontrados no arco praiial Moçambique-Barra da Lagoa.

	<i>Máx</i>	<i>Mín</i>	<i>Média</i>
ΔO	0,34	-0,39	0,06
ΔD	0,38	-0,23	0,24
ΔI	-0,20	-0,26	-0,23
$\Delta \text{ão } 3.4$	0,32	0,20	0,26
ΔA	0,25	-0,26	0,03
ΔM	-0,23	-0,24	-0,23
$\Delta (m)$	0,32	-0,27	0,20
$\Delta (s)$	0,38	0,22	0,28
$P (kW/m)$	0,31	-0,22	0,23
$r (^\circ)$	0,36	0,20	0,26

Fonte: Autora

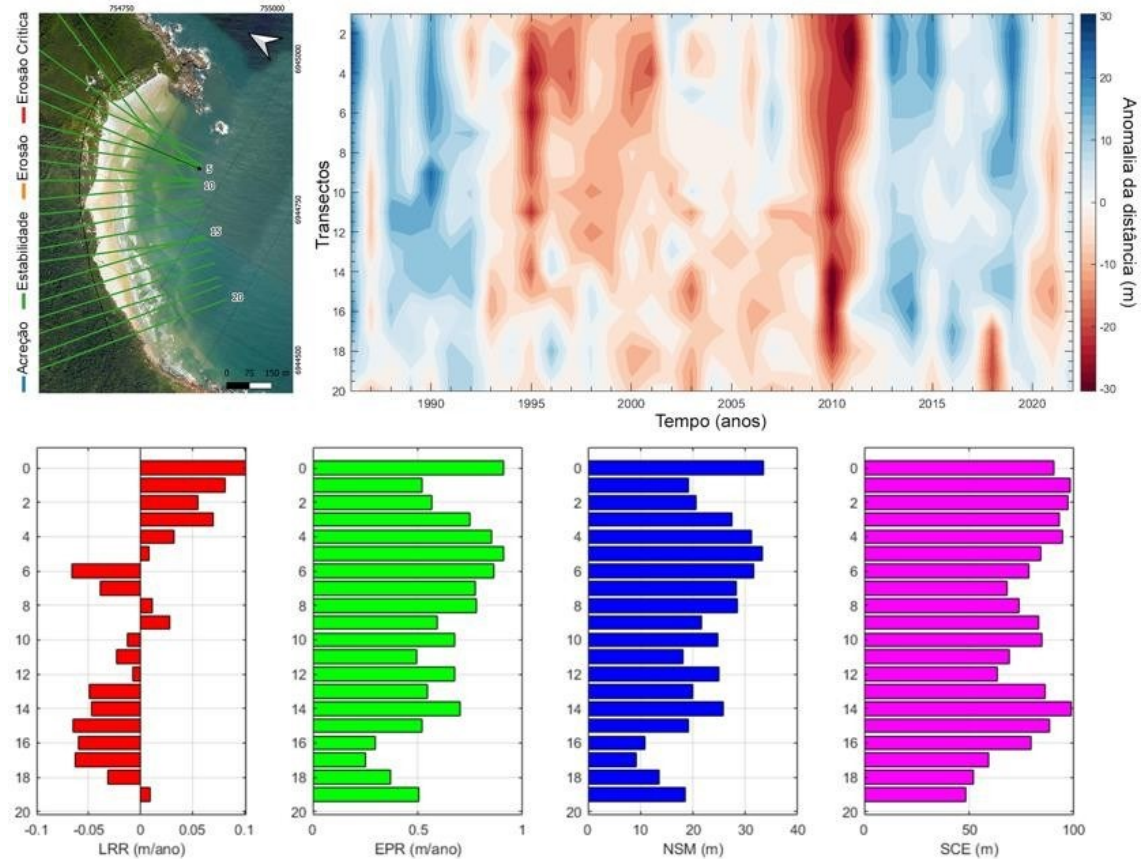
4.1.8. Praia da Galheta

A praia da Galheta é uma praia parabólica localizada entre o costão da ponta do Meio, onde faz fronteira ao sul com a praia Mole e pela ponta do Caçador ao norte. Possui 900m de extensão e orientação NE-SW com declividade média de 4° e largura média de 47 m (Horn Filho, Leal & Oliveira, 2017). Segundo Silveira *et al.* (2010) é classificada como em equilíbrio estático, comportando-se como uma típica praia intermediária (Rusa, 2018). O arco praiial da praia da Galheta é composto majoritariamente de areias finas bem selecionadas (Horn Filho, 2006).

O diagrama de Hovmöller (Figura 17) apresenta ciclos deposicionais e erosivos da praia de modo geral, seguindo um padrão mais acrescivo de 1984 a 1993 e 2013 a 2019. Os anos entre 1995 e 2012 apresentaram padrões mais erosivos, com

destaque para os anos 1995 e 2010-2011, o maior observado na análise da praia. Vale lembrar aqui que os anos de 1995, 2008, 2010 e 2016 os maior energia de onda registrada apresentado anteriormente na Figura 9.

Figura 17: Comportamento de linha de costa do arco praial da Galheta. Acima: Posição dos transectos e diagrama de Hovmöller. Abaixo: Taxa de regressão linear (LRR), Taxa de ponto final (EPR), movimento líquido da linha de costa (NSM) e



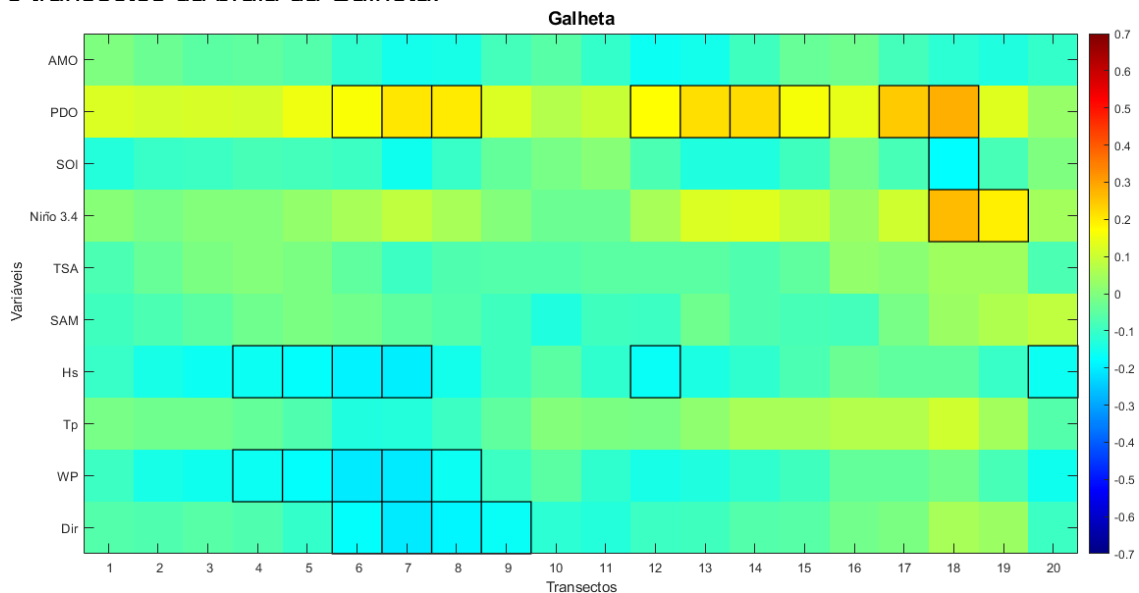
Fonte: Autora

A praia da Galheta apresentou estabilidade em sua totalidade com menores variações nos perfis mais ao sul. Os valores de EPR e NSM aumentam consideravelmente de sul para norte, o que indica aumento da linha de costa nos perfis ao norte. A Taxa de Regressão Linear (LRR) reforça essa informação, nela é possível ver os transectos ao norte com tendência acresciva e ao sul mais erosiva.

A tendência de aumento dos perfis ao norte pode estar relacionada ao posicionamento do promontório ao norte, uma região propícia ao acúmulo de sedimentos que acabam sendo retidos com mais facilidade neste setor.

A praia da Galheta apresentou baixos valores de correlação tanto para as variáveis de onda quanto para os índices climáticos conforme pode ser observado na Figura 18.

Figura 18: Mapa de calor das correlações entre índices climáticos, variáveis de ondas e transectos da praia da Galheta.



Fonte: Autora

O índice mais expressivo ao longo da praia da Galheta foi o PDO com correlação máxima de 0,28, mínima 0,16 e média 0,21. Niño 3.4 aparecesomente nos transectos mais ao sul com correlações entre $r = 0,23$ e $r = 0,17$ emédia de $r = 0,19$ e SOI é representado em apenas um transecto também ao sulcom $r = -0,18$. Os índices AMO, TSA e SAM não apresentaram correlações significativas na praia da Galheta.

As variáveis de onda Hs, WP e Direção apresentam valores significantes com correlação indireta na porção norte da praia, o que significa que com o aumento na energia, altura, período e ângulo de incidência de ondas (ondulações de sul/sudeste) esses perfis tendem a diminuir, e com ondulações com menores ângulos (ondulações de S, SE para E e NE) a diminuição da altura e potência de onda, os perfis dessa porção tendem a crescer.

Os valores máximo e mínimo de Hs variam entre $r = -0,16$ e $r = -0,20$ com média $r = -0,18$, potência de onda WP entre $r = -0,16$ e $r = -0,21$ com a média $r = -0,18$, e

por último a direção de onda θ $r = -0,17$ e $r = -0,20$ com média $r = -0,18$. O período de onda não apresentou correlações significativas para essa praia.

Tabela 9: Variação das correlações (r) significantes ($p < 0,05$) de cada variável com os valores máximo, mínimo e média encontrados na praia da Galheta. O símbolo ‘-’ representa ausência de correlação significativa.

	<i>Máx</i>	<i>Mín</i>	<i>Média</i>
<i>AMO</i>			
<i>PDO</i>	0,28	0,16	0,21
<i>SOI</i>			-0,18
<i>Niño 3.4</i>	0,26	0,19	0,23
<i>TSA</i>			
<i>SAM</i>			
<i>Hs (m)</i>	-0,16	-0,20	-0,18
<i>Tp (s)</i>			
<i>WP (kW/m)</i>	-0,16	-0,21	-0,18
<i>Dir (°)</i>	-0,17	-0,20	-0,18

Fonte: Autora

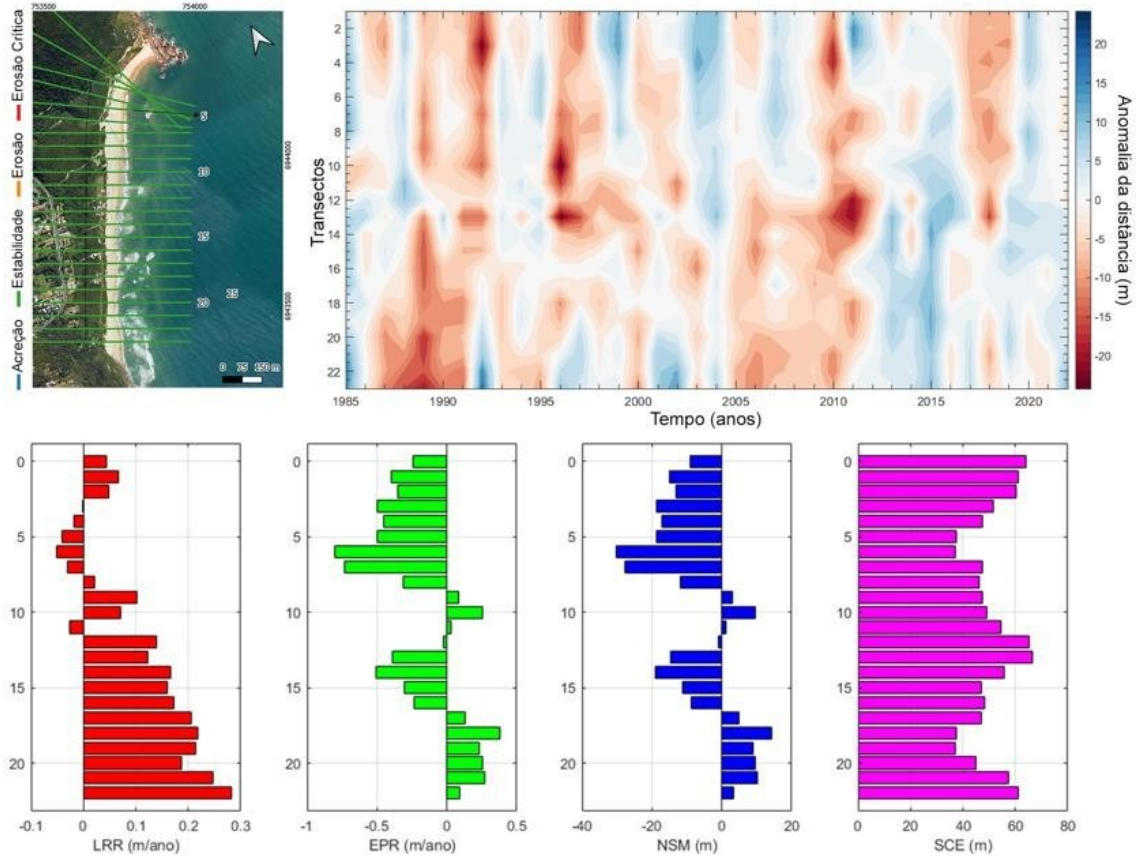
4.1.9. Praia Mole

Localizada na costa Leste da ilha de Santa Catarina, a praia Mole é uma praia de bolso delimitada por dois promontórios rochosos, sendo ao norte pela ponta do Meio, e a sul pela ponta do Gravatá, orientada na direção nordeste– sudoeste. Possui 1.187m de extensão, largura e declividade média de 47m e 9° , respectivamente (Horn Filho, Leal & Oliveira, 2017). A praia é marcada pela presença de sedimentos arenosos de textura média à grossa (Horn Filho, 2006), sendo classificada morfodinamicamente como intermediária (Borges, 2017) e em equilíbrio dinâmico (Silveira *et al.*, 2010).

A praia Mole apresentou tendência à estabilidade em todos os transectos analisados, contudo, é preciso ressaltar o comportamento dinâmico dos perfis centrais da praia, que de certa forma divide o comportamento do setor norte e sul da praia.

No diagrama de Hovmöller (Figura 19) destacam-se os eventos erosivos em 2008, 2011 e 2017. É possível observar também rotação praial de caráter sazonal entre os perfis no decorrer do período estudado. O diagrama destaca os períodos erosivos entre 1987 e 1991, 1996, 2010 e 2018. Padrões acrescivos aparecem durante toda a análise, porém de maneira menos expressiva.

Figura 19: Comportamento de linha de costa do arco praiar Mole. Acima: Posição dos transectos e diagrama de Hovmöller. Abaixo: Taxa de regressão linear (LRR), Taxa de ponto final (EPR), movimento líquido da linha de costa (NSM) e mudança total da linha



Fonte: Autora

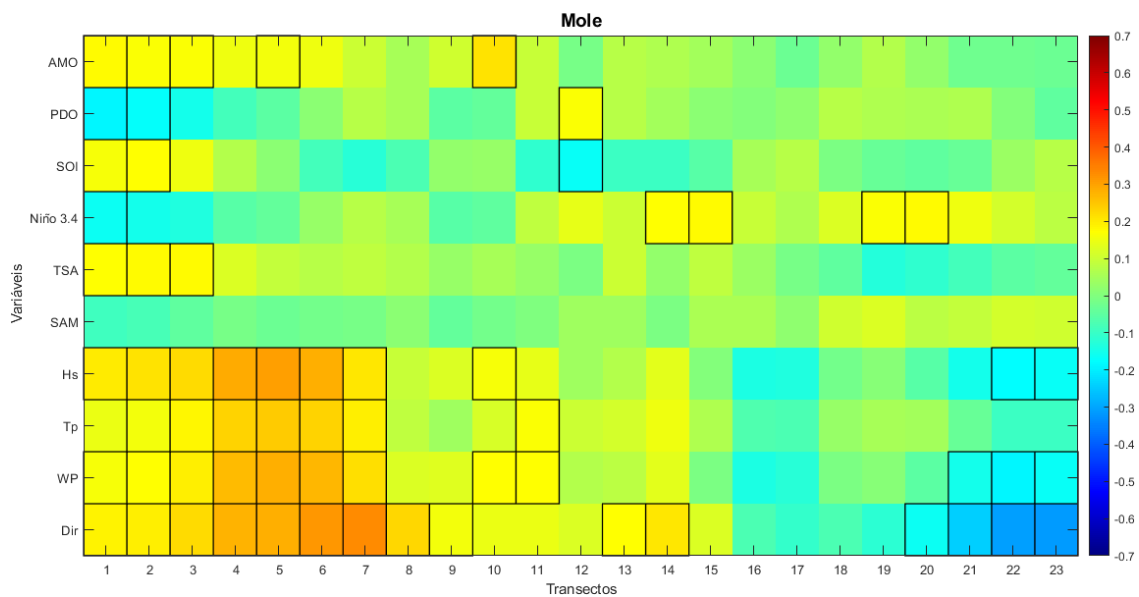
A LRR se mostrou positiva em quase todos os perfis, com maior tendência de norte para sul da praia (setor mais abrigado de ondulações de Sul/Sudeste).

A praia apresenta grande variação na linha de costa (SCE) em todos os perfis, o que demonstra o dinamismo da praia, no entanto, valores negativos de EPR e NSM na região norte e central mostram uma diminuição desses setores desde o início da análise.

O grau de exposição dos perfis centrais às ondulações de leste e a presença de fortes correntes de retorno já conhecidas nestes locais podem contribuir para o retrabalhamento de sedimentos na região. O perfil sul mantém taxa de variação anual positivas possivelmente pela proximidade com os promontórios rochosos que atenuam a ação das ondas provenientes de sul (porção sul) e leste (porção norte).

Na praia Mole, a influência dos índices climáticos na linha de costa (Figura 20) foi mais representativa na porção norte da praia com a presença do AMO, PDO, SOI, Niño 3.4 e TSA nos primeiros transectos analisados. SAM no entantonão apresentou nenhum valor significativo em toda extensão da praia. Os índices AMO, SOI e TSA apresentaram correlações diretas, já o PDO e Niño 3.4 apresentaram correlações indiretas com os transectos.

Figura 20: Mapa de calor das correlações entre índices climáticos, variáveis de ondas e transectos da praia Mole



Fonte: Autora

As correlações entre os índices climáticos e os transectos da praia (Tabela 10) foram: AMO $r = 0,21$ e $r = 0,15$ e média de $r = 0,18$, PDO $r = 0,16$ e $r = -0,19$ e média de $r = -0,06$, SOI $r = 0,17$ e $r = -0,17$ e média de $r = 0,05$, Niño 3.4 $r = 0,18$ e $r = -0,16$ e média de $r = 0,11$, TSA $r = 0,18$ e $r = 0,17$ e média de $r = 0,18$.

Os valores máximo e mínimo de Hs variam entre $r = 0,30$ e $r = -0,18$ com média $r = 0,15$, período Tp entre $r = 0,24$ e $r = 0,16$ com média $r = 0,20$, potência de onda WP entre $r = 0,28$ e $r = -0,19$ com a média $r = 0,12$, e a direção de onda θ apresentando $r = 0,33$ e $r = -0,32$ com média $r = 0,10$.

Tabela 10: Variação das correlações (r) significantes ($p < 0,05$) de cada variável com os valores máximo, mínimo e média encontrados na praia Mole. O símbolo '-' representa ausência de correlação significativa

	<i>Máx</i>	<i>Mín</i>	<i>Média</i>
<i>AMO</i>	0,21	0,15	0,18
<i>PDO</i>	0,16	-0,19	-0,06
<i>SOI</i>	0,17	-0,17	0,05
<i>Niño 3.4</i>	0,18	-0,16	0,11
<i>TSA</i>	0,18	0,17	0,18
<i>SAM</i>			
<i>m)</i>	0,30	-0,18	0,15
<i>s)</i>	0,24	0,16	0,20
<i>(kW/m)</i>	0,28	-0,19	0,12
<i>°)</i>	0,33	-0,32	0,10

Fonte: Autora

As variáveis de onda apresentaram correlações significativas nos extremos da praia, sendo positivas (diretas) no setor norte e negativas (indiretas) no sul. A região entre os transectos 4 e 7 se mostrou a mais susceptível à variação da linha de costa pela ação de ondas. A variável de maior influência na linha de costa na praia Mole é o ângulo de incidência das ondas, onde no setor norte, quanto maior o ângulo de incidência, maior energia, período e altura de onda - ou seja quando há ondulações de sul - os perfis tendem a aumentar. Ao contrário dos perfis mais ao sul, que tendem a diminuir com as ondulações de sul (maior energia) e aumentar quando as ondulações são mais de leste.

4.1.10. Arco praial Joaquina - Campeche

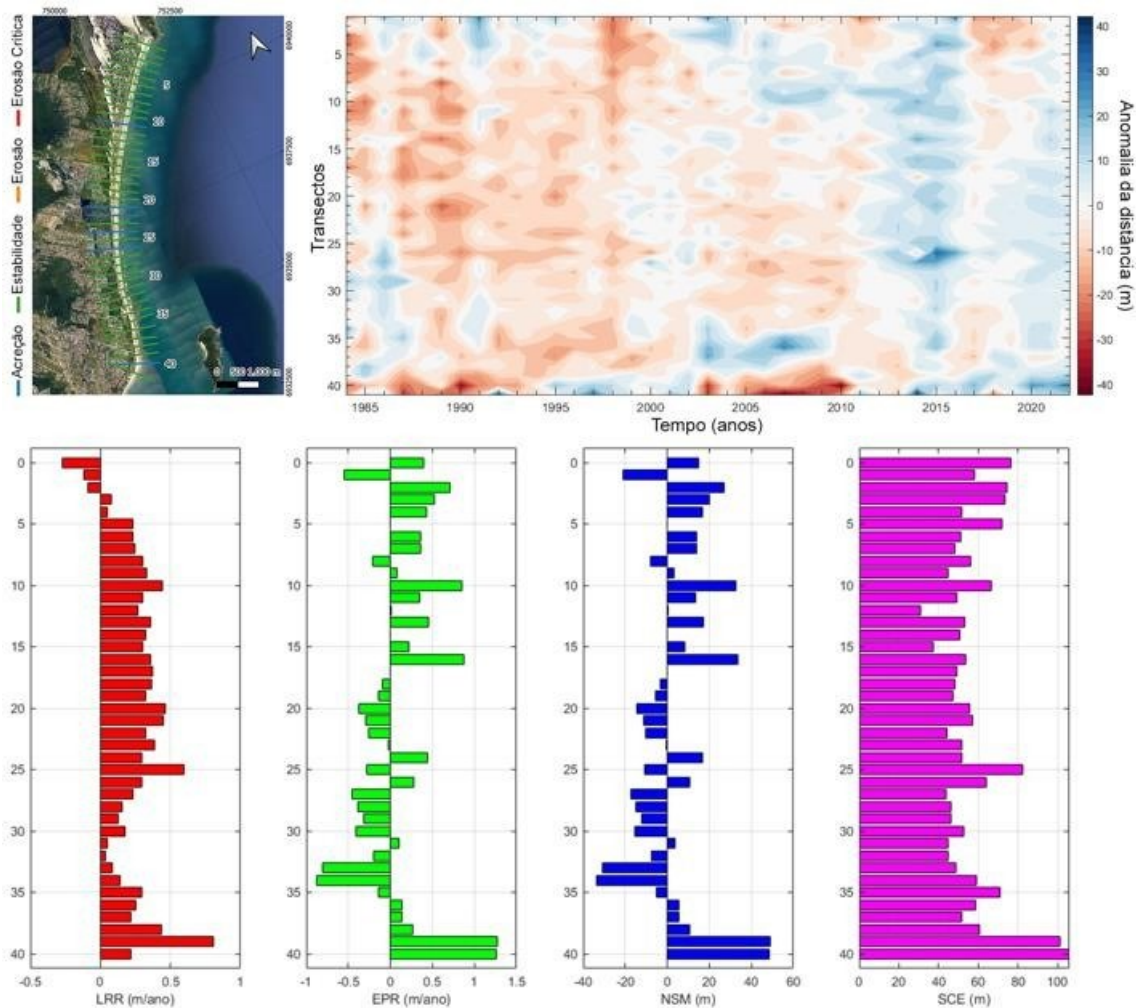
O arco praial Joaquina - Campeche está localizado ao norte junto ao campo de dunas na margem Leste da ilha de Santa Catarina da Ilha de Santa Catarina a partir do maciço costeiro da ponta do Retiro estendendo-se para sul (Santos, 1995) até a altura da Ilha do Campeche, onde se inicia a Saliência do Campeche, com orientação NNE-SSW. Faz parte do arco praial Joaquina - Morro das Pedras formado pelas praias da Joaquina, Rio Tavares, Campeche e Morro das Pedras. Tem sua face voltada para Sudeste com aproximadamente 8km de extensão, apresenta largura média de e 55 m (Horn Filho, Leal & Oliveira, 2017). Possui formato parabólico ou alongado,

apresentando predominância de areias finas e grãos bem selecionados. Segundo Torronteguy (2002) a praia da Joaquina apresenta estágio morfodinâmico dissipativo e o Campeche como intermediário. Silveira *et al.* (2010) classificam ambas como equilíbrio estático.

Na região central da praia é possível observar uma zona de sombra causada pela ilha do Campeche, responsável por criar uma zona de deposição sedimentar, uma saliência (Schmidt, 2010), conhecido como Pontal do Campeche. A saliência dá ao sistema uma forma parabólica e divide-o em dois arcos praias bem distintos.

Pelo diagrama de Hovmöller (Figura 21) é possível observar que o arco praias encontra-se em equilíbrio, com as maiores variações no setor sul da área de estudo, na região do Pontal do Campeche. O diagrama demonstra também uma tendência levemente erosiva durante a maior parte dos anos analisados em toda praia de caráter aparentemente migratório para sul, porém, é possível visualizar uma onda de areia se propagando de sul para norte de 1996 a 2015, ano em que foi observada uma notável acreção em toda orla.

Figura 21: Comportamento de linha de costa do arco praial Joaquina -Campeche. Acima: Posição dos transectos e diagrama de Hovmöller. Abaixo: Taxa de regressão linear (LRR), Taxa de ponto final (EPR), movimento líquido da linha de costa (NSM) e mudança total

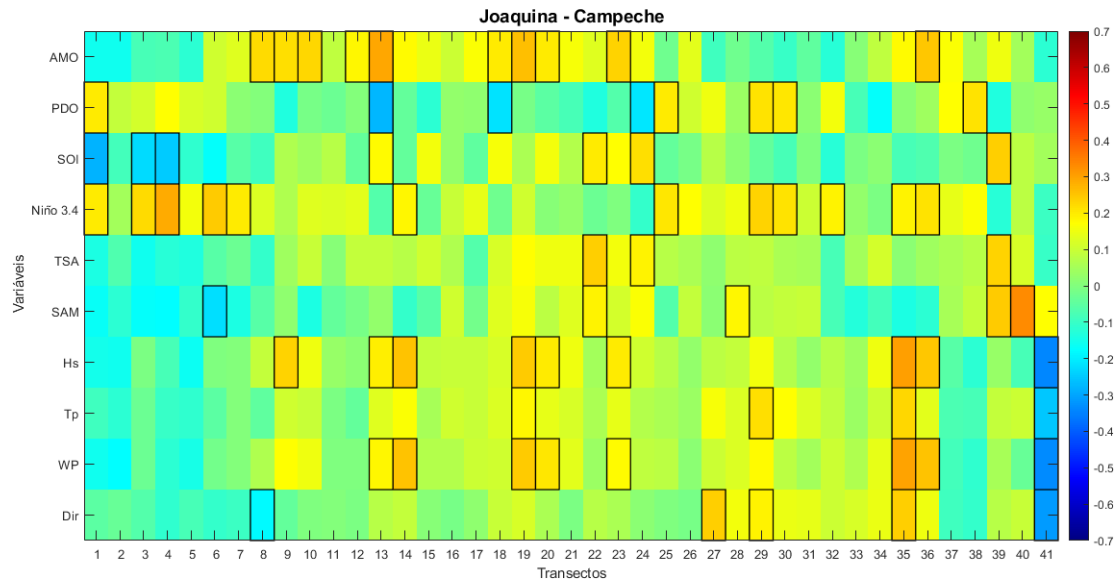


Fonte: Autora

A análise estatística classificou a praia como estável, com LRR positivo em quase todos os transectos (LRR médio 0,25 m/ano), com valores mais expressivos na região do Pontal do Campeche, ultrapassando 0,5 m/ano. O SCE mostra uma variação uniforme em toda praia, com maiores valores nas extremidades do arco praial. O padrão apresentado pelos gráficos de EPR e NSM indicam o comportamento típico de uma praia em equilíbrio.

O arco praial Joaquina – Campeche apresenta poucas correlações significativas bem distribuídas ao longo da praia sem padrão aparente (Figura 22), o que pode ser indício de uma praia estável e de alta resiliência. Com extenso arco praial, o trecho em questão apresenta sua orla e campo de dunas bem preservado.

Figura 22: Mapa de calor das correlações entre índices climáticos, variáveis de ondas e transectos do arco praiado Joaquina – Campeche.



Fonte: Autora

Conforme observado na Tabela 11, as correlações entre os índices climáticos e os transectos da praia foram: AMO $r = 0,29$ e $r = 0,18$ e média de $r = 0,23$, PDO $r = 0,21$ e $r = 0,28$ e média de $r = 0,04$, SOI $r = 0,24$ e $r = 0,28$ e média de $r = 0,04$, Niño 3.4 $r = 0,29$ e $r = 0,18$ e média de $r = 0,21$, TSA $r = 0,24$ e $r = 0,19$ e média de $r = 0,22$, SAM $r = 0,33$ e $r = 0,22$ e média de $r = 0,14$.

Já a variação entre as correlações significativas de onda foram: H_s entrar $r = 0,30$ e $r = -0,34$ com média $r = 0,17$, T_p entre $r = 0,23$ e $r = -0,26$ e média $r = 0,09$, energia de onda WP com $r = 0,30$ e $r = -0,33$ e média $r = 0,16$ e direção de onda θ entre $r = 0,24$ e $r = -0,31$ e média $r = 0,03$.

Tabela 11: Variação das correlações (r) significantes ($p < 0,05$) de cada variável com os valores máximo, mínimo e média encontrados no arco praial Joaquina - Campeche.

	<i>Máx</i>	<i>Mín</i>	<i>Média</i>
<i>AMO</i>	0,29	0,18	0,23
<i>PDO</i>	0,21	-0,28	0,04
<i>SOI</i>	0,24	-0,28	-0,04
<i>Niño 3.4</i>	0,29	0,18	0,21
<i>TSA</i>	0,24	0,19	0,22
<i>SAM</i>	0,33	-0,22	0,14
<i>Hs (m)</i>	0,30	-0,34	0,17
<i>Tp (s)</i>	0,23	-0,26	0,09
<i>WP (kW/m)</i>	0,30	-0,33	0,16
<i>Dir (°)</i>	0,24	-0,31	0,03

Fonte: Autora

4.1.11. Arco praial Campeche - Morro das Pedras

O arco praial Campeche - Morro das Pedras engloba a região ao sul do Pontal do Campeche até o costão rochoso do Morro das Pedras, representando o último trecho do cordão arenoso que integra o sistema praial Joaquina/Campeche/Morro das Pedras.

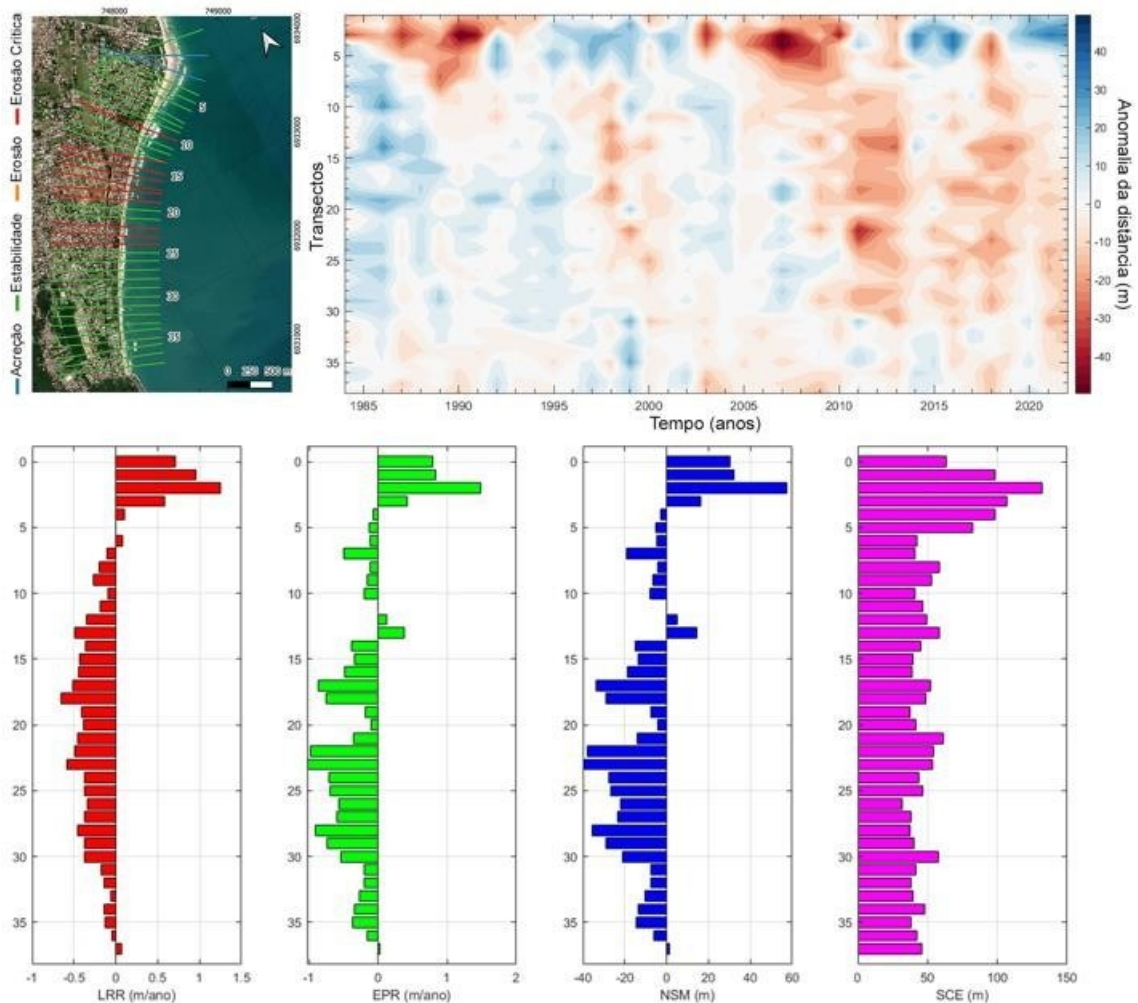
Possui cerca de 3,4 km e orientação NNE-SSW. No setor norte a largura média é de cerca de 25 m com granulometria predominantemente pela classe areia fina e grãos bem selecionados (Peixoto, 2010; Horn Filho, Leal & Oliveira, 2017). Na porção sul, a largura média é de 55 m e conta com predominância da classe areia média, com grãos moderadamente selecionados, chegando a areia grossa no extremo sul (Horn Filho, Leal & Oliveira, 2017).

Quanto a seu estágio morfodinâmico, ao norte é classificada como intermediária (Torronteguy, 2002) e ao sul, como refletiva, e encontra-se em equilíbrio estático (Torronteguy, 2002).

A praia apresentou perfis em sua maioria classificados como estáveis, contudo, entre os transectos 10 e 25 há predominância de transectos classificados como erosivos. O diagrama (Figura 23) ilustra os ciclos de erosão e acresção ocorridos ao

longo da praia, com destaque para o transectos 2-7, que abrangem a porção sul do Pontal do Campeche. Essa região é marcada por 2 grandes eventos erosivos, em 1990/1991 e 2007/2008, separados por períodos de expressiva acreção.

Figura 23: Comportamento de linha de costa do arco praial Campeche – Morro das Pedras. Acima: Posição dos transectos e diagrama de Hovmöller. Abaixo: Taxa de regressão linear (LRR), Taxa de ponto final (EPR), movimento líquido da linha de costa (NSM) e mudança total da linha de costa (SCE).



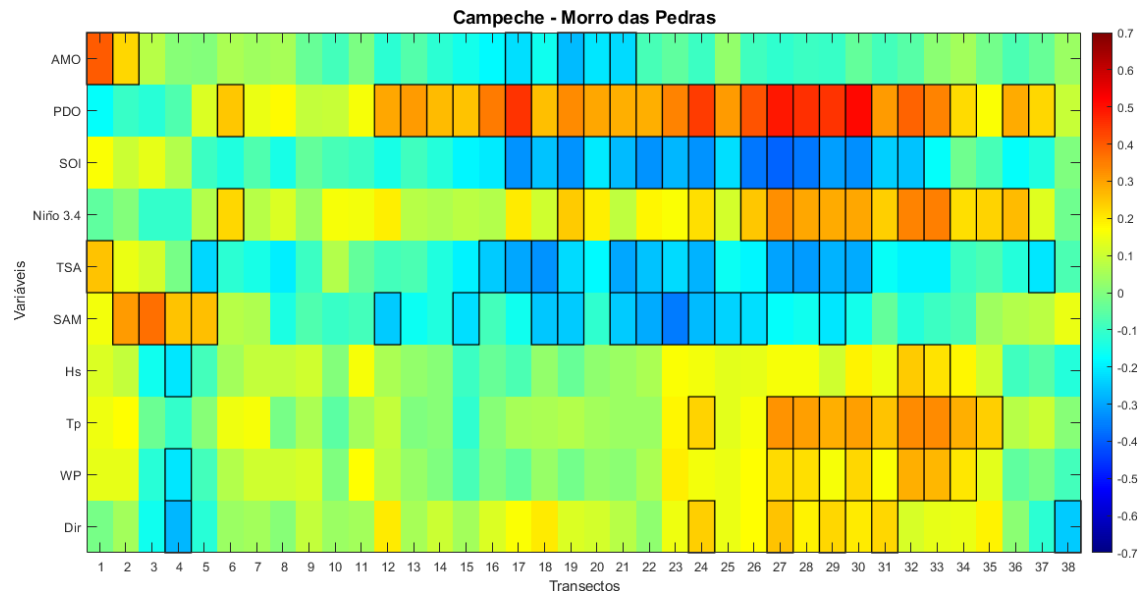
Fonte: Autora

O arco praial conta ainda com um grande período erosivo entre 2011 e 2013 em quase toda sua extensão, que se estende até o final dessa análise. O ano de 2018 também foi marcado por tendências erosivas da linha de costa, principalmente em seu setor central.

As análises estatísticas mostram a região da saliência do Campeche como a única no arco praial com tendências acrescionais e maior movimentação do pacote sedimentar. Os perfis ao sul (a partir do perfil 5) apresentam menor variação total do perfil (SCE), além de LRR, EPR e NSM negativas, sendo a região entre os perfis 10 e 30 onde há os valores mais expressivos de retração de linha de costa.

No arco praial Campeche – Morro das Pedras é possível observar que os índices climáticos foram as variáveis que tiveram maiores valores de correlação com o comportamento da linha de costa (Figura 24).

Figura 24: Mapa de calor das correlações entre índices climáticos, variáveis de ondas e transectos do arco praial Campeche – Morro das Pedras.



Fonte: Autora

O índice PDO tem forte influência ao longo de toda praia, principalmente entre os transectos 24 e 30, e apresentou o maior valor de correlação dessa praia com $r = 0,51$ (Tabela 12).

As correlações entre os índices climáticos e os transectos da praia foram: AMO $r = 0,40$ e $r = 0,27$ e média de $r = 0,05$, PDO $r = 0,51$ e $r = 0,22$ e média de $r = 0,34$, SOI $r = -0,20$ e $r = -0,39$ e média de $r = -0,30$, Niño 3.4 $r = 0,35$ e $r = 0,22$ e média de $r = 0,27$, TSA $r = 0,26$ e $r = -0,33$ e média de $r = -0,24$ e SAM $r = 0,37$ e $r = -0,36$ com média $r = -0,11$.

As variáveis de onda, principalmente período e direção, concentram sua área de influência na parte sul desse arco praiar, na região do Morro das Pedras. A variação entre as correlações significativas de onda na praia foram: Hs entre $r = 0,25$ e $r = -0,21$ com média $r = 0,08$, Tp entre $r = 0,33$ e $r = 0,23$ e média $r = 0,29$, energia de onda WP com $r = 0,28$ e $r = -0,21$ e média $0,07$ e direção de onda θ entre $r = 0,25$ e $r = -0,27$ e média $r = 0,07$.

Tabela 12: Variação das correlações (r) significantes ($p < 0,05$) de cada variável com os valores máximo, mínimo e média encontrados no arco praiar Campeche – Morro das Pedras.

	<i>Máx</i>	<i>Mín</i>	<i>Média</i>
<i>AMO</i>	0,40	-0,27	-0,05
<i>PDO</i>	0,51	0,22	0,34
<i>SOI</i>	-0,20	-0,39	-0,30
<i>Niño 3.4</i>	0,35	0,22	0,27
<i>TSA</i>	0,26	-0,33	-0,24
<i>SAM</i>	0,37	-0,36	-0,11
<i>Hs (m)</i>	0,25	-0,21	0,08
<i>Tp (s)</i>	0,33	0,23	0,29
<i>WP (kW/m)</i>	0,28	-0,21	0,17
<i>Dir (°)</i>	0,25	-0,27	0,07

Fonte: Autora

4.1.12. Praia da Armação

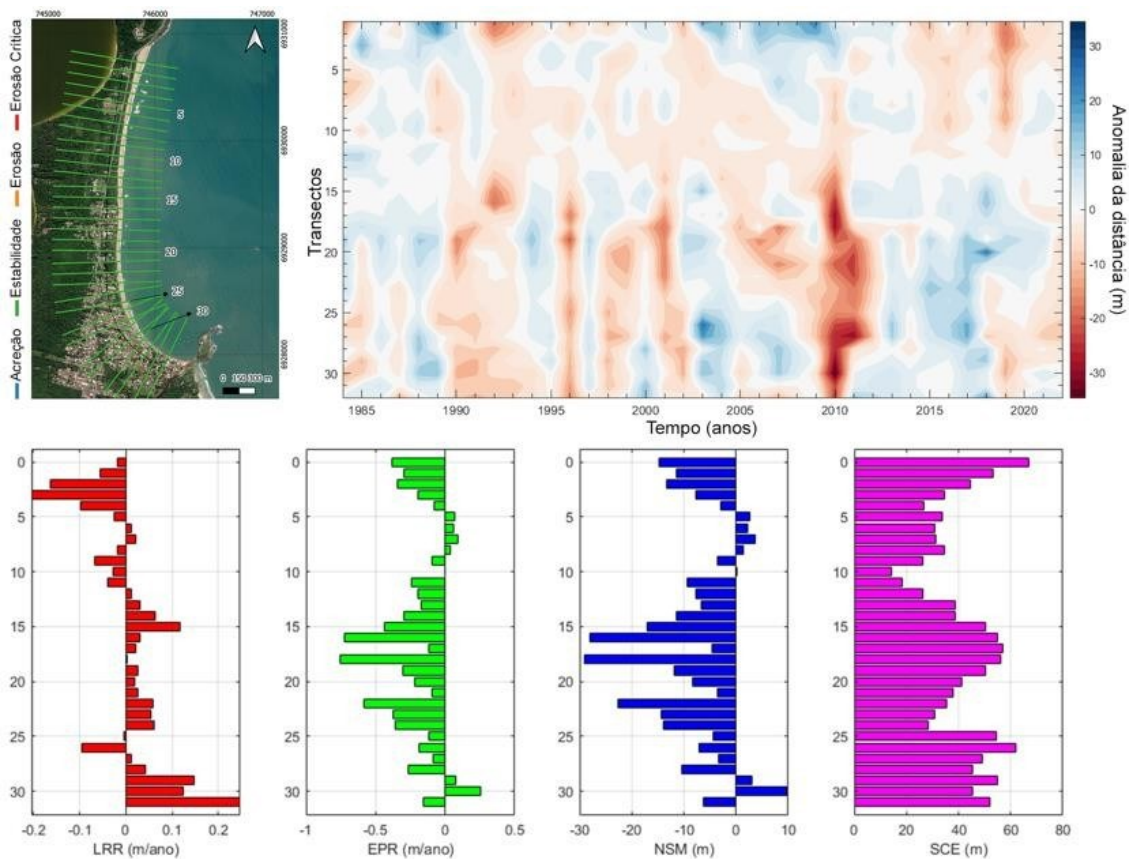
A praia da Armação possui aproximadamente 3.500m de extensão. Limitada a norte pelo Morro das Pedras e a sul pela Ponta das Campanhas. Possui formato parabólico sendo o arco praiar orientado no sentido NNE-SSW ao norte e SE-NW ao sul (Abreu de Castilhos, 1995).

O setor Norte é o mais exposto à ação das ondas provenientes de S-SE e E-NE, apresenta granulometria arenosa grossa, elevada declividade da face praiar e estágio morfodinâmico reflectivo (Abreu de Castilhos, 1995; Dalbosco, 2013). O setor Central apresenta granulometria arenosa grossa, frequentes cúspides praias e correntes de retorno, classificando esse setor como reflectivo, apresentando a maior declividade do arco praiar (Abreu de Castilhos, 1995; Dalbosco, 2013). O setor Sul é o mais protegido

pela ação de ondas devido a presença da ilha das Campanhas. Apresenta granulometria arenosa fina e baixadecividade praial. Este setor é classificado quanto ao seu estágio morfodinâmico como intermediário (Abreu de Castilhos, 1995). Silveira *et al.* (2010) classificaram a praia como em equilíbrio estático.

A praia da Armação apresentou tendência à estabilidade em sua totalidade com tendência à acresção em sua porção central e sul. Através do diagrama de Hovmöller (Figura 25) é possível observar o grande evento erosivo sofrido na porção centro-sul da praia entre 2010 e 2012

Figura 25: Comportamento de linha de costa do arco praial da Armação Acima: Posição dos transectos e diagrama de Hovmöller. Abaixo: Taxa de regressão linear (LRR), Taxa de ponto final (EPR), movimento líquido da linha de costa (NSM) e



Fonte: Autora

Através da análise estatística é possível observar através do EPR e NSM a retração da linha de costa da praia, principalmente nos transectos centrais. O SCE também aponta maior variação da linha de costa nos extremos norte e sul da praia e na região central. O LRR apresenta tendência erosiva nos transectos norte da praia e

acresciva no centro-sul, que pode ser observado nos anos seguintes da grande erosão sofrida nessa região em 2010-2012.

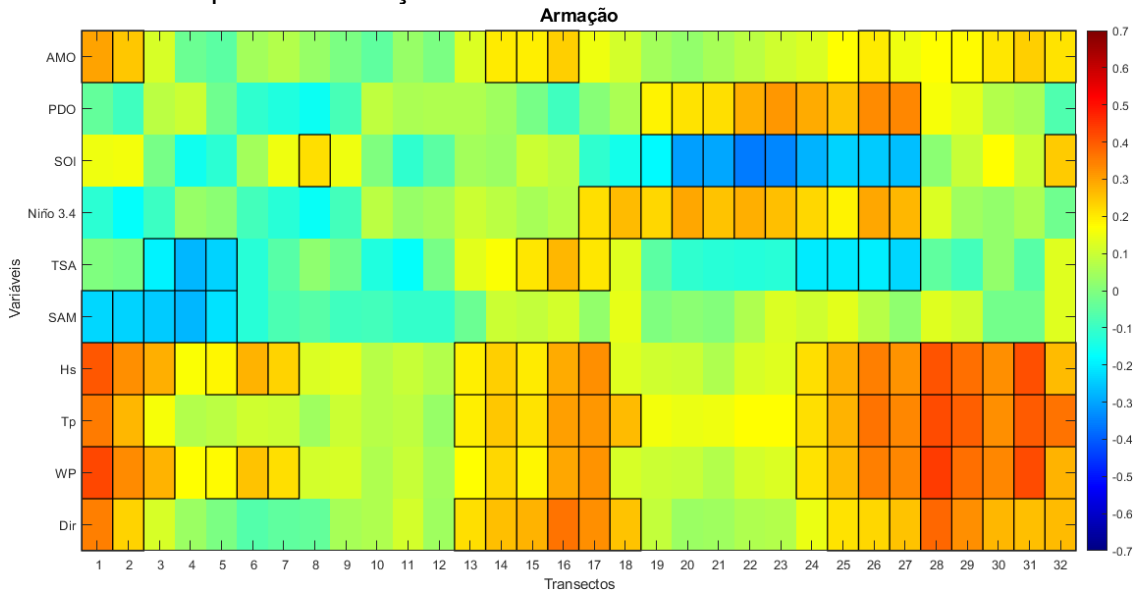
O setor central destaca-se pelo fato de ser classificado como estável pela taxa anual de regressão linear (LRR), porém, apesar da tendência apresentada, se olharmos a média de variação anual (EPR) e variação máxima (NSM), veremos valores negativos expressivos indicando retrogradação da linha de costa na região central da praia. Em 2019 obras rígidas para a contenção da erosão costeira no local foram feitas no setor central para evitar danos às construções locais.

No setor Sul já foram realizadas diversas intervenções antrópicas, como a construção do molhe da Armação e obras de contenção e revitalização da orla, o que acaba interferindo diretamente na dinâmica praial (Marins, 2020).

Os valores de correlação entre os índices climáticos e os transectos da praia da Armação foram: AMO $r = 0,30$ e $r = 0,18$ e média de $r = 0,22$, PDO $r = 0,36$ e $r = 0,19$ e média de $r = 0,27$, SOI $r = 0,21$ e $r = -0,36$ e média de $r = -0,23$, Niño 3.4 $r = 0,29$ e $r = -0,02$ e média de $r = -0,24$, TSA $r = 0,27$ e $r = -0,28$ e média de $r = -0,09$ e SAM $r = 0,22$ e $r = -0,27$ com média $r = -0,24$.

Quanto à influência das ondas, na Figura 26 é notável a ocorrência de três setores ao longo da praia onde a correlação é direta e apresenta valores expressivos, no extremo norte, centro e na porção sul da praia.

Figura 26: Mapa de calor das correlações entre índices climáticos, variáveis de ondas e transectos da praia da Armação



Fonte: Autora

A variação entre as correlações significativas de onda foram: *Hs* entre $r=0,41$ e $r=0,18$ com média $r=0,29$, *Tp* entre $r=0,42$ e $r=0,19$ e média $r=0,31$, energia de onda *WP* com $r=0,44$ e $r=0,18$ e média $0,30$ e direção de onda θ entre $r=0,38$ e $r=0,21$ e média $r=0,28$.

Tabela 13: Variação das correlações (r) significantes ($p < 0,05$) de cada variável com os valores máximo, mínimo e média encontrados na praia da Armação.

	<i>Máx</i>	<i>Min</i>	<i>Média</i>
<i>AMO</i>	0,30	0,18	0,22
<i>PDO</i>	0,36	0,19	0,27
<i>SOI</i>	0,21	-0,36	-0,23
<i>Niño 3.4</i>	0,29	-0,02	0,23
<i>TSA</i>	0,27	-0,28	-0,09
<i>SAM</i>	-0,22	-0,27	-0,24
<i>Hs (m)</i>	0,41	0,18	0,29
<i>Tp (s)</i>	0,42	0,19	0,31
<i>WP (kW/m)</i>	0,44	0,18	0,30
<i>Dir (°)</i>	0,38	0,21	0,28

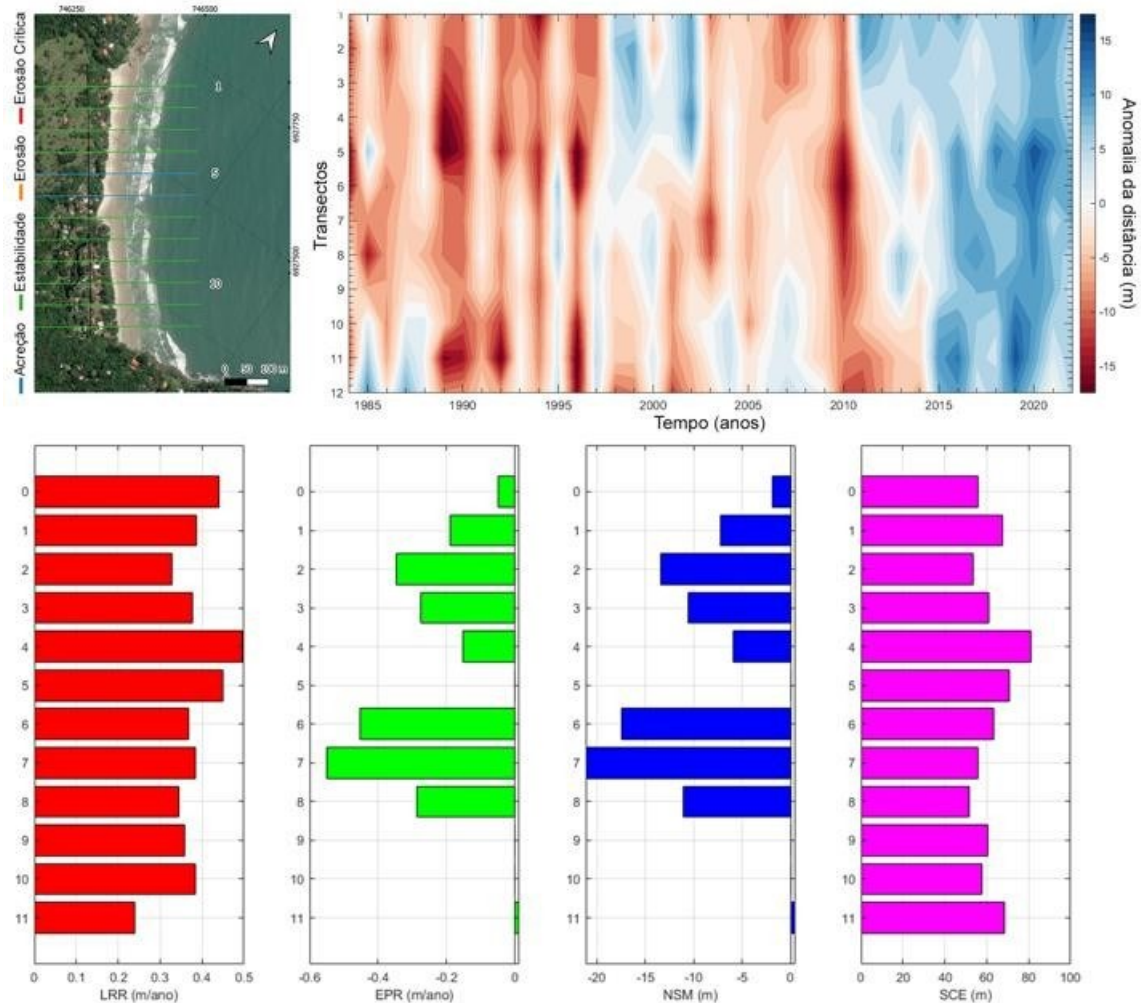
Fonte: Autora

4.1.13. Praia do Matadeiro

A praia do Matadeiro é uma praia de bolso localizada na costa Sudeste entre os promontórios rochosos das pontas das Campanhas e do Quebra-remo. Possui 862m de comprimento e sua face é voltada para nordeste. A praia é protegida de ondulações de alta energia oriundas de sul-sudeste, porém recebendo influência direta das ondulações de leste-nordeste (Heidrich et al., 2020). A granulometria presente é a predominante de areia fina, grãos arredondados e bem selecionados (Heidrich et al., 2020). É caracterizada como uma praia semi-exposta, no estágio morfodinâmico dissipativo (Mazzer *et al.*, 2008), e Silveira et al. (2010) a classificaram como em equilíbrio estático.

A praia do Matadeiro foi classificada como estável em sua totalidade. No diagrama de Hovmöller (Figura 27) é possível observar as oscilações de erosão e acresção sofridas pela praia. A praia apresentou nos anos iniciais do estudo (1984-1997) um comportamento mais erosivo e nos últimos anos (2015-2022) se encontra em um grande período acrescivo. Destacam-se os anos 1989, 1991, 1996 e 2010 por apresentarem eventos erosivos significativos nesta praia.

Figura 27: Comportamento de linha de costa do arco praial do Matadeiro. Acima: Posição dos transectos e diagrama de Hovmöller. Abaixo: Taxa de regressão linear (LRR), Taxa de ponto final (EPR), movimento líquido da linha de costa (NSM) e

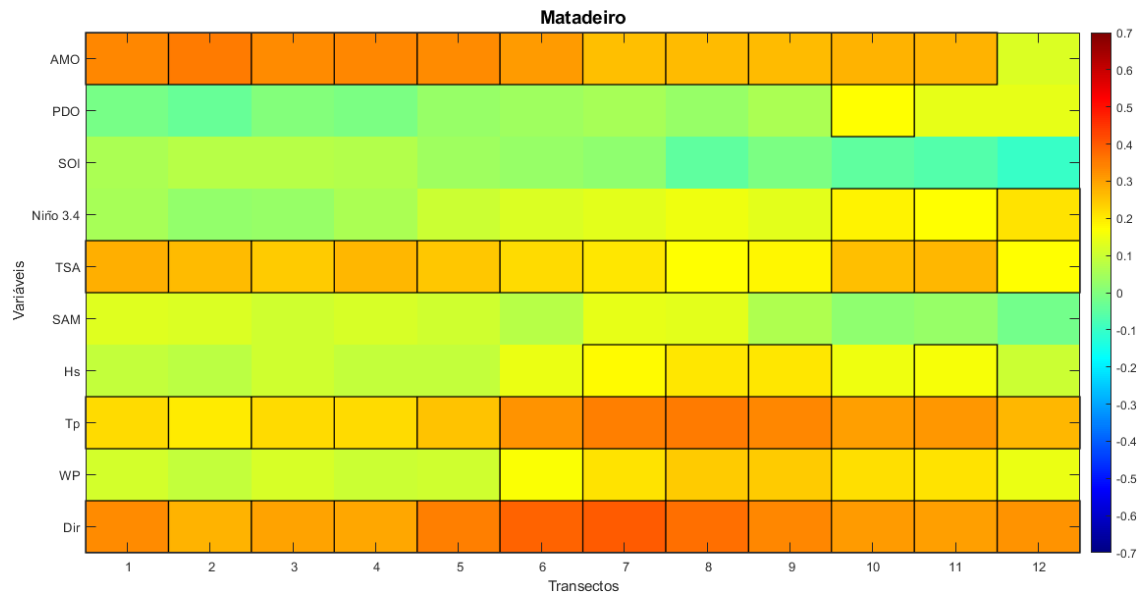


Fonte: Autora

A praia foi caracterizada como estável, com LRR médio de 0,38 m/ano. Os dados de LRR e NSM indicam que houve recuo da linha de costa na região centro-norte da praia desde o início do estudo. O gráfico de SCE mostra uma grande variação total da linha de costa como um todo para o Matadeiro.

Observando o mapa de calor (Figura 28) é possível notar um padrão semelhante às praias ao norte da ilha que também são voltadas para norte, como Jurerê, Canasvieiras, Lagoinha do Norte e Ingleses.

Figura 28: Mapa de calor das correlações entre índices climáticos, variáveis de ondas e transectos da praia do Matadeiro



Fonte: Autora

AMO foi o mais expressivo entre os índices, e a direção foi a variável que apresentou maior correlação com a linha de costa (Tabela 14).

Os valores de correlação entre os índices climáticos e os transectos foram: AMO $r = 0,35$ e $r = 0,26$ e média de $r = 0,30$, PDO $r = 0,17$, Niño 3.4 $r = 0,21$ e $r = 0,17$ e média de $r = 0,19$, TSA $r = 0,28$ e $r = 0,17$ e média de $r = 0,23$. SOI e SAM não apresentaram correlações significativas.

A variação entre as correlações significativas de onda foram: Hs entre $r = 0,21$ e $r = 0,16$ com média $r = 0,19$, TP entre $r = 0,35$ e $r = 0,20$ e média $r = 0,28$, energia de onda WP com $r = 0,24$ e $r = 0,17$ e média $0,21$ e direção de onda θ entre $r = 0,40$ e $r = 0,28$ e média $r = 0,33$.

Tabela 14: Variação das correlações (r) significantes ($p < 0,05$) de cada variável com os valores máximo, mínimo e média encontrados na praia do Matadeiro.

	<i>Máx</i>	<i>Min</i>	<i>Média</i>
<i>AMO</i>	0,35	0,26	0,30
<i>PDO</i>			0,17
<i>SOI</i>			
<i>Niño 3.4</i>	0,21	0,17	0,19
<i>TSA</i>	0,28	0,17	0,23
<i>SAM</i>			
<i>Hs (m)</i>	0,21	0,16	0,19
<i>Tp (s)</i>	0,35	0,20	0,28
<i>WP (kW/m)</i>	0,24	0,17	0,21
<i>Dir (°)</i>	0,40	0,28	0,33

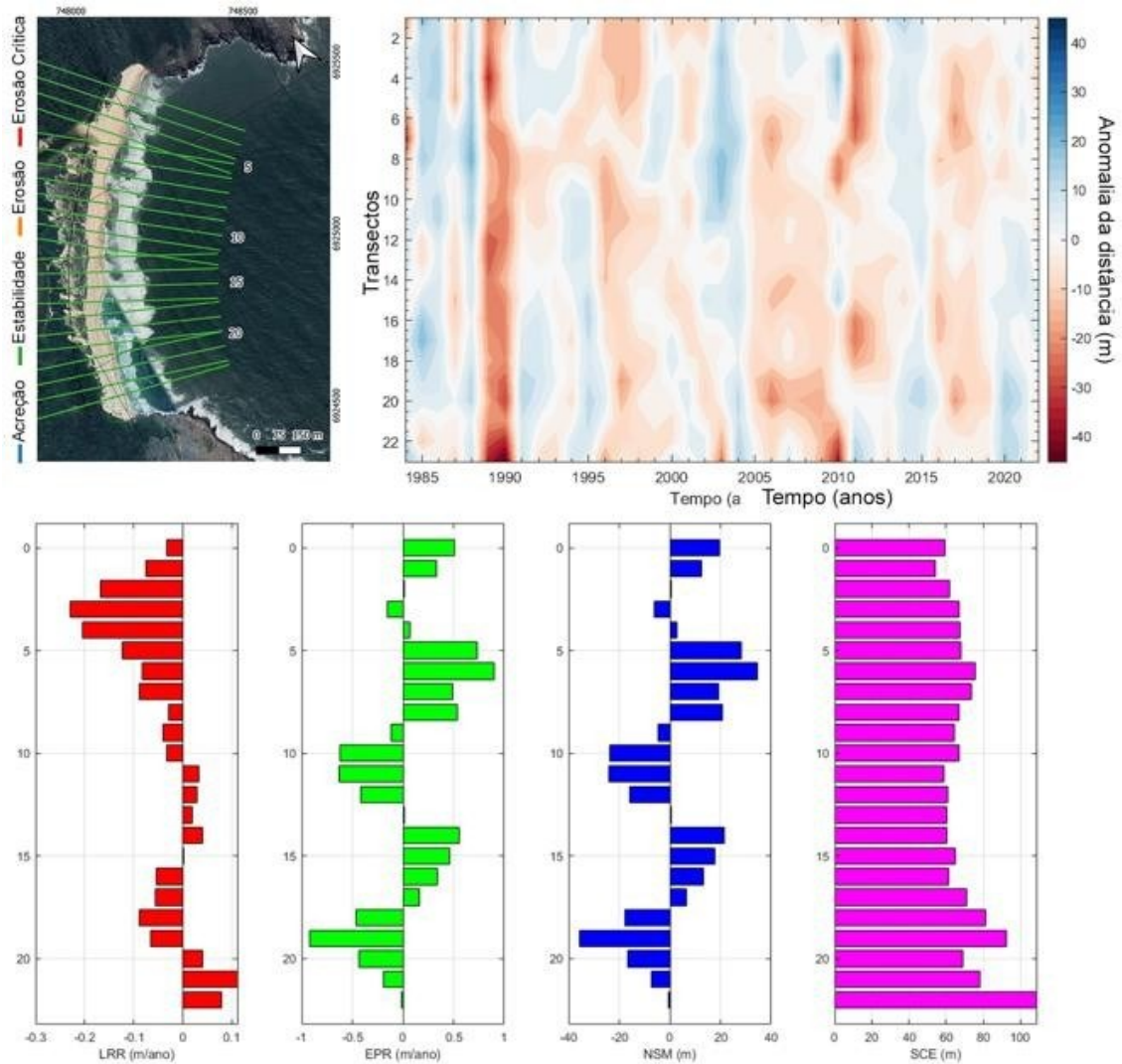
Fonte: Autora

4.1.14. Praia da Lagoinha do Leste

A praia da Lagoinha do Leste é uma praia de bolso orientada a NNE-SSW, com 1.262m de extensão. Está localizada entre os promontórios rochosos ponta da Lagoinha e ponta do Açúcar. A praia é majoritariamente intermediária, oscilando entre dissipativo e intermediário em regime de alta energia. É uma das praias mais expostas às ondulações na ilha de Santa Catarina (Mazzer *et al.*, 2008), cuja textura dos sedimentos é predominante areia média. Silveira *et al.* (2010) classificaram a praia como em equilíbrio estático.

A praia da Lagoinha do Leste apresentou tendência à estabilidade de forma geral com acresção na direção N-S, sendo os perfis localizados mais ao sul os mais acrescivos. O diagrama (Figura 29) mostra períodos de erosão e acresção bem distribuídos ao longo do período analisado. As erosões sofridas em outras praias nos anos de 1989/1990, 1997, 2010/2011 e 2017 também podem ser observadas aqui em menor escala.

Figura 29: Comportamento de linha de costa do arco praial da Lagoinha do Leste. Acima: Posição dos transectos e diagrama de Hovmöller. Abaixo: Taxa de regressão linear (LRR), Taxa de ponto final (EPR), movimento líquido da linha de costa (NSM) e mudança total da linha de costa (SCE).

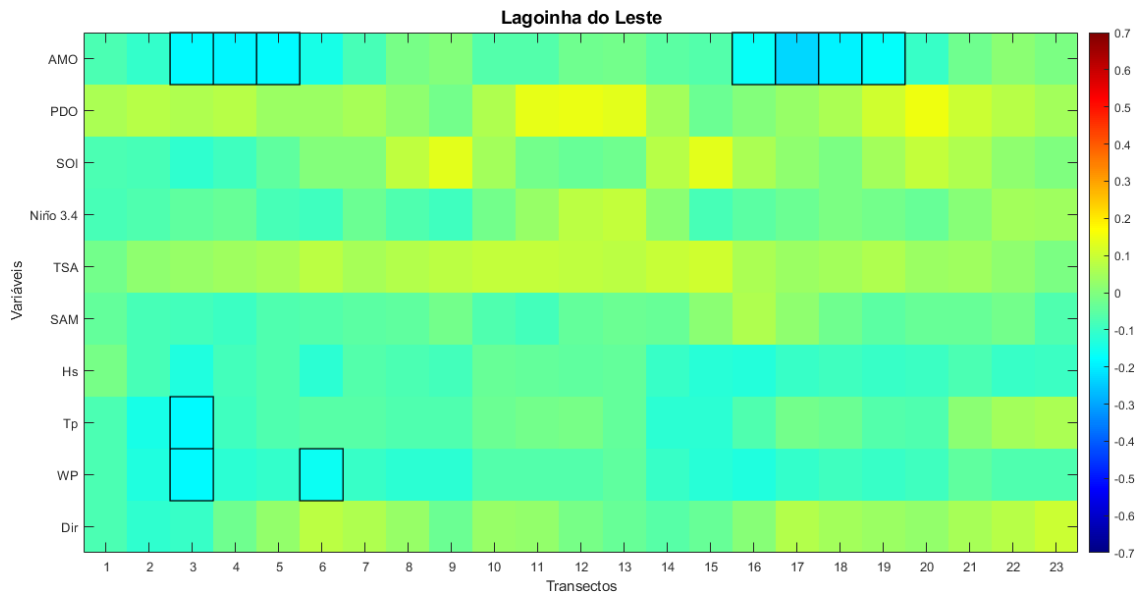


Fonte: Autora

A praia apresentou aumento da tendência acresciva de norte para sul pelos valores de LRR. A tendência mais acresciva a sul pode ser explicada pelo menor grau de exposição desse setor frente às ondulações de sul e sudeste pelo promontório adjacente. Dados de EPR e NSM indicam o comportamento típico de uma praia em equilíbrio e SCE aponta grande variação em todos os perfis, especialmente mais ao sul.

A praia da Lagoinha do Leste apresentou em toda sua extensão valores entre -0,23 e -0,16 de correlação com poucos valores significativos. Entre os índices climáticos somente o AMO teve significância com valores de correlação indireta no norte e no sul da praia (Figura 30).

Figura 30: Mapa de calor das correlações entre índices climáticos, variáveis de ondas e transectos da praia da Lagoinha do Leste.



Fonte: Autora

O índice climático AMO foi o único que apresentou correlação significativa na praia da Lagoinha do Leste com valores entre $r = -0,17$ e $r = -0,23$ e média de $r = -0,19$ (Tabela 15). As variáveis de onda também tiveram pouca significância com período de onda com correlação significativa em apenas um transecto ($r = -0,19$), e energia de onda WP em dois transectos ($r = -0,16$ e $r = -0,18$).

Tabela 15: Variação das correlações (r) significantes ($p < 0,05$) de cada variável com os valores máximo, mínimo e média encontrados na praia da Lagoinha do Leste. O símbolo '-' representa ausência de correlação significativa.

	<i>Máx</i>	<i>Min</i>	<i>Média</i>
<i>AMO</i>	-0,17	-0,23	-0,19
<i>PDO</i>	-	-	-
<i>SOI</i>	-	-	-
<i>Niño 3.4</i>	-	-	-
<i>TSA</i>	-	-	-
<i>SAM</i>	-	-	-
<i>Hs</i>	-	-	-
<i>Tp</i>	-	-	-0,19
<i>WP</i>	-0,16	-0,18	-0,17
<i>Dir</i>	-	-	-

Fonte: Autora

A baixa correlação entre os índices climáticos, ondas e linha de costa da praia da Lagoinha do Leste indicam um ambiente em equilíbrio e com alta resiliência frente aos processos representados pelos índices climáticos. O diagrama de Hovmöller, juntamente com os parâmetros estatísticos corroboram com essa linha de pensamento, uma vez que os ciclos erosivos são presentes ao longo do período estudado, porém, a praia se mantém estável.

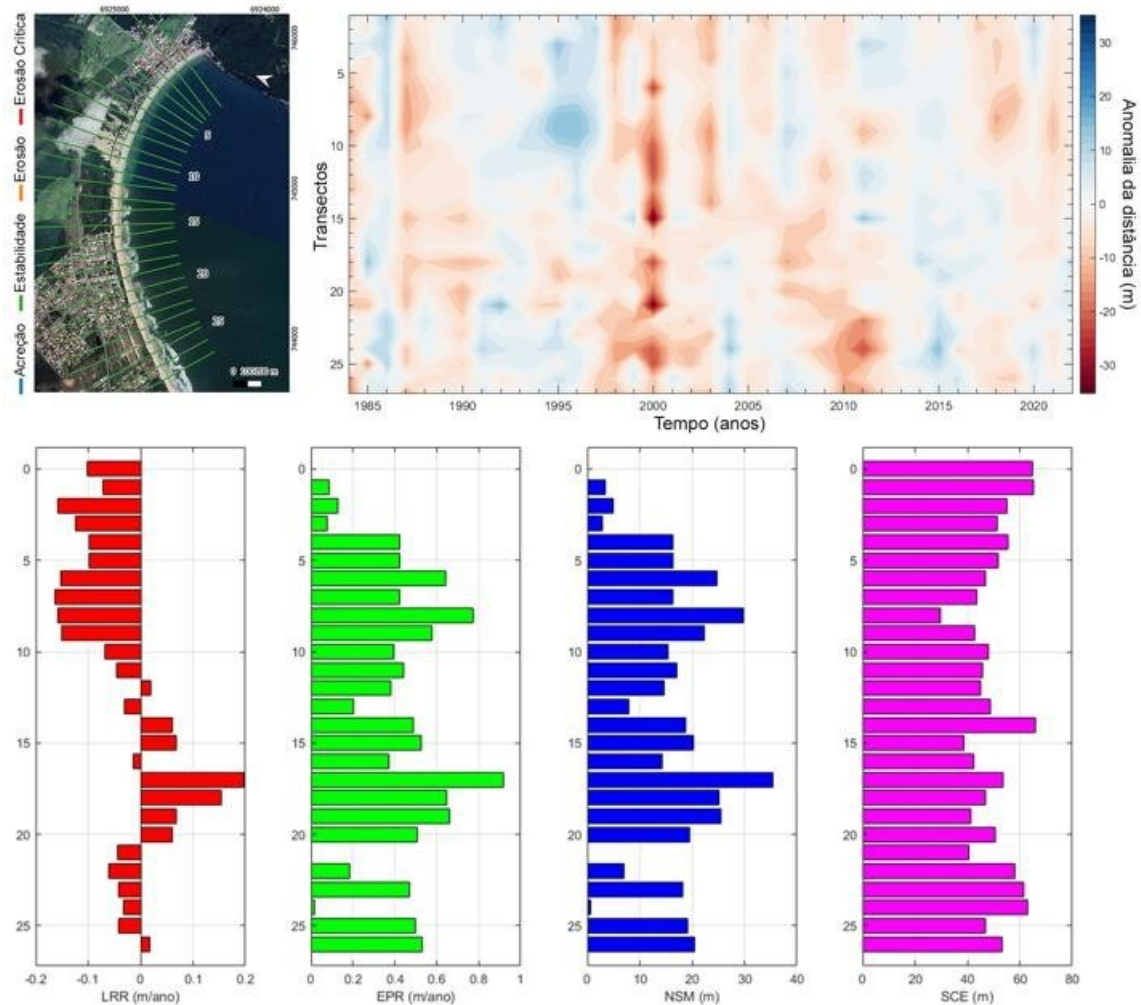
4.1.15. Praia do Pântano do Sul - Açores

O arco praias Pântano do Sul - Açores localiza-se no sul da ilha de Santa Catarina, possuindo forma parabólica com 3.920 metros de comprimento, estando delimitado pelos promontórios rochosos da ponta do Marisco, à nordeste, e da ponta da Costa de Dentro, à sudoeste. O balneário de Pântano do Sul localiza-se no setor nordeste do arco praias, numa área abrigada das ondulações. O balneário dos Açores situa-se na porção sudoeste do arco praias. Do setor central em direção à sudoeste, a praia torna-se mais exposta às ondulações dominantes.

Com predomínio de areia fina e grãos bem selecionados, foi classificada segundo o estágio morfodinâmico como intermediária (Oliveira, 2004). Segundo Silveira *et al.* (2010) encontra-se em equilíbrio estático, onde trocas sedimentares transversais à linha de costa e entre as periferias se anulam mantendo a linha de costa em estabilidade.

A praia foi classificada como estável em todos os transectos analisados. O diagrama de Hovmöller (Figura 31) foi marcado por significativa erosão sofrida em toda a orla no ano 2000. As erosões de 1987/1990, 2010/2011 e 2018/19 observadas em outras praias também podem ser observadas aqui em menor escala. O evento acrescido mais expressivo dessa série encontra-se entre 1995 e 1997 entre os transectos 7 e 10.

Figura 31: Comportamento de linha de costa do arco praial da Pântano do Sul - Açores. Acima: Posição dos transectos e diagrama de Hovmöller. Abaixo: Taxa de regressão linear (LRR), Taxa de ponto final (EPR), movimento líquido da linha de costa (NSM) e mudança total da linha de costa (SCE).

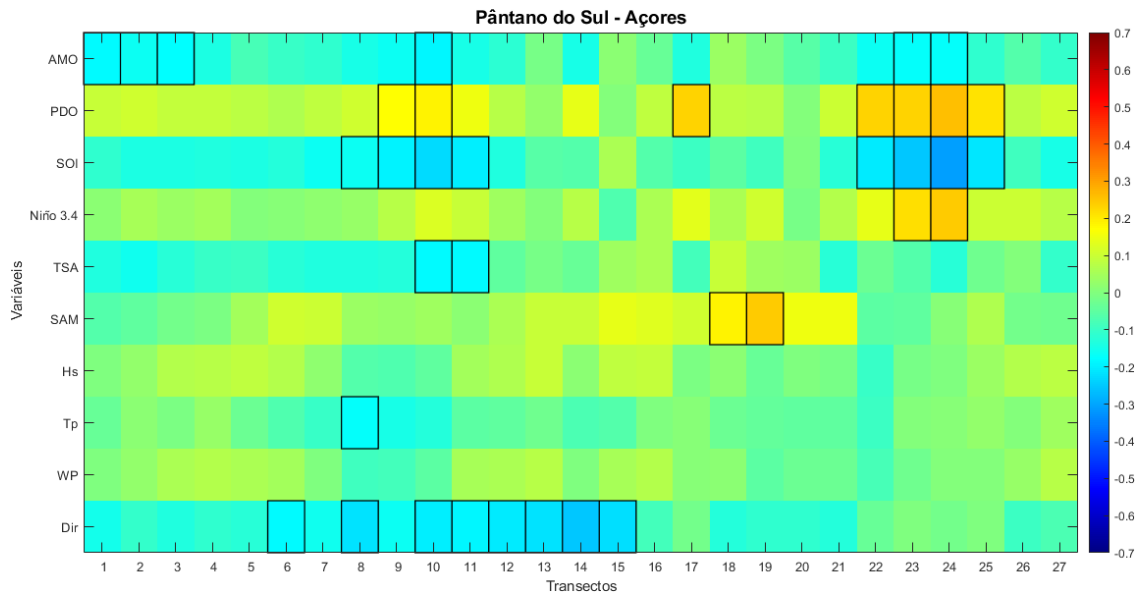


Fonte: Autora

A LRR na região norte da praia (mais exposta às ondulações de sul) apesar de estável, é negativa. EPR e NSM apresentam valores positivos para toda a praia o que indica um avanço da linha de costa comparado ao início da análise. SCE aponta grande mudança na linha de costa, principalmente nas extremidades do arco praial.

O Pântano do Sul apresenta baixa correlação entre os índices climáticos, ondas e a linha de costa local (Figura 32). Os maiores valores são encontrados são relacionados a índices climáticos e os transectos mais ao sul, expostos às ondulações de leste. Entre os transectos 6 e 15, é a direção de onda a maior influência da linha de costa.

Figura 32: Mapa de calor das correlações entre índices climáticos, variáveis de ondas e transectos do arco praial Pântano do Sul – Açores.



Fonte: Autora

Os valores de correlação entre os índices climáticos e os transectos foram: AMO $r = -0,16$ e $r = -0,19$ e média de $r = -0,18$, PDO $r = 0,26$ e $r = 0,17$ com média $r = 0,22$, SOI $r = -0,16$ e $r = -0,31$ com média $-0,22$, Niño 3.4 $r = 0,24$ e $r = 0,21$ e média de $r = 0,23$, TSA $r = -0,18$ e $r = -0,18$ e média de $r = -0,18$, e SAM $r = 0,25$ e $r = 0,19$ com média $r = 0,22$.

A variação entre as correlações significativas de onda foram: Tp $r = -0,17$, e direção θ entre $r = -0,18$ e $r = -0,25$ e média $r = -0,21$.

Tabela 16: Variação das correlações (r) significantes ($p < 0,05$) de cada variável com os valores máximo, mínimo e média encontrados no arco praias Pântano do Sul - Açores. O símbolo ‘-’ representa ausência de correlação significativa.

	<i>Máx</i>	<i>Min</i>	<i>Média</i>
<i>AMO</i>	-0,16	-0,19	-0,18
<i>PDO</i>	0,26	0,17	0,22
<i>SOI</i>	-0,16	-0,31	-0,22
<i>Niño 3.4</i>	0,24	0,21	0,23
<i>TSA</i>	-0,18	-0,18	-0,18
<i>SAM</i>	0,25	0,19	0,22
<i>Hs (m)</i>			
<i>Tp (s)</i>			-0,17
<i>WP (kW/m)</i>			
<i>Dir (°)</i>	-0,18	-0,25	-0,21

Fonte: Autora

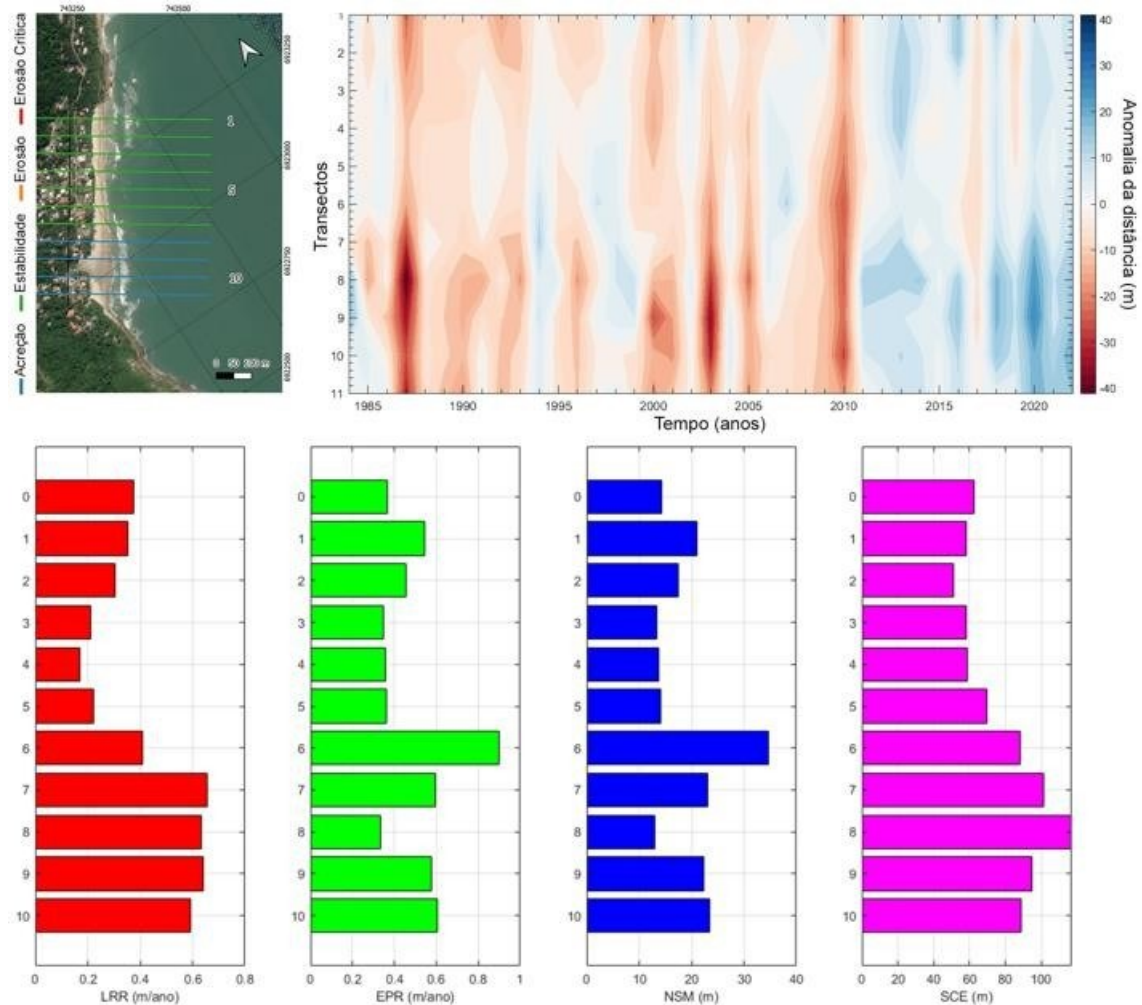
Assim como a Lagoinha do Leste a baixa correlação entre os índices climáticos, ondas e linha de costa da praia do Pântano do Sul é indício um ambiente em equilíbrio e com alta resiliência. Apesar da maior exposição a ondulações de sul (mais energéticas) e a tendência negativa de LRR, a praia ainda é considerada estável

4.1.16. Praia da Solidão

A praia da Solidão é uma praia de bolso localizada na porção sudeste da Ilha de Santa Catarina, na parte sul da Enseada do Pântano do Sul. Possui aproximadamente 600 metros de extensão, sendo delimitada pelos promontórios rochosos, Ponta das Pacas ao sul e ao norte pela Ponta da Régua, com orientação NNE-SSW é exposta às ondulações provenientes dos quadrantes sul, sudeste e leste (Güttler; Plácido; Ayala, 2007). A granulometria predominante é de areia fina e grãos bem selecionados (Güttler, 2006), tendo sido classificada como intermediária (Oliveira, 2004).

A praia da Solidão apresenta estabilidade em sua porção norte e tendência a acreção ao sul. O diagrama (Figura 33) mostra maior erosão nos anos iniciais do período analisado, reforçando também as maiores alterações sofridas no setor sul da praia, tanto erosivas quanto deposicionais.

Figura 33: Comportamento de linha de costa do arco praial da Solidão. Acima: Posição dos transectos e diagrama de Hovmöller. Abaixo: Taxa de regressão linear (LRR), Taxa de ponto final (EPR), movimento líquido da linha de costa (NSM) e mudança total



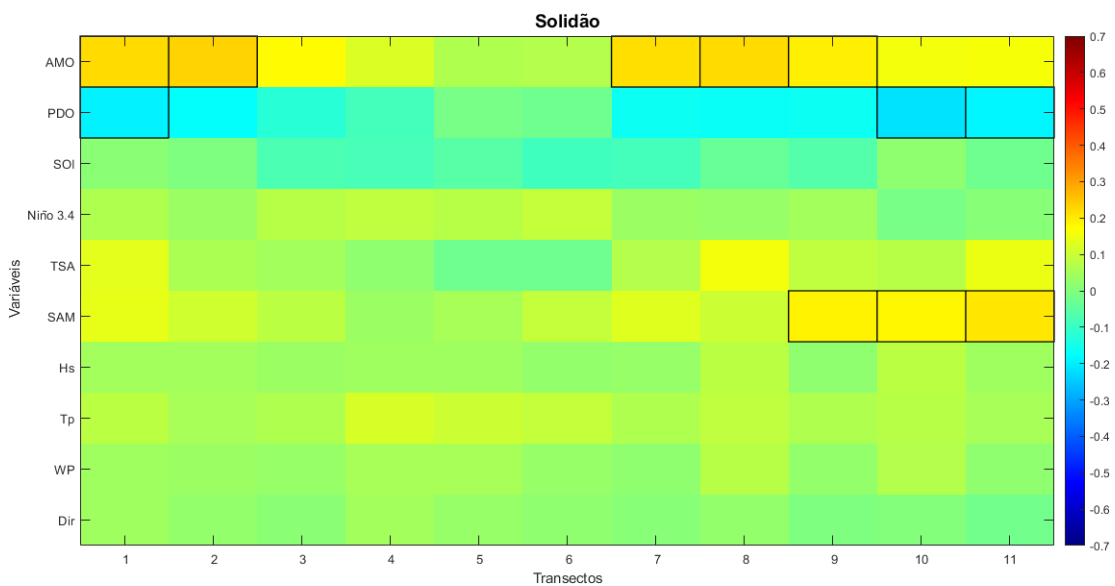
Fonte: Autora

Os eventos de 1987, 2000, 2003, 2005 e 2010 também são notados na praia da Solidão. A acresção na praia é constante apesar de menos expressiva. É notável também que após 2010 a praia vem passando por um longo período acrescivo até o final deste estudo.

A porção sul da praia é a que sofre maior variação com valores de SCE ultrapassando os 100m. Os transectos localizados próximos a desembocadura do rio são os que apresentam maiores valores estatísticos, sendo classificados pelos valores de LRR como de fato acrescivos ($LRR > 0,6$ m/ano). Os gráficos de EPR e NSC também apontam para uma maior faixa de areia comparada ao início da análise.

A praia apresentou no geral baixa correlação entre as variáveis de onda, índices climáticos e seus transectos (Figura 34). Os valores de correlação entre os índices climáticos e os transectos foram: AMO $r = 0,23$ e $r = 0,20$ e média $r = 0,22$, PDO $r = -0,19$ e $r = -0,22$ com média $r = -0,20$ e SAM $r = 0,20$ e $r = 0,18$ e média de $r = 0,19$. SOI, Niño 3.4 e TSA não apresentaram correlações significativas.

Figura 34: Mapa de calor das correlações entre índices climáticos, variáveis de ondas e transectos da praia da Solidão.



Fonte: Autora

A praia da Solidão não apresenta correlações significativas entre as variáveis de onda e mudanças na linha de costa (Tabela 17). As correlações com os índices climáticos são mais expressivas nas extremidades da praia, porém as correlações pouco expressivas apontam também para uma praia em equilíbrio com alta capacidade de adaptação.

Tabela 17: Variação das correlações (r) significantes ($p < 0,05$) de cada variável com os valores máximo, mínimo e média encontrados na praia da Solidão. O símbolo '-' representa ausência de correlação significativa

	<i>Máx</i>	<i>Min</i>	<i>Média</i>
<i>AMO</i>	0,23	0,20	0,22
<i>PDO</i>	-0,19	-0,22	-0,20
<i>SOI</i>	-	-	-
<i>Niño 3.4</i>	-	-	-
<i>TSA</i>	-	-	-
<i>SAM</i>	0,20	0,18	0,19
<i>Hs (m)</i>	-	-	-
<i>Tp (s)</i>	-	-	-
<i>WP (kW/m)</i>	-	-	-
<i>Dir (°)</i>	-	-	-

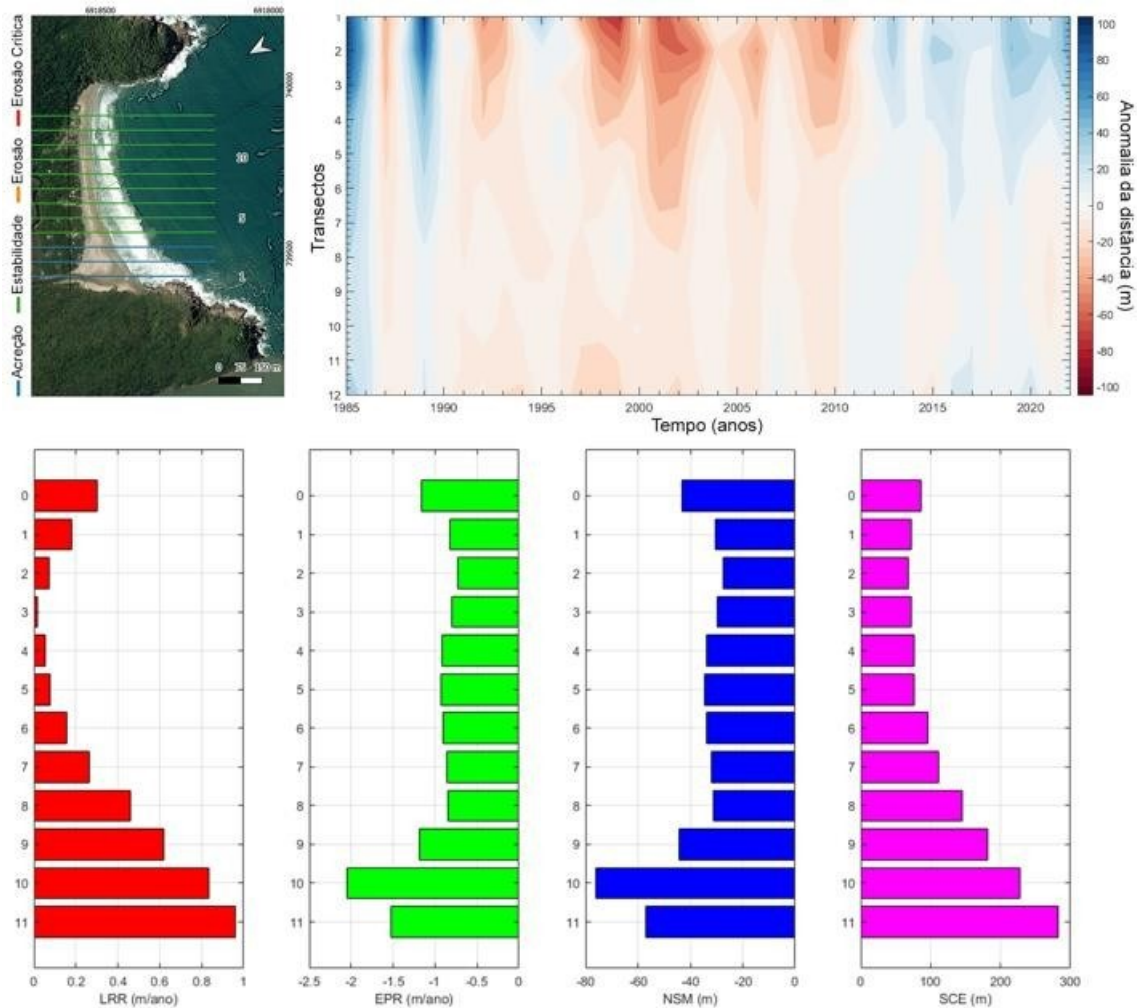
Fonte: Autora

4.1.17. Praia de Naufragados

Situada no extremo sul da Ilha de Santa Catarina, sendo caracterizada como uma praia de enseada, incrustada entre dois promontórios rochosos (pontado Frade, a leste e ponta dos Naufragados, a oeste), apresentando uma extensão aproximada de 750 m de Leste para Oeste (Félix, 2010) e sua face voltada para Sul. Possui declividade média aproximada de 3° e largura média variável que, em determinadas épocas do ano, podem atingir 150 m em seu ponto mais a oeste (próximo à foz do rio dos Naufragados) e cerca de 50 m, em seu ponto mais a leste (Félix *et al.*, 2010).

A praia de Naufragados foi classificada como estável em quase toda sua extensão, sendo apenas os transectos próximos à desembocadura do rio classificados como acrescivos. O diagrama de Hovmöller (Figura 35) ajuda a ilustrar a tendência erosiva em que Naufragados vinha apresentando e o recente período acrecivo em que a praia se encontra. É possível observar que os perfis mais próximos à foz do rio são os que sofrem as maiores alterações apesar de serem os mais extensos.

Figura 35: Comportamento de linha de costa do arco praial de Naufragados. Acima: Posição dostransectos e diagrama de Hovmöller. Abaixo: Taxa de regressão linear (LRR), Taxa de ponto final (EPR), movimento líquido da linha de costa (NSM) e



Fonte: Autora

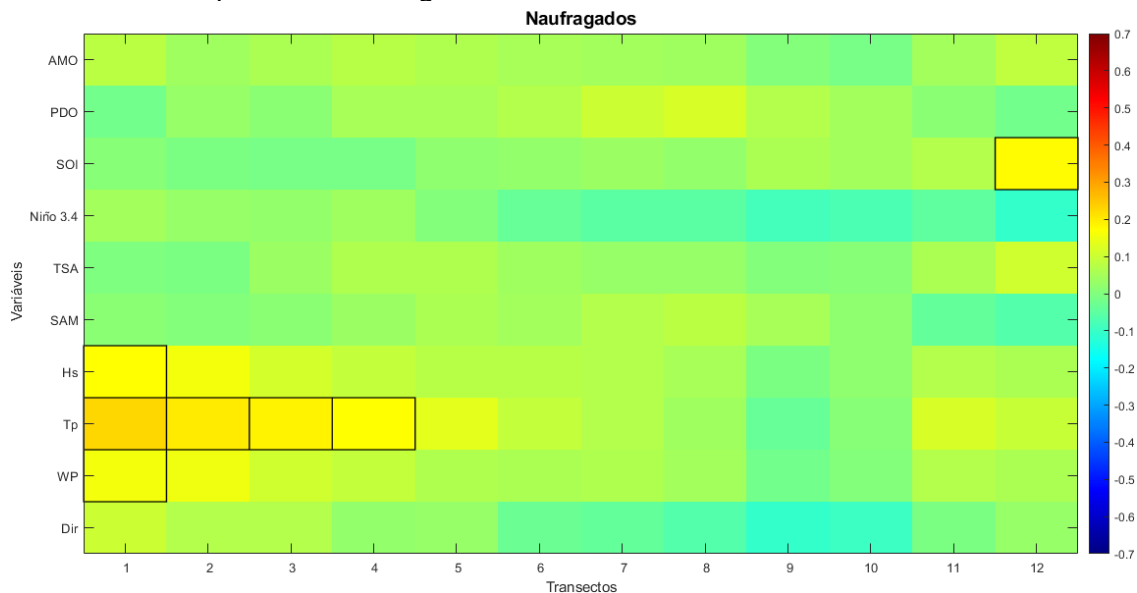
Vale observar que alguns anos em que houveram eventos erosivos em algumas praias, como 1989, 1995 e 2015, aqui foram anos acrescivos ou estáveis.

De acordo com os valores apresentados pelo LRR, a praia de Naufragados foi classificada de forma geral como acresciva com maiores valores de acreção nas extremidades do arco praial, especialmente na região oeste da praia, próximo à desembocadura do rio.

Esta região também apresenta as maiores variações de linha de costa (SCE) com valores superiores a 200 m de variação. Contudo, apesar da tendência acresciva, valores negativos de EPR e NSM apontam para uma linha de costa menor nos anos iniciais da análise.

A praia de naufragados apresentou baixos valores de correlação em toda sua extensão (Figura 36), com correlações significativas variando entre 0,23 e 0,16. A praia é influenciada pelas variáveis de onda somente em seu setor oeste, região próxima da desembocadura do rio, sendo o período de onda a principal agente modificadora direta dos perfis 1 a 4. Altura e energia de onda também agem diretamente no extremo oeste da praia, contudo, a direção de onda não apresentou nenhuma correlação significativa com variações na linha de costa.

Figura 36: Mapa de calor das correlações entre índices climáticos, variáveis de ondas e transectos da praia de Naufragados.



Fonte: Autora

O SOI aparece no perfil mais a leste da praia como o único índice climático com correlação significativa na praia de Naufragados com $r = 0,23$ de correlação positiva (Tabela 18). A variação entre as correlações significativas de onda foram: H_s $r = 0,17$, T_p entre $r = 0,23$ e $r = 0,17$ e média $r = 0,20$, energia de onda WP com $r = 0,16$.

Tabela 18: Variação das correlações (r) significantes ($p < 0,05$) de cada variável com os valores máximo, mínimo e média encontrados na praia de Naufragados. O símbolo '-' representa ausência de correlação significativa.

	<i>Máx</i>	<i>Min</i>	<i>Média</i>
<i>AMO</i>		-	
<i>PDO</i>		-	
<i>SOI</i>		-	0,18
<i>Niño 3.4</i>		-	
<i>TSA</i>		-	
<i>SAM</i>		-	
<i>Hs (m)</i>		-	0,17
<i>Tp (s)</i>	0,23	0,17	0,20
<i>WP (kW/m)</i>		-	0,16
<i>Dir (°)</i>		-	

Fonte: Autora

Assim como as praias adjacentes, Naufragados mesmo exposto a ondas de maior energia, apresenta tendência a estabilidade.

4.2. ANÁLISE DA VARIABILIDADE DO CLIMA DE ONDAS

Com os dados de onda do ERA-5 e a potência de onda calculada (Eq. 1) foi possível caracterizar as condições predominantes para o clima de ondas na região da área de estudo (Figura 37).

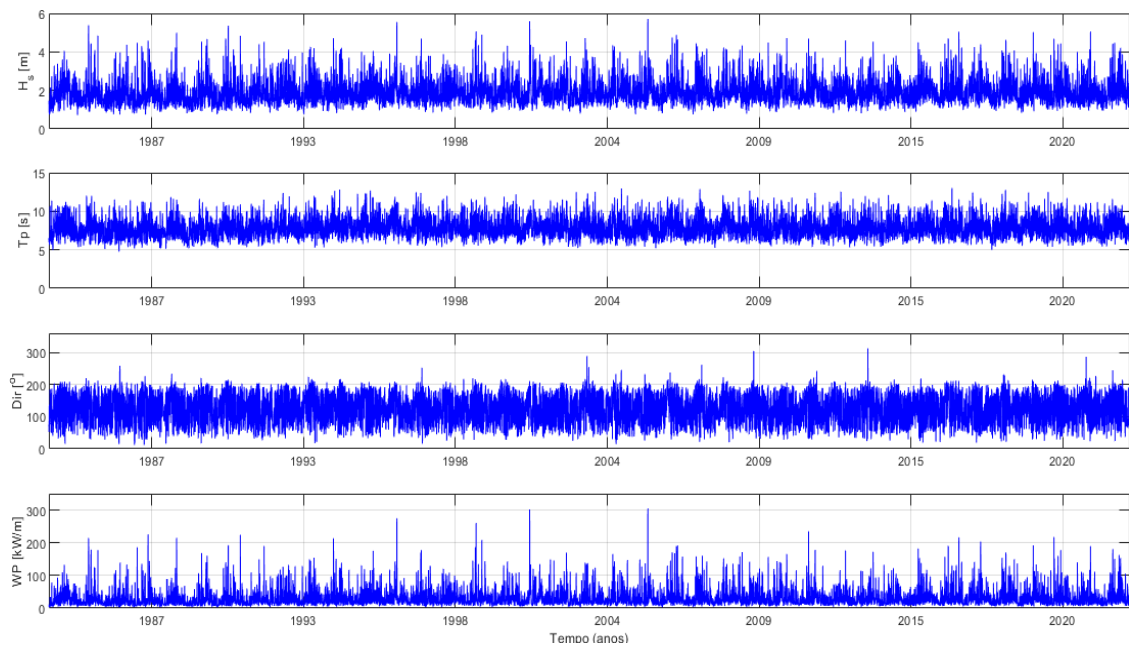
A altura significativa de onda (H_s) apresentou valor médio de 1,9 m, com mínima de 0,7 m, chegando a um valor máximo de 7,3 m, tendo 64% das ocorrências com valores entre 0,5 e 2 m, 29,97% entre 2 e 3 metros e 5,36% acima de 3 metros (Tabela 19).

O período de onda (T_p) variou principalmente entre 4,6 s e 14 s, com a média de 7,9 s. tem como predominante (90%) os valores entre 6 e 9s, e uma mediana de 7,2s (Tabela 19).

A direção média de onda (θ) foi de 125°, correspondente ao quadrante sudeste (Tabela 19), sendo as principais direções de ondas ENE (23,13%) ESE (30,21%) e SSE (30,76%).

A potência de onda calculada (WP) apresentou média de 30,1 kW/m, sendo a mínima 2,5 kW/m e a máxima 432,7 kW/m (Tabela 19).

Figura 37: Dado de reanálise de onda para a área de estudos oriundos do ERA5: a) Altura significativa (H_s); b) Período (T_p); c) Direção (Dir); e d) Potência. Fonte dos dados: ECMWF



Fonte: Autora

A Tabela 19 apresenta os dados estatísticos para H_s , T_p , θ e WP com dados médios, modas, medianas, máximos e mínimos para toda a série de 39 anos de dados analisados.

Tabela 19: Valores máximos, mínimos, médias, mediana e desvio padrão, das variáveis de onda analisadas oriundas do ERA5. Fonte dos dados: ECMWF

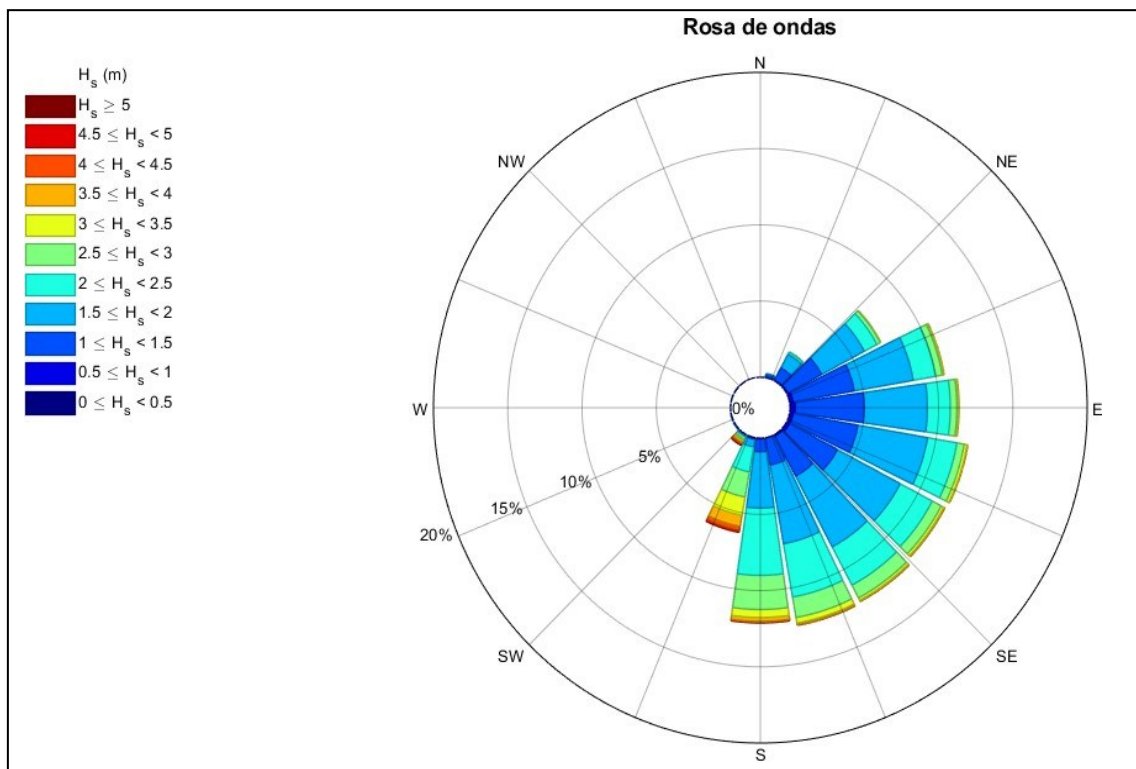
	H_s (m)	T_p (s)	Dir (°)	WP (kW/m)
<i>Máxima</i>	5,71	13,01	224,71	304,82
<i>Mínima</i>	0,72	4,77	12,13	2,78
<i>Média</i>	1,90	7,86	125,08	30,06
<i>Mediana</i>	1,78	7,72	126,07	22,60
<i>Desvio</i>	0,46	0,97	38,14	17,07

Fonte: Autora

As principais direções de ondas encontradas neste trabalho são provenientes dos quadrantes NE-SE, com ENE(23,13%) ESE (30,21%) e SSE (30,76%). Com menor representação aparecem os quadrantes SSW (13,32%), NNE (2,44%).

A Figura 38 apresenta a rosa direcional de H_s da região. Observa-se que a maior parte da incidência de ondas ocorre entre os quadrantes de NE a S, com ondas de 0 a 2,5 m com o maior percentual de incidência. Ondas maiores de 2,5m são observadas com maior frequência a partir de SE.

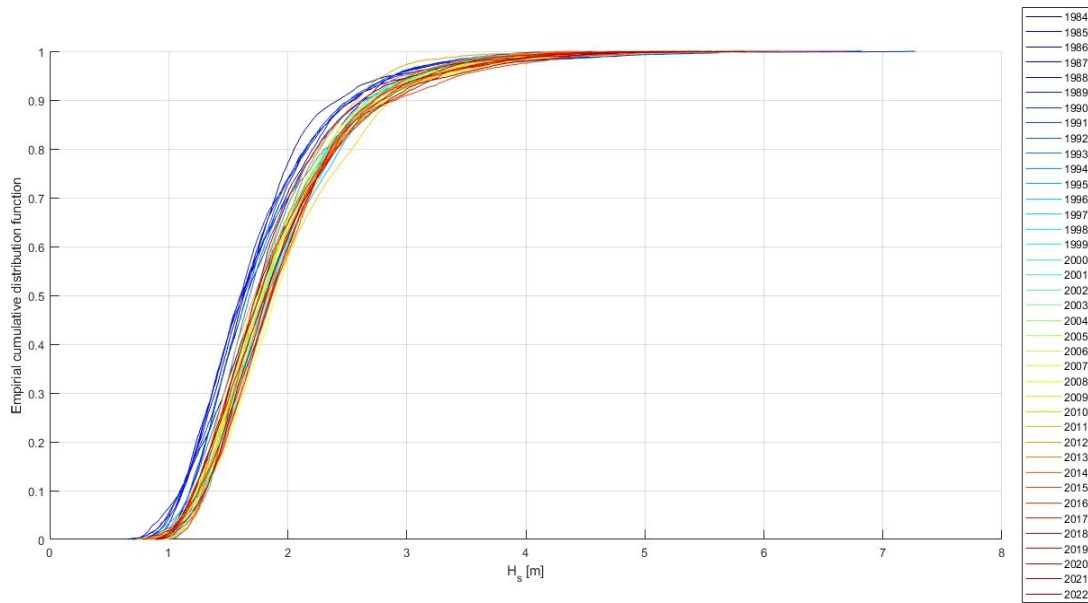
Figura 38: Rosa de ondas com direção e altura de ondas.



Fonte: Autora

O gráfico de distribuição acumulada empírica (Figura 39) mostra uma tendência geral de aumento na altura de onda da série analisada com o passar do tempo. Cores mais frias representam os anos iniciais da série e cores mais quentes anos mais recentes. É notável o aumento na altura de ondas em toda as classes da série ao longo do período analisado, desde as menores alturas de onda até os maiores valores observados na região.

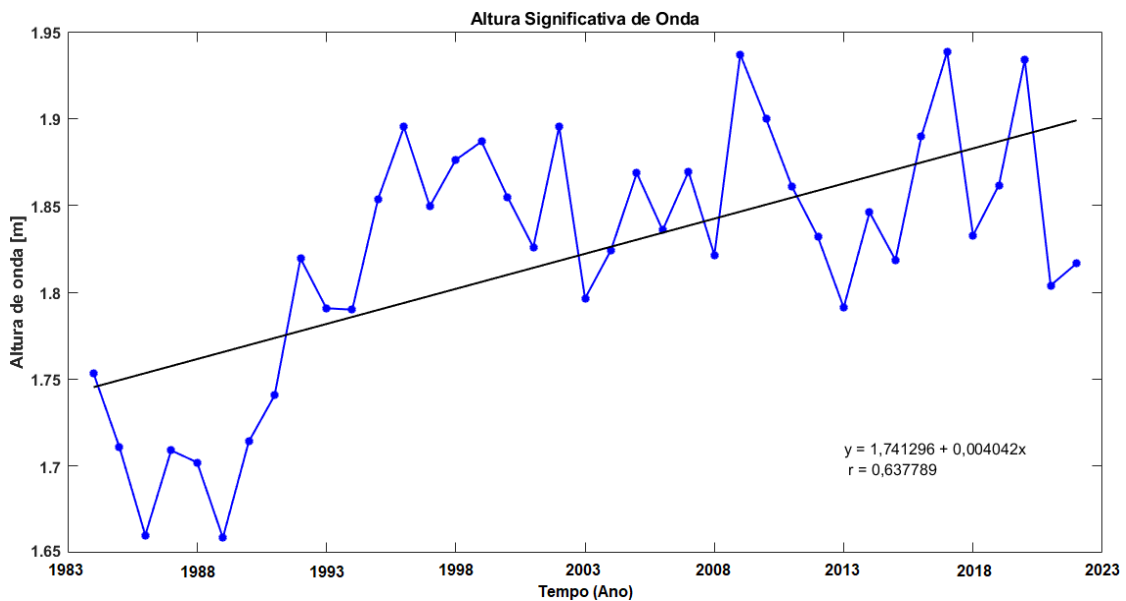
Figura 39: Gráfico de distribuição empírica acumulada de altura de onda de 1984 a 2022



Fonte: Autora

A Figura 40 apresenta a tendência de variação de Hs médio anual aplicando a média móvel na série. Foi observado uma tendência geral de aumento nos valores médios de Hs, com incremento de 0,40 cm/ano e aumentode 15,76 cm para os 39 anos analisados. O coeficiente de correlação de Pearson($r = 0,64$) indica que existe uma correlação positiva moderadamente forte ao longo desse período.

Figura 40: Análise de tendência linear para dados anuais médios de Hs.

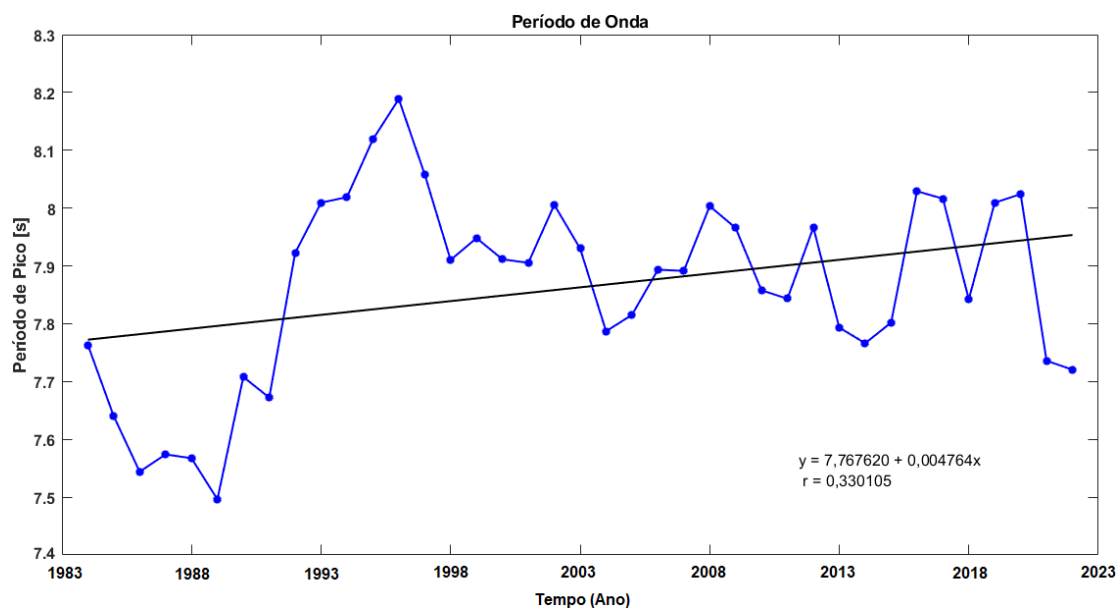


Fonte: Autora

Com relação aos valores de tendência de período de onda (T_p) anual (Figura 41), é notável também uma tendência de aumento nos valores, com aumento de 0,005 s/ano ao longo dos 39 anos analisados, com um total de aumento de 0,19 s.

O coeficiente de correlação de Pearson ($r = 0,33$) indica que há uma correlação positiva moderada entre o tempo (anos) e o período das ondas. Isso sugere que ao longo do tempo, o período das ondas tende a aumentar, e essa relação é significativa, embora não muito forte, já que o valor absoluto de r é menor que 0,5.

Figura 41: Análise de tendência linear para dados anuais médios de T_p .



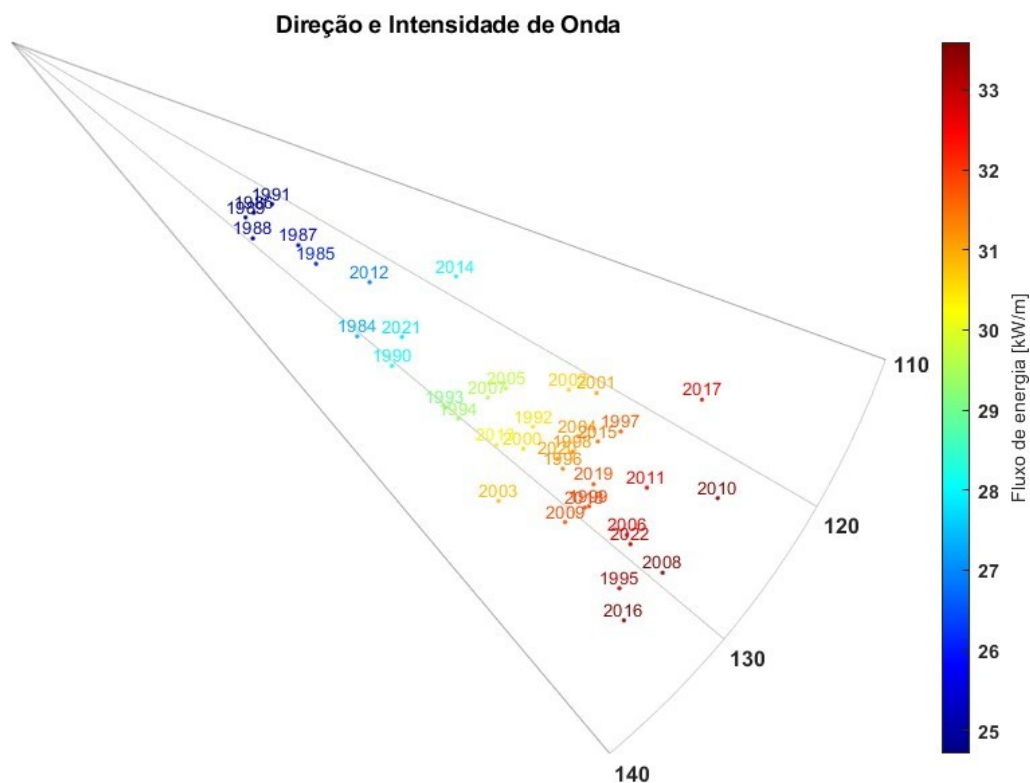
Fonte: Autora

4.3. FLUXO DIRECIONAL DE ENERGIA MÉDIA ANUAL

Quanto ao fluxo de energia de onda e sua relação com as direções médias, é possível observar um aumento na intensidade do fluxo de energia ao longo da série com destaque para os anos de 1995, 2008, 2010 e 2016 como os mais energéticos.

Também é possível observar que nos anos mais recentes as ondas estão sofrendo uma pequena, mas notável variação em sua direção, com os anos mais recentes do quadrante SE – S para E (Figura 42).

Figura 42: Fluxo direcional de energia média para todos os anos analisados. Unidade de fluxode energia em [kW/m].

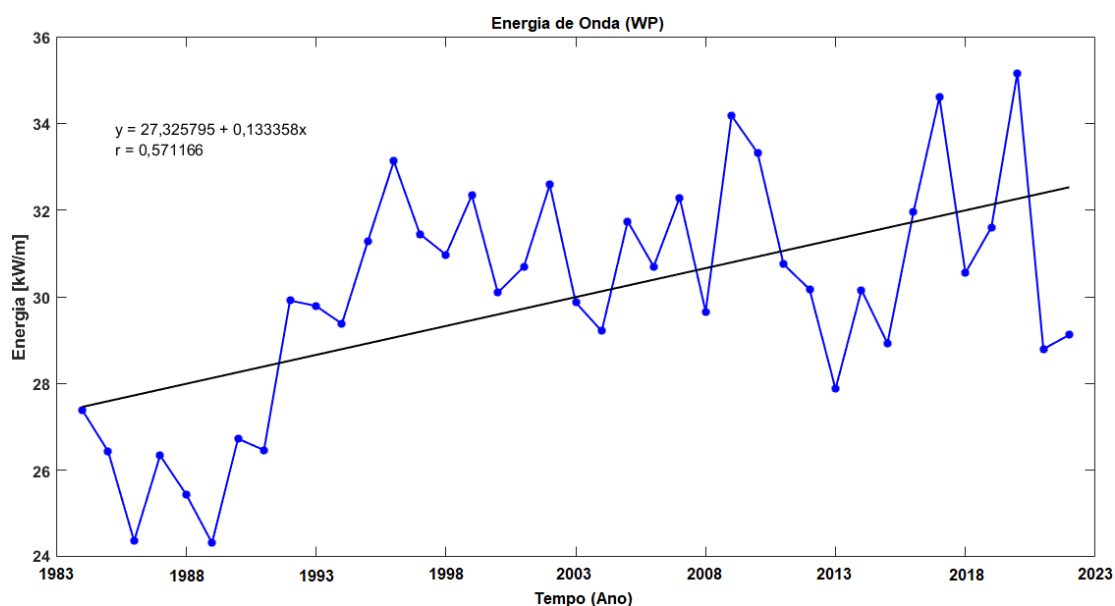


Fonte: Autora

A energia de energia de onda apresentou uma média de aumento de 0,13kW/m por ano, totalizando um aumento de 5,20 kW/m (Figura 43).

Seguindo a classificação proposta por Short e Trembanis (2004), o coeficiente de correlação de Pearson ($r = 0,57$) indica que há uma correlação moderada positiva entre o tempo (anos) e a energia das ondas. Isso sugere que ao longo do tempo, a energia das ondas vem sofrendo uma tendência crescentesignificativa, já que o valor absoluto de r é próximo a 0,6

Figura 43: Análise de tendência linear para dados anuais médios de WP

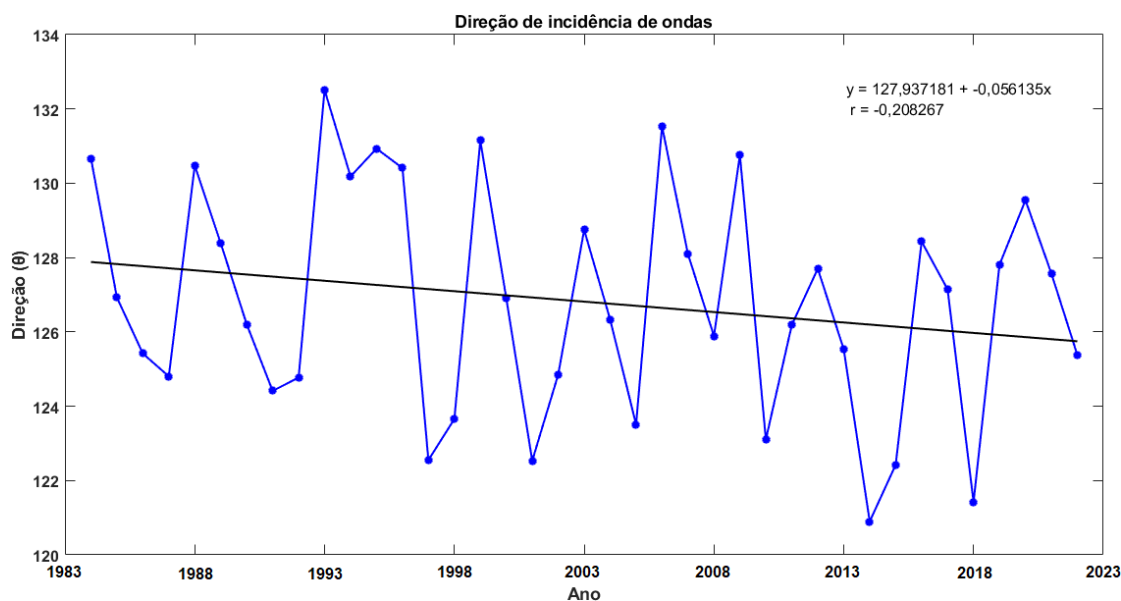


Fonte: Autora

No que diz respeito à tendência de giro no fluxo de energia direcional (Figura 44) constou uma diminuição nos valores de direção de $-0,056^\circ/\text{ano}$. Isso indica uma tendência de rotação na direção de fluxo médio de SE para ESE, tendo rotacionado nos últimos 39 anos um total de $2,19^\circ$.

O coeficiente de correlação de Pearson ($r = -0,21$) indica que há uma correlação negativa fraca entre o tempo (anos) e a direção das ondas. Isso sugere que ao longo dos anos analisados, a direção das ondas não segue uma tendência clara de aumento ou diminuição, porém, há uma leve tendência para diminuição, conforme sugerido pelo coeficiente de inclinação negativo. No entanto, a força dessa relação é fraca, pois o valor absoluto de r é menor que 0,3.

Figura 44: Análise de tendência linear para dados anuais médios de direção de onda



Fonte: Autora

4.4. CORRELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS

Para avaliar a relação entre as variáveis de ondas e os Índices Climáticos foi aplicado coeficiente de correlação de Pearson (r), com a significância estatística foi calculada por meio do teste t de Student ao nível de confiança de 95% (Almeida *et al.*, 2011; Reguero *et al.*, 2019).

Observando os valores dispostos na Tabela 20, nota-se que a combinação entre os índices SOI e Niño 3.4 apresentaram o coeficiente mais representativo de correlação entre as variáveis com $r = -0,65$. Apesar de SOI utilizar dados de diferença de pressão entre Darwin e Tahiti e Niño 3.4 utilizar dados de temperatura, vale lembrar que eles compartilham parte de sua área de observação, o que pode influenciar sua correlação. A correlação ($r = -0,65$) é considerada moderadamente forte e, indireta devido ao sinal inverso de SOI em relação às medidas em TSM.

Com correlações médias observa-se SOI/PDO com $r = -0,45$ e Niño 3.4/PDO com $r = 0,47$.

Tabela 20: Matriz de Correlação de Pearson (r): Valores de correlação entre as médias anuais das variáveis utilizadas. Os valores em vermelho possuem nível de significância inferior a $p < 0,05$.

	<i>AMO</i>	<i>PDO</i>	<i>SOI</i>	<i>Niño 3.4</i>	<i>TSA</i>	<i>SAM</i>
<i>AMO</i>	1					
<i>PDO</i>	-0,19	1				
<i>SOI</i>	0,13	-0,45	1			
<i>Niño 3.4</i>	0,01	0,47	-0,65	1		
<i>TSA</i>	0,29	-0,05	0,16	0,03	1	
<i>SAM</i>	0,12	-0,12	0,09	-0,07	0,04	1

Fonte: Autora

Na tentativa de explicar a variabilidade dos dados de clima de ondas através da relação entre a ocorrência e intensidade das variáveis de onda realizou-se ainda uma correlação linear entre as variáveis com 5 diferentes índices climáticos (*AMO*, *PDO*, *SOI*, *Niño 3.4*, *TSA* e *SAM*) mostrados aqui na Tabela 21.

Tabela 21: Valores de correlação entre as variáveis do clima de ondas e os índices climáticos. Os valores em vermelho possuem nível de significância inferior a $p < 0,05$.

	<i>AMO</i>	<i>PDO</i>	<i>SOI</i>	<i>NIÑO 3.4</i>	<i>TSA</i>	<i>SAM</i>
<i>Hs</i>	0,35	-0,05	0,01	0,15	0,05	-0,02
<i>Tp</i>	0,20	0,08	-0,10	0,31	0,06	-0,05
<i>WP</i>	0,31	0,00	-0,04	0,20	0,05	-0,05
<i>Dir</i>	0,03	0,10	-0,01	0,22	0,14	-0,03

Fonte: Autora

Foram observadas correlações entre 5 dos 6 índices com pelo menos uma variável de ondas, o único que não apresentou correlação com variáveis de onda foi o *SAM*. *Niño 3.4* obteve correlação com todas as variáveis, sendo estas positivas, ou seja, apresentam comportamento diretamente proporcional. A maior correlação apresentada foi entre o *AMO* e altura de onda com $r = 0,35$.

5. DISCUSSÕES

5.1. COMPORTAMENTO DA LINHA DE COSTA

As praias analisadas nesse estudo apresentaram em sua maioria tendência a estabilidade para o período de tempo estudado. Os diagramas de Hovmöller e a tendência da linha de costa traçada pelos parâmetros estatísticos extraídos do Cassie foram fundamentais para uma análise de longo prazo.

Apesar do equilíbrio que apresentam individualmente, alguns padrões puderam ser observados entre elas algumas praias, como: Praias voltadas para norte (Jurerê, Canasvieiras, Lagoinha do Norte, Ingleses e Matadeiro mais ao sul) recebem a maior influência ao tanto de índices climáticos, principalmente o AMO, quanto da direção de ondas. Em seus estudos nas praias do norte da ilha, Vieira da Silva *et al.* (2016) descreveram os processos de transferência de areia entre elas, afirmando que Jurerê é nutrida pelo transporte litorâneo de sedimentos de Ponta das Canas – Canasvieiras e também é a principal fonte de sedimentos para o pontal da Daniela. O sedimento de Ponta das Canas é proveniente da Praia da Lagoinha, sendo a parte nordeste de Ponta das Canas – Canasvieiras a com os maiores valores de distância, que pode ser observado nos valores de LRR para a região. Vieira da Silva *et al.* (op cit) aponta que apesar de apresentarem comportamentos semelhantes, não há evidências de troca de sedimentos entre Brava e Lagoinha, no entanto a praia Brava pode receber sedimentos da praia dos Ingleses através da ação das ondas do quadrante sul.

Vieira da Silva *et al.* (op cit) demonstraram ainda que, quando há redução na entrada de areia do campo de dunas do Santinho, a praia dos Ingleses sofre recuo da linha de costa. Pinto *et al.* (2015) descobriram que a taxa de migração do campo de dunas diminuiu durante os últimos 60 anos devido à urbanização e ao aumento da cobertura vegetal. Isto pode explicar a recente progradação do Santinho, bem como indicar a importância do campo de dunas para a alimentação de Ingleses, que agora está recuando.

Já as praias do Santinho, Galheta, Lagoinha do Leste, Solidão e Naufragados, apresentaram características e comportamento similar entre si, sendo classificadas como estáveis e com pouca correlação com os índices climáticos e ondas. De pequena extensão, apresentam forma de bolso ou parabólica e tem sua orientação

voltada para S/SE. O fator determinante para a resiliência apresentada por essas praias pode ser o fato de possuírem pouca ocupação antrópica e contar ainda com suas características naturais preservadas (Estevam *et al*, 2021)

Ambas apresentando pequena extensão, as praia Brava e Mole tem como principal agente modificador a direção de incidência de ondas. A praia Brava é voltada para nordeste e é protegida da ação direta de ondulações de sul, apresentando um padrão homogêneo na influência da direção de ondas em sua linha de costa com correlações diretas. Já a praia Mole é exposta a ondulações da maioria dos quadrantes e tem sua face voltada para sudeste. A influência da direção de onda na Praia Mole é direta na parte norte e indireta na parte sul da praia, o que quer dizer que, com maior ângulo de incidência (ondulações de sul) a porção norte da praia tende a crescer e a sul a diminuir, e vice versa.

Os arcos praias Pântano do Sul-Açores, Joaquina-Campeche e a parte norte do arco praias Moçambique-Barra da Lagoa apresentaram características e comportamento semelhante de maneira geral quando acompanhamos as tendências estatísticas da linha de costa. Contudo, é possível comparar a crescente influência das variáveis climáticas entre eles de sul para norte, sendo Pântano do Sul com correlações menos expressivas e Moçambique com maior quantidade, e mais expressivas correlações.

Os arcos praias Campeche – Morro das Pedras, Armação e a Barra da Lagoa do foram as únicas que apresentaram transectos e tendências erosivas nesse estudo. Os pontos erosivos nas três praias correspondem também a áreas de intenso adensamento populacional, o que pode intensificar o processo de retração da linha de costa de arcos praias naturalmente susceptíveis a ação de ondas e mudanças no clima. A semelhança entre elas está ligada a exposição de ondas de E/NE e pela proteção de ondulações de sul por promontórios rochosos.

Estevam *et al*. (2021) e Marins (2020) obtiveram resultados semelhantes em seus estudos na mesma região. Estevam *et al*. (2021) apontam que a linha de costa nos arcos praias da Armação-Caldeirão e Morro das Pedras- Campeche é altamente vulnerável à ondulação de quadrante leste e parcialmente susceptível ao clima de ondas do quadrante nordeste e sudeste sendo que Marins (2020) enfatiza a intensa ocupação nas áreas mais erosivas. Estevam *et al*. (2021) ainda pontuam que a praia

da Armação foi uma das mais afetadas pelo processo erosivo em 2010, e como medida emergencial para proteger casas do avanço do mar foi construído um enrocamento.

Quanto às características distintas das extremidades do arco praiial Moçambique – Barra da Lagoa, Porpilho *et al.* (2015) afirma de que as praias da Barra da Lagoa – Moçambique estão passando por um processo de rotação praiial com acúmulo de sedimentos ao norte segundo Vieira da Silva *et al.* (2016). Além disso, Miot da Silva *et al.* (2006) afirmam ainda que a praia apresenta um balanço de sedimentos negativo, especialmente na porção sul.

5.2. ANÁLISE DO CLIMA DE ONDAS

As principais direções de ondas encontradas neste trabalho são provenientes dos quadrantes NE-SW, com ENE (23,13%) ESE (30,21%) e SSE (30,76%), SSW (13,32%), NNE (2,44%). De acordo com Araújo *et al.* (2003) e Franco e Melo Filho (2008), o clima de ondas ao longo da Ilha de Santa Catarina e apresenta tipicamente bimodal, com direção principal de ondas do quadrante SE – E e secundárias de E – NE.

A partir dos dados analisados nesse trabalho é possível observar uma tendência de aumento médio de Hs de 0,4 cm/ano. A tendência de 0,4 cm/ano resulta em um incremento de 15,7 cm ao final de 39 anos.

Diversos outros autores em todo mundo também constataram um padrão crescente nos valores de Hs. No Pacífico Norte Bacon e Carter (1991) e Allan e Komar (2000) e Young *et al.* (2011) apontaram aumento na altura de ondas de 0,28, 0,5 e 1,6 cm/ano respectivamente, em seus estudos. No Pacífico Sul, Harley *et al.* (2010) encontraram aumento de Hs de 0,3 cm/ano.

No hemisfério Sul, segundo Reguero *et al.* (2013), Oliveira *et al.* (2019) e Maia *et al.* (2022), foram identificadas tendências crescentes nas alturas significativas das ondas no oeste do Atlântico Sul nos últimos 60, 32 e 41 anos, respectivamente. O resultado encontrado por Reguero *et al.* (2013) para o Atlântico Sul foi de 0,29 cm/ano e os encontrados por de Oliveira *et al.* (2019) no litoral de Santa Catarina foram de 0,37 cm/ano no norte do estado, 0,29 cm/ano na região central e 0,15 cm/ano no sul.

Ainda na costa catarinense, o relatório CEPAL - ONU (2015) projetou um aumento médio anual de 0,2 cm/ano, já o trabalho de Dalinghaus (2016) no norte da ilha de Santa Catarina constatou aumento de 0,26 cm/ano em uma série de 60 anos de dados oriundo de reanálise.

Os valores de T_p médio anual também seguiram o mesmo padrão de comportamento. Com um aumento de 0,005 s/ano em condições médias, ao longo de 39 anos, o aumento total foi de 0,19s. Valores próximos foram encontrados por Dodet *et al.* (2010), e Dalinghaus (2016), sendo que os autores também encontraram um maior incremento de T_p associados às maiores H_s (de inverno).

Em relação à energia de ondas, a média observada foi de 30,1 kW/m e mediana 22,6 kW/m, com o mínimo 2,5 kW/m e máximo de 432,7 kW/m. Observou-se uma tendência de aumento no fluxo de energia de ondas de 0,13 kW/m por ano ($r=0,57$), resultando em um aumento de 5,20 kW/m entre 1984 e 2022.

O estudo de Regueiro *et al.* (2019) apontou para um aumento global no fluxo de energia de 0,47% entre 1948 e 2008. Considerando apenas o hemisfério sul, esse aumento seria de 0,58%. Os autores encontraram ainda uma correlação inter-regional de 0,54 entre as variações da temperatura da superfície do mar (TSM) no Atlântico Norte e tropical e as variações do WEF no Atlântico Sul extratropical.

Segundo Pegorelli *et al.* (2018), a costa atlântica do Brasil possui uma potência de onda moderada, uma vez que durante todos os meses do ano, o fluxo de energia médio foi consistentemente estimado dentro da faixa de 10 a 30 kW/m, com os principais valores sob influência da passagem de sistemas de frentes frias, com ventos fortes de SSW (Rodrigues *et al.*, 2004; Dominguez, 2006).

Maia *et al.* (2022) analisaram o fluxo de energia de ondas na costa do RioGrande do Sul entre 1979 e 2019, o resultado foi uma tendência de aumento de 0,063 kW/m/ano. O quadrante SSW apresentou as ondas mais energéticas tanto em condições médias quanto extremas, em contraste com as ondas ENE, que foram menos energéticas. Em comparação, na costa de Pernambuco, Araújo (2022) calculou a potência de onda local entre 1984 e 2020 apresentando valores máximo e mínimo de 58,62 e 2,52 kW/m, respectivamente, e 10,17 kW/m de média.

A mudança na direção da incidência de onda foi de diminuição de $0,06^\circ$ /ano. A resultante dessa tendência foi uma leve rotação na direção de fluxo médio de energia no sentido anti-horário, ou seja, de sul para leste de $2,14^\circ$ para o período estudado.

Segundo Silva *et al.* (2020) e Reguero *et al.* (2013; 2019) nas últimas décadas o clima predominante de ondas tem mudado tanto em direção quanto em magnitude nos Hemisférios Norte e Sul. Os autores apontam que essa tendência global pode estar associada a mudanças nos padrões atmosféricos e teleconexões inter-hemisféricas associadas ao aumento da temperatura global.

Na Austrália, Harley *et al.* (2010), e Hemer *et al.* (2010) encontraram padrões semelhantes comparando dados do ERA-40 com dados de anomalias da pressão média do nível do mar do SOI e SAM. Os autores encontraram no Pacífico Sul, um padrão de aumento/diminuição de altura de onda durante as fases de La Niña/El Niño, assim como no Atlântico Sul, com ondas chegando mais de leste/sul. Hemer *et al.* (2010) apontam também que as fases do La Niña estão associadas a eventos de maior duração e maior energia, vindos de uma direção mais a leste, quando comparadas às fases do El Niño.

Diversos autores (e.g. Reguero *et al.*, 2013; Alonso e Solari, 2021) indicaram que o fluxo de energia no Atlântico Oeste está passando por uma tendência de rotação no sentido horário. No entanto, em estudo anterior sobre a variabilidade do clima de ondas na América Latina e Caribe, Reguero *et al.* (2013) demonstraram ainda que há uma maior tendência de rotação no sentido anti-horário da fonte de energia das ondas na costa da Argentina (maior latitude), e de rotação no sentido horário no restante da costa Atlântica (menores latitudes). Os autores atribuem essas mudanças à tendência de rotação em direção aos pólos das tempestades extratropicais, significando maior ocorrência e intensidade de tempestades em altas latitudes e menor em latitudes médias, algo que seria mais expressivo no Hemisfério Sul.

Próximo a região deste estudo, Dalinghaus (2016) e Silva *et al.* (2020) demonstraram em suas pesquisas mudanças no sentido anti-horário na direção de incidência das ondas. No entanto, Gomes da Silva *et al.* (2015) apontam a baixa representação de dados nordeste como um problema comum na modelagem global/regional. Os autores destacam que essa falta de representação está

relacionada à resolução dos ventos utilizados na geração das séries DOW, de forma que as condições bimodais geradas pela influência dos ventos locais não são consideradas na reanálise das ondas.

Compreender mudanças de longo prazo do clima de ondas é essencial para determinar a análise de riscos de obras e habitações na zona costeira, principalmente diante do cenário atual de mudanças climáticas, visto que estas têm grande efeito nos processos de erosão e acreção de praias.

5.3. CORRELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS

A partir da correlação entre os índices climáticos (AMO, PDO, SOI, Niño 3.4, TSA e SAM) e as variáveis de onda (Hs, Tp, WP e Dir), os resultados demonstram que a maioria dos índices analisados possuem algum tipo de influência sobre os dados de ondas que chegam à costa da ilha de Santa Catarina.

A relação entre os índices climáticos mostra que os índices PDO e Niño 3.4 apresentaram uma correlação $r = 0,47$, o que é esperado uma vez que ambos medem TSM no Pacífico. Já entre PDO e SOI a correlação foi de $r = - 0,45$, vale lembrar que a correlação negativa com SOI se dá por conta do sinal do índice, que em sua fase positiva (maiores valores), apresenta sinal negativo.

Ainda entre os índices do Pacífico, Niño 3.4 e SOI apresentaram correlação de $r = - 0,65$. Essa forte relação ocorre devido a área de abrangência desses índices, apesar de medirem TSM e pressão respectivamente, os dados são obtidos em regiões compartilhadas entre eles.

AMO e TSA apresentaram $r = 0,29$, o que mostra uma correlação média entre os índices no Oceano Atlântico, e entre AMO e PDO, a correlação ($r = - 0,19$) aponta para uma relação indireta entre os índices no mesmo hemisfério.

Entre as variáveis de onda e os índices analisados, o índice AMO demonstrou maior correspondência com altura (Hs) e potência (WP) de onda com $r = 0,35$ e $r = 0,31$ respectivamente. Isso significa que a fase positiva do AMO tendem a influenciar positivamente a altura e potência de ondas no Oceano Atlântico Sul. O resultado obtido nesse estudo está de acordo com estudos anteriores (Wang *et al.*, 2008; Reguero *et*

al., 2019; Maia *et al.*, 2022), que mostram a relação direta entre as fases do AMO e sua influência no fluxo de energia e atividades dos ciclones no Oceano Atlântico Sul, especialmente em escalas de tempo de longo prazo.

O índice Niño 3.4 apresentou maiores correlações significativas o período de onda (T_p) ($r = 0,31$) e direção (θ) ($r = 0,22$). A interpretação dessas correlações indica que com o aumento da temperatura na região do Niño 3.4 (anos de El Niño), as ondulações tendem a ser mais de leste e com aumento dos períodos de onda.

O índice SOI apresentou correlação significativa apenas com período de onda ($r = -0,10$), o que mostra que, com aumento do SOI, há aumento no período de ondas também. Neste estudo, aumento no período de ondas está relacionado a menores ângulos de incidência de ondas.

Da mesma forma, Ranasinghe *et al.* (2004) em seu estudo em praias de enseada da Austrália apresentaram em seus resultados que a altura das ondas apresenta correção positiva com o SOI, enquanto a direção das ondas apresenta correlação negativa. Ou seja, a altura das ondas aumentam/diminuem com o aumento/diminuição do SOI. As ondas incidentes tornam-se mais ao sul com a diminuição do SOI, enquanto se tornam mais ao norte com o aumento do SOI.

Nesta análise, os índices PDO e TSA apresentaram correlação significativa somente com a direção de ondas, com $r = 0,10$ e $r = 0,14$ respectivamente, o que indica que esses índices não seriam a maior influência na mudança de direção de ondas no local.

Em seu trabalho, Dalinghaus (2016) , apresenta a relação entre aumento na altura de ondas durante fases positiva do PDO. Durante sua fase positiva (Pacífico oeste esfria e o leste se torna mais quente) há maior influência do El Niño, enquanto que na fase negativa há a maior influência de La Niña. Ramos *et al.* (2021) afirmam que a fase positiva (negativa) do PDO gera diminuição (aumento) tanto na altura quanto no período de ondas no Oceano Atlântico Sul, e ainda, muda os componentes direcionais de forma semelhante a um ENSO positivo (negativo) (El Niño/La Niña).

Para Reguero *et al.* (2013) e Maia *et al.* (2022), o índice TSA está associado ao aumento na altura das ondas e à mudança no WEF na borda oriental do continente americano, especialmente em regiões tropicais e subtropicais. Segundo os autores,

isto é causado principalmente pelo aquecimento do Atlântico e pelo reforço dos ventos alísios de sudeste e dos ventos de leste no Atlântico equatorial ocidental devido a uma migração para norte da zona de convergência intertropical.

Neste estudo o índice SAM não apresentou nenhuma correlação significativa com as variáveis de onda, apesar da grande influência que apresenta em estudos apresentados principalmente na Austrália (Harley *et al.* 2010; Hemer *et al.* 2010), mas também no Atlântico Sul (Silva, 2020; Maia, 2022;), o que pode ser explicado pela latitude onde esses estudos foram realizados, sendo mais influenciado pela Oscilação Antártica.

Levando em conta os resultados apresentados por Reguero *et al.* (2013) no Atlântico Sul, é possível afirmar que a latitude é um fator importante a ser considerado nesse caso, uma vez que em seus resultados fica claro a mudança de comportamento do clima de ondas entre as latitudes próximas a 30°, principalmente a direção de incidência de ondas. Em seu trabalho, Maia *et al.* (2022) apontam a influência de diferentes índices climáticos na altura de ondas do Atlântico Sul, contando com maior correlação com índice AMO em seu ponto norte (equatorial), com TSA no ponto central (próximo ao Rio Grande do Sul) e SAM no ponto Sul (extremo sul do continente).

Por fim, autores como Reguero *et al.* (2019), Silva *et al.* (2020) e Maia *et al.* (2022) destacam em seus trabalhos a conexão entre as variações de longo prazo nas anomalias da TSM com altura e energia de ondas. Apontam também a influência das teleconexões atmosféricas, impulsionadas pela temperatura, nos padrões de geração de ondas, evidenciando os índices climáticos como indicadores do comportamento das ondas, o que também pode ser observado nesse trabalho.

6. CONCLUSÕES

Esse trabalho teve como objetivo analisar variações espaço-temporais da linha de costa de 17 praias arenosas da Ilha de Santa Catarina através da utilização de imagens de satélite, clima de ondas local e suas relações com índices climáticos atuantes na região nos últimos 39 anos. A partir da análise dos resultados e discussões pode-se concluir que:

A ferramenta utilizada CASSIE teve um desempenho satisfatório na análise de linha de costa da região com a possibilidade de análise e processamento de um grande conjunto de imagens.

As praias analisadas, apesar das variações observadas ao longo dos 39 anos de análise, em sua maioria apresentaram tendência a estabilidade, mesmo com episódios erosivos mais expressivos ao longo dos anos. Os pontos erosivos que foram identificados nesse estudo correspondem com resultados obtidos em outros estudos para a região e são pontos historicamente críticos para a população local.

As análises estatísticas geradas pelo CASSIE (LRR, NSM, EPR e SCE) foram cruciais para o entendimento da dinâmica da linha de costa.

Os diagramas de Hovmöller foram fundamentais para para visualizar os processos acrescivos e erosivos de cada praia e seu comportamento a longo prazo, assim como eventos de grande importância que atingiram a região e similaridades entre praias.

Em relação ao risco à erosão, as praias da costa SE/NE se mostraram mais susceptíveis a eventos erosivos, o que pode ser explicado pela maior exposição às ondulações de ENE/ESSE dominantes, apesar das ondulações desul serem de maior energia.

Quanto às variações do clima de ondas na região, foram verificadas tendências de aumento nos parâmetros de ondas Hs, Tp e WP com de 15,76 cm, 0,19 s e 5,20 kW/m respectivamente e diminuição do ângulo θ de incidências ondas nos 39 anos de dados analisados em 2,4°, demonstrando umaumento na altura e energia de ondas com o clima de ondas chegando mais dedireções leste (giro no sentido anti-horário) com o passar dos anos.

A análise de correlação linear dos parâmetros de ondas (H_s , T_p , WP e θ) com diferentes índices climáticos (AMO, PDO, SOI, Niño 3.4, TSA e SAM) apresentaram algum nível de correlação, demonstrando influência, mesmo que baixa, na explicação do comportamento das ondas na região. Os índices AMO e Niño 3.4 foram os mais representativos na região.

A resposta da linha de costa das praias oceânicas da ISC em relação às variações no clima de ondas e índices climáticos apresentou, de maneira sucinta, 4 padrões de comportamento, onde: (1) Praias voltadas para norte são mais susceptíveis a influência de ondas, principalmente altura e direção e tem maiores correlações com índices climáticos (especialmente o AMO); (2) Praias de sul apresentam baixa correlação tanto com os índices quanto com as variáveis de onda e demonstram alta resiliência; (3) Praias com orientação NE/SW e campo de dunas preservado são estáveis/acrescivas; (4) Praias voltadas para leste tem como principal agente modificador a direção de incidência de ondas e são mais vulneráveis a erosão, sendo mais susceptíveis a ação de ondas e mudanças no clima.

Considerando as praias apresentadas aqui que apresentaram baixa correlação com variáveis de onda e índices climáticos, é importante considerar as dinâmicas locais de cada uma. Quanto a relação do clima de ondas e a resposta da costa, Reguero *et al.* (2013) comentam que as tendências do clima de ondas em águas profundas podem não ser necessariamente as mesmas que afetam as praias e as infra-estruturas costeiras, uma vez que a propagação das ondas envolve processos de refração e difração que modificam as características das ondas perto da costa, e que a reanálise regional das ondas pode não capturar adequadamente. Com isso, é pertinente aprofundar as análises realizadas nesse estudo considerando as interações que ocorrem próximas a costa para melhor detalhamento.

6.1. LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Uma das limitações desse trabalho foi a descontinuidade da série temporal das imagens de satélite disponibilizadas na ferramenta. Foi possível notar que em alguns anos não haviam imagens disponíveis na plataforma para análise, como no caso de 2008 e 2012. Também é possível notar que os anos iniciais da série apresentam consideravelmente menos imagens do que os anos mais recentes. Com isso não foi

possível analisar as variações da linha de costa a níveis sazonais, como foi inicialmente considerado para este trabalho. A alternativa utilizada foi obter o maior número possível de imagens de cada ano para que as análises anuais e final tivessem alterações minimizadas.

Outra limitação foi o fato de o clima de ondas local ter sido feito com base em um único ponto (bóia) de uma reanálise global. O ideal é que fosse realizada a adequação desses dados para a região costeira mais próximo às praias, processo conhecido como regionalização (downscaling) dos parâmetros de ondas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU DE CASTILHOS, J. J. 1995. **Estudo evolutivo, sedimentológico e morfodinâmico da praia da Armação – Ilha de Santa Catarina, SC. Florianópolis.** 134p. Dissertação de Mestrado. Geografia, UFSC.
- ABREU, J. J. de. 2011. **Transporte sedimentar longitudinal e morfodinâmica praial: exemplo do litoral Norte de Santa Catarina. Florianópolis.** 484f. Tese de doutorado. Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina
- ALLAN, J.; KOMAR, P.. Are ocean wave heights increasing in the eastern North Pacific?. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, v. 81, n. 47, p. 561-567, 2000.
- ALMEIDA, L. P. *et al.* Coastal Analyst System from Space Imagery Engine (CASSIE): Shoreline management module. **Environmental Modelling & Software**, v. 140, p. 105033, 2021.
- ALONSO, R., & SOLARI, S. 2021. Comprehensive wave climate analysis of the Uruguayan coast. **Ocean Dynamics**, 71(8), 823–850.
<https://doi.org/10.1007/s10236-021-01469-6>
- ARAÚJO, R. J. V. 2022 **Dinâmica costeira e processos erosivos: alternativas de controle para o pontal sul da Ilha de Itamaracá - PE, Brasil.** Tese (Doutorado em Oceanografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022.
- ARAUJO, C. E. S.; FRANCO, D.; MELO, E. & PIMENTA, F. 2003. Wave Regime Characteristics of the Southern Brazilian Coast. **Proceedings of the Sixth International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries, COPEDEC VI.** Colombo/LK, p. 15. 2003.
- BACON, S.; CARTER, D.J.T. Wave climate changes in the North Atlantic and North Sea. **International Journal of Climatology**, v.11, p.545-558, 1991.
- BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D; SANTOS, G. F. 1994. Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais. **Florianópolis, UFSC**, 429p.
- BORGES, M. M. 2017. **Comportamento morfossedimentar em escala sazonal da praia Mole - ilha de Santa Catarina, SC- Brasil.** Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Oceanografia. Universidade Federal de Santa Catarina
- CARUSO JR, F.; AWDZIEJ, J.. Mapa geológico da ilha de Santa Catarina. **Texto explicativo e mapa. Notas Técnicas**, v. 6, p. 1-28, 1993
CASTILHOS, J. A. de; HORN FILHO, N. O.; GRÉ, J. C. R. 2011. Processos erosivos nas praias oceânicas da ilha de Santa Catarina, SC, Brasil. **Cadernos Geográficos**, 27:57-80. ISSN 1519-4639

CASTRO, B.C.A.; SOUZA FILHO, F.A.; SILVEIRA, C.S. Análise de Tendências e Padrões de Variação das Séries Históricas de Vazões do Operador Nacional do Sistema (ONS). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 4, p. 19-34, 2013.

CEPAL-ONU. Dinámicas, tendencias y variabilidad climático. Documento 1 del estudio de “Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe”, 2015.

COMO, S.; MEAS, P.; STERGIOU, K.; WILLIAMS J. 2015. Ocean Wave Energy Harvesting: Off-Shore Overtopping Design. **Worcester Polytechnic Institute**. 60 p.

CORREA, E., *et al.* Impactos potenciais da mudança climática no desenvolvimento humano. **36º Encontro Nacional de Economia**, p. 9-12, 2008.

CRUZ, O. 1998. Ilha de Santa Catarina e o continente próximo. Um estudo de geomorfologia costeira. Florianópolis/SC: **Editora da UFSC**. 280p.

DALINGHAUS, C., *et al.* **Análise da estabilidade da forma em planta e perfil nas praias da Barra da Lagoa, Moçambique e Ingleses, Florianópolis-SC: Aplicações em análise de perigos costeiros**. 2016.

DALINGHAUS, C., ALMEIDA, L.R., GONZÁLEZ, M., KLEIN, A.H.F. 2018. **Sistema de modelagem costeira do Brasil: Estudos de caso**. Florianópolis: Editora da UFSC.

DEL RÍO, L., GRACIA, F. J., BENAVENTE, J. Shoreline change patterns in sandy coasts. A case study in SW Spain. **Geomorphology**, v. 196, p. 252-266, 2013.

DIEHL, F. L., HORN FILHO, N.O. 1996. Compartimentação geológico-geomorfológica da zona litorânea e planície costeira do estado de Santa Catarina. **Notas Técnicas**, 9: p.39-50

DODET, G.; BERTIN, X.; TABORDA, R. Wave climate variability in the North –East Atlantic ocean over the last six decades. **Ocean Modelling**, v.31, p.120- 131, 2010.

DOMINGUEZ, J. M. L. 2006. The Coastal Zone of Brazil: An Overview. **Journal of Coastal Research**, 1, 16-20.

ENFIELD, D. B.; MESTAS-NUFIEZ, A. M.; MAYER, D. A.; CID-SERRANO, L. 1999. How ubiquitous is the dipole relationship in tropical Atlantic Sea surface temperatures? **Journal of Geophysical Research**, 104, C4, 7841–7848.

ESTEVAM, C. N.; OSAKO, L, S.; FRANCISCO, J. A. A.. Análise multitemporal da variação da linha de costa no setor centro-sul da Ilha de Santa Catarina, Brasil. **Geologia USP. Série Científica**, v. 21, n. 4, p. 73-90, 2021.

FARACO, K. R. 2003. **Comportamento morfodinâmico e sedimentológica da praia dos Ingleses - ilha de Santa Catarina - SC, durante o período de 1996-2001**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina

FELIX, A. 2005. **Parque Estadual da Serra do Tabuleiro: proposta de revisão dos limites na Ilha de Santa Catarina**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Geografia) – Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina. 152 p.

FELIX, A., 2010. **Determinação dos limites de ocorrência dos setores morfodinâmicos ao longo do arco praiado de Naufragados, ilha de Santa Catarina/SC – Brasil**. 235 f. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina.

FOGT, R. L., & MARSHALL, G. J. 2020. The Southern Annular Mode: Variability, trends, and climate impacts across the Southern Hemisphere. **WIREs Climate Change**, 11(4). doi:10.1002/wcc.652

FRANCO, D.; MELO FILHO; E. Relevância dos mares secundários na caracterização de ondas ao largo da Ilha de Santa Catarina, sc (2002 – 2005). In: **Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica. Rio Grande, Brasil. Proceedings... SEMENGO III**. 2008

GOLDENBERG, S. B., LANDSEA, C.W., MESTAS-NUNEZ, A. M. & GRAY, W. M. 2001. The recent increase in Atlantic hurricane activity: Causes and implications, **Science**, 293, 474–479, doi:10.1126/science.1060040.

GOMES DA SILVA, P.; KLEIN, A.H.F.; GONZÁLEZ, M.; GUTIERREZ, O.; ESPEJO, A. Performance assessment of the database downscaled ocean waves (DOW) on Santa Catarina coast, South Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.87, n.2, p.623:634, 2015.

GONZÁLEZ, M.; MEDINA, R.; GONZALEZ-ONDINA, J.; OSORIO, A.; MÉNDEZ, F.J.; GARCIA, E. An Integrated coastal modeling system for analyzing beach processes and beach restoration projects, SMC. **Computer & Geosciences**, v.33, p.916-931, 2007.

GÜTTLER, F. N. 2006. **Estudo morfodinâmico e granulométrico da praia do Rio das Pacas - Florianópolis (SC)**. Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Geografia. Universidade do Estado de Santa Catarina.

GÜTTLER, F.; DE FREITAS PLÁCIDO, A. P.; AYALA, L. Comportamento morfológico da praia do rio das Pacas, Florianópolis–SC–Brasil. **Percursos**, v. 8, n. 2, p. 72-89, 2007.

HARLEY, M.D.; TURNER, I.L.; SHORT, A.D.; RANASINGHE, R. Interannual variability and controls of the Sydney wave climate. **International Journal of Climatology**, v.30, p.1322-1335, 2010.

- HEIDRICH, C.; HORN FILHO, N. O.; GOMES, M. C. V.. Sedimentology of sandy beaches of Santa Catarina Island, SC, Brazil. **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 11, n. 1, 2020.
- HEMER, M. A.; CHURCH, J.A.; HUNTER, J.R. Variability and trends in the directional wave climate of the Southern Hemisphere. **International Journal of Climatology**: A Journal of the Royal Meteorological Society, v. 30, n. 4, p. 475-491, 2010.
- HERSBACH, H. et al “The ERA5 Global Reanalysis.” **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, no. September 2019: 1999–2049.
- HOEFEL, F.G. **Morfodinâmica de Praias Arenosas**: Uma Revisão Bibliográfica. Itajaí: UNIVALI, 1998. 90 p.
- HORN FILHO, N. O.; OLIVEIRA, J. S. de; LEAL, P. C. 1999. Mapping the Santa Catarina island’s coast, Santa Catarina, southeastern, Brazil. In: **Coastal Zone 99**. San Diego, 1999. **Abstracts**: pp.401-403.
- HORN FILHO, N. O.; LEAL, P. C.; OLIVEIRA, J.S. 2000. Ilha de Santa Catarina, SC Brasil: 88km de praias arenosas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE PRAIAS ARENOSAS. **Resumos**. Itajaí, UNIVALI.
- HORN FILHO, N. O. 2006. Granulometria das Praias Arenosas da Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil. Florianópolis/SC: **Editora da UFSC**. 142p.
- HORN FILHO, N. O.; LEAL, P. C.; OLIVEIRA, J. S. de. Geologia das 117 praias arenosas da Ilha de Santa Catarina, Brasil. Florianópolis: **Edições do Bosque**, 2017. 220 p. ISBN 9788560501328.
- HORN FILHO, N. O., SCHMIDT, A. D., ABREU, J. G. N., ESTEVAM, C. N., ARAÚJO, R. S. (2018). Panorama da Erosão Costeira no Brasil - Santa Catarina. In: D. Muehe (org.). **Panorama da erosão costeira no Brasil**. Brasília: **Ministério do Meio Ambiente**, v. 1, 759 p.
- HOVMÖLLER, E. 1949. The Trough-and-Ridge diagram. **Tellus**, 1, 2, 62–66. DOI 10.3402/tellusa.v1i2.8498.
- IPCC, 2023: **Annex I: Glossary** [Reisinger, A., D. Cammarano, A. Fischlin, J.S. Fuglestedt, G. Hansen, Y. Jung, C. Ludden, V. Masson-Delmotte, R. Matthews, J.B.K Mintenbeck, D.J. Orendain, A. Pirani, E. Poloczanska, and J. Romero (eds.)]. In: **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, pp. 119-130, doi:10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.002.

IPCC, 2019: **Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems** [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)]. In press.

KLEIN, A.H.F. **Morphodynamics of Headland Bay Beaches**. 2004. 450 p. Tese de Doutorado (Ciências do Mar) – Universidade do Algarve, Faro, Portugal. 2004.

KLEIN, A.H.F.; PRADO, M.F.V.; DALINGHAUS, C.; CAMARGO, J.M. 2016. Metodologia para quantificação de perigos costeiros e projeção de linhas de costa futuras como subsídio para estudos de adaptação das zonas costeiras: litoral norte da Ilha de Santa Catarina e entorno. **Florianópolis, 206p**.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928.

LEAL, P. C. 1999. **Sistema praias Moçambique – Barra da Lagoa, ilha de Santa Catarina, SC, Brasil: Aspectos morfológicos, morfodinâmicos, sedimentológicos e ambientais**. Florianópolis. 125 p. Dissertação de Mestrado. Geografia, UFSC

LIU, Z.; ALEXANDER, M. 2007. Atmospheric bridge, oceanic tunnel, and global climatic teleconnections. **Rev. Geophys.**, 45, RG2005, DOI 10.1029/2005RG000172.

LUIJENDIJK, A.; HAGENAARS, G.; RANASINGHE, R.; BAART, F.; GENNADII, D.; ARNINKHOF, S. 2018. The State of the World's Beaches. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 6641, 2018. Nature Publishing Group

LYU, K. & YU, J. Y. 2017. Climate impacts of the Atlantic Multidecadal Oscillation simulated in the CMIP5 models: A re-evaluation based on a revised index. **Geophysical Research Letters**, 44(8), 3867–3876. <https://doi.org/10.1002/2017GL072681>

MAIA, N. Z., ALMEIDA, L. P., EMMENDORFER, L., NICOLODI, J. L., & CALLIARI, L. (2022). Wave climate trends and breakpoints during the Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO) in southern Brazil. **Ocean and Coastal Research**, 70.

MAIA, N. Z. et al. Long-term trends and wave climate variability in the South Atlantic Ocean: The influence of climate indices. **Regional Studies in Marine Science**, v. 66, p. 103131, 2023. [silva](https://doi.org/10.1016/j.rsma.2023.103131)

MANTUA, N.J.; HARE, S.R. The Pacific Decadal Oscillation. **Journal of Oceanography**, v.58, p.35-44, 2002.

MANTUA, N. J.; HARE, S. R.; ZHANG, Y.; WALLACE, J. M.; FRANCIS, R. C. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78, n. 6, p. 1.069-1.079, 1997.

MARINS, P. C. O. 2020. **Análise têmporo-espacial da urbanização sobre as unidades geológicas da Planície Costeira e relação com a erosão costeira na costa oceânica da Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Oceanografia, Universidade Federal de Santa Catarina.

MARTINS, L. R.; TABAJARA, L. L.; FERREIRA, E. R. Linha de Costa: problemas e estudos. **Revista Gravel**, Porto Alegre, nº2, p. 40-56, 2004.

MAZZER, A. M.; DILLENBURG, S. R.; SOUZA, C. R.G. 2008. Proposta de método para análise da vulnerabilidade à erosão costeira no sudeste da ilha de Santa Catarina, Brasil. 2008. **Revista Brasileira de Geociências**, 38(2): 278- 294.

MAZZER, A. M.; DILLENBURG, S. 2009. Variações temporais da linha de costa em praias dominadas por ondas do Sudeste da ilha de Santa Catarina (Florianópolis, SC, Brasil). **Pesquisas em Geociências**, 36 (1):117-135.

MCCABE, G. J., PALECKI, M. A. & BETANCOURT, J. L. 2004. Pacific and Atlantic Ocean influences on multidecadal drought frequency in the United States. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**. 101, 4136– 4141, doi:10.1073/ pnas.0306738101

MIOT DA SILVA, G. S. 2006. **Orientação da linha de costa e dinâmica dos sistemas praia e duna: praia de Moçambique, Florianópolis, SC**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MONTEIRO, M. A. 2001. Caracterização climática do estado de Santa Catarina: uma abordagem dos principais sistemas atmosféricos que atuam durante o ano. **Geosul**, 16(31):69-78.

MONTEIRO, M. A.; FURTADO, S. M. de A. O clima do trecho florianópolis-porto alegre: uma abordagem dinâmica. **Geosul**, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), v. 10, n. 19, p. 117–133, 1995

ODÉRIZ, I., SILVA, R., MORTLOCK, T. R., & MORI, N., 2020. El niño-southern oscillation impacts on global wave climate and potential coastal hazards. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, 125, e2020JC016464. <https://doi.org/10.1029/2020JC016464>

OLIVEIRA, U. R. 2004. **Comportamento morfodinâmico e granulometria do arco Praial do Pântano do Sul - Açores, ilha de Santa Catarina, SC, Brasil**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina.

OLIVEIRA, Ulisses R.; BARLETTA, Rodrigo C.; HORN FILHO, Norberto O. Distribuição espacial das características morfodinâmicas das praias arenosas da costa oceânica da Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil. **Pesquisas em**

Geociências, v. 41, n. 2, p. 89-103, 2014.

OLIVEIRA *et al.*, 2017. **Variabilidade do clima de ondas de Santa Catarina utilizando o modelo Wavewatch III**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Oceanografia. Universidade Federal de Santa Catarina.

OLIVEIRA, B.A. *et al*, 2019. A high-resolution wave hindcast off Santa Catarina (Brazil) for identifying wave climate variability. **Regional Studies in Marine Science**, v. 32, p. 100834.

OTSU, N. (1979). A threshold selection method from gray-level histograms. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, 9(1), 62-66.

PAWLOWICZ, R.; BEARDSLEY, B.; LENTZ, S. Classical Tidal Harmonic Analysis Including Error Estimates in MATLAB using T_TIDE. **Computers and Geosciences**, 2002.

PEGORELLI, C., DOTTORI, M., & FORTES, J. F. 2018. Evaluating the gravity wave energy potential off the Brazilian coast. **Brazilian Journal of Oceanography**, 66(2), 220– 233. <https://doi.org/10.1590/s1679-87592018011706602>

PEIXOTO, J. R. V. 2005. **Análise morfossedimentar da praia do Santinho esua relação com a estrutura dinâmica da vegetação “pioneira” da duna frontal, ilha de Santa Catarina, SC, Brasil**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina.

PEREIRA, M. D.; SCHETTINI, C. A. F.; OMACHI, C. Y. 2009. Caracterização de Feições Oceanográficas na Plataforma de Santa Catarina através de Imagens Orbitais. **Revista Brasileira de Geofísica**, [S.L.], v. 27, n. 1, p.81-93.

PINTO, M.W.; MEIRELES, R.; COOPER, A., and KLEIN, A.H.F. 2015. Santinho/Ingleses transgressive dunefield system—Santa Catarina Island (Brazil): Temporal variability in vegetation, manmade structures and dune migration. **Proceedings of Coastal Sediments '15** (San Diego, California), 14p

PORPILHO, D. **Padrão morfológico e sonográfico da plataforma continental interna adjacente ao setor leste da ilha de Santa Catarina**.2015. 137p. Dissertação de Mestrado (Pós – graduação em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2015.

PORTO FILHO, E. 1993. **Sedimentometria e algumas considerações sobre a biogeoquímica dos sedimentos de fundo da lagoa da Conceição – ilha de Santa Catarina**. Florianópolis, 343f. Dissertação de mestrado. Programade Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina.

RAMOS, M. S., FARINA, L., FARIA, S. H., & LI, C. Relationships between large-scale climate models and the South Atlantic Ocean wave climate. **Progress in Oceanography**, 197, 102660. 2021.

RANASINGHE, R. *et al.* The Southern Oscillation Index, wave climate, and beach rotation. **Marine Geology**, v. 204, n. 3-4, p. 273-287, 2004.

REBOITA, M. S., AMBRIZZI, T. & ROCHA, R. P., 2009. Relationship between the Southern Annular Mode and southern hemisphere atmospheric systems. **Rev. Bras. Meteorol.** 24, 48–55

REBOITA, M. S., OLIVEIRA, K. R., CORRÊA, P. Y. C., & RODRIGUES, R. (2021). Influência dos diferentes tipos do fenômeno El Niño na precipitação da América do Sul. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 14(2), 729-742.

REGUERO *et al.*, 2013. Variability of multivariate wave climate in Latin America and the Caribbean. **Glob. Planet. Change**, 100 (2013), pp. 70-84

REGUERO, B. G., LOSADA, I. J. & MENDEZ, F. J. 2019. A recent increase in global wave power as a consequence of oceanic warming. **Nature Communications**. 205, 1–14

RODRIGUES, M. L. G.; FRANCO, D.; SUGAHARA, S. 2004. Climatologia de Frentes Frias no Litoral de Santa Catarina. **Revista Brasileira Geofísica**, vol.22, no.2, São Paulo.

RUDORFF, F. M.; BONETTI, J. Avaliação da suscetibilidade à erosão costeira de praias da Ilha de Santa Catarina. **Braz. J. Aquat. Sci. Technol**, v. 14, n. 1, p. 9-20, 2010.

RUSA, R. T. 2018. **Caracterização morfossedimentar da praia da Galheta, ilha de Santa Catarina/SC, Brasil**. Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Oceanografia. Universidade Federal de Santa Catarina.

SANTA CATARINA. 1986. Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral. Atlas de Santa Catarina. Florianópolis, SC: GAPLAN/SUEGI; [Rio de Janeiro]: Aerofoto Cruzeiro]. 173p.: il., mapas

SANTOS, C. R. 1995. **Interrelação entre a dinâmica da vegetação “pioneira” e os padrões morfossedimentológicos sazonais na praia da Joaquina, ilha de Santa Catarina, Brasil**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina

SANTOS, K. A. L. *et al.*, 2021. **Variação da linha de costa no litoral central de Sergipe entre os anos de 1988 a 2019**. In: XIII ENCONTRO DE RECURSOS HÍDRICOS EM SERGIPE.

SCHMIDT, A. D. 2010. **Caracterização Morfossedimentar da Praia da Enseada, Ilha do Campeche, Santa Catarina, Brasil**. 101 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Geografia, Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC, 2010.

SCHWEITZER, A. 2007. **Comportamento morfossedimentar do arco praial e evolução do uso do solo na praia Brava, ilha de Santa Catarina, SC, Brasil**. Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina

SEM GUPTA, A; ENGLAND, M.H. 2006. Coupled Ocean–Atmosphere–Ice Response to Variations in the Southern Annular Mode. **Journal of Climate**. 19, 4457–4486

SHORT, A. D.. **Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics**. New York: John Wiley & Sons, 1999. 379p

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(2), p. 523-532. 2004.

SILVESTER, R.; HSU, J.R.C. **Coastal Stabilization**. Advanced Series on Ocean Engineering. V. 14. Singapore: World Scientific, 1997. 578p.

SILVA, LC da; BORTOLUZZI, C. A. Texto explicativo para o mapa geológico do Estado de Santa Catarina. **Florianópolis: DNPM**, 1987.

SILVA, A. P. da. **Registro da direção de ondas predominantes durante o holoceno tardio. 2018**. Dissertação (Mestrado em Oceanografia). Programa de Pósgraduação em Oceanografia. Centro de Ciências Físicas e Matemáticas. Florianópolis, Santa Catarina. 2018. 152 p.

SILVA, A. P. *et al.* 2020. Climate-induced variability in South Atlantic wave direction over the past three millennia. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 1-12.

SILVEIRA, L.F.; KLEIN, A.H.F.; TESSLER, M.G. Headland bay beach planform stability of Santa Catarina state and of the Northern coast of São Paulo state. **Brazilian Journal of Oceanography**, v.58, n.2, p.101-122, 2010.

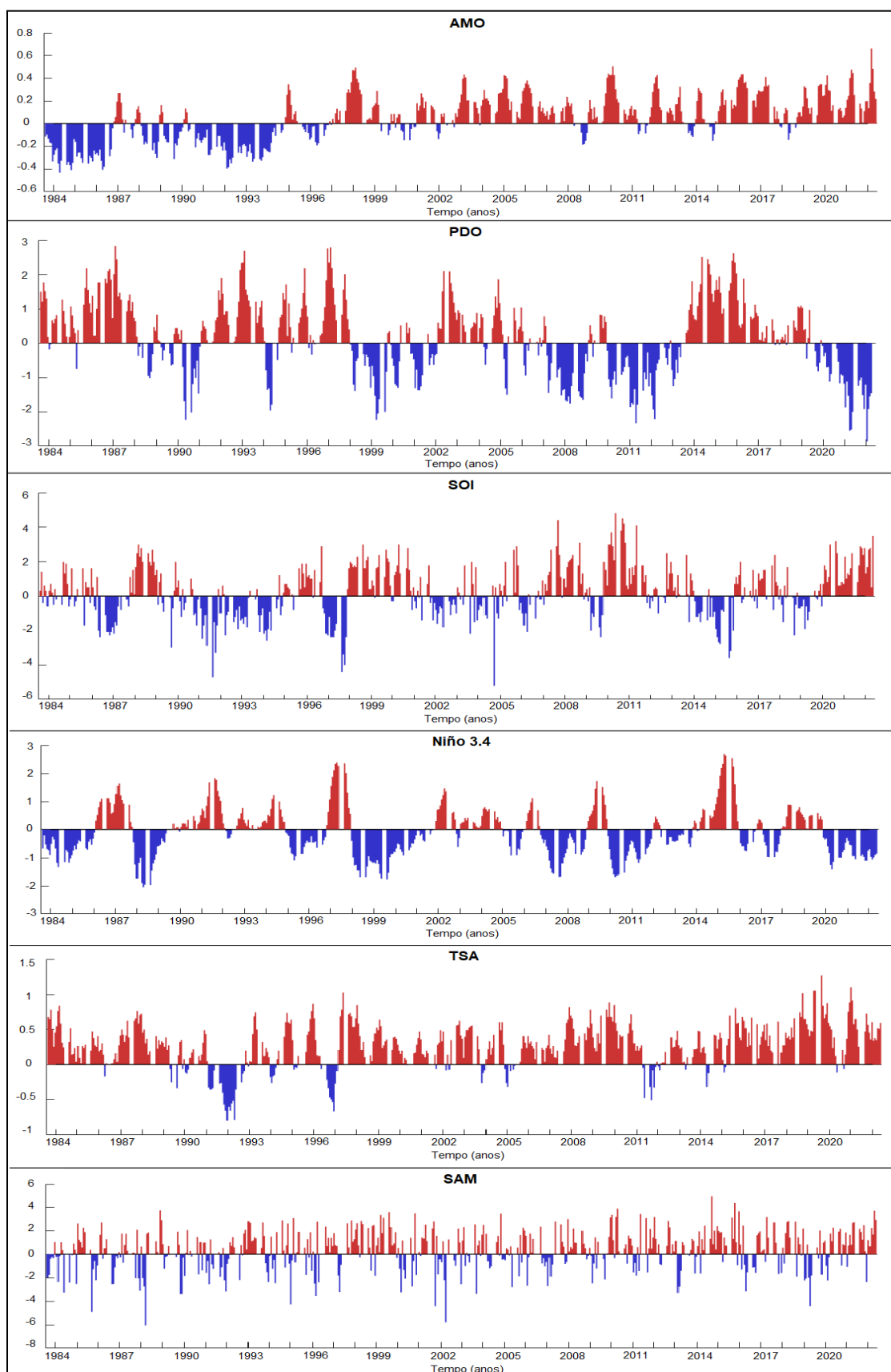
SLEIMAN, J.; SILVA, M. E. S. Padrões atmosféricos associados a eventos extremos de precipitação sobre a região Sul do Brasil. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 20, p. 93-109, 2010.

SOUZA, C. A., & REBOITA, M. S. (2021). Ferramenta para o monitoramento dos padrões de teleconexão na América do Sul. **Terræ Didática**, 17, e021009-e021009.

- THIELER, E.R., HIMMELSTOSS, E.A., ZICHICHI, J.L., ERGUL. (2009). **A. Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0 - An ArcGIS extension for calculating shoreline change**. U.S. Geological Survey Open-File Report 2008, p. 1278.
- THOMPSON, D.W.J., WALLACE, J.M. 2000. Annular Modes in the Extratropical Circulation. Part I: Month-to-Month Variability. **Journal of Climate**. 13, 1000–1016
- TORRONTEGUY, M. C. 2002. **Sistema Joaquina-Morro das Pedras e praias adjacentes da costa Leste da ilha de Santa Catarina: aspectos morfodinâmicos, sedimentológicos e fatores condicionantes**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina.
- TRENBERTH, KEVIN, ZHANG, RONG & NATIONAL CENTER FOR ATMOSPHERIC RESEARCH STAFF (Eds). 2021. "The Climate Data Guide: Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO)." Acesso em: <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/atlantic-multi-decadal102-oscillation-amo>.
- TRUCCOLO, E.; FRANCO, D.; SCHETTINI, C. The Low Frequency Sea Level Oscillations in the Northern Coast of Santa Catarina, Brazil. **Journal of Coastal Research**, 1, n. 39, p. 547–552, 2006. ISSN 0749-0208.
- UNESCO. Sea Level Station Monitoring Facility. Disponível em: <https://www.iocsealevelmonitoring.org/station.php?code=imbi>. Acesso em: 8jun. 2023.
- VIEIRA DA SILVA, G. V., MULER, M., PRADO, M. F., SHORT, A. D., KLEIN, A. H. F., TOLDO, E. E. 2016. Shoreline change analysis and insight into the sediment transport path along Santa Catarina Island north shore, Brazil. **Journal of Coastal Research**, 32(4), 863-874.
- WANG, C., LEE, S. K. & ENFIELD, D. B. 2008. Atlantic warm pool acting as a link between Atlantic multidecadal oscillation and Atlantic tropical cyclone activity. **Geochemistry, Geophysics, Geosystems**, 9(5). <https://doi.org/10.1029/2007GC001809>
- WANG, Y., LI, S. & LUO, D. 2009. Seasonal response of Asian monsoonal climate to the Atlantic Multidecadal Oscillation. 114 (November 2008). **Journal of Geophysical Research**. <https://doi.org/10.1029/2008JD010929>
- WRIGHT, L. D.; SHORT, A. D. 1984. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A synthesis. **Marine Geology**, 56: 93-118.
- YANG, Y. M., AN, S. IL, WANG, B. & PARK, J. H. 2020. A global-scale multidecadal variability driven by Atlantic multidecadal oscillation. **National Science Review**, 7(7), 1190–1197. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwz216>
- YOUNG, I.R.; ZIEGER, S.; BABANIN, A.V. Global trends in wind speed and wave height. **Science**, v.332, p.451-455, 2011.

Anexo - I

Figura 45: Série temporal dos índices climáticos AMO, PDO, SOI, Niño 3.4, TSA e SAM para o período analisado.



Fonte: Autora

Anexo II

Tabela 22: Numero de imagens adquiridas e utilizadas após aplicação do filtro por ano analisado das praias de Jurerê, Canasvieiras, Lagoinha do Norte, Brava, ingleses e Santinho.

	Jurerê		Canasvieiras		Lagoinha do Norte		Brava		Ingleses		Santinho	
	Bruto	Filtro	Bruto	Filtro	Bruto	Filtro	Bruto	Filtro	Bruto	Filtro	Bruto	Filtro
1984	1	0	1	0	1	0	1	0	2	0	1	0
1985	2	2	2	1	2	2	3	2	3	2	3	2
1986	7	5	6	6	7	7	4	4	6	6	8	8
1987	5	4	4	4	3	3	4	4	2	1	4	4
1988	3	2	3	3	5	5	3	3	5	4	6	6
1989	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	3	2
1990	6	5	6	5	4	4	4	4	3	3	6	6
1991	4	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	4
1992	5	4	4	3	5	5	4	4	2	1	4	4
1993	9	9	6	5	7	7	8	8	7	7	8	8
1994	5	5	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4
1995	3	2	2	5	3	2	4	4	4	4	4	4
1996	3	2	3	3	2	1	3	2	5	4	4	3
1997	5	4	6	4	5	5	4	3	5	4	5	4
1998	6	4	8	6	10	10	6	6	5	4	8	8
1999	6	5	6	6	7	7	6	6	6	6	9	8
2000	5	5	6	6	8	8	7	6	6	6	7	7
2001	6	5	5	5	6	6	6	6	4	3	6	6
2002	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3
2003	4	4	2	2	3	3	4	3	2	3	6	4
2004	9	7	9	8	12	12	4	4	9	7	12	10
2005	11	10	8	8	12	12	5	5	11	11	11	10
2006	10	8	9	9	9	9	6	6	11	9	10	9
2007	3	3	1	1	5	4	1	1	2	2	4	4
2008	2	2	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1
2009	7	5	6	6	6	5	7	7	4	3	8	8
2010	7	5	5	4	5	4	2	2	7	7	8	6
2011	2	1	3	3	5	4	4	4	2	2	7	7
2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2013	7	6	7	7	7	6	5	4	7	6	9	8
2014	5	3	5	4	7	7	3	3	6	5	5	3
2015	7	5	6	5	8	8	6	5	5	3	7	6
2016	7	5	8	7	7	7	4	4	5	5	9	6
2017	7	6	6	6	7	7	6	6	9	6	9	9
2018	7	6	7	7	6	6	3	3	4	3	6	6
2019	9	7	10	9	7	7	6	6	8	5	8	7
2020	8	8	8	2	8	7	6	6	7	5	12	11
2021	6	2	7	6	8	8	6	6	6	4	8	8
2022	14	10	14	7	15	15	12	11	15	12	17	14
Total	216	172	200	174	222	213	166	157	196	162	254	228

Fonte: Autora

Tabela 23: Numero de imagens adquiridas e utilizadas após aplicação do filtro por ano analisado das praias de Moçambique – Barra da Lagoa, Galheta, Mole, Joaquina – Campeche, Campeche – Morro das Pedras.

	Moçambique-Barra		Galheta		Mole		Joaquina-Campeche		Campeche-Morro das Pedras	
	Bruto	Filtro	Bruto	Filtro	Bruto	Filtro	Bruto	Filtro	Bruto	Filtro
1984	1	0	1	0	1	0	1	1	2	1
1985	0	0	2	0	2	1	2	2	3	0
1986	6	3	6	4	7	7	3	3	4	1
1987	2	2	3	3	3	3	2	1	2	2
1988	5	3	5	4	6	6	7	2	4	3
1989	2	2	3	3	2	2	1	1	1	1
1990	3	3	4	2	5	5	4	4	4	4
1991	4	3	4	4	3	3	5	4	3	2
1992	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2
1993	6	6	8	8	8	8	5	5	6	6
1994	2	2	4	4	7	7	7	6	4	3
1995	0	0	2	2	3	3	2	2	2	2
1996	3	3	4	3	4	3	4	4	2	2
1997	5	4	6	4	5	4	4	4	4	4
1998	3	2	6	5	6	5	5	4	2	1
1999	6	4	8	8	6	5	7	7	2	1
2000	3	3	4	4	4	4	3	3	2	2
2001	4	4	6	6	5	5	3	3	5	3
2002	2	2	2	2	3	3	2	2	2	2
2003	2	2	2	2	4	4	3	2	2	2
2004	5	4	8	7	8	7	8	3	7	7
2005	0	0	10	10	11	10	9	8	8	8
2006	2	1	10	10	10	9	7	4	3	3
2007	1	1	2	2	2	2	3	1	3	2
2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	4	4	7	7	6	4	7	5	3	3
2010	2	1	5	5	4	4	4	3	3	2
2011	5	5	6	6	5	5	3	3	2	2
2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2013	5	5	7	5	5	5	5	4	2	2
2014	4	3	5	4	5	4	2	1	2	2
2015	5	3	6	4	8	7	5	4	2	2
2016	4	3	6	4	7	5	4	3	2	1
2017	4	4	10	9	9	9	6	4	2	1
2018	4	3	3	1	6	5	7	5	2	2
2019	2	2	6	5	6	5	8	7	5	5
2020	5	4	5	3	7	7	6	2	4	3
2021	6	5	8	7	8	7	6	6	4	4
2022	9	7	13	12	17	15	14	11	13	9
Total	129	106	200	172	211	191	177	137	126	102

Fonte: Autora

Tabela 24: Numero de imagens adquiridas e utilizadas após aplicação do filtro por ano analisado das praias da Armação, Matadeiro, Lagoinha do Leste, Pântano – Açores, Solidão, Naufragados.

	Armação		Matadeiro		Lagoinha do Leste		Pântano-Açores		Solidão		Naufragados	
	Bruto	Filtro	Bruto	Filtro	Bruto	Filtro	Bruto	Filtro	Bruto	Filtro	Bruto	Filtro
1984	1	1	3	2	1	1	1	1	1	1	0	0
1985	3	1	2	1	2	2	2	1	3	2	2	1
1986	5	5	7	7	8	7	7	7	3	3	8	8
1987	3	3	4	4	3	2	3	3	2	2	3	3
1988	3	3	6	6	5	5	4	4	5	5	7	6
1989	1	1	2	1	2	2	1	4	1	0	3	2
1990	5	3	7	7	5	2	5	4	5	5	5	4
1991	4	4	3	3	4	4	4	4	2	2	4	4
1992	4	4	5	5	3	3	3	3	2	2	4	4
1993	7	7	8	8	7	7	6	6	5	5	8	8
1994	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	5	5
1995	3	3	5	3	3	3	2	2	3	3	2	2
1996	3	3	5	5	5	4	4	3	2	2	4	3
1997	4	3	6	5	6	5	5	4	4	3	4	3
1998	6	3	6	5	5	5	4	4	4	4	4	4
1999	6	6	10	10	7	6	6	5	4	4	3	3
2000	3	2	4	4	5	5	1	1	2	2	5	5
2001	5	3	5	5	4	4	8	8	6	6	5	5
2002	1	1	3	3	3	3	4	4	4	4	4	3
2003	2	1	5	5	2	2	3	3	3	3	4	4
2004	5	3	8	8	6	6	8	6	7	7	11	11
2005	9	8	11	11	7	7	9	9	8	8	11	11
2006	7	4	10	10	7	7	7	7	5	5	9	9
2007	3	2	4	4	4	4	3	3	2	2	4	4
2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	5	4	8	8	5	5	7	7	7	6	7	7
2010	3	1	5	5	4	1	6	6	2	2	5	5
2011	4	3	3	3	3	3	3	3	2	2	4	4
2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2013	5	4	7	6	7	6	5	5	4	4	7	5
2014	4	4	4	3	5	4	5	5	3	2	5	5
2015	7	6	6	5	8	7	5	3	4	3	6	4
2016	5	5	7	6	6	4	3	3	2	2	3	3
2017	5	4	7	6	3	3	6	5	5	5	5	5
2018	5	1	5	4	7	6	7	5	2	2	5	4
2019	6	3	5	5	7	6	8	8	6	5	10	10
2020	8	6	8	8	7	7	7	6	5	5	6	5
2021	6	5	8	8	6	6	8	7	7	7	5	5
2022	19	16	20	17	18	17	12	11	10	10	10	9
Total	180	141	227	211	195	176	186	174	146	139	197	183

Fonte: Autora