



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS FLORIANÓPOLIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

Karine Bastos Leal

**ANÁLISE DO IMPACTO DE MARÉS DE TEMPESTADE NA VARIABILIDADE DA  
LINHA DE COSTA EM PRAIAS COM ORIENTAÇÕES DISTINTAS: ARMAÇÃO E  
CANASVIEIRAS, ILHA DE SANTA CATARINA - SC**

Florianópolis  
2020

Karine Bastos Leal

**ANÁLISE DO IMPACTO DE MARÉS DE TEMPESTADE NA VARIABILIDADE DA  
LINHA DE COSTA EM PRAIAS COM ORIENTAÇÕES DISTINTAS: ARMAÇÃO E  
CANASVIEIRAS, ILHA DE SANTA CATARINA - SC**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação  
em Geografia da Universidade Federal de Santa Catarina  
para a obtenção do título de Mestra em Geografia.  
Orientador: Prof. Dr. Jarbas Bonetti Filho  
Coorientador: Prof. Dr. Pedro de Souza Pereira

Florianópolis

2020

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

Leal, Karine Bastos

ANÁLISE DO IMPACTO DE MARÉS DE TEMPESTADE NA  
VARIABILIDADE DA LINHA DE COSTA EM PRAIAS COM ORIENTAÇÕES  
DISTINTAS: ARMAÇÃO E CANASVIEIRAS, ILHA DE SANTA CATARINA  
SC / Karine Bastos Leal ; orientador, Jarbas Bonetti  
Filho, coorientador, Pedro de Souza Pereira, 2020.  
63 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Programa  
de Pós-Graduação em Geografia, Florianópolis, 2020.

Inclui referências.

1. Geografia. 2. Praia. 3. Variação da linha de costa.  
4. Clima de ondas. 5. Geoprocessamento. I. Bonetti Filho,  
Jarbas . II. Pereira, Pedro de Souza. III. Universidade  
Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em  
Geografia. IV. Título.

Karine Bastos Leal

**ANÁLISE DO IMPACTO DE MARÉS DE TEMPESTADE NA VARIABILIDADE DA  
LINHA DE COSTA EM PRAIAS COM ORIENTAÇÕES DISTINTAS: ARMAÇÃO E  
CANASVIEIRAS, ILHA DE SANTA CATARINA - SC**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca  
examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Dr. Jean de Almeida Espinoza

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - Campus Rio  
Grande

Dr. Alexandre Maimoni Mazzer

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

---

Prof. Dr. Clécio Azevedo da Silva  
Coordenador do Programa

---

Prof. Dr. Jarbas Bonetti Filho  
Orientador

Florianópolis, 2020.

Este trabalho é dedicado à minha mãe, Silvia.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Dr. Jarbas Bonetti, meu orientador, que guiou este trabalho como um verdadeiro mestre. Gratidão por todos os ensinamentos durante os dois anos.

Ao Prof. Dr. Pedro Pereira, que topou entrar nesta barca conosco.

Aos membros do Laboratório de Oceanografia Costeira pela troca de conhecimentos.

À minha mãe, que é minha maior incentivadora e patrocinadora de tudo. Sempre me deu a base necessária para que eu pudesse me dedicar aos estudos.

À minha família residente em São José, pelo apoio dado desde o processo seletivo deste mestrado e à minha família que reside em Rio Grande por toda a torcida.

Aos amigos e às amigas que, também, foram meu alicerce para enfrentar a distância e conseguir concluir esta etapa.

À Barra da Lagoa, que me acolheu e me trouxe uma nova visão de vida.

À vida e à natureza, por me encantarem a cada dia.

A Deus, pois n'Ele deposito minha fé.

Educação não transforma o mundo. Educação muda as pessoas. Pessoas transformam o mundo (Paulo Freire).

## RESUMO

Nas praias arenosas oceânicas os processos de perda de áreas e recuo da linha de costa estão comumente relacionados à ocorrência de marés de tempestade. Agravando estes processos, construções posicionadas próximas ao limite superior de praia alteram o balanço sedimentar local, tornando o ambiente mais sensível aos impactos decorrentes da ação de ondas nos trechos superiores da praia. Neste contexto, o trabalho apresentado quantificou a variabilidade da linha de costa das praias da Armação e Canasvieiras, situadas no sul do Brasil, que possuem orientações distintas ao clima de ondas regional, e relacionou sua exposição às marés de tempestade registradas entre os anos de 2009 e 2018. Para isso foram datadas e caracterizadas as ocorrências de marés de tempestade quanto às ondas, marés e ventos durante sua ocorrência. Calculou-se a variação da linha de costa por meio do Método do Polígono de Mudança e do DSAS, que representam as variações espaciais de um indicador de linha de costa a partir de modelos espaciais distintos. Os resultados mostram que, de modo geral, houve recuo do limite superior nas duas praias e que o mesmo está relacionado às ocorrências de marés de tempestade. A praia da Armação apresentou recuo de até -4 m/ano no setor norte, com perdas de dunas e vegetação. Na praia de Canasvieiras registrou-se recuo de até -1 m/ano em áreas naturais vegetadas no setor leste. Constatou-se que os eventos de marés de tempestade atingem a praia da Armação quando associados às ondulações de SE e ventos de S. Por outro lado, os eventos na praia de Canasvieiras estão associados às ondulações de NE e ventos de N, tendo em ambas sido registrados os eventos durante a maré de sizígia. A praia da Armação está mais exposta a ocorrência de marés de tempestade, devido à sua orientação espacial, e apresentou um maior número de registro de impactos. Todavia, a praia de Canasvieiras sob condições meteo-oceanográficas particulares pode igualmente apresentar significativo impacto sobre a infraestrutura estabelecida próxima ao limite superior de praia.

**Palavras-chave:** Clima de ondas. Sobreelevação do nível do mar. Método do Polígono de Mudança. Digital Shoreline Analysis System.

## ABSTRACT

Coastal retreat processes in oceanic sandy beaches are commonly related to storm surges and intensified by urbanization on the beach upper limit. Shoreline variability was quantified between 2009 and 2018 in two urbanized beaches in southern Brazil. Both Armação and Canasvieiras beaches have different orientations and exposures to the regional wave climate. The study was carried out based on The Change Polygon Method and the Digital Shoreline Analysis System (DSAS) techniques, two distinct approaches based on different spatial models. The selected storm surges were characterized according to waves, winds and tides during their occurrence. It was concluded that the upper limit retreats in both beaches were induced by storm surges. Due to its orientation, Armação beach is exposed to storm surges with SE waves and S winds. During the analyzed period, the beach showed a retreat up to -4 m/year. On the other hand, the events at Canasvieiras beach were associated with NE waves and N winds. During the analyzed period, this beach showed a retreat up to -1 m/year. All the analyzed storm surges occurred during spring tides. Although Armação beach is more exposed to storm surges due to its orientation, Canasvieiras beach, even being relatively sheltered, can also be impacted depending on the storm surges characteristics.

**Keywords:** Wave climate. Sea level rise. The Change Polygon Method. Digital Shoreline Analysis System.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa da área de estudo. Fonte: Própria do trabalho. ....	16
Figura 2: Incidência de ondas na Ilha de Santa Catarina obtida a partir de modelagem numérica. Fonte: Adaptado de Muler (2012). ....	17
Figura 3: Praia da Armação (com o norte rotacionado em 90°) e posição dos setores propostos nesta pesquisa. Fonte: Google Earth Pro, imagem capturada no dia 20/05/2018. ....	19
Figura 4: Praia de Canasvieiras e posição dos setores propostos nesta pesquisa. Fonte: Google Earth Pro, imagem capturada no dia 20/05/2018. ....	20
Figura 5: Indicadores comumente usados para determinar a linha de costa. Os indicadores C, D e E foram utilizados de forma integrada na presente pesquisa. ....	23
Figura 6: Fluxograma representando as etapas do pré-processamento dos dados. ....	28
Figura 7: Fluxograma representando as etapas de aplicação do Método do Polígono de Mudança. ....	31
Figura 8: Representação da saída em <i>raster</i> gerada pelo <i>software</i> ERDAS com as diferenças entre as linhas de costa de anos distintos (2009 e 2010) para a praia da Armação. ....	31
Figura 9: Fluxograma representando as etapas da aplicação da técnica do DSAS. ....	32
Figura 10: Transectos obtidos a partir do DSAS para a praia da Armação, como exemplo. ...	33
Figura 11: Ponto DOW escolhido para a praia da Armação. ....	38
Figura 12: A) Rosa direcional de onda a partir do ponto DOW. B) Tabela gerada pelo SMC-Brasil com a probabilidade de direção de onda incidente no Ponto DOW para a praia da Armação. ....	38
Figura 13: Histograma de altura de onda a partir do ponto DOW para a praia da Armação. ...	39
Figura 14: Ponto DOW escolhido para a praia de Canasvieiras. ....	39
Figura 15: A) Rosa direcional de onda a partir do ponto DOW. B) Tabela gerada pelo SMC-Brasil com a probabilidade de direção de onda incidente no Ponto DOW para a praia de Canasvieiras. ....	40
Figura 16: Histograma de altura de onda a partir do ponto DOW para a praia de Canasvieiras. ....	41
Figura 17: Representação da variação entre os anos de 2009 e 2010 sobre a imagem de 2010 e de 2010 e 2011 sobre a imagem de 2011. A) Registro do efeito das marés de tempestade de 2010 sobre as construções. Fonte: Lucas Sampaio em 27/05/2010. B) e C) Estrutura construída no ano de 2010 com o intuito de conter a erosão do sul da praia da Armação. ....	42

Figura 18: Representação da variação entre os anos de 2011 e 2012 sobre a imagem de 2012 e de 2012 e 2013 sobre a imagem de 2013. A) e B) Estrutura de madeira construída em 2012 no setor sul da praia da Armação. C) Fotografia do dia 25/04/2019 da estrutura construída no setor central da praia.....	43
Figura 19: Representação da variação entre os anos de 2013 e 2014 sobre a imagem de 2014 e de 2014 e 2015 sobre a imagem de 2015. A) e B) e C) Fotografia do dia 25/04/2019 do setor norte da praia. ....	45
Figura 20: Representação da variação entre os anos de 2016 e 2017 sobre a imagem de 2017 e de 2017 e 2018 sobre a imagem de 2018. A e B) Fotografias do setor norte da praia da Armação após a ocorrência das marés de tempestade em 2017. Fonte: Eveline Poncio e NSC Total, outubro de 2017.....	46
Figura 21: Variação da linha de costa a partir do método estatístico LRR para a praia da Armação.....	47
Figura 22: Taxa de variação da linha de costa determinada pelo método estatístico LRR. A linha em preto representa a tendência de variação dos dados ao longo do arco praial da Armação. ....	47
Figura 23: Deslocamento total da linha de costa obtida pelo método SCE para a praia da Armação.....	48
Figura 24: Gráfico representando o resultado do método estatístico SCE para cada transecto. A linha em preto representa a tendência de variação dos dados ao longo do arco praial da Armação. ....	48
Figura 25: Representação da variação entre os anos de 2016 e 2017 sobre a imagem de 2017 e de 2017 e 2018 sobre a imagem de 2018. A e D) Fotografias aéreas capturadas com Drone no dia 1/06/2019. B) Fotografia do dia 08/03/2019. C, E e F) Fotografias do dia 02/05/2019. ...	50
Figura 26: Variação da linha de costa a partir do método estatístico LRR para a praia de Canasvieiras.....	51
Figura 27: Taxa de variação da linha de costa determinada pelo método estatístico LRR. A linha em preto representa a tendência de variação dos dados ao longo do arco praial de Canasvieiras. ....	52
Figura 28: Variação da linha de costa a partir do método estatístico SCE para a praia de Canasvieiras.....	52
Figura 29: Taxa de variação da linha de costa determinada pelo método estatístico SCE. A linha em preto representa a tendência de variação dos dados ao longo do arco praial de Canasvieiras. ....	52

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1: Grau de exposição dos setores da praia da Armação às ondulações. ....	18
Quadro 2: Grau de exposição dos setores da praia de Canasvieiras às ondulações. ....	18

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Descrição de apoio ao trabalho.....	27
Tabela 2: Datas das imagens selecionadas para as praias da Armação e de Canasvieiras. ....	29
Tabela 3: Datas de ocorrência de marés de tempestade e sua caracterização para a praia da Armação.....	35
Tabela 4: Datas de ocorrência de marés de tempestade e sua caracterização para a praia de Canasvieiras.....	36
Tabela 5: Resultados da variação em área para a praia da Armação.....	41
Tabela 6: Resultados da variação em área para a praia da Canasvieiras. ....	49

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1	Área de estudo .....	16
1.2	Clima de ondas .....	17
1.3	Praia da Armação.....	19
1.4	Praia de Canasvieiras.....	20
1.5	Pergunta de pesquisa.....	20
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>21</b>
2.1	Objetivo Geral .....	21
2.2	Objetivos Específicos .....	21
<b>3</b>	<b>Referencial teórico .....</b>	<b>22</b>
3.1	Marés de tempestade.....	22
3.2	Linha de costa .....	23
3.3	Variabilidade da linha de costa.....	24
3.4	Geotecnologias aplicadas à variação da linha de costa .....	25
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>27</b>
4.1	Etapa 1 .....	27
<b>4.1.1</b>	<b>Resgate e caracterização das marés de tempestade.....</b>	<b>27</b>
4.2	Etapa 2 .....	28
<b>4.2.1</b>	<b>SMC-Brasil.....</b>	<b>28</b>
4.3	Etapa 3 .....	28
<b>4.3.1</b>	<b>Pré-processamento da base cartográfica .....</b>	<b>28</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Quantificação da variação da linha de costa.....</b>	<b>30</b>
4.3.2.1	<i>Método do Polígono de Mudança .....</i>	<i>31</i>
4.3.2.2	<i>Digital Shoreline Analysis System (DSAS).....</i>	<i>32</i>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>35</b>
5.1	Marés de tempestade.....	35
<b>5.1.1</b>	<b>Praia da Armação .....</b>	<b>35</b>

<b>5.1.2</b>	<b>Praia de Canasvieiras .....</b>	<b>36</b>
5.2	SMC-Brasil.....	37
<b>5.2.1</b>	<b>Praia da Armação .....</b>	<b>37</b>
<b>5.2.2</b>	<b>Praia de Canasvieiras .....</b>	<b>39</b>
5.3	Variação da linha de costa .....	41
<b>5.3.1</b>	<b>Praia da Armação .....</b>	<b>41</b>
5.3.1.1	<i>Método do Polígono de Mudança .....</i>	<i>41</i>
5.3.1.2	<i>DSAS.....</i>	<i>46</i>
<b>5.3.2</b>	<b>Praia de Canasvieiras .....</b>	<b>49</b>
5.3.2.1	<i>Método do Polígono de Mudança .....</i>	<i>49</i>
5.3.2.2	<i>DSAS.....</i>	<i>51</i>
5.4	Análise comparativa .....	53
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>55</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>57</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As praias, em geral, são ambientes sedimentares que se modificam em resposta aos processos naturais. Nas praias oceânicas e arenosas a ação das forças físicas se faz sentir de forma mais acentuada e potencialmente mais crítica (MUEHE, 2004; VIEIRA DA SILVA et al., 2016). Fatores como correntes, maré, ondas e ação dos ventos são cruciais no desenvolvimento da morfologia das praias. Entretanto, as maiores mudanças morfológicas geralmente ocorrem durante processos de transferência súbita de energia para o sistema, como durante a ação de marés de tempestade (*storm surges*). Tais fenômenos são gerados pela ação combinada, em maior ou menor grau, de marés astronômicas, ondas grandes e ventos soprando em direção à costa que causam a sobre-elevação do nível do mar (RUDORFF et al., 2014). De acordo com estes autores, efeitos negativos associados às marés de tempestade ocorrem em toda a zona costeira do estado de Santa Catarina, sendo estes predominantemente resultantes dos distúrbios causados por tempestades costeiras associadas a ciclones extratropicais e passagem de frentes frias. Esses eventos afetam a costa de forma atípica e os danos decorrentes dependem das características ambientais, sociais e econômicas de cada setor costeiro (BONETTI et al., 2013).

O crescimento da urbanização é igualmente uma força de efeito reconhecido sobre a estabilidade das praias. No Brasil, a zona costeira concentra aproximadamente 25% da população, em densidade cinco vezes maior que a média nacional (GRUBER et al., 2011; DALINGHAUS et al., 2018), sendo que em Santa Catarina cerca de 68% da população reside nesta zona (RUDORFF, 2014). As construções dentro da faixa costeira de resposta dinâmica às marés de tempestade (em muitos casos erguidas sobre a duna frontal original) criam áreas propensas à ocorrência de desastres devido à alteração que promovem sobre o balanço sedimentar natural da praia. Desta forma, muitas das ocupações em áreas impróprias podem ter desencadeado ou acelerado processos erosivos locais (WISNER et al., 2004; DALINGHAUS et al., 2018), fenômeno que Bonetti et al. (2018) chamaram de “susceptibilidade induzida”.

Durante as últimas décadas o interesse no estudo dos impactos das mudanças globais sobre a zona costeira tem se intensificado devido ao aumento de problemas ambientais relacionados aos processos de retração da linha de costa (WISNER et al., 2004; SHORT & KLEIN, 2016). Dada a grande dinâmica desse sistema o estudo da variação de linha de costa associado a ocorrência de marés de tempestade torna-se relevante para o entendimento dos processos atuantes e possíveis impactos resultantes. Diversos autores indicam que processos

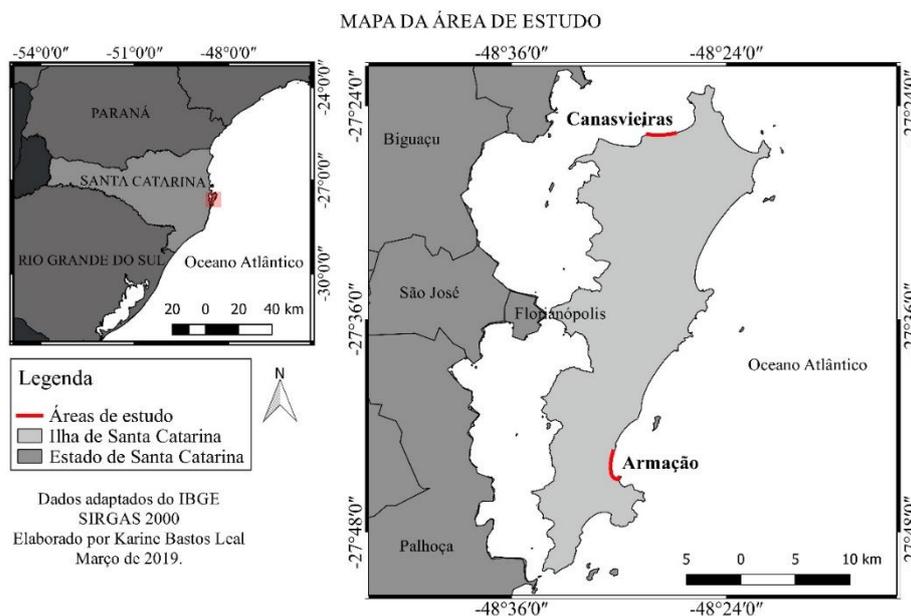
erosivos, muitas vezes associados à retração da linha de costa, vêm ocorrendo nas praias da Ilha de Santa Catarina (ABREU DE CASTILHOS, 1995; HORN FILHO, 1999; MAZZER & DILLENBURG, 2009; CAMARGO, 2012; MULER, 2012; BONETTI et al., 2013; DALBOSCO, 2013; KLEIN et al., 2016; DALINGHAUS et al., 2018; FURTADO, 2018; MUSSI et al., 2018). Todavia, os condicionantes que fazem com que uma determinada praia seja mais susceptível do que outra à retração da linha de costa, em condições meteo-oceanográficas específicas, ainda não foram suficientemente investigados.

Considerando o exposto, o presente trabalho se propõe a analisar características relacionadas à variabilidade da linha de costa em duas praias com orientações distintas quanto a incidência de ondas, praia da Armação e praia de Canasvieiras, situadas na Ilha de Santa Catarina, as quais sofrem intensos processos de retração durante a ocorrência de marés de tempestade.

### 1.1 ÁREA DE ESTUDO

As áreas de estudo localizam-se na Ilha de Santa Catarina, estado de Santa Catarina (SC) abrangendo as praias de Canasvieiras, ao norte, e Armação, ao sul (Figura 1). Foram escolhidas essas praias por existir um importante histórico de retração da linha de costa (ABREU DE CASTILHOS, 1995; HORN FILHO, 1999; MAZZER & DILLENBURG, 2009; CAMARGO, 2012; MULER, 2012; DALBOSCO, 2013).

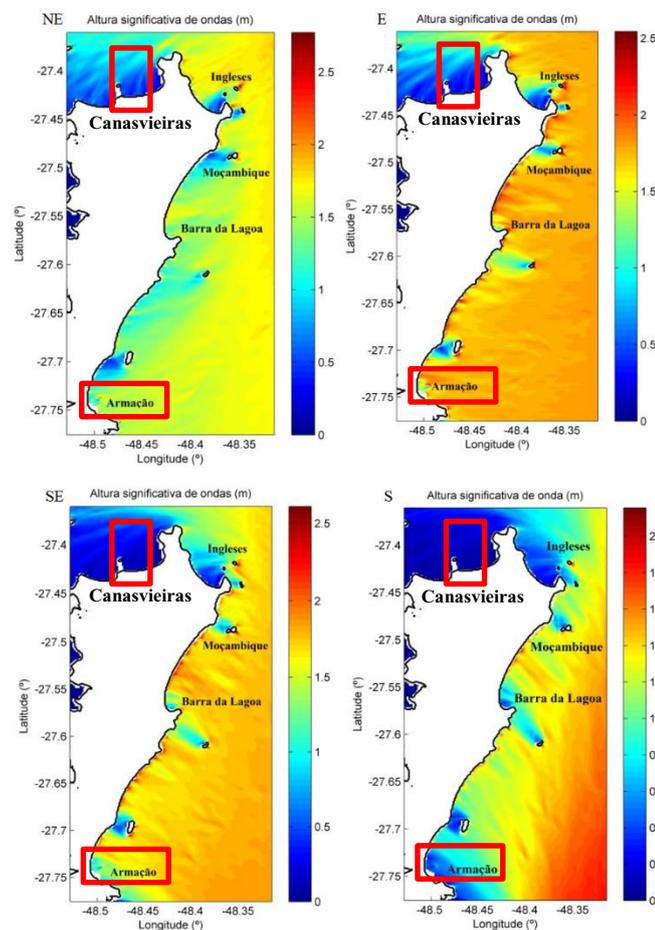
Figura 1: Mapa da área de estudo. Fonte: Própria do trabalho.



## 1.2 CLIMA DE ONDAS

Dados que caracterizam o clima de ondas, sobretudo em relação as ondulações adjacentes à costa, encontram-se em quantidade reduzida no Brasil para utilização em estudos acadêmicos. Nas proximidades da Ilha de Santa Catarina pode-se destacar o trabalho de Araújo et al. (2003), que caracterizaram o clima de ondas local utilizando dados de uma boia posicionada a 35 km da costa, a uma profundidade de aproximadamente 80 m. Os autores encontraram que ondulações dos quadrantes E e S caracterizam o regime principal de ondas, sendo as de S as de maior altura. Muler (2012) e Muler & Bonetti (2014) modelaram e investigaram o clima de ondas para a Ilha de Santa Catarina por meio do modelo SWAN, que estima a propagação de ondas a partir de dados de direção de vento, altura significativa, período de onda e configuração batimétrica do local. A partir disso, foi obtida a incidência das ondas de NE, E, SE e S para o setor oceânico da Ilha de Santa Catarina, as quais podem ser observadas na Figura 2.

Figura 2: Incidência de ondas na Ilha de Santa Catarina obtida a partir de modelagem numérica. Fonte: Adaptado de Muler (2012).



Nota-se que a presença de um promontório faz com que a praia de Canasvieiras (Figura 2) seja abrigada das ondas de SE e S e, receba, mesmo que com pouca energia, incidência de ondas de NE e E. A praia da Armação (Figura 2), por seu turno, está abrigada das ondulações de S e sujeita à ação das ondas de NE, E e SE.

A fim de embasar as discussões sobre as ocorrências de marés de tempestade e a variação da linha de costa, adaptou-se dados obtidos por Muler (2012) para ambas as praias aqui investigadas.

Para a praia da Armação (Quadro 1), a autora classificou o grau de exposição costeira às diferentes direções de incidência de ondas nas praias como segue: setores expostos são áreas não abrigadas por ondas oceânicas e geradas pelo vento localmente; setores semi-expostos são aqueles onde há redução das ondas geradas pelo vento devido a interferência em sua propagação; e setores abrigados ocorrem onde há forte redução na ação dos ventos e das ondas.

Quadro 1: Grau de exposição dos setores da praia da Armação às ondulações.

<b>Grau de exposição às ondulações - Armação</b>			
<b>Direção de onda</b>	<b>Setor Norte</b>	<b>Setor Central</b>	<b>Setor Sul</b>
<b>NE</b>	Semi-exposto	Exposto	Exposto
<b>E</b>	Exposto	Exposto	Semi-exposto
<b>SE</b>	Exposto	Semi-exposto	Semi-exposto a abrigado
<b>S</b>	Abrigado	Abrigado	Abrigado

Fonte: Adaptado de Muler (2012).

O Quadro 2 apresenta os resultados adaptados de Muler (2012) quanto a incidência de onda ao longo dos setores do arco praiial de Canasvieiras, utilizando os mesmos critérios e considerando apenas os pontos cardeais e colaterais, assim como para a praia da Armação.

Quadro 2: Grau de exposição dos setores da praia de Canasvieiras às ondulações.

<b>Grau de exposição às ondulações - Canasvieiras</b>			
<b>Direção de onda</b>	<b>Setor Noroeste</b>	<b>Setor Central</b>	<b>Setor Nordeste</b>
<b>NE</b>	Semi-exposto a abrigado	Semi-exposto a abrigado	Semi-exposto a abrigado
<b>E</b>	Semi-exposto a abrigado	Abrigado	Abrigado
<b>SE</b>	Abrigado	Abrigado	Abrigado
<b>S</b>	Abrigado	Abrigado	Abrigado

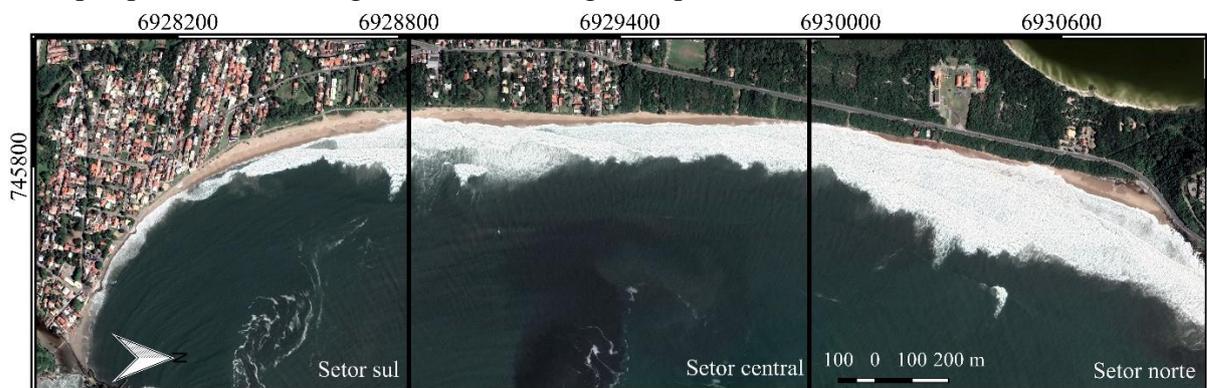
Fonte: Adaptado de Muler (2012).

### 1.3 PRAIA DA ARMAÇÃO

A praia da Armação (Figura 3) é um arco praial parabólico que se localiza no sudeste da Ilha de Santa Catarina, com orientação próxima a norte-sul e aproximadamente 3,5 km de extensão. Predominam areias finas no setor sul da praia, passando a areia grossa e muito grossa em direção ao setor norte. A praia pode apresentar uma sequência de estágios morfodinâmicos distintos, oscilando do estágio dissipativo ao sul, passando de intermediário a refletivo dos setores central ao norte (ABREU DE CASTILHOS, 1995). É exposta às ondulações do quadrante leste (direções NE, L e SE) e apresenta um nível de ocupação passando de ausente a intensa no sentido norte-sul (MAZZER & DILLENBURG, 2009). Alguns trechos ao centro e norte da praia encontram-se urbanizados, com casas construídas sobre a duna frontal. Ao sul há um núcleo pesqueiro tradicional e ocupação consolidada, que sofre prejuízos devido à erosão praial (ABREU DE CASTILHOS, 1995).

Há registros de consecutivos eventos de marés de tempestade que atingiram essa praia no ano de 2010 (CAMARGO, 2012), os quais erodiram consideravelmente o limite superior da mesma, resultando na retração da linha de costa. Com isso, como medida de proteção emergencial às construções, a Prefeitura de Florianópolis construiu um enrocamento ao longo de 1,6 km da praia, iniciando no setor sul do arco praial (MULER, 2012). Camargo (2012) afirma que essa medida de proteção causou alteração da dinâmica natural das correntes longitudinais e transversais que transportam sedimentos e, ainda, alterou o regime de transporte eólico praia-duna.

Figura 3: Praia da Armação (com o norte rotacionado em 90°) e posição dos setores propostos nesta pesquisa. Fonte: Google Earth Pro, imagem capturada no dia 20/05/2018.



#### 1.4 PRAIA DE CANASVIEIRAS

A praia de Canasvieiras (Figura 4) está situada no norte da Ilha de Santa Catarina. Tem aproximadamente 2,4 km de extensão em forma levemente crescente, com orientação leste-oeste. Os setores de pós-praia e antepraia são caracterizados por sedimentos tipicamente arenosos, da classe granulométrica areia fina (HORN FILHO et al, 1999). De acordo com a proposta de Wright & Short (1984), Oliveira et al. (2014) e Klein et al. (2016) classificaram a praia no estágio morfodinâmico refletivo. Quanto às ondulações, a mesma pode ser caracterizada como uma praia semi-protegida (PEREIRA, 2018) pela sua posição geográfica, e limitada à incidência de ondas de NE e E. Praticamente toda a sua orla encontra-se atualmente urbanizada, com edificações construídas sobre as dunas frontais que originalmente encontravam-se fixadas pela vegetação.

Alguns autores descreveram a ocorrência de erosão e conseqüente retração da linha de costa nessa praia (HORN FILHO et al, 1999; PEREIRA, 2018), com predominância principalmente no setor leste. No entanto, no setor centro-leste da praia também foram constatadas evidências erosivas no limite superior de praia. Há registro de eventos erosivos consecutivos no ano de 2017, os quais erodiram o limite superior de praia, expondo até mesmo camadas de turfas depositadas em níveis inferiores do pacote sedimentar (PEREIRA, 2018).

Figura 4: Praia de Canasvieiras e posição dos setores propostos nesta pesquisa. Fonte: Google Earth Pro, imagem capturada no dia 20/05/2018.



#### 1.5 PERGUNTA DE PESQUISA

A diferença de orientação da linha de costa das praias estudadas, que expõem uma às ondulações regionais habituais e semi-protege outra, induz um padrão diferenciado quanto aos

impactos sobre os ambientes naturais e estruturas localmente edificadas no limite superior de praia resultantes da ocorrência de marés de tempestade?

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Analisar a variabilidade da linha de costa das praias da Armação e de Canasvieiras e relacioná-las com sua exposição à ocorrência de marés de tempestade.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Inventariar e caracterizar comparativamente a ocorrência de marés de tempestade que atingiram as praias de Canasvieiras e da Armação no período entre 2009 e 2018;
- Avaliar, com base em dados de reanálise para uma ampla série temporal, as diferenças dos climas de onda locais entre as duas praias investigadas;
- Quantificar a variação de área, deslocamento linear e taxa de variação da linha de costa interanuais das praias estudadas utilizando duas técnicas de análise espacial distintas.

### 3 REFERÊNCIAL TEÓRICO

#### 3.1 MARÉS DE TEMPESTADE

As marés de tempestade estão associadas às ondas de tempestade, bem como a sobre-elevação do nível do mar, por gradientes de pressão atmosférica e ventos que induzem a tensão de cisalhamento na superfície do oceano (CARTER, 1988). Em geral a maré de tempestade é mais intensa quanto maior for a pista de vento (extensão da superfície aquosa sobre a qual há atuação do vento), sua duração e intensidade (RUDORFF, 2005). Apesar de ser a principal forçante, o vento não é o único a determinar a elevação causada por uma maré de tempestade. O nível do mar é controlado pela complexa interação de ventos, pressão atmosférica, ondas, topografia local, como também a velocidade da trajetória, proximidade, duração e intensidade da tempestade na costa (CARTER, 1988; RUDORFF, 2005; DALINGHAUS et al., 2015).

Na Região Sul do Brasil, as marés de tempestade ocorrem durante a passagem de sistemas atmosféricos intensos como as frentes polares atlânticas e os ciclones extratropicais. São ainda mais intensas quando a tempestade se soma as condições de maré de sizígia (presentes em condição de lua nova ou cheia, quando a terra, a lua e o sol estão alinhados, induzindo marés astronômicas mais intensas) (RUDORFF et al. 2014).

São registradas marés de tempestade em todo o estado de Santa Catarina (RUDORFF et al., 2014), sendo mais comum no inverno (CAMARGO et al., 2004). Rudorff et al. (2014) determinaram que no período entre 1997 e 2010 ocorreram seis eventos de marés de tempestade, tornando o município de Florianópolis o mais afetado do estado de Santa Catarina. Em 2010, houve um pico de ocorrências do fenômeno, que resultou em inúmeros prejuízos para a população afetada, sobretudo nesse município, que teve destruídas em várias localidades residências e construções comerciais localizadas próximas à linha de praia. Klein et al. (2006) afirmam que, em Santa Catarina, o principal agente causador da erosão e recuo da linha de costa é a ocupação indevida da orla pelo homem, agravada pelas frequentes marés de tempestade que atingem o estado durante eventos de tempestades tropicais e extratropicais.

DALINGHAUS et al. (2015) destacam que, independentemente do tipo de ambiente praias, as marés de tempestade podem causar retração da linha de costa, porém com maior intensidade conforme o aumento do grau de antropização local (ABREU DE CASTILHOS, 1995; CAMARGO, 2012; PEREIRA, 2018). As marés de tempestade quando provocam erosão,

podem ainda aflorar camadas distintas das praias (SCHWEITZER, 2013), como constatado por Horn Filho (1999) e Pereira (2018).

### 3.2 LINHA DE COSTA

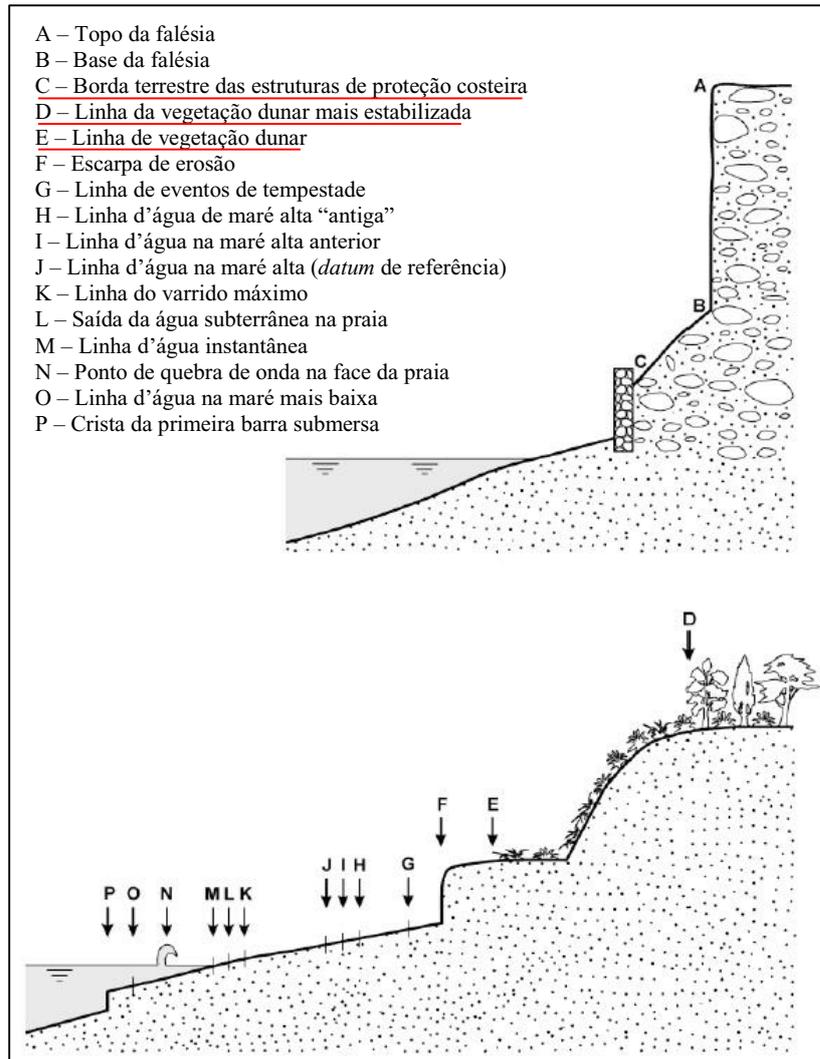
Para Dolan et al. (1980) a linha de costa é definida como sendo a representação das bordas de um corpo d'água. Oertel (2005) acrescenta que, em relação à posição da linha de costa, esta dependerá da atuação de processos que regem a dinâmica costeira como as marés, as condições atmosféricas, a inclinação da praia, a altura de quebra das ondas, entre outros. Stockdon et al. (2002) afirmam que identificar a interface entre terra e água envolve inúmeros pressupostos. Todas as estimativas possuem um erro associado à técnica de mapeamento utilizada e aos pressupostos adotados para definir a linha de costa.

Contudo, devido à grande dinâmica da linha de costa, torna-se necessário classificar indicadores que determinam as linhas perceptíveis na costa, ou seja, as que podem ser vistas fisicamente. Assim, Boak & Turner (2005) propõem diversos indicadores para identificar as diferentes linhas de costa (Figura 5), os quais podem ser feições geomorfológicas resultantes da dinâmica praiial, como também feições antrópicas como enrocamentos, muros, calçadas, entre outros.

A posição da linha de costa e a sua confiabilidade como medida para estimar tendências de longo tempo depende da variabilidade do indicador escolhido frente às condições dinâmicas naturais e antrópicas (ESTEVEZ, 2002). A escolha do indicador deve ser, também, coerente com as escalas adotadas na pesquisa. A qualidade de detecção da linha de costa está relacionada com as feições indicadoras, as técnicas de registro empregadas, do discernimento do operador ao identificar o indicador e dos objetivos propostos ao trabalho (SCHWEITZER, 2013).

Muehe & Oliveira (2014) abordam que o indicador mais preciso é a linha representada por escarpa ou base da duna (limite superior de praia). Os autores afirmam que, para o estudo utilizando imagens orbitais é possível identificar esse indicador pelo nível de contraste entre a praia e a base da duna ou ainda a mudança na topografia, aparecimento de vegetação ou de construções.

Figura 5: Indicadores comumente usados para determinar a linha de costa. Os indicadores C, D e E foram utilizados de forma integrada na presente pesquisa.



Fonte: adaptado de Boak & Turner (2005).

### 3.3 VARIABILIDADE DA LINHA DE COSTA

As mudanças da linha de costa refletem padrões de acreção (avanço/ganho) e de erosão (reco/perda) causados pela complexa interação entre processos naturais e/ou antrópicos que atuam em uma variedade de escalas temporais e espaciais (RUDORFF & BONETTI, 2010). O transporte, a deposição e a erosão de sedimentos (VILLWOCK *et al.*, 1996), bem como as variações do nível relativo do mar e as tempestades estão entre os fatores que influenciam naturalmente a dinâmica costeira e a variabilidade da linha de costa (ABSALONSEN & TOLDO JR., 2007).

Abreu de Castilhos (1995) discute que existe uma estreita interação entre a antepraia, a praia e as dunas frontais, controladas pelo balanço sedimentar, o qual está diretamente relacionado com o recuo e avanço da linha de costa. Nos períodos de predomínio de ondulações, os sedimentos praias são carreados da antepraia para a praia, onde, mobilizados pelos ventos, podem alimentar a construção de uma duna frontal. Por sua vez, durante a atuação de ondas de tempestade, os processos erosivos sobre a praia são atenuados a partir da transferência de material da duna frontal em direção à praia. Essa dinâmica natural pode ser interrompida quando associada às alterações introduzidas pelo homem em cada um destes subambientes. Isso repercutirá sobre o balanço sedimentar e, conseqüentemente, sobre o equilíbrio do perfil praias.

Souza et al. (2005) afirmam que as principais causas de erosão costeira no Brasil são atribuídas a fatores naturais e antrópicos, principalmente, relacionados as elevações relativas do nível do mar em curto prazo (ciclones extratropicais, sistemas frontais e marés astronômicas), a urbanização da orla, a destruição de dunas frontais e a instalação de estruturas rígidas (diques, quebra-mares, entre outros) paralelas ou transversais ao litoral. Trabalhos como o de Muehe (2005) e de Camargo (2012) demonstram que as áreas onde há maior concentração de ocupação, nas quais as características naturais foram modificadas em maior medida, o recuo da linha de costa é mais acentuado.

### 3.4 GEOTECNOLOGIAS APLICADAS À VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA

A determinação do posicionamento da linha de costa e da sua variabilidade podem ser feitas por diferentes técnicas, sendo que a escolha do método depende da disponibilidade de dados, da logística e das escalas espacial e temporal que se pretende analisar. Para as quantificações das variações da linha de costa, são mais comumente utilizadas as fotografias aéreas e as imagens orbitais de alta resolução (ALBUQUERQUE, 2013).

Trabalhos como de Abreu de Castilhos (1995), Rudorff (2005), Muler (2012), Camargo (2012), Albuquerque et al. (2013), Anfuso et al., (2016) e Leal et al. (2018) são exemplos da utilização de distintas aplicações de geotecnologias para a avaliação das variações ocorridas nas linhas de costa. Smith & Cromley (2012) discutem que, qualquer técnica para estimar a variação da linha de costa tem vantagens e desvantagens associadas à geometria computacional.

O método de medição da variação da linha de costa por transectos foi implementado em diferentes estudos (FENSTER et al., 2001; SMITH & CROMLEY, 2012;

ALBUQUERQUE et al., 2013; ANFUSO et al., 2016; SYTNIK et al., 2018), e é comumente usado para analisar processos de acreção e erosão (WRIGHT et al., 2007). O DSAS (*Digital Shoreline Analysis System*) é uma extensão do *software* ArcGIS que permite calcular a variação da linha de costa por meio de estatísticas a partir de múltiplas posições históricas. Utiliza transectos perpendiculares às linhas de costa medidos a partir de uma linha de base (THIELER et al., 2009).

Em contrapartida ao DSAS, a proposta do Método do Polígono de Mudança, em vez de usar transectos pontuais ao longo da linha de costa, baseia-se na subtração entre duas linhas de costa para construir polígonos que representam a perda e ganho de área (SMITH & CROMLEY, 2012; ALBUQUERQUE et al., 2013; ANFUSO et al., 2016; LEAL et al., 2018). Este método caracteriza um parâmetro importante para o estudo da dinâmica costeira em caso de eventos extremos e perdas devido à erosão (ALBUQUERQUE et al., 2013).

Schweitzer (2013) reconhece que, conforme surgem novas tecnologias as possibilidades metodológicas se multiplicam e necessitam que testes independentes comprovem a possibilidade de emprego dessas inovações em estudos costeiros.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia proposta foi aplicada para as praias da Armação e de Canasvieiras, a fim de responder os objetivos propostos (Tabela 1).

Tabela 1: Descrição de apoio ao trabalho.

Objetivo geral		
Analisar a variabilidade da linha de costa das praias da Armação e de Canasvieiras e relacioná-las com sua exposição à ocorrência de marés de tempestade.		
Objetivo específico	Perguntas	Etapa da metodologia
Inventariar e caracterizar comparativamente a ocorrência de marés de tempestade que atingiram as praias de Canasvieiras e da Armação no período entre 2009 e 2018	Quais as datas de ocorrência das marés? Quantos eventos ocorreram em cada praia? Meses de maior ocorrência? Ocorrem nos mesmos dias? Ocorrem nos mesmos meses/estações?	Etapa 1
Avaliar, com base em dados de reanálise para uma ampla série temporal, as diferenças dos climas de onda locais entre as duas praias investigadas	As ondas que incidem nas praias são da mesma direção? Qual a direção de onda mais frequente? Qual a altura de onda mais frequente? Qual a máxima maré nas marés de tempestade? São iguais para as duas praias?	Etapa 1 Etapa 2
Quantificar a variação de área, deslocamento linear e taxa de variação da linha de costa interanuais das praias estudadas utilizando duas técnicas de análise espacial distintas	Qual o recuo na praia da Armação e na praia de Canasvieiras? As ondas nas marés de tempestade retraem o LSP na mesma intensidade?	Etapa 1 Etapa 3

### 4.1 ETAPA 1

#### 4.1.1 Resgate e caracterização das marés de tempestade

Como etapa inicial da pesquisa foi realizado um inventário com o intuito de identificar ocorrências de marés de tempestade que impactaram o limite superior de praia (LSP) entre 2009 e 2018 nas praias investigadas. Primeiramente buscou-se registros junto a Diretoria Municipal de Defesa Civil de Florianópolis. Após, realizou-se pesquisas em sites na Internet (Notícia do Dia, ClicRBS, entre outros), onde foram encontradas diversas notícias registradas ou não pela

Defesa Civil. Utilizou-se, também, ferramentas de busca direcionadas à produção acadêmica (Portal de Periódicos da CAPES, Scopus, Web of Science e Google Acadêmico) a fim de encontrar trabalhos que já houvessem descrito eventos nos locais estudados.

Tendo por base o conjunto de dados obtidos, caracterizou-se os eventos quanto: 1) à maior altura significativa de onda ( $H_s$ ), à média das  $H_s$  e à direção de onda registradas nos dias dos eventos, com base no modelo NOAA WAVEWATCH III (NWW3); 2) ao intervalo de variação da maré astronômica de acordo com a Tábua de Marés da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN); 3) às fases da lua; e 4) à maior velocidade do vento, à média da velocidade do vento e sua direção registradas nos dias dos eventos, utilizando a plataforma *online* WindGuru.

## 4.2 ETAPA 2

### 4.2.1 SMC-Brasil

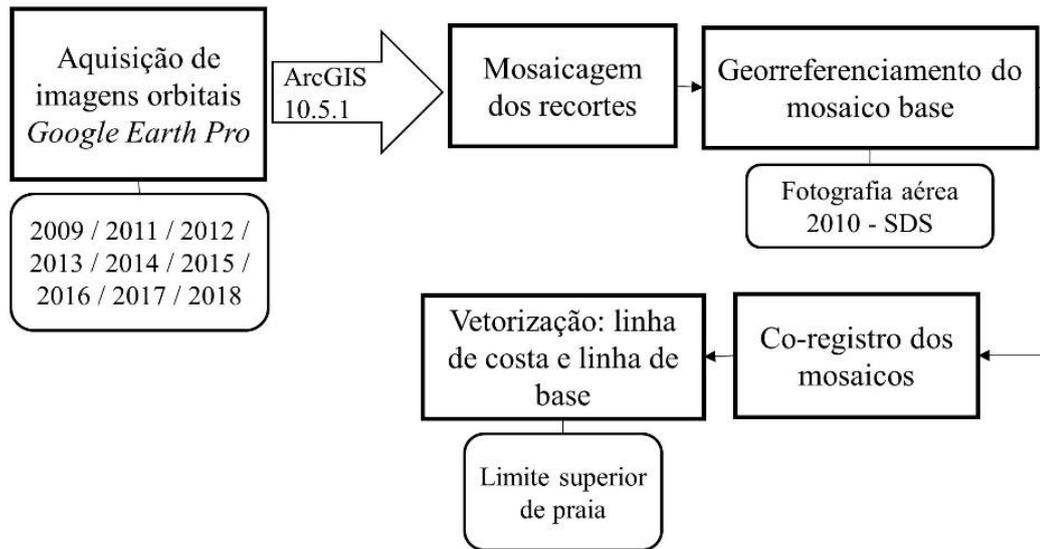
A fim de caracterizar o clima de ondas atuante em cada uma das praias investigadas utilizou-se o *software* SMC-Brasil (Sistema de Modelagem Costeira) (GONZÁLEZ et al., 2007), o qual dispõe de uma série de 60 anos de dados horários de onda (1948 - 2008), obtidos a partir de reanálise de dados meteorológicos. Primeiramente foram escolhidos pontos DOW (*Downscaled Ocean Waves*) correspondentes às “boias virtuais” (onde estão inseridas as séries de dados), estando estes localizados em profundidades em torno de 13,8 m para a praia da Armação e 5,7 m para a praia de Canasvieiras. Para estes pontos obteve-se descritores considerados representativos do clima de ondas local. Foram igualmente extraídos os histogramas de altura de ondas (frequência de ocorrência x  $H_s$ ), os gráficos de rosa direcional de ondas ( $H_s$ ) (direção predominante de incidência de ondas) e a tabela de probabilidade de direção de onda incidente no Ponto DOW com a  $H_s$  como variável de medida.

## 4.3 ETAPA 3

### 4.3.1 Pré-processamento da base cartográfica

A Figura 6 apresenta as etapas da metodologia adotadas no pré-processamento das imagens orbitais de alta resolução espacial e da vetorização das linhas de costa.

Figura 6: Fluxograma representando as etapas do pré-processamento dos dados.



Primeiramente foram adquiridas imagens orbitais através do *software* Google Earth Pro. São disponibilizadas imagens de dois satélites para a área de estudo e período determinado. O satélite QuickBird possui resolução espacial de 0,61 m no sensor pancromático e 2,4 m no multiespectral. Foi lançado em 2001 e desativado no ano de 2015. O satélite GeoEye apresenta 0,41 m de resolução espacial no sensor pancromático e 1,6 m no multiespectral. Em 2008 foi lançado e ainda está em órbita fornecendo imagens de alta resolução.

A Tabela 2 apresenta as datas das imagens selecionadas para as áreas de estudo. Foi escolhida uma imagem por ano dando preferência, de acordo com a disponibilidade, para as estações de outono ou inverno visando a padronização dos dados. Além disso, as mesmas representam os meses onde mais comumente se registra a ocorrência de marés de tempestade no estado (RUDORFF et al., 2014).

Tabela 2: Datas das imagens selecionadas para as praias da Armação e de Canasvieiras.

<b>Data das imagens Armação</b>	<b>Data das imagens Canasvieiras</b>
11/07/2009	30/06/2009
04/06/2011	28/05/2011
24/06/2012	19/09/2012
01/02/2013	21/06/2013
28/05/2014	01/06/2014
01/06/2015	28/06/2015

22/05/2016	22/05/2016
17/06/2017	22/04/2017
20/05/2018	20/05/2018

---

Com o intuito de obter uma representação precisa da linha de costa, foram adquiridos cinco recortes para cada ano com altitude do ponto de visão de 1 km. Sendo assim, foi necessário fazer a etapa de mosaicagem. Para isso, utilizou-se a função de georreferenciamento do *software* ArcGIS 10.5.1 para sobrepor os recortes e, após, a função *Mosaic to New Raster* para criar os mosaicos. Assim, foi possível georreferenciar o mosaico mais antigo com base no ortofotomosaico disponibilizado pela Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável do Governo de Santa Catarina (SDS) de 2010, que também está incluído na série temporal de análise. Nesse processo, como forma de referenciamento espacial, foi empregado o Sistema de Coordenadas UTM (*Universal Transversa de Mercator*), que utiliza coordenadas em representação métrica, o Datum de referência SIRGAS 2000 e a Zona 22S. Então, realizou-se a etapa de co-registro dos outros mosaicos tendo o mais antigo como imagem-base, a fim de garantir a coincidência espacial entre todos utilizados. Obteve-se o RMSE (*Root Mean Square Error*) de aproximadamente 0,3 m para todos os mosaicos.

Em seguida realizou-se a vetorização das linhas de costa na escala de 1:1500, para cada um dos mosaicos em todos os anos analisados, a partir da digitalização manual em tela. Foram considerados três dos indicadores de linha de costa destacados por Boak & Turner (2005), denominados *Landward edge of shore protection structure* (Limite terrestre das estruturas de proteção costeira); *Seaward stable dune vegetation line* (Linha da vegetação dunar estabilizada em direção ao mar); e *Seaward dune vegetation line* (Linha de vegetação dunar em direção ao mar). Como esses três descritores estão inseridos no mesmo limite de linha de costa nas praias estudadas considerou-se o termo limite superior de praia (LSP), como correspondente à linha máxima de alcance do mar. Foi vetorizada, também, uma linha de base (*baseline*) no setor de antepraia, tendo esta sido utilizada nas duas técnicas propostas para a quantificação da variação da linha de costa.

#### 4.3.2 Quantificação da variação da linha de costa

Foram utilizadas duas técnicas para quantificar a variação da linha de costa em ambas as praias e ao longo do período analisado. Justifica-se esta opção pelo fato dos resultados

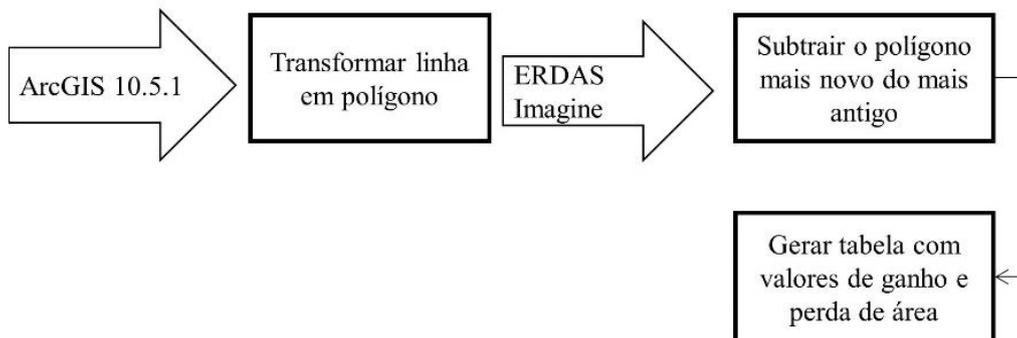
fornecidos por cada uma representarem aspectos distintos relacionados à mobilidade da linha de costa. Desta forma, buscou-se ampliar as possibilidades de exploração dos dados obtidos a partir da digitalização das imagens, visando-se um quadro mais robusto do recuo da linha de costa devido ao impacto de marés de tempestade.

#### 4.3.2.1 Método do Polígono de Mudança

A primeira técnica utilizada para quantificar a variação da linha de costa em área é conhecida como o Método do Polígono de Mudança (*The Change Polygon Method*) proposto por Smith & Cromley (2012). A

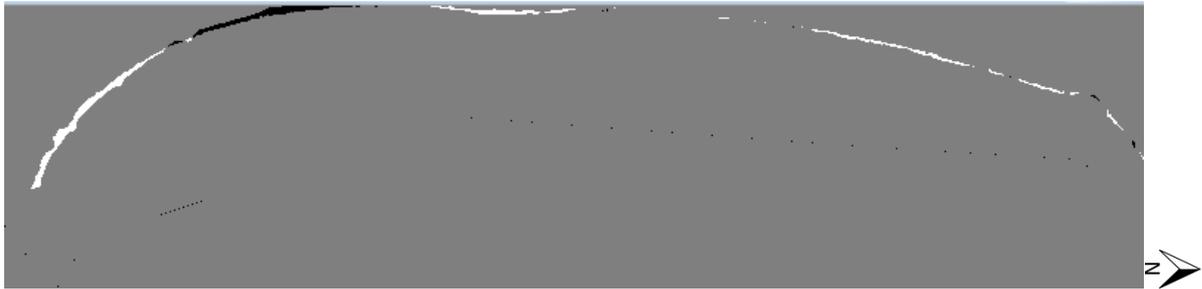
Figura 7 representa as etapas para sua aplicação.

Figura 7: Fluxograma representando as etapas de aplicação do Método do Polígono de Mudança.



O Método do Polígono de Mudança consiste na subtração entre dois polígonos da linha de costa resultando na variação, neste caso do LSP, em metros quadrados. Para isso, transformaram-se os vetores de linhas para polígonos a partir de uma linha base e dois transectos perpendiculares às linhas. Logo, transformou-se os polígonos em *raster* e, assim, no *software* ERDAS Imagine subtraiu-se em pares o ano mais novo do ano mais antigo (e.g., 2010 – 2009). Assim, obteve-se um *raster* de saída (Figura 8) indicando o ganho (branco) e perda (preto) da linha de costa. Por fim, as diferenças foram representadas em mapas e os resultados de área (m<sup>2</sup>) em uma tabela.

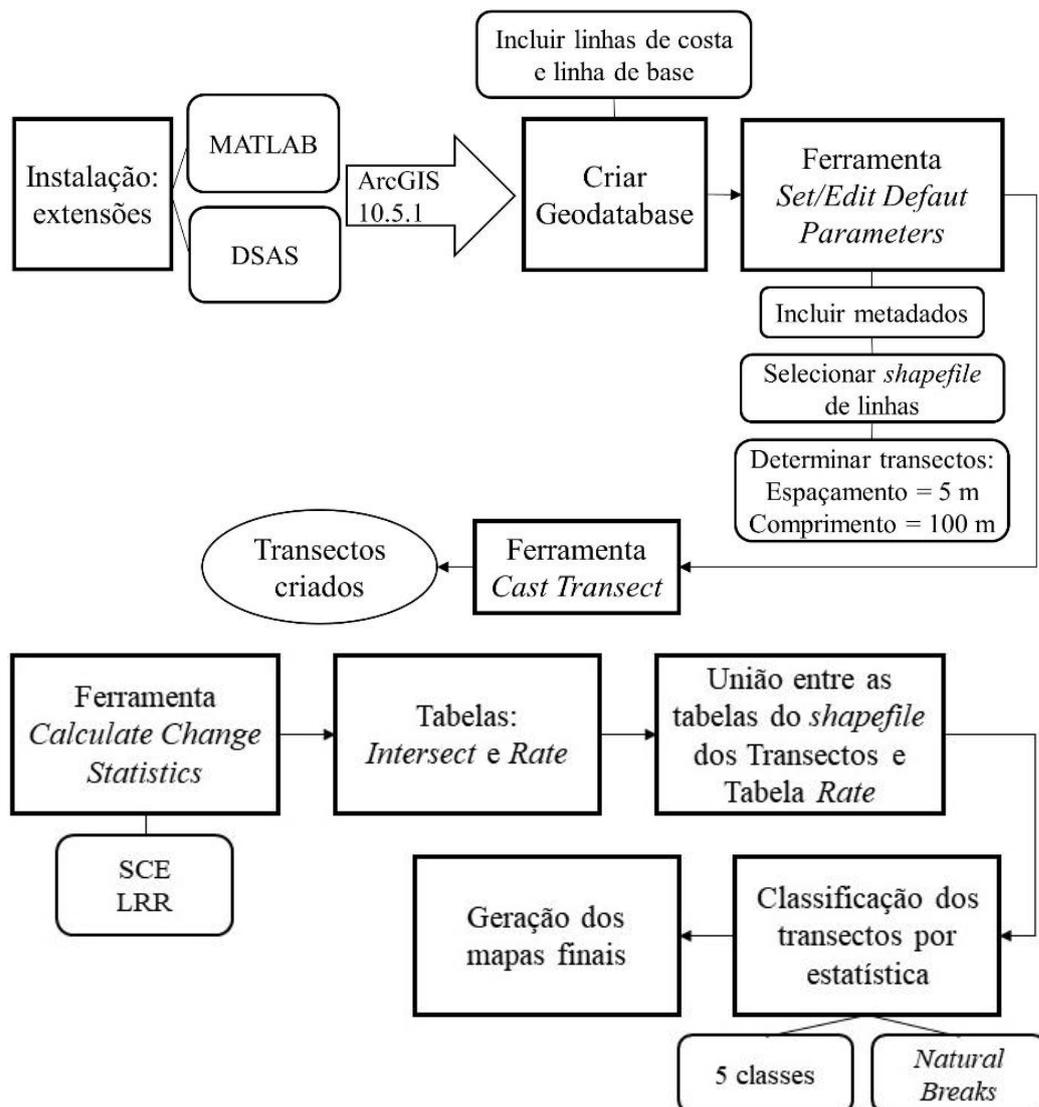
Figura 8: Representação da saída em *raster* gerada pelo *software* ERDAS com as diferenças entre as linhas de costa de anos distintos (2009 e 2010) para a praia da Armação.



#### 4.3.2.2 Digital Shoreline Analysis System (DSAS)

Utilizou-se, como segunda técnica, a extensão *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) versão 4.4 (THIELER et al., 2009) associada ao *software* ArcGIS 10.5.1 desenvolvido pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS). As etapas estão descritas na Figura 9.

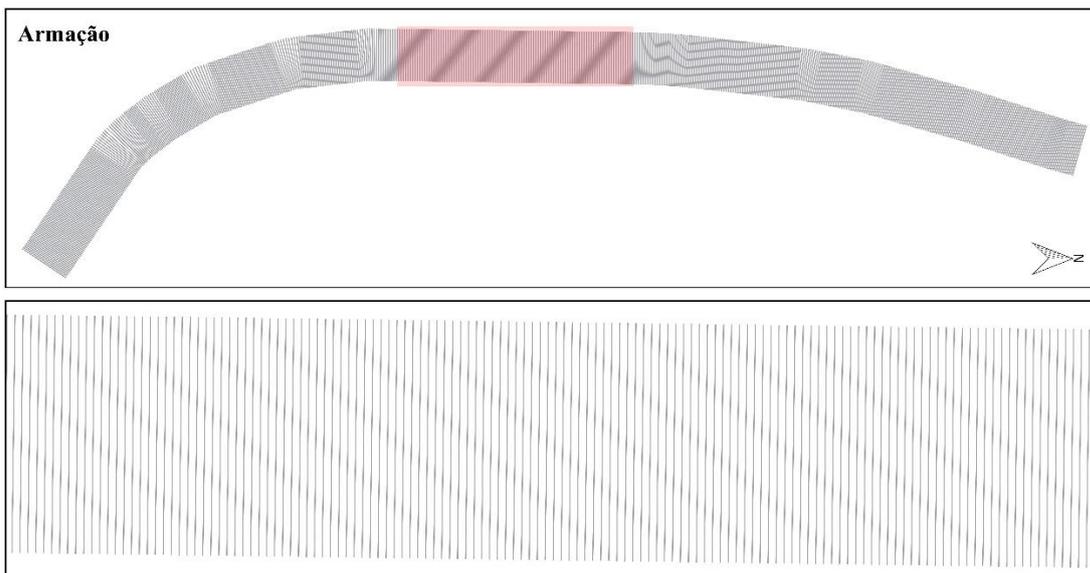
Figura 9: Fluxograma representando as etapas da aplicação da técnica do DSAS.



O DSAS tem como intuito calcular variações entre dados vetoriais no formato linha para uma série temporal. Portanto, foi necessário instalar duas extensões ao ArcGIS, primeiramente a extensão do MATLAB e, após, a extensão do DSAS, ambas disponibilizadas no manual descrito por Himmelstoss (2009).

Tendo isso, no ArcGIS 10.5.1 criou-se um *geodatabase* com o propósito de adicionar todos os dados em uma única base, incluíram-se, então, as linhas vetorizadas. A partir disso, na função *Set Default Parameters*, identificou-se a linha base como *offshore*, localizou-se o *shapefile* de linhas de costa, determinou-se transectos com espaçamentos de 5 metros e comprimento de 100 metros e adicionaram-se os metadados. Através da função *Cast Transect* criaram-se os transectos (Figura 10), dando subsídio para os cálculos estatísticos. Após, o arquivo dos transectos foi transformado para o formato *shapefile*.

Figura 10: Transectos obtidos a partir do DSAS para a praia da Armação, como exemplo.



Entre diversas análises possíveis com o DSAS está o cálculo da variação da linha de costa, que permite obter resultados de diferentes métodos estatísticos através dos transectos estabelecidos. Neste trabalho, foram utilizados os seguintes métodos: *Shoreline Change Envelope* (SCE), o qual fornece a distância em metros entre a linha mais próxima e a linha mais distante da linha base (maior distância entre as linhas, ou seja, a maior variação ocorrida no período); e *Linear Regression Rate* (LRR), que gera uma regressão linear, ou seja, busca estimar o comportamento de uma variável dependente (y), neste caso a posição da linha de costa até a *baseline*, em relação a uma outra variável (data) por meio de uma função linear. Sua vantagem é que todos os dados entram no cálculo (HIMMELSTOSS, 2009; MULER, 2012).

As estatísticas são geradas em duas tabelas *Rate* e *Intersect*, a primeira foi associada ao *shapefile* dos transectos. Assim, puderam-se classificar os transectos de acordo com cada estatística gerada. Optou-se por cores que melhor representassem as variações ocorridas. Para a representação da estatística LRR considerou-se uma classificação com valores entre -0,20 e 0,20 metros como estabilidade, valores inferiores a -0,20 metros como recuo e valores acima de 0,20 metros como avanço da linha de costa. Teve-se como finalidade representar os tons avermelhados como recuo da linha de costa, a cor amarela para a estabilidade da praia e os tons em verde para o avanço da linha. Para a estatística SCE utilizou-se o método de aproximação “Quebra Natural” (*Natural Breaks*) desenvolvido por Jenks (1977). Este método ajusta os limites das classes de acordo com a distribuição dos dados, identificando pontos de quebra entre elas, neste caso, cinco classes.

Foram elaborados, além dos mapas finais, gráficos no Excel com o propósito de representar de forma diferenciada os resultados obtidos a partir de cada método estatístico. Optou-se por gráficos de barras, tendo o eixo y a variável da distância em metros ou metros/ano obtida nas estatísticas e no eixo x os 709 transectos para a praia da Armação e 468 para a praia de Canasvieiras.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 MARÉS DE TEMPESTADE

#### 5.1.1 Praia da Armação

A Tabela 3 apresenta o inventário e a caracterização das marés de tempestade ocorridas no período entre 2009 e 2018 para a praia da Armação. Ressalta-se que foram selecionadas as  $H_s$  (alturas significativas de onda) máximas registradas nos dias dos eventos e as médias dessas  $H_s$ . Como os valores são baseados no modelo NOAA WAVEWATCH III (NWW3), desenvolvido para a propagação de ondas em águas profundas e intermediárias, os mesmos não necessariamente expressam as ondas que efetivamente atingem a praia. Quanto à variação de maré astronômica, destacou-se a menor e a maior registrada no período. A direção do vento seguiu a mesma forma de representação das ondas, considerando-se a maior velocidade do vento registrada nos dias dos eventos e sua média.

Tabela 3: Datas de ocorrência de marés de tempestade e sua caracterização para a praia da Armação.

Marés de tempestade	Direção de onda	Maior $H_s$ (m)	Média das $H_s$ (m)	Maré astron. (m)	Fase da lua	Direção do vento	Maior velocidade do vento (km/h)	Média da velocidade do vento (km/h)
05 a 10 março/2010	E	4,2	2,7	0,5 a 1,2	Cheia Minguante	S e SE	25,9	12,2
04 a 10 abril/2010	SE e S	5	3,7	0,4 a 1,3	Cheia Minguante	S	51,9	29,3
07 a 30 maio/2010	E, SE e S	4,5	2,7	0,1 a 1,4	Cheia Minguante Crescente Nova	S e SE	48,1	21,6
26 a 30 maio/2011	SE e S	5,5	3,5	0,2 a 1	Minguante	S	20,3	16,2
17 a 22 maio/2012	SE	2,8	2,4	0,2 a 1,2	Nova	N	11,1	8,3
19 e 27 julho/2013	SE	3,5	2,8	0,1 a 1,1	Cheia	SW e S	25,9	14
28 a 31 outubro/2016	SE e S	5,1	3,2	0,2 a 1,2	Minguante Nova	SE e N	25,9	16,1
14 a 18 - 22 a 24 maio/2017	E e SE	3,4	2,4	0,1 a 1,2	Cheia Minguante	NE e S	25,9	12,9
09 a 16 agosto/2017	SE e S	4,3	2,7	0,2 a 1,2	Cheia Minguante	N	20,3	12,6
22 a 26 Outubro/2017	SE e S	3,4	2,4	0,2 a 1,2	Nova	N	22,2	11,9

Fonte: Diretoria Municipal de Defesa Civil (Florianópolis); Pesquisas *online*; Modelo NOAA WAVEWATCH III (NWW3); Tábua de Maré da Diretoria de Hidrografia e Navegação; e Plataforma *online* WindGuru.

Nota-se que, nos meses de outono as marés de tempestade foram mais frequentes, seguidos dos meses de inverno, verão e primavera, respectivamente. Quanto à frequência de direção de ondas registradas durante a ocorrência de marés de tempestade, destacam-se as ondulações oriundas de SE. É relevante ressaltar que as ondas apresentaram alturas máximas superiores até que 5 m, com média de 4,2 m para o período. A média das  $H_s$  ficou entre 2,4 e 3,7 m. As amplitudes de maré foram em torno de 1 m, com máxima de 1,4 em maio de 2010. Todos os eventos, à exceção de maio de 2011, ocorreram em condição de sizígia. Os ventos máximos foram superiores até que 51 km/h, com média de 27,8 km/h para o período. A média da velocidade do vento por evento ultrapassou 29,3 km/h.

### 5.1.2 Praia de Canasvieiras

A Tabela 4 apresenta o inventário e a caracterização das marés de tempestade ocorridas no período entre 2009 e 2018 para a praia de Canasvieiras. Ressalta-se que a caracterização das marés de tempestade segue a mesma sequência da apresentada para a praia da Armação.

Tabela 4: Datas de ocorrência de marés de tempestade e sua caracterização para a praia de Canasvieiras.

Marés de tempestade	Direção de onda	Maior $H_s$ (m)	Média das $H_s$ (m)	Maré astron. (m)	Fase da lua	Direção do vento	Maior velocidade do vento (km/h)	Média da velocidade do vento (km/h)
12 a 15 fevereiro/2017	NE	2,8	2,4	0,2 a 1,2	Cheia	N	22,2	16
25 e 26 abril/2017	NE	3	2,3	0 a 1,3	Minguante Nova	N	27,8	17,2
19 a 21 - 25 a 27 maio/2017	NE	4,3	2,8	0,1 a 1,2	Minguante Nova	NE e S	29,6	22,9
15 e 16 julho/2017	NE	2,3	2	0,3 a 1,0	Cheia Minguante	N	18,5	14,8
10 a 23 setembro/2017	NE	2,9	2,1	0,1 a 1,2	Cheia Minguante Nova	N	20,3	11
17 a 20 outubro/2017	NE	2,5	2,1	0,1 a 1,2	Minguante Nova	N	22,2	12

Fonte: Diretoria Municipal de Defesa Civil (Florianópolis); Pesquisas *online*; Modelo NOAA WAVEWATCH III (NWW3); Tábua de Maré da Diretoria de Hidrografia e Navegação; e Plataforma *online* WindGuru.

Constata-se que, nesta praia, as marés de tempestade foram mais frequentes nos meses de inverno, seguido dos meses de outono, primavera e verão. Quanto a direção das ondulações, foram registradas apenas incidentes de NE. A máxima altura de onda passou de 4 m em maio de 2017, sendo a média para os eventos de todo o período de 2,9 m. Em relação à variação de maré, a máxima registrada foi de 1,3 m em abril de 2017. Ressalta-se que em todos os eventos a mesma estava associada à maré de sizígia. Os ventos predominaram de N com máxima acima de 29,6 km/h no período e média acima de 22 km/h.

Dessa forma, identifica-se que, comparativamente, a praia da Armação foi impactada por maior número de eventos: dez contra seis na praia de Canasvieiras. Nesta última, não foi registrado nenhum evento anterior a 2017, considerando-se o intervalo aqui investigado: 2009-2018. Nota-se ainda que, curiosamente, os eventos de marés de tempestades ocorreram de forma alternada nas duas praias no ano de 2017. Quando os ventos predominaram de S/SE assim como ondulações de SE, foram registradas marés de tempestade na praia da Armação. Contudo, quando associados aos ventos de N e ondulações de NE, foram evidenciados eventos na praia de Canasvieiras.

## 5.2 SMC-BRASIL

### 5.2.1 Praia da Armação

A Figura 11 representa em vermelho o ponto DOW escolhido para a praia da Armação, do qual foram extraídos a rosa direcional de ondas (direção predominante de incidência de ondas), o histograma de altura de ondas (frequência de ocorrência x  $H_s$ ) e a tabela de probabilidade de direção de onda com a  $H_s$  como variável de medida. O ponto encontra-se em uma profundidade de aproximadamente 13,8 m.

A Figura 12A representa a rosa direcional de onda a partir do ponto DOW. Nota-se que há o predomínio de ondulações de ESE seguida de ondulações de E. As ondulações mais frequentes de NE (MULER, 2012) não são observadas na rosa, dado que, para o SMC-Brasil foram modelados apenas ventos globais, que geram ondulações distantes da costa. Neste caso, os ventos locais que geram as ondas de NE não são considerados (SILVA et al. 2014). A Figura 12B apresenta a probabilidade de direção de onda incidente no ponto DOW. Constata-se que, a principal direção é de ESE seguida de E, SE, ENE e NE.

Figura 11: Ponto DOW escolhido para a praia da Armação.

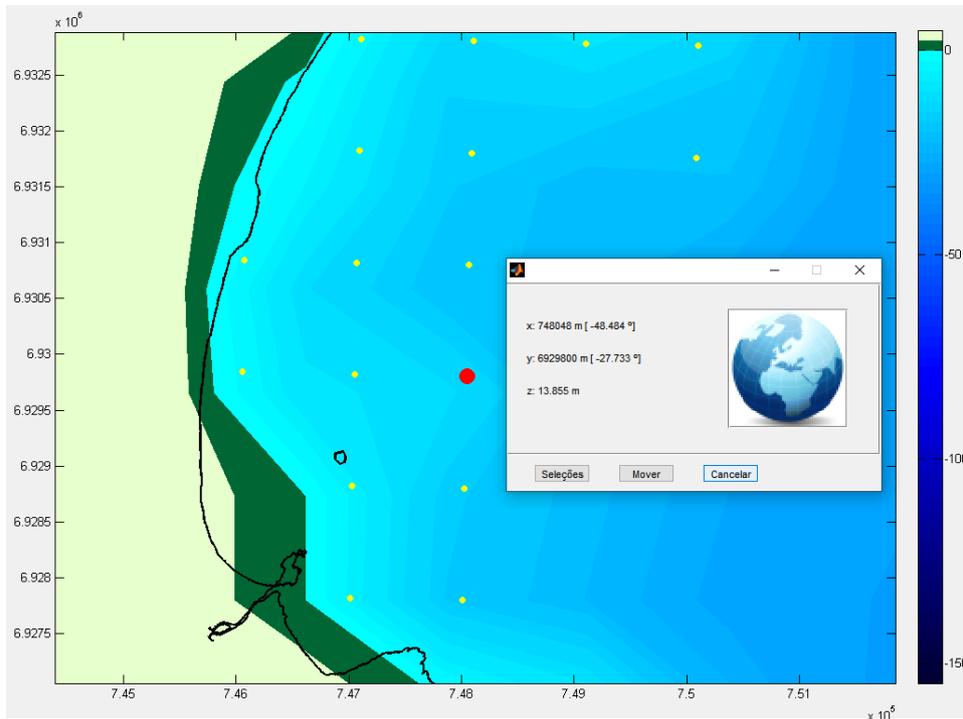
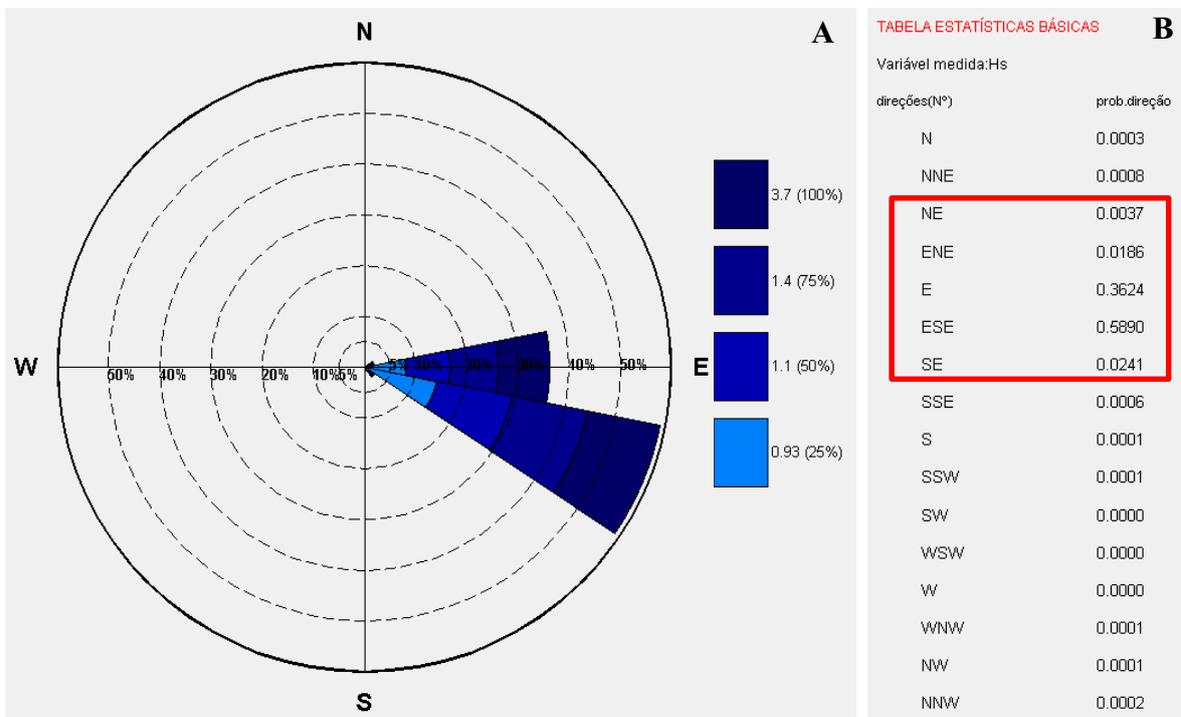
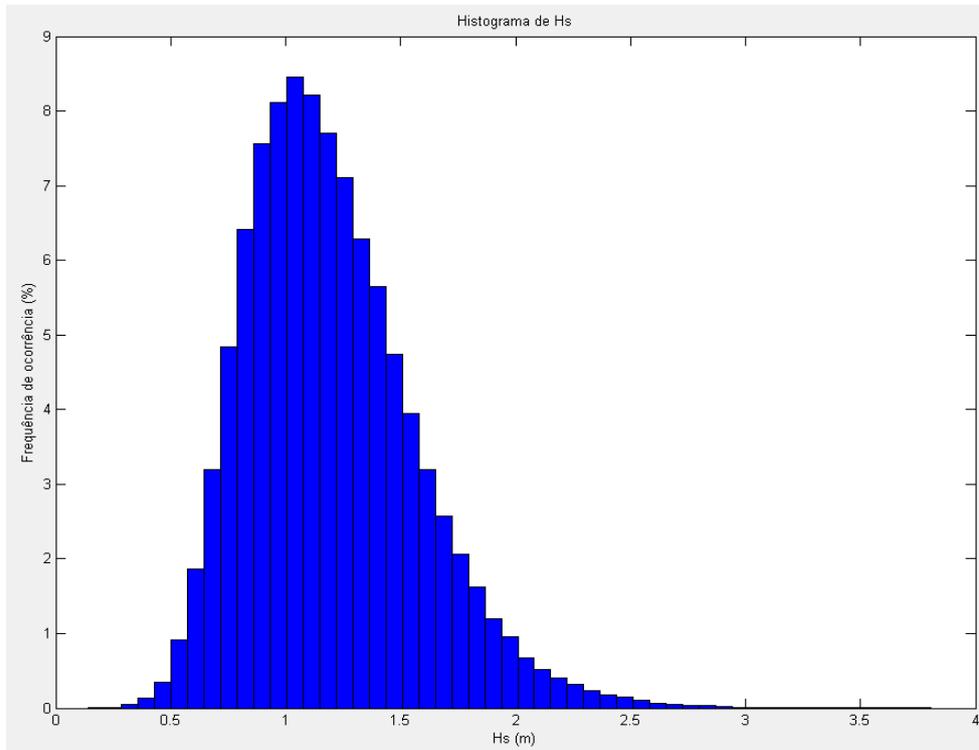


Figura 12: A) Rosa direcional de onda a partir do ponto DOW. B) Tabela gerada pelo SMC-Brasil com a probabilidade de direção de onda incidente no Ponto DOW para a praia da Armação.



A Figura 13 representa o histograma de altura de onda a partir do ponto DOW. A maior frequência de onda ocorre em torno de 1 m de altura. No entanto, constata-se ondas menores que 0,5 m e maiores que 3,5 m.

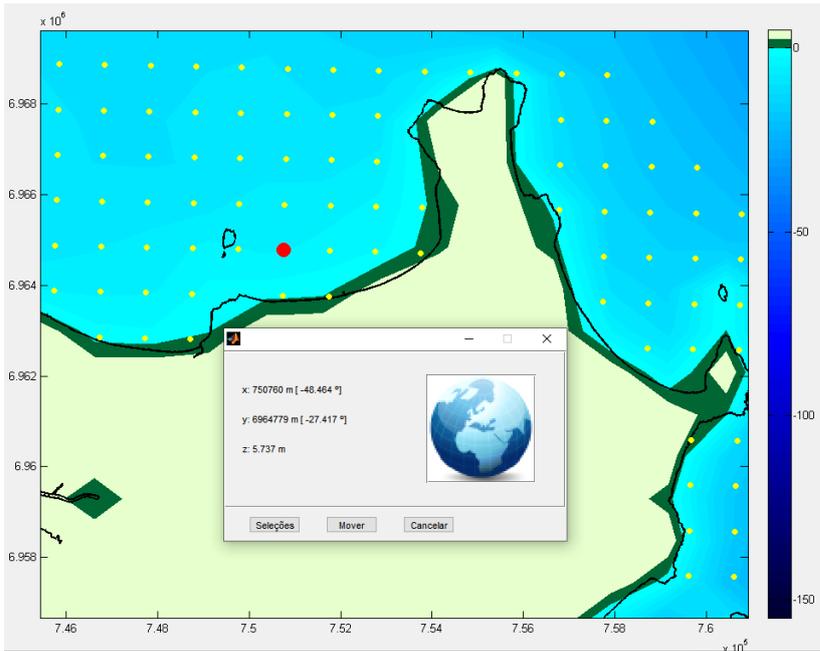
Figura 13: Histograma de altura de onda a partir do ponto DOW para a praia da Armação.



### 5.2.2 Praia de Canasvieiras

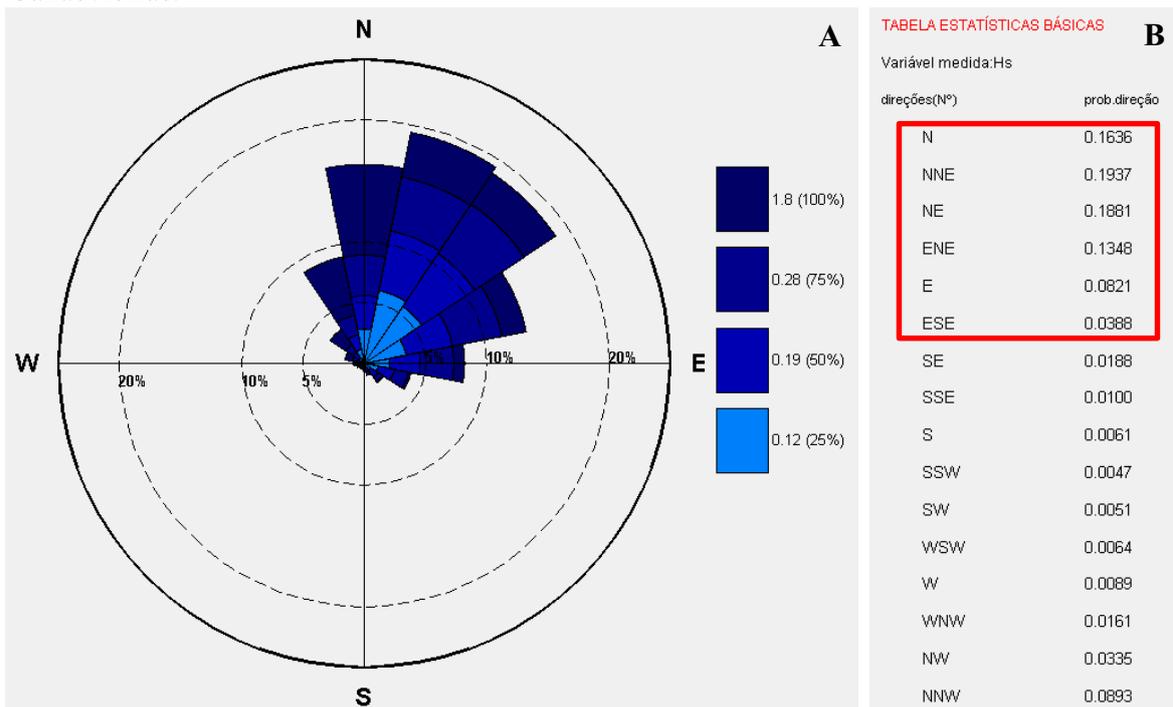
A Figura 14 representa em vermelho o ponto DOW para a praia de Canasvieiras, do qual foram extraídos, igualmente, a rosa direcional de ondas (direção predominante de incidência de ondas) e o histograma de altura de ondas (frequência de ocorrência x  $H_s$ ) e a tabela de probabilidade de direção de onda com a  $H_s$  como variável de medida. O ponto DOW encontra-se em uma profundidade de aproximadamente 5,7 m.

Figura 14: Ponto DOW escolhido para a praia de Canasvieiras.



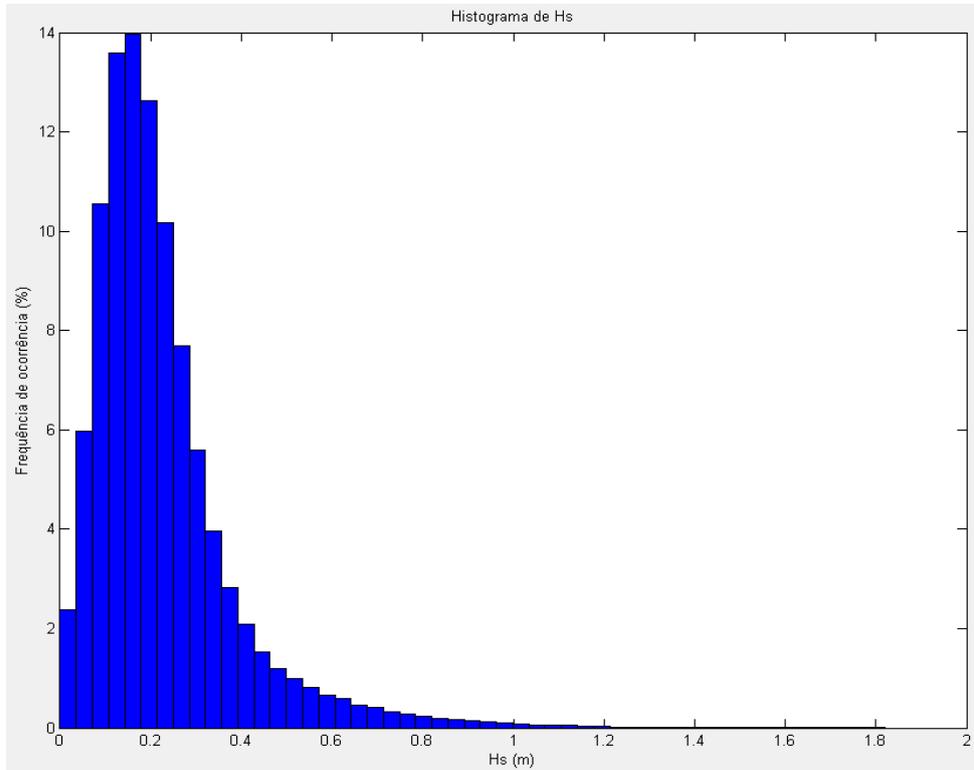
A Figura 15A representa a rosa direcional de onda a partir do ponto DOW. Nota-se que há o predomínio de ondulações de NNE seguidas de ondulações de NE e N. A Figura 15B apresenta a probabilidade de direção de onda incidente no ponto DOW. Constata-se que, a principal direção é de NNE seguida de NE, N, ENE, E e ESE.

Figura 15: A) Rosa direcional de onda a partir do ponto DOW. B) Tabela gerada pelo SMC-Brasil com a probabilidade de direção de onda incidente no Ponto DOW para a praia de Canasvieiras.



A Figura 16 representa o histograma de altura de onda a partir do ponto DOW. A maior frequência de onda ocorre em 0,2 m de altura, no entanto constata-se ondas maiores até que 1,8 m.

Figura 16: Histograma de altura de onda a partir do ponto DOW para a praia de Canasvieiras.



Comparativamente, na praia da Armação as  $H_s$  são, em geral, mais altas do que na praia de Canasvieiras. Na primeira as ondulações são predominantes de ESE e E, por outro lado, na segunda as ondulações predominam de NNE seguido de NE.

## 5.3 VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA

### 5.3.1 Praia da Armação

#### 5.3.1.1 Método do Polígono de Mudança

A Tabela 5 apresenta os resultados quantitativos da variação em área obtidos a partir da aplicação do Método do Polígono de Mudança para cada par de resultados anuais.

Tabela 5: Resultados da variação em área para a praia da Armação.

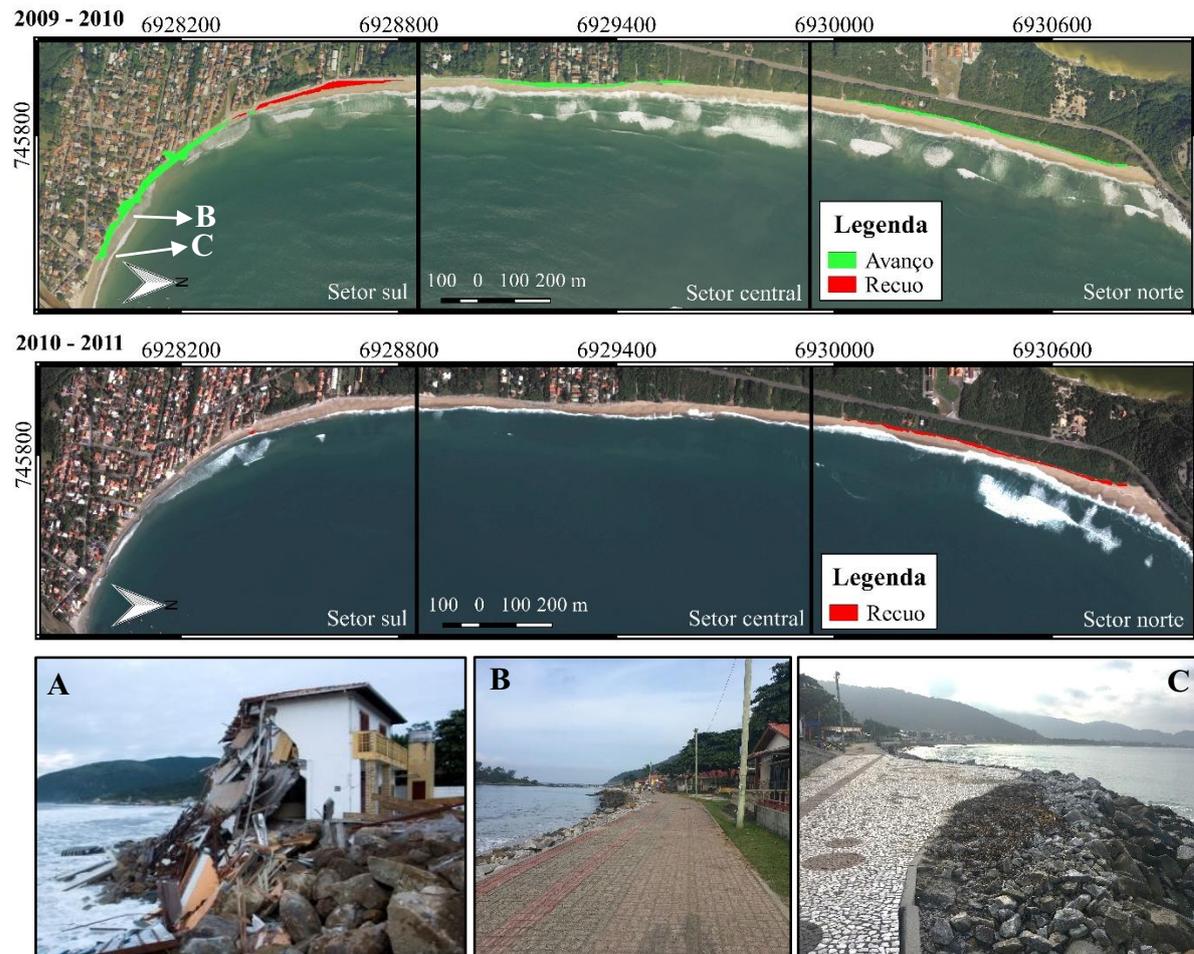
<b>Período</b>	<b>Ganho (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Perda (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Varição total</b>
11/07/2009 - 2010	18280	-4480	13800
2010 - 04/06/2011	0	-4460	-4460
04/06/2011 - 24/06/2012	0	-5590	-5590
24/06/2012 - 01/02/2013	230	-1050	-820
01/02/2013 - 28/05/2014	0	-2160	-2160
28/05/2014 - 01/06/2015	1240	0	1240
01/06/2015 - 22/05/2016	0	0	0
22/05/2016 - 17/06/2017	0	-3960	-3960
17/06/2017 - 20/05/2018	0	-11570	-11570
<b>Varição 2009 - 2018</b>	<b>19750</b>	<b>-33270</b>	<b>-13520</b>

No período entre 11/07/2009 e 2010 (para o qual não é disponibilizado o dia de captação do ortofotomosaico) constatou-se a ocorrência de marés de tempestade que afetaram o LSP. Estas foram registradas entre os dias 5 e 10 de março, 4 e 10 de abril e 7 e 30 de maio de 2010. Dada a frequência dos eventos, houve perda de estruturas urbanas, além de áreas naturais. Como medida de proteção emergencial às construções, em 2010 foi construído um enrocamento (Figura 17B e C) ao longo de 1,6 km da praia, iniciando-se na extremidade sul do arco praial (MULER, 2012).

Os eventos foram caracterizados por ondas com incidência predominantemente de SE seguido de ondas de E e S com  $H_s$  de até 5 m e maré variando entre 0,1 e 1,4 m. Kubelka et al. (2012) sugeriram que as ondas de E foram uma das principais condições que resultaram no evento erosivo no ano de 2010 na praia da Armação. Abreu de Castilhos (1995), por seu turno, sugere que as correntes longitudinais locais contribuem para o recuo do setor sul do arco praial.

Como a imagem de 2010 foi captada após a construção do enrocamento, o resultado para o período apresentou ganho de área de 18280 m<sup>2</sup> nos setores sul e central, como se pode observar na Figura 17. Apesar da construção do enrocamento, uma faixa do setor central apresentou perda de -4480 m<sup>2</sup>. A Figura 17A representa a situação das construções do setor central da praia após os eventos sucessivos de 2010.

Figura 17: Representação da variação entre os anos de 2009 e 2010 sobre a imagem de 2010 e de 2010 e 2011 sobre a imagem de 2011. A) Registro do efeito das marés de tempestade de 2010 sobre as construções. Fonte: Lucas Sampaio em 27/05/2010. B) e C) Estrutura construída no ano de 2010 com o intuito de conter a erosão do sul da praia da Armação.

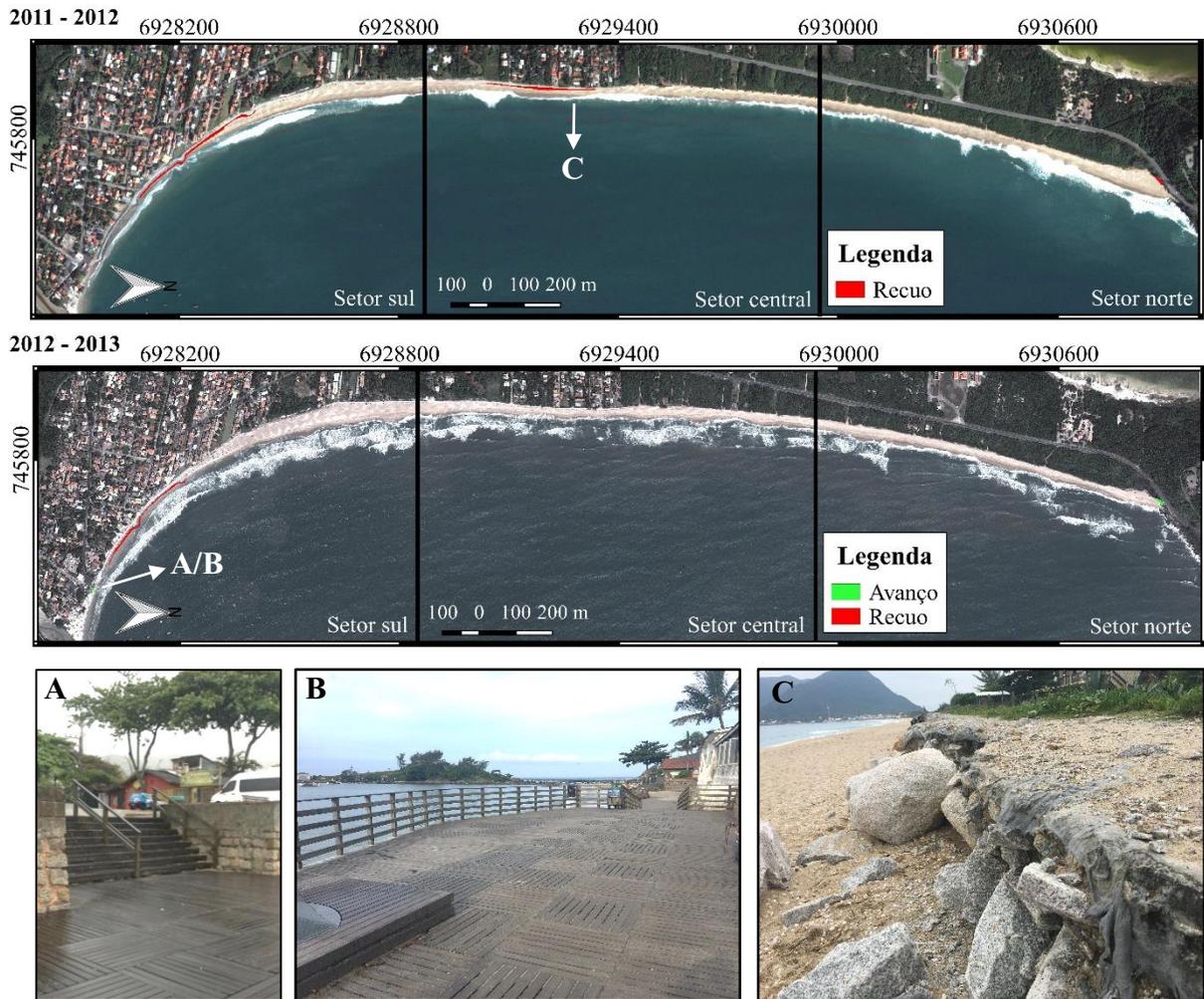


Agravando a situação ocorrida em 2010, houve outro evento de maré de tempestade registrado entre os dias 26 a 30 de maio de 2011 com ondas de SE e S,  $H_s$  máximo registrado de 5,5 m e maré variando entre 0,2 e 1 m ao longo dos dias. O período entre 2010 e 04/06/2011 (Figura 17) foi marcado por perda de  $-4460 \text{ m}^2$ , principalmente relacionada ao ambiente natural do setor norte do arco praial. A pequena perda no setor sul está associada a retirada das rochas do enrocamento pela ação do mar.

Para o período seguinte, entre 04/06/2011 e 24/06/2012, verificou-se a ocorrência de marés de tempestade entre os dias 17 e 22 de maio de 2012, com ondas de SE,  $H_s$  máxima entre os dias de 2,8 m e maré variando entre 0,2 e 1,2 m. As ocorrências de marés de tempestade, possivelmente, ocasionaram a retirada de parte da barreira de contenção nos setores sul e central da praia (Figura 18C). Com isso, houve perda em área de  $-5590 \text{ m}^2$  (Figura 18).

Figura 18: Representação da variação entre os anos de 2011 e 2012 sobre a imagem de 2012 e de 2012 e 2013 sobre a imagem de 2013. A) e B) Estrutura de madeira construída em 2012 no

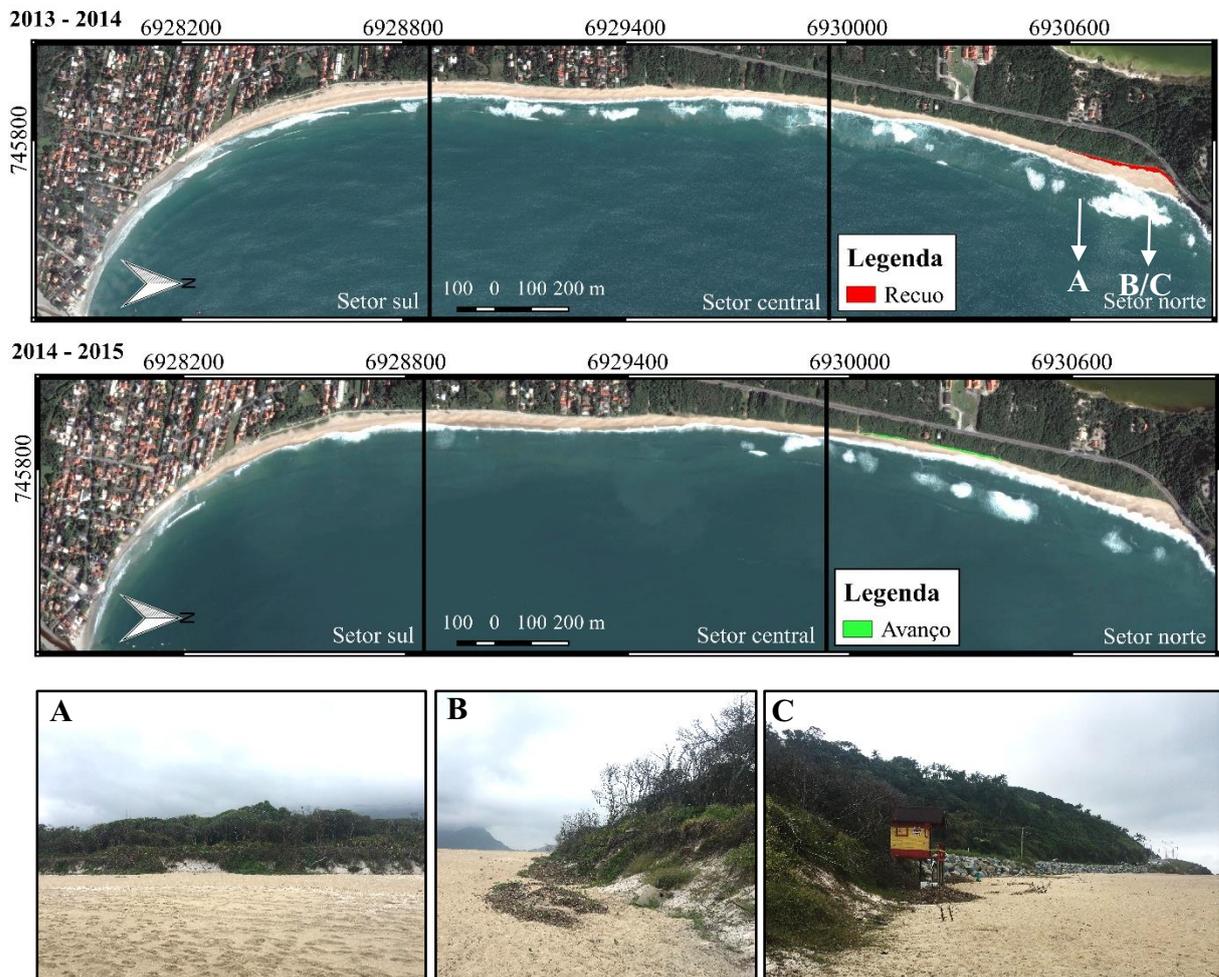
setor sul da praia da Armação. C) Fotografia do dia 25/04/2019 da estrutura construída no setor central da praia.



No quarto período analisado, entre 24/06/2012 e 01/02/2013, não foram encontrados registros de marés de tempestade. A faixa onde houve ganho no setor sul está associada à construção de uma estrutura de madeira (Figura 18A), em 2012. Sendo assim, obteve-se 230 m<sup>2</sup> de ganho. A perda de -1050 m<sup>2</sup> no setor sul está associada à retirada de parte do enrocamento pela ação do mar (Figura 18).

Entre o período de 01/02/2013 e 28/05/2014 houve registro de ocorrência de marés de tempestade entre os dias 19 e 27 de julho de 2013. Nestes eventos o setor norte da praia foi o mais afetado, dada a incidência de ondas de SE com H<sub>s</sub> máximo registrado de 3,5 m e maré variando entre 0,1 e 1,1 m. Confirma-se na Figura 19 a perda em área de -2126 m<sup>2</sup> nesse setor, a qual está associada à perda de uma faixa de dunas e vegetação, representadas, como exemplo, na Figura 19A, B e C.

Figura 19: Representação da variação entre os anos de 2013 e 2014 sobre a imagem de 2014 e de 2014 e 2015 sobre a imagem de 2015. A) e B) e C) Fotografia do dia 25/04/2019 do setor norte da praia.

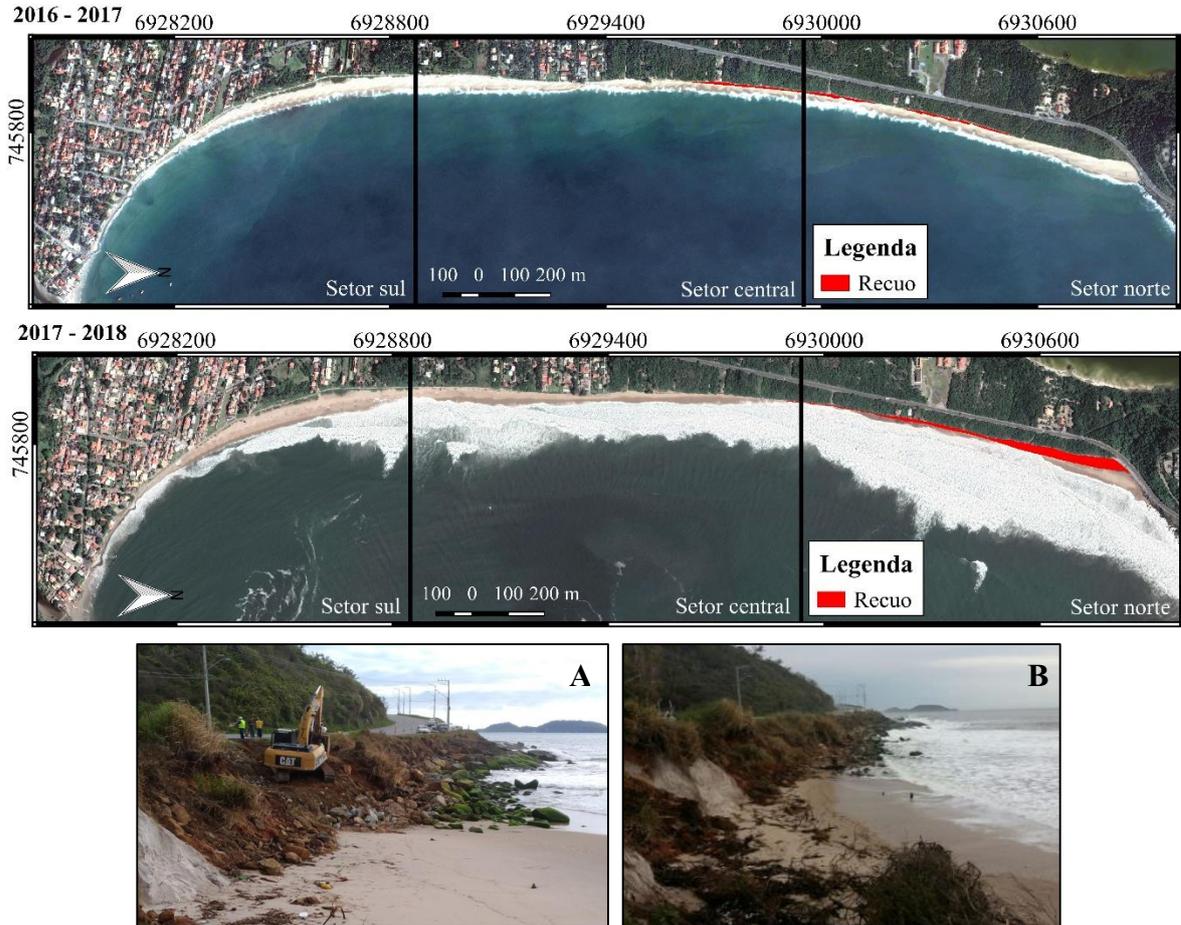


Entre o período de 28/05/2014 e 01/06/2015 não ocorreram marés de tempestade capazes de causar perda de área. Com isso, a praia apresentou ganho de superfície de 1240 m<sup>2</sup>. Conforme observa-se na Figura 19, este ganho é decorrente do crescimento de vegetação sobre as dunas.

No período seguinte, entre 01/06/2015 e 22/05/2016, também não foram encontrados registros de marés de tempestade, bem como nenhuma variação na linha de costa.

Constatou-se que, no período entre 22/05/2016 e 17/06/2017 ocorreram marés de tempestade entre os dias 28 a 31 de outubro de 2016 e 14 a 18 e 22 a 24 de maio de 2017. O evento de 2016 se caracterizou por ondas de S e SE com H<sub>s</sub> máxima registrada de 5,1 m e maré variando entre 0,2 e 1,2 m. Já em 2017 as ondas incidiram de E e SE com H<sub>s</sub> máxima de 3,4 m e maré variando entre 0,1 e 1,2 m. Pode-se observar na Figura 20 que os setores central e norte, os quais são expostos a essas direções de ondas, foram afetados com perda de -3960 m<sup>2</sup>.

Figura 20: Representação da variação entre os anos de 2016 e 2017 sobre a imagem de 2017 e de 2017 e 2018 sobre a imagem de 2018. A e B) Fotografias do setor norte da praia da Armação após a ocorrência das marés de tempestade em 2017. Fonte: Eveline Poncio e NSC Total, outubro de 2017.



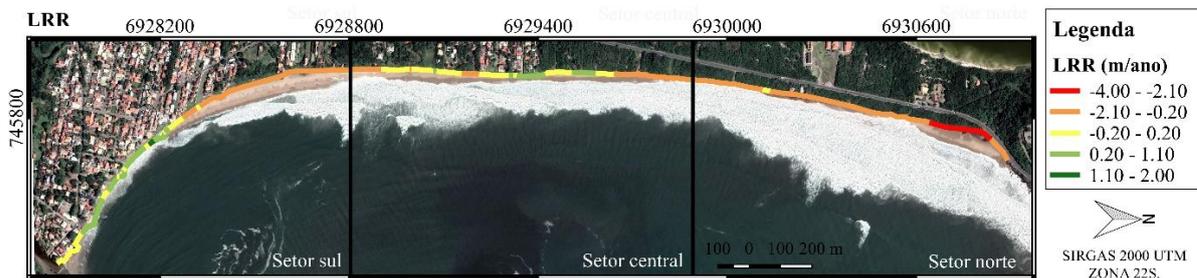
Entre 17/06/2017 a 20/05/2018 foram identificadas marés de tempestade entre os dias 9 e 16 de agosto e 22 a 26 de outubro no ano de 2017. Caracterizaram-se por ondas de S e SE com  $H_s$  máxima registrada no período de até 4,3 m e maré entre 0,2 e 1,2 m. Pode-se inferir que a persistência da incidência de ondas do quadrante SE causou a expressiva perda de área de 11570 m<sup>2</sup> do trecho superior de praia no setor norte, o que ocasionou na retração das dunas e da vegetação (Figura 20A e B).

### 5.3.1.2 DSAS

A aplicação do método estatístico LRR permitiu a determinação da taxa de variação da linha de costa a partir do cálculo da regressão linear para cada transecto entre 2009 e 2018. Por considerar os valores discrepantes (*outliers*), o método pode subestimar ou superestimar os resultados médios. Isso fica evidente por exemplo no setor sul, no qual é indicado avanço da

linha de costa (Figura 21). Esse processo de deslocamento positivo (em direção ao mar) ocorreu apenas entre os anos de 2009 e 2010, com a construção do enrocamento em 2010, e após esse período esse setor apenas recuou com a retirada de rochas pelo mar. Observa-se também o recuo do LSP no setor norte da praia, que efetivamente ocorreu durante entre os anos de 2010-2011, 2013-2014, 2016-2017 e 2017-2018, conforme os resultados apresentados a partir do Método do Polígono de Mudança.

Figura 21: Variação da linha de costa a partir do método estatístico LRR para a praia da Armação.



A Figura 22 apresenta uma representação gráfica contínua ao longo da praia gerada pelo método estatístico LRR. Nela, pode-se observar a mesma tendência de avanço da linha nos setores sul e central. O recuo da linha é consideravelmente maior que nos outros trechos com retração no setor norte da praia, atingindo uma taxa de quase -4 m/ano.

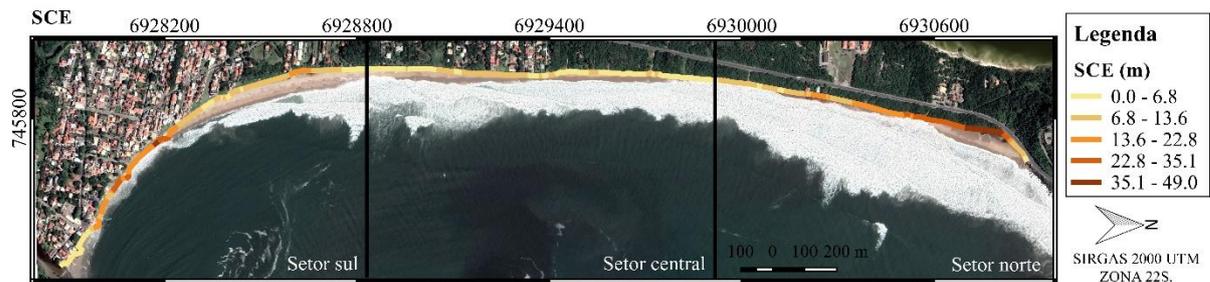
Figura 22: Taxa de variação da linha de costa determinada pelo método estatístico LRR. A linha em preto representa a tendência de variação dos dados ao longo do arco praiial da Armação.



A Figura 23 representa o resultado obtido entre 2009 e 2018 pelo SCE, no qual as cores mais quentes representam os trechos onde se obteve as maiores variações da linha de costa e as cores mais frias os trechos com menores variações. Nota-se que foi igualmente no

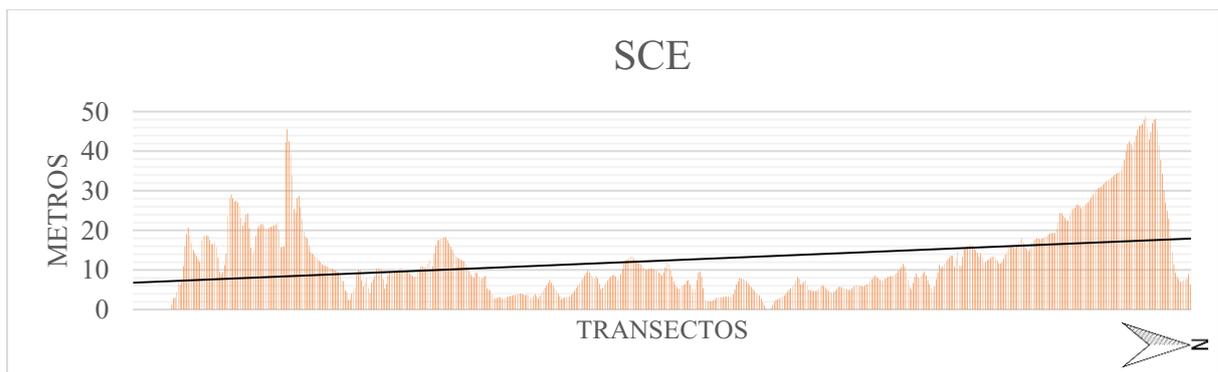
setor norte que houve a maior variação do LSP, com recuo entre 35,1 e 49 m. Destaca-se, também, a variação detectada no setor sul, entre 13,6 e 31,5 m, a qual está associada ao avanço da linha de costa a partir da construção do enrocamento no ano de 2010. O setor central está, em grande parte, variando menos comparativamente aos outros.

Figura 23: Deslocamento total da linha de costa obtida pelo método SCE para a praia da Armação.



A Figura 24 representa o gráfico com os resultados obtidos através do método SCE para cada transecto entre 2009 e 2018. O mesmo evidencia o resultado da Figura 23, mostrando que o setor norte foi o que mais variou no período, atingindo quase 50 m de variação da posição do LSP, seguido pelo setor sul que também apresentou, pontualmente, variações importantes.

Figura 24: Gráfico representando o resultado do método estatístico SCE para cada transecto. A linha em preto representa a tendência de variação dos dados ao longo do arco praiial da Armação.



De modo geral, o conjunto de resultados obtidos permite afirmar que, a praia da Armação apresenta tendência de recuo do LSP quando as marés de tempestades ocorrem associadas às ondas de SE e L e às fases da lua (nova e cheia), que geram maiores amplitudes de maré (maré de sizígia). Foram registradas dez ocorrências de marés de tempestade no

período entre 2009 e 2018 para a praia da Armação com maior incidência no mês de maio. A média de  $H_s$  entre de 2,4 e 3,7 m indica, de acordo com o histograma de altura de onda gerado pelo SMC-Brasil (Figura 13), que nos eventos de marés de tempestade a  $H_s$  fica acima da  $H_s$  de maior frequência de ocorrência no local, entre 1 e 1,5 m. Constatou-se, também, que durante a ocorrência das marés de tempestade os ventos eram, principalmente, do quadrante S com velocidade média mínima de 8,3 km/h chegando até 29,3 km/h.

O resultado do Método do Polígono de Mudança indicou variação total no período de -13520 m<sup>2</sup>. Quanto ao DSAS, o LSP apresentou recuo máximo de -4 m/ano e aproximadamente 49 m no período no setor norte e avanço máximo de 2 m/ano e aproximadamente 45 m no setor sul.

### 5.3.2 PRAIA DE CANASVIEIRAS

#### 5.3.2.1 Método do Polígono de Mudança

A Tabela 6 apresenta os resultados da variação da linha de costa obtidos a partir do Método do Polígono de Mudança. Constata-se que houve alteração (no caso perda) somente entre os anos de 2016-2017 e 2017-2018.

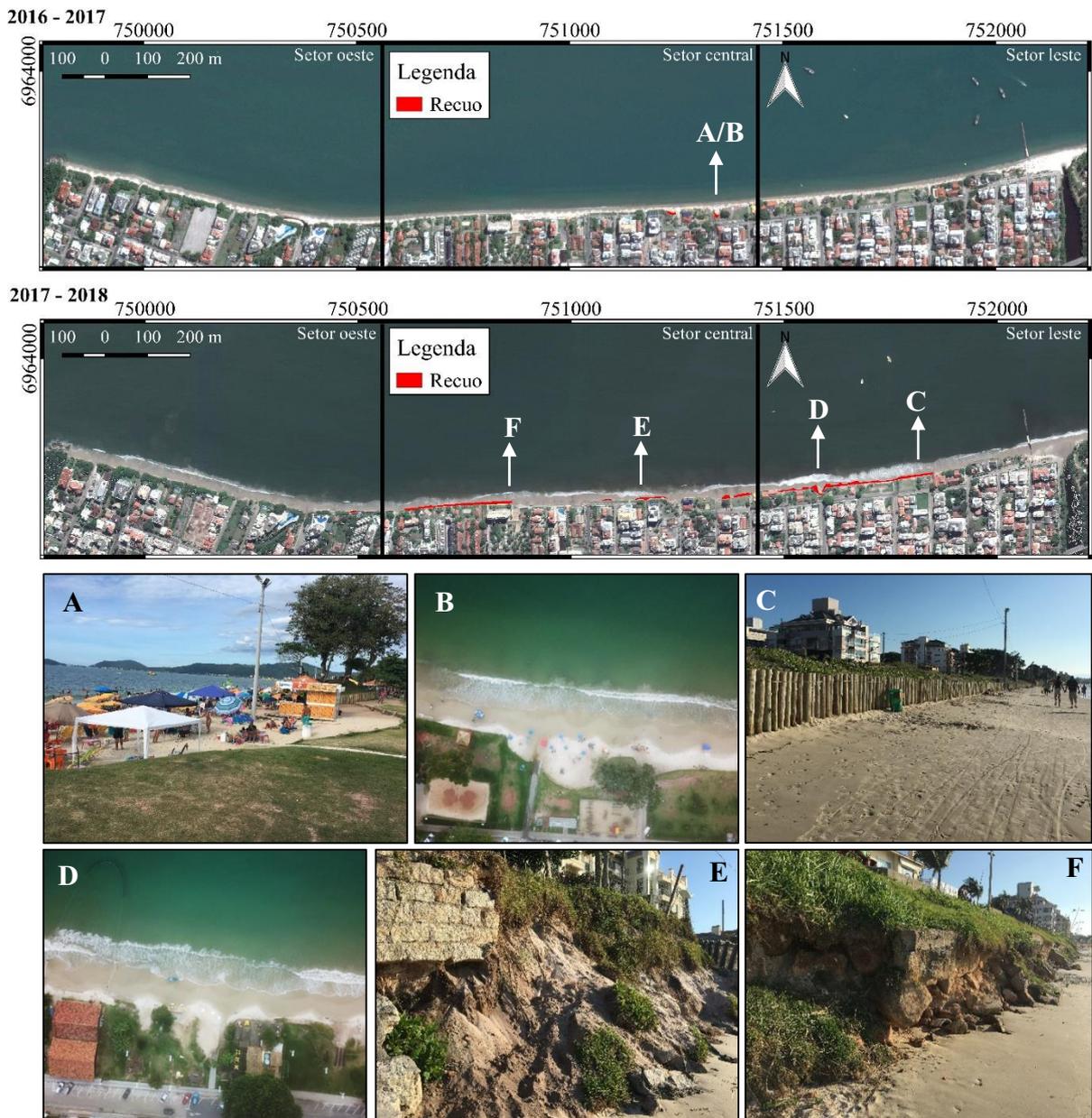
Tabela 6: Resultados da variação em área para a praia da Canasvieiras.

Período	Ganho (m <sup>2</sup> )	Perda (m <sup>2</sup> )	Varição total
30/06/2009 - 2010	0	0	0
2010 - 28/05/2011	0	0	0
28/05/2011 - 19/09/2012	0	0	0
19/09/2012 - 21/06/2013	0	0	0
21/06/2013 - 01/06/2014	0	0	0
01/06/2014 - 28/06/2015	0	0	0
28/06/2015 - 22/05/2016	0	0	0
22/05/2016 - 22/04/2017	0	-190	-190
22/04/2017 - 20/05/2018	0	-3500	-3500
<b>Varição 2009 - 2018</b>	<b>0</b>	<b>-3690</b>	<b>-3690</b>

No período entre 22/05/2016 e 22/04/2017 constatou-se ocorrência de marés de tempestade entre os dias 12 e 15 de fevereiro de 2017. As ondas incidiram de NE, com  $H_s$

máxima registrada de 2,8 m e a maré variou entre 0,2 e 1,2 m. De acordo com a Figura 25, o único setor afetado foi o central, com perda de -190 m em área vegetada. As Figura 25A e B, indicadas no mapa, representam uma das faixas onde houve perda.

Figura 25: Representação da variação entre os anos de 2016 e 2017 sobre a imagem de 2017 e de 2017 e 2018 sobre a imagem de 2018. A e D) Fotografias aéreas capturadas com Drone no dia 1/06/2019. B) Fotografia do dia 08/03/2019. C, E e F) Fotografias do dia 02/05/2019.



Para o período seguinte, entre 22/04/2017 e 20/05/2018, identificou-se diversos eventos de marés de tempestade. O evento ocorrido entre os dias 25 e 26 de abril de 2017 foi caracterizado por ondas de NE, com  $H_s$  máxima registrada de 3 m e maré variando entre 0 e 1,3 m. Nas marés de tempestade ocorrentes em maio, as ondas também incidiram de NE com  $H_s$

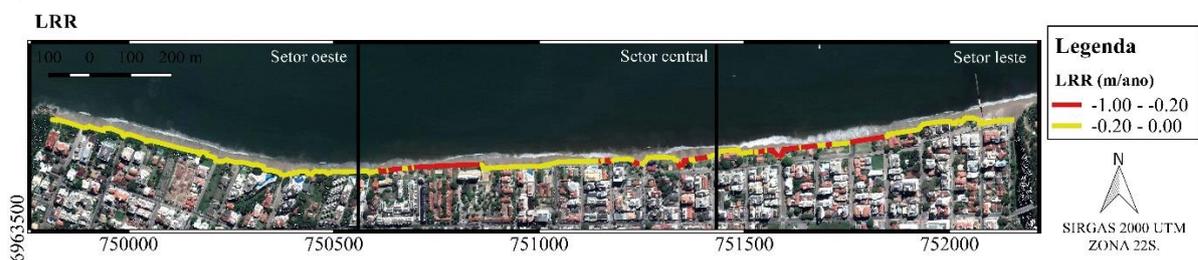
máxima de 4,3 m e maré entre 0,1 e 1,2 m. O evento ocorrido entre os dias 15 e 16 de julho de 2017 foi o menos agressivo do ano conforme a caracterização, com ondas incidindo de NE e  $H_s$  máxima registrada de 2,3 e maré variando entre 0,3 e 1 m. Entre os dias 10 e 23 de setembro e 17 a 20 de outubro de 2017 as ondas também incidiram de NE, com  $H_s$  máxima registrada de 2,9 e 2,5 m, respectivamente e maré entre 0,1 e 1,2 m. Vale ressaltar que as fases da lua registradas durante os eventos, como a lua cheia e nova, ocasionaram as marés de sizígia, o que contribuiu para a sobrelevação do nível do mar na praia.

De acordo com a Figura 25 esse último período apresentou perda de -3500 m no setor central e leste em áreas de dunas e vegetação. As Figura 25C, D, E e F, capturadas no ano de 2019, indicam que em alguns locais foram implementadas barreiras e outros ainda evidenciam os efeitos das marés de tempestade de 2017.

### 5.3.2.2 DSAS

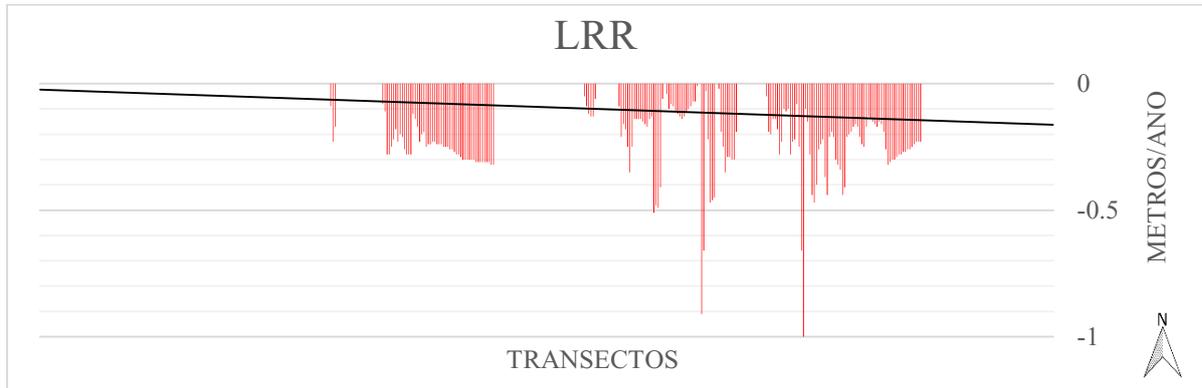
De acordo com a Figura 26, pode-se observar que ao longo do arco praiial o setor oeste foi o único que se manteve estável em todo período. No entanto, nota-se que parte do setor central e do setor leste também se mantiveram estáveis. O método estatístico LRR, que considera todas as linhas de costa analisadas, indicou recuo entre -1 e -0,20 m/ano. A variação negativa corresponde aos anos de 2016, 2017 e 2018, como constatado no Método do Polígono de Mudança.

Figura 26: Variação da linha de costa a partir do método estatístico LRR para a praia de Canasvieiras.



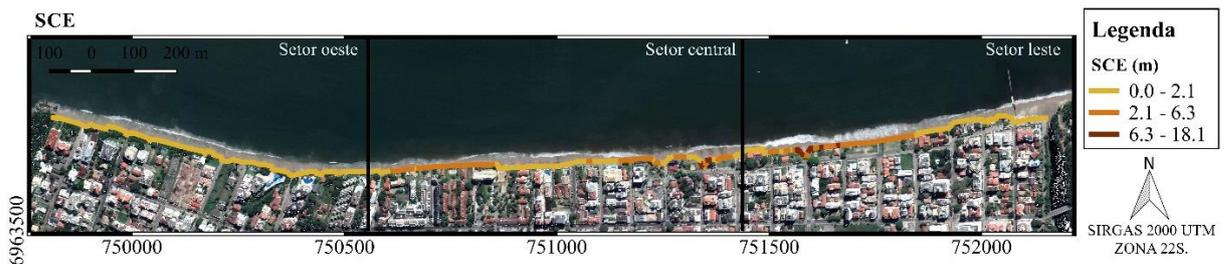
A Figura 27 representa o gráfico gerado para o método estatístico LRR. Pode-se observar os intervalos onde não houve variação da linha de costa, tendo o recuo máximo ao longo do arco praiial de -1 m/ano.

Figura 27: Taxa de variação da linha de costa determinada pelo método estatístico LRR. A linha em preto representa a tendência de variação dos dados ao longo do arco praiar de Canasvieiras.



A Figura 28 representa o resultado entre 2009 e 2018 para o método estatístico SCE, no qual as cores mais quentes representam os setores onde se obteve as maiores variações da linha de costa e as cores mais frias, as menores variações. Nota-se que foi no setor leste onde houve a maior variação do LSP, entre 6,3 e 18,1 m. Essa variação está relacionada ao recuo da linha de costa no período, como indica o Método do Polígono de Mudança e o LRR. Destaca-se, também, a variação ocorrente tanto no setor central quanto no setor leste entre 2,1 e 6,3 m. No setor oeste não houve variação do LSP.

Figura 28: Variação da linha de costa a partir do método estatístico SCE para a praia de Canasvieiras.



A Figura 29 representa o gráfico com os resultados do método estatístico SCE para cada transecto entre 2009 e 2018. Evidencia o resultado da Figura 28, mostrando que o setor leste foi o que mais variou no período, em aproximadamente 18 m, seguido do setor central.

Figura 29: Taxa de variação da linha de costa determinada pelo método estatístico SCE. A linha em preto representa a tendência de variação dos dados ao longo do arco praiar de Canasvieiras.



Como constatado no conjunto dos resultados, de modo geral, a praia de Canasvieiras sofreu recuo do LSP quando ocorreram seis eventos consecutivos de marés de tempestade durante o ano de 2017. As ondas incidiram da direção localmente mais frequente de NE, o que coloca os setores do arco praiar em semi-exposição. A média das maiores  $H_s$  de 2,9 m constatada nas marés de tempestade está acima da  $H_s$  de maior frequência dada pelo SMC-Brasil para o local, que é de 0,2 m. Assim como na praia da Armação, os eventos foram associados à lua cheia e nova, que contribuem para maiores amplitudes de marés de 0 até 1,3 m. Os ventos predominaram do quadrante N com média de velocidade de 22 km/h.

De acordo com o resultado do Método do Polígono de Mudança, houve perda de -3690 m<sup>2</sup> para o período entre 2009 e 2018. Sob outra perspectiva, o DSAS indicou que o LSP variou até -1 m/ano e apresentou recuo máximo de aproximadamente 18 m no setor leste. Outro fator que contribui para o recuo na praia de Canasvieiras, quando o mar está sobrelevado, é a estreita faixa de areia presente no pós-praia, o que permite que o mar alcance mais facilmente o LSP.

#### 5.4 ANÁLISE COMPARATIVA

Constata-se, a partir dos resultados obtidos para as duas praias, que eventos de marés de tempestade ocasionaram recuo do LSP tanto na praia da Armação quanto na praia de Canasvieiras. Todavia, não houve sincronicidade nos impactos verificados localmente. Na praia da Armação foi evidenciado, no período, um número mais elevado de eventos de marés de tempestade, provavelmente devido à sua maior exposição às ondas de maior altura, que incidem de E, SE e S (ABREU DE CASTILHOS, 1995; MULER & BONETTI, 2014). Como a praia de Canasvieiras está localizada em um setor abrigado de praticamente todas as direções de ondas oceânicas, o número de registros de impacto é menor. Foram identificados menos eventos

de marés de tempestades que causaram recuo do LSP nesta praia. Deve-se ressaltar, entretanto, que importantes impactos já foram verificados, nesta praia, sob condições meteorológicas e oceanográficas particulares, tendo estes causado forte impacto sobre a infraestrutura instalada. A condição mais favorável para sua ocorrência é a combinação de: marés de tempestade com longa duração, compostas por ondas incidentes de NE, ventos de N e sob condição de maré de sizígia.

Nas duas praias foram evidenciados, principalmente, recuos mais extensos em áreas com a duna frontal preservada ao longo do LSP. Esse processo é natural e inerente à dinâmica morfossedimentar do ambiente praial, e ocorre devido à troca de sedimentos entre os setores de pós-praia e a antepraia durante diferentes regimes de ondas (SOUZA et al., 2005). As edificações presentes na costa, sobretudo as que impedem a mobilidade dos sedimentos dos setores superiores da praia contribuem decisivamente para a instabilidade do sistema praial devido à eliminação de uma fonte sedimentar. Tais edificações, embora fortemente impactadas, muitas vezes não permitem o deslocamento expressivo do limite superior da praia, pois esse se encontra estabilizado por essa presença antrópica. Colaboram, entretanto, para que ocorra balanço sedimentar negativo, no qual o mar apenas retira sedimento do pós-praia, o que ocasiona a erosão costeira, diminuindo a faixa de areia emersa. As estruturas verticais rígidas podem induzir, ainda, o mecanismo de reflexão das ondas, que segundo Muehe e Dobereiner (1977) podem carregar os sedimentos removidos do pós-praia e depositá-los para além da zona de arrebenção, modificando a morfologia do fundo próximo à costa.

Além disso, os sucessivos eventos de marés de tempestades podem causar o colapso destas construções (calçadas e edificações), como ocorreu no ano de 2010 na praia da Armação e 2017 na praia de Canavieiras.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A investigação realizada permitiu a avaliação do comportamento de duas praias oceânicas que possuem grande diferença na orientação de suas linhas de costas. Embora ambas apresentem registro histórico de impactos causados pela ação de marés de tempestade, até o presente não havia sido proposto um estudo comparativo entre ambas. O esquema metodológico apresentado, composto pela combinação de dados históricos relativos aos impactos registrados localmente, análise dos climas de ondas específicos que ocorrem em cada praia e aplicação de técnicas de análise espacial para a quantificação do deslocamento do limite superior destas mostrou-se adequado para a investigação integrada proposta. Com base nos resultados obtidos pode-se afirmar que:

- Ambas as praias podem ser impactadas pela combinação de ondas grandes de direção específica, ventos persistentes soprando em direção à costa e marés de grande amplitude, mas com frequência e em ocasiões distintas - fruto de suas diferentes orientações de linha de costa;
  - Praia da Armação: ondulação incidente de SE e E, ventos do quadrante S e maré sob condição de sizígia;
  - Praia de Canasvieiras: ondulação incidente de NE, ventos do quadrante N e maré sob condição de sizígia.
- Um único conjunto de eventos é suficiente para causar impactos significativos sobre sua infraestrutura, sobretudo se as estruturas rígidas estiverem posicionadas próximas ao limite superior original da praia;
- Nos setores onde a duna frontal foi preservada pode ocorrer grande deslocamento do LSP. Todavia, estes trechos possuem boa capacidade de recuperação pois o transporte perpendicular e transversal de sedimentos não se encontra obstruído;

Embora este trabalho tenha se concentrado na análise do deslocamento da linha de costa de duas praias específicas, o conhecimento adquirido pode ser aplicado a outros locais, de modo a contribuir com o estabelecimento de diretrizes para a gestão de sistemas praias. Particularmente, a confirmação de que praias mais abrigadas da incidência das ondas de maior altura não necessariamente são as menos impactadas constitui um importante elemento para o estabelecimento de diretrizes para a ocupação da zona costeira.

Visando a continuidade da pesquisa apresentada será oportuna a identificação de períodos de passagem de frentes frias a partir de dados de reanálise, de modo a permitir a descrição mais detalhada da formação das marés de tempestade registradas que impactam as praias.

## REFERÊNCIAS

- ABSALONSEN, L.; TOLDO JR., E.E. A Influência da Inflexão Costeira na Variabilidade da Linha de Praia em Mostardas – RS. *Revista Pesquisas em Geociências*, Porto Alegre, v. 34, n. 1, p. 3-18, 2007.
- ABREU DE CASTILHOS, J. **Estudo evolutivo, sedimentológico e morfodinâmico da planície costeira e Praia da Armação - Ilha de Santa Catarina, SC.** 1995. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.
- ALBUQUERQUE, M.G. **Análise espaço-temporal das causas da variabilidade da linha de costa e erosão na praia do Hermenegildo, RS.** 2013. 112 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.
- ALBUQUERQUE, M.G.; ESPINOZA, J.M.A.; TEIXEIRA, P.; OLIVEIRA, A.; CORREA, I.; CALLIARI, L.J. Erosion or Coastal Variability: an Evaluation of the DSAS and the Change Polygon Methods for the Determination of Erosive Processes on Sandy Beaches. *Journal of Coastal Research*, Special Issue n. 65, p. 1710-1714, 2013.
- ANFUSO, G.; BOWMAN, D.; DANESE, C.; PRANZINI, E. Transect based analysis versus area based analysis to quantify shoreline displacement: spatial resolution issues. *National Center for Biotechnology Information*, v. 188, n. 10, p. 1-14, 2016.
- ARAÚJO, C.E.S.; FRANCO, D.; MELO FILHO, E.; PIMENTA, F. Wave regime characteristics of southern Brazilian coast. *International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries COPEDEC VI*, Sri Lanka, p. 15–19, 2003.
- BOAK, E.H.; TURNER, E.L. Shoreline Definition and Detection: A Review. *Journal Of Coastal Research*, Sydney, v. 21, n. 4, p.688-703, 2005.
- BONETTI, J.; KLEIN, A.H.F.; MULDER, M.; DE LUCA, C.B.; SILVA, G.V.; TOLDO, E.E.JR.; GONZÁLEZ, M. Spatial and numerical methodologies on coastal erosion and flooding risk assessment. In: FINKL, C. (Ed.). *Coastal Hazards*. Coastal Research Library Series. Springer, Dordrecht, the Netherlands, 2013, p. 423-442.
- BONETTI, J.; RUDORFF, F. M.; CAMPOS, A. V. & SERAFIM, M. B. Geoindicator-based assessment of Santa Catarina (Brazil) sandy beaches susceptibility to erosion. SI: Management Strategies for Coastal Erosion Problems. *Ocean & Coastal Management*, n. 156, p. 198-208, 2018.
- CAMARGO, J. M. **Impactos de la escollera de protección en la playa de la Armação do Pântano do Sul, Florianópolis, SC, Brasil.** 2012. 59 f. Dissertação (Mestrado) - Gestión Integrada de Áreas Litorales, Universidad de Cádiz, Cádiz, 2012.
- CAMARGO, R.; HARARI, J.; DIAS, P.L.S. Storm surge modeling and forecast for the South-Western Atlantic Ocean. *Academia Brasileira de Ciências*, v.72, n. 2, p. 289-289, 2004.

CARTER, R.W.G. **Coastal environments – An introduction to the Physical, Ecological and Cultural Systems of Coastlines**. London: Academic Press, 1988. 617 p.

DALBOSCO, A.L.P. **Análise histórica da linha de costa e dos padrões hidrodinâmicos e de transporte de sedimentos da praia da Armação, Ilha de Santa Catarina, SC**. 2013. 189 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária em Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

DALINGHAUS, C. ALMEIDA, L.R., GONZÁLEZ, M. KLEIN, A.H.F. (org.). **Sistema de Modelagem Costeira do Brasil**: Estudo de caso. Editora da UFSC, Florianópolis, 2018, 416p.

DALINGHAUS, C.; SCHWEITZER, A.; HERNANDEZ, A.O.; SILVA, G.V.; OLIVEIRA, J.G.; SILVA, P.G.; RIBEIRO, P.J.C.; ARAUJO, R.S.; KLEIN, A.H.F. Diferentes abordagens metodológicas para análise das consequências de marés de tempestade: ambientes praias antropizados e naturais. In: PAULA, D.P.; DIAS, J.A. **Ressacas do mar / temporais e gestão costeira**. Fortaleza: Premium, 2015. Cap. 1. p. 21-64.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO - DHN. **Tábua de Maré**. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/dhn/>>. Acesso em: 25 set. 2018.

DIRETORIA MUNICIPAL DE DEFESA CIVIL DE FLORIANÓPOLIS. **Relatórios de vistoria**. Florianópolis, 2018.

DOLAN, R.; HAYDEN, B.; MAY, S. The Reliability of Shoreline Changes Measurements from Aerial Photographs. **Shore and Beach**, v. 48, p. 22-29, 1980.

ESTEVES, L.S. **Estado da arte dos métodos de mapeamento da linha de costa**. 2002. 81 f. Exame de Qualificação (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

FENSTER, M.S.; DOLAN, R. MORTON, R.A. Coastal storms and shoreline change: Signal or noise?. **Journal of Coastal Research**. v. 17, n. 3, p. 714–720, 2001.

FURTADO, T.V. **Avaliação de modelos espaciais de vulnerabilidade costeira à erosão: Eventos recentes na Praia dos Ingleses, SC**. 115 f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Curso de Geografia, Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

GONZÁLEZ, M., MEDINA, R., GONZALEZ-ONDINA, J., OSORIO, A., MÉNDEZ, F.J., GARCÍA, E. An integrated coastal modeling system for analyzing beach processes and beach restoration projects, SMC. **Geosci**, n. 33, p. 916–931, 2007.

GRUBER, N.L.S.; STROHAECKER, T.M.; AYUP-ZOUAIN YR.N.; FARINA, F. Subsídios à Gestão Costeira: vulnerabilidades ambientais e aspectos legais para normativas de uso e ocupação. In: LÓPEZ, R. Á. (Ed.). **Problemática de los ambientes costeros; Sur de Brasil, Uruguay y Argentina**. 2011, 193 p.

HIMMELSTOSS, E. A. “DSAS 4.0 Installation Instructions and User Guide” in: THIELER, E.R.; HIMMELSTOSS, E.A.; ZICHICHI, J.L.; ERGUL, A. 2009 **Digital Shoreline Analysis**

**System (DSAS) version 4.0** — An ArcGIS extension for calculating shoreline change: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278, 2009.

HORN FILHO, N.O.; OLIVEIRA, J.S.; LEAL, P.C. 1999. Evidências erosivas na praia de Canasvieiras, Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil. **XII Semana Nacional de Oceanografia**, Rio de Janeiro, p.127-129

JENKS, G.F. Optimal data classification for choropleth maps. **Occasional Paper**, University Kansas, n. 2, p. 24, 1977.

KING, C.A.M. Beaches and coasts. **Edward Arnold Publishers Ltd**, London, p. 570, 1972.

KLEIN, A.H.F.; MENEZES, J.T.; DIEHL, F.L.; ABREU, J.G.N.; POLETTE, M.; SPERB, R.M.; SPERB, R.C. Santa Catarina. In: MUEHE, D. (Org.). **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006, p. 401-436.

KLEIN, A.H.F.; SHORT, A.; BONETTI, J. Santa Catarina Beach Systems. In: SHORT, A.; Klein, A.H.F. (Eds.). **Brazilian Beach Systems**. Sydney: Springer, 2016. cap. 17. p. 465-506.

KUBELKA, B.G.; AGUIAR, D.F.; ROMEU, M.A.R. Investigação preliminar das causas da erosão sofrida pela praia da Armação, Florianópolis, em maio de 2010. **V Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica**, Rio Grande, p.1-8, 2012.

LEAL, K.B.; OLIVEIRA, U.R.; ESPINOZA, J.M.A. Variação do limite praia duna nos Balneários Mostardense, Mar Grosso, Cassino e Barra do Chuí – RS no intervalo entre 2003-2015. **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 09, n. 1, p.25-37, 2018.

MAZZER, A.M.; DILLENBURG, S.R. Variações Temporais da Linha de Costa em Praias Arenosas Dominadas Por ondas do Sudeste da Ilha de SC (Florianópolis, SC, Brasil). **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, v. 36, n. 1, p.117-135, 2009.

MUEHE, D. Definição de Limites e Tipologias da Orla sob os Aspectos Morfodinâmico e Evolutivo. **Projeto Orla: subsídios de um projeto de gestão**. Ministério do Meio Ambiente, p.11-30, 2004.

MUEHE, D. Aspectos gerais da erosão costeira no Brasil. **Revista Mercator**, v. 4, n. 7, p. 97-110, 2005.

MUEHE, D.; DOBEREINER, C. Dinâmica do fundo marinho ao longo do pier de Ipanema. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 49, n. 2, p. 281-286, 1977.

MUEHE, D.; OLIVEIRA, L.K. Deslocamento da linha de costa versus mobilidade praial. **Quaternary and Environmental Geosciences**, Curitiba, v. 05, n. 2, p. 121-124, 2014.

MULER, M. **Avaliação da vulnerabilidade de praias da Ilha de SC a perigos costeiros através da aplicação de um índice multicritério**. 2012. 213 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

MULER, M.; BONETTI, J. Variação da suscetibilidade e vulnerabilidade à ação de perigos costeiros na praia dos Ingleses (Florianópolis-SC) entre 1957 e 2009. XIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Rio de Janeiro. **Anais do XIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário**, p. 1-5, 2011.

MULER, M.; BONETTI, J. An Integrated Approach to Assess Wave Exposure in Coastal Areas for Vulnerability Analysis. **Marine Geodesy**, v. 37 p. 220–237, 2014.

MUSSI, C. S.; BONETTI, J. & SPERB, R. M. Coastal sensitivity and population exposure to sea level rise: a case study on Santa Catarina Island, Brazil. **Journal of Coastal Conservation**, v. 22, n. 6, p. 1117-1128, 2018.

OERTEL, G.F. Coasts, coastlines, shores, and shorelines. In: SCHWARTZ, M.L. **Encyclopedia of coastal science**. Dordrecht: Springer, 2005, p. 323-327.

OLIVEIRA, U.R. **Relações entre a morfodinâmica e a utilização em trechos da costa oceânica da Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil**. 2019. 222 f. Tese (Doutorado) – Curso de Geografia, Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

OLIVEIRA, U.R.; BARLETTA, R.C.; HORN FILHO, N.O. Distribuição espacial das características morfodinâmicas das praias arenosas da costa oceânica da Ilha de SC, SC, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, v. 41, n.2, p. 89-103, 2014.

PEREIRA, F.S. **Comportamento morfossedimentar da praia de Canasvieiras, Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil**. 2018. 120 f. Monografia (Graduação) – Curso de Geografia, Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

RUDORFF, F.M. Geoindicadores e Análise Espacial na Avaliação de Suscetibilidade Costeira a Perigos Associados a Eventos Oceanográficos e Meteorológicos Extremos. 2005. 103 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Geografia, Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

RUDORFF, F.M.; BONETTI, J. Avaliação da suscetibilidade à erosão costeira de praias da Ilha de SC com base em geoindicadores e técnicas de análise espacial de dados. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 14, p. 9-20, 2010.

RUDORFF, F.M.; BONETTI FILHO, J.; MORENO, D.A.; OLIVEIRA, C.A. F; MURARA, P.G. Maré de Tempestade. In: Herrmann, M. L. P. **Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina: período de 1980 a 2010**. 2. Ed. IHGSC/Cadernos Geográficos, Florianópolis, p. 151-154, 2014.

SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SUSTENTÁVEL - SDS. **Sistema de Informações Geográficas de Santa Catarina**. 2010. Disponível em: <<http://sigsc.sds.sc.gov.br>>. Acesso em: 10 abr. 2018.

SMITH, M.J.; CROMLEY, R.G. Measuring historical coastal change using GIS and the change polygon approach. **Transactions in GIS**, v. 16, n. 1, p.3-15, 2012.

SCHWEITZER, A. **Monitoramento da Linha de Costa: Uma Análise de Métodos e Indicadores Aplicados em Investigações na Escala de Eventos**. 2013. 147 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Geografia, Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

SHORT, A.D., KLEIN, A.H.F. **Brazilian Beach Systems**. Switzerland: Springer, 2016. 611p.

SILVA, P.G.; 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, 2014.

SOUZA, C.R.G.; SOUZA FILHO, P.W.M.; ESTEVES, S.L.; VITAL, H.; DILLENBURG, S.R.; PATCHINEELAM, S.M.; ADDAD, J.E. Praias arenosas e erosão costeira. In: SOUZA, C.R. DE G.; SUGUIO, K.; SANTOS, A.M.; OLIVEIRA, P.E. (Eds.), **Quaternário do Brasil**, Holos Editora, Ribeirão Preto, 2005, p.130-152.

STOCKDON, H.J.; SALLENGER, A.H.JR.; LIST, J.H.; HOLMAN, R.A. Estimation of shoreline position and change using airborne topographic lidar data. **Journal of Coastal Research**, v. 18, n. 3, p. 502-513, 2002.

SYTNIK, O.; DEL RÍO, L.; GREGGIO, N.; BONETTI, J. Historical shoreline trend analysis and drivers of coastal change along the Ravenna coast, NE Adriatic. **Environmental Earth Sciences**, 77:779, 2018

THIELER, E.R.; HIMMELSTOSS, E.A.; ZICHICHI, J.L.; ERGUL, A. 2009. **The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 4.0 - An ArcGIS Extension for Calculating Shoreline Change**. Open-File Report. US Geological Survey Report n. 2008-1278, 2009. Disponível em: <<http://woodshole.er.usgs.gov/projectpages/dsas/version4/>>. Acesso em: 10 ago. 2018.

VIEIRA DA SILVA, G.; MULER, M.; PRADO, M.F.V.; SHORT, A.D.; KLEIN, A.H.F.; TOLDO, E.E., JR., 2016. Shoreline change analysis and insight into the sediment transport path along Santa Catarina Island north shore, Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 32, n. 4, p. 863–874, 2016.

VILLWOCK, J.A.; TOMAZELLI, L.J.; DILLENBURG, S.R.; BACHI, F.A.; DEHNHARDT, B.A. A Transgressão Marinha Atual na Costa do Rio Grande do Sul. **Anais do 39 Congresso Brasileiro de Geologia**, Salvador, v. 5, p. 296-299, 1996.

WINDGURU. **Previsões baseadas no modelo NWW3**. Disponível em: <<https://www.windguru.cz/105160>>. Acesso em: 5 set. 2018.

WISNER, B., BLAIKIE, P., CANNON, T., DAVIS, I. **At risk: Natural Hazards, Peoples's Vulnerability and Disasters**. 2. ed. New York, USA: Routledge, 2004.

WRIGHT, L.D.; SHORT, A.D. Morphodynamics variability of high energy surf zones and beaches: a synthesis. **Marine Geology**, n. 56, p. 93-118, 1984.

WRIGHT, D.J.; BLONGEWICZ, M.J.; HALPIN, P.N.; BREMAN, J. **Arc Marine: GIS for a Blue Planet**. Redlands: Esri Press, 2007. 216 p.