Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

Influência da orientação de praia na retração da linha de costa induzida por marés de tempestade: Armação e Canasvieiras, Ilha de Santa Catarina - SC

Karine Bastos Leal¹, Jarbas Bonetti², Pedro de Souza Pereira³

¹Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, karinebleal@gmail.com

²Coordenadoria Especial de Oceanografia, Universidade Federal de Santa Catarina, jarbas.bonetti@ufsc.br

³Coordenadoria Especial de Oceanografia, Universidade Federal de Santa Catarina, psppraia@gmail.com

Artigo recebido em 31/01/2020 e aceito em 19/07/2020

RESUMO

Os processos de recuo da linha de costa em praias arenosas oceânicas estão comumente relacionados à ocorrência de marés de tempestade e agravados pelas construções sobre o limite superior de praia. Neste contexto, o trabalho apresentado quantificou a variabilidade da linha de costa de duas praias urbanizadas, Armação e Canasvieiras, situadas no sul do Brasil, que possuem orientações distintas ao clima de ondas, e relacionou sua exposição às marés de tempestade registradas entre os anos de 2009 e 2018. Para isso foram datadas e caracterizadas as marés de tempestade quanto às ondas, maré e ventos durante sua ocorrência. A variação da linha de costa foi calculada por meio do Método do Polígono de Mudança e do DSAS, que representam as variações a partir de modelos espaciais distintos. Os resultados mostram que 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 e na praia de Canasvieiras registrou-se recuo de até -1m/ano. Constatou-se que na praia mais exposta, Armação, as marés de tempestade estão associadas 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 durante as marés de sizígia. Nesta praia mais abrigada os eventos ocorrem sob condições meteorológicas particulares e podem igualmente causar impactos.

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

Influence of beach orientation on shoreline retreat induced by storm surges: Armação and Canasvieiras, Ilha de Santa Catarina – SC

ABSTRACT

Coastal retreat processes in oceanic sandy beaches are commonly related to storm surges and intensified by urbanization on the upper beach limit. In this research, shoreline variability was quantified in an interannual basis 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, but historically present severe wave-induced damage reports. The study was carried out based on the Change Polygon Method and the Digital Shoreline Analysis System (DSAS), two distinct shoreline change approaches based on different spatial models. The identified historical storm surges were discriminated according to waves, winds and tidal characteristics during their occurrence. It was concluded that the observed upper limit retreats in both beaches were, in fact, 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, this 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, showing a retreat up to -1 m/year. All the analyzed storm surge events occurred during spring tides and were concentrated in autumn. Although Armação beach is more exposed to storm surges due to its orientation, Canasvieiras beach, even with its sheltered shoreline orientation, can also be impacted depending on the storm surges characteristics.

Keywords: Wave climate. The Change Polygon Method. Digital Shoreline Analysis System.

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 sobrelevação 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 e 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 e Dillenburg, 2009; Camargo, 2012; Muler, 2012; Bonetti et al., 2013; Dalbosco, 2013; Klein et al., 2016; Dalinghaus et al., 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.

Neste trabalho são investigadas duas praias urbanizadas da Ilha de Santa Catarina: praia da Armação e praia de Canasvieiras, que possuem orientações distintas quanto à incidência de ondas oceânicas, sendo uma exposta à ondulação e outra semi-protegida (Muler, 2012; Muler e Bonetti, 2014; Pereira, 2018). Contudo, tem sido verificado, nas duas praias, intensos processos de retração da linha de costa durante a ocorrência de marés de tempestades.

Neste contexto, a pesquisa realizada se propõe a ampliar a compreensão sobre a resposta da variabilidade espacial da linha de costa de praias, neste caso urbanizadas, com orientações distintas durante a ocorrência de marés de tempestades. Pesquisas nesta linha já foram propostas anteriormente por Nordstrom (1980), Aubrey (1983), Masselink et al. (2016), Harley et al. (2017) e Enríquez et al. (2017), entre outros, mas são escassas no Brasil. Ressalta-se que na última década diversos estudos sobre a variação da linha de costa já foram realizados na Ilha de Santa Catarina, em particular para a praia da Armação (Muler, 2012; Camargo, 2012; Dalbosco, 2013). No caso da praia de Canasvieiras, no entanto, as pesquisas na escala local ainda são limitadas (Pereira, 2018), lacuna que o presente trabalho pretende preencher. Além disso, a presente pesquisa propõe uma análise comparativa entre ambas as praias, visando caracterizar o comportamento diferenciado que ocorre sob uma mesma condição meteo-oceanográfica e que resulta no deslocamento da posição da linha de costa.

Descrição da área de estudo

A Figura 1 representa o posicionamento da área de estudo.

Figura 1. Localização da área de estudo. Fonte: Arquivos vetoriais disponibilizados pelo IBGE.

Clima de ondas

No Brasil, são escassos os dados que caracterizem o clima de ondas, sobretudo as transformações que estas sofrem em águas rasas, próximo à costa. 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. A partir da análise estatística dos dados obtidos os autores propuseram

que ondulações dos quadrantes E e S caracterizam o regime principal de ondas, sendo as de S de maior altura. Muler e Bonetti (2014) modelaram e investigaram o clima de ondas para a Ilha de Santa Catarina por meio do modelo SWAN, que propaga as ondas a partir de dados de direção de vento, altura significativa, período de ondas e configuração batimétrica do local. Os resultados obtidos para ondas incidindo das direções NE, E, SE e S para o setor oceânico da Ilha de Santa Catarina podem ser observado na Figura 2.

Figura 2. Padrões de 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 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.

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

Fonte: Adaptado de Muler (2012).

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

Grau de exposição às ondulações - Canasvieiras			
Direção de onda	Setor Noroeste	Setor Central	Setor Nordeste
NE	Semi-exposto a abrigado	Semi-exposto a abrigado	Semi-exposto a abrigado
E	Semi-exposto a abrigado	Abrigado	Abrigado
SE	Abrigado	Abrigado	Abrigado
S	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 praial de Canasvieiras, utilizando os mesmos critérios considerando apenas os pontos cardeais e colaterais, assim como para a praia da Armação.

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 e 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 alteração no 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.

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 e 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-protetida (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 consequente 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.

Metodologia

Resgate histórico 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 (Noticiário 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.

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 a “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 o histograma de altura de ondas (frequência de ocorrência $\times H_s$) e a tabela de probabilidade de direção de onda incidente no Ponto DOW com a H_s como variável de medida.

Pré-processamento da base cartográfica

Primeiramente, foram adquiridas imagens orbitais através do *software* Google Earth Pro. O sistema disponibiliza para a área de estudo imagens de alta resolução de dois satélites distintos: QuickBird, lançado em 2001 e desativado em 2015, que gerou imagens com resolução espacial de 0,61 m no sensor pancromático e 2,4 m no multiespectral; e o satélite GeoEye, lançado em 2008, que apresenta 0,41 m de resolução espacial no sensor pancromático e 1,6 m no multiespectral.

A Tabela 1 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 1. Datas das imagens selecionadas para as praias da Armação e de Canasvieiras.

Data das imagens Armação	Data das imagens Canasvieiras
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 cada praia foi subdividida em cinco setores em cada um dos anos, tendo as imagens sido obtidas para uma altitude do ponto de

visão de 1 km. Subsequentemente as mesmas foram submetidas a um processo de mosaicagem. O georreferenciamento do mosaico mais antigo ocorreu 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 analisada. Realizou-se, então, a etapa de co-registro dos demais mosaicos tendo-se utilizado o mais antigo como imagem-base a fim de garantir a coincidência espacial entre todos. Foram consideradas satisfatórias, neste processo, valores de RMSE (*Root Mean Square Error*) em torno de 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 e 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, 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.

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 obter um quadro mais robusto do recuo da linha de costa devido ao impacto de marés de tempestade.

O primeiro método utilizado para quantificar a variação da linha de costa é conhecido como Método do Polígono de Mudança (*The Change Polygon Method*), proposto por Smith e Cromley (2012). Consiste na subtração de polígonos aos pares, que permitiram obter, no caso desta pesquisa, resultados em área da variação

entre os limites superiores da linha de costa de datas distintas. O segundo método utilizado é a extensão do *software ArcGIS Digital Shoreline Analysis System* (DSAS), versão 4.4 (Thieler et al., 2009), que realiza cálculos de distância da linha de costa a partir de uma linha de referência, assim como de taxas de variação da linha de costa no tempo com base em transectos distribuídos ao longo do arco praial (neste caso, espaçados de 5 metros entre si). Para este, utilizou-se dois métodos matemáticos, o *LinearRegressionRate* (LRR), que calcula a taxa de variação considerando todo o conjunto de datas de linha de costa disponíveis e o *Shoreline Change Envelope* (SCE), o qual fornece a distância da maior variação ocorrida no período, considerando as linhas de costa mais distantes entre si independentemente de suas datas. Ambas as técnicas vêm sendo empregadas com regularidade em pesquisas relativas ao deslocamento da linha de costa, podendo-se destacar, no Brasil, os estudos de Albuquerque et al. (2013) e Leal et al. (2018) (Polígono de Mudança) e Muler (2012) e Santos e Bonetti (2018) (DSAS).

As duas técnicas aplicadas diferenciam-se, sobretudo, por representarem a praia a partir de modelos espaciais distintos. O Método do Polígono de Mudança tem por base a análise da variação da área de praia emersa entre duas datas distintas. O DSAS, por outro lado, utiliza feições lineares e analisa seu deslocamento ao longo do tempo. O uso integrado de ambas as estratégias permite, portanto, que se avalie espacialmente onde houve perda ou ganho de superfície de praia entre dois períodos, assim como que se obtenham valores quantitativos da variação da posição da linha de costa em perfis individualizados, distribuídos ao longo da mesma, simultaneamente utilizando diversas datas.

Resultados e discussão

Marés de tempestade *Praia da Armação*

A Tabela 2 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.

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 a 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.

Praia de Canasvieiras

A Tabela 3 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.

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.

Tabela 2. 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.

Tabela 3. 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, Nova Minguante	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.

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 associadas aos ventos de NE e ondulações de NE, foram evidenciados eventos na praia de Canasvieiras.

SMC-Brasil Praia da Armação

TABELA ESTATÍSTICAS BÁSICAS **A**

Variável medida: Hs

direções(Nº)	prob. direção
N	0.0003
NNE	0.0008
NE	0.0037
ENE	0.0186
E	0.3624
ESE	0.5890
SE	0.0241
SSE	0.0006
S	0.0001
SSW	0.0001
SW	0.0000
WSW	0.0000
W	0.0000
WNW	0.0001
NW	0.0001
NNW	0.0002

Figura 5: A) Tabela gerada pelo SMC-Brasil com a probabilidade de direção de onda incidente no Ponto DOW. B) Histograma com a distribuição de alturas de ondas para o ponto DOW próximo à Praia da Armação. Fonte: Gerado a partir do SMC-Brasil.

Praia de Canasvieiras

A Figura 6A 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. A Figura 6B, por

A Figura 5A 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. As ondulações mais frequentes de NE (Muler, 2012) não são confirmadas, dado que, para o SMC-Brasil foram modelados apenas ventos globais, que geram ondulações distantes da costa. Desta forma, os ventos locais e os processos de difração responsáveis pela formação de ondas incidentes de NE não são considerados (Silva et al. 2014). A Figura 5B representa o histograma de altura de ondas modeladas para a posição do ponto DOW. A maior frequência de ondas ocorre em torno de 1 m de altura, concentrando-se as mesmas no intervalo de 0,5 m a 3,5 m.

sua vez, representa o histograma de altura de onda para o ponto DOW, a qual indica que a maior frequência de ondas ocorre em torno de 0,2 m de altura. No entanto, indica também que podem ocorrer ondas maiores que 1,8 m.

Figura 6. A) Tabela gerada pelo SMC-Brasil com a probabilidade de direção de onda incidente no Ponto DOW. B) Histograma de altura de onda a partir do ponto DOW próximo à Praia de Canasvieiras. Fonte: Gerado a partir do SMC-Brasil.

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.

Varição da linha de costa
Praia da Armação
Método do Polígono de Mudança

A Tabela 4 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 4. Resultados da variação em área para a praia da Armação.

Período	Ganho (m ²)	Perda (m ²)	Variação total
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
Variação 2009 - 2018	19750	-33270	-13520

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 7A e B) ao longo de 1,6 km da praia, iniciando-se na extremidade sul do arco praial (Muler, 2012).

Figura 7. Representação da variação entre os anos de 2009 e 2010 sobre a imagem de 2010 e entre 2010 e 2011 sobre a imagem de 2011. A e B) Estrutura construída no ano de 2010 com o intuito de conter a erosão do sul da praia da Armação. C) Registro do efeito das marés de tempestade de 2010 sobre as construções. Fonte: Lucas Sampaio em 27/05/2010.

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 m² nos setores sul e central, como se pode observar na Figura 7. Apesar da construção do enrocamento, uma faixa do setor central apresentou perda de -4480 m². A Figura 7C representa a situação das construções do setor central da praia após os eventos sucessivos de 2010.

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 7) foi marcado por perda de -4460 m², 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 8C). Com isso, houve perda em área de -5590 m^2 (Figura 8).

Figura 8. Representação da variação entre os anos de 2011 e 2012 sobre a imagem de 2012 e entre 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 8A), em 2012. Sendo assim, obteve-se 230 m^2 de ganho. A perda de -1050 m^2 no setor sul está associada à retirada de parte do enrocamento pela ação do mar.

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_s máximo registrado de 3,5 m e maré variando entre 0,1 e 1,1 m. Confirma-se na Figura 9 a perda em área de -2126 m^2 nesse setor, a qual está associado à perda de uma faixa de dunas e vegetação, representadas, como exemplo, na Figura 9A, B e C.

Figura 9. Representação da variação entre os anos de 2013 e 2014 sobre a imagem de 2014 e entre 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 m². Conforme observa-se na Figura 9, 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_s 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_s máxima de 3,4 m e maré variando entre 0,1 e 1,2 m. Pode-se observar na Figura 10 que os setores central e norte, os quais são expostos a essas direções de ondas, foram afetados com perda de -3960 m².

Figura 10. Representação da variação entre os anos de 2016 e 2017 sobre a imagem de 2017 e entre 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 m² do trecho superior de praia no setor norte, o que ocasionou na retração das dunas e da vegetação (Figura 10A e B).

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 11). 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 11. Variação da linha de costa a partir do método estatístico LRR para a praia da Armação.

A Figura 11 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 12: 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 13 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 13. Deslocamento total da linha de costa obtida pelo método SCE para a praia da Armação.

A Figura 14 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 13, 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 14. 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 5), 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 m². 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.

Praia de Canasvieiras

Método do Polígono de Mudança

A Tabela 5 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 5. Resultados da variação em área para a praia da Canasvieiras.

Período	Ganho (m ²)	Perda (m ²)	Variação 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
Variação 2009 - 2018	0	-3690	-3690

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 15, o único setor afetado foi o central, com perda de -190 m em área vegetada. As Figura 15A

e B, indicadas no mapa, representam uma das faixas onde houve perda.

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 15 esse último período apresentou perda de -3500 m no setor central e leste em áreas de dunas e vegetação. As Figuras 15C, 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.

Figura 15. Representação da variação entre os anos de 2016 e 2017 sobre a imagem de 2017 e entre 2017 e 2018 sobre a imagem de 2018 para a praia de Canasvieiras. 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.

DSAS

De acordo com a Figura 16, pode-se observar que ao longo do arco praial 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 16. Variação da linha de costa a partir do método estatístico LRR para a praia de Canasvieiras.

A Figura 17 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 praial de -1 m/ano.

Figura 17. 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.

A Figura 18 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 18. Variação da linha de costa a partir do método estatístico SCE para a praia de Canasvieiras.

A Figura 19 representa o gráfico com os resultados do método estatístico SCE para cada transecto entre 2009 e 2018. Evidencia o resultado

da Figura 18, mostrando que o setor leste foi o que mais variou no período, em aproximadamente 18 m, seguido do setor central.

Figura 19. 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 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 praiial 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 m² 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.

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 sincronidade 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 e 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

morfoossedimentar 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.

Conclusão

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;

- 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 mais frequentes e de maior altura não necessariamente são as menos impactadas constitui um importante elemento para o estabelecimento de diretrizes para a ocupação da zona costeira.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Jarbas Bonetti é bolsista de Produtividade em Pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Referências

- 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., Espinoza, J.M.A., Teixeira, P., Oliveira, A., Correa, I., Calliari, L.J. 2013. 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 65, 1710-1714.
- Araújo, C.E.S., Franco, D., Melo Filho, E., Pimenta, F. 2003. Wave regime characteristics of southern Brazilian coast. *International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries*. COPEDEC 6, 15–19.
- Aubrey D.G. 1983. Beach Changes on Coasts with Different Wave Climates. In: McLachlan A., Erasmus T. (eds) *Sandy Beaches as Ecosystems*. *Developments in Hydrobiology*, Springer, Dordrecht 19, 63-85.
- Boak, E.H, Turner, E.L. 2005. Shoreline Definition and Detection: A Review. *Journal Of Coastal Research*, Sydney 21, 688-703.
- Bonetti, J., Klein, A.H.F., Muler, 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. e Serafim, M. B. 2018. Geoindicator-based assessment of Santa Catarina (Brazil) sandy beaches susceptibility to erosion. *SI: Management Strategies for Coastal Erosion Problems*. *Ocean e Coastal Management* 156, 198-208.
- 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.
- 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.
- Enríquez, A.R., Marcos, M., Álvarez-Ellacuría, A., Orfila, A., Gomis, D. 2017. Changes in beach shoreline due to sea level rise and waves under climate change scenarios: application to the Balearic Islands (western Mediterranean). *Natural Hazards Earth System Sciences* 17, 1075-1089.
- González, M., Medina, R., Gonzalez-Ondina, J., Osorio, A., Méndez, F.J., García, E. 2007. An integrated coastal modeling system for analyzing beach processes and beach restoration projects, *SMC. Geosci* 33, 916-931.
- 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, 193p.
- Harley, M.D., Turner, I.L., Kinsela, M.A., Middleton, J.H., Mumfor, P.J., Splinter, K.D., Phillips, M.S., Simmons, J.A., Hanslow, D.J., Short, A.D. 2017. Extreme coastal erosion enhanced by anomalous extratropical storm wave direction. *Scientific Reports* [online] 7 Disponível: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-05792-1>. Acesso: 29 mar. 2019.
- 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 7, 127-129.
- 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. 2012. 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 5, 1-8.
- Leal, K.B., Oliveira, U.R., Espinoza, J.M.A. 2018. 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* 9, 25-37.
- Masselink, G., Castelle, B., Scott, T., Dodet, G., Suanez, S., Jackson, D., Floc'h F. 2016. Extreme wave activity during 2013/2014 winter and morphological impacts along the Atlantic coast of Europe. *Geophysical Research Letters* 43, 2135-2143.

- Mazzer, A.M., Dillenburg, S.R. 2009. 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 36, 117-135.
- Muehe, D. 2004. 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, 11-30.
- Muehe, D., Dobereiner, C. 1977. Dinâmica do fundo marinho ao longo do pier de Ipanema. *Academia Brasileira de Ciências* 49, 281-286.
- 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. 2014. An Integrated Approach to Assess Wave Exposure in Coastal Areas for Vulnerability Analysis. *Marine Geodesy* 37, 220-237.
- Mussi, C. S., Bonetti, J. e Sperb, R. M. 2018. Coastal sensitivity and population exposure to sea level rise: a case study on Santa Catarina Island, Brazil. *Journal of Coastal Conservation* 22, 1117-1128.
- Nordstrom, K.F. 1980. Cyclic and Seasonal Beach Response: A Comparison of Oceanside and Bayside Beaches. *Physical Geography* 1, 177-196.
- Oliveira, U.R., Barletta, R.C., Horn Filho, N.O. 2014. Distribuição espacial das características morfodinâmicas das praias arenosas da costa oceânica da Ilha de SC, SC, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, Porto Alegre 41, 89-103.
- 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., Bonetti Filho, J., Moreno, D.A., Oliveira, C.A. F, Murara, P.G. Maré de Tempestade. In: Herrmann, M. L. P. 2014. Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina: período de 1980 a 2010. 2. Ed. IHGSC/Cadernos Geográficos, Florianópolis, 151-154.
- Santos, E. e Bonetti, J. 2018. Análise da taxa de variação da linha de costada Enseada de Tijucas (SC) em diferentes escalas temporais como indicadora de susceptibilidade à inundação costeira. *Quaternary and Environmental Geosciences* 9, 19-25.
- SDS. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável, 2010.00 Sistema de Informações Geográficas de Santa Catarina. Florianópolis.
- 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. 2014. Performance assessment of the database downscaled ocean waves (DOW) on Santa Catarina coast, South Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 87, 623-634.
- Smith, M.J., Cromley, R.G. 2012. Measuring historical coastal change using GIS and the change polygon approach. *Transactions in GIS* 16, 3-15.
- 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.
- 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 [online] 2008-1278. 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* 32, 863-874.
- Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I. At risk: Natural Hazards, Peoples's Vulnerability and Disasters. 2. ed. New York, USA: Routledge, 2004. 276p.
- Wright, L.D., Short, A.D. 1984. Morphodynamics variability of high energy surf zones and

beaches: a synthesis. Marine Geology 56, 93-118.