

Artigo de Pesquisa

Variabilidade morfológica do pontal arenoso do estuário do rio Araranguá, Santa Catarina

Morphological variability of the sandspit of the Araranguá river estuary, Santa Catarina

Edvan CASAGRANDE dos SANTOS¹, Jair WESCHENFELDER²

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Porto Alegre, Brasil. edvancasagrande@gmail.com

² Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Geodésia, Instituto de Geociências, Porto Alegre, Brasil. jair.weschenfelder@ufrgs.br

Resumo: A caracterização dos sistemas deposicionais costeiros através do uso e interpretação dos dados de sensoriamento remoto, viabiliza estudos tanto em superfície quanto na subsuperfície desse ambiente. Em um cenário de mudanças ambientais globais, os ambientes deposicionais costeiros configuram-se como um dos ecossistemas mais vulneráveis a elevação do nível do mar. O objetivo desse trabalho foi caracterizar a dinâmica morfológica do pontal arenoso do rio Araranguá, em Santa Catarina, entre os anos de 1984 e 2021, a partir de imagens de satélite multiespectrais em superfície dos sensores ópticos orbitais *Thematic Mapper* (TM)/Landsat 5, *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+)/Landsat 7 e *Operational Terra Imager* (OLI)/Landsat 8. Para isso, foi utilizado um intervalo de 37 anos de imagens de satélite, cujo dados foram obtidas no banco de dados “*Earth Explorer*”, do Serviço Geológico dos Estados Unidos. O processamento digital das imagens foi realizado no software ENVI, versão 5.3. As feições deposicionais foram identificadas, vetorizadas e os mapas temáticos foram gerados no software ArcGIS®, versão 10.3. Os dados morfométricos gerados foram tabulados, analisados e comparados em planilhas eletrônicas. O pontal apresenta tendência de acreção sedimentar em relação a sua área e comprimento, e está em processo de progradação em direção nordeste. O pontal progradou aproximadamente 3.550 m no período analisado, e sua área acresceu 670 m². A taxa média de progradação calculada foi de 98,5 m por ano. A morfodinâmica do pontal arenoso do rio Araranguá está condicionada aos eventos de sobrelavagem costeira, inundação e as intervenções humanas.

Palavras-chave: ambiente deposicional, Sensoriamento Remoto, evolução costeira, Quaternário.

Abstract: Characterization of coastal depositional systems through the use and interpretation of remote sensing data enables studies both on the surface and on the subsurface of this environment. In a scenario of global environmental changes, coastal depositional environments are one of the most vulnerable ecosystems to rising sea levels. The objective of this work was to characterize the morphological dynamics of the sandspit of the Araranguá River, in Santa Catarina, between 1984 and 2021, using multispectral satellite images on the surface of orbital optical sensors Thematic Mapper (TM)/Landsat 5, Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)/Landsat 7 and Operational Terra Imager (OLI)/Landsat 8. For this, an interval of 37 years of satellite images was used, whose data were obtained from the “Earth Explorer” database of the United States Geological Survey. Digital image processing was performed using ENVI software, version 5.3. The depositional features were identified, vectored and the thematic maps were generated using ArcGIS® software, version 10.3. The morphometric data generated were tabulated, analyzed, and compared in electronic spreadsheets. The spit presents a tendency of sedimentary accretion in relation to its area and length and is in the process of progradation towards the northeast. The spit prograded approximately 3,550 m in the analyzed period, and its area increased by 670 m². The average rate of progradation calculated was 98.5 m per year. The morphodynamics of the Araranguá River sandspit are conditioned by coastal overwash events, flooding, and human interventions.

Keywords: depositional environment, Remote Sensing, coastal evolution, Quaternary.

1. Introdução

Os estuários são ambientes deposicionais de transição localizados na interface entre o continente e o oceano (Nascimento *et al.*, 2020). A geomorfologia costeira dos ambientes estuarinos é condicionada pelas frequentes alterações dinâmicas nas escalas espaciais e temporais dos processos marinhos (ondas e marés) e dos processos fluviais (Vieira *et al.*, 2020). Um pontal arenoso é uma feição deposicional geralmente associada a uma barreira costeira, composto pelo acúmulo de sedimentos arenosos na foz de ambientes estuarinos, canais de marés (*tidal inlets*) e ilhas barreiras. Os pontais são predominantemente constituídos por grãos de tamanhos areia, associados a outros sedimentos provenientes de diversas fontes continentais e marinhas (Kumar *et al.*, 2010; Hoan *et al.*, 2011; Pradhan *et al.*, 2015; Alcántara-Carrió *et al.*, 2018; Escudero *et al.*, 2019; Anh *et al.*, 2020; Saengsupavanich, 2021).

Os pontais arenosos desenvolvem-se em ambientes costeiros dominados pela ação das ondas, com baixa amplitude de marés, e estão associados à migração de canais estuarinos e a padrões de preenchimento progradacionais (Fitzgerald *et al.*, 2012; Bogo *et al.*, 2023). A porção subárea (emersa) dos pontais arenosos é constituída predominantemente por depósitos praias, eólicos (dunas), pântanos, lagunares e tecnogênicos (Avinash *et al.*, 2013; Nass & Viera, 2017; Mahanty *et al.*, 2019). A morfologia é influenciada principalmente pela estrutura geológica, aumento do nível do mar, disponibilidade de sedimentos, ventos, marés, ondas, sobrelevagem costeira, descarga fluvial e intervenções humanas. Os pontais arenosos protegem a linha de costa das ações de ondas, principalmente durante os eventos extremos de tempestades e inundações costeiras (Allard *et al.*, 2008; Pradhan *et al.*, 2015; Thomas *et al.*, 2016; Bogo *et al.*, 2021; Qi *et al.*, 2021).

A caracterização ambiental através do uso de informações obtidas por sensoriamento remoto viabiliza estudos tanto em superfície quanto na subsuperfície dos sistemas deposicionais costeiros (Yasir *et al.*, 2020; Rodríguez-Santalla *et al.*, 2021). A

interpretação de imagens de satélite multiespectrais e a aplicação de técnicas de geoprocessamento podem fornecer uma solução possível para alguns dos problemas de geração e atualização dos mapas temáticos dos ambientes deposicionais costeiros (Alesheikh *et al.*, 2007; Silva Neto *et al.*, 2020). A morfologia e evolução temporal dos pontais arenosos pode ser identificada por meio de imagens de sensores orbitais, levantamentos aerofotogramétricos e levantamentos topográficos de radar. Cuja variabilidade espacial e temporal pode ser caracterizada por meio de mapeamentos temáticos. Em um cenário de mudanças climáticas globais, consequente aumento de eventos meteorológicos extremos e aumento do nível do mar podem intensificar os processos de erosão costeira no litoral brasileiro localizado na porção do Atlântico Sul (Muehe, 2018; IPCC, 2021).

A zona costeira do sul de Santa Catarina é caracterizada como um ambiente onde a ação das ondas e da deriva litorânea produzem feições deposicionais arenosas ao longo da linha de costa (Zasso *et al.*, 2013). Segundo Siegle & Asp (2007), o pontal arenoso do rio Araranguá configura-se como um indicador geomorfológico da direção predominante da deriva litorânea nesse setor do litoral catarinense. No estado de Santa Catarina, como observado por Horn Filho *et al.* (2018), a zona costeira apresenta alterações morfológicas na sua paisagem em diferentes escalas espaço-temporais. Os principais processos de alterações no litoral catarinense são observados na erosão da linha de costa, nos campos de dunas e nos muros de contenção. Essas alterações são ocasionadas por variações morfodinâmicas de origens naturais ou por intervenções humanas na zona costeira.

Dessa forma, os processos erosivos ao longo do litoral de Santa Catarina, têm origem na variabilidade natural do sistema deposicional, entretanto podem ser intensificados pela influência das atividades humanas. No cenário local, o setor sul do litoral de Santa Catarina apresenta os menores índices de erosão costeira do litoral catarinense, consequentemente, são condicionados sobretudo pela variabilidade da morfodinâmica natural do sistema deposicional costeiro, como eventos de inundação e erosão praial ocasionados por marés e ondas de tempestades (Serafim & Bonetti, 2017; Horn Filho *et al.*, 2018). Nesse contexto, esse estudo tem como objetivo caracterizar a dinâmica morfológica do pontal arenoso, localizado na desembocadura do rio Araranguá, em Santa Catarina, entre os anos de 1984 e 2021, a partir de imagens de satélite multiespectrais em superfície dos sensores ópticos orbitais *Thematic Mapper* (TM), *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM)+ e *Operational Terra Imager* (OLI) da série Landsat 5, 7 e 8.

2. Área de Estudo

A área de estudo compreende a região da foz do rio Araranguá, localizada no extremo sul do estado de Santa Catarina, delimitada entre latitudes e longitudes de 28°55'57,62"S 49°21'17,59"O e 28°53'45,31"S 49°18'24,68"O. A área de estudo integra a Área de Proteção Ambiental Municipal (APA) da Costa de Araranguá (Decreto Municipal número 7828/2016), Monumento Natural (MONA) do Morro dos Conventos (Decreto Municipal número 7829/2016) e Reserva Extrativista (RESEX) (Decreto Municipal número 7830/2016) do rio Araranguá (Fig. 1).

A bacia hidrográfica do rio Araranguá possui uma área total de aproximadamente 3.089 km². O rio Araranguá forma-se pela junção de dois afluentes: o rio Mãe Luzia e rio Itoupava, com extensão de 35 km e profundidade estuarina média de 7,2 m (D'Aquino *et al.*, 2010; Couceiro *et al.*, 2021). Ao contrário da maioria dos canais fluviais que deságuam no mar na Bacia de Pelotas, sua desembocadura não está estabilizada por molhes de fixação. As águas do rio Araranguá recebem aporte de drenagem ácida com baixo pH de

seus afluentes, resultantes da mineração e do processamento de carvão a montante, o que acelera a decantação dos sedimentos transportados em suspensão pelo canal (Barreto & Schettini, 2014; Silvestrini & D'Aquino, 2020). Apresenta um padrão de distribuição vertical de salinidade e circulação estuarina altamente estratificado. Portanto, em relação ao indicador do balanço de materiais no sistema estuarino, pode ser classificado como um estuário do tipo exportador e de frente deltaica (Couceiro *et al.*, 2021). Os sedimentos de fundo são arenosos próximos à sua desembocadura (Couceiro & Schettini, 2010; Barreto & Schettini, 2014). As micromarés (amplitudes de marés inferiores a 2 m) são predominantes na região do estuário do rio Araranguá (Loitzenbauer & Mendes, 2016). As marés no estuário do rio Araranguá são caracterizadas como mistas e semidiurnas. O regime de micromarés no local tem um efeito secundário como condicionante da hidrodinâmica do estuário do rio, evidenciando que a descarga fluvial representa o fator mais relevante no sistema desse ambiente (Couceiro & Schettini, 2010; Barreto & Schettini, 2014). As correntes de maré atingem 0,4 m/s durante as marés de sizígia e 0,2 m/s nas marés de quadratura (Valle-Levinson *et al.*, 2019).

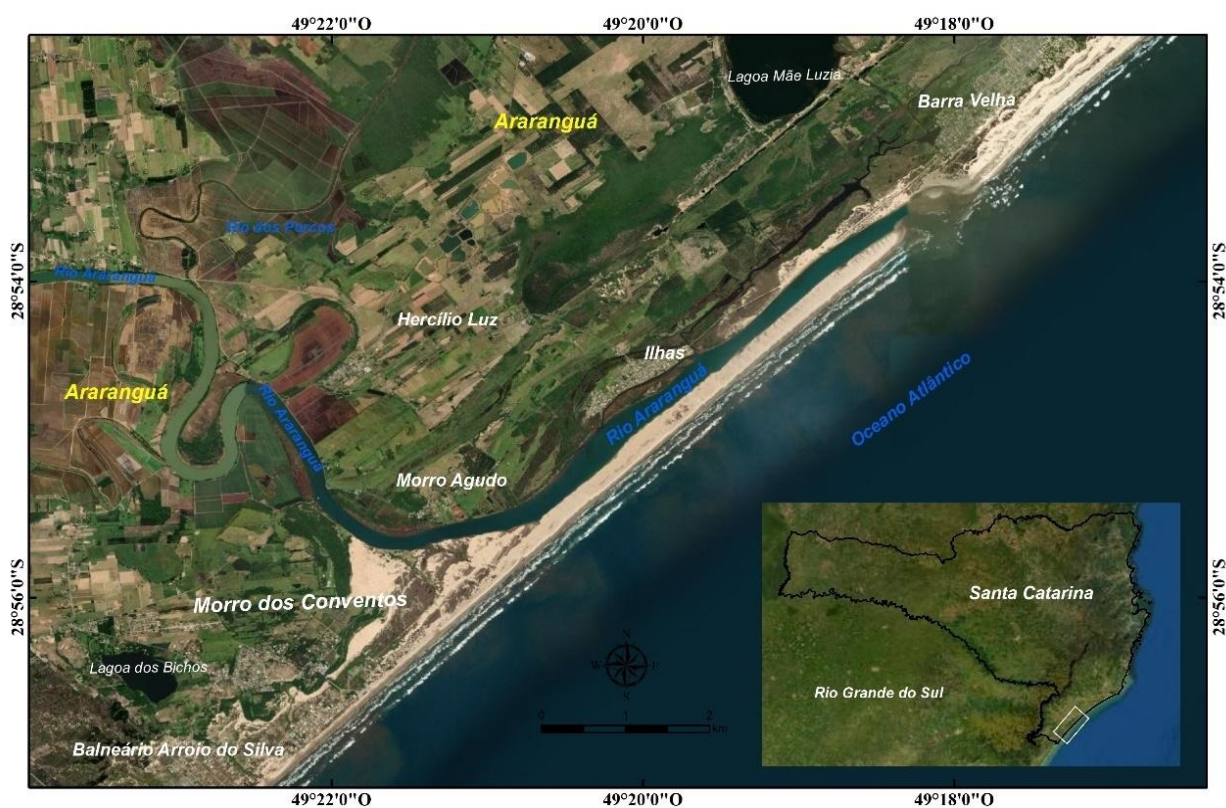


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo. Fontes: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, USDA FSA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo e Comunidade de Usuários GIS.

Figure 1. Location map of the study area. Sources: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, USDA FSA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and GIS User Community.

Silvestrini & D'Aquino (2020) destacam que a descarga fluvial é responsável pelo controle da hidrodinâmica e pelo transporte de propriedades no ambiente do estuário do rio Araranguá. A dinâmica climática desse ambiente estuarino é influenciada pela entrada de frentes frias que se formam no extremo sul do continente sul-americano, próximo à Antártica (Silvestrini & D'Aquino, 2020). O estuário do rio Araranguá está inserido no sistema climático subtropical úmido (Cfa), de acordo com a classificação de Köppen.

A deriva litorânea está associada à ação das ondas, desempenhando um papel fundamental na construção de feições sedimentares costeiras (Dominguez *et al.*, 1983). Na região da desembocadura de rios, em ambientes dominados por ondas, pode ocorrer a formação de ilhas arenosas, esporões e pontais arenosos. Essas feições deposicionais holocênicas são indicadores geomorfológicos do sentido predominante da deriva (Komar, 1998).

Na área de estudo, a deriva litorânea é predominantemente unidirecional entre a foz do rio Mampituba, em Torres-RS, e o estuário do rio Araranguá, em SC, com um maior potencial de transporte longitudinal de sedimentos ao longo desse setor. À medida que se desloca para o norte em direção ao Cabo de Santa Marta, em Laguna-SC, a deriva diminui sua intensidade e alterna sua direção em determinados períodos do ano (Siegle & Asp, 2007). Dessa forma, a deriva litorânea nessa região é controlada pelas ondas do quadrante sul, que são mais intensas, porém menos frequentes (Leal & Barboza, 2017). A deriva litorânea é mais intensa nos meses de outono e inverno e menos nos meses de verão e primavera (Siegle & Asp, 2007), atingindo seu máximo no outono.

2.1 Caracterização Geomorfológica e Geológica

A evolução da Planície Costeira do Sul de Santa Catarina segue o mesmo modelo proposto por Villwock *et al.* (1986) para a Planície Costeira do Rio Grande do Sul (Horn Filho *et al.*, 2014; Barboza *et al.*, 2021a), integrando o setor emerso mais ao norte da Planície Costeira da Bacia de Pelotas. A gênese da Bacia de Pelotas está relacionada aos eventos geotectônicos que resultaram na abertura do Oceano Atlântico e, consequentemente, na separação do supercontinente Gondwana (Villwock, 1984).

Conforme Horn Filho *et al.* (2014), o Quaternário é caracterizado pela alternância de períodos glaciais e interglaciais. A planície costeira catarinense se desenvolveu ao longo do período Quaternário, aproximadamente 1,6 Ma AP, dentro de um cenário das variações climáticas e das flutuações glácio-eustáticas do nível médio relativo do mar. Durante a formação da planície costeira da Bacia de Pelotas foram acumulados sedimentos em dois tipos de sistemas deposicionais: o sistema de leques aluvias e os quatro sistemas deposicionais transgressivos-regressivos do tipo laguna-barreira (Tomazelli & Villwock, 2000; Barboza *et al.*, 2021a). O setor sul da planície costeira de Santa Catarina é caracterizado pela marcante presença de depósitos quaternários dos ambientes sedimentares praial e eólico, típicos do sistema deposicional laguna-barreira (Horn Filho *et al.*, 2020). Esses depósitos, segundo os autores, assemelham-se aos encontrados ao longo da planície do Rio Grande do Sul. A aproximadamente 20 km ao norte do rio Araranguá, a barreira progradiou 1,3 km devido à dinâmica do sistema fluvial do rio Urussanga durante o Holoceno. A preservação no registro sedimentar dos paleocanais superficiais e subsuperficiais evidencia a antiga dinâmica desse ambiente fluvial (Leal *et al.*, 2016). O estuário do rio Araranguá apresenta dois sistemas deposicionais transgressivos-regressivos preservados do tipo laguna-barreira: a Barreira pleistocênica III (1,6 Ma AP - 11 ka AP) e a Barreira holocênica IV (11,7 ka até o presente) (Tomazelli & Villwock, 2005; Leal & Barboza, 2017).

A formação da Barreira III data do Pleistoceno Superior a 125 ka AP, associada ao terceiro evento de transgressão e regressão do nível do mar (Villwock *et al.*, 1986; Tomazelli & Dillenburg, 2007; Silva *et al.*, 2010; Barboza *et al.*, 2021a). Os depósitos sedimentares pleistocênicos datam entre 125 e 18 ka AP (Horn Filho *et al.*, 2014, 2017). A Barreira III é composta por fácies arenosas do sistema praial e de ambientes marinhos rasos, cobertas por sedimentos eólicos de idades pleistocênicas e holocênicas (Villwock *et al.*, 1986; Horn

Filho *et al.*, 1994). As feições geomorfológicas da Barreira III em Santa Catarina consistem em terraços marinhos, cordões de praia regressivos (*beach ridges*) e pontais arenosos, com altitudes variando de 8 a 15 m acima do nível médio do mar atual (Horn Filho *et al.*, 1994; Diehl & Horn Filho, 1996; Horn Filho, 2003; Barboza *et al.*, 2021a). Na área de estudo, de acordo com Horn Filho *et al.* (2020), em relação aos depósitos sedimentares com idades anteriores ao período do Holoceno, ocorrem unidades do Quaternário Indiferenciado, com depósitos coluviais e de leque aluvial, limitados às encostas do Embasamento. Enquanto o depósito aluvial ocorre ao longo da planície de inundação do rio Araranguá. Os depósitos sedimentares de idade Pleistocena são representados por depósitos eólicos e lagunares do Pleistoceno Superior, localizados no setor central e norte do município de Araranguá. O depósito lagunar encontra-se ao norte, na retaguarda do depósito eólico (Horn Filho *et al.*, 2020).

A Barreira IV se formou durante os estágios finais da última transgressão pós-glacial do Holoceno, aproximadamente entre 5 e 5,6 ka AP (Tomazelli & Villwock, 2005; Leal & Barboza, 2017; Barboza *et al.*, 2021a), com o nível máximo relativo, de cerca de $\pm 2,0$ m acima do atual por volta de 5 ka AP (Barboza *et al.*, 2021b; Angulo *et al.*, 2022). A barreira holocênica do sul de Santa Catarina compreende campos de dunas transgressivos que prograram ao longo dos últimos 7.000 mil anos e exibem comportamento típico de barreira-costeira regressiva (progradacional) (Hesp *et al.*, 2009; Oliveira, 2019). Esses depósitos incluem: depósitos marinhos intermarés, eólicos (dunas), lagunares, paludiais, sambaquis e aluviais (Villwock *et al.*, 1986; Diehl & Horn Filho, 1996; Horn Filho, 2003). A linha de costa tem um perfil predominantemente côncavo com direção ENE (Hesp *et al.*, 2009).

Na região da desembocadura do rio Araranguá, são encontrados apenas os depósitos marinhos/praias, eólicos e lagunares. Esses depósitos foram erodidos desde o início do Holoceno até o presente pela ação fluvial resultante do deslocamento do canal e dos meandros do rio Araranguá, durante períodos de maior pluviosidade e enchentes (Horn Filho *et al.*, 2020). Os depósitos lagunares originados dos processos regressivos estão associados às lagoas Mãe Luzia, Caverá e do Bicho. O depósito flúvio-lagunar encontra-se encaixado nas drenagens dos rios Sanga do Meio e da Toca, localizados a noroeste do município (Horn Filho *et al.*, 2020). Horn Filho *et al.* (2004) e Machado (2005) identificaram, por meio de mapeamento geológico, dois depósitos holocênicos na área de estudo: um depósito marinho praias/eólico e um depósito lagunar/flúvio-lagunar. Também é possível identificar depósitos de leques de sobrelavagem sobre o pontal arenoso do rio Araranguá. Próximo à sua foz, o rio Araranguá desenvolve paleocanais fluviais de idade holocênica, que infletem para nordeste, seguindo a direção preferencial da deriva litorânea (Horn Filho *et al.*, 2020).

3. Materiais e Métodos

Foram utilizadas 37 imagens de reflectância em superfície das séries Landsat 5, 7 e 8, obtidas sobre a área de estudo entre 1984 e 2021, com exceção do ano de 2012, no qual não foi possível obter uma imagem sem a presença de nuvens (conforme indicado no Tabela 1). A seleção de um intervalo decadal de imagens de sensoriamento remoto orbital possibilitou a análise multitemporal para compreender o comportamento da dinâmica morfológica na região da desembocadura do rio Araranguá. Além disso, busca-se inferir a direção da deriva litorânea de sedimentos, analisar a progradação (acrecção) e retração (erosão) do pontal arenoso, bem como compreender o papel que os processos costeiros desempenham na dinâmica holocênica dessa feição deposicional.

Tabela 1. Anos de aquisição das imagens de satélite da série Landsat 5, 7 e 8.

Table 1. Years of acquisition of satellite images from the Landsat 5, 7 and 8 series.

Landsat 5 (TM)	Landsat 7 (ETM+)	Landsat 8 (OLI)
1984 a 2000 e 2003 a 2011	2001 e 2002	2011 a 2021

As imagens obtidas predominantemente correspondem à estação do inverno, abrangendo os meses de agosto e setembro. Essa escolha baseia-se na maior intensidade da deriva litorânea nesses meses e na maior disponibilidade de imagens sem a presença de nuvens. Quando não foi possível utilizar uma imagem correspondente para esses meses específicos, procurou-se uma imagem de satélite para uma data próxima. Ao todo, foram empregadas seis bandas do espectro óptico provenientes dos sensores orbitais TM, ETM+ e OLI. Essas incluem três bandas no espectro visível (VIS), uma banda no infravermelho próximo (NIR) e duas bandas no infravermelho de ondas curtas (SWIR 1 e 2), conforme apresentado na Tabela 2.

As bandas do VIS 1, 2 e 3 dos sensores TM e ETM+/Landsat 5 e 7 correspondem ao intervalo 0,45 – 0,52 μm (Banda 1 – Azul), 0,52 – 0,60 μm (Banda 2 – Verde), 0,63 – 0,69 μm (Banda 3 – Vermelho). A banda 4 do NIR, ao intervalo 0,77 – 0,90 μm e as bandas 5 e 7, ao intervalo 1,55 – 1,75 μm (SWIR 1) e 2,08 – 2,35 μm (SWIR 2). Para o sensor OLI/Landsat 8, as bandas 2, 3, 4, 5 e 6 correspondem as bandas 1 a 5 dos sensores TM e ETM+, enquanto a banda 7 não foi alterada.

As imagens da série Landsat utilizadas nesse estudo estão disponíveis de forma gratuita para download, através do banco de dados Earth Explorer, do Serviço Geológico dos Estados Unidos, endereço eletrônico: <http://earthexplorer.usgs.gov>. As imagens obtidas já apresentavam pré-processamento digital, como projeção cartográfica Universal Transversa de Mercator (UTM), WGS-1984, Zona 22 Norte, e os valores de reflectância calculados para todas as bandas do espectro óptico.

A partir da definição das bandas utilizadas, o processamento digital das imagens foi realizado no software *Environment for Visualizing Images*® (ENVI), versão 5.3. As bandas foram agrupadas em um único arquivo por meio do processo de *Layer Stacking* - Empilhamento de Camadas. Esse processo envolve o agrupamento das bandas em um único arquivo. Essa abordagem de empilhamento de camadas é frequentemente empregada para a classificação de características individuais ou múltiplas da cobertura da superfície terrestre a partir de imagens de satélite (Lee *et al.*, 2018). Durante esse processamento, o sistema de projeção cartográfica das imagens foi mantido como Universal Transversa de Mercator e Dátum WGS 1984. O fuso foi ajustado para Zona Sul 22, e o arquivo resultante foi exportado no formato Geotiff.

No ENVI, as imagens foram georreferenciadas com base na imagem de 1984, a partir da ferramenta de Registro de Imagem por Imagem. Os vértices dos pixels da imagem base foram utilizados como pontos de controle no solo (*ground control points-GCPs*), para as demais imagens de satélite. Foram demarcados oito pontos de controle, a distorção foi realizada usando o método de reamostragem do Vizinho Mais Próximo (*Nearst Neighbor*), o Erro Médio Quadrático (*RMS Error*) foi de 0 para todas as imagens utilizadas.

No ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), especificamente no software ArcGIS®, versão 10.3, foi realizada a interpretação visual das imagens de reflectância em superfície. Para essa interpretação, foram utilizadas as composições coloridas RGB-752 (TM e ETM+) e RGB-763 (OLI) para identificar as feições deposicionais do pântano arenoso. Essas composições coloridas realçam as áreas em superfície com solos

predominantemente arenosos e secos (com umidade menor que 4%) em contraste com as áreas de areia molhada (com umidade maior que 5%). Além disso, possibilitam diferenciar essas áreas dos corpos hídricos. Essa abordagem é baseada na propriedade das superfícies arenosas de apresentarem alta reflectância nos comprimentos de onda do infravermelho de ondas curtas (SWIR). Contudo, quando a umidade aumenta nos solos arenosos, ocorre maior absorção na região do espectro visível (VIS) e do SWIR, devido à presença de bandas de absorção da água (Jensen & Epiphany, 2009).

Tabela 2. Descrição dos dados utilizados no estudo.

Table 2. Description of the data used in the study.

	Landsat 5	Landsat 7	Landsat8
Sistema Sensor	<i>Thematic Mapper (TM)</i>	<i>Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)</i>	<i>Operational Land Imager (OLI)</i>
Resolução Espacial	30 m	30 m	30 m
Resolução Espectral	Bandas 1,2,3,4,5 e 7	Bandas 1,2,3,4,5 e 7	Bandas 2,3,4,5,6, e 7
Resolução Temporal	16 dias	16 dias	16 dias
Resolução Radiométrica	8 bits	8 bits	16 bits
Órbita-Ponto	220-80	220-80	220-80

Para identificação das classes de feições deposicionais foram utilizados aspectos na imagem de satélite como a textura, rugosidade, cobertura do solo, comportamento espectral dos alvos, forma, tamanho, sombreamento, altura, altitude, tonalidade, cor, estrutura, densidade, localização (sítio) e associação (Florenzano, 2013).

As feições deposicionais foram vetorizadas (*shapefile*) no ArcGIS®, utilizando polígonos como base, com referência espacial na projeção UTM, Datum WGS 1984 e Zona 22 Sul. A partir do polígono gerado para o pontal arenoso, foram realizados cálculos utilizando a Calculadora de Geometria. Foram calculados a área (em km²), o perímetro (em km), o comprimento (em km) e as larguras proximal e distal (em metros) do pontal arenoso. A largura proximal foi determinada por meio de um transecto que se estende entre uma das margens do rio e o oceano. Já o outro transecto da largura distal foi definido entre a margem continental do pontal e o oceano, na desembocadura do rio Araranguá. Os dados gerados foram organizados em planilhas no Microsoft Excel 2019® com o intuito de criar gráficos e tabelas. Essas ferramentas foram utilizadas para a análise estatística do comportamento morfológico desse ambiente. Em uma coluna, foi estabelecida uma relação entre a área do pontal em relação ao ano anterior, permitindo identificar a taxa anual de erosão ou acreção. Em outra coluna, o comprimento foi empregado para avaliar a progradação, erosão ou equilíbrio do pontal, bem como sua taxa de mudança ao longo do período em análise. O trabalho de campo foi realizado na área de estudo em 25/11/2019. Durante essa visita, foram registradas fotografias em várias partes da extensão do pontal arenoso. Além disso, foram feitos ajustes no mapeamento temático previamente elaborado para melhor identificar esse ambiente deposicional.

4. Resultados

A série de dados quantitativos e os mapas temáticos do pontal foram organizados por décadas, com a inclusão do ano de 2021 na década de 2010. No total, foram produzidos quatro mapas temáticos de síntese, que abrangem a evolução costeira do pontal arenoso nos períodos de (1984 a 1989), (1990 a 1999), (2000 a 2009) e (2010 a 2021). Além disso, outros mapas foram gerados a partir da interpretação visual das imagens e da análise dos dados quantitativos (estatísticos). Isso envolveu o cálculo da área, do comprimento e das larguras proximal e distal do pontal arenoso. O objetivo principal desses mapas foi destacar os principais eventos de erosão e acreção observados no ambiente do pontal. Esses eventos condicionam os processos de progradação e erosão/recuo da barreira holocênica, influenciando significativamente na evolução morfológica desse ambiente deposicional.

No período entre 1984 e 1989, predominaram os processos de acreção e equilíbrio sedimentar no ambiente do pontal. Houve uma variação positiva de 280 m² em relação à área, juntamente com uma tendência progradacional no comprimento do pontal, que aumentou aproximadamente 557 m. Durante esse período, as larguras proximal e distal do pontal se mantiveram em um estado relativo de equilíbrio morfodinâmico (Fig. 2A). Durante a década de 1990, o pontal apresentou uma variabilidade morfodinâmica, com um acréscimo de 340 m² em sua área e um alongamento de 1259 m. (Fig. 2B).

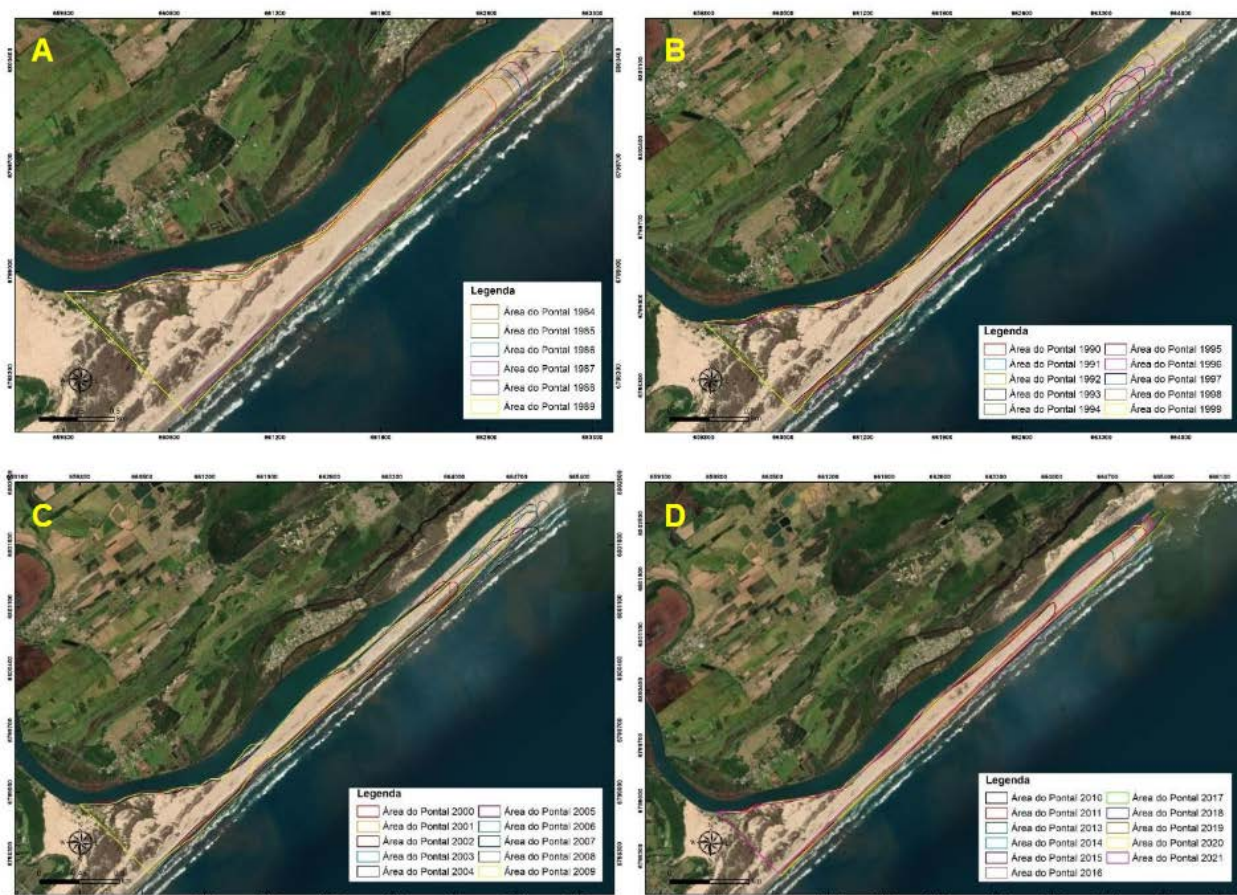


Figura 2. Mapas temáticos da evolução morfológica do pontal arenoso do rio Araranguá, A. (1984-1989); B. (1990 -1999); C. (2000-2009) e D. (2010-2021). Fontes: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, USDA FSA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo e Comunidade de Usuários GIS.

Figure 2. Thematic maps of the morphological evolution of the sand spit of the Araranguá river, A) (1984-1989); B) (1990 -1999); C) (2000-2009); D) (2010-2021). Sources: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, USDA FSA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and GIS User Community.

No período entre 2000 e 2009 (Fig. 2C), foi observado que a área do pontal permaneceu em equilíbrio dinâmico, com um acréscimo de 80 m². Além disso, o comprimento do pontal aumentou em 970 m, evidenciando a ocorrência de progradação, mas sem aumento significativo em seu tamanho. Também foi notada a redução da largura distal do pontal ao longo desse período. No período de 2010 a 2021, é possível observar o deslocamento do pontal no sentido nordeste, assim como seu estreitamento. Houve um aumento de 260 m² na área durante esse período, juntamente com um acréscimo de 1598 m no comprimento do pontal (Fig. 2D).

5. Discussões

Através da análise visual das imagens foi possível identificar duas aberturas criadas pela ação humana no pontal arenoso do rio Araranguá. A primeira abertura foi feita no ano de 1988, localizada na região proximal do pontal (Fig. 3). A segunda abertura ocorreu em 2009, mais ao sul da desembocadura do rio (Fig. 5). Essas intervenções humanas no setor sul da foz do rio Araranguá datam desde 1950 (Cristiano *et al.*, 2019). Elas foram motivadas pela necessidade da comunidade local e por projetos do poder público de estabilizar a barra na foz canal. O propósito dessas intervenções é mitigar os efeitos das cheias rio acima, além de promover a atividade pesqueira, possibilitando o tráfego de embarcações para os habitantes locais. As enchentes que ocorrem na planície de inundação do rio Araranguá resultam em prejuízos socioeconômicos para a população e a agricultura da região (Cristiano *et al.*, 2019; Debortoli *et al.*, 2020).

Na imagem de satélite obtida sobre a área de estudo em 1989 (Fig. 3) é possível observar que o canal de vazão, aberto manualmente no ano anterior foi completamente assoreado. Isso ocorreu devido à ação das ondas da deriva litorânea, que transportam sedimentos, bem como devido ao transporte e deposição eólica. Há intensa dinâmica que ocorre na porção distal do pontal arenoso foi especialmente evidente em alguns dos anos ao longo do período analisado. Nos anos de 1990 e 1993 (Fig. 3), 1996 e 1997 (Fig. 4), 2007 (Fig. 4) e 2010 (Fig. 5), essa dinâmica costeira foi particularmente pronunciada. Isso sugere que durante esses anos, os processos de transporte e deposição de sedimentos, assim como a ação das ondas da deriva litorânea, desempenharam um papel significativo na evolução morfológica da porção distal do pontal arenoso.

Nos anos mencionados, foi observada a presença de areia úmida na região distal do pontal arenoso, o que foi indicado pela tonalidade mais escura na composição colorida usada para a análise. Esse padrão morfodinâmico que se observa na desembocadura do rio Araranguá também foi confirmado durante o trabalho de campo realizado em novembro de 2019. Durante essa visita, foi possível constatar a existência de restos de vegetação, incluindo troncos, galhos e raízes de árvores, bem como carapaças de moluscos marinhos. Essa porção proximal a abertura do canal de maré é a mais suscetível as rápidas mudanças observadas na morfologia do pontal arenoso, assim como aos eventos erosivos ocasionados pela dinâmica fluvial (Lopes *et al.*, 2021).

Em 2002 (Fig. 4) foi observado a presença de canais de sobrelavagem através da interpretação da imagem de satélite. Essa deposição é ocasionada pela ação das marés de tempestades que ocorrem em média 3,28 vezes por ano no litoral de Santa Catarina (Rudorff *et al.*, 2014). No ano de 2010, como evidenciado na Figura 5, a abertura manual realizada em 2009 com o propósito de mitigar as inundações já estava completamente assoreada. No entanto, o pontal apresentou erosão em comparação ao ano anterior. Em contrapartida, em 2019, conforme registrado na mesma figura, observou-se que o pontal estava em equilíbrio, sem sinais de lavagem em sua porção emersa. No ano de 2020,

conforme ilustrado na Figura 5, o canal de maré retrocedeu em direção ao sul, o que permitiu observar que uma parte do pontal sofreu processo erosivo. Isso evidencia a dinâmica intensa que ocorre nesse setor do pontal arenoso do rio Araranguá.

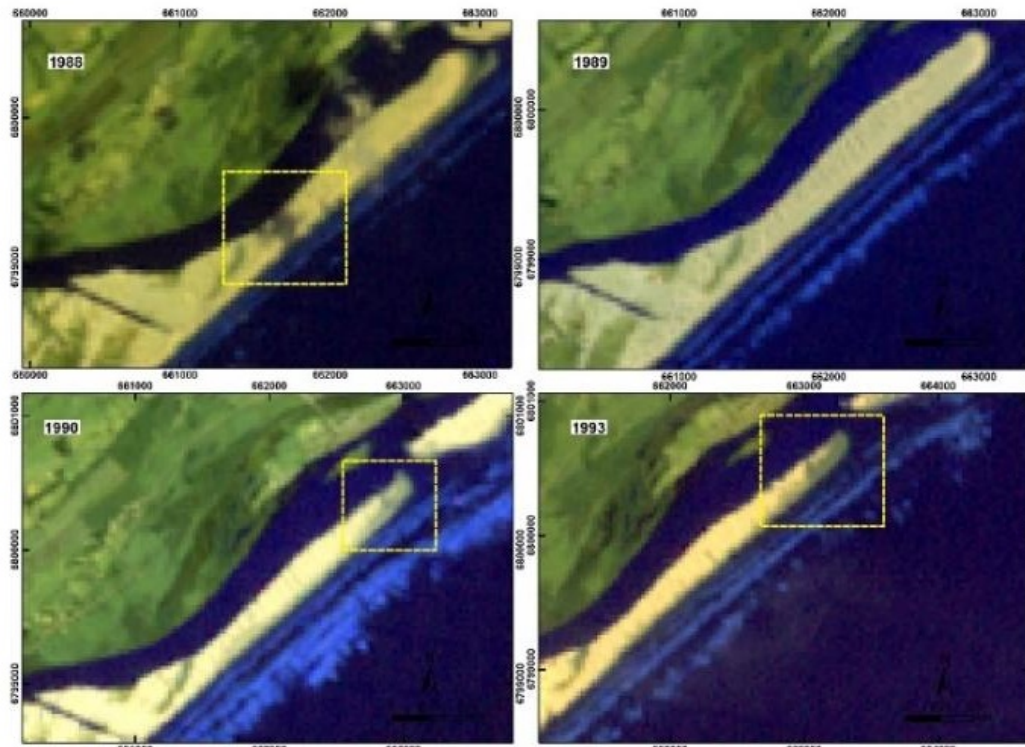


Figura 3. Imagens de satélite Landsat 5 da área de estudo, anos de 1988, 1989, 1990 e 1993.

Figure 3. Landsat 5 satellite images of the study area, years 1988, 1989, 1990, and 1993.

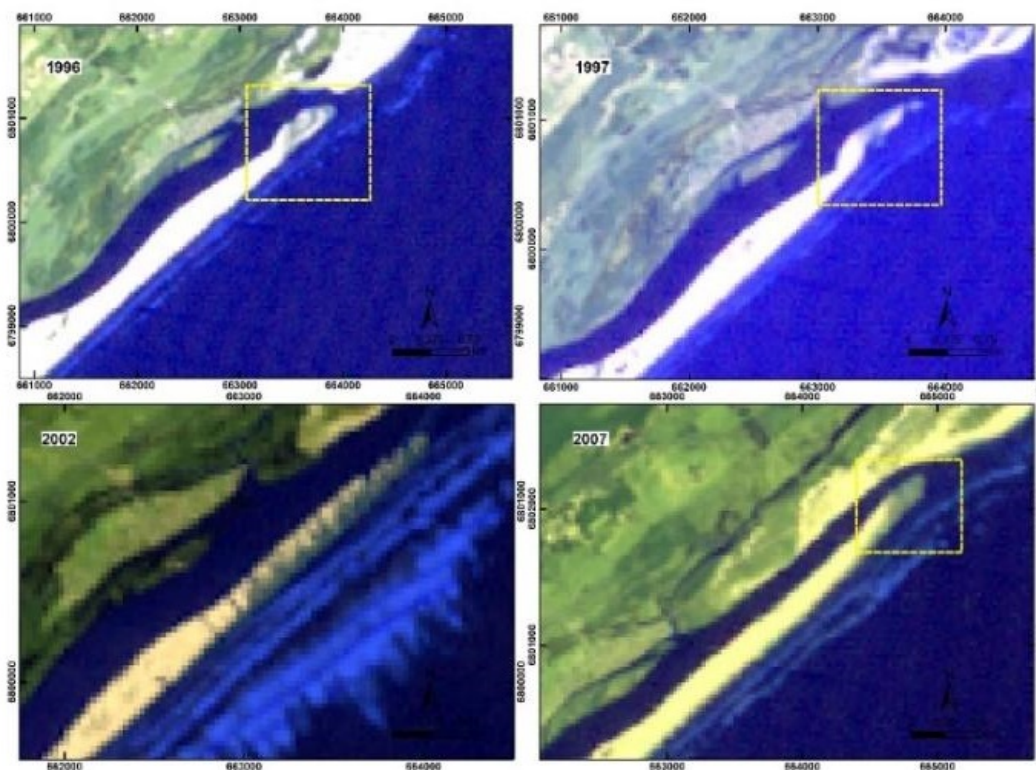


Figura 4. Imagens de satélite Landsat 5 da área de estudo, anos de 1996, 1997, 2002 e 2007.

Figure 4. Landsat 5 satellite images of the study area, years 1996, 1997, 2002, and 2007.

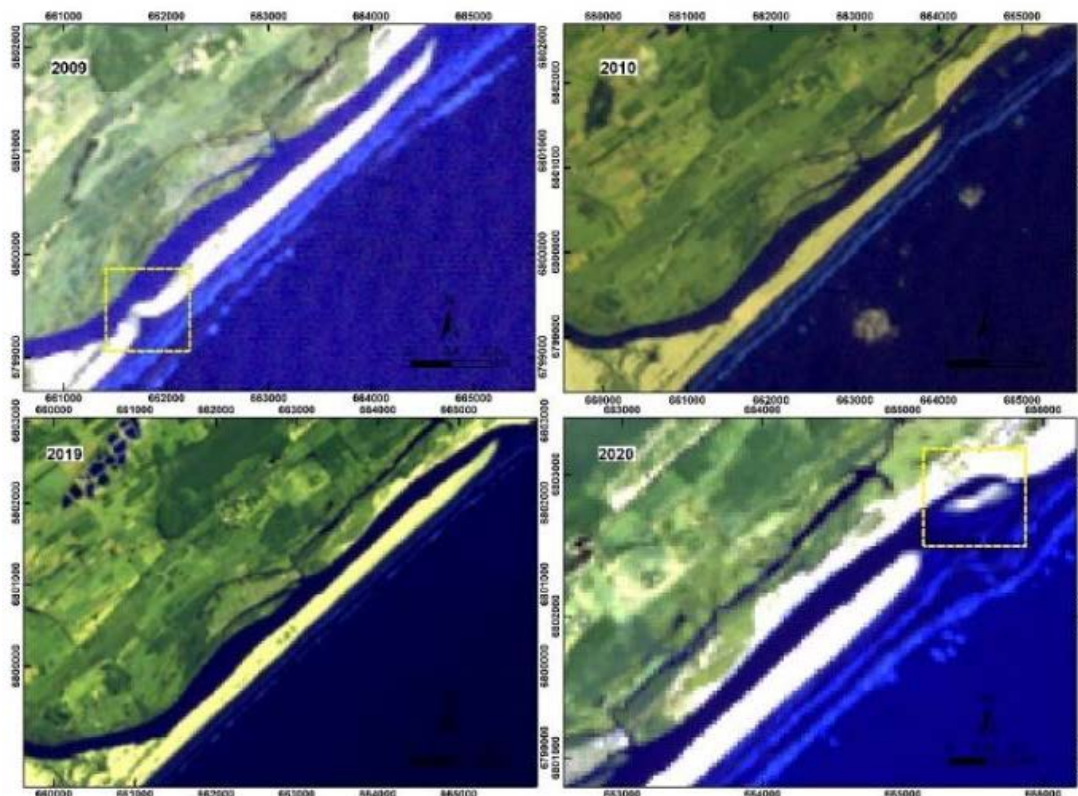


Figura 5. Imagens de satélite Landsat 5 e 8 da área de estudo, anos de 2009, 2010, 2019 e 2020.

Figure 5. Landsat 5 and 8 satellite images of the study area, years 2009, 2010, 2019, and 2020.

5.1 Variações morfométricas

A evolução costeira da área, comprimento, largura proximal e distal do pontal arenoso pode ser observada nas Figuras 6, 7 e 8. O pontal arenoso do rio Araranguá apresenta uma tendência de acreção sedimentar em relação à sua área, caracterizando-se como uma feição deposicional costeira em processo de progradação em direção ao nordeste de sua desembocadura. Entre 1984 e 2021, ocorreu um acréscimo de 670 m² na área do pontal. A menor área observada foi em 1984 (1207 m²), enquanto a maior ocorreu em 2008 (2107 m²). No entanto, esse padrão de acreção não foi linear ao longo do período analisado. Isso contribui para a intensa variabilidade morfodinâmica do pontal, onde a relação entre as variáveis de área e comprimento está fortemente correlacionada (Fig. 6).

Foi possível identificar períodos em que o pontal arenoso sofreu erosão, levando à retração de sua área em relação ao ano anterior. Os anos com as maiores erosões foram 2002 (360 m²) e 2009 (330 m²). Essa erosão do pontal arenoso durante esses dois períodos ocorreu devido a diferentes eventos meteorológicos, fluviais e oceanográficos.

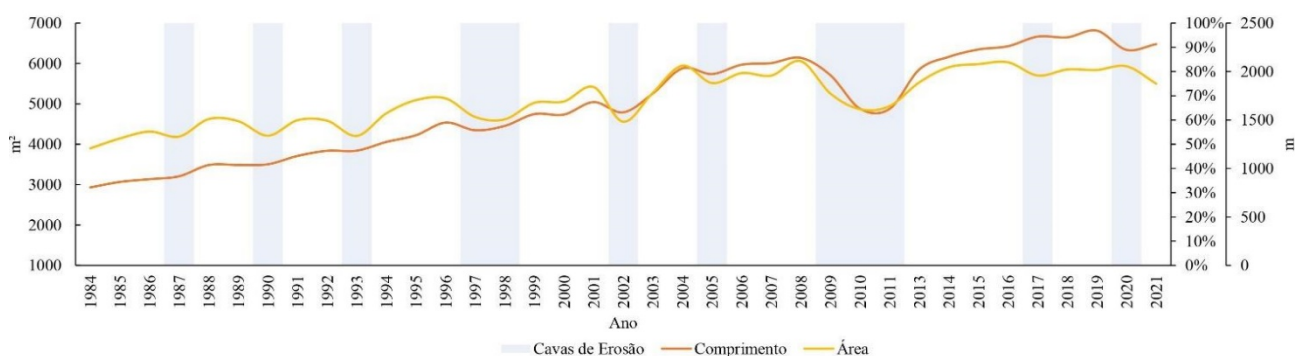


Figura 6. Correlação entre o comprimento e a área do pontal, com destaque para as cavas de erosão.

Figure 6. Correlation between the length and the area of the spit, with emphasis on the erosion pits.

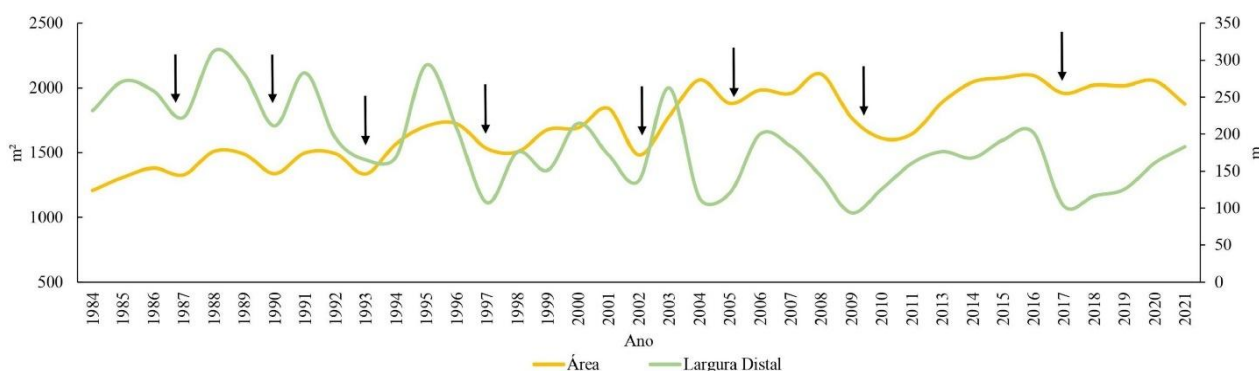


Figura 7. Relação entre a área e a largura distal, as setas indicam os anos correlatos de erosão.

Figure 7. Relation between the area and the distal width, the arrows indicate the correlated years of erosion.

Em 2002, através de indicador geomorfológico na imagem de satélite em superfície, é possível verificar a presença de canais característicos de leques de sobrelavagem sobre o pontal arenoso (Fig. 4). Os leques de sobrelavagem se formam durante a progradação de pontais e são mais comuns em barreiras costeiras arenosas (Donnelly *et al.*, 2006; Hudock *et al.*, 2014). Conforme Hequette & Ruz (1991) ressaltam, os processos sobrelavagem contribuem para a migração dos pontais arenosos, com a transferência de sedimentos de praia e de backshore em direção ao interior do continente. Essa migração, de acordo com Bastos *et al.* (2012) ocorre em resposta às flutuações eustáticas, uma vez que os pontais arenosos apresentam rápidas mudanças na sua morfologia (posição e forma) em um curto período, cuja dinâmica está diretamente relacionada a eventos meteorológicos.

Entre os dias 5 e 8 de maio de 2001, a entrada de um ciclone extratropical em Santa Catarina, associado a uma maré de sizígia, provocou eventos de ondas e marés de tempestade ao longo da costa do estado (Rudorff *et al.*, 2014). Nesse cenário, a redução da área do pontal de 2001 para 2002 está diretamente ligada aos efeitos meteorológico-oceanográficos que resultaram no aumento do nível do oceano. Esses eventos adversos contribuíram para o processo de erosão observado na área do pontal durante esse período.

No ano de 2009, durante a primeira quinzena de janeiro, ocorreu um evento extremo de precipitação na bacia hidrográfica do rio Araranguá (Debortoli *et al.*, 2020). Isso resultou na cheia dos afluentes e na inundação das áreas da planície da bacia hidrográfica. Os efeitos desse evento culminaram na abertura de um canal no pontal, permitindo que as águas do rio Araranguá fossem escoadas. Portanto, a combinação entre a inundação fluvial no continente e a intervenção humana resultou na erosão da área do pontal arenoso. Além disso, um outro parâmetro morfométrico reforça a intensa erosão observada no pontal nesse ano: a largura distal da barreira, que foi de apenas 94 m em 2009, representando a menor distância entre a retrobarreira e o oceano ao longo do período analisado (Fig. 8). Isso corrobora a ocorrência de processos erosivos significativos nesse período, provavelmente devido à combinação dos eventos de inundação fluvial e das intervenções humanas no pontal.

O pontal arenoso do rio Araranguá progradou aproximadamente 3.550 m entre 1984 e 2021. A direção do crescimento do pontal é predominante nordeste da sua foz. A taxa média de progradação anual é de 98,5 m por ano. Foram observados seis períodos de recuo/erosão da barreira costeira, relacionados aos eventos de inundação fluvial, sobrelavagem e intervenção humana. Essa feição é predominante progradacional, apresentando caráter erosivo nos anos de 1997 (189 m), 2002 (254m), 2005 (141 m), 2009 (430 m), 2010 (828 m) e 2020 (476 m). Esse padrão pode ser observado pela presença de cavas de erosão no comprimento do pontal arenoso (Fig. 6). A erosão identificada nesses anos, está relacionada aos mesmos eventos que condicionam a erosão/acreção da área do pontal. A associação entre a inundação fluvial, a intervenção humana e ondas de tempestades, ocasionaram um recuo de 20,5% no comprimento do pontal, entre 2009 e 2011. Essa intensa erosão ocorreu no setor distal, uma vez que os sedimentos arenosos se encontram menos consolidados nessa área e estão sujeitos a ação direta da dinâmica flúvio-marinho.

Entre os anos 2009 e 2011, houve uma retração do pontal de aproximadamente 1260 m. No entanto, entre 2013 e 2014, foi observado um acréscimo de 1280 m no comprimento do pontal. Essa dinâmica evidencia que os eventos que levam à erosão da barreira costeira ocorrem principalmente na porção subárea do pontal, especialmente em sua parte distal. Além disso, a porção submersa do pontal possivelmente não está exposta da mesma forma aos eventos que contribuem para os processos erosivos nesse ambiente. Por exemplo, entre 2019 e 2020, o pontal arenoso sofreu uma erosão de 476 m. Através das imagens, é possível observar a presença de uma ilha arenosa ao norte da desembocadura (Fig. 5). Essa ilha fazia parte da área do pontal arenoso, mas devido às condições hidrodinâmicas, ocorreu naturalmente a abertura de um novo canal de maré no pontal do rio Araranguá. Essa feição não foi observada na imagem de satélite de 2021.

O deslocamento em sentido nordeste do pontal arenoso do rio Araranguá evidencia a predominância da deriva litorânea observada no Sul de Santa Catarina e no Rio Grande do Sul, que se processa em ambos os sentidos da linha de costa, mas com predominância geral no sentido NE (Tomazelli & Villwock, 1992; Zasso *et al.*, 2013; Barboza *et al.*, 2014; Silva *et al.*, 2014). Conforme observado por Tomazelli & Villwock (1992), ao longo das desembocaduras dos rios, lagunas e arroios da costa sul brasileira, a deriva litorânea tem um sentido predominante em direção ao Nordeste (NE). Isso ocorre uma vez que as desembocaduras da Lagoa do Peixe, na região de Mostardas-RS, e do rio Mampituba migram constantemente em direção ao NE. Na barreira holocênica de Passo de Torres-SC, paleocanais do rio Mampituba apresentam morfologias alongadas com orientação SW-NE, alcançando extensões de 25 km de comprimento (Silva *et al.*, 2014). Isso demonstra um

padrão de progradação NE das feições costeiras nesse setor da barreira ao longo do Holoceno.

A evolução costeira do pontal arenoso observada através da interpretação das imagens de satélite Landsat 5, 7 e 8 reforça o padrão observado por Machado (2005) da deriva litorânea em direção NE, entre a praia do Morro dos Conventos. Araranguá-SC e o Balneário da Gaivota-SC. Ainda, Horn Filho *et al.* (2020) ressaltam que o rio Araranguá desenvolve junto a sua foz, paleocanais fluviais de idade holocênica, que infletem para nordeste, seguindo a direção preferencial da deriva litorânea.

A largura proximal do pontal é relativamente estável durante o período analisado (Fig. 8), o que demonstra que essa porção não é intensamente influenciada pelos eventos oceanográficos, fluviais e meteorológicos que atuam diretamente nesse ambiente.

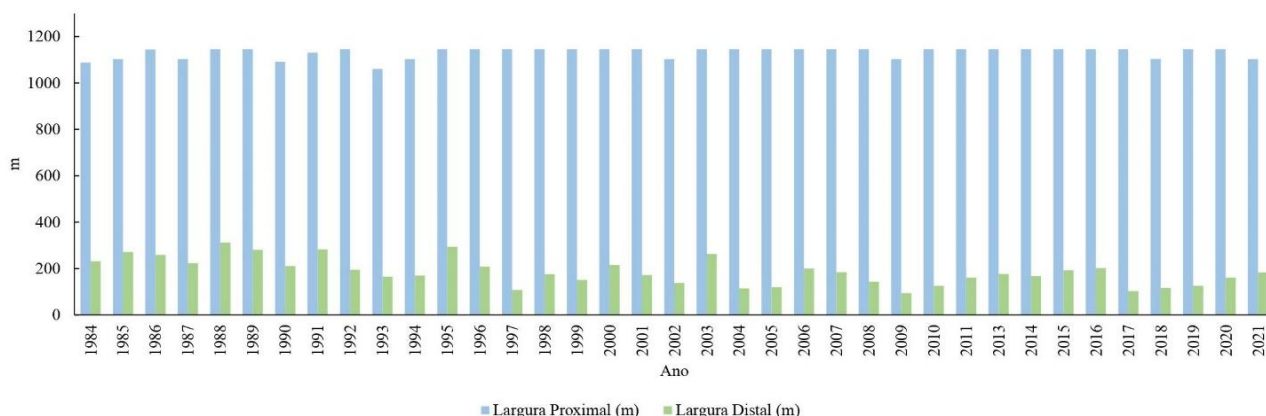


Figura 8. Comparação da largura proximal e da largura distal do pontal.

Figure 8. Comparison of the proximal width and distal width of the spit.

A estabilidade morfodinâmica observada da interpretação visual das imagens de satélite na porção proximal do pontal arenoso também foi observada *in situ*. A porção distal do pontal apresenta grande variabilidade morfológica entre 1984 e 2021. Conforme alonga-se para em direção a NE essa feição diminui sua largura se tornando uma barreira (pontal) estreita (Fig. 9).

Em um estudo sobre o pontal arenoso de Arçay, localizado na costa oeste francesa, Allard *et al.* (2008) constataram que ao longo de períodos interanuais, o pontal arenoso demonstrou uma variação no ganho de área, decorrente das flutuações no transporte litorâneo, especialmente influenciado pela altura das ondas que atingem a linha costeira. Essas oscilações no padrão das ondas se apresentaram como o principal fator que regula a evolução morfológica do pontal. Essa tendência de acreção deposicional na área do pontal arenoso de Arçay também se manifestou por meio da análise morfológica na região do estuário do rio Araranguá. Durante anos em que ocorreram eventos de inundação em sua bacia hidrográfica, as cheias resultaram na erosão da área do pontal, tanto pela influência da descarga fluvial na dinâmica do rio quanto pelas intervenções humanas. Por outro lado, em períodos em que a deriva litorânea foi o principal processo morfodinâmico desse sistema, o transporte de sedimentos levou à deposição e consequente aumento da área do pontal arenoso.



Figura 9. Porção proximal (A), com a presença de dunas e vegetação e a Porção Distal (B), com visão para a estuário e retrobarreira.

Figure 9. Proximal Portion (A), with the presence of dunes and vegetation, and Distal Portion (B), with a view of the estuary and backshore.

O transporte eólico de sedimentos arenosos desempenha um papel construtivo na evolução morfológica do pontal arenoso do rio Araranguá. Conforme destacado por Tribe & Kennedy (2010), eventos meteorológicos como tempestades e ciclones podem resultar em erosão na área do pontal Farewell, localizado na Ilha Sul da Nova Zelândia. No entanto, essa erosão é contrabalançada pela deposição de sedimentos por meio do transporte eólico. A influência desse processo também foi observada na área de estudo em questão, especialmente no assoreamento ocorrido no ano seguinte à abertura dos canais pela interferência humana em 1988 e 2009. Através da análise das imagens de satélite, é possível identificar que os sedimentos depositados nesses locais são predominantemente areias secas, devido às suas características de coloração, aspecto e comportamento espectral. Dessa forma, com base na observação dos indicadores geomorfológicos, acredita-se que os ventos também desempenham um papel significativo na dinâmica desse ambiente. Isso é reforçado pela composição granulométrica dos sedimentos do pontal arenoso do rio Araranguá, que consistem em areias finas e muito finas (Klein *et al.*, 2016).

Massuanganhe & Arnberg (2008) realizaram uma análise da evolução do pontal Pomene, localizado no Sul de Moçambique, por meio da classificação automática de imagens de satélite Landsat TM/ETM+. A conclusão a que chegaram é que, apesar da baixa resolução espacial dessas imagens espectrais, elas desempenham um papel crucial no monitoramento das rápidas mudanças que ocorrem na geomorfologia dos pontais. Os resultados obtidos permitiram identificar a direção de crescimento do pontal e sua morfologia, que está progressivamente se estreitando. Esse estreitamento levanta a possibilidade de rompimento do próprio pontal. Esse padrão também foi observado na área de estudo em questão, uma vez que o crescimento do pontal arenoso do rio Araranguá ocorre na direção nordeste, e a sua forma apresenta um padrão de estreitamento que pode eventualmente resultar no rompimento e na abertura de novos canais de maré.

No litoral de Santa Catarina, durante a estação de inverno, as ondas oceânicas assumem características mais energéticas (Araújo *et al.*, 2003). De acordo com Allard *et al.* (2008), ondas de alta energia podem resultar em um significativo acúmulo de areia e no alongamento dos pontais, enquanto ondas de menor energia contribuem para um acúmulo

mais limitado de areia e para a curvatura dos pontais. Ao observar a morfologia do pontal arenoso do rio Araranguá, nota-se a ausência de curvaturas, indicando que as ondas provenientes do quadrante sul, caracterizadas por uma alta energia, períodos mais longos e uma maior capacidade de transporte de sedimentos em áreas rasas da plataforma continental, exercem uma influência significativa na evolução morfológica desse pontal (Oliveira *et al.*, 2019).

O relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas-IPCC (2021) destaca que o risco relacionado a elevação do nível do mar e suas implicações para as áreas costeiras globais inclui o aumento significativo da erosão, inundações e a salinização das zonas costeiras de baixa altitude até o final do século XXI. Os eventos extremos de elevação do nível do mar se tornaram mais comuns até 2100, em todos os cenários apresentados no relatório, o que ocasionará severas inundações costeiras em escalas interanuais cada vez menores. Nesse contexto global, o pontal arenoso do rio Araranguá que sofre impacto de eventos erosivos, ocasionados principalmente pelas inundações costeiras em um intervalo de 2 a 4 anos, está propenso ao aumento da ocorrência de leques de sobrelavagem, abertura de novos canais de maré ou total sobrelavagem de parte da sua área. Rodriguez *et al.* (2018) consideram que à medida que a barreira costeira se estreita e diminui em altitude, torna-se mais vulnerável as inundações durante as tempestades costeiras. Portanto, é possível que o aumento na taxa da elevação do nível do mar previstas nas próximas décadas e séculos pelo IPCC (2021), conjuntamente ao aumento das marés e ondas de tempestades poderá acarretar um acréscimo na sobrelavagem costeira e formação de leques de sobrelavagem sobre o pontal arenoso do rio Araranguá, e consequente inundação costeira e prejuízos socioeconômicos para as comunidades litorâneas.

6. Conclusões

A análise quantitativa das imagens de sensoriamento remoto, combinada com técnicas de geoprocessamento, permitiu uma caracterização abrangente da dinâmica morfológica do pontal arenoso do rio Araranguá. A utilização das informações multiespectrais de reflectância em superfície revelou-se uma ferramenta fundamental para a identificação, caracterização e monitoramento da evolução geológica e geomorfológica das feições costeiras deposicionais. Para uma análise mais detalhada da influência dos processos de sobrelavagem costeira na evolução dos pontais arenosos, é desejável a utilização de imagens de satélite com maior resolução espacial. Através da interpretação visual das imagens Landsat 5, 7 e 8, foi possível identificar os principais fatores que influenciaram a morfodinâmica desse ambiente deposicional. Tais fatores estão relacionados às condições meteorológicas e oceanográficas, como eventos de sobrelavagem, cheias na planície da bacia hidrográfica do rio Araranguá e intervenções humanas no pontal arenoso.

O pontal arenoso opera como um indicador geomorfológico do sentido do transporte de sedimentos costeiros pela deriva litorânea. A predominância da deriva litorânea em direção nordeste é o principal fator que contribui para a evolução e alongamento do pontal arenoso do rio Araranguá. As erosões na área da barreira estão relacionadas com a elevação do nível do mar durante eventos meteorológicos de alta energia e as aberturas de canais antrópicos para a vazão do rio Araranguá. O setor distal do pontal é mais suscetível aos eventos naturais que moldam a morfologia, enquanto o setor proximal é mais vulnerável às intervenções humanas. O pontal arenoso exibe características de deposição e acreção, tanto em sua área quanto em seu comprimento, interrompidos em intervalos de três a quatro anos por eventos erosivos de ordem natural e antropogênica.

Agradecimentos: Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro. Esse manuscrito é parte da dissertação de mestrado em Geociências do autor, concluída no ano de 2022.

Contribuições dos Autores: Concepção, E.C.S. e J.W.; metodologia, E.C.S.; software, E.C.S.; validação, E.C.S. e J.W.; análise formal, E.C.S. e J.W.; pesquisa, E.C.S. e J.W.; recursos E.C.S.; preparação de dados, E.C.S.; escrita do artigo, E.C.S.; revisão, E.C.S. e J.W.; supervisão, E.C.S. e J.W.; aquisição de financiamento, E.C.S. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito".

Conflito de Interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.

Referências

- Alcántara-Carrió, J.; Dinkel, T.M.; Portz, L. & Mahiques, M.M. 2018. Two new conceptual models for the formation and degradation of baymouth spits by longshore drift and fluvial discharge (Iguape, SE Brazil). *Earth Surface Processes and Landforms*, 43(3): 695-709. <https://doi.org/10.1002/esp.4279>
- Alesheikh, A.A.; Ghorbanali, A. & Nouri, N. 2007. Coastline change detection using remote sensing. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 4(1): 61-66. <https://doi.org/10.1007/BF03325962>
- Allard, J.; Bertin, X.; Chaumillon, E. & Pouget, F. 2008. Sand spit rhythmic development: A potential record of wave climate variations? Arçay Spit, western coast of France. *Marine Geology*, 253(3-4): 107-131. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2008.05.009>
- Angulo, R.J.; de Souza, M.C.; Giannini, P.C.F., Dillenburg, S.R.; Barboza, E.G.; da Camara Rosa, M.L.C.; Hesp, P.A.; & Pessenda, L.C.R. 2022. Late-Holocene Sea levels from vermetids and barnacles at Ponta do Papagaio, 27°50' S latitude and a comparison with other sectors of southern Brazil. *Quaternary Science Reviews*, 286: 107536. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2022.107536>
- Anh, N.Q.D.; Tanaka, H.; Tinh, N.X. & Viet, N.T. 2020. Sand spit morphological evolution at tidal inlets by using satellite images analysis: Two case studies in Vietnam. *J. Sci. Technol. Civ. Eng. (STCE) NUCE*, 14: 17-27. [https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14\(2\)-02](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14(2)-02)
- Araújo, C.E.; Franco, D.; Melo, E. & Pimenta, F. 2003. Wave regime characteristics of the southern Brazilian coast. In: PROCEEDINGS OF THE SIXTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON COASTAL AND PORT ENGINEERING IN DEVELOPING COUNTRIES, COPEDEC VI, Colombo, Sri Lanka, 2003. *Anais...* Colombo. Paper (No. 097, p. 15). Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Eloi-Melo/publication/309281912_Wave_regime_characteristics_of_the_Southern_Brazilian_coast/links/58a2fba545851598bac01492/Wave-regime-characteristics-of-the-Southern-Brazilian-coast.pdf>. Acesso em: 10 out. 2021.
- Avinash, K.; Deepika, B. & Jayappa, K.S. 2013. Evolution of spit morphology: a case study using a remote sensing and statistical based approach. *Journal of Coastal Conservation*, 17(3): 327-337. <https://doi.org/10.1007/s11852-013-0259-y>
- Bastos, L.; Bio, A.; Pinho, J.L.S.; Granja, H. & da Silva, A.J. 2012. Dynamics of the Douro estuary sand spit before and after breakwater construction. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 109: 53-69. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2012.05.017>
- Barboza, E.G.; Rosa, M.L.; Dillenburg, S.R.; da Silva, A.B.; & Tomazelli, L.J. 2014. Stratigraphic analysis applied on the recognition of the interface between marine and fluvial depositional systems. *Journal of Coastal Research*, (70): 687-692. <https://doi.org/10.2112/SI70-116.1>
- Barboza, E.G.; Dillenburg, S.R.; Rosa, M.L.C.C.; Caron, F.; Lopes, R.P.; Watanabe, D.S.Z. & Tomazelli, L.J. 2021a. Sistemas deposicionais e evolução geológica da planície costeira entre La Coronilla e Cabo de Santa Marta (Bacia de Pelotas): uma revisão. In: Jelinek, A.R. & Sommer, C.A. (Eds.), *Contribuições à Geologia do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina*. 1. ed. Porto Alegre, Compasso Lugar-Cultura, p. 455-468. <https://doi.org/10.29327/537860.1-27>
- Barboza, E.G.; Dillenburg, S.R.; do Nascimento Ritter, M.; Angulo, R.J.; da Silva, A.B.; da Camara Rosa, M.L.C.; Caron, F.; de Souza, M.C. 2021b. Holocene sea-level changes in southern Brazil based on high-resolution radar stratigraphy. *Geosciences*, 11(8): 326. <https://doi.org/10.3390/geosciences11080326>
- Barreto, G.A.M. & Schettini, C.F.A. 2014. Papel da Maré e da Descarga Fluvial na Circulação do Estuário do Rio Araranguá. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 19(3): 7-17. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v19n3.p7-17>

- Bogo, M.; do Nascimento, M.G.; de Souza, M.C.; Angulo, R.J.; Guedes, C.C.F.; da Camara Rosa, M.L.C.; & Barboza, E.G. 2021. Spit-Inlet migration and storm-driven stacking at Praia de Leste Holocene barrier, southern Brazil. *Marine Geology*, 442: 106637. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2021.106637>
- Bogo, M.; de Souza, M.C.; Angulo, R.J.; Barboza, E.G.; da Camara Rosa, M.L.C.; Caron, F.; Ferreira Jr, A.L.; & dos Santos, S.F. 2023. Inlet migration during the turning point between transgressive and regressive stages at the Guaratuba Holocene barrier, Paraná-Southern Brazil. *Marine Geology*, 459: 107048. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2023.107048>
- Couceiro, M.A.A. & Schettini, C.A.F. 2010. Estudo da dinâmica dos sedimentos em suspensão do estuário do rio Araranguá (SC): possíveis efeitos da drenagem ácida da atividade de mineração de carvão. *Geociências (São Paulo)*, 29(2): 251-266.
- Couceiro, M.A.A.; Schettini, C.A.F. & Siegle, E. 2021. Modeling an arrested salt-wedge estuary subjected to variable river flow. *Regional Studies in Marine Science*, 47: 101993. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101993>
- Cristiano, S.C.; Portz, L.C.; Lin, S.L.; Ceza, J. & Barboza, E.G. 2019. Gestión Costera Desintegrada - propuesta para un cambio de paradigma en el municipio de Araranguá (Santa Catarina, Brasil), in: Batista, C.M.; Mier, R.E.L. & Sierra-Correa, P.C. (Eds.), *Estudios de caso sobre manejo integrado de zonas costeras en Iberoamérica: gestión, riesgo y buenas prácticas*. (1ed.). Barranquilla: Corporación Universidad de la Costa, p. 257-201.
- D'Aquino, C.D.A.; Pereira Filho, J. & Schettini, C.A.F. 2010. Fluvial modulation of hydrodynamics and salt transport in a highly stratified estuary. *Brazilian Journal of Oceanography*, 58: 165-175. <https://doi.org/10.1590/S1679-87592010000200007>
- Debortoli, N.S.; Sung, C.L. & Hirota, M.A.R.I.N.A. 2020. Assessing farmers' vulnerability to extreme weather events in the Araranguá river watershed-southern Brazil. In: Musseta, P. & Hurlbert, M. (Eds.), *Vulnerability Studies in the Americas: Extreme Weather and Climate Change*, United Kingdom. Cambridge Scholars Publishing, p. 125-157.
- Diehl, F.L. & Horn Filho, N.O. 1996. Compartimentação geológico-geomorfológica da zona litorânea e planície costeira do estado de Santa Catarina. *Notas Técnicas*, 9: 39-50.
- Dominguez, J.M.L.; Bittencourt, A.C.S.P. & Martin, L. 1983. O papel da deriva litorânea de sedimentos arenosos na construção das planícies costeiras associadas às desembocaduras dos rios São Francisco (SE, AL), Jequitinhonha (BA), Doce (ES) e Paraíba do Sul (RJ). *Revista Brasileira de Geociências*, 13(2): 98-105.
- Donnelly, C.; Kraus, N.; & Larson, M. 2006. State of Knowledge on Measurement and Modeling of Coastal Overwash. *Journal of Coastal Research*, (224): 965-991. <https://doi.org/10.2112/04-0431.1>
- Escudero, M.; Silva, R.; Hesp, P.A.; Mendoza, E. 2019. Morphological evolution of the sandspit at Tortugueros Beach, Mexico. *Marine Geology*, 407: 16-31. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2018.10.002>
- Fitzgerald, D.M.; Buynevich, I.V. & Hein, C. 2012. Morphodynamics and Facies Architecture of Tidal Inlets and Tidal Deltas. In: Davis Jr., R.A. & Dalrymple, R.W. (Eds.), *Principles of Tidal Sedimentology*. Springer, Dordrecht, p. 301-333. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0123-6_12
- Florenzano, T.G. 2013, *Iniciação em sensoriamento remoto*. 3ª. ed., São Paulo, Editora Oficina de Textos, 128p.
- Hequette, A. & Ruz, M.H. 1991. Spit and barrier island migration in the southeastern Canadian Beaufort Sea. *Journal of Coastal Research*, 7: 677-698. <http://www.jstor.org/stable/4297885>
- Hesp, P.A.; Giannini, P.C.F.; Martinho, C.T.; Silva, G.M. & Asp Neto, N.E. 2009. The Holocene Barrier Systems of the Santa Catarina Coast, Southern Brazil. In: Dillenburg, S.R. & Hesp, P.A. (Eds.), *Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil*, Berlin. Heidelberg: Springer, p. 93-133. https://doi.org/10.1007/978-3-540-44771-9_4
- Hoan, L.X.; Hanson, H.; Larson, M. & Kato, S. 2011. A mathematical model of spit growth and barrier elongation: Application to Fire Island Inlet (USA) and Badreveln Spit (Sweden). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 93(4): 468-477. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2011.05.033>
- Horn Filho, N.O. 2003. Setorização da Província Costeira de Santa Catarina em base aos aspectos geológicos, geomorfológicos e geográficos. *Geosul*, 18(35): 71-98.

- Horn Filho, N.O.; Abreu de Castilhos, J.A.; Gré, J.C. & Diehl, F.L. 1994. The coastal Pleistocene of the state of Santa Catarina, southern Brazil. In: Rabassa, J. (Ed.), *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*. Rotterdam, Balkema, p.45-54.
- Horn Filho, N.O.; Filho, É.P. & Ferreira, E. 2004. Diagnóstico geológico-geomorfológico da planície costeira adjacente à enseada dos Currais, Santa Catarina, Brasil. *Gravel*, 2: 25-39.
- Horn Filho, N.O.; Schmidt, A.D.; Benedet, C.; Neves, J.; Pimenta, L.H.F.; Paquete, M-L.; Alencar, R.; Silva, W.B.; Vilela, E.; Genovez, R. & Santos, C.G. 2014. Estudo geológico dos depósitos clásticos quaternários superficiais da planície costeira de Santa Catarina. *Gravel*, 12: 41-107.
- Horn Filho, N.O. et al. 2017. *Roteiro geológico da planície costeira do estado de Santa Catarina*, Brasil. Florianópolis, Edições do Bosque, 146p.
- Horn Filho, N.O.; Schmidt, A.D.; Abreu, J.G.N.; Estevam, C.N. & Araujo, R.S. 2018. Santa Catarina. In: Muehe, D. (Org), *Panorama da erosão costeira no Brasil*. Brasília, MMA, p. 641-688.
- Horn Filho, N.O.; Felix, A. & Camargo, J.M. 2020. *Atlas geológico da planície costeira do estado de Santa Catarina em base ao estudo dos depósitos quaternários* (AGPCSC). Florianópolis, Edições do Bosque, 331p.
- Hudock, J.W.; Flaig, P.P. & Wood, L.J. 2014. Washover Fans: A modern geomorphologic analysis and proposed classification scheme to improve reservoir models. *Journal of Sedimentary Research*, 84: 854-865. <https://doi.org/10.2110/jsr.2014.64>
- IPCC. Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. 2021. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L.Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R.Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- Jensen, J.R. & Epiphanyo, J.C.N. 2009. *Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres*. São José dos Campos, Parêntese Editora, 598p.
- Klein, A.H.F.; Short, A.D. & Bonetti, J. 2016. Santa Catarina beach systems, in: *Brazilian beach systems*. Coastal Research Library, vol 17. Springer, Cham. p. 465-506. https://doi.org/10.1007/978-3-319-30394-9_17
- Komar, P.D. 1998. *Beach processes and sedimentation*. New Jersey, Prentice Hall Inc, 544p.
- Kumar, A.; Narayana, A.C. & Jayappa, K.S. 2010. Shoreline changes and morphology of spits along southern Karnataka, west coast of India: A remote sensing and statistics-based approach. *Geomorphology*, 120(3-4): 133-152. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.02.023>
- Leal, R.A. & Barboza, E.G. 2017. Caracterização geológica, geomorfológica e evolutiva holocênica do litoral sul de Jaguaruna, SC, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, 44(3): 417-430. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.83265>
- Leal, R.A.; Barboza, E.G.; Bitencourt Jr, V.; Biancini da Silva, A. & Manzolli, R.P. 2016. Geological and stratigraphic characteristics of a Holocene regressive barrier in Southern Brazil: GIS and GPR applied for evolution analysis. *Journal of Coastal Research*, (75): 750-754. <https://doi.org/10.2112/SI75-151.1>
- Lee, J.K.; Acharya, T.D. & Lee, D.H. 2018. Exploring land cover classification accuracy of Landsat 8 image using spectral index layer stacking in hilly region of South Korea. *Sensors and Materials*, 30(12): 2927-2941. <https://doi.org/10.18494/SAM.2018.1934>
- Loitzenbauer, E. & Mendes, C.A.B. 2016. Integração da gestão de recursos hídricos e da zona costeira em Santa Catarina: a zona de influência costeira nas bacias dos rios Mampituba, Araranguá, Tubarão e Tijucas, SC. *RBRH*, 21: 466-477. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v21n2.p466-477>
- Lopes, D.N.; Duarte, C.R.; Silva, M.T.; Grigio, A.M.; Freires, E.V. & Santos, L.S.A. 2021. Evolução da linha de costa no município de São Gonçalo do Amarante-CE no período de 1984 a 2020. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14(05): 3067-3077. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.5.p3067-3077>
- Machado, C. 2005. *Morfodinâmica do Trecho Praial entre Morro dos Conventos - Balneário Gaivota, SC*. Florianópolis, 117p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina. <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/102715>

- Mahanty, M.M.; Mohanty, P.K.; Pradhan, S.; Samal, R.N. & Ranga Rao, V. 2019. Spit and inlet morphodynamics of a tropical coastal lagoon. *Marine Geodesy*, 42(2): 130-165. <https://doi.org/10.1080/01490419.2018.1527798>
- Massuanganhe, E.A. & Arnberg, W. 2008. Monitoring spit development in Pomene, southern Mozambique, using Landsat data. *WIT Transactions on The Built Environment*, 100: 119-127. <https://doi.org/10.2495/GEO080121>
- Muehe, D. 2018. *Panorama da erosão costeira no Brasil*. Brasília, MMA, 759p.
- Nascimento, R.C.M.; Costa, C.R.; Magarotto, M.G.; Silva-Cavalcanti, J.S. & Costa, M.F. 2020. Qualidade da água de três estuários tropicais expostos a diferentes níveis de urbanização. *Journal of Integrated Coastal Zone Management/Revista de Gestão Costeira Integrada*, 20(3): 169-178. <https://doi.org/10.5894/rgci-n284>
- Nass, D. & Vieira, C.V. 2017. Evolução morfológica do esporão arenoso na foz do rio Itapocú, município de Barra Velha/SC. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 10(03): 674-689. <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20170044>
- Oliveira, J.F. 2019. *A dinâmica e a evolução costeira do litoral ao sul do Cabo de Santa Marta, estado de Santa Catarina*. Porto Alegre, 154p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/195791>
- Oliveira, B.A.; Sobral, F.; Fetter, A. & Mendez, F.J. 2019. A high-resolution wave hindcast off Santa Catarina (Brazil) for identifying wave climate variability. *Regional Studies in Marine Science*, 32: 100834. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2019.100834>
- Pradhan, U.; Mishra, P.; Mohanty, P.K. & Behera, B. 2015. Formation, growth and variability of sand spit at Rushikulya river mouth, south Odisha coast, India. *Procedia Engineering*, 116: 963-970. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.387>
- Qi, Y.; Yu, Q.; Gao, S.; Li, Z.; Fang, X. & Guo, Y. 2021. Morphological evolution of river mouth spits: Wave effects and self-organization patterns. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 262: 107567. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2021.107567>
- Rodriguez, A.B.; Yu, W. & Theuerkauf, E.J. 2018. Abrupt increase in washover deposition along a transgressive barrier island during the late nineteenth century acceleration in sea-level rise. In: Moore, L. & Murray, A. (Eds.), *Barrier dynamics and response to changing climate*. Springer, Cham, p. 121-145. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68086-6_4
- Rodríguez-Santalla, I.; Gomez-Ortiz, D.; Martín-Crespo, T.; Sánchez-García, M.J.; Montoya-Montes, I.; Martín-Velázquez, S.; Barrio, F.; Serra, J.; Ramírez-Cuesta, J.M. & Gracia, F.J. 2021. Study and Evolution of the Dune Field of La Banya Spit in Ebro Delta (Spain) Using LiDAR Data and GPR. *Remote Sensing*, 13(4): 802. <https://doi.org/10.3390/rs13040802>
- Rudorff, F.M.; Bonetti Filho, J.; Moreno, D.A.; Oliveira, C.A.F. & Murara, P.G. 2014. Maré de Tempestade, in: Herrmann, M.L.P (Eds.). *Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina: período de 1980 a 2010*. 2ª Ed. Florianópolis, IHGSC/Cadernos Geográficos, p. 151-154.
- Saengsupavanich, C. 2021. Morphological Evolution of Sand Spits in Thailand. *Marine Geodesy*, 44:5: 1-22. <https://doi.org/10.1080/01490419.2021.1893873>
- Serafim, M.B. & Bonetti, J. 2017. Vulnerabilidade das praias do Estado de Santa Catarina a eventos de erosão e inundação costeira: proposta metodológica baseada em um índice multicritério. *Quaternary and Environmental Geosciences*, 8(2). <https://doi.org/10.5380/abequa.v8i2.47281>
- Siegle, E. & Asp, N.E. 2007. Wave refraction and longshore transport patterns along the southern Santa Catarina coast. *Brazilian Journal of Oceanography*, 55: 109-120. <https://doi.org/10.1590/S1679-87592007000200004>
- Silva, A.B.; Barboza, E.G.; Rosa, M.L.C.C. & Fracalossi, F.G. 2010. Caracterização dos depósitos sedimentares em subsuperfície no setor meridional da planície costeira sul de Santa Catarina. *Gravel*, 8(1): 1-7.
- Silva, A.B.; Barboza, E.G.; Rosa, M.L.C. & Dillenburg, S.R. 2014. Meandering fluvial system influencing the evolution of a Holocene regressive barrier in southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, (70): 205-210. <https://doi.org/10.2112/SI70-035.1>

- Silva Neto, C.Â.; Duarte, C.R.; Souto, M.V.S.; Freires, E.V.; Sousa, W.R.N. & Silva, M.T. 2020. Caracterização dos setores erosivos e deposicionais da linha de costa de Icapuí (CE) com base em produtos de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(01): 143-155. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.1.p143-155>
- Silvestrini, T.A. & D' Aquino, C.A. 2020. Dinâmica dos parâmetros oceanográficos em um estuário impactado por atividades de mineração de carvão. *Pesquisas em Geociências*, 47(3): 103404. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.109992>
- Thomas, C.W.; Murray, A.B.; Ashton, A.D.; Hurst, M.D.; Barkwith, A.K. & Ellis, M.A. 2016. Complex coastlines responding to climate change: do shoreline shapes reflect present forcing or “remember” the distant past? *Earth Surface Dynamics*, 4(4): 871-884. <https://doi.org/10.5194/esurf-4-871-2016>
- Tomazelli, L.J. & Villwock, J.A. 1992. Considerações Sobre o Ambiente Praial e a Deriva Litorânea de Sedimentos ao Longo do Litoral Norte do Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, 19(1): 3-12. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.21318>
- Tomazelli, L.J. & Villwock, J.A. 2000. O Cenozóico Costeiro do Rio Grande do Sul, in: Holtz, M. & De Ros, L.F. (Eds.), *Geologia do Rio Grande do Sul*. p. 375-406.
- Tomazelli, L.J. & Villwock, J.A. 2005. Mapeamento Geológico de Planícies Costeiras: o Exemplo da Costa do Rio Grande do Sul. *Gravel*, 3: 109-115.
- Tomazelli, L.J. & Dillenburg, S.R. 2007. Sedimentary facies and stratigraphy of a last interglacial coastal barrier in south Brazil. *Marine Geology*, 244(1-4): 33-45. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2007.06.002>
- Tribe, H.M. & Kennedy, D.M. 2010. The geomorphology and evolution of a large barrier spit: Farewell Spit, New Zealand. *Earth Surface Processes and Landforms*, 35(15): 1751-1762. <https://doi.org/10.1002/esp.2009>
- Valle-Levinson, A.; Schettini, C.A. & Truccolo, E.C. 2019. Subtidal variability of exchange flows produced by river pulses, wind stress and fortnightly tides in a subtropical stratified estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 221: 72-82. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.03.022>
- Vieira, J.S.S.; Reis, L.H.R. & Silva, O.G. 2020. Análise morfodinâmica de ambientes costeiro e estuarino do município de Goiana, Litoral norte do estado de Pernambuco. *Cerrados*, 18(1): 83-106. <https://doi.org/10.22238/rc244826922020180183106>
- Villwock, J.A. 1984. Geology of the Coastal Province of Rio Grande do Sul, Southern Brazil. A Synthesis. *Pesquisas em Geociências*, 16(16): 5-49. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.21711>
- Villwock, J.A.; Tomazelli, L.J.; Loss E.L.; Dehnhardt, E.A.; Horn Filho, N.O.; Bachi, F.A. & Dehnhardt, B.A. 1986. Geology of The Rio Grande do Sul Coastal Province. In: Rabassa, J. (Ed.), *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula* 4, pp.79-97. <https://doi.org/10.1201/9781003079316-5>
- Yasir, M.; Sheng, H.; Fan, H.; Nazir, S.; Niang, A.J.; Salauddin, M. & Khan, S. 2020. Automatic coastline extraction and changes analysis using remote sensing and GIS technology. *IEEE Access*, 8: 180156-180170. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3027881>
- Zasso, L.A.; Barboza, E.G. & Gruber, N.L.S. 2013. Alterações na deriva litorânea e no balanço sedimentar nas adjacências dos molhes do rio Mampituba/RS-SC. *Gravel*, 11: 1-17.