

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

**A DINÂMICA E A EVOLUÇÃO COSTEIRA DO LITORAL AO SUL DO CABO DE
SANTA MARTA, ESTADO DE SANTA CATARINA**

JULIO FERNANDES DE OLIVEIRA

ORIENTADOR – Prof. Dr. Eduardo G. Barboza (UFRGS)

Porto Alegre - 2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

**A DINÂMICA E A EVOLUÇÃO COSTEIRA DO LITORAL AO SUL DO CABO DE
SANTA MARTA, ESTADO DE SANTA CATARINA**

JULIO FERNANDES DE OLIVEIRA

ORIENTADOR – Prof. Dr. Eduardo G. Barboza (UFRGS)

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Felipe Caron – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. (UFRGS)

Prof. Dr. Nelson Gruber – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Dr. Anderson Biancini da Silva – Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina
(IMA-SC)

Tese de Doutorado apresentada como
requisito parcial para a obtenção do
Título de Doutor em Ciências.

Porto Alegre - 2019

CIP - Catalogação na Publicação

Oliveira, Julio Fernandes de
A DINÂMICA E A EVOLUÇÃO COSTEIRA DO LITORAL AO SUL
DO CABO DE SANTA MARTA, ESTADO DE SANTA CATARINA /
Julio Fernandes de Oliveira. -- 2019.
154 f.
Orientador: Eduardo Guimarães Barboza.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de
Pós-Graduação em Geociências, Porto Alegre, BR-RS,
2019.

1. Dinâmica e Processo Costeiros. 2. Evolução
Holocênica da Barreira Costeira. 3. Subsídios ao
Gerenciamento Costeiro Integrado. I. Barboza, Eduardo
Guimarães, orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que de alguma forma fizeram parte desse ciclo.

Podem ter certeza que tenho guardado a importância

de cada um, em cada momento.

Obrigado a todos, de coração!

RESUMO

A mobilidade e a dinâmica de um sistema costeiro e os processos físicos que atuam em diferentes escalas de tempo, geralmente não são considerados na tomada de decisão por parte dos gestores públicos da zona costeira. Muitos dos conflitos socioambientais atuais relacionados ao uso e ocupação do espaço litorâneo, são decorrentes da negligência ao conhecimento disponível. É sabido que a evolução de uma barreira costeira é regida pela combinação entre os processos alóctones - externos à bacia, como as variações globais do nível do mar - e autóctones - processos costeiros intrínsecos da bacia. Ao longo dos 760 km de extensão da margem costeira da Bacia de Pelotas, localizada no sul do Brasil, a barreira costeira holocênica apresenta setores em retrogradação e em progradação. Durante o período de Transgressão Marinha Pós-Glacial, com parte da plataforma continental interna atual emersa, as barreiras costeiras da região foram transladando em direção ao continente sobre o substrato. Após atingir o máximo relativo eustático, que no sul do Brasil esteve entre 2 e 3 m acima do nível atual há aproximadamente 5,6 ka AP, iniciou-se a queda do nível do mar até o presente. A hipótese proposta para esta tese é que atualmente os fatores autóctones possuem maior influência no comportamento e evolução da barreira costeira do extremo norte da Bacia de Pelotas, em comparação ao controle exercido pelas variações relativas do nível do mar em escala global. Nesse sentido, o objetivo geral foi analisar, em diferentes escalas temporais, os aspectos da dinâmica e evolução da barreira costeira no trecho de 42 km ao sul do Cabo de Santa Marta (Santa Catarina), correspondente aos litorais do município de Jaguaruna e parte do município de Laguna. Através da aplicação de técnicas de sensoriamento remoto, de levantamentos de Georadar (GPR) e da simulação hidrodinâmica na costa, os principais resultados obtidos indicaram: i) redução pela metade da área de dunas móveis no período entre 1938 e 2012, no campo de dunas da área de estudo; ii) taxas médias de migração de dunas móveis rumo SW de 14 m/ano na última década; iii) deriva litorânea subaquosa resultante rumo SW no litoral norte, e para NE no litoral sul da área de estudo; iv) tendência de erosão da linha de costa nas praias da Cigana e do Cardoso no período entre 1938 e 2012, com taxa média de recuo de 0,65 m/ano; v) comportamento transgressivo da barreira holocênica no setor norte da área de estudo e regressivo no centro e sul. No campo da gestão costeira, observou-se que há uma falta de aderência entre os instrumentos de gestão e o conhecimento da

dinâmica costeira para resolução de problemas e conflitos costeiros locais, na escala do município. Nesse contexto, os dados obtidos na presente tese contribuem para a tomada de decisão de gestores costeiros.

ABSTRACT

The variability and dynamics of a coastal system and the physical processes that operate at different time scales generally are not considered in decision-making by public managers in the coastal zone. Many of the current socio-environmental conflicts related to the use and occupation of the coastal areas are due to the negligence of available knowledge. It is well known that the evolution of a coastal barrier is governed by the combination of allochthonous processes - external to the basin, such as global variations in sea level - and autochthonous - intrinsic coastal processes of the basin. Along the 760 km long coastline of the Pelotas Basin, located in southern Brazil, the Holocene coastal barrier presents retrogradational and progradational sectors. During the period of Post-Glacial Marine Transgression, when part of the actual continental shelf was exposed, the coastal barriers of the region have moved over the substrate towards the continent. After reaching the maximum eustatic, that in the south of Brazil were between 2 and 3 m above the current level in 5.6 ka BP approximately, the relative sea level began decreasing until reach the current position. Therefore, the hypothesis proposed for this thesis is that nowadays the autochthonous factors has a greater influence in the behavior and evolution of the coastal barrier at the north end of the Pelotas Basin, than the influences due to the relative variations of the sea level on a global scale. In this sense, the general objective was to analyze aspects of the dynamics and evolution of the coastal barrier in the 42 km stretch south of the Santa Marta Cape (Santa Catarina), using different time scales approach. It corresponds to the coastal areas of the municipality of Jaguaruna and part of the municipality of Laguna. The results obtained through the application of remote sensing techniques, Georadar surveys (GPR) and coastal hydrodynamic simulation indicated: i) reduction of the area of mobile dunes by half in the period between 1938 and 2012, in the dunes field of the study area; ii) average rates of mobile dune migration towards SW of 14 m/yr in the last decade; iii) net longshore drift towards SW on the north coast, and towards NE on the southern coast of the study area; iv) the north sector presents a erosional trend in its shoreline in the period between 1938 and 2012, with an average retreat rate of about 0.65 m/yr; v) transgressive behavior of the Holocene barrier in the northern sector of the study area and regressive behavior in the center and south. Additionally, regarding the analysis of the local coastal management aspects, the results showed that there is a lack of adherence between the management tools and the knowledge of the

coastal dynamics to solve local problems and conflicts on the municipal scale. In this context, the results obtained in this thesis can contribute to aid coastal managers in their future decision makers.

RESUMEN

La movilidad y la dinámica del sistema costero y los procesos físicos que actúan en diferentes escalas de tiempo, generalmente no son considerados en la toma de decisión por parte de los gestores públicos de la zona costera. Muchos de los conflictos socioambientales actuales relacionados al uso y ocupación del espacio costero, se derivan de la negligencia al conocimiento disponible. Es sabido que la evolución de una barrera costera es gobernada por la combinación entre los procesos alóctonos - externos a la cuenca, como las variaciones globales del nivel del mar - y autóctonos - procesos costeros intrínsecos de la cuenca. A lo largo de los 760 km de extensión del margen costero de la Cuenca de Pelotas, ubicada en el sur de Brasil, la barrera costera holocénica presenta sectores en retrogradación y en progradación. Durante el período de Transgresión Marina Post-Glacial, con parte de la plataforma continental interna actual expuesta, las barreras costeras de la región se trasladaron hacia el continente sobre el sustrato. Después de alcanzar el máximo relativo eustático, que en el sur de Brasil, estuvo entre 2 y 3 m por encima del nivel actual a aproximadamente 5,6 ka AP, se inició el descenso del nivel del mar hasta el presente. La hipótesis propuesta para esta tesis es que actualmente los factores autóctonos poseen mayor influencia en el comportamiento y evolución de la barrera costera del extremo norte de la Cuenca de Pelotas, en comparación al control ejercido por las variaciones relativas del nivel del mar a escala global. En este sentido, el objetivo general fue analizar, en diferentes escalas temporales, los aspectos de la dinámica y evolución de la barrera costera en el tramo de 42 km al sur del Cabo de Santa Marta (Santa Catarina), correspondiente al litoral de la municipalidad de Jaguaruna y parte del litoral de la municipalidad de Laguna. A través de la aplicación de técnicas de detección remota, de levantamientos de Georadar (GPR) y de la simulación hidrodinámica en la costa, los resultados obtenidos indicaron: i) reducción a la mitad del área de dunas móviles en el período entre 1938 y 2012, en el campo de dunas del área de estudio; ii) las tasas medias de migración de dunas móviles rumbo SW de 14 m/año en la última década; iii) deriva longitudinal resultante rumbo SW en el litoral norte, y para NE en el litoral sur del área de estudio; iv) tendencia erosiva de la línea de costa en las playas Cigana y Cardoso, en el período comprendido entre 1938 y 2012, con tasas medias de retroceso en la orden de 0,65 m/año; v) comportamiento transgresivo de la barrera holocénica en el sector norte del área de estudio y regresivo en el centro y sur. En el

campo de la gestión costera, se observó la falta de adherencia entre los instrumentos de gestión y el conocimiento de la dinámica costera para la resolución de problemas y conflictos costeros locales, en la escala de la municipalidad. En este contexto, los datos obtenidos en la presente tesis contribuyen a la toma de decisiones de gestores costeros.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

- Figura 1:** Escala Espacial e Temporal dos Processos Costeiros (modificado de Cowell & Thom, 1994).....5
- Figura 2:** Imagem noturna evidenciando a concentração populacional nas zonas costeiras dos continentes (Fonte: NASA Earth Observatory). Em detalhe, o gráfico das projeções de aumento do nível médio do mar do IPCC para dois cenários de emissões de gases do efeito estufa; cenário conservador (em azul) e cenário (vermelho) (modificado de Church et al., 2013)7
- Figura 3:** Os subambientes que compõe o sistema praial (modificado de Short, 1999)9
- Figura 4:** Estágios morfodinâmicos de praias (modificado de Short & Jackson, 2013) 10
- Figura 5:** a) Estabilidade da duna frontal. Modificado de Hesp (1988). b) Principais tipos de dunas costeiras (modificado de Brookfield, 2011) 13
- Figura 6:** Modelo esquemático com as principais características de barreiras transgressivas e regressivas (modificado de Gornitz, 2009)..... 14
- Figura 7:** Área de estudo em escala local, com o nome das praias e balneários dos municípios de Laguna e Jaguaruna. Fonte Mapa Base: Imagery ArcGis™ 15
- Figura 8:** Mapa da área de estudo (municípios de Jaguaruna e Laguna destacados em vermelho) e o litoral Centro-Sul catarinense. Destaque para Área de Proteção Ambiental da Baleia Franca (linha tracejada). Fonte Mapa Base: Imagery ArcGis™ 18
- Figura 9:** Mosaico de fotos exemplificando os conflitos presentes na região. a) Extração irregular de areia em Jaguaruna; b) Linguas negras na Prainha do Farol de Santa Marta, Laguna; c) Trilhas offroad no Sambaqui, Jaguaruna; d) Duna migrando sobre a casa, Jaguaruna; e) Loteamento irregular —Maria Therezinhall, em Jaguaruna; f) Placa em loteamento irregular em Jaguaruna. Fotos Labgerco-UFRGS..... 19
- Figura 10:** Mapa geológico da região (modificado de SPG , 2010)21
- Figura 11:** A porção emersa da Bacia de pelotas e os sistemas Laguna-Barreira justapostos. Nota-se a correlação entre os setores progradaçãoais e retrogradaçãoais com as reentâncias e saliências presentes no litoral, respectivamente (modificado de Dillenburg & Barboza, 2014)22
- Figura 12:** Curva do Nível Relativo do Mar para o litoral sul do Brasil, a partir dos trabalhos de Angulo e Lessa (1997) e Corrêa (1990) 23
- Figura 13:** Mapa geomorfológico da região (modificado de MMA, 2009)25
- Figura 14:** Comparação entre as ortofotos da área de estudo de 1938 (acima) e 2012 (abaixo). Escala original: 1:30.000 e 1:10.000, respectivamente. Fonte: SDS/SC25
-

Figura 15: Tipos de dunas encontrados na área de estudo. Fonte: Google™ Earth	26
Figura 16: Exemplo de expansão de loteamentos nos balneários Nova Camburiú (à esquerda) e Camacho (à direita) em Jaguaruna. No detalhe em círculo vermelho, dois importantes sambaquis da região. Fonte imagines: Google™ Earth	27
Figura 17: O Canal artificial do Camacho em 2003 (a) e em 2018 (b); Os sedimentos eólicos sendo depositados dentro do canal (c); a dragagem do canal (d); e a desembocadura do canal aberta (e). Fotos: Labgerco-UFRGS.	28
Figura 18: O clima de ventos na região, a partir de dados da Estação Meteorológica do Farol de Santa Marta (INMET). Rosas frequenciais de ventos, com dados de direção x velocidade (canto superior esquerdo); de direção x pluviosidade (canto inferior esquerdo); rosa de ventos sazonais (canto superior direito); e a Deriva Eólica Potencial (Oliveira et al., 2017)	30
Figura 19: a) Formação de dunas barcanas na praia Santa Marta Grande, no município de Laguna, ao norte da área de estudo; b) Transporte eólico por carpete de tração no pós-praia; c) Aporte de sedimentos eólicos ao sistema praias, na praia do Cardoso, município de Laguna; d) Duna transversa migrando rumo SW no balneário do Camacho no município de Jaguaruna. Fotos: Labgerco-UFRGS.....	31
Figura 20: Clima de ondas na area de estudo, obtido através de dados de reanálise disponibilizados pelo software SMC-Brasil, para uma profundidade de 60m. No canto superior direito, são apresentadas as principais direções de ondas, e na tabela abaixo, o conjunto de dados de direção e altura de ondas mais frequentes (grifado em azul) e o cenário mais frequente (grifado em vermelho).	33
Figura 21: Rosas direcionais de ondas. No canto superior esquerdo, dados de direção x altura (Hs), no canto inferior esquerdo dados de direção x período (Tp) e no lado direito, rosas de ondas sazonais de direção x altura (Hs)	34
Figura 22: A Laje de Jaguaruna a partir da batimetria disponibilizada pelo software SMC-Brasil e no detalhe, da carta náutica 1910 da DHN	35
Figura 23: Correntes de retorno semi-fixa nas praias do Cardoso (A) e da Cigana (B). Fotos: Labgergo-UFRGS.....	36
Figura 24: Mapa com as linhas de GPR levantadas na área de estudo, e no detalhe, foto da antena de 200 Mhz. Fonte Mapa Base: Imagery ArcGis™	39
Figura 25: Levantamentos de perfis topográficos no Balneário Esplanada (a) e no Balneário Camacho (b).	44

CAPÍTULO 2

Figure 1: The regional settings of the study area. On the left side, the southern Brazilian coast; on the right, characteristics of the region south of the Santa Marta Cape: geomorphological features, climate wave and changes in coastal orientation and shoreface /inner continental shelf slope (0m - 50m)..... **48**

Figure 2: Littoral currents produced in the most frequent wave scenarios (direction, mean wave height and period) in both sectors (south and north); the annual average

longshore sediment transport calculated via CERC formula; and the mean energy flux (calculated for the 50m isobath).....49

Figure 3: GPR profiles acquired with a 200 MHz antenna, showing reflectors dipping seawards in a radargram “A”, characterizing a regressive (progradational) barrier system; and in radargrams “B” and “C” the reflectors dipping landwards characterize a transgressive (retrogradational) barrier system 50

CAPÍTULO 3

Figura 1: A) Localização da área de estudo (Fontes: Altimetria ASTER/DGEM e Batimetria CPRM); B) detalhe da área (Fonte: Ortofoto SDS/SC 2012); C) Praias do Cardoso e; D) Praia da Cigana (Fotos: Labgerco/UFRGS).....58

Figura 2: Fotos aéreas de 1938, 1978 e 2012 (ortofoto) da Praia da Cigana (esquerda) e da Praia do Cardoso (direita). Fotos cedidas pela Secretaria de Desenvolvimento Sustentável do Estado de Santa Catarina SDS/SC59

Figura 3: Clima de ventos na Estação Meteorológica do Farol de Santa Marta, entre 2008 a 2013. À esquerda, acima, rosa dos ventos com a frequência direcional e a intensidade dos ventos (m/s); à esquerda, abaixo, distribuição sazonal da frequência direcional e intensidade dos ventos (m/s); à direita, acima, rosa dos ventos associada à ocorrência de chuvas (mm/hr); à direita, abaixo, a representação gráfica da deriva eólica potencial no local e os valores de: deriva potencial total (DP), deriva potencial resultante (RDP), direção da deriva resultante (RDD) e o índice de variabilidade direcional (RDP/DP)63

Figura 4: Evolução espaço-temporal do campo de dunas ao sul do Cabo de Santa Marta, entre os anos de 1938, 1978 e 2012.....64

Figura 5: Clima de ondas na região do Cabo de Santa Marta, calculados para a profundidade entre 60 e 70 m65

Figura 6: À esquerda, transporte sedimentar médio anual pela deriva litorânea nas três praias adjacentes ao cabo (valor positivo indica a deriva resultante rumo SW e negativo rumo NE); à direita, frequência direcional de transporte (%) em cada estação do ano (fora de escala)66

Figura 7: Acima, comparação da posição da linha de costa nas praias do Cardoso e da Cigana entre os anos de 1938, 1978 e 2012 e os respectivos erros associados. Abaixo, gráfico com a taxa anual de deslocamento da linha de costa entre 1938 e 201266

Figura 8: A) Visada para SW das Praias do Cardoso e da Cigana; B) Estrada que corta o campo de dunas no Farol de Santa Marta. Nota-se a presença de casuarinas; C) Praia do Cardoso com dunas frontais segmentadas por blowouts e acessos para carros; D) Praia da Cigana com lençóis de areia vegetados em primeiro plano, e dunas móveis bem desenvolvidas ao fundo; E) Duna barcanamigrando obliquamente no sentido do oceano, ao sul da praia da Cigana; F) Dragagem do Canal do Camacho, limite sul da praia da Cigana; G) Extração de areia nas proximidades do canal do Camacho; H) Lagos digitiformes (Giannini, 1993) antigos formados pelo processo de transposição da barreira pelo mar (círculo maior).

Nota-se o processo atual de transposição em dia de ressaca (círculo menor, imagem do dia 11/06/2016, modificada do Google Earth) que reativa os lagos na retrobarreira. Fotos: Labgerco/UFRGS 68

CAPÍTULO 4

Figure 1: The Study area Cigana Beach, Laguna, Santa Catarina/Brasil. The red line shows the GPR transect. Imagery source from Google™ Earth Pro® 80

Figure 2: Aerial photo from 1938, provided by SDS/SC. It indicates geomorphological aspects, the location of the GPR survey, and the shoreline changes rate between 1938 and 2012 (after Oliveira et al., 2017) 84

Figure 3: Aerial photo from 1978, provided by the Sustainable Economic Development Secretary of Santa Catarina State. It indicates geomorphological aspects, the location of the GPR survey, and the shoreline changes rate between 1938 and 2012 (after Oliveira et al., 2017) 85

Figure 4: Movement of dune crest during 2003 (red line), 2009 (orange line), 2013 (green line), and 2017 (blue line). Starting from above and left going clockwise the images from 2003, 2009, 2013, and 2017. Imagery source from Google™ Earth Pro® 86

Figure 5: GPR section interpretation showing the retrogradational stacking pattern and radarfacies/depositional units at the Cigana beach coastal barrier 88

Figure 6: Representation of inferred coastlines for 1831, based on erosion rates obtained between 1938 and 2012, and over the aerial photography of 1938: Scenario 1, erosion rate = 1.09 m/yr (orange); Scenario 2, erosion rate = 0.34 m/yr (green); Scenario 3, erosion rate = 0.81 m/yr (yellow). In black, the coastline of 1938; in red, the mean high tide line of 1831 and the limit of the Marine Lands defined by law 93

CAPÍTULO 5

Figura 26: Inclinação da antepraia e plataforma continental interna a partir da Carta Náutica No 1910 da DHN (Escala 1:100000) 109

Figura 27: Orientação da linha de costa e deriva longitudinal resultante. Fonte dados altimétricos e batimétricos: SRTM/NASA. 111

Figura 28: Sobreposição de perfis topográficos levantados no litoral sul (Balneário Esplanada) entre os anos de 2012 e 2014. Imagem de localização: Ortofoto de 2012 SDS/SC. Fotos: Labgerco-UFRGS 113

Figura 29: Sobreposição de perfis topográficos levantados no litoral central (Balneário Campo Bom) entre os anos de 2012 e 2014. Imagem de localização: Ortofoto de 2012 SDS/SC. Fotos: Labgerco-UFRGS 115

Figura 30: Sobreposição de perfis topográficos levantados no litoral norte (Balneário Garopaba do Sul) entre os anos de 2012 e 2014. Imagem de localização: Ortofoto de 2012 SDS/SC. Fotos: Labgerco-UFRGS 116

Figura 31: Deslocamento da linha de costa no litoral norte (praias da Cigana e do Cardoso) entre os anos de 1938 e 2012. Fonte das fotos aéreas: SDS/SC. 117

Figura 32: Seções de GPR levantadas na área de estudo. A) Praia da Ciagana (submetido); B) Praia do Camacho (Martins et al., 2014); C) Praia do Camacho (Oliveira et al., 2016); D) Praia do Camacho (Oliveira et al., 2016); E) Praia do Campo Bom (Oliveira et al., 2016). Imagem de localização: Ortofoto de 2012 SDS/SC **119**

Figura 33: No canto superior esquerdo, representação da Bacia de Pelotas em escala regional com indicação de setores retrogradantes e prográdantes, bem como a deriva longitudinal resultante (Mapa Base: Imagery ArcGis™). No canto superior direito, mapa em escala local da área de estudo, com a indicação da inversão local da deriva litorânea e da transição entre o comportamento holocênico da barreira. Abaixo, perfis topográficos obtidos a partir do Modelo Digital de Elevação SRTM/NASA para representação da barreira e retrobarreira nos setores norte (Balneário Camacho) e Centro (Balneário Campo Bom). **120**

Figura 34: Modelo ilustrativo (sem precisão de escala) da evolução da barreira holocênica no litoral central e norte da área de estudo nos últimos 5,6 ka. Fonte das imagens: Google™ Earth **121**

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1: Radarfácies interpretadas nas seções de GPR com antena de 200 MHz.....**40**

Tabela 2: Radarfácies interpretadas nas seções de GPR com antena de 80 MHz. .**40**

CAPÍTULO 3

Tabela 1: Características das fotos aéreas utilizadas no cálculo do erro da variação da linha de costa (Del Rio & Gracia, 2012): G = erro do processo de georreferenciamento (RMSE); R= erro da resolução da imagem; D = erro referente às características físicas da área de estudo**62**

Tabela 2: Erro total (em metros) assumido no cálculo do deslocamento da posição da linha de costa em cada par de anos; e o erro na taxa anual de deslocamento da linha de costa.**62**

CAPÍTULO 4

Table 1: Correlation between the interpretation of the radarfacies and the depositional unit.**87**

SUMÁRIO

ESTRUTURA DA TESE	1
CAPÍTULO 1	3
1 - Introdução	4
1.1 - Estado da Arte.....	5
1.1.1 - A Zona Costeira e a Gestão do Litoral.....	5
1.1.2 - O Sistema Praial.....	9
1.1.3 - O Sistema Laguna-Barreira.....	13
1.2 - Área de Estudo.....	15
1.2.1 - Aspectos Socioambientais.....	16
1.2.2 - Contexto Geológico	19
1.2.3 - Geomorfologia e Alterações na Paisagem	24
1.2.4 - Climatologia e o Regime de Ventos.....	29
1.2.5 – Ondas e Correntes	31
1.3 - Problemática e Justificativa	37
1.4 - Objetivos.....	37
1.5 - Premisa e Hipótese	37
1.6 - Materiais e Métodos	38
1.6.1 - Levantamentos de Dados de Subsuperfície com Georadar (GPR)	38
1.6.2 - Análise Geomorfológica através de Fotos Aéreas.....	41
1.6.3 - Avaliação de Dados Eólicos	42
1.6.4 - Simulação de Ondas na Costa.....	43
1.6.5 - Caracterização da Morfologia do Sistema Praia-Duna	44
CAPÍTULO 2 - Artigo 1: Nearshore Dynamics and Holocene Evolution of the Coastal Barrier South of the Santa Marta Cape, Southern Brazil	45
Abstract	46
1 - Introduction	47
2 - Methods.....	48
3 - Results.....	49
4 - Discussion.....	50
5 - Conclusion	51
Acknowledgements	51
Literature Cited	51
CAPÍTULO 3 - Artigo 2: O Aporte Sedimentar às Praias da Cigana e do Cardoso, Cabo de Santa Marta, Santa Catarina, Brasil	54

Resumo.....	55
Abstract	56
1 - Introdução	57
2 - Caracterização da Área de Estudo	57
3 - Metodologia	60
3.1 - Caracterização do Regime de Ventos	60
3.2 - Análise Espaço-Temporal de Fotografias Aéreas	60
3.3 - Cálculo do Transporte Longitudinal pela Deriva Litorânea	62
4 - Resultados e Discussão.....	63
4.1 - Caracterização do Ambiente Eólico.....	63
4.1.1 - Regime de Ventos na Região.....	63
4.1.2 - Mudanças Históricas no Campo de Dunas.....	64
4.2 - Caracterização da Dinâmica Costeira na Antepraia	64
4.2.1 - Clima de Ondas.....	64
4.2.2 - Transporte Sedimentar na Antepraia.....	65
4.3 - Avaliação do Deslocamento da Linha de Costa	65
4.4 - Integração e Contextualização dos Resultados.....	67
5 - Conclusão	69
Agardecimentos	69
Referências Bibliográficas	68
CAPÍTULO 4 - Artigo 3: Geomorphological and Stratigraphic Analysis Applied to Coastal Management	73
Abstract	75
1 - Introduction	76
2 - Regional Settings.....	78
3 - Material and Methods	80
3.1 - Geomorphological Analysis	80
3.2 - GPR Survey.....	81
3.3 - ICM Rules and Regulations	82
4 - Results.....	83
5 - Discussion.....	88
6 - Conclusion	95
Acknowledgements	95
References	96
CAPÍTULO 5 -	106

5 - Considerações Finais	107
5.1 - A Herança Geológica e a Influência na Hidrodinâmica Local	107
5.2 - Morfodinâmica do Sistema Praia-Duna	112
5.3 – Evolução Holocênica da Barreira Costeira	117
5.4 – Aspectos da Gestão do Litoral.....	121
5.4.1 - A Linha de Preamar Média de 1831	122
5.4.2 - A Abertura do Canal da Barra do Camacho	122
5.4.3 – Embargos Judiciais	123
5.5 – Conclusão.....	124
REFERÊNCIAS CAPÍTULO 1 E 5	126
ANEXOS	144
Anexo A.....	145
Anexo B.....	146
Anexo C	147
Anexo D	148
Anexo E.....	149
Anexo F.....	150
Anexo G	151
Anexo H	152
Anexo I.....	153
Anexo J.....	154

ESTRUTURA DA TESE

O documento está estruturado na forma de cinco capítulos, contendo um capítulo introdutório com as considerações iniciais, seguido de três artigos científicos contemplando o corpo da tese. Por último, o capítulo com a integração dos resultados e das considerações finais, de acordo com as normas vigentes do Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Capítulo 1 – Capítulo de introdução com as considerações iniciais e o estado da arte. São apresentados os temas relevantes para a contextualização dos artigos, além da caracterização da área de estudo, das metodologias empregadas, dos objetivos da tese, além das premissas e hipótese que norteiam este trabalho.

Capítulo 2 – Contém o artigo publicado na revista científica *Journal of Coastal Research* (ISSN: 0749-0208), intitulado: ***Nearshore Dynamics and Holocene Evolution of the Coastal Barrier South of the Santa Marta Cape, Southern Brazil***. Nesse artigo são abordados aspectos referentes à dinâmica atual e da evolução costeira da barreira holocênica na porção norte da Baía de Pelotas, compreendendo cerca de 30 km desde o litoral Jaguaruna até o Cabo de Santa Marta (SC).

Capítulo 3 – É composto pelo artigo publicado na Revista Brasileira de Geomorfologia (ISSN: 1519-1540), intitulado: **O Aporte Sedimentar às Praias da Cigana e do Cardoso, Cabo de Santa Marta, Santa Catarina, Brasil**. Nesse trabalho é apresentada uma análise integrada da dinâmica sedimentar na porção emersa e submersa das praias da Cigana e do Cardoso, pertencentes ao município de Laguna (SC) em um recorte temporal histórico (décadas).

Capítulo 4 – Contém o artigo submetido à revista científica *Ocean and Coastal Management* intitulado: ***Geomorphological and Stratigraphic Analysis Applied to Coastal Management***. Nesse artigo são abordados aspectos relacionados à geomorfologia (escala histórica) e ao padrão de empilhamento em subsuperfície da barreira costeira (escala holocênica) da Praia da Cigana em Laguna (SC), para subsidiar o planejamento do uso e ocupação dos espaços costeiros na área.

Capítulo 5 – Capítulo composto pelas considerações finais, onde são discutidos os dados apresentados no corpo da tese com o intuito de integrar os três artigos e expor as principais conclusões alcançadas.

Capítulo 1

Considerações Iniciais

1 - INTRODUÇÃO

A ciência é produto do modo que observamos o mundo, e a nossa percepção está fundamentalmente balizada pelas dimensões temporais e espaciais (Church, 1996). No campo da Geomorfologia, apesar do amplo reconhecimento na literatura de que as formas terrestres são sistemas complexos associados aos processos que abrangem escalas espaciais e temporais distintas, pesquisas que integram as diferentes escalas são escassas (Bauer e Sherman, 1999).

Na subárea da Geomorfologia Costeira - ciência que analisa as morfologias das feições costeiras e os processos atuantes ao longo do tempo (Bird, 2008) - o discernimento entre as diferentes escalas temporais de atuação dos processos é de fundamental importância para compreensão da dinâmica e evolução da área costeira (Sherman, 1995).

Segundo Aagard *et al.* (2004) há um amplo conhecimento acerca do comportamento de zonas costeiras em escalas reduzidas associadas a eventos pontuais. Entretanto, um dos grandes desafios está na tentativa de extrapolar esses eventos para escalas mais abrangentes, uma vez que a zona costeira não apresenta um comportamento linear, e sim se caracteriza por ser um ambiente complexo, com diversos limiares e respostas caóticas (Roy *et al.*, 1994; Cowell *et al.*, 1995; Stive & De Vriend, 1995; De Vriend, 1997; Guillén *et al.*, 1999; Holman, 2001; Costas, 2006).

Nesse sentido, a configuração geológica e geomorfológica atual das regiões costeiras é resultado da atuação de vários processos em diferentes escalas temporais e espaciais, muitas vezes sobrepostas umas às outras (Tomazelli, 1990). O gráfico abaixo (Figura 1), apresentado primeiramente por Cowel & Thom (1994), resume de forma sucinta essa relação entre escala e processo na zona costeira.

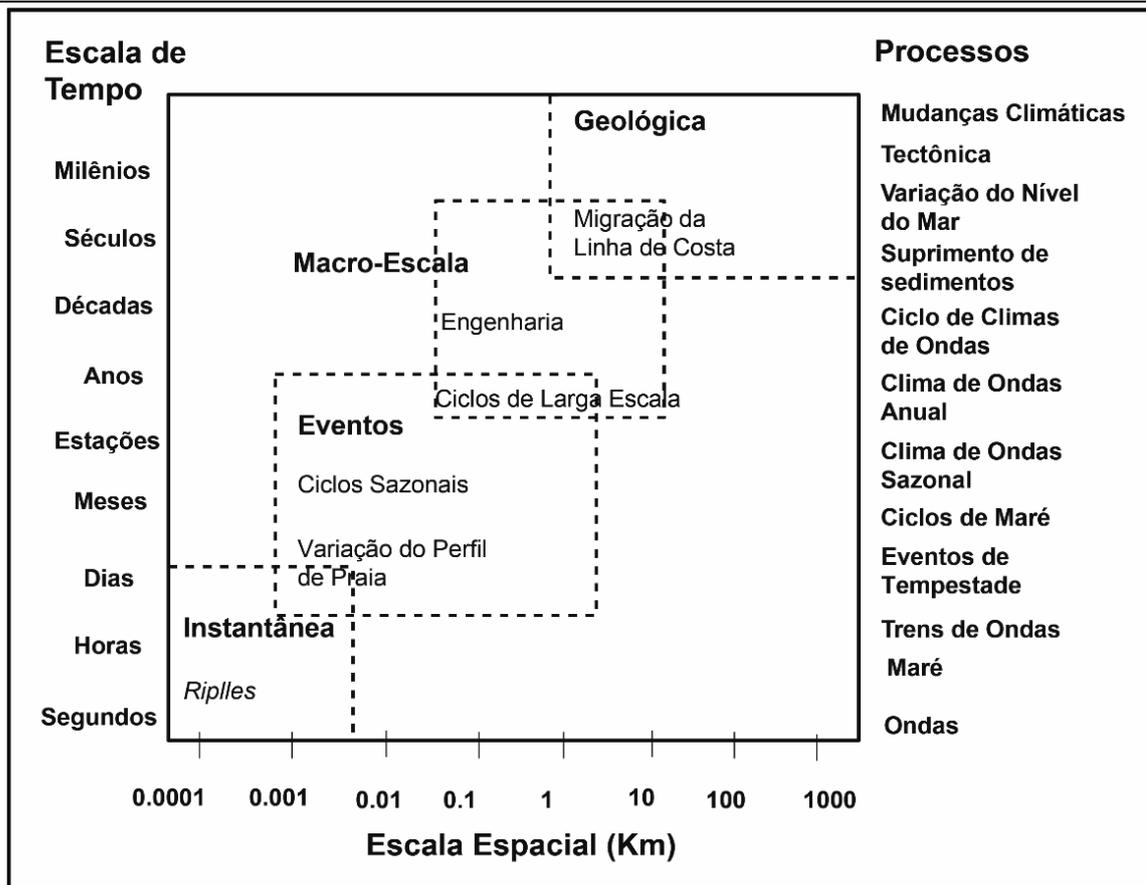


Figura 1: Escala Espacial e Temporal dos Processos Costeiros (modificado de Cowell & Thom, 1994).

1.1 – Estado da arte

1.1.1 – A Zona Costeira e a Gestão do Litoral

Entende-se por zona costeira as áreas de transição entre os ambientes marinho e continental (Davis Jr. & Fitzgerald, 2004). Sua delimitação ao redor do mundo é variável conforme a lei de cada país, podendo ser na ordem de metros até quilômetros de distância da linha de costa, na direção do oceano e do continente. No Brasil, os limites da zona costeira foram definidos no Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (em 1988) em 12 milhas náuticas a partir da linha de costa em direção ao oceano e, em direção ao continente, o limite administrativo dos municípios costeiros e dos municípios não costeiros que sofrem influência direta dos fenômenos ocorrentes na zona costeira.

De acordo com a recente publicação intitulada “Panorama da Erosão Costeira no Brasil” do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2018), atualmente, metade da

população mundial vive dentro de uma faixa de 100 km da linha de costa e 10% vive em áreas costeiras com altitude máxima de 10 metros acima do nível do mar (Figura 2). A maior parte das metrópoles mundiais (75%) está localizada no litoral e a previsão é de que até o ano de 2025, 75% da população mundial esteja vivendo no litoral (MMA, 2018). Na Austrália, por exemplo, 83% de sua população vive próximo à costa e 25% dentro de uma faixa de 3 km do litoral, enquanto nos EUA, cerca de 53% da população vive em uma faixa de 80 km da linha de costa (Komar, 1998).

No Brasil, a zona costeira corresponde a, aproximadamente, 10.800 km de faixa terrestre, somando uma área total de 514 mil km². distribuída por 17 Estados e que abrange 463 municípios costeiros, onde vivem cerca de 26% da população brasileira (IBGE, 2011). No Estado de Santa Catarina, segundo Pollete (1995), aproximadamente 68% da população vive no litoral, local que concentra conflitos entre as atividades turística, pesqueira, portuária e de áreas de proteção/conservação ambiental e cultural (MMA, 2018). O tipo de orla consolidada predomina no litoral catarinense (36%), seguido de orla natural (33%) e orla urbana em consolidação (30%), sendo que do total dos 460 km de linha de costa do estado, 13% encontra-se em estado erosivo (MMA, 2018).

Devido à interação entre processos físicos de origem continental e marinha, a zona costeira apresenta características ambientais peculiares e ecossistemas extremamente frágeis. É uma zona de alta concentração populacional e em franca expansão, com sazonalidade turística que sobrecarrega a capacidade de suporte de diversos balneários e municípios costeiros (Lins-de-Barros, 2017). Asmus & Kitzmann (2004) pontuam os principais conflitos e desafios da gestão da zona costeira, sobretudo, as questões relacionadas ao planejamento do uso do espaço costeiro e marinho. Os mesmo autores elencam como importantes desafios emergentes da atualidade, as atividades relacionadas à: i) exploração, refino e transporte de derivados do petróleo; ii) expansão e intensificação das atividades portuárias e; iii) atividades de aquicultura (Asmus & Kitzmann, 2004).

Segundo o Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas (IPCC, 2014) vulnerabilidade é o grau que determinado sistema é suscetível ou incapaz de assimilar os efeitos adversos das mudanças climáticas. Ou seja, o conceito de vulnerabilidade está diretamente associado à exposição ao fenômeno, à sensibilidade do sistema e sua capacidade adaptativa. De acordo com relatórios, os

prognósticos indicam um aumento do nível do mar entre 50 e 100 cm até o final do século (MMA, 2018) (detalhe na Figura 2). Outra consequência esperada com as mudanças climáticas é a tendência de incremento na frequência e intensidade de eventos oceanográficos extremos e a mudança no padrão de ondas, que poderá interferir diretamente no transporte sedimentar e conseqüentemente no balanço de sedimentos de áreas costeiras (Muehe, 2010; Muehe & Rosman, 2011). Portanto, conforme exposto, a zona costeira se caracteriza por ser um espaço crítico para a gestão, sobretudo em termos econômicos, estratégicos e ambientais (Davis Jr. & Fitzgerald, 2004).

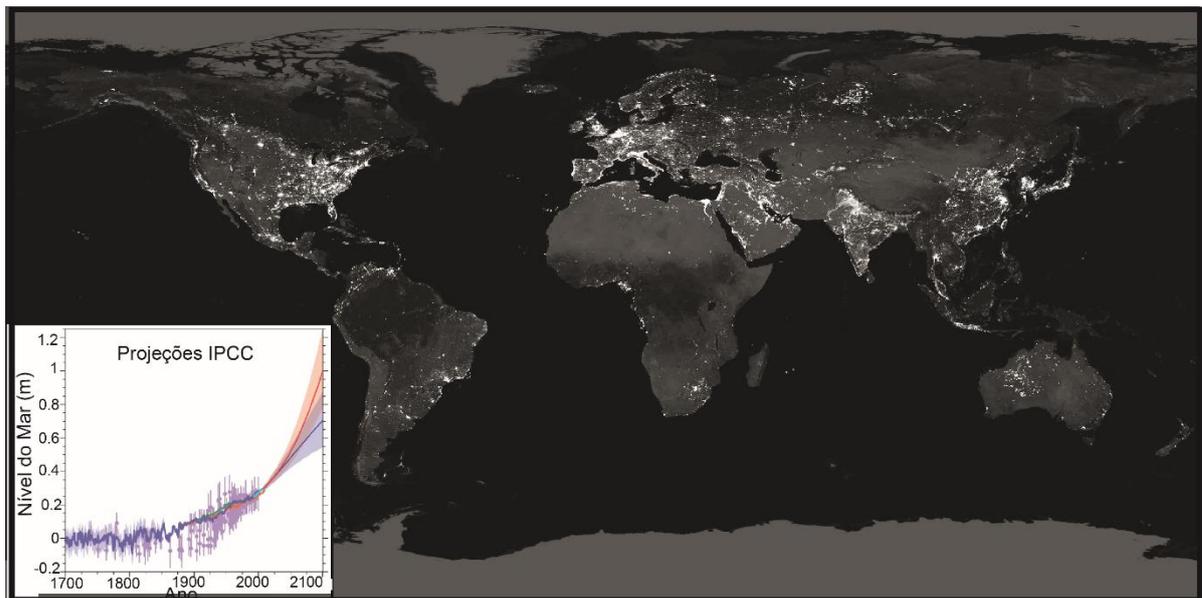


Figura 2: Imagem noturna evidenciando a concentração populacional nas zonas costeiras dos continentes (Fonte: NASA *Earth Observatory*). Em detalhe, o gráfico das projeções de aumento do nível médio do mar do IPCC para dois cenários de emissões de gases do efeito estufa; cenário conservador (em azul) e cenário (vermelho) (modificado de Church *et al.*, 2013).

No Brasil, o marco inicial da gestão costeira foi no ano de 1988, quando foi instituído o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC) através da Lei Nº7661 da Constituição Federal e representa a base legal do planejamento da zona costeira brasileira (Asmus & Kitzmann, 2004). Nele são definidos os princípios, os instrumentos, as competências e a área de abrangência para a gestão da zona costeira (Asmus & Kitzmann, 2004).

Ainda de acordo com os autores supracitados, o PNGC estabelece como principais instrumentos de gestão: i) O Zoneamento Ecológico-Econômico Costeiro

(ZEEC) para o ordenamento territorial e o desenvolvimento sustentável da zona costeira; ii) O Sistema de Informações do Gerenciamento Costeiro (SIGERCO) que inclui todo o banco de dados que serve de subsídios para tomada de decisões das esferas estaduais e municipais; iii) O Sistema de Monitoramento Ambiental da Zona Costeira (SMA-ZC) que consiste nas metodologias de coleta de dados e informações de forma contínua para acompanhamento dos indicadores de qualidade da zona costeira; iv) O Relatório de Qualidade Ambiental da Zona Costeira que engloba a avaliação das medidas e ações da gestão nas zonas costeiras; v) O Grupo de Integração do Gerenciamento Costeiro (GI-GERCO), coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), foi instituído em 1996 com o propósito de promover a articulação das Ações Federais na Zona Costeira; vi) O Plano de Gestão da Zona Costeira (PGZC) que integra e articula as ações estratégicas elaboradas com a participação da sociedade, com o intuito de orientar a execução do gerenciamento costeiro integrado; vii) O Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro (PEGC) que inclui a definição das responsabilidades e procedimentos institucionais para a execução da Política Estadual de Gerenciamento Costeiro; viii) O Plano Municipal de Gerenciamento Costeiro (PMGC) que visa a integração com os planos de uso e ocupação territorial do município.

O Projeto Orla - Projeto de Gestão Integrada da Orla Costeira (MMA, 2004) – é um projeto criado pelo Governo Federal, e suas ações inicialmente correspondiam às pastas do Ministério do Meio Ambiente (MMA) e do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão através da Secretaria do Patrimônio da União (SPU). Atualmente, o projeto faz parte do Grupo de Trabalho – ORLA, discutido no âmbito do GI-GERCO, e suas ações buscam o ordenamento dos espaços litorâneos sob domínio da União, aproximando as políticas ambiental e patrimonial, com ampla articulação entre as três esferas de governo e a sociedade (MMA, 2004).

Conforme exposto, fica evidente que existem diversos instrumentos, ferramentas e normativas legais referentes à gestão costeira no Brasil. Entretanto a aplicação efetiva destas depende do interesse dos atores sociais e governamentais, e ainda, da incorporação do conhecimento disponível acerca dos distintos processos que ocorrem zona costeira.

1.1.2 – O Sistema Praial

O sistema praial representa a faixa de interseção entre o ambiente marinho e continental (Figura 3) e pode ser compartimentado conforme as características morfodinâmicas de cada subambiente (Calliari *et al.*, 2003). Na zona submersa, a antepraia inferior compreende a zona limite com a plataforma continental interna, onde as ondas começam a interagir com o fundo marinho através do transporte sedimentar. A antepraia média se inicia a partir da profundidade de fechamento, onde o perfil batimétrico começa a sofrer alterações verticais, e se estende até a zona de arrebatção das ondas. A antepraia inferior compreende a zona de arrebatção e a zona de surfe, onde ocorre o transporte sedimentar mais significativo na zona submersa.

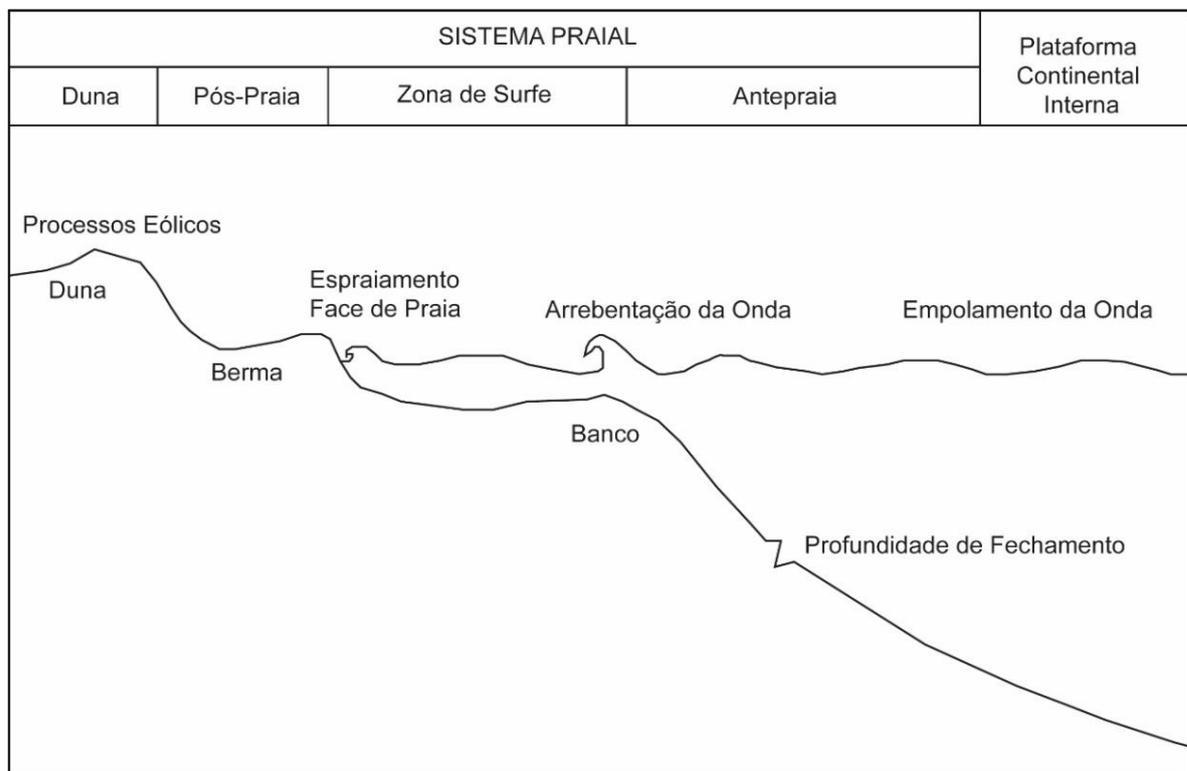


Figura 3: Os subambientes que compõem o sistema praial (modificado de Short, 1999).

A zona emersa do sistema praial engloba a face de praia, que corresponde a zona de espraiamento da onda, e o pós-praia, onde está localizada a berma (parte de areia seca da praia). O limite interno do pós-praia pode ser uma duna costeira, uma falésia sedimentar, o embasamento cristalino, uma planície de cordões litorâneos ou cristas de praia, por exemplo.

Wright & Short (1983) classificaram as praias do sudeste da Austrália conforme sua morfologia associada a regimes hidrodinâmicos específicos (ondas e marés), e consiste em: dois estágios extremos – dissipativo e reflectivo – e quatro estágios intermediários (Figura 4). Apesar de ter sido desenvolvida no litoral australiano, esta classificação é amplamente utilizada em diversos litorais arenosos com regime de micro-maré ao redor do mundo (Calliari *et al.*, 2003).

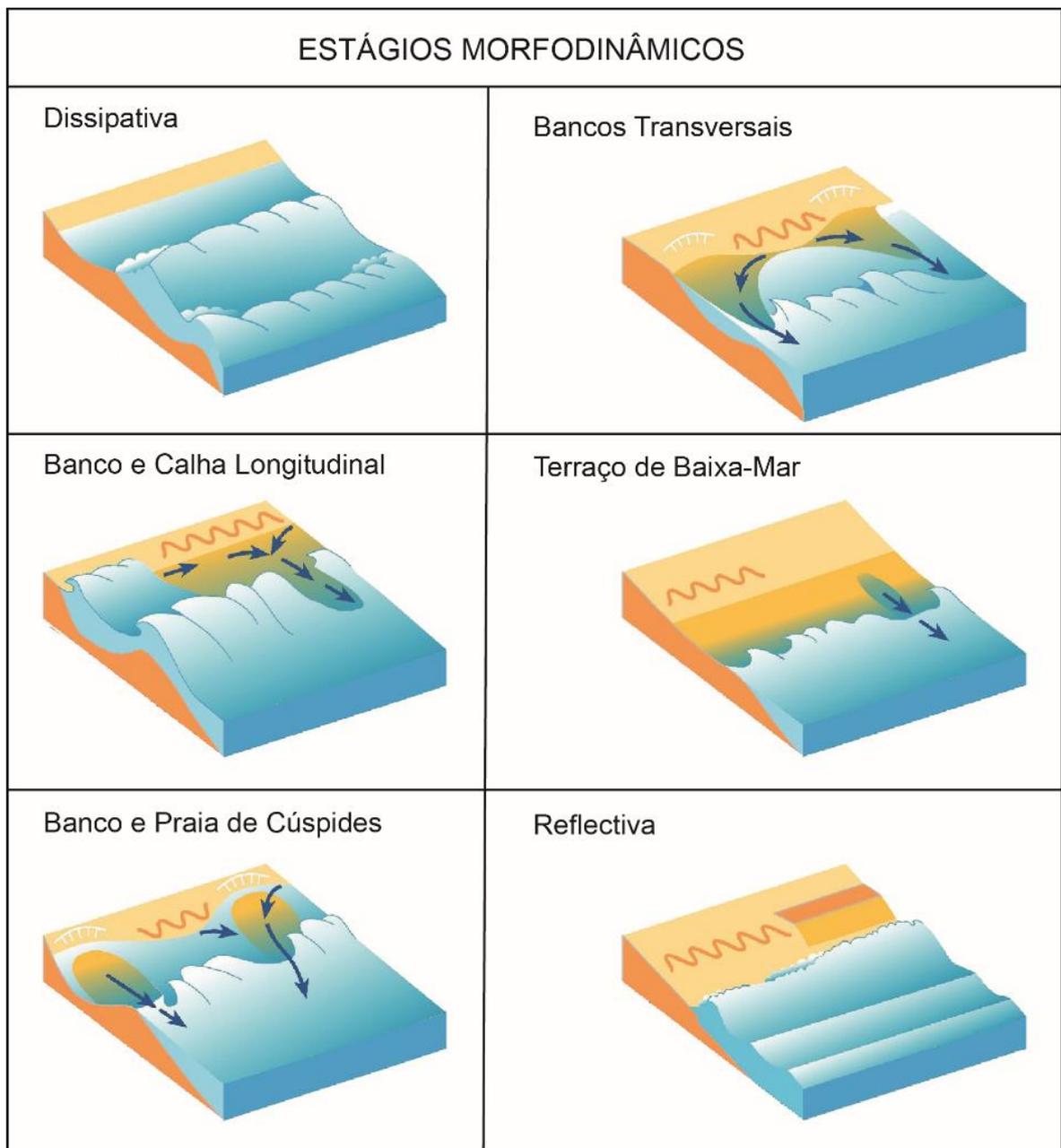


Figura 4: Estágios morfodinâmicos de praias (modificado de Short & Jackson, 2013).

Em linhas gerais, as praias dissipativas possuem extensa zona de surfe, baixo gradiente topográfico e elevado estoque sedimentar na zona submersa, ao passo que as praias reflectivas caracterizam-se por possuir elevado gradiente topográfico, pequena largura da zona de surfe e maior estoque de areia na parte emersa (Calliari *et al.*, 2003). Os quatro estágios intermediários caracterizam-se pela variação na disposição e na forma dos bancos de areia e das calhas, com a formação de cúspides praias e terraços de baixa-mar.

Ainda no âmbito da escola australiana de Geomorfologia Costeira, Short & Hesp (1982) desenvolveram um modelo conceitual baseado na interação entre; zona de surfe - praia – duna. Segundo os autores, os sedimentos que são depositados pelos processos de espraiamento das ondas (*swash*) na face de praia, dependem da topografia da praia emersa e do fluxo aerodinâmico nessa zona, para serem transportados pelo vento e avançarem pelo continente.

Segundo os autores, as taxas de transporte eólico são potencialmente maiores em praias dissipativas, moderadas em praias intermediárias e menores em praias reflectivas. Essas taxas determinam o potencial de desenvolvimento das dunas frontais, uma vez que são esperadas dunas mais desenvolvidas em praias dissipativas e menos desenvolvidas em praias reflectivas (Short & Hesp, 1982). Nesse contexto, fica claro que o entendimento do ambiente eólico como parte do sistema praia-duna se faz necessário, devido à intrínseca relação de transferência de sedimentos entre os ambientes (Carter, 1977).

A interface praia-duna, o local onde ocorrem os processos básicos na formação de dunas costeiras. Os sedimentos depositados na face de praia pela ação das ondas, após serem secos, são remobilizados pela ação do vento (Davidson-Arnott & Law, 1990). Durante o transporte eólico, o sedimento pode ser retido pela vegetação presente no pós-praia, formando a primeira linha de duna frontal incipiente, ou seguir avançando ao longo da costa na forma de dunas móveis.

Na avaliação do balanço sedimentar de uma célula costeira são analisadas as entradas e saídas de sedimentos a fim de se obter um entendimento em relação à dinâmica sedimentar da área e prever futuros cenários (List, 2005). Nesse contexto, o ambiente eólico pode atuar como fonte ou saída de sedimentos de um sistema praias (Davidson-Arnott 1988; Psuty, 1988; Davidson-Arnott & Law, 1990; Delgado-Fernandez & Davidson-Arnott, 2011), dependendo, basicamente, do sentido do

vento incidente em relação à linha de costa. Predomínio de ventos no sentido do continente (*onshore*) favorece o transporte sedimentar do pós-praia para a duna frontal e para o campo de dunas adjacente, acarretando em perda sedimentar do sistema praial e em ganho do sistema eólico.

Por outro lado, em costas onde predominam ventos no sentido oposto (*offshore*), os grãos são transportados da duna para o pós-praia e, posteriormente para a porção submersa da praia, onde passam a ser retrabalhados pela ação das ondas e correntes (Sherman & Hotta, 1990; Nordstrom *et al.*, 1996). Nesse cenário de ventos de terra para o mar, o aporte eólico representa um fator de entrada de sedimentos no sistema praial, e dependerá principalmente do potencial de deriva eólica, além de fatores como o teor de umidade dos sedimentos superficiais, tamanho do grão, *fetch* de atuação do vento no pós-praia, variações na topografia da praia e presença de vegetação ou de outros obstáculos (Bauer & Davidson-Arnott, 2002; Sanjaume *et al.*, 2011).

Hesp (1988) propôs uma classificação para dunas frontais baseada em padrões morfo-ecológicos e de estabilidade, com cinco estágios. O primeiro estágio representa um típico cordão de duna frontal, contínuo e com cobertura vegetal e o último estágio, predominam processos erosivos, a cobertura vegetal é escassa e o cordão possui uma forma descontínua. Abaixo são apresentados os estágios de dunas frontais conforme sua estabilidade e cobertura vegetal (Figura 5a) e alguns dos principais tipos de dunas costeiras (Figura 5b).

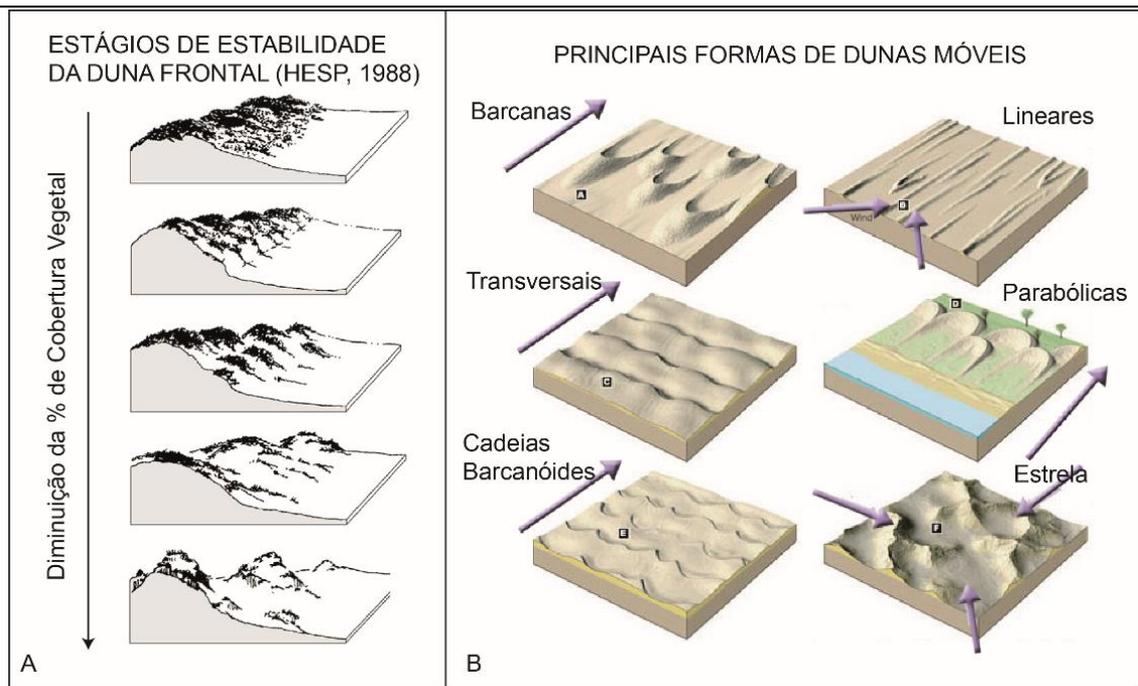


Figura 5: A) Estabilidade da duna frontal. Modificado de Hesp (1988). B) Principais tipos de dunas costeiras (modificado de Brookfield, 2011).

1.1.3 – O Sistema Laguna-Barreira

Segundo Otvos (2012), as barreiras costeiras ocorrem em 15% dos litorais ao redor do mundo. São definidas como feições deposicionais paralelas a linha de costa, formadas pela ação das ondas, dos ventos e das marés e constituídas por areias, cascalhos, biodetrítos, e matéria orgânica, (Dillenburg & Hesp, 2009). Essas feições são encontradas nos litorais de todos os continentes, porém são mais comuns ao longo das margens passivas, onde o fornecimento de sedimentos é abundante e a topografia mais suave (Dillenburg & Hesp, 2009).

O controle do desenvolvimento de uma barreira costeira se dá por dois fatores, basicamente: i) o espaço de acomodação (nível do mar e topografia antecedente) e; ii) o suprimento sedimentar (processos costeiros influenciados pelas ondas, vento, e maré), e resultam em um comportamento morfológico e estratigráfico que varia longitudinal e transversalmente ao longo da barreira (Dillenburg & Hesp, 2009).

Segundo Curray (1964), o processo de deslocamento da linha de costa no sentido do continente é denominado de transgressão e o registro da estratigrafia da barreira é caracterizado por um padrão de empilhamento de refletores com mergulho no sentido do continente. Já o processo de deslocamento da linha de costa no sentido do oceano é chamado de regressão e o padrão de empilhamento dos

refletores é no sentido do oceano (Curry, 1964). A regressão forçada ocorre quando há um rebaixamento do nível do mar e a regressão normal quando a taxa de aporte sedimentar é positiva em relação ao espaço de acomodação (Roy *et al.*, 1994; Dillenburg *et al.*, 2004).

Desse modo, o que irá determinar o comportamento de uma barreira costeira e seu padrão de empilhamento em subsuperfície, é a combinação entre fatores autóctones - referentes à dinâmica costeira interna da bacia - e os fatores alóctones - relativos às forçantes externas da bacia, como por exemplo, as variações eustáticas globais (Biancini da Silva, 2015; Rosa *et al.*, 2016; Catuneanu, 2019). Portanto, ao longo de um mesmo litoral, podem ser desenvolvidas barreiras com características transgressivas/retrogradacionais (deslocamento no sentido do continente), regressivas/progradacionais (deslocamento no sentido do oceano) ou agradacionais (acresção vertical) conforme ilustrado na figura abaixo (Figura 6).

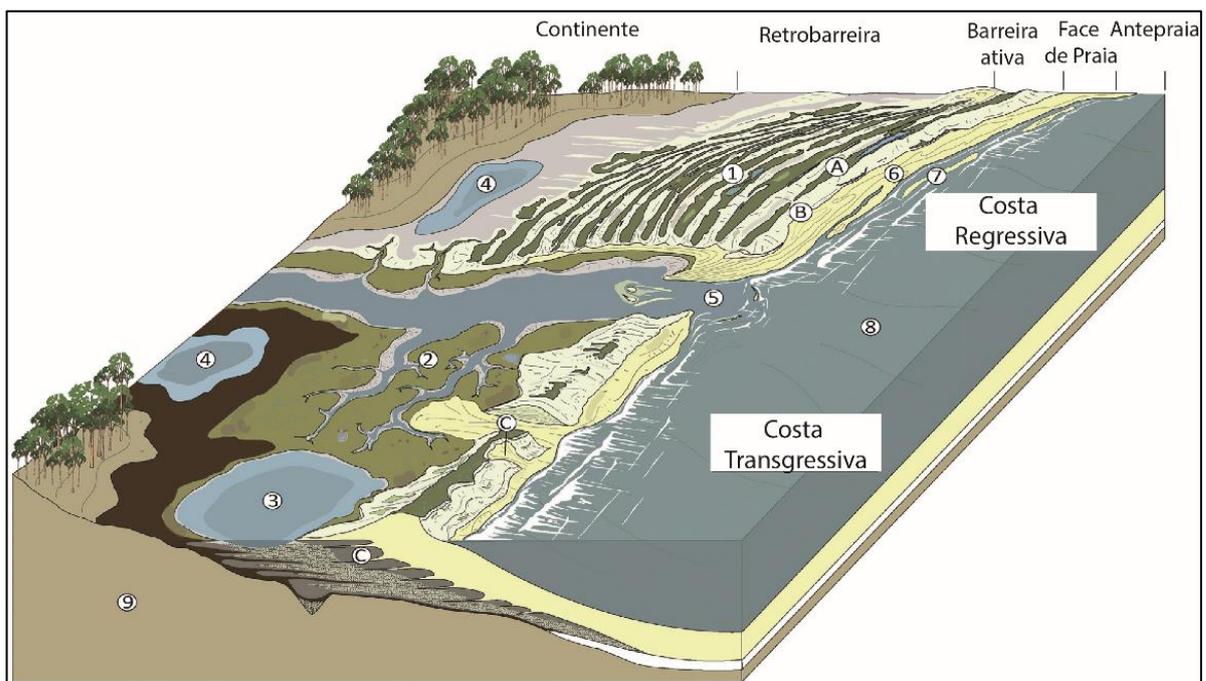


Figura 6: Modelo esquemático com as principais características de barreiras transgressivas e regressivas (modificado de Gornitz, 2009).

1.2 – Área de Estudo

A área de estudo compreende o litoral ao sul do Cabo de Santa Marta, com um total de 42 km de extensão (Figura 7), correspondentes às praias do Cardoso e da Cigana no município de Laguna (SC) e todo o litoral do município de Jaguaruna (SC). Como forma de facilitar a análise e discussão dos resultados, estabelece-se que: i) o setor norte da área de estudo compreende as Praias da Cigana e do Cardoso (Laguna), e os balneários do Camacho e de Garopaba do Sul (Jaguaruna); ii) o setor central é composto pelos balneários de Figueirinha, do Arroio Corrente e do Campo Bom (Jaguaruna); iii) e o setor sul compreende os balneários de Esplanada e do Torneiro (Jaguaruna).

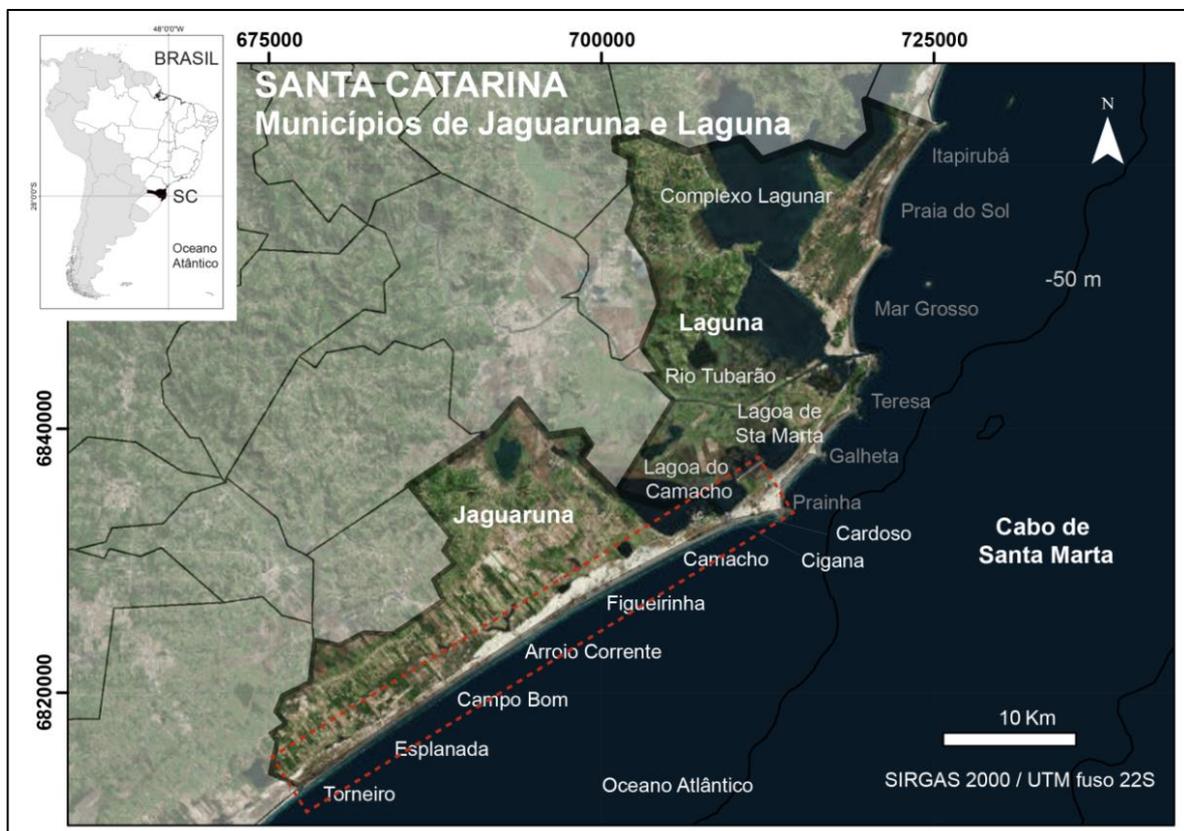


Figura 7: Área de estudo em escala local, com o nome das praias e balneários dos municípios de Laguna e Jaguaruna. Fonte Mapa Base: Imagery ArcGis™.

O Cabo de Santa Marta marca a brusca mudança de orientação da linha de costa no sul do Brasil. A configuração da paisagem costeira de extensas planícies que predominam no litoral gaúcho e extremo sul catarinense, muda para um litoral recortado com praias delimitadas por costões do embasamento Pré-Cenozóico (Giannini, 1993). Martin *et al.* (1988) definem esta localidade como o limite da zona

fisiográfica das lagoas do sul do Brasil, enquanto Muehe (1998) a define como o limite entre o litoral sul e sudeste do país, na compartimentação do litoral brasileiro.

A região começou a ser estudada a partir de meados do século passado, em um primeiro momento com trabalhos sobre a geomorfologia da planície costeira próxima à cidade de Laguna e os sambaquis ali presentes (Guerra, 1950). Mais tarde, começaram a serem desenvolvidos estudos com enfoque na evolução costeira, no âmbito do projeto da construção de um porto carbonífero na região (Pimienta, 1958). Já na década de 70, visando o levantamento das potencialidades econômicas da região, diversos relatórios e artigos internos foram publicados pelo Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM (Giannini, 1993). Desde a década de 90, os ambientes deposicionais do Quaternário costeiro da região vêm sendo amplamente estudados por pesquisadores da Universidade de São Paulo (USP) e da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) (Giannini, 1993; Martinho, 2004; Martinho *et al.*, 2006; Giannini *et al.*, 2007; Sawakuchi *et al.*, 2009; Vieira *et al.*, 2009; Fornari, 2010; Horn Filho *et al.*, 2010; Nascimento Jr., 2010; Vieira da Silva *et al.*, 2011; Fornari *et al.*, 2012), com importante foco de pesquisas voltadas ao patrimônio arqueológico da região (DeBlasis *et al.*, 1998, 2007; Giannini, 2002).

Mais recentemente, diversas ações e propostas vêm sendo realizadas na área de estudo pelo grupo de pesquisadores do Programa de Pós-Graduação em Geociências (PPGGEO) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e culminaram na elaboração do projeto intitulado “Diagnóstico e Plano de Manejo de Dunas Frontais do Município de Jaguaruna/SC” (Gruber *et al.*, 2017a,b,c,d,e,f; 2018a,b,c,d,e,f) além de teses, dissertações e artigos científicos publicados em revistas científicas (Martins *et al.*, 2014, 2018; Cristiano *et al.*, 2015, 2017; Oliveira *et al.*, 2016, 2017; Leal *et al.*, 2017)

1.2.1 – Aspectos Socioambientais

Na compartimentação do litoral catarinense pelo Programa Estadual de Gerenciamento Costeiro de Santa Catarina (GERCO/SC, 2004) o litoral centro-sul é composto por seis municípios: Paulo Lopes, Garopaba, Imbituba, Imaruí, Laguna e Jaguaruna (Figura 8). Laguna é o município mais populoso da região com 51.691 habitantes (IBGE, 2009) e com uma população estimada para 2030 de 57.536 habitantes (IBGE, 2009). O município de Jaguaruna possuía 16.418 habitantes em

2009 e a estimativa para 2030 é de 20.641 habitantes (IBGE, 2009). Segundo o mesmo levantamento, o município de Laguna possuía uma das maiores densidades demográficas da região Centro Sul, de 116,99 hab/km² (atrás de Imbituba e Garopaba), enquanto Jaguaruna possuía 50,20 hab/km².

O incremento populacional na região ocasionado pelo aporte da população flutuante nos meses de alta temporada é um fator significativo para a economia e gestão municipal. Segundo dados apresentados por Scherer *et al.* (2006) com base no Censo de 2000, os municípios de Laguna e Jaguaruna possuíam porcentagens de domicílios não ocupados de 34% e 59%, respectivamente. O caráter sazonal atribuído ao fluxo da população flutuante associada ao turismo de sol e praia na região nos meses de verão, se por um lado movimenta a economia local, por outro, sobrecarrega as infraestruturas básicas dos municípios nessa época do ano, com problemas relacionados ao saneamento básico, à coleta de lixo e ao abastecimento de água e luz (Scherer *et al.*, 2006).

Além da atividade turística, outras atividades econômicas destacam-se na região Centro-Sul catarinense, como: a atividade portuária; as atividades ligadas à pesca e aquicultura (sobretudo a carcinicultura); a agricultura, com destaque para os cultivos de arroz irrigado, mandioca, feijão, milho e fumo; e a extração mineral e vegetal (Scherer *et al.*, 2006). Com relação às áreas de preservação ambiental, duas Unidades de Conservação (UC) estão presentes na região: A Área de Proteção Ambiental da Baleia Franca (APA da Baleia Franca), e o Parque Estadual da Serra do Tabuleiro. Ademais, há que se destacar o importante patrimônio arqueológico da região, representado pelos sambaquis e oficinas líticas presentes nos ambientes costeiros (DeBlasis *et al.*, 1998, 2007; Giannini, 2002).

A expansão urbana dos municípios de Jaguaruna e Laguna foi impulsionada, em um primeiro momento, pela a construção da BR-101 em meados da década de 50. Com o passar dos anos, a paisagem de extensas planícies recobertas por dunas móveis e outros ambientes naturais praticamente intactos, aos poucos foi dando lugar a uma ocupação desordenada, com diversos impactos ao meio ambiente e à cultura local.



Figura 8: Mapa da área de estudo (municípios de Jaguaruna e Laguna destacados em vermelho) e o litoral Centro-Sul catarinense. Destaque para Área de Proteção Ambiental da Baleia Franca (linha tracejada). Fonte Mapa Base: Imagery ArcGis™

Atualmente, muitos dos conflitos ambientais que ocorrem no ambiente costeiro da região são em decorrência da falta de planejamento, ordenamento e fiscalização da ocupação litorânea, como por exemplo: i) extração irregular de areia e manejo inadequado dos sedimentos costeiros (ex.: Canal do Camacho na divisa dos municípios de Laguna e Jaguaruna. Figura 9a); ii) deterioração da qualidade da água do mar e de corpos hídricos costeiros por efluentes agrícolas e domésticos (ex.: Prainha do Farol de Santa Marta em Laguna. Figura 9b); iii) acesso de veículos à faixa de areia das praias e degradação das dunas e sítios arqueológicos (sambaquis) por trilhas *offroad* (Figura 9c); iv) construções e usos irregulares incompatíveis com a legislação ambiental e que são alvo de processos administrativos e judiciais (Figura 9d,e,f); v) supressão de vegetação litorânea nativa e plantio de espécies exóticas para estabilização de dunas móveis e favorecimento à ocupação humana; vi) artificialização da orla marítima com a construção de muros e calçadões dentro do perfil ativo da praia;



Figura 9: Mosaico de fotos exemplificando os conflitos presentes na região. a) Extração irregular de areia em Jaguaruna; b) Linguas negras na Prainha do Farol de Santa Marta, Laguna; c) Trilhas offroad em sambaqui, Jaguaruna; d) Duna migrando sobre a casa, Jaguaruna; e) Loteamento irregular “Maria Therezinha”, em Jaguaruna; f) Placa em loteamento irregular em Jaguaruna. Fotos Labgerco-UFRGS

1.2.2 – Contexto Geológico

O Cabo de Santa Marta é considerado o limite estrutural entre a Bacia de Pelotas e o Alto de Florianópolis, que a separa da Bacia de Santos (Gamboa & Rabinowitz, 1981 *apud* Rosa, 2009). A Bacia de Pelotas foi originada no rifteamento responsável pela abertura do Oceano Atlântico ocorrido no Cretáceo, sendo definida por Asmus & Porto (1972) como uma bacia marginal subsidente preenchida por sequencias clásticas continentais, transicionais e marinhas (Rosa, 2012). A Bacia de Pelotas é limitada ao sul pelo Alto do Polônio, que a divide com a Bacia de Punta del

Leste, e ao norte, pelo Alto de Florianópolis, perfazendo um total de 760 km de extensão, aproximadamente.

Portanto, em um contexto regional, estão presentes rochas do embasamento cristalino, com afloramento das províncias geológicas do Escudo Catarinense, da Bacia do Paraná e do Planalto do Serra Geral. Em uma escala mais restrita à área de estudo, a planície costeira dos municípios de Jaguaruna e Laguna está ancorada no embasamento Pré-Cenozócio - com afloramentos das unidades litoestratigráficas Granitoides Pedras Grandes e Granito Serra do Tabuleiro - e nos depósitos coluviais e aluviais presentes no sopé das encostas (SPG, 2010; Horn Filho *et al.*, 2012). De acordo com o mapeamento realizado no âmbito do GERCO/SC (SPG, 2010), também ocorrem na planície costeira do município de Jaguaruna, depósitos eólicos do Pleistoceno Superior e depósitos lagunares pleistocênicos na forma de terraços lagunares, além de depósitos holocênicos de origens continental e marinha (Figura 10).

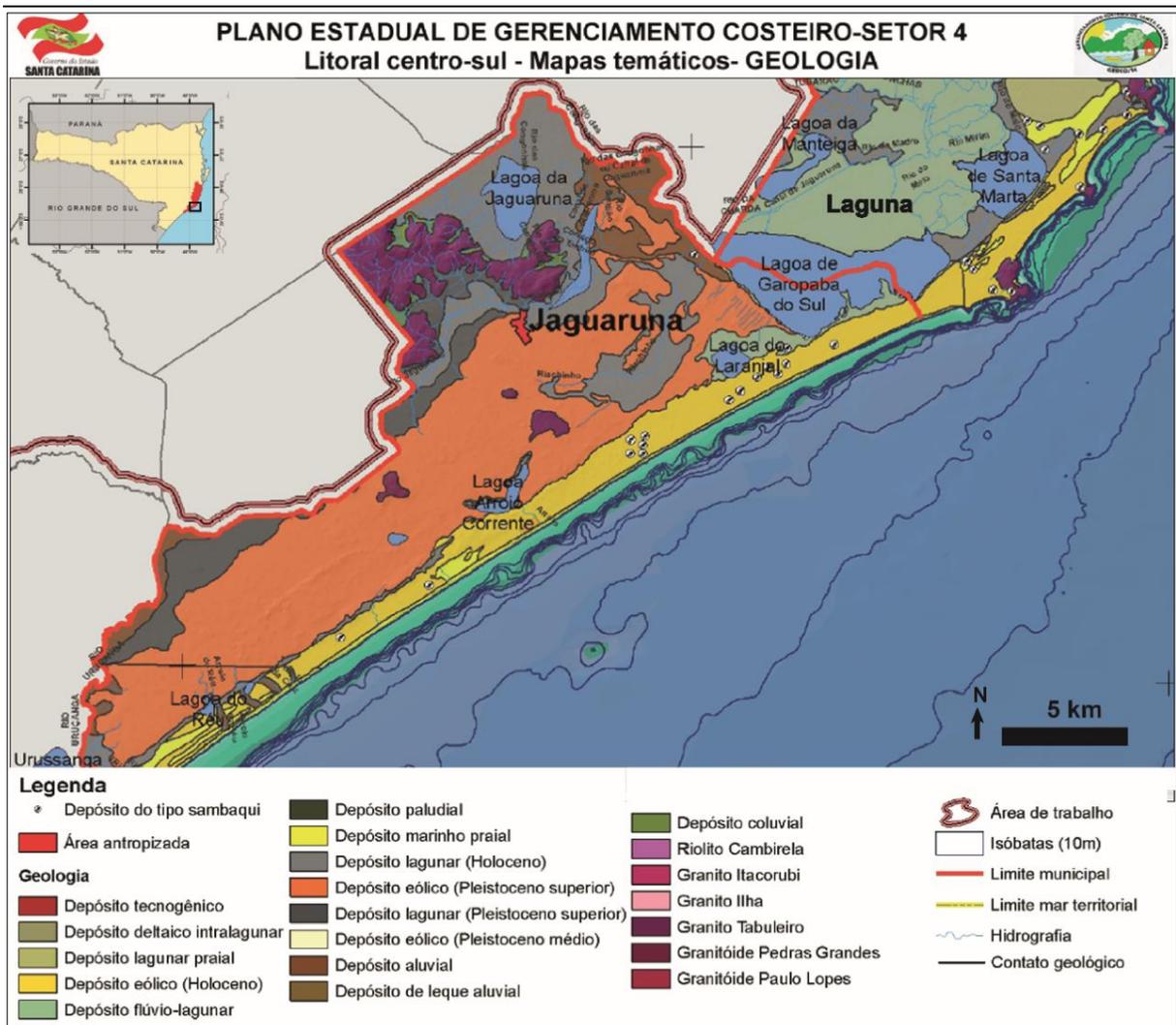


Figura 10: Mapa geológico da região (modificado de SPG , 2010).

Ao longo da parte emersa da Bacia de Pelotas Villwock *et al.* (1986) identificaram na planície costeira, quatro sistemas deposicionais justapostos do tipo Laguna-Barreira, que se desenvolveram a partir das variações glacio-eustáticas do nível do mar ao longo do Quaternário (Figura 11). Os sistemas Laguna-Barreira mais antigos (I, II e III) foram desenvolvidos durante variações no nível do mar ao longo do Pleistoceno e possuem intervalo de tempo de aproximadamente 100 mil anos, obtidas através da correlação com estágios isotópicos de oxigênio (Rosa *et al.*, 2017): A Barreira I (aprox. 300 ka A.P) possui apenas uma pequena parte de seu registro preservado e exposto na planície costeira (Villwock & Tomazelli, 1995), enquanto que o registro da Barreira II (aprox. 240 ka A.P) está preservado na porção sul da Bacia de Pelotas (Lopes, *et al.* 2013). A Barreira III (aprox. 125 ka A.P) apresenta a mesma orientação da Barreira IV (7 ka A.P até o presente) e seu registro é encontrado ao longo da bacia de forma intermitente. No litoral central de

Jaguaruna, a Barreira IV (depósitos marinhos e eólicos) está acoplada à Barreira III (depósitos eólicos).

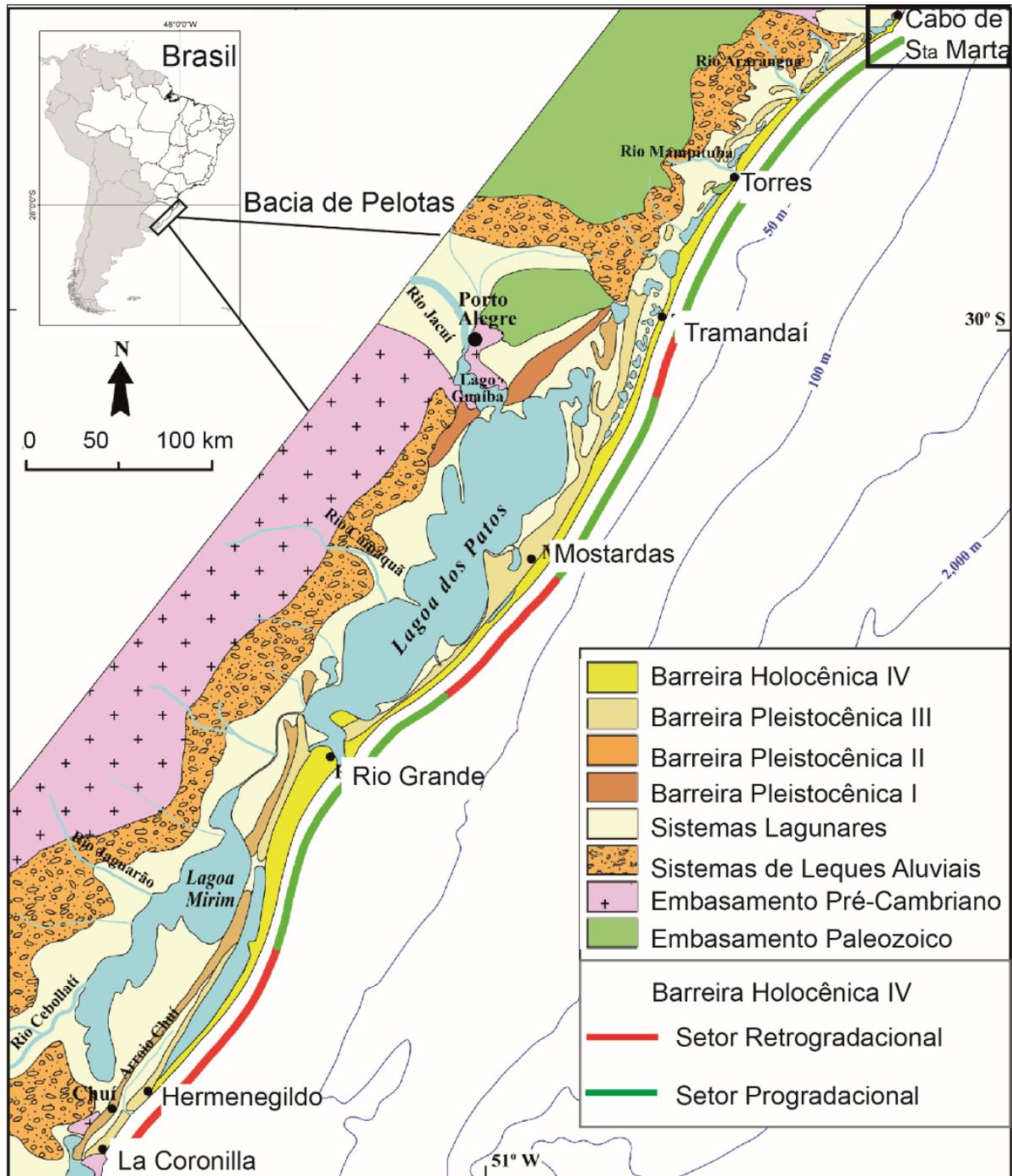


Figura 11: A porção emersa da Bacia de pelotas e os sistemas Laguna-Barreira justapostos. Nota-se a correlação entre os setores progradacionais e retrogradacionais com as reentrâncias e saliências presentes no litoral, respectivamente (modificado de Dillenburg & Barboza, 2014).

As curvas do nível do mar para o Holoceno aceitas para a região sul do Brasil (Figura 12) indicam uma elevação contínua desde 18 ka A.P até 5,6 ka A.P (aproximadamente) com taxas próximas a 1,2 cm/ano (Corrêa, 1990;1996, Angulo e Lessa 1997), período conhecido como Transgressão Marinha Pós-Glacial. Angulo *et al.* (2006), propuseram que o nível atingiu aproximadamente 2,1 m (+- 0,5 m) acima da posição atual no sul do Brasil, entre 6 e 5 ka A.P, seguido de um declínio gradual do NRM até o presente (0,4 mm / ano).

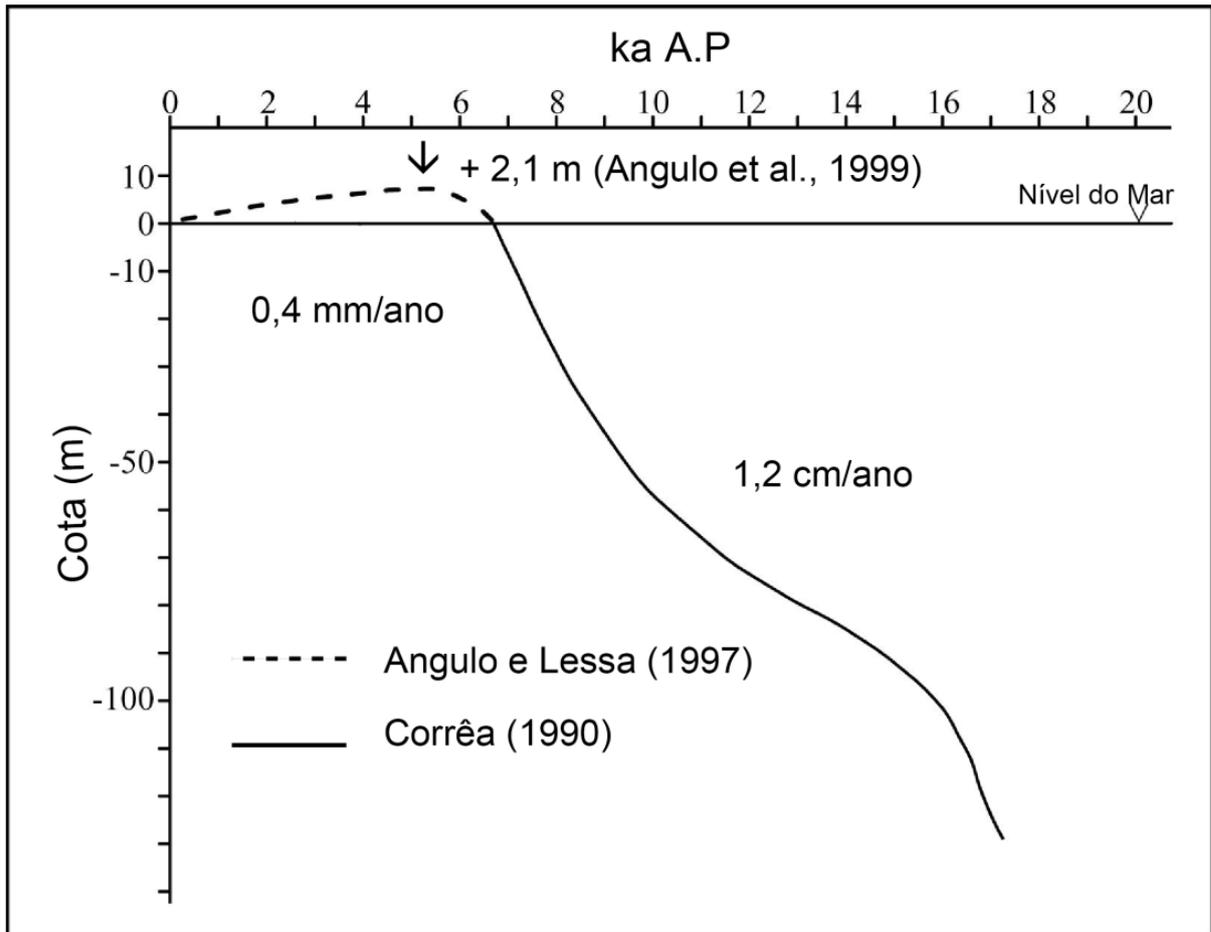


Figura 12: Curva do Nível Relativo do Mar para o litoral sul do Brasil, a partir dos trabalhos de Angulo e Lessa (1997) e Corrêa (1990).

Nesse contexto, segundo Dillenburg & Hesp (2009) é provável que muitas das barreiras costeiras atuais ao redor do mundo tenham sido formadas na borda da plataforma continental há aproximadamente 18 ka A.P, quando o nível do mar começou a subir em escala global e as barreiras foram migrando no sentido do continente e reciclando os depósitos da planície costeira. Apesar da queda do nível do mar, a barreira costeira holocênica da Bacia de Pelotas apresenta comportamento variável ao longo de sua extensão, com a presença de grandes

embaixamentos e projeções costeiras. Com apenas seis descontinuidades representadas por desembocaduras de rios e lagunas costeiras, além de afloramentos rochosos pontuais que alcançam o mar na cidade de Torres (RS), em La Coronilla no Uruguai e na Praia da Cigana em Laguna (SC), é classificada como uma das estruturas arenosas contínuas mais longas do mundo (Dillenburg & Barboza, 2014).

Ao longo da Barreira IV ocorrem setores com padrão de empilhamento retrogradacional, progradacional e agradacional (Dillenburg & Hesp, 2009; Barboza *et al.*, 2011; Dillenburg & Barboza, 2014). De acordo com Dillenburg & Barboza (2014), o desequilíbrio no balanço de sedimentos produzidos por gradientes de energia de ondas ao longo da Bacia de Pelotas é o principal fator responsável por essa variação de comportamento da barreira atual. Por via de regra, as barreiras transgressivas (com padrão de empilhamento retrogradacional) estão localizadas nas projeções costeiras, associadas a um balanço de sedimentos negativo, ao passo que nas reentrâncias costeiras localizam-se as barreiras regressivas (padrão de empilhamento progradacional), desenvolvidas sob a condição de um balanço de sedimentos positivo (Dillenburg & Barboza, 2014).

1.2.3 - Geomorfologia e Alterações na Paisagem

A geomorfologia da área de estudo caracteriza-se por possuir uma planície costeira limitada pelo Planalto Atlântico, com a presença de depósitos coluviais, aluviais e de leques aluviais no sopé das encostas. Ao longo da planície costeira, predominam depósitos lagunar, eólico, flúvio-lagunar, deltaico intralagunar, paludial e marinho praiado (Horn Filho *et al.*, 2012). De acordo com o mapeamento geomorfológico realizado em escala nacional (cartas na escala de 1:1.000.000) e publicado no âmbito do Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha (MMA, 2009), destacam-se na área de estudo (Figura 13), as unidades geomorfológicas: i) Campo de Dunas; ii) Planície Costeira; iii) Planície Fluvial do Rio Tubarão; iv) Planalto Atlântico; v) Depressão Periférica PR/SC; vi) Patamares do Serra Geral; vii) Planalto Riograndese.

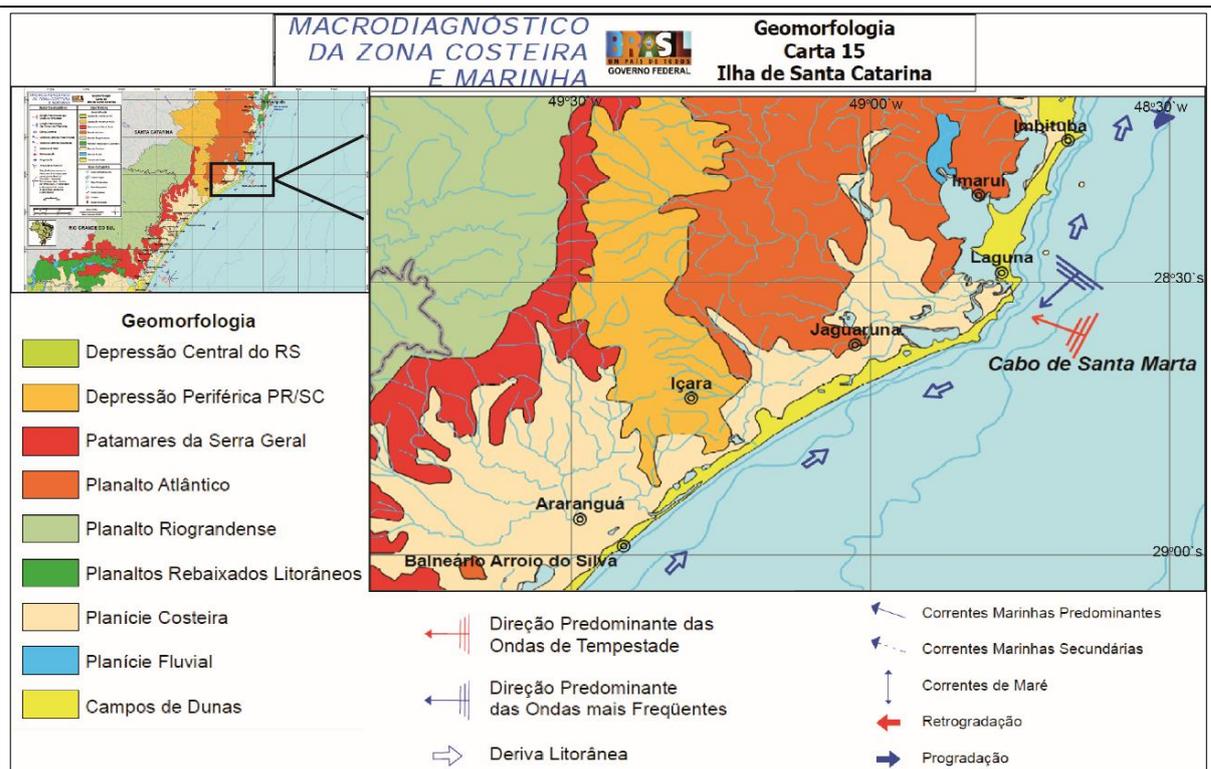


Figura 13: Mapa geomorfológico da região (modificado de MMA, 2009).

Ao observar o mosaico de ortofotos de 1938 (escala de 1:30.000) é possível notar o extenso campo de dunas transgressivos presente na área de estudo na época (Figura 14). Em uma análise comparativa com a ortofoto de 2012, verifica-se uma significativa diminuição da área de dunas móveis e aumento de áreas vegetadas, de planícies de deflação e da malha urbana, fato constatado por Oliveira *et al.* (2017).

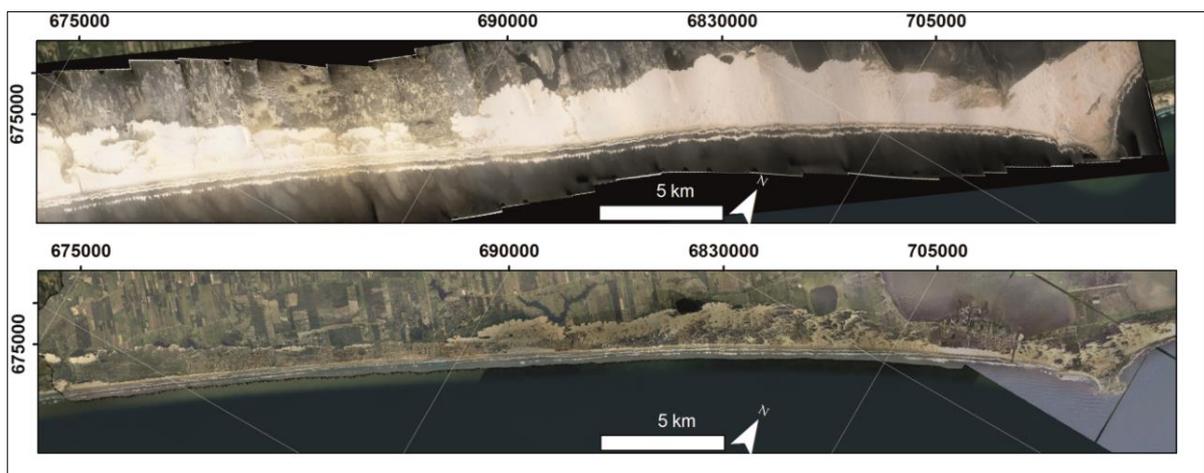


Figura 14: Comparação entre as ortofotos da área de estudo de 1938 (acima) e 2012 (abaixo). Escala original: 1:30.000 e 1:10.000, respectivamente. fonte:SDS/SC

De acordo com diversos trabalhos realizados no litoral sul do Brasil (Hesp *et al.*, 2009; Martinho *et al.*, 2010; Miot da Silva & Hesp, 2013; Miot da Silva *et al.*, 2013; Oliveira *et al.*, 2017), as duas principais causas responsáveis por esse processo de estabilização das dunas móveis na área de estudo e em outros setores do litoral sul do Brasil, foram: i) uma alteração recente (escala histórica, da metade do século passado até os dias atuais) no clima regional e aumento da pluviosidade, o que acarretou no aumento das áreas úmidas e vegetadas em detrimento do potencial de transporte eólico; ii) a interferência antrópica associada à expansão da malha urbana, por meio de construções dentro do perfil ativo da praia e de dunas costeiras (áreas fonte) e atividades de “preparação da terra” para ocupação humana, como o pastoreio de gado e o plantio de casuarinas e pinus. Atualmente o campo de dunas encontra-se fragmentado em áreas de cadeias barcanóides, dunas barcanas, dunas transversas, lençóis de areia transgressivos e planícies de deflação vegetadas (Figura 15).

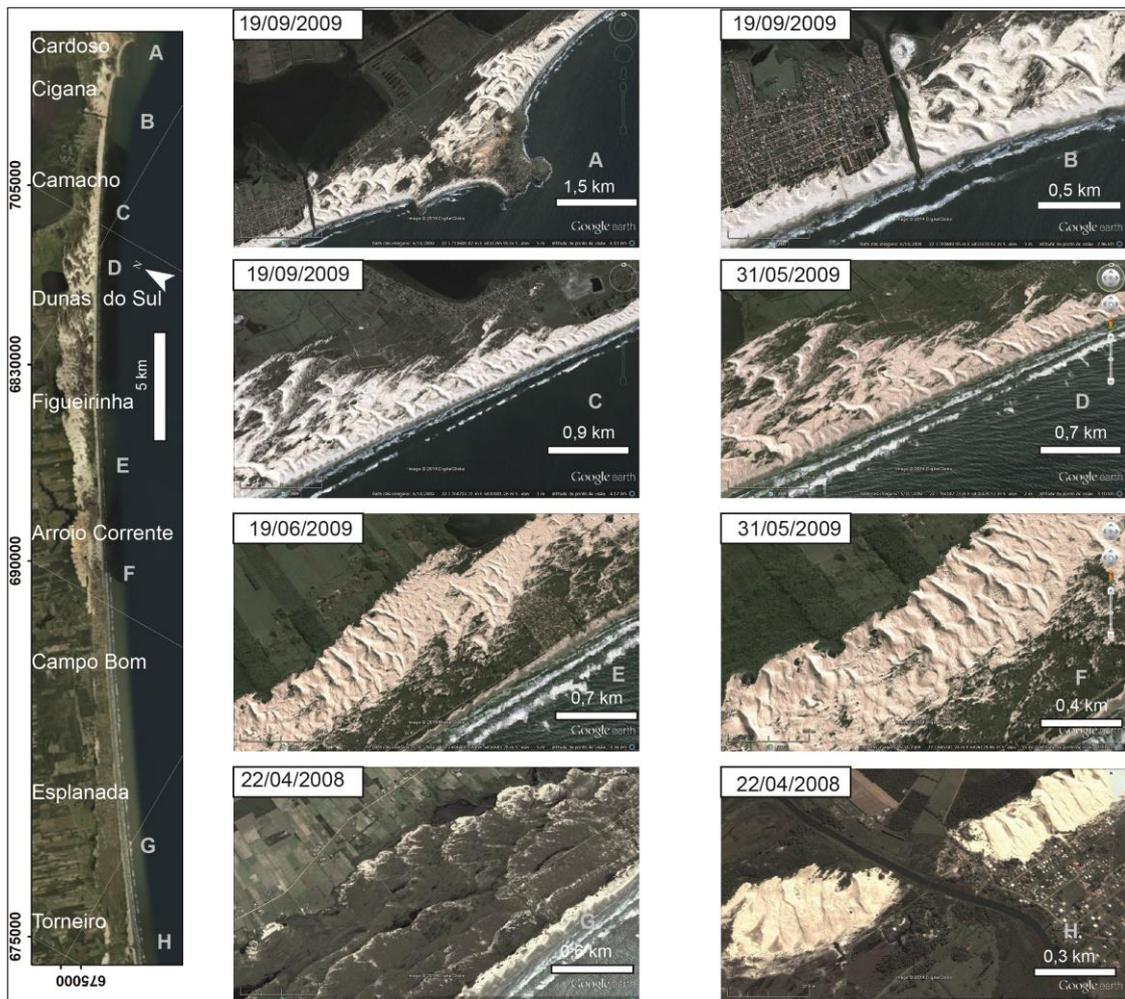


Figura 15: Tipos de dunas encontrados na área de estudo. Fonte: Google™ Earth

Nos últimos anos, a expansão de loteamentos no município de Jaguaruna (Figura 16), vem contribuindo para o processo de estabilização das dunas móveis, além de causar outros impactos ambientais, como a ocupação de terrenos paludiais e a contaminação de águas subterrâneas. Em Laguna, o asfaltamento da SC-401 que dá acesso ao Cabo de Santa Marta, interfere na dinâmica sedimentar do local e ocasiona a interrupção do principal corredor de transporte de sedimentos para alimentação do campo de dunas das praias do Cardoso e da Cigana (Oliveira *et al.*, 2017).

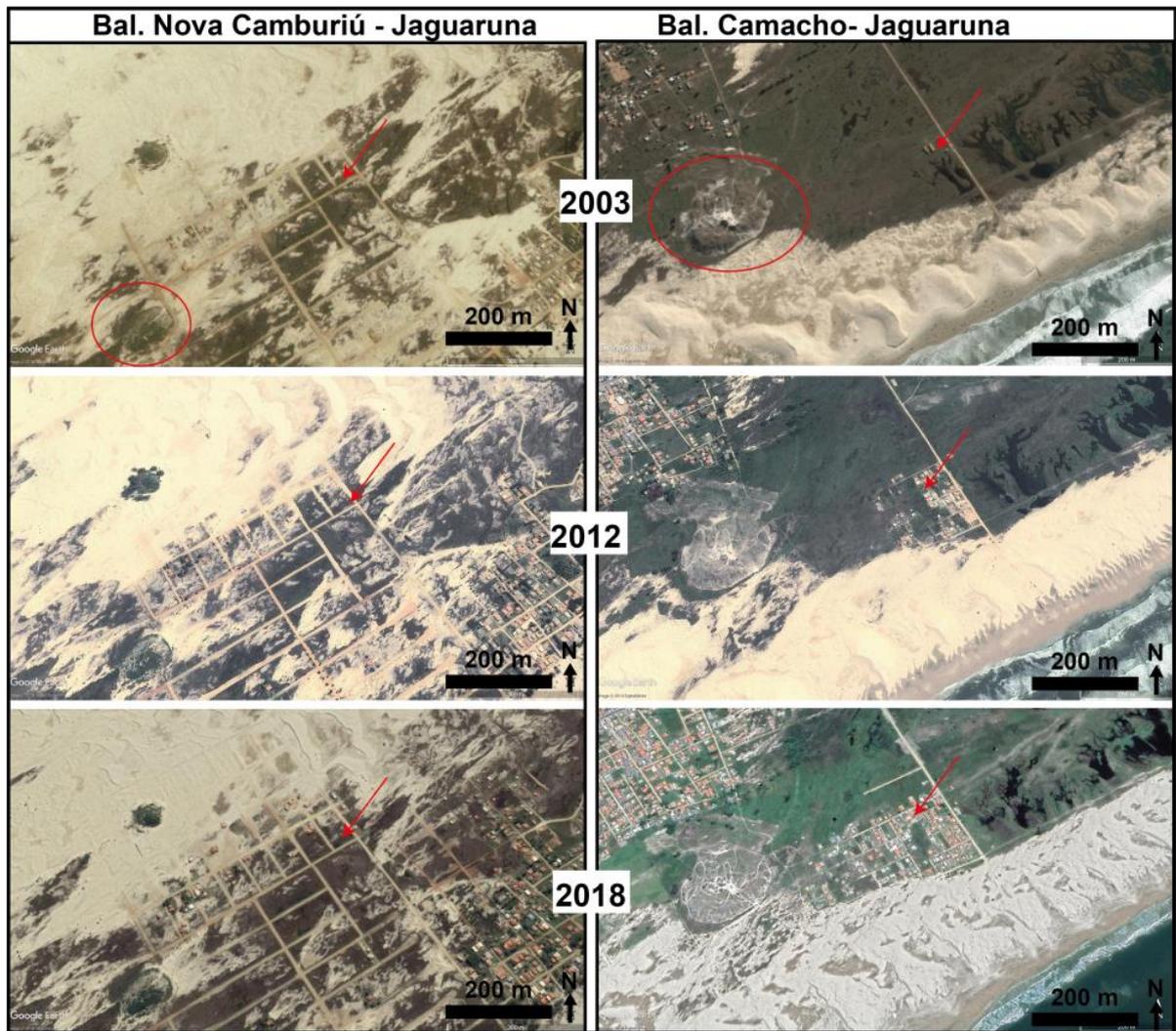


Figura 16: Exemplo de expansão de loteamentos nos balneários Nova Camburiú (à esquerda) e Camacho (à direita) em Jaguaruna. No detalhe em círculo vermelho, dois importantes sambaquis da região. Fonte imagines: Google™ Earth

Outro obstáculo para o transporte de sedimentos eólicos na área de estudo é o canal “artificial” do Camacho, que conecta o oceano à Lagoa do Camacho (Figura 17) e marca o limite oeste da praia da Cigana, além de representar a divisa entre os

municípios de Laguna e de Jaguaruna. Parte dos sedimentos transportados pela migração das dunas no sentido NE-SW, adentra ao canal e contribui para o assoreamento do mesmo, sendo necessária à remoção através de dragagens de manutenção. Quando há conexão com o mar, o fluxo subaquoso do canal transporta esses sedimentos para dentro da lagoa ou para a praia, dependendo das condições de maré e ondas, basicamente. Vieira da Silva *et al.* (2011) realizaram uma análise histórica do canal artificial do Camacho e concluíram que desde 1927 até a década 90 essa conexão com o mar só ocorria de forma natural em situações de maré meteorológica (*storm surge*) e/ou em eventos de alta pluviosidade. Para favorecer a atividade pesqueira foi construído um guia-corrente na década de 90, e, desde então, devido à tendência natural de fechamento do canal pela dinâmica costeira o canal é mantido aberto com dragagens periódicas.



Figura 17: O Canal artificial do Camacho em 2003 (a) e em 2018 (b); Os sedimentos eólicos sendo depositados dentro do canal (c); a dragagem do canal (d); e a desembocadura do canal aberta (e). Fotos: Labgerco-UFRGS

Em termos regionais, o aporte sedimentar fluvial para o sistema praias da área de estudo está restrito às bacias hidrográficas do Rio Araranguá, que deságua no oceano no município de mesmo nome, e do Rio Urussanga, que desemboca no mar na divisa dos municípios Balneário Rincão e Jaguaruna. A bacia hidrográfica do Rio Tubarão caracteriza-se por possuir um delta intra-lagunar localizado no complexo lagunar composto pelas lagoas Santo Antônio dos Anjos, Imaruá e Mirim. Devido ao fato de que grande parte dos sedimentos aportados pelo Rio Tubarão fica retido no

sistema lagunar da região, e que a conexão desse sistema se dá pelo Canal da Barra na cidade de Laguna (ao norte do Cabo de Santa Marta), esta não representa uma fonte de sedimentos para as praias da área de estudo.

As lagoas do Camacho e de Garopaba do Sul formam um corpo lagunar com área aproximada de 24 km² e possuem denominação diferente apenas por representarem a divisa dos municípios de Jaguaruna e de Laguna. Essas lagoas estão conectadas com a lagoa de Santa Marta através de um sistema de canais, que por sua vez está conectada com o complexo lagunar situado mais ao norte.

1.2.4 – Climatologia e o Regime de Ventos

O clima da região é controlado basicamente por duas massas de ar anticiclônicas: a massa tropical atlântica que se caracteriza por ser quente e úmida, de circulação marítima e mais atuante no verão e primavera, e a massa polar atlântica, fria de origem antártica que se desloca predominantemente pelo oceano no verão, e pelo continente no inverno (Orselli, 1986; Horn, 1988; Martin, 1988; Tomazelli, 1990; Giannini, 1993). A maior parte dos dias de chuva está associada ao avanço da massa polar na região, com ventos fortes (>5m/s) variando de sudoeste a sudeste (Giannini 1993).

De acordo com Alvares *et al.* (2014) a média anual de precipitação é de 1.300 e 1.600 mm, a temperatura anual permanece entre 18 e 20° C, e, segundo a classificação de Köppen, o clima da região é subtropical constantemente úmido (Cfa), sem estação seca e com verões quentes. Devido a presença do Anticiclone Tropical do Atlântico Sul, nos meses de primavera e de verão ocorrem predominantemente ventos dos quadrantes E e NE, enquanto que nos meses de outono e de inverno, devido ao Anticiclone Móvel Polar, os ventos predominantes são do quadrante Sul (Orselli, 1986).

O regime de ventos na área de estudo se caracteriza pela predominância do vento proveniente de nordeste em todas as estações do ano, com uma maior influência de ventos do quadrante sul e sudoeste nos meses de outono e inverno (Figura 18). Nota-se uma correlação entre os ventos do quadrante sul (principalmente de sudoeste) e eventos de precipitação, o que diminui a efetividade do transporte eólico (Giannini, 1993). O potencial de transporte eólico calculado por Oliveira *et al.* (2017) para Estação Meteorológica do Farol de Santa Marta foi de 318uv (unidades vetoriais) e o sentido resultante da Deriva Eólica Potencial foi 218°

(SW), segundo método proposto por Fryberger e Dean (1979). Portanto, o Cabo de Santa Marta caracteriza-se por ser uma região de alta energia eólica e com média variabilidade direcional.

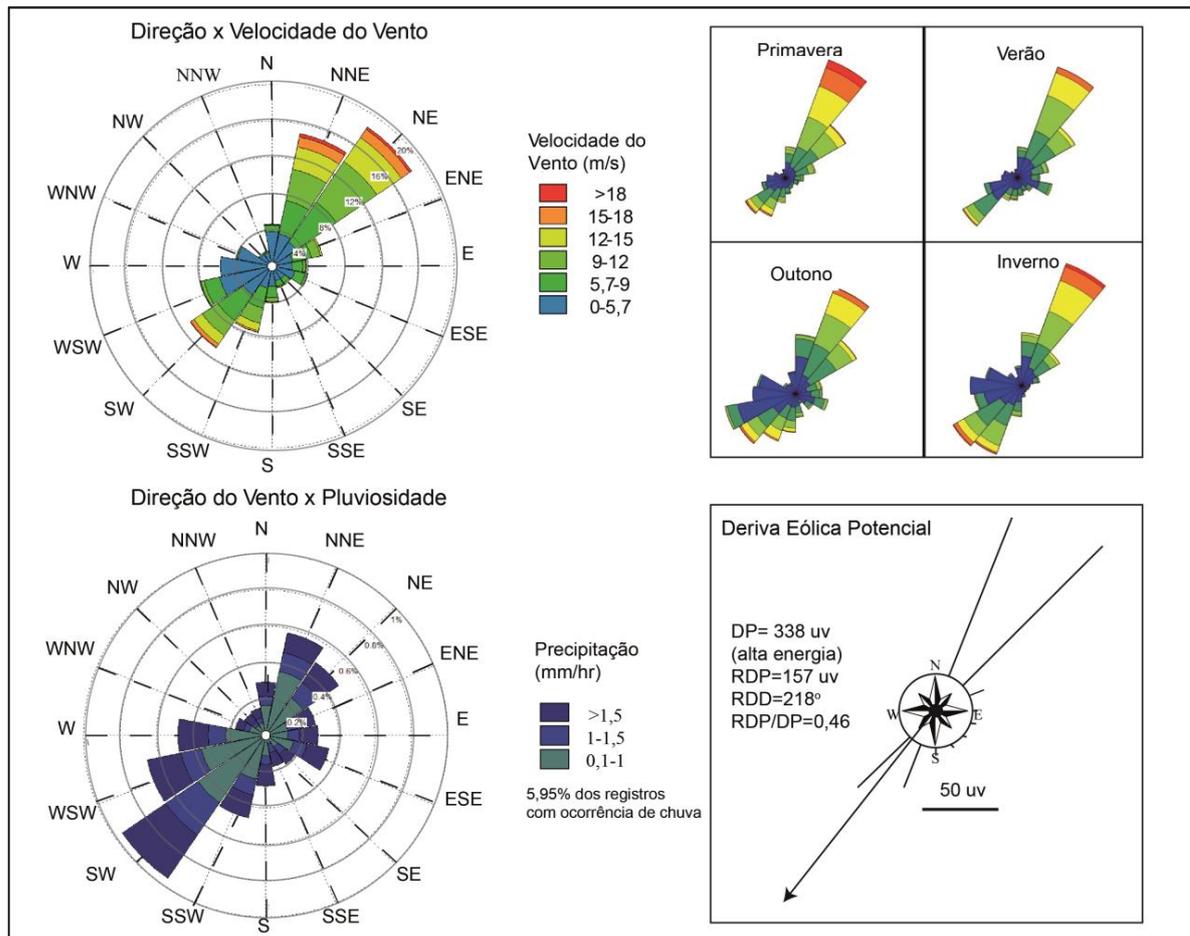


Figura 18: O clima de ventos na região, a partir de dados da Estação Meteorológica do Farol de Santa Marta (INMET). Rosas frequenciais de ventos, com dados de direção x velocidade (canto superior esquerdo); de direção x pluviosidade (canto inferior esquerdo); rosa de ventos sazonais (canto superior direito); e a Deriva Eólica Potencial (Oliveira *et al.*, 2017).

Nas praias da Cigana e do Cardoso, bem como no litoral norte do município de Jaguaruna, há um significativo aporte eólico de sedimentos provenientes das praias e dunas ao norte do Cabo de Santa Marta, conduzidos pelo vento nordeste, em direção ao sistema praial ao sul do cabo. Esse processo ocorre devido, principalmente, aos fatores: i) orientação da linha de costa; ii) alta disponibilidade sedimentos eólicos; iii) ausência de dunas frontais; iv) e presença de dunas móveis (barcanas e transversais) que alcançam diretamente a face de praia. Nas fotos apresentadas a seguir, observa-se parte desse ciclo, onde as dunas barcanas

incipientes são originadas nas praias ao norte do cabo, Ypuã e Santa Marta Grande (Figura 19a); o sedimento é transportado pelo vento ao longo destas praias (Figura 19b); posteriormente, alcança a face praial das praias ao sul do cabo, Cardoso e Cigana (Figura 19c); e por fim, as dunas barcanas e transversais seguem rumo sudoeste ao longo da costa de Jaguaruna (Figura 19d).



Figura 19: A) Formação de dunas barcanas na praia Santa Marta Grande, no município de Laguna, ao norte da área de estudo; B) Transporte eólico por carpete de tração no pós-praia; C) Aporte de sedimentos eólicos ao sistema praial, na praia do Cardoso, município de Laguna; Duna transversa migrando rumo SW no balneário do Camacho no município de Jaguaruna. Fotos: Labgerco-UFRGS

1.2.5 – Ondas e Correntes

Com relação ao regime hidrodinâmico da área, segundo a análise regional do clima de ondas do litoral de Santa Catarina realizada por Araújo *et al.* (2003) a partir de dados da boia fundeada ao largo do litoral de Florianópolis podem ser identificados cinco sistemas de ondas atuantes na região: i) ondas do tipo *wind sea* oriundas do quadrante leste, de baixo período (8s) gerado pelo anti-ciclone do Atlântico Sul; ii) ondas do tipo *swell* de longo período (14s) oriundas de sudeste,

geradas em áreas distantes da costa; iii) ondas do tipo *swell* provenientes de sudeste com período médio (11s) geradas próximo à costa; iv) ondas do tipo *wind seas* provenientes de norte/nordeste de baixo período (4-5s) associadas à cenários pré-frontais; v) e ondas do tipo *wind sea* oriundas do quadrante sul, associadas à situações pós-frontais que vão aumentando de tamanho com a passagem da frente fria.

Para análise local do regime hidrodinâmico da área de estudo (apresentada nos capítulos 2 e 3) foram utilizados dados de reanálise de ondas (reconstrução da série de dados entre 1948 e 2008) gerados através da plataforma SMC-Brasil, para uma profundidade -60 m ao largo do litoral no município de Jaguaruna (Figura 20).

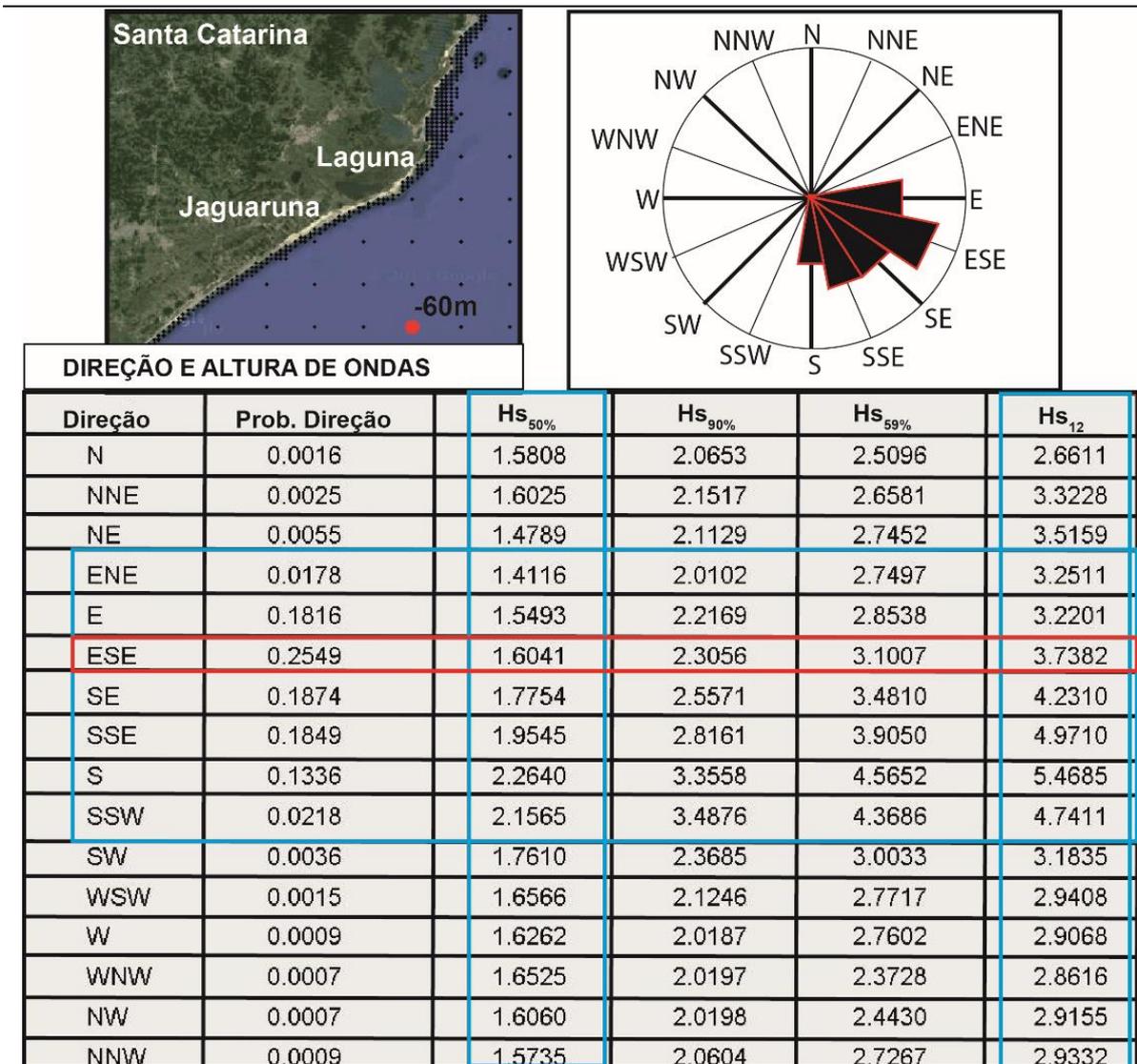


Figura 20: Clima de ondas na área de estudo, obtido através de dados de reanálise disponibilizados pelo software SMC-Brasil, para uma profundidade de 60m. No canto superior direito, são apresentadas as principais direções de ondas, e na tabela abaixo, o conjunto de dados de direção e altura de ondas mais frequentes (grifado em azul) e o cenário mais frequente (grifado em vermelho).

Os dados mostraram uma predominância da direção E/SE (25% dos casos) seguido das direções E (18%), SE (18%) e SSE (18%). Nota-se um aumento gradativo nos valores de altura significativa média de ondas (H_s) e de período de onda (T_p) nas ondas oriundas do quadrante sul. Com relação à sazonalidade do padrão de ondas na área de estudo (Figura 21), há maior influência de ondas provenientes do quadrante sul nos meses de outono e inverno, e do quadrante leste no verão e primavera.

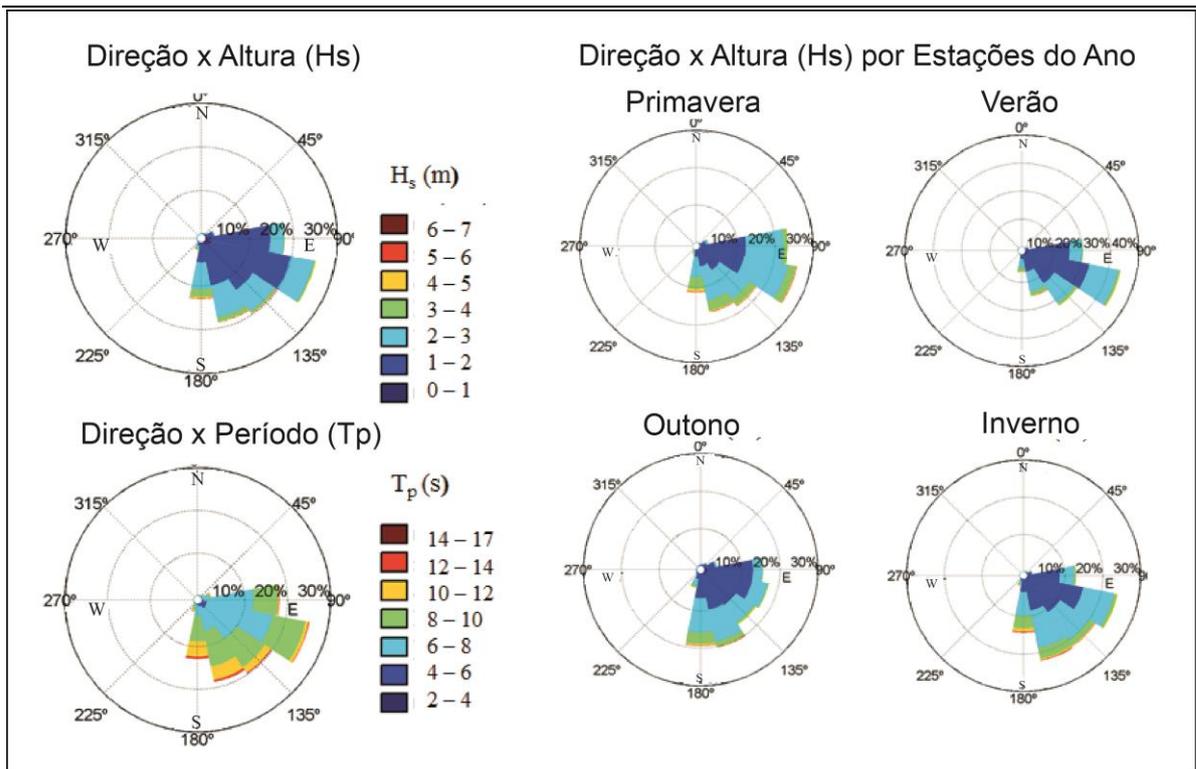


Figura 21: Rosas direcionais de ondas. No canto superior esquerdo, dados de direção x altura (Hs), no canto inferior esquerdo dados de direção x período (Tp) e no lado direito, rosas de ondas sazonais de direção x altura (Hs).

Há cerca de 5 km do balneário Arroio Corrente, em Jaguaruna, próximo a linha batimétrica de -30 m, está localizado a Laje da Jaguaruna ou Pedra do Campo Bom (Figura 22). Com área aproximada de 0,5 km² e profundidade que chega a -1 m da linha d'água em determinados pontos, o parcel se destaca na morfologia submarina da região, e influencia diretamente na hidrodinâmica local através dos processos de refração e arrebentação de ondas.

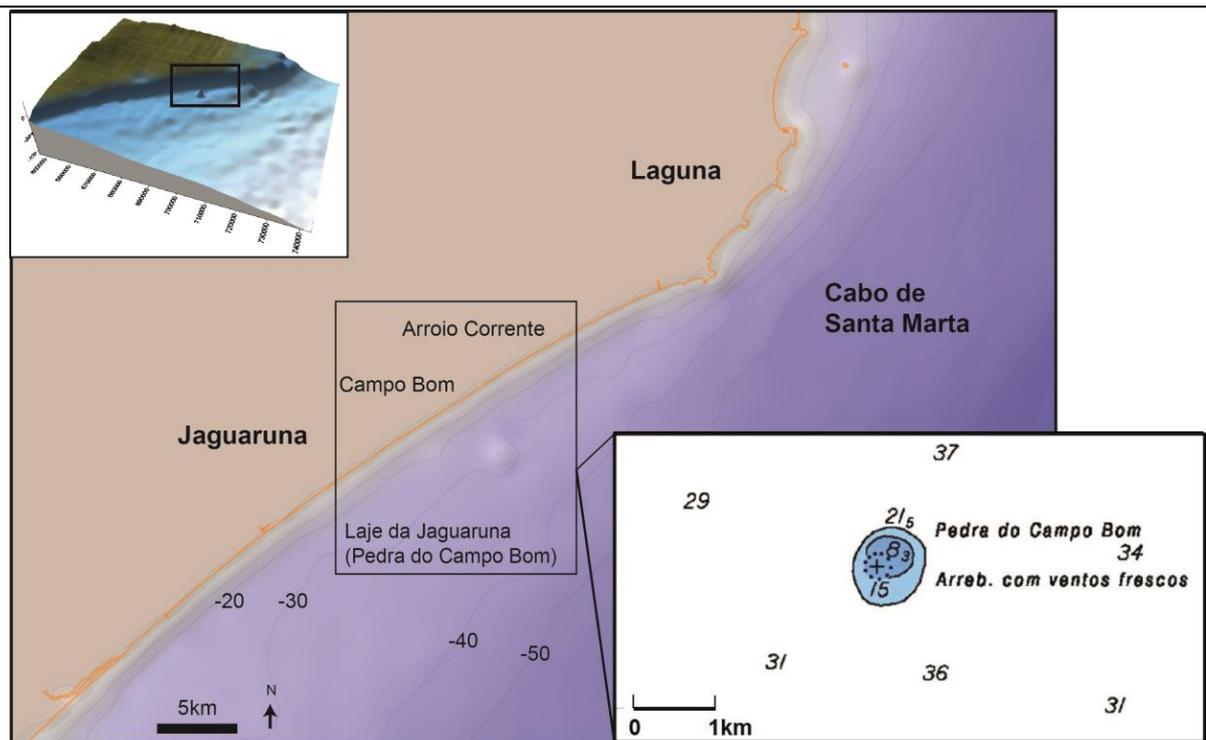


Figura 22: A Laje de Jaguaruna a partir da batimetria disponibilizada pelo software SMC-Brasil e no detalhe, da carta náutica 1910 da DHN.

O litoral ao sul do Cabo de Santa Marta possui orientação predominante SW-NE, com uma acentuada inflexão da linha de costa nas praias próximas ao cabo (praias da Cigana e do Cardoso), passando para uma orientação preferencial de W-E. A costa é dominada por ondas, com regime de micro maré semi-diurno de amplitude média em torno de 0,6 m (Giannini, 1993). As praias são constituídas por areias quartzosas finas (com a presença de frações de areais médias e areias muito finas) e bem selecionadas (Martins & Martins, 1974; Gruber *et al.*, 2017b). A topografia do perfil praiial apresenta baixo gradiente e a zona de surfe é bem desenvolvida, características que tendem ao estágio morfodinâmico dissipativo, ainda que nas proximidades dos costões essas praias possam apresentar uma morfologia em planta de log-espiral e tendência a estágios morfodinâmicos intermediários (Giannini, 1993). Com base em observações de campo e imagens de satélite (*Google™ Earth*) nota-se a ocorrência de correntes de retorno fixas (ou semi-fixas) próximo aos costões rochosos nas praias da Cigana e do Cardoso (Figura 23).

O transporte longitudinal de sedimentos é função direta da altura e do ângulo de incidência das ondas na costa. Na escala da baía, a deriva litorânea resultante do litoral norte do Uruguai, do litoral do Rio Grande do Sul e do litoral sul de Santa

Catarina é direcionada para norte, regida pelas ondas do quadrante sul, segundo observações de feições geomorfológicas realizadas por Tomazelli & Villwock (1992) e sedimentológicas (Giannini, 1993), as quais corroboram dados de medições em campo realizados por Toldo Jr. *et al.* (1993) no litoral norte do Rio Grande do Sul.

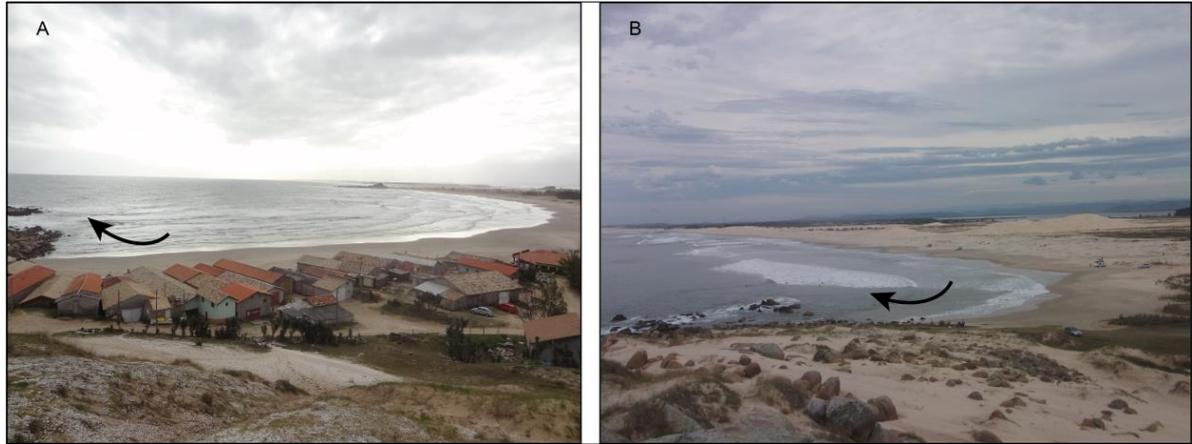


Figura 23: Correntes de retorno semi-fixa nas praias do Cardoso (A) e da Cigana (B). Fotos: Labgergo-UFRGS

No que se refere às correntes longitudinais atuantes no litoral da área de estudo, estudos regionais indicam que há uma inversão no sentido da deriva litorânea (Siegle & Asp, 2007; MMA, 2009). De acordo com os referidos trabalhos, no litoral sul do município de Jaguaruna (SC) a deriva predominante é de SW-NE, mantendo o padrão do litoral do Rio Grande do Sul (Toldo Jr., 2006) e sul de Santa Catarina (Siegle & Asp, 2007). No litoral norte de Jaguaruna e nas praias da Cigana e do Cardoso em Laguna (SC), a corrente longitudinal resultante é inversa, de NE-SW. Esse fato será discutido mais detalhadamente nos capítulos seguintes.

1.3 – Problemática e Justificativa

Conforme exposto, o comportamento da barreira holocênica da Bacia de Pelotas é variável longitudinalmente. Ao longo dos 760 km de extensão alternam-se setores em retrogradação e em progradação. Contudo, nos recentes trabalhos publicados sobre o comportamento da barreira atual, em escala regional, atribui-se um caráter regressivo (progradacional) a todo o setor da barreira costeira que vai desde o litoral norte do Rio Grande do Sul até o Cabo de Santa Marta, em Santa Catarina, limite norte da bacia.

Nesse contexto, o tema central do presente estudo se justifica no sentido de contribuir com um maior detalhamento de aspectos sobre a dinâmica e evolução de um setor da costa que apresenta atualmente diversos conflitos relacionados ao uso e ocupação dos espaços costeiros.

1.4 - Objetivos

O objetivo geral foi analisar aspectos da dinâmica e da evolução da porção setentrional da barreira holocênica da Bacia de Pelotas, em diferentes escalas de tempo. A identificação de setores regressivos e transgressivos de uma barreira costeira de abrangência regional é uma informação valiosa que serve de base para a tomada de decisões no âmbito da gestão costeira local.

Nesse sentido, os objetivos específicos deste estudo foram: i) Identificar os principais fatores controladores da dinâmica atual da zona costeira ao sul do Cabo de Santa Marta; ii) Verificar o padrão de empilhamento da barreira para inferir o contexto paleo-ambiental na área de estudo e avaliar tendências futuras evolutivas; iii) Fornecer dados e informações relevantes ao planejamento do uso e ocupação dos espaços costeiros nos municípios de Jaguaruna e de Laguna.

1.5 – Premissa e Hipótese

Uma barreira costeira é um ambiente altamente dinâmico e o seu desenvolvimento é controlado pela interação entre fatores autóctones e alóctones, em escalas distintas de atuação. Dessa forma, a hipótese proposta é que os fatores autóctones relacionados aos processos costeiros intrínsecos da bacia possuem maior importância no controle da evolução da barreira costeira holocênica na porção norte da Bacia de Pelotas, em comparação aos fatores alóctones relacionados às variações relativas do nível do mar em escala global.

1.6 – Materiais e Métodos

Neste tópico serão apresentadas as metodologias utilizadas para alcançar os objetivos propostos. Ressalta-se que nos capítulos subsequentes, são apresentados os materiais e métodos utilizados especificamente em cada artigo que compõe o corpo desta tese.

1.6.1- Levantamentos de Dados de Subsuperfície com Georadar (GPR)

Para obtenção dos dados de subsuperfície com o GPR (Figura 24) foram utilizadas diferentes frequências de antenas (80 e 200 MHz). Todas as seções de GPR foram obtidas através do método *common offset* de acordo com a proposta de Barboza *et al.* (2014) através de um caminhamento perpendicular à linha de costa (*dip*) sobre a área dos depósitos de interdunas. Devido à topografia plana com baixa variação altimétrica dos interdunas, não foi necessário realizar a etapa de correção topográfica na rotina de tratamento dos dados.

A orientação dos levantamentos dos perfis foi escolhida com o objetivo de verificar a ocorrência do padrão de empilhamento dos refletores e o sentido predominante de mergulho, e conseqüentemente, identificar o comportamento evolutivo dos trechos das da barreira costeira ao sul do Cabo de Santa Marta. Para o posicionamento espacial das linhas adquiridas foi utilizado um sistema GNSS (Global Navigation Satellite System) Trimble® ProXRT (datum WGS84) e posteriormente analisados em ambiente SIG.

Os dados brutos levantados foram pós-processados através dos softwares Radan™, Reflex-Win® e Prism2®. Foram realizadas a análise de traços para validar os ambientes deposicionais (Leandro *et al.*, 2019), a aplicação de filtros de ganho e de frequência de sinal para eliminação de ruídos e correção da saturação, (*background removal* e *band-pass frequency ormsby*). Uma constante dielétrica de 10 foi utilizada para areia úmida para converter o tempo de deslocamento em profundidade, o que representa uma velocidade de 0,09 m / ns (Daniels *et al.*, 1995). Esta constante foi validada usando dados litológicos obtidos a partir de furos de sondagem realizados em outros setores da barreira (Dillenburg *et al.*, 2011).

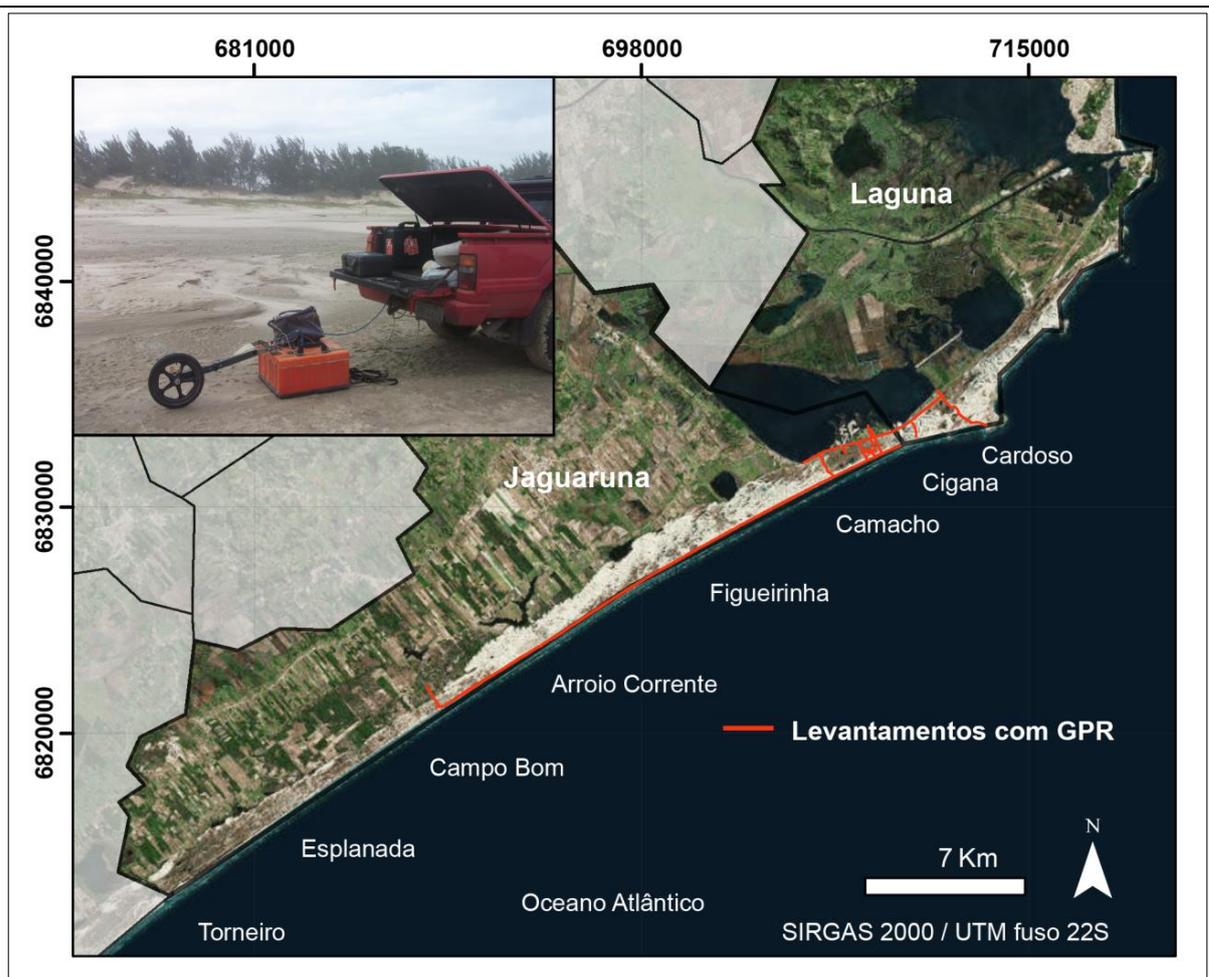


Figura 24: Mapa com as linhas de GPR levantadas na área de estudo, e no detalhe, foto da antena de 200 MHz. Fonte Mapa Base: Imagery ArcGis™. Foto: Labgerco/UFRGS.

A interpretação dos dados foi baseada no método de sismoestratigrafia (Payton, 1977) adaptado para dados de GPR (Neal, 2004), a partir de análises da terminação dos refletores (*onlap*, *downlap*, *toplap* e truncamentos), além da geometria, padrão de reflexões e padrões de empilhamento dos refletores (Neal & Abreu, 2009; Abreu *et al.*, 2010; Neal *et al.*, 2016). Os padrões de radarfácies encontrados ao longo da barreira holocênica da Bacia de Pelotas (Barboza *et al.*, 2011; Rosa, 2012; Rosa *et al.*, 2017) foram utilizados como referência para interpretação das seções levantadas na área de estudo.

Tabela 1: Radarfácies interpretadas nas seções de GPR com antena de 200 MHz.

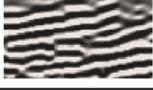
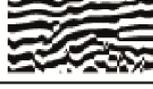
RADARFÁCIE	AMOSTRA		AMBIENTE
	NW	SE	
Rdf1a			Eólico
Rdf2a			Margem Lagunar: Praias e Deltas
Rdf3			Margem Lagunar: Migração de Dunas
Rdf4a			Fundo Lagunar
Rdf5			<i>Backshore/Foreshore</i>
Rdf6			<i>Shoreface</i>
-			Atenuação do Sinal

Tabela 2: Radarfácies interpretadas nas seções de GPR com antena de 80 MHz.

RADARFÁCIE	AMOSTRA		AMBIENTE
	NW	SE	
Rdf1b			Eólico
Rdf2b			Margem Lagunar: Praias e Deltas
Rdf4b			Fundo Lagunar
Rdf7			Pleistoceno

1.6.2. Análise Geomorfológica através de Fotos Aéreas

A avaliação de aspectos geomorfológicos da área de estudo foi realizada através de análises de fotos aéreas e observações de campo. As fotografias aéreas dos anos de 1938 (1:30.000) e de 1978 (1:25.000) obtidas junto a Secretaria de Desenvolvimento Econômico Sustentável do Governo do Estado de Santa Catarina (SDS-SC) foram georreferenciadas no software ArcGIS™ 10.1, e como base para o registro, foram utilizadas as Ortofotos de 2012 (1:10.000) (disponível em <http://sigsc.sds.sc.gov.br/>).

Para o processo de georreferenciamento das fotos aéreas de 1938 e de 1978, foram utilizados como pontos de referência: vias de acesso, quando possível, e feições geológico-geomorfológicas e antrópicas resistentes/estáveis, como os afloramentos do embasamento cristalino e sambaquis, respectivamente. A ausência no litoral do município de Jaguaruna de feições e alvos fixos e foto-indentificáveis para a utilização como pontos de controle no processo de registro das fotos aéreas históricas impossibilitou o georreferenciamento com acurácia e precisão satisfatórias, o que não permitiu a comparação da posição da linha de costa no litoral deste município.

A análise geomorfológica empreendida consistiu na identificação e aferição em campo: (i) da evolução temporal de feições costeiras e suas inter-relações ao longo do tempo; (ii) do padrão morfológico do campo de dunas (iii) sentido de migração das dunas e (iv) variação de curto período da linha de costa. Cabe ressaltar que também foram utilizadas na análise temporal, principalmente no que se refere à identificação de alterações morfológicas contemporâneas, imagens de alta resolução disponíveis no software Google™ Earth Pro.

Para a avaliação das mudanças da posição da linha de costa ao longo do período estudado foi utilizado a extensão do ArcGIS™ denominada DSAS 4.3 (*Digital Shoreline Analysis System*) desenvolvida pelo USGS (*United States Geological Survey*) (Thieler *et al.*, 2009). O DSAS permite calcular as taxas de deslocamento da linha de costa com base em conceitos estatísticos pré-estabelecidos (Dolan *et al.*, 1991). Para a demarcação da linha de costa de cada ano, optou-se pelo limite entre areia seca e areia molhada (Boak & Tuner, 2005; Del Rio & Gracia, 2013), pois em muitos trechos não há o contato com a vegetação. A partir de uma linha de base foram gerados 145 transectos perpendiculares à costa,

espaçados em 25 m ao longo dos 4 km da área de estudo. Nas análises da posição da linha de costa em 1978, o número de transectos foi reduzido a 128, pois a desembocadura do canal artificial do Camacho ainda não era fixa e desaguava mais para o meio da praia da Cigana.

Dois algoritmos foram utilizados: i) O NSM (*Net Shoreline Movement*) que calcula a variação total (em metros) do deslocamento entre a posição de duas linhas de costa de anos diferentes em cada transecto (Dolan *et al.*, 1991; Genz *et al.*, 2007; Thieler *et al.*, 2009); ii) e o EPR (*End Point Rate*) que calcula a taxa de variação entre duas linhas de costa (em m/ano). Para cálculo da taxa de variação da linha de costa, os erros referentes ao processo de registro de imagens, à resolução das imagens e às características físicas da área foram assumidos para cada ano, e calculados a partir da metodologia sugerida por Del Rio & Gracia (2013). No entanto, cabe ressaltar que, apesar do cálculo da incerteza do método, os resultados devem ser interpretados como uma tendência de deslocamento da linha de costa e não em termos de valores absolutos (Muehe & Klumb-Oliveira, 2014).

1.6.3- Avaliação de Dados Eólicos

Para caracterização do potencial de transporte eólico na área de estudo foi utilizado o método descrito por Fryberger & Dean (1979) para o cálculo do Potencial de Deriva Eólica, expresso na relação entre a direção, a velocidade e a frequência de um determinado vento ao longo de um período. Os valores são expressos em unidades vetoriais e representam a quantidade relativa de areia potencialmente transportada pelo vento em um tempo de atuação (Tomazelli, 1990). Na presente tese foi empregada a metodologia descrita por Martinho (2008) para cálculo da velocidade limite de cisalhamento (velocidade limite de impacto para manter uma areia em movimento).

A série de dados horários utilizados foi da Estação do Farol de Santa Marta, Laguna (28°36`S; 48°48`W) entre os anos de 2008 e 2013, disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os dados de velocidade e direção do vento, e de pluviosidade, foram analisados no software WRPlot 7.0. De acordo com Tomazelli (1990), os valores obtidos no cálculo do potencial de deriva não são proporcionais à deriva eólica real, pois são assumidas diversas simplificações relacionadas às características do meio em que o vento atua, como por exemplo, a variação na topografia, presença de vegetação e umidade dos sedimentos. Para a

representação gráfica dos resultados do potencial de deriva eólica foram utilizadas as rosas de areia expressas em unidades vetoriais (Fryberger & Dean, 1979).

1.6.4- Simulação de Ondas na Costa

No estudo da dinâmica sedimentar da zona submersa da área de estudo, utilizou-se o Sistema de Modelagem Costeira do Brasil (SMC-Brasil) para caracterizar o clima de ondas na região e simular a propagação de ondas e o transporte sedimentar na costa. O SMC-Brasil consiste basicamente na integração da base de dados oceanográficos, cartas náuticas (da Diretoria de Hidrografia e Navegação - DHN), ferramentas de processamento para análise estatística e transferência de série de ondas de profundidades indefinidas para costa, e modelos numéricos (Dalinghaus *et al.*, 2018)

Os dados de reanálise global de ondas (*Global Ocean Wave*) foram calibrados e validados através de boias oceânicas e dados de altimetria por satélites (Reguero *et al.*, 2012) para o período de 1948 a 2008. Como parte do processo, esses dados foram transferidos para áreas costeiras (*Downscaled Ocean Wave*) (Camus *et al.*, 2013) e os 150 casos mais representativos foram selecionados (através de técnica estatística MaxDiss) e simulados.

As simulações para a área de estudo foram realizadas através do modelo Oluca-sp, um modelo espectral não dispersivo que resolve a fase e considera os efeitos de empinamento de onda, refração, difração, interação onda-corrente e dissipação por quebra (segundo fórmula de Battjes & Janssen, 1978) e fricção com o fundo (Gonzalez *et al.*, 2007; Dalinghaus *et al.*, 2018). Para a estimativa do transporte longitudinal de sedimentos, o SMC-Brasil utiliza como dados de entrada os resultados gerados nos módulos de ondas (Oluca-sp) e de corrente (Copla-sp), além das características do sedimento. O cálculo de transporte longitudinal de sedimentos na costa foi realizado através da fórmula do CERC (1984).

Para a avaliação da hidrodinâmica na zona costeira da área de estudo foram simulados três cenários de ondas com as principais direções de incidência de ondulação nesse setor da costa; leste (E), sudeste (SE) e sul (S). Os parâmetros de entrada do espectro frequencial TMA, foram: Altura de onda significativa (H_s) = 3m; Frequência de pico (F_p) = 0,08 Hz; Fator de alargamento do pico (γ) = 8; Largura do espectro (σ_θ) = 15°.

1.6.5 – Caracterização da Morfologia do Sistema Praia-Duna

Para caracterização morfológica do sistema praia-duna da área de estudo foi empregada a técnica de nivelamento topográfico tradicional através de nível e mira, a partir de um referencial de nível vertical (RN) localizado no pós-duna, para posterior sobreposição e comparação entre os levantamentos subsequentes (Muehe, 1996; Muehe *et al.*, 2003).

Quatro campanhas foram realizadas no período entre 2012 e 2014, nos setores sul (Balneário Esplanada, Figura 25a), centro (Balneário Campo Bom) e norte (Balneário Camacho, Fig. 25b). Os perfis foram levantados desde o pós-duna até o recuo máximo da onda na face da praia (zona de espraiamento).



Figura 25: Levantamentos de perfis topográficos no Balneário Esplanada (a) e no Balneário Camacho (b).

Capítulo 2

Nearshore Dynamics and Holocene Evolution
of the Coastal Barrier South of the Santa
Marta Cape, Southern Brazil.

Journal of Coastal Research	SI	75	437-441	Coconut Creek, Florida	2016
-----------------------------	----	----	---------	------------------------	------

Nearshore Dynamics and Holocene Evolution of the Coastal Barrier South of the Santa Marta Cape, Southern Brazil)



Julio F. de Oliveira[†], Eduardo G. Barboza^{†‡} and Javier Benavente[§]

www.cerf-jcr.org

[†] Programa de Pós Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul Porto Alegre, RS, Brasil.

[‡] CECO, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.

[§] Dept. de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, Universidad de Cadiz, Puerto Real, Cadiz, España



www.JCRonline.org

ABSTRACT

Oliveira, J.F.; Barboza, E.G., and Benavente, J., 2016. Nearshore Dynamics and Holocene Evolution of the Coastal Barrier South of the Santa Marta Cape, Southern Brazil In: Vila-Concejo, A.; Bruce, E.; Kennedy, D.M., and McCarroll, R.J. (eds.), Proceedings of the 14th International Coastal Symposium (Sydney, Australia). Journal of Coastal Research, Special Issue, No. 75, pp. 437-441. Coconut Creek (Florida), ISSN 0749-0208.

The emerged part of the Pelotas Basin extends about 800 km from the Polonio high (Uruguay) to the Florianópolis high (Santa Catarina state, southern Brazil). Since 6-5 ka B.P., the sea level has been dropping slowly, and the sediment balance is the principal factor that controls the actual barrier development. The Holocene barrier presents sectors of transgressive patterns that are usually located in coastal projections, while regressive sectors generally appear in the embayments. This work analyses the evolution of the barrier along a 30 km stretch of coast south of the Santa Marta Cape (Santa Catarina State), in the northernmost part of Pelotas Basin. The sub-superficial configuration of the barrier was characterized through Ground Penetrating Radar (GPR) profiles surveyed perpendicular to the coastline. In addition, an analysis of the nearshore wave propagation was carried out through SMC-Brasil (IH- Cantabria) to simulate the currents generated by breaking waves and the net sediment transport. The results show two different behaviors along the barrier system; the northern part with transgressive characteristics (dipping landward reflectors) and the southern part with regressive characteristics (dipping seaward reflectors). These different behaviors are associated with the slight changes on the coastal orientation and on the slopes of the shoreface and upper continental shelf. These two factors influence in how waves approach the coast, generating an imbalance in the sediment budget, which is shown in the characteristics of the distinct sectors studied.

ADDITIONAL INDEX WORDS: *Coastal dynamics, Holocene Barrier, GPR.*

DOI: 10.2112/SI75-088.1 received 15 October 2015; accepted in revision 15 January 2016.

*Corresponding author: jfgeo@gmail.com

©Coastal Education and Research Foundation, Inc. 2016

INTRODUCTION

One of the major challenges in coastal sciences is to work with different spatial and temporal scales (Aagard *et al.*, 2004). The understanding of long-term coastal barrier behavior depends on the correct interpretation of processes acting at different scales, and taking into account their limitations when they are extrapolated (Costas, 2006).

Dillenburg *et al.* (2000) suggested that antecedent topography controls present-day coastal morphologies and Holocene evolution. Regional slope, coastal orientation and local variation inherited from valleys and interfluves are responsible of creating embayments and projections (Belknap and Kraft, 1985). Due to waves focusing effects and refraction processes, projections are generally subjected to erosion while embayments experience sediment deposition (May and Tanner, 1973).

The emerged part of the Pelotas Basin extends from the Polonio High in Uruguay to the Florianopolis High in the Santa Catarina State, in southern Brazil. There are no neotectonic movements in this part of the coast (Rosa *et al.*, 2011). According to Angulo *et al.* (2006), Holocene sea-level in southern Brazil reached approximately 2 m above the current position between 6-5 ka B.P., and has been dropping slowly since then (0.4 mm/yr). Despite this sea level fall, the Holocene barrier presents different behaviors along its almost 800 km of extension. This barrier represents one of the most continuous sandy structure of the world (Dillenburg and Barzboza, 2014) with only six interruptions along its length. Sectors of retrogradational patterns (transgressive barrier) are located generally in coastal projections, while prograding sectors (regressive barrier) normally appear in the embayments (Dillenburg *et al.*, 2000, 2009; Barboza *et al.*, 2011) (Figure 1).

The southern Brazilian coast is predominantly characterized by wave-

dominated coastal barriers. According to Dillenburg *et al.* (2000) the imbalance of sediment budget is the principal factor that controls the barrier evolution. Currently, the inland sediment supply is not significant however, the longitudinal variability in wave approach, due to refraction and diffraction processes and in wave-driven longshore and cross-shore sediment transport are the principal mechanisms acting in the sediment budget and hence determine the different patterns of the barrier evolution.

The study area is the 30 km coastal segment south of the Santa Marta Cape, which marks the northernmost portion of the Pelotas Basin (Figure 1). This region is characterized by large availability of fine sand, a gently sloping inner shelf which increases as it approaches to the cape (from 0.15° to 0.30°, approximately) with incidence of moderate to high wave energy.

The significant wave height is 1.5 m, and the beaches are characterized as a dissipative to intermediate, with the presence of parallel bars and troughs in the surfzone. The most energetic swells are from the south and southeast quadrants and occur mainly during the fall and winter, while during the spring and summer waves from the east and northeast quadrants prevail. According to geomorphological indicators and sedimentological variations (Giannini, 1993, 2007) the net regional littoral drift is towards the northeast. However, Siegle and Asp (2007) observed a bi-directionality in a local scale.

The tidal range is approximately 0.6 m, however under storm conditions the effect of meteorological tides can increase the sea level more than 1 m (Giannini, 1993). The wind regime is bimodal, with predominantly northeasterly winds in spring and summer, and from south and southwest in fall and winter. The principal vector of the dunefield migration is towards the southwest, governed by the predominant northeasterly winds as southerly winds are normally associated with rainy and stormy conditions

(Giannini, 1993). The northern part of the studied area is characterized by large transgressive dunefields, with mostly barchans and transverse dunes, with absence of foredunes, while in the southern sector, foredunes and transgressive dune

sheets dominate the landscape.

This study analyzes the nearshore dynamics in a decadal scale, relating it with the late Holocene evolution of the 30 km coastal stretch south of the Santa Marta Cape in southern Brazil.

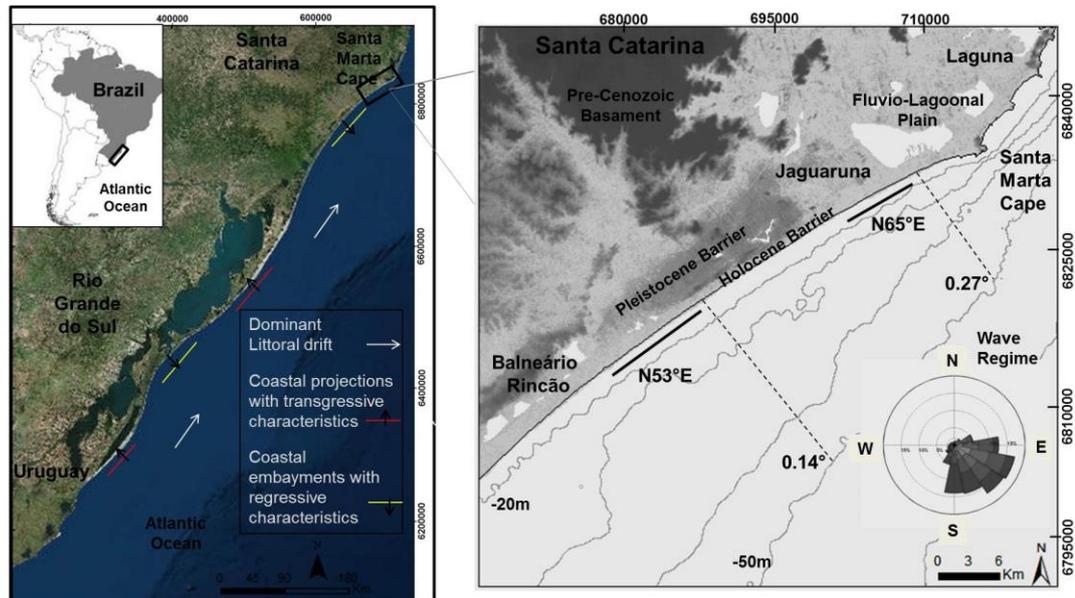


Figure 1. The regional settings of the study area. On the left side, the southern Brazilian coast; on the right, characteristics of the region south of the Santa Marta Cape: geomorphological features, climate wave and changes in coastal orientation and shoreface /inner continental shelf slope (0m - 50m).

METHODS

Two distinct methodologies in different temporal scales were carried out to analyze the (i) medium-term nearshore processes and the (ii) long-term Holocene evolution of the coastal barrier system.

Firstly, in the subaqueous environment, simulations of nearshore wave propagation were done in order to characterize the dominant coastal process; and secondly, in the emerged part of the barrier, GPR profiles were surveyed in order to analyze the sub-superficial structure of the barrier.

Nearshore wave propagation was analyzed through Coastal Modeling System (SMC -Brasil, development by IH-Cantabria - Spain). The SMC-Brasil consists of an assemblage of numerical models (wave, currents and sediment transport) associated to a marine dynamic database and bathymetry data from

nautical charts of the Brazilian Navy (DHN)

Wave simulations to the shoreline were carried out through MOPLA model (Gonzalez *et al.*, 2007), which includes; a non-dispersive model of wave spectral propagation, which solves the mild-slope equation and considers refraction-diffraction processes with wave-current interactions and energy losses due to breaking waves; a current generated by breaking waves model and a sediment transport model, derived from the CERC formula (Shore Protection Manual, 1984).

GPR records were acquired along cross-shore profiles. The system comprises a GSSI™ (Geophysical Survey Systems, Inc.) SIR-3000 data collector for monostatic antenna 200 MHz – GSSI™ in a Common Off-set method, and a dielectric constant for sand (10) (Davis and Annan, 1989). This system was connected to a Differential Global Positional System (DGPS). After the data acquisition, a

processing and editing routine was applied through the softwares Radan 6.6TM and Prism 2®. In order to eliminate noise and correct saturation, gains and signal frequency filters were applied.

Finally, the data was interpreted based on termination, geometry and pattern of reflectors (Mitchum Jr. *et al.*, 1977). The interpretation of the GPR records takes into account other sessions of GPR in the region, which were calibrated with data from drilling and dating (Dillenburg *et al.*, 2011; Barboza *et al.*, 2009, 2011).

RESULTS

The results of wave propagation (Figure 2) of the most common scenarios during a 60 years record (wave direction, average height and period between 1948 and 2008) present waves coming from south ($H_{s50\%} = 2.22$ m; $T_{p50\%} = 9.55$ s) generating strong currents towards the northeast in the southern and northern sectors. Waves coming from south-

southeast ($H_{s50\%} = 1.86$ m; $T_{p50\%} = 9.14$ s) and southeast ($H_{s50\%} = 1.73$ m; $T_{p50\%} = 8.19$ s) do not produce a significant current in both sectors due to the perpendicularly wave approach to the coast. Nevertheless, around the rocky outcrops in the northern sector, strong cross-shore currents are observed. Waves coming from east-southeast ($H_{s50\%} = 1.65$ m; $T_{p50\%} = 7.41$ s) and east ($H_{s50\%} = 1.54$ m; $T_{p50\%} = 6.75$ s) generate moderate currents in both sectors, except on sheltered areas by the cape where weak currents are observed.

The 60 years record of annual average longshore sediment transport indicates that the net transport is towards northeast (151.801 m³/year) in the southern sector and towards southwest in the northern sector (466.140 m³/year). Comparatively, the mean energy flux in the northern sector presents higher values (3802 Jm⁻¹s⁻¹) when compared to the southern sector (3228 Jm⁻¹s⁻¹).

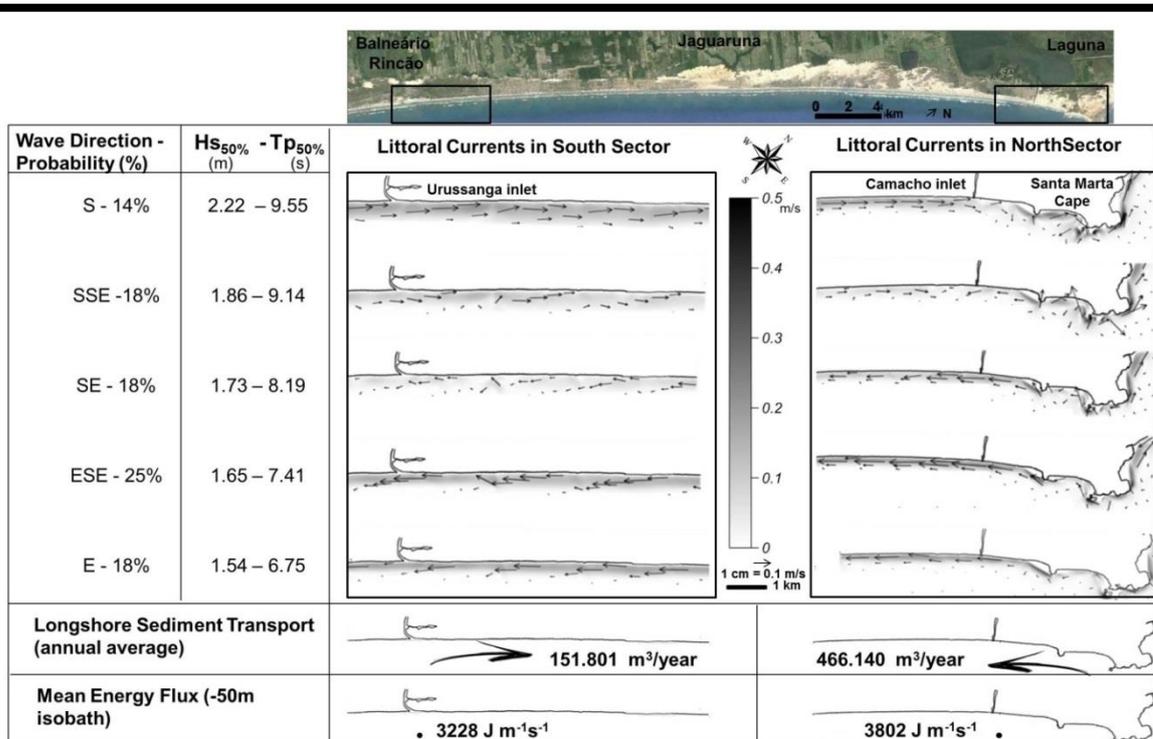


Figure 2. Littoral currents produced in the most frequent wave scenarios (direction, mean wave height and period) in both sectors (south and north); the annual average longshore sediment transport calculated via CERC formula; and the mean energy flux (calculated for the 50m isobath).

The GPR surveys show opposite patterns in the two sectors of the study area (Figure 3). The southern sector radargram (Figure 3a) presents oblique reflectors with downlap terminations dipping seaward, which show the regressive behavior of the barrier. This pattern may be combined with downstepping and aggradational components (Barboza *et al.*, 2009, 2011).

In the northern part of the study area, closer to the Santa Marta Cape, the two

radargrams present reflectors with downlap terminations dipping landward, which can be interpreted as a transgressive barrier behavior (Figure 3b and 3c). This transgressive signature comprises aeolian sand erosion and transport from the backshore/foreshore zone into the lagoonal inter-barrier depression (Dillenburg *et al.*, 2004; Dillenburg and Barboza, 2014).

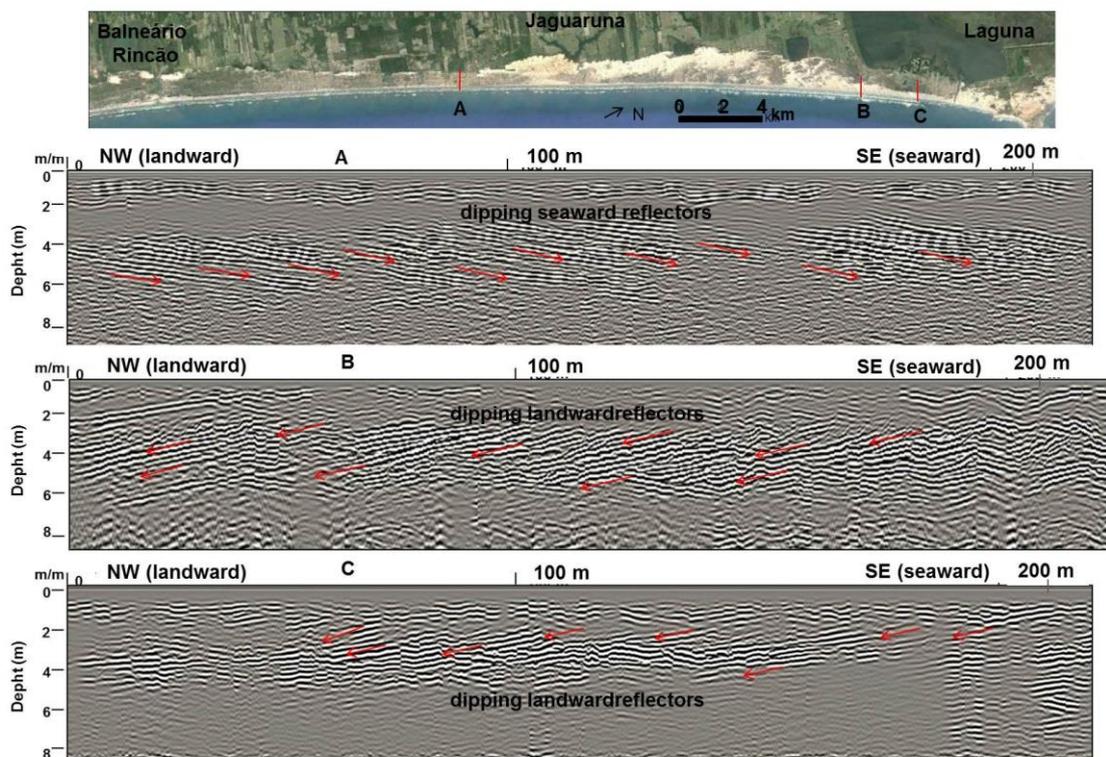


Figure 3. GPR profiles acquired with a 200 MHz antenna, showing reflectors dipping seawards in a radargram “A”, characterizing a regressive (progradational) barrier system; and in radargrams “B” and “C” the reflectors dipping landwards characterize a transgressive (retrogradational) barrier system.

DISCUSSION

The southern sector of the Holocene barrier is part of a long embayment which begins hundreds of kilometers to the south, with an orientation around N53°E and with a shoreface/inner shelf slope around 0.14°. However, the northern sector is located in the starting point of the projection of the Santa Marta Cape, with orientation around N65°E and a narrow and steeper shoreface/inner shelf, around 0.27°. These changes influence the waves approach in

both sectors, showing higher energy waves and inversion of the longshore drift in the northern sector. In the southern sector, the net longshore transport is towards to northeast, following the tendency of the entire southernmost coast. On the other hand, the resulting longshore transport in the northern sector is toward the southwest. Therefore, there is a convergence of littoral cells between both sectors, about 30 km apart from each other. Siegle and Asp

(2007) also observed this convergence in longshore currents in regional scale.

The GPR sub-superficial record also shows differences between these two sectors. While the southern sector presents characteristics of a regressive barrier, the northern sector presents characteristics of a transgressive one. Barboza *et al.* (2011) related similar patterns in the regressive and transgressive barriers in the Rio Grande do Sul State. In general, regressive barriers are located in the central part of embayments and are characterized by the presence of old beach ridges that can be covered by modern dunes (Dillenburg and Barboza, 2014). Transgressive barriers are located in coastal projections and are generally associated with large transgressive dunefields. In previous GPR records obtained in transgressive barriers (Barboza *et al.*, 2011), reflectors dipping landward were interpreted as erosive shoreface events with migration of sediment into the adjacent lagoon, mainly through overwash and aeolian transport processes (Rosa *et al.*, 2011; Lima *et al.*, 2013).

The large active transgressive dunefield in the northern sector, which migrates parallel to the coastline driven by northeasterly winds, may be associated with an erosional behavior of this segment. Dillenburg *et al.* (2000) related higher wave energy and steeper shoreface gradients (associated with the projections of the Holocene barrier in southern Brazil) to the development of large transgressive dunefields.

CONCLUSIONS

The study area displays characteristics of a transitional coast due to significant changes in orientation and shoreface/inner shelf slope. Different to the southern sector, the littoral cell of the northernmost studied segment, with a resulting transport to the SW, probably does not have a significant sediment supply coming from north, due to the presence of the cape trapping large part of the subaqueous transport. Considering that

similar oceanographic conditions occurred in the last 5 ka, it's possible that the northern sector represents a long-term landward migration of the barrier due to a potential negative sediment balance.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors acknowledge the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq – 140741/2012-7) and Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES – BEX 8003/14-9) for providing research fellowships for the first author. The authors also thank to Graziela Miot da Silva and two anonymous reviewers who provided many constructive comments.

LITERATURE CITED

- Aagaard, T.; Davidson-Arnott, R.; Greenwood, B.; Nielsen, J. 2004. Sediment supply from shoreface to dunes: linking sediment transport measurements and long term morphological evolution. *Geomorphology* 60: 205-224.
- Angulo, R. J. and Lessa, G. C. 1997. The Brazilian sea level curves: a critical review with emphasis on the curves from Paranaguá and Cananéia regions. *Marine Geology*, 140, 141–166.
- Barboza, E.G.; Dillenburg, S.R.; Rosa, M.L.C.C.; Tomazelli, L.J and Hesp, P.A., 2009. Ground-penetrating radar profiles of two Holocene regressive barriers in southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, SI 56, pp. 579-583.
- Barboza, E. G.; Rosa, M. L. C. C.; Hesp, P. A.; Dillenburg, S. R.; Tomazelli, L. J.; Ayup-Zouain, R. N. 2011. Evolution of the Holocene coastal barrier of Pelotas Basin (Southern Brazil) – a new approach with GPR data. *Journal of Coastal Research*, SI 64, 646-650.
- Belknap, D.F. and Kraft, J.C., 1985. Influence of Antecedent Geology on Stratigraphic Preservation Potential and

- Evolution of Delaware's Barrier Systems. *Marine Geology*, 63, 235-262.
- Camus, P.; Mendez, F.J.; Medina, R.; Tomas, A.; Izaguirre, C. 2013. High resolution downscaled ocean waves (DOW) reanalysis in coastal areas. *Coastal Engineering*, 72:56-68.
- Costas, S. 2006. Evolución morfosedimentaria anual, decadal y secular del sistema barrera-lagoon de Cíes durante el Cuaternario (Galicia, NO Península Ibérica). Universidad de Vigo. Ph.D. Dissertation. 202p.
- Davis, J.L. and Annan, A.P., 1989. Ground-penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy. *Geophysical Prospecting*, 37, 531-551.
- Dillenburg, S.R. and Barboza, E.G., 2014. The Strike-Fed Sandy Coast of Southern Brazil. In: Martini, I.P. and Wanless H.R. (eds.). *Sedimentary Coastal Zones from High to Low Latitudes: Similarities and Differences.*, Geological Society, London, Special Publications 388, 333-352.
- Dillenburg, S. R.,; Roy, P. S.,; Cowell, P. J.; Tomazelli, L. J. 2000. Influence of antecedent topography on coastal evolution as tested by the shoreface translation-barrier model (STM). *Journal of Coastal Research*, 16, 71–81.
- Dillenburg, S.R.,; Barboza, E.G.; Tomazelli, L.J.; Hesp, P.A.; Clerot, L.C.P.; Ayup-Zouain, R.N., 2009. The Holocene Coastal Barriers of Rio Grande do Sul. In: Dillenburg, S.R. and Hesp, P.A. (eds.), *Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil*. *Lecture Notes in Earth Sciences*, 107, 53-91.
- Dillenburg, S.R., Barboza; E.G.; Hesp, P.A.; Rosa, M.L.C.C. 2011 Ground penetrating radar (GPR) and standard penetration test (SPT) records of a regressive barrier in southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, SI 64, 651-655.
- Giannini, P.C.F. 1993. Sistemas Depositionais no Quaternário Costeiro entre Jaguaruna e Imbituba, SC. Universidade de São Paulo. Ph.D. Dissertation. 439p..
- 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. Computers & Geosciences*, 33(7):916–931.
- Lima, L.G.; Dillenburg, S.R.; Medeanic, S.; Barboza, E.G.; Rosa, M.L.C.C.R.; Tomazelli, L.J.; Dehnhardt, B.; Caron, F. 2013. Sea-level rise and sediment budget controlling the evolution of a transgressive barrier in southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 42, 27 -38.
- May, J.P. and Tanner, W.F., 1973. The littoral power gradient and shoreline changes. In: COATES, D.R. (ed.), *Publications in Geomorphology*. Binghamton: State University of New York, pp. 43-60.
- Mitchum Jr., R.M., Vail, P.R. and Sangree, J.B., 1977. *Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level, Part 6: Stratigraphy interpretation of seismic reflection patterns in depositional sequences*. In: Payton, C.E. (ed.), *Seismic Stratigraphy — Applications to Hydrocarbon Exploration*. Tulsa, AAPG, 26, 117-133.
- Reguero, B.G.; Menéndez, M.; Méndez, F.J.; Mínguez, R.; Losada; I.J. 2012. A Global Ocean Wave (GOW) calibrated reanalysis from 1948 onwards. *Coastal Engineering*, 65:3855.
- Rosa, M.L.C.C.; Barboza, E.G.; Dillenburg, S.R.; Tomazelli, L.J.; Ayup-Zouain, R.N., 2011. The Rio Grande do Sul (southern Brazil) shoreline behavior during the Quaternary: a cyclostratigraphic analysis. *Journal of Coastal Research*, SI 64, 686-690.

- Shore Protection Manual., 1984. CERC.
US Army Engineer Waterways
Experiment Station. US Government
Printing Office, Washington, DC.
- Siegle, E. and Asp, N.E., 2007. Wave
Refraction and Longshore Transport
Patterns along the Southern Santa
Catarina Coast. *Brazilian Journal of
Oceanography*, 55, 109-120.

Capítulo 3

O Aporte Sedimentar às Praias da Cigana e do Cardoso, Cabo de Santa Marta, Santa Catarina, Brasil



www.ugb.org.br

ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 18, n° 2 (2017)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v18i2.1160>



O APORTE SEDIMENTAR ÀS PRAIAS DA CIGANA E DO CARDOSO, CABO DE SANTA MARTA, SANTA CATARINA, BRASIL

SEDIMENT SUPPLY TO CIGANA AND CARDOSO BEACHES IN SANTA MARTA CAPE, SANTA CATARINA - BRAZIL

Julio Fernandes de Oliveira

Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre, Rio Grande do Sul. CEP: 91501-970. Brasil
Email: jfogeo@gmail.com

Frederico Scarelli

Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali, Università di Bologna Via Zamboni 67, Bologna..CEP: 40126. Itália
Email: frederico.scarelli@studio.unibo.it

Eduardo Marques Martins

Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre, Rio Grande do Sul. CEP: 91501-970. Brasil
Email: geo.edum2@gmail.com

Eduardo Guimarães Barboza

Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre, Rio Grande do Sul. CEP: 91501-970. Brasil
Email: eduardo.barboza@ufrgs.br

Marina R. Fagundes

Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre, Rio Grande do Sul. CEP: 91501-970. Brasil
Email: marinarf95@hotmail.com.br

Resumo:

O Cabo de Santa Marta (Laguna/SC) marca uma brusca mudança na orientação do litoral sul do Brasil. O vento NE é predominante ao longo do ano e incide da terra para o mar nas praias ao sul do cabo, o que representa um fator de entrada de sedimentos no sistema praial,

Informações sobre o Artigo:**Recebido (Received):**
13/10/2016**Aceito (Accepted):**
06/01/2017**Palavras-chave:**Análise Espaço-
Temporal
Geomorfológica;
Potencial de Deriva
Eólica; Deriva
Litorânea.**Keywords:**Geomorphological Spatio-
Temporal Analysis;
Aeolian Drift Potential;
Littoral Currents.

juntamente com o aporte pela deriva litorânea e a contribuição continental da drenagem da região. No presente trabalho propõe-se uma análise integrada da dinâmica sedimentar na porção emersa e submersa das praias da Cigana e do Cardoso, através da; (i) caracterização do clima de ventos e o potencial de deriva eólica na região; (ii) análise das mudanças históricas no campo de dunas e na linha de costa; e (iii) avaliação do regime de ondas e transporte sedimentar pela deriva litorânea. Os resultados demonstraram uma significativa diminuição na área de dunas móveis entre 1938 e 2012, devido ao aumento em áreas de dunas estabilizadas pela vegetação, de planícies de deflação e de áreas urbanizadas. Nesse mesmo período a linha de costa apresentou uma tendência geral de retrogradação com taxas acima de 0,5 m/ano, intensificada a partir de 1978. O processo de estabilização das dunas móveis provavelmente ocasionou uma diminuição do aporte eólico ao sistema praias nas últimas décadas. Esse processo pode ter alterado o equilíbrio sedimentar das praias da Cigana e do Cardoso, tornando-as dependentes principalmente do suprimento da deriva litorânea. O modelo proposto para o transporte longitudinal gerado pelas ondas

indicou que há um limite divergente entre células costeiras nesse setor da costa, o que não propicia o aporte de sedimentos marinhos para as praias de estudo. Dessa forma, além de ser um local sob influência de correntes de deriva com sentidos opostos, a presença do cabo se configura como uma barreira física ao transporte de sedimentos provenientes de células costeiras ao norte da área.

Abstract:

Santa Marta Cape (Laguna/SC) marks an abrupt change in the coastline orientation in southern Brazilian littoral. Prevailing NE winds blow seaward in the south sector of the cape where the aeolian transport represents a sediment supply to the beaches as well as longshore transport and continental drainage inputs. This study focuses on an integrated analysis of the coastal dynamics considering subaerial and subaqueous parts of Cigana and Cardoso beaches. The analysis was carried out through; (i) characterization of regional wind regime and sand drift potentials, (ii) analysis of historical changes in the dune field and coastline, and (iii) evaluation of the wave regime and sediment transport by longshore drift. The results show a significant decrease in the mobile dunes area between 1938 and 2012 due to growth of vegetation, deflation plains and urban settlements. During the same period, the coastline presented a retrogradation trend of about 0.5 m/yr which was intensified after 1978. The stabilization process of the dunefield probably contributed to aeolian sediment input decrease into the beach system in the last decades. This process could have changed the sediment balance of Cigana and Cardoso beaches, making the only significant sediment source represented by longshore drift. The model proposed for the longshore transport showed a divergence limit between two littoral cells in this sector, which does not provide the sediment input to the studied beaches. Thus, the divergent currents scenario limited the sediment supply by longshore drift to the study area as well as the presence of the cape trapping sediment transport from northern littoral cells.

1. Introdução

A análise geomorfológica de um sistema costeiro requer uma abordagem holística dos diferentes processos e morfologias associadas a distintas escalas espaço-temporais (SHERMAN, 1995; AAGAARD *et al.*, 2004). Nos estudos sobre dunas costeiras, o entendimento do ambiente eólico como parte do sistema praia-duna se faz necessário devido à intrínseca relação de transferência de sedimentos entre os ambientes (CARTER, 1977; PSUTY, 1988).

Na avaliação do balanço sedimentar de uma célula costeira são analisadas as entradas e saídas de sedimentos a fim de se obter um entendimento em relação à dinâmica sedimentar da área e prever futuros cenários (LIST, 2005). Nesse contexto, o ambiente eólico pode atuar como fonte ou saída de sedimentos de um sistema praiial (PSUTY, 1988), dependendo do sentido do vento incidente em relação à linha de costa. Predomínio de ventos no sentido do continente (*onshore*) favorece o transporte sedimentar do pós-praia para a duna frontal e campo de dunas adjacente, acarretando em perda sedimentar do sistema praiial e ganho do sistema eólico.

Por outro lado, em costas onde predominam ventos no sentido oposto (*offshore*), os grãos são transportados da duna para o pós-praia e, posteriormente para a porção submersa da praia, onde passam a ser retrabalhados pela ação das ondas e correntes (NORDSTROM *et al.*, 1996). Nesse cenário de ventos de terra para o mar, o aporte eólico representa um fator de entrada de sedimentos ao sistema praiial, e dependerá principalmente do potencial de deriva eólica, além de fatores como o teor de umidade dos sedimentos superficiais, tamanho do grão, *fetch* de atuação do vento no pós-praia, variações na topografia da praia, presença de vegetação ou de outros obstáculos (SANJAUME *et al.*, 2011).

Modificações em escala histórica nos ambientes eólicos costeiros podem estar relacionadas a fatores naturais e/ou

antrópicos. Desde a metade do século passado, os campos de dunas costeiras transgressivos do sul do Brasil vêm experimentando um aumento de áreas deflacionares, úmidas e vegetadas, em detrimento às áreas de dunas móveis. A diminuição do potencial de transporte eólico e o aumento da pluviosidade são fatores apontados como responsáveis pelo processo de estabilização dos campos de dunas costeiras da região (MARTINHO *et al.*, 2010; MIOT DA SILVA & HESP 2013; MIOT DA SILVA *et al.*, 2013). Interferências antrópicas como o plantio de espécies exóticas com o intuito de conter o avanço das dunas e tornar áreas mais propícias aos loteamentos (sobretudo *Casuarinas spp.* e *Pinus spp.*, espécies de alto potencial de dispersão e adaptação) também vem contribuindo para a estabilização das dunas móveis (MARTINHO, 2004), assim como as modificações no padrão de drenagem regional que interferem no nível freático dos ambientes eólicos costeiros (SEELIGER *et al.*, 2000).

O presente trabalho tem como objetivo caracterizar a dinâmica sedimentar no litoral sul do Cabo de Santa Marta a partir de uma análise integrada dos processos que ocorrem nas porções emersa e submersa das praias da Cigana e do Cardoso. E ainda, avaliar a evolução espaço-temporal de aspectos da geomorfologia costeira local desde a metade do século passado até os dias atuais.

2. Caracterização da Área de Estudo:

O Cabo de Santa Marta está localizado no município de Laguna, litoral sul do Estado de Santa Catarina (Figuras 1a e 1b). Esse acidente geográfico marca a brusca mudança de orientação da linha de costa do sul do Brasil e na configuração da paisagem da região; de extensas planícies costeiras que predominam no litoral gaúcho e extremo sul catarinense, passa para um litoral recortado com praias delimitadas por costões do embasamento Pré-Cenozóico (GIANNINI, 1993). No

contexto geológico, este ponto é considerado o limite estrutural entre a Bacia de Pelotas e o Alto de Florianópolis, que a separa da Bacia de Santos (Gamboa & Rabinowitz, 1981 apud Rosa, 2009).

Os ambientes deposicionais do Quaternário costeiro na região vêm sendo amplamente estudados nas últimas décadas (GIANNINI, 1993; MARTINHO, 2004;

MARTINHO *et al.*, 2006; GIAN-NINI *et al.*, 2007; SAWAKUCHI *et al.*, 2009; VIEIRA *et al.*, 2009; FORNARI, 2010; HORN FILHO *et al.*, 2010; NASCIMENTO JR., 2010; VIEIRA DA SILVA *et al.*, 2011; FORNARI *et al.*, 2012; MARTINS *et al.*, 2014. OLIVEIRA *et al.*, 2016).

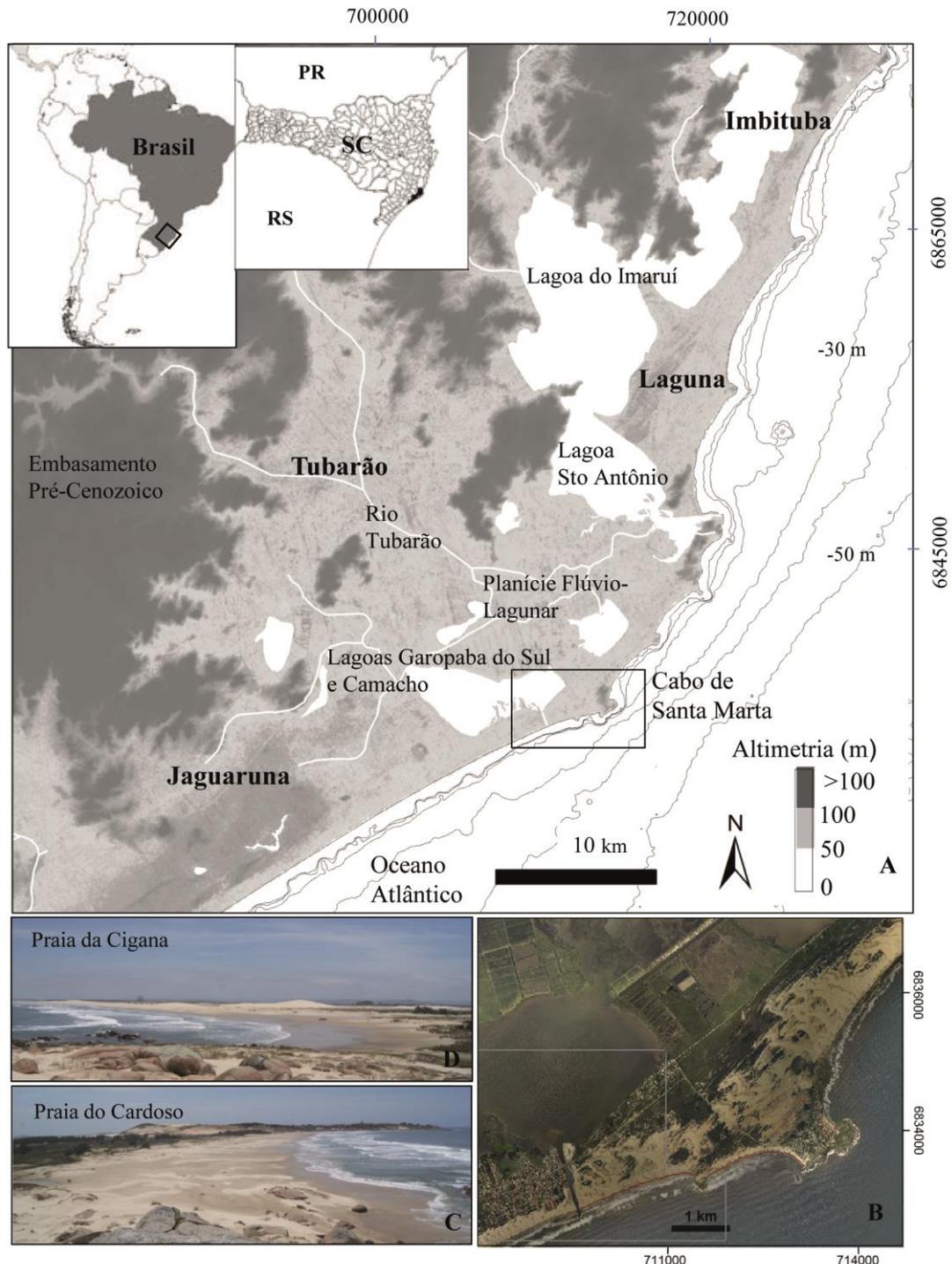


Figura 1 - A) Localização da área de estudo (Fontes: Altimetria ASTER/DGEM e Batimetria CPRM); B) detalhe da área (Fonte: Ortofoto SDS/SC 2012); C) Praias do Cardoso e; D) Praia da Cigana (Fotos: Labgerco/UFRGS).

As praias do Cardoso (Figura 1c) e da Cigana (Figura 1d) situam-se no setor sul do Cabo de Santa Marta, tem orientação WSW-ENE e são constituídas por areias

quartzosas finas e bem selecionadas (MARTINS & MARTINS, 1974). A costa é dominada por ondas, com regime de micro maré semi-diurno

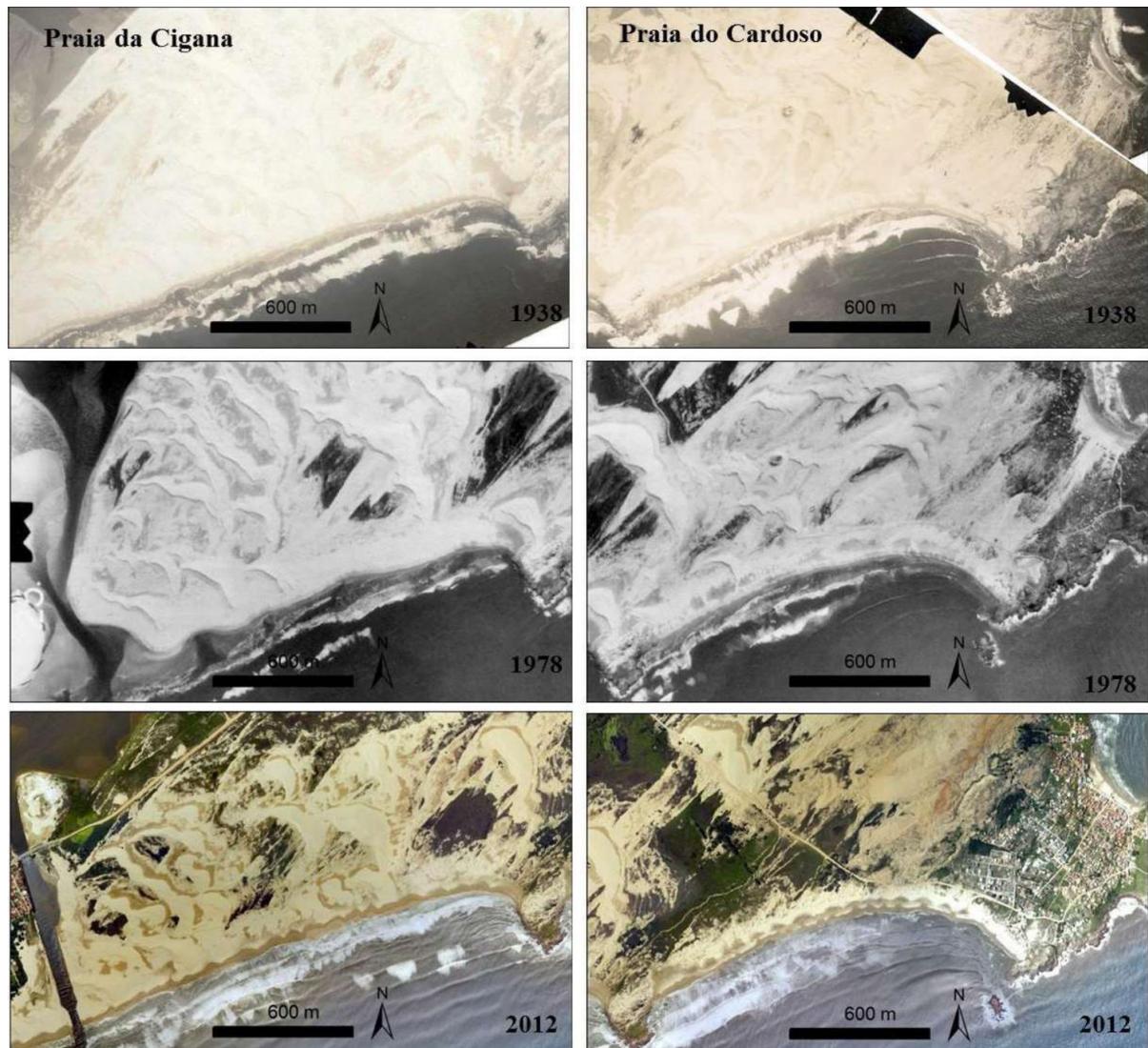


Figura 2 - Fotos aéreas de 1938, 1978 e 2012 (ortofoto) da Praia da Cigana (esquerda) e da Praia do Cardoso (direita). Fotos cedidas pela Secretaria de Desenvolvimento Sustentável do Estado de Santa Catarina.

de amplitude média em torno de 0,6 m (GIANNINI, 1993). Ambas as praias apresentam declividade suave e zona de surfe bem desenvolvida, que as caracterizam como dissipativas, ainda que nas proximidades dos costões essas praias possam apresentar uma morfologia em planta de log-espiral e tendência a estágios morfodinâmico intermediários (GIANNINI, 1993).

O clima da região é controlado basicamente por duas massas de ar

anticiclônicas: a massa tropical atlântica, quente e úmida, e mais atuante no verão e primavera; e a massa polar atlântica, fria e de origem antártica, que avança pelo litoral sul do Brasil com maior frequência no inverno (ORSELLI, 1986; TOMAZELLI, 1990; GIANNINI, 1993).

O aporte sedimentar fluvial ao sistema praias da região está restrito às bacias hidrográficas dos rios Araranguá e Urussanga, que alcançam o litoral a cerca de 50 e 30 km da área de estudo, respectivamente. A bacia hidrográfica do

Rio Tubarão, onde estão inseridas as praias do Cardoso e Cigana, caracteriza-se por possuir um delta intra-lagunar, o que impede a chegada dos sedimentos à costa. O canal do Camacho marca o limite oeste da praia da Cigana, e conecta o mar ao sistema lagunar adjacente (Figura 2). Até meados da década de 1970 a abertura do canal se deu de forma intermitente, e após esse período, uma forte cheia do rio Tubarão forçou a abertura do mesmo (VIEIRA DA SILVA *et al.*, 2011), que desde então passou a ser dragado e fixado com a construção dos primeiros molhes na década de 1990 (FORNARI, 2010).

3. Metodologia:

A metodologia foi desenvolvida em três etapas: i) caracterização do regime de ventos; ii) análise espaço-temporal das fotografias aéreas e; iii) cálculo do transporte longitudinal pela deriva litorânea.

3.1 Caracterização do Regime de Ventos

Para essa etapa foi utilizada a série de dados horários coletados entre os anos de 2008 e 2013, da Estação do Farol de Santa Marta, Laguna (28°36`S; 48°48`W) cedida pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os dados de velocidade e direção do vento e de pluviosidade foram analisados no programa WRPlot 7.0.

O cálculo do Potencial de Deriva Eólica (DP) (Fryberger & Dean, 1979) é um método para caracterizar o potencial de transporte de areia (Q) em determinado local. Expresso na relação entre a direção, a velocidade e a frequência de um determinado vento ao longo de um período, os valores de DP são expressos em unidades vetoriais (uv) e representam a quantidade relativa de areia potencialmente transportada pelo vento em um tempo t de atuação (Tomazelli, 1990) (Equação 1).

$$Q = V^2 (V - V_t) t \quad \text{Equação 1}$$

onde,

“Q” representa a quantidade proporcional de areia transportada pelo vento em determinado período t ;

“V”, a velocidade média do vento a 10 m de altura;

“V_t”, a velocidade limite do vento para o transporte de areia, medida a 10m de altura;

“t” representa o percentual de tempo que o vento soprou em determinada direção.

No presente trabalho foi empregada a metodologia sugerida por Martinho (2008) para cálculo da velocidade limite de cisalhamento (V_t). A velocidade limite de impacto para manter uma areia de granulometria 0,177 mm em movimento é de 5,7 m/s. Tomazelli (1990) salienta que os valores obtidos no cálculo do potencial de deriva não são proporcionais à deriva eólica real, pois são assumidas diversas simplificações relacionadas às características do meio em que o vento atua, como por exemplo, a variação na topografia, presença de vegetação e umidade dos sedimentos.

Para a representação gráfica dos resultados do potencial de deriva eólica foram utilizadas as rosas de areia expressas em unidades vetoriais (Fryberger & Dean, 1979), nas quais são indicados a DP para cada direção de vento, uma seta com o sentido da deriva resultante (RDD) e o potencial de deriva resultante (RDP). A razão entre o RDP e o DP de uma estação, representa o índice de variabilidade eólico.

3.2 Análise Espaço-Temporal de Fotografias Aéreas

Nessa etapa foram utilizadas fotografias aéreas não restituídas dos anos de 1938 e 1978 e uma fotografia aérea ortorretificada de 2012, obtidas junto a Secretaria de Desenvolvimento Econômico Sustentável do Governo do Estado de Santa Catarina (SDS-SC). As fotografias aéreas mais antigas, levantadas em escala 1:25.000, foram georreferenciadas a partir de pontos notáveis e fixos (rochas do embasamento e casas) no software ArcGISTM 10.1, a partir da ortofoto de 2012 (1:10.000).

Para análise da evolução espacial do campo de dunas, foi delimitada uma área na porção sul do Cabo de Santa Marta (18,89 km²), onde foram identificadas as principais unidades da paisagem e calculadas as áreas correspondentes para cada ano de estudo (1938, 1978 e 2012); i) áreas de dunas móveis, ii) áreas deflacionares úmidas e vegetadas e iii) áreas urbanizadas.

Para a avaliação das mudanças da posição da linha de costa ao longo do período estudado foi utilizado a extensão do ArcGISTM denominada DSAS 4.3 (*Digital Shoreline Analysis System*) desenvolvida pelo USGS (*United States Geological Survey*) (Thieler *et al.*, 2009). O DSAS permite calcular as taxas de deslocamento da linha de costa com base em conceitos estatísticos pré-estabelecidos (Dolan *et al.*, 1991).

Para a demarcação da linha de costa de cada ano, optou-se pelo limite entre areia seca e areia molhada (Boak & Turner, 2005; Del Rio & Gracia, 2013), pois em muitos trechos não há o contato com a vegetação. A partir de uma linha de base foram gerados 145 transectos perpendiculares à costa, espaçados em 25 m ao longo dos 4 km da área de estudo. Nas análises da posição da linha de costa em 1978, o número de transectos foi reduzido a 128, pois a desembocadura do canal do Camacho ainda não era fixa e desaguava mais para o meio da praia da Cigana.

Dois algoritmos foram utilizados; i) O NSM (*Net Shoreline Movement*) que calcula em cada transecto a variação total (em metros) do deslocamento entre a posição de duas linhas de costa de anos diferentes (DOLAN *et al.*, 1991; GENZ *et al.* 2007; THIELER *et al.*, 2009); ii) e o EPR (*End Point Rate*) que calcula a taxa de variação entre duas linhas de costa (em m/ano).

Para o cálculo da taxa de variação da linha de costa, os erros referentes ao processo de registro de imagens (G), à resolução das imagens (R) e às

características físicas da área (D) foram assumidos para cada ano, e calculados a partir da metodologia sugerida por Del Rio & Gracia (2013) (Equações 2 e 3):

$$Ep_1 = (G_1^2 + R_1^2 + D_1^2)^{1/2} \quad \text{Equação 2}$$

$$Ep_2 = (G_2^2 + R_2^2 + D_2^2)^{1/2} \quad \text{Equação 3}$$

onde,

“G”, representa o erro médio quadrático (RMSE), gerado no processo de georreferenciamento;

“R”, é a resolução do pixel da imagem, em metros;

“D”, representa a variabilidade de curto prazo da posição da linha de costa em função da maré astronômica, em que;

$$D = M / \tan \beta \quad \text{Equação 4}$$

onde,

“M”, é a metade da diferença máxima entre o nível de maré alta em situações de marés de sizígia e quadratura;

“Tan β ”, é a declividade média do perfil praiial

Segundo Del Rio & Gracia (2013), quando se comparam duas posições de linha de costa extraídas de diferentes imagens (p_1 e p_2), o erro é acumulado; portanto, após o cálculo do erro referente a cada foto aérea, chega-se à incerteza relativa à taxa anual da variação da linha de costa ao longo do período analisado (T) (Equação 5):

$$E_{1-2} = (Ep_1^2 + Ep_2^2)^{1/2/T} \quad \text{Equação 5}$$

Nas tabelas 1 e 2 são apresentadas as características de cada foto aérea e os erros relativos a cada par de fotos utilizado para cálculo da taxa de variação da linha de costa. Entretanto, cabe ressaltar que, apesar do cálculo da incerteza do método, os resultados devem ser interpretados como uma tendência de deslocamento da linha de costa e não em termos de valores absolutos (MUEHE & KLUMB-OLIVEIRA, 2014).

Tabela 1: Características das fotos aéreas utilizadas no cálculo do erro da variação da linha de costa (DelRio & Gracia, 2012): G = erro do processo de georreferenciamento (RMSE); R = erro da resolução da imagem; D = erro referente às características físicas da área de estudo.

Comparação da linha de costa nos anos de:	Erro total (m):	Erro na taxa anual (m/ano)
1938 – 1978	±4,8	±0,1
1978 – 2012	±3,6	±0,1
1938 - 2012	±4,3	±0,05

Tabela 2: Erro total (em metros) assumido no cálculo do deslocamento da posição da linha de costa em cada par de anos; e o erro na taxa anual de deslocamento da linha de costa.

Ano	G (m)	R (m)	D (m)
1938	2,1	2,4	2
1978	1,9	1,1	2
2012	0	0,39	2

3.3 Cálculo do Transporte Longitudinal pela Deriva Litorânea

No estudo da dinâmica costeira da antepraia, utilizou-se o Sistema de Modelagem Costeira (SMC-Brasil) para caracterizar o clima de ondas na região e simular a propagação de ondas e o transporte sedimentar na costa. O SMC-Brasil consiste na integração de modelos numéricos associados a um banco de dados oceanográfico e cartas batimétricas (GONZALEZ *et al.*, 2007). Os dados de reanálise global de ondas (*Global Ocean Wave*) foram calibrados e validados através de bóias oceânicas e satélites altimétricos (REGUERO *et al.*, 2012) para o período de 1948 a 2008. Como parte do processo, esses dados foram transferidos para escala de detalhe (*Downscaled Ocean Wave*) (CAMUS *et al.*, 2013) e os 150 casos mais representativos foram selecionados (através de técnica estatística MaxDiss) e simulados para a costa.

As simulações foram realizadas através do módulo Oluca-sp, um modelo espectral não dispersivo que resolve a fase e considera os efeitos de empinamento de onda, refração, difração, interação onda-corrente e dissipação por quebra e fricção com o fundo (GONZALEZ *et al.*, 2007). Para a estimativa do transporte longitudinal de sedimentos, o SMC-Brasil utiliza como dados de entrada os resultados gerados nos módulos de ondas (Oluca-sp) e de corrente (Copla), além das características do sedimento.

Foram traçados três perfis perpendiculares à linha de costa (dois nas praias ao sul do cabo - praias da Cigana e do Cardoso- e um ao norte do cabo - Praia Grande do Norte) para o cálculo do transporte longitudinal de sedimentos através da fórmula do CERC (1984) (Equação 6):

$$Q_p = (K \rho_w g^{1/2} / 16 (\rho_s - \rho_w) (1-p) \sqrt{H_b / h_b}) H_b^{5/2} \sin(2\theta_b)$$

Equação 6

Onde,

“Q” é o fluxo de transporte longitudinal em m³/s; “K”, coeficiente empírico;
 “ρ” densidade da água;
 “ρ_s” densidade do sedimento; “g”, aceleração da gravidade; “p”, porosidade do sedimento; “H_b”, altura da onda na quebra; “h_b”, profundidade de quebra; “θ_b”, ângulo das frentes de ondas em relação à linha de costa.

4. Resultados e Discussão:

A apresentação dos resultados está estruturada em quatro etapas: i) caracterização do ambiente eólico; ii) avaliação da dinâmica costeira na antepraia; iii) análise temporal da tendência de deslocamento da linha de costa na área de estudo; e, iv) integração e contextualização dos resultados.

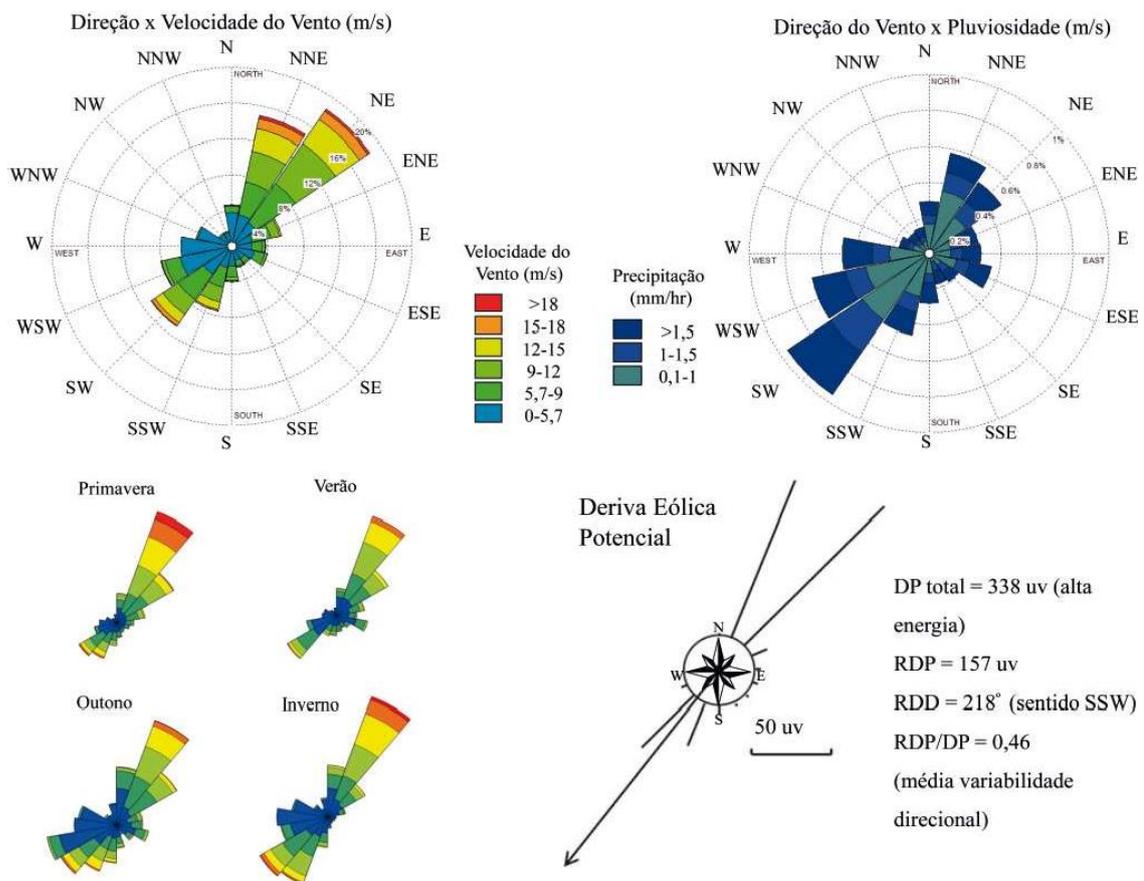


Figura 3 - Clima de ventos na Estação Meteorológica do Farol de Santa Marta, entre 2008 a 2013. À esquerda, acima, rosa dos ventos com a frequência direcional e a intensidade dos ventos (m/s); à esquerda, abaixo, distribuição sazonal da frequência direcional e intensidade dos ventos (m/s); à direita, acima, rosa dos ventos associada à ocorrência de chuvas (mm/hr); à direita, abaixo, a representação gráfica da deriva eólica potencial no local e os valores de: deriva potencial total (DP), deriva potencial resultante (RDP), direção da deriva resultante (RDD) e o índice de variabilidade direcional (RDP/DP).

4.1 Caracterização do Ambiente Eólico

4.1.1 Regime de Ventos na Região

A análise da frequência direcional dos ventos (Figura 3) na Estação Meteorológica do Farol de Santa Marta para o período de 2008 a 2013 apresentou uma bi-direcionalidade. Os ventos provenientes do quadrante NE (NNE-NE-ENE) são os mais frequentes (38%) e com maiores velocidades médias (9 m/s). Os ventos do quadrante SW (SSW-SW-WSW) também são significativos (26%) e com velocidades médias em torno de 7 m/s, porém estão associados à ocorrência de chuva. A deriva eólica resultante no Cabo de Santa Marta é rumo SW (RDD=218° e RDP=157,3 uv), se enquadra na classificação de Fryberger & Dean (1979) como de alta energia eólica (DP=338 uv), e de variabilidade direcional intermediária (RDP/DP=0,4).

4.1.2 Mudanças Históricas no Campo de Dunas

A análise espacial da evolução do campo de dunas transgressivo da região do Farol de Santa Marta (Figura 4) entre os anos de 1938 e 2012 mostrou significativo aumento de áreas vegetadas, de planícies de deflação e de áreas urbanizadas em detrimento da área de dunas móveis.

As dunas transgressivas móveis, que em 1938 ocupavam uma área de 8,2 km², foram reduzidas em 1978 a 6,7 km² e em

2012 a 4,1 km²; ou seja, a metade da área inicial inferida para o ano de 1938.

Essa diminuição está vinculada ao aumento das áreas vegetadas e de planícies de deflação, que representavam apenas 0,4 km² em 1938, somavam 1,6 km² em 1978 e 3,8 km² em 2012. Também ocorreu uma significativa expansão da mancha urbana, que expandiu de 0,01 km² em 1938 para 0,2 km² em 1978 e, finalmente, para 0,9 km² em 2012.

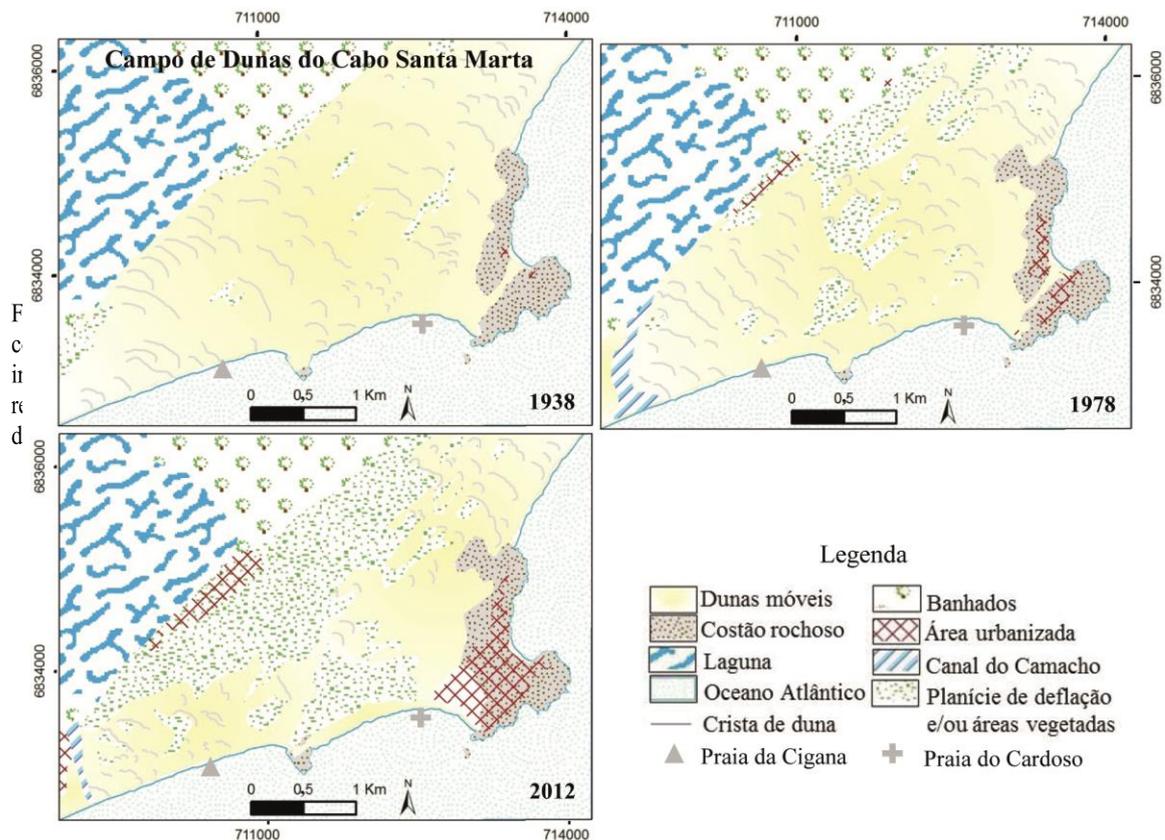


Figura 4 - Evolução espaço-temporal do campo de dunas ao sul do Cabo de Santa Marta, entre os anos de 1938, 1978 e 2012.

4.2 Caracterização da dinâmica costeira na antepraia

4.2.1 Clima de ondas

De acordo com a série de dados de reanálise entre os anos de 1948 e 2008, o espectro de ondas que chega à costa sul do Cabo de Santa Marta varia entre as direções S e E (Figura 5). Há uma tendência de aumento da altura e do período das ondas incidentes, quanto maior for a influência de ondulações provenientes do quadrante S (cenários mais comuns nos

meses de outono e inverno); em contrapartida, há uma diminuição da altura e do período quanto maior for a influência do quadrante E (cenários mais frequentes na primavera e sobretudo no verão). As ondas provenientes de E possuem altura média (Hs) de 1,5 m e período médio (Ts) de 8,3 s; ao passo que as ondas provenientes de SE apresentam alturas médias de 1,8 m e período médio de 8,7 s; por sua vez, as ondas oriundas de S possuem altura média de 2,3 m e período médio 9,9 s.

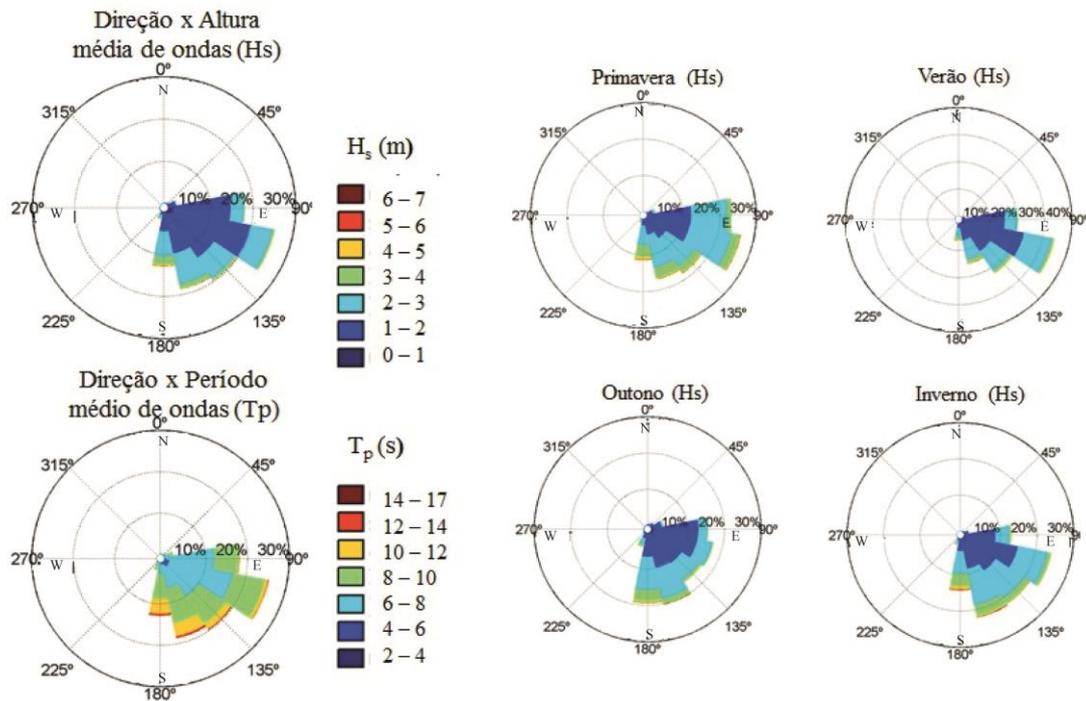


Figura 5 - Clima de ondas na região do Cabo de Santa Marta, calculados para a profundidade entre 60 e 70 m.

4.2.2 Transporte Sedimentar pela Deriva Litorânea

O Cabo de Santa Marta marca o limite divergente entre células costeiras com sentidos opostos de transporte sedimentar pela deriva resultante (Figura 6). Os resultados demonstraram que nas células costeiras correspondentes às praias da Cigana e do Cardoso, o transporte resultante é rumo SW, com médias anuais de 200 e 230 mil m^3 /ano, respectivamente.

Na célula costeira ao norte do cabo (Praia Grande do Norte) o transporte resultante é rumo NE, com média anual de 520 mil m^3 /ano. Na análise sazonal, o transporte sedimentar longitudinal acompanha o padrão de incidência das ondas em cada estação do ano. Nos meses de outono e inverno nota-se uma maior influência de transporte no sentido SW-NE, comparada aos meses de verão e primavera.

4.3 Avaliação do Deslocamento da Linha de Costa

Na avaliação do deslocamento da posição da linha de costa (Figura 7), as

praias estudadas se mostraram predominantemente estáveis entre os anos de 1938 e 1978, com setores que apresentaram progradação entre 10 a 50 m no período, e o setor NE da praia da Cigana que apresentou comportamento retrogradante. Entre os anos de 1978 e 2012 houve um deslocamento da linha de costa no sentido do continente em toda a área de estudo. Verificou-se que o recuo na praia da Cigana foi superior a 50 m, e alcançou em alguns trechos valores superiores a 100 m.

Na comparação da posição da linha de costa entre os anos de 1938 e 2012, observa-se uma tendência geral de deslocamento no sentido do continente, condição influenciada pela acentuada retrogradação ocorrida nas últimas décadas. Na praia da Cigana o recuo foi superior a 50 m em quase toda a sua extensão, ao passo que na praia do Cardoso o recuo oscilou entre 10 e 50 m. A taxa de recuo da linha de costa para todo período estudado (1938-2012) foi superior a 0,5 m/ano na praia da Cigana e na praia do Cardoso até 0,5 m/ano; o erro associado a essa taxa foi de $\pm 0,05$ m/ano.

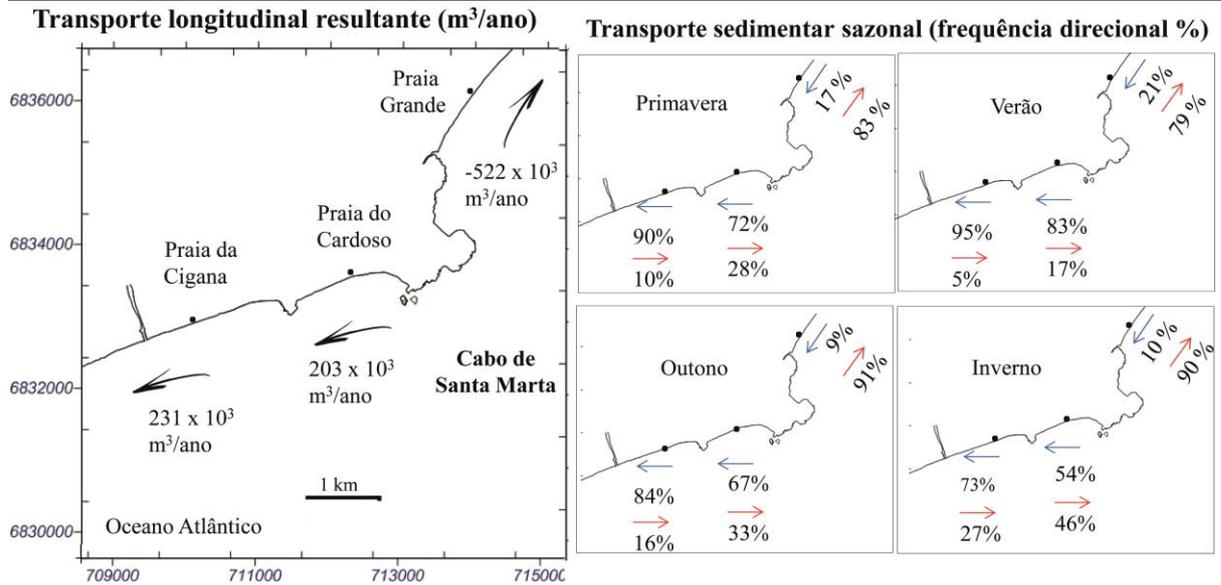


Figura 6 - À esquerda, transporte sedimentar médio anual pela deriva litorânea nas três praias adjacentes ao cabo (valor positivo indica deriva resultante rumo SW e negativo rumo NE); à direita, frequência direcional de transporte (%) em cada estação do ano (fora de escala).

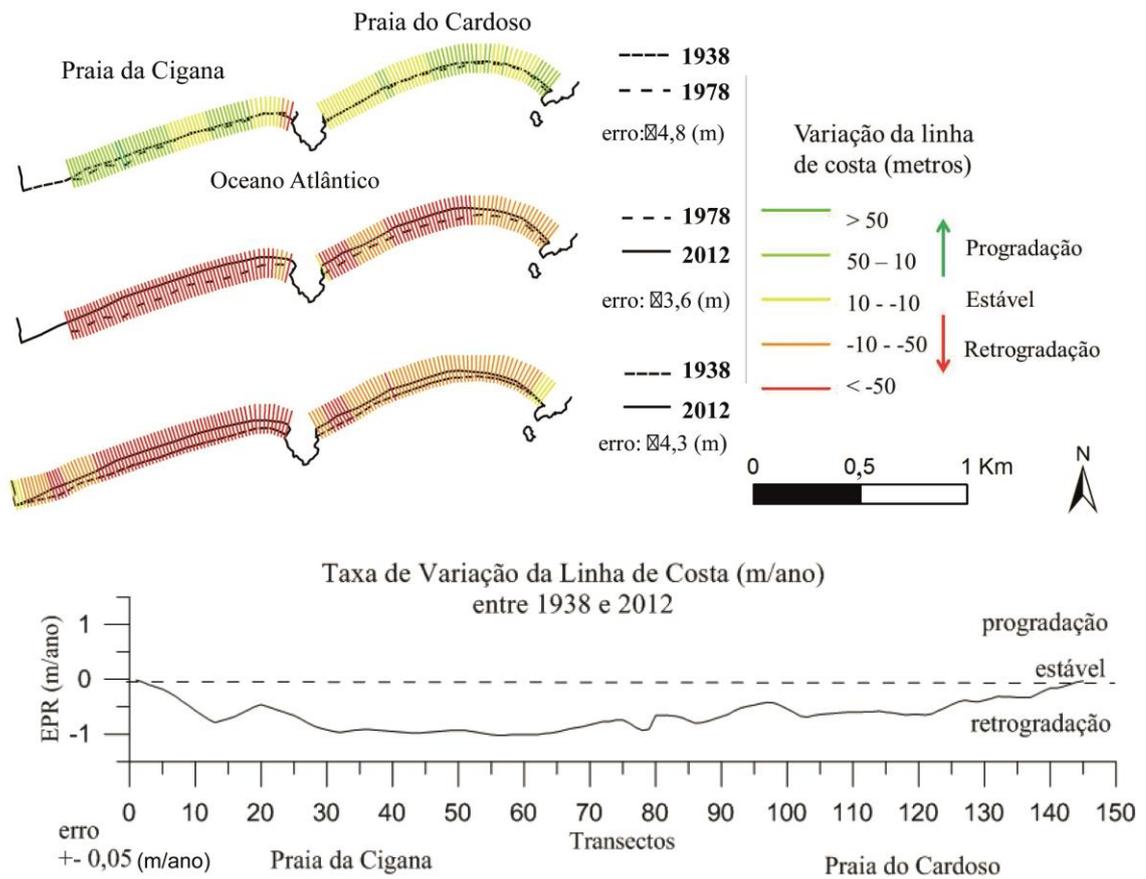


Figura 7 - Acima, comparação da posição da linha de costa nas praias do Cardoso e da Cigana entre os anos de 1938, 1978 e 2012 e os respectivos erros associados. Abaixo, gráfico com a taxa anual de deslocamento da linha de costa entre 1938 e 2012.

4.4 Integração e contextualização dos resultados

Os dados apresentados caracterizam o regime de ventos e ondas na região do Cabo de Santa Marta, além de aspectos referentes à evolução espaço-temporal das dunas móveis e da posição da linha de costa.

Os resultados encontrados para o sentido da deriva eólica resultante, de NE para SW (rumo 218°), corroboram as medidas do azimute de migração de dunas barcanas apresentadas por Martins *et al.* (2014) e Giannini (1993) em estudos na região; o último autor calculou taxas de avanço das dunas barcanas de 30 m/ano. O cruzamento dos dados de direção do vento e ocorrência de eventos pluviométricos mostram que os registros de chuva estão associados aos ventos do quadrante SW, também verificado por Giannini (1993) para o período entre 1975 e 1984. Esses ventos geralmente estão associados à passagem de frentes frias e ciclones extratropicais na região, com maior frequência nos meses de outono e inverno.

Além da ocorrência de chuvas, esses eventos ocasionam um empilhamento de água na costa (maré meteorológica) que podem elevar em mais de 1,0 m o nível do mar local (Giannini, 1993). Tais fatores não favorecem o transporte eólico na interface praia-duna, devido ao aumento do teor de umidade da camada superficial de sedimentos (o que causa a necessidade de uma maior velocidade de cisalhamento para movimentar o grão) e a diminuição da área de ação do vento (*fetch*) no pós-praia (Davidson-Arnott *et al.*, 2005).

As dunas barcanas e transversais que são formadas nas praias ao norte do Cabo de Santa Marta, seguem rumo SW até alcançarem as praias do Cardoso e da Cigana (Figuras 8a). Entretanto os dados indicam que nas últimas sete décadas houve um aumento nas áreas urbanizadas, áreas úmidas e vegetadas, inseridas dentro do campo de dunas estudado. Estudos recentes associaram a estabilização das dunas móveis no litoral sul do Brasil às

interferências antrópicas supracitadas (urbanização, plantio de casuarinas e modificações na drenagem, por exemplo) e também às recentes mudanças climática locais e regionais relatadas por Miot da Silva *et al.* (2013), Miot da Silva & Hesp (2013) e Martinho *et al.* (2010), como o aumento da pluviosidade e a diminuição do potencial de transporte eólico.

Como consequência da estabilização das dunas móveis sugere-se que houve uma redução no aporte de sedimentos eólicos às praias a sotavento do vento predominante de NE. Atualmente o único corredor de alimentação eólica do setor sul do cabo está ameaçado pelo plantio e disseminação de casuarinas, além do recente calçamento da estrada que cruza o campo de dunas (Figura 8b). No campo de dunas da Praia do Cardoso, onde antes existiam dunas transgressivas ativas (sobretudo barcanas e transversais), hoje predominam dunas frontais segmentadas por *blowouts* e acessos para carros (Figura 8c), planícies de deflação e lençóis de areia vegetados. Outra interferência antrópica na dinâmica sedimentar do local é a extração e o manejo inadequado do material dragado do canal do Camacho. Parte dos sedimentos eólicos que adentram ao canal através da migração das dunas e deveriam retornar à praia pelo fluxo vazante, são dragados (Figura 8f) e retirados do sistema (Figura 8g).

Ao sul da praia da Cigana (Figura 8d) as dunas móveis alcançam obliquamente o pós-praia (Figura 8e), e em situações de ressacas e marés meteorológicas as depressões interdunares atuam como corredores (Giannini, 1993; Hesp *et al.*, 2009) para o avanço do mar planície adentro. A transposição da barreira arenosa pela ação do mar e a formação dos lagos digitiformes (Figura 8h) e leques de sobrelavagem (Giannini, 1993) configuram-se como um processo indicador de costas transgressivas.

Os resultados indicam que a linha de costa apresentou uma tendência geral de deslocamento para o continente ao longo das últimas décadas (sobretudo a partir de

1978), o que caracteriza uma situação de desequilíbrio sedimentar negativo do sistema. Klein *et al.* (2016) relacionaram os processos erosivos ocorrentes no litoral de Santa Catarina ao balanço sedimentar negativo do local e à incidência de eventos oceanográficos extremos. Segundo Muehe (2010), a elevação do nível médio dos mares e a mudança no padrão de intensidade e de frequência das ciclogênesis sub-tropicais podem estar acentuando o déficit sedimentar e a erosão costeira em determinados trechos do litoral brasileiro. Somados a esses fatores, a pressão antrópica sobre os sistemas costeiros representa um agravante a esses cenários.

Por fim, os valores calculados para o transporte sedimentar pela deriva litorânea (200 e 500 mil m³/ano) são condizentes com os dados compilados de diversos estudos na região (Klein *et al.*, 2016).

É ainda, o sentido resultante do transporte pela deriva litorânea reforça as observações feitas por Siegle & Asp (2007) em escala regional; no litoral do Rio Grande do Sul e extremo sul de Santa Catarina (até o litoral de Jaguaruna, aproximadamente) predomina o sentido da deriva SW-NE, e no trecho imediatamente ao sul do Cabo de Santa Marta (praias da Cigana e Cardoso) ocorre uma inversão local no sentido (NE-SW) e; ao norte do cabo, a deriva volta a ter a resultante rumo NE. O limite divergente entre células costeiras nesse setor da costa não propicia o aporte de sedimentos para área de estudo, pois além de ser um local sob influência de correntes de deriva com sentidos opostos, a presença do cabo se configura como uma barreira física ao transporte de sedimentos provenientes de células costeiras ao norte da área.



Figura 8 - A) Visada para SW das Praias do Cardoso e da Cigana; B) Estrada que corta o campo de dunas no Farol de Santa Marta. Nota-se a presença de casuarinas; C) Praia do Cardoso com dunas frontais segmentadas por blowouts e acessos para carros; D) Praia da Cigana com lençóis de areia vegetados em primeiro plano, e dunas móveis bem desenvolvidas ao fundo; E) Duna barcana migrando obliquamente no sentido do oceano, ao sul da praia da Cigana; F) Dragagem do Canal do Camacho, limite sul da praia da Cigana; G) Extração de areia nas proximidades do canal do Camacho; H) Lagos digitiformes (Giannini, 1993) antigos formados pelo processo de transposição da barreira pelo mar (círculo maior). Nota-se o processo atual de transposição em dia de ressaca que reativa os lagos na retrobarreira (círculo menor, imagem do dia 11/06/2016, modificada do Google Earth). Fotos: Labgerco/UFRGS

5. Conclusão

Com o processo de estabilização do campo de dunas transgressivo intensificado nas últimas décadas, acredita-se que houve um declínio no aporte sedimentar eólico às praias do setor sul do Cabo de Santa Marta. Com isso, o suprimento de sedimentos para as praias da Cigana e do Cardoso ficou restrito principalmente ao transporte longitudinal pelas correntes geradas por ondas.

No entanto, constatou-se que há uma inversão local no sentido do transporte sedimentar subaquoso nas proximidades do Cabo de Santa Marta, com resultantes rumo NE e SW, que não favorece o aporte às praias estudadas. Somado a esse fator, o suprimento de sedimentos marinhos é limitado ao transporte longitudinal que vem de sul, já que o cabo interrompe grande parte do transporte oriundo de norte.

Nesse sentido, os dados apresentados indicam que as praias da Cigana e do Cardoso se encontram atualmente em déficit sedimentar, haja vista a tendência de recuo da linha de costa verificada nas últimas décadas e a ocorrência de processos e feições geomorfológicas características de costas transgressivas.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e a Co-ordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão de bolsas de Pós-Graduação (CNPq – 140741 /2012-7 e CAPES – BEX 8003/14-9) e à FAURGS (Projeto 03869 - GEO/MANEJO DE DUNAS/JAGUARUNA-SC). Ao Prof. Dr. Nelson Gruber, coordenador do Laboratório de Gerenciamento Costeiro - Labgerco/UFRGS e aos revisores e editores da Revista Brasileira de Geomorfologia.

7. Referências Bibliográficas

- AAGAARD, T.; DAVIDSON-ARNOTT, R.; GREENWOOD, B.; NIELSEN, J. Sediment supply from shoreface to dunes: linking sediment transport measurements and long term morphological evolution. *Geomorphology*. 60: 205-224. 2004. (doi: 10.1016/j.geomorph.2003.08.002).
- BOAK, E. H.; TURNER, I. L. Shoreline definition and detection: a review. *Journal of Coastal Research*. 688-703. 2005. (doi: <http://dx.doi.org/10.2112/03-0071.1>).
- CAMUS, P.; MENDEZ, F.; MEDINA, R.; TOMAS, A.; IZAGUIRRE, C. High resolution downscaled ocean waves (DOW) reanalysis in coastal areas. *Coastal Engineering*. 72: 56–68. 2013. (doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.coastaleng.2012.09.002>).
- CARTER, R.W.G. The rate and pattern of sediment interchange between beach and dune. In Tanner, W.F (ed) *Coastal sedimentology*. Florida St Univ. Tallahassee. pp 3–34. 1977.
- CERC. Shore Protection Manual. US Army Engineer Waterways Experiment Station. US Government Printing Office, Washington, DC. 1984.
- DAVIDSON-ARNOTT, R.G.D.; MCQUARRIE K.; AAGAARD, T. The effects of wind gusts on aeolian sediment transport on a beach. *Geomorphology*. 68. 115–129. 2005. (doi: 10.1016/j.geomorph.2004.04.008).
- DEL RIO, L.; F.J. GRACIA. Error determination in the photogrammetric assessment of shoreline changes. *Natural hazards* 65 (3): 2385-2397. 2013. (doi:10.1007/s11069-012-0407).
- DOLAN, R.; FENSTER, M.S.; HOLME, S.J. Temporal Analysis of Shoreline Recession and Accretion. *Journal of Coastal Research* Vol. 7, No. 3. 723-744. 1991.
- FORNARI, M. Evolução sedimentar holocênica da retrobarreira na região de Jaguaruna-Laguna, Santa Catarina. Tese de

- Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 290 pp. 2010.
- FORNARI, M.; GIANNINI, P.C.F.; NASCIMENTO JR., D.R. Facies associations and controls on the evolution from a coastal bay to a lagoon system, Santa Catarina Coast, Brazil. *Marine Geology* 323–325. 56–68. 2012. (doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.margeo.2012.07.010>).
- FRYBERGER, S.G.; DEAN, G. Dune forms and wind regime. In: A Study of Global Sand Seas. MCKEE E.D. (ed.), Geological Survey Professional Paper 1052. US Government Printing Office: Washington, DC; 137–170. 1979.
- GAMBOA, L.A.P. & RABINOWITZ, P.D. The Rio Grande Fracture Zone in the western South Atlantic and its tectonic implications. *Earth and Planetary Science Letters*, Amsterdam, 52: 410–418. 1981.
- GENZ A.S.; FLETCHER C.H.; DUNN R.A.; FRAZER L.N.; ROONEY J.J. The predictive accuracy of shoreline change rate methods and alongshore beach variation on Maui, Hawaii. *Journal of Coastal Research*, 23(1): pp. 87–105. 2007. (doi: <http://dx.doi.org/10.2112/05-0521.1>).
- GIANNINI, P.C.F.; Sistemas Depositionais no Quaternário Costeiro entre Jaguaruna e Imbituba, SC. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 439 pp. 1993.
- GIANNINI, P.C.F.; SAWAKUCHI, A.O.; MARTINHO, C.T.; TATUMI, S.H. Eolian depositional episodes controlled by Late Quaternary relative sea level changes on the Imbituba–Laguna coast (southern Brazil). *Marine Geology*. 237: 143–168. 2007. (doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.margeo.2006.10.027>).
- GONZÁLEZ, M.; MEDINA, R.; GONZALEZ-ONDINA, J.; OSORIO, A.; MÉNDEZ, F.J.; GARCÍA, E. An integrated coastal modeling system for analyzing beach processes and beach restoration projects, SMC. *Computers & Geosciences*. 33 (7): 916–931. 2007. (doi: [10.1016/j.cageo.2006.12.005](http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2006.12.005)).
- HESP, P. A.; GIANNINI, P. C. F.; MARTINHO, C.T.; MIOT DA SILVA, G.; ASP, N.E. The Holocene Barrier Systems of the Santa Catarina Coast, Southern Brazil. In: DILLENBURG S.; HESP, P.A. (Eds). *Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil*. Springer-Verlag Lecture Notes in Earth Sciences 107p. Springer. 2009.
- HORN FILHO, N.; FELIX, A.; VIEIRA, C.V.; BAPTISTA, E.M.C. Geologia da planície costeira das Folhas Jaguaruna e Lagoa de Garopaba do Sul, SC, Brasil. *Revista Discente Expressões Geográficas*. (6). 90 – 110. 2010.
- LIST, J.H. Sedimentary budget. In: SCHWARTZ, M. L. (e.d.) *Encyclopedia of Coastal Science*. Springer. 846–850. ISBN 978-1-4020-1903-6. 2005.
- MARTINHO, C.T. Morfodinâmica e sedimentologia de campos de dunas transgressivos da região de Jaguaruna–Imbituba, Santa Catarina. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 108 pp. 2004.
- MARTINHO, C.T., Morfodinâmica e evolução de campos de dunas transgressivos quaternários do litoral do Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 241 pp. 2008.
- MARTINHO, C.T.; GIANNINI, P. C. F.; SAWAKUCHI, A. O.; HESP, P. A. Morphological and depositional facies of transgressive dunefields of the Imbituba–Jaguaruna region, Santa Catarina State, Southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, SI 39: 673 - 677. ISSN 0749-0208. 2006.
- MARTINHO, C.T.; HESP, P.A.; DILLENBURG, S.R. Morphological and temporal variations of transgressive dunefields of the northern and mid-littoral Rio Grande do Sul coast, southern Brazil. *Geomorphology* 117: 14–32. 2010. (doi: [10.1016/j.geomorph.2009.11.002](http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.11.002)).

- MARTINS, L.R.S.; MARTINS, I.R. Propriedades texturais dos sedimentos litorâneos de Santa Catarina. Trecho Laguna – Araranguá. *Pesquisas em Geociências*. 3: 17-34. 1974.
- MARTINS, E.M.; OLIVEIRA, J.F.; BITECOURT, V.J.B.; SCARELLI, F.M.; BIANCINI DA SILVA, A.; GRUBER, N.L.S.; ROSA, M.L.C.C.; BARBOZA, E.G. Comportamento evolutivo da barreira costeira junto ao Balneário Camacho, Jaguaruna/SC. *Gravel*, 12: 109-118. 2014.
- MIOT DA SILVA, G.; HESP, P.; KEIM, B.; MARTINHO, C.T.; FERLIGOJ, Y. Changes in dunefield geomorphology and vegetation cover as a response to local and regional climate variations. *Journal of Coastal Research*, SI 65: 1307-1312. ISSN 0749-0208. 2013.
- MIOT DA SILVA, G.; HESP, P. Increasing rainfall, decreasing winds, and historical changes in Santa Catarina dunefields, southern Brazil. *Earth surface process and landforms*. 38: 1036-1045. 2013. (doi: 10.1002/esp.3390).
- MUEHE, D.; KLUMB-OLIVEIRA, L. Deslocamento da linha de costa versus mobilidade praial. *Quaternary and Environmental Geosciences*. 5(2):121-124. 2014. (doi <http://dx.doi.org/10.5380/abequa.v5i2.35884>).
- MUEHE, D. Brazilian coastal vulnerability to climate change. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*. 5(2): 173-183. 2010.
- NASCIMENTO JR., D. R. Evolução sedimentar holocênica do delta do Rio Tubarão, SC. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 290 pp. 2010.
- NORDSTROM, K.F.; BAUER, B.O.; DAVIDSON-ARNOTT, R.G.D.; GARES, P.A.; CARTER, R.W.G.; JACKSON, D.W.T.; SHERMAN, D.J. Offshore aeolian transport across a bench: Carrick Finn Strand. *Ireland Journal of Coastal Research*, 664-672. ISSN 0749-0208. 1996.
- OLIVEIRA, J.F.; BARBOZA, E.G.; BENAVENTE, J. Nearshore Dynamics and Holocene Evolution of the Coastal Barrier South of the Santa Marta Cape, Southern Brazil. *Journal of Coastal Research*. SI 75: pp. 437-441. ISSN 0749-0208. 2016.
- ORSELLI, L. *Climatologia*. Gaplan- SC. Atlas de Santa Catarina. Aerofoto Cruzeiro, Rio de Janeiro, 38–39. 1986.
- PSUTY, N.P. Sediment budget and dune/beach interaction. *Journal of Coastal Research*. SI, 3, pp. 1–4. 1988.
- REGUERO B.G., MENÉNDEZ M., MÉNDEZ F.Z., MÍNGUEZ R., LOSADA I.J. A Global Ocean Wave (GOW) calibrated reanalysis from 1948 onwards. *Coastal Engineering*. 65: 38-55. 2012.(doi:10.1016/j.coastaleng.2012.03.00)
- ROSA, M.L.C.C. Análise gravimétrica e magnetométrica da região sul da Província costeira do Rio Grande do Sul, setor sudoeste da Bacia de Pelotas. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 79 p. 2009.
- SANJAUME, E.; GRACIA, F.J. (eds). *Las Dunas en España*. Sociedad Española de Geomorfología, 386 p. 2011.
- SAWAKUCHI, A.O.; GIANNINI, P.C.F.; MARTINHO, C.T.; TANAKA, A.P.B. Grain size and heavy minerals of the Late Quaternary eolian sediments from the Imbituba– Jaguaruna coast, Southern Brazil: depositional controls linked to relative sea-level changes. *Sedimentary Geology*. 222: 226–240. 2009.
- SEELIGER, U.; CORDAZZO, C.V.; OLIVEIRA, C.P.L.; SEELIGER, M. Long-term changes of coastal foredunes in the southwest Atlantic. *Journal of Coastal Research* 16: 1068–1072. 2000.
- SHERMAN, D. Problems on scale in the modeling and interpretation of coastal dunes. *Marine Geology*. 124. 339-349. 1995.
- SIEGLE, E.; ASP, N.E. Wave Refraction and Longshore Transport Patterns along the Southern Santa Catarina Coast. *Brazilian Journal of Oceanography*. 55: 109-120. 2007.

THIELER, E.R.; HIMMELSTOSS, E.A.; ZICHICHI, J.L.; ERGUL, A. Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0— An ArcGIS extension for calculating shoreline change:

U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278. 2009. TOMAZELLI, L.J. Contribuição ao Estudo dos Sistemas Depositionais do Nordeste da Província Costeira do Rio Grande do Sul, com Ênfase no Sistema Eólico. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 270 pp. 1990.

VIEIRA, C. V.; FELIX, A.; BAPTISTA, E. M. C.; HORN FILHO, N. O. Paleogeografia da planície costeira das folhas Jaguaruna e Lagoa de Garopaba do Sul, litoral sul do estado de Santa Catarina. *Geosul*. 24(47): 91-112. 2009.

VIEIRA DA SILVA, G.; CARVALHO, J.L.B.; KLEIN, A.H.F. Camacho Inlet Southern Brazil – Instability causes and user conflicts. *Ocean and Coastal Management*. 2011.doi:10.1016/j.ocecoama.n.2011.04.003).

Capítulo 4

Geomorphological and Stratigraphic Analysis Applied to Coastal Management



julio f. de oliveira <jfgeo@gmail.com>

Successfully received: submission GEOMORPHOLOGICAL AND STRATIGRAPHIC ANALYSIS APPLIED TO COASTAL MANAGEMENT for Ocean and Coastal Management

Ocean and Coastal Management <Evisesupport@elsevier.com>
Responder a: ocma@elsevier.com
Para: jfgeo@gmail.com

5 de abril de 2019 15:07

This message was sent automatically.

Ref: OCMA_2019_243
Title: GEOMORPHOLOGICAL AND STRATIGRAPHIC ANALYSIS APPLIED TO COASTAL MANAGEMENT
Journal: Ocean and Coastal Management

Dear Mr. Fernandes de Oliveira,

Thank you for submitting your manuscript for consideration for publication in Ocean and Coastal Management. Your submission was received in good order.

To track the status of your manuscript, please log into EVISE® at: http://www.evise.com/evise/faces/pages/navigation/NavController.jspx?JRNL_ACR=OCMA and locate your submission under the header 'My Submissions with Journal' on your 'My Author Tasks' view.

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,

Ocean and Coastal Management

Have questions or need assistance?

For further assistance, please visit our [Customer Support](#) site. Here you can search for solutions on a range of topics, find answers to frequently asked questions, and learn more about EVISE® via interactive tutorials. You can also talk 24/5 to our customer support team by phone and 24/7 by live chat and email.

Copyright © 2018 Elsevier B.V. | [Privacy Policy](#)

Elsevier B.V., [Radarweg 29, 1043 NX Amsterdam, The Netherlands](#), Reg. No. 33156677.

GEOMORPHOLOGICAL AND STRATIGRAPHIC ANALYSIS APPLIED TO COASTAL MANAGEMENT

Julio F. de Oliveira¹; Eduardo G. Barboza^{1,2}; Eduardo M. Martins³; Frederico M. Scarelli¹

¹ Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves 9500, Porto Alegre, RS, Brasil.

² Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves 9500, Porto Alegre, RS, Brasil.

³ Departamento de Ciências Naturais e Sociais, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Catarina, Rod. Ulysses Gaboardi, Km 3 Curitibanos, SC, Brasil.

ABSTRACT:

Many of the current conflicts related to inadequate planning of coastal land use are due to the negligence of the public knowledge about coastal dynamics. With the objective to support the Integrated Coastal Management actions and increase public knowledge, this study presents results obtained from the application of Remote Sensing and Ground Penetrating Radar (GPR) to demonstrate the medium and long-term behavior of the Cigana Beach's barrier evolution, located in southern Brazil. The stratigraphic record allowed to define the Holocene retrogradational stacking pattern of the coastal barrier at the study area. In a more recent scale, the average of shoreline changes obtained from control points on the aerial photos of 1938 and 1978, shows a historical erosion trend. Thus, the coastline displacement towards the mainland exposes that the current proposal of the mean high tide line of 1831, and consequently, the delimitation of the Marine Lands, is not correct. Currently, it is in the subaqueous part of the beach. Due to lack of information in local scale, and the consequent missing application of management tools and knowledge about coastal dynamic for decision-making to resolve land use conflicts, it is suggested to incorporate the knowledge generated in this work to apply municipal management instruments.

1. INTRODUCTION

Currently, many stretches of urbanized coastal areas that have been developed in retrogradational/transgressive barrier sectors are subjected to socioeconomic issues due to the retreat of the shoreline caused by erosive processes. These processes are inducing the collapse of coastal infrastructures owned by private and by public agencies (Hedge, 2010; Mentaschi *et al.*, 2018; MMA, 2018). Given this perspective, the incidence of the impact of wave action on anthropogenic facilities located on coastal areas is being intensified, and consequently, it is causing material, environmental and landscaping damage, as well as the lost of beaches recreational value.

However, many of the current problems related to coastal erosion on urbanized coastal areas are due to the negligence of the public knowledge about coastal dynamics. It resulted in inadequate planning of coastal land use in the past and for the future. Mainly because the natural adjustment of the coastal system due to the relative sea level variations, in different time scales (historical and geological) has not been considered.

In order to support Integrated Coastal Management (ICM) strategies, studies related to issues caused by coastal erosion have been carried by Marchand *et al.* (2011), Cabral *et al.* (2017), Gracia *et al.* (2018), Innocenti *et al.* (2018), Rangel-Buitrago *et al.* (2018) and Williams *et al.* (2018).

Numerous methodological approaches have been presented to mitigate or to predict damages caused by coastal erosion. Some of these studies have been done to evaluate the sediments dynamic as the main factor (Tonyes *et al.*, 2015; Rangel-Buitrago *et al.*, 2018). To predict and identify the hazards on coastal areas, several authors have used numerical modeling integrating land use, coastal erosion, and climate and oceanography data (Corbella and Stretch, 2012; Shilong *et al.*, 2013; Adamo *et al.*, 2014; Toimil *et al.*, 2017). Other authors have proposed methods that use data obtained from remote sensing that allows measuring the shoreline changes Mentaschi *et al.* (2018), Stancioff *et al.* (2018), Sowmya *et al.* (2019) e Valderrama-Landeros and Flores-de-Santiago (2019). Matthews *et al.* (2017) proposed a monitoring method through the analysis of multitemporal imagery using Google™ Earth Pro® as the data source. Cellone *et al.* (2016), Gracia *et al.* (2018), e Innocenti *et al.* (2018) has presented the use of eco-systematic mitigation measure to be

applied on coastal erosion management. Authors have suggested the use of sea level rise, precipitation, population trends, and recent climatic events, likewise the terrain topography, waves exposure, wave run-up, wave energy and angle approach as parameters to be considered for the analysis of the coastal vulnerability (Kantamaneni, 2016; Andrade *et al.*, 2019; Serafim *et al.*, 2019).

Frequently, actions taken by public agencies and/or property owners to mitigate the damages on infrastructure compromised by the landward movement of the ocean are stopgap. Therefore, the results are punctual and ineffective (Souza, 2009; Pilkey and Cooper, 2014). Most of the problematic sectors are experiencing erosional processes that have been developed over time, which tend to cause the losses of the continental area that are destined for human use and occupancy.

The coastline of the Pelotas Basin presents an alongshore variation between sectors that have an erosional and an accretional trend. These variations correspond with the retrogradational/transgressive and the progradational/regressive sectors of the Holocene barrier, respectively (Barboza *et al.*, 2018). According to Dillenburg *et al.* (2000, 2009), the transgressive barrier occurs at the projections (convex shape) of the coastline, while the regressive barrier occurs at the embayments (concave form). The sediments eroded at the projected stretches, besides to contribute to the development of large transgressive dunefields, they are transported by the littoral drift and are deposited at the embayments, where the regressive barrier occurs (Barboza and Rosa, 2014). In this way, the genesis of the Holocene barriers is related to a high sand supply availability that originates from the system itself (shoreface and inner continental shelf).

Dillenburg *et al.* (2000, 2009) defined different sectors at the Holocene barriers in the Rio Grande do Sul Coastal Plain (PCRS) that present different behavior on a long-term time scale. It was supported by subsurface studies carried out by Barboza *et al.* (2011), Dillenburg and Barboza (2014), Rocha *et al.* (2018), and Rosa *et al.* (2017). The authors applied the GPR methodology that showed different sedimentation patterns along the Pelotas Basin Holocene barrier. From the GPR surveys, they verified that sectors with a transgressive trend, the sedimentation patterns presented reflectors dipping towards the continent, as expected in retrogradational coastal barriers. Besides, the sectors with a regressive trend, presented the sedimentation geometry dipping towards the ocean, evidencing the

progradation of the barrier. Therefore, despite the relative decline of the sea level in the last six thousand years before the present (6 ka BP) in the Pelotas Basin region (Barboza and Tomazelli, 2003, Angulo *et al.*, 2006, Dillenburg *et al.*, 2009), other factors such as the intrinsic sedimentary dynamics of the coastal systems, have played an important role in the evolution of the barriers (Biancini da Silva, 2015; Rosa *et al.*, 2016, 2017).

Regarding the ICM aspects of the study area, the main instruments applied are: the State Coastal Management Plan (PEGC), established by State Law 13.553, November 16, 2005, which was finalized in 2010 and reviewed in 2013 (Santa Catarina, 2013); the Ecological Coastal Economic Zoning of the State of Santa Catarina (ZEEC) (Santa Catarina, 2010a); the Municipal Master Plan (PDM), instituted by Complementary Law 268, December 11, 2013; the Municipal Plan of Coastal Management (PMGC), established by Municipal Law No. 1.691, March 18, 2014; the Orla Project (MMA and MPOG, 2004); the Management Plan for the Environmental Protection Area of the *Baleia Franca* (Federal Decree, September 14, 2000, and published in December 2018, which corresponds to a conservation unit with 1,560 km² (land and sea) along 130 km, involving nine municipalities of the center-south coastal area of Santa Catarina; and Normative Guideline No. 02, March 12, 2001, of the Secretary of Federal Patrimony (SPU), which regulates the delineation of Marine Lands and their additions.

With the objective to support the ICM action, this study presents results obtained from the application of remote sensing and GPR, to demonstrate the behavior of the Cigana Beach's coastal barrier evolution trend, in a short and long-term temporal scale, located at the north sector of Pelotas Basin, southern Brazil.

2. REGIONAL SETTINGS

The Cigana Beach is the southernmost beach at Laguna municipality, Santa Catarina State. In a regional context, the Santa Marta Cape (Fig. 1) represents the northern sector of the Pelotas Basin coastline (Dillenburg and Barboza, 2014). According to Fernandez *et al.* (2019), this coastline segment is characterized by Quaternary plain formed by coastal sandy barriers and lagoons with "restinga" vegetation, in tempered climate condition. The Holocene Coastal Barrier system in the study area is defined as Barrier-Lagoon IV (Villwock *et al.*, 1986), and represents a high-frequency depositional sequence (Rosa *et al.*, 2011; 2017). The most

noticeable morphology characteristics are the presence of an expressive aeolian system, composed by a mobile dunefield that extends from the coastline to the margin of the lagoon system.

The sediments that compose Cigana Beach are characterized by fine and well-selected grains of Quartz, and according to Wright and Short (1984) morphodynamic classification, it is predominantly dissipative, presenting an intermediate beach state at the northeastern end, associated with the rocky basement controls (Giannini, 1993). A granite promontory limits the shoreline at the northeast end, and by Camacho artificial inlet at the southwestern end, which also represents the municipality limits between Laguna and Jaguaruna. Prior study has concluded that from 1927 until 90', the Camacho inlet was naturally connected to the sea only during storm surges or high rainfall events (Vieira *et al.*, 2011). To aid the fishing activities, the artificial inlet was constructed in the 1990s. Presently, due to the natural tendency of closure, the artificial inlet is maintained open by periodically dredging.

According to Alvares *et al.* (2014), the local average of annual precipitation is between 1300 and 1600 mm, and the annual temperature is between 18 and 20°C. Following Köppen's classification, the local climate is classified as subtropical, and constantly humid (Cfa), without dry season and with hot summers. Due to the South Atlantic's Tropical Anti-cyclone, during spring and summer, the winds are prevalent from E/NE, while during fall and winter the constant wind comes from the south due to the Mobile Polar Anti-cyclone (Orselli, 1986).

The region presents a semi-diurnal micro-tidal regime, with 0.6 m of the average range. However, when influenced by meteorological tides, the amplitude can be more expressive and reach 1 m (Giannini, 1993). According to Araujo *et al.* (2003), the wave regime is characterized by a sea wave predominantly from the east with the average period 8 s and 1.25 m wave height, and swell primarily from the south with an average period of 12s and wave height ranging from 1.25 to 2 m. In a regional scale, Siegle and Asp (2007) have identified a bidirectional character of the littoral drift. During fall, winter, and summer months it is predominantly directed to the north, and during spring months, it is directed to the south. However, after a detailed analysis carried out by Oliveira *et al.* (2016; 2017) at the locality, the authors identified a predominance of a southwestern littoral drift.

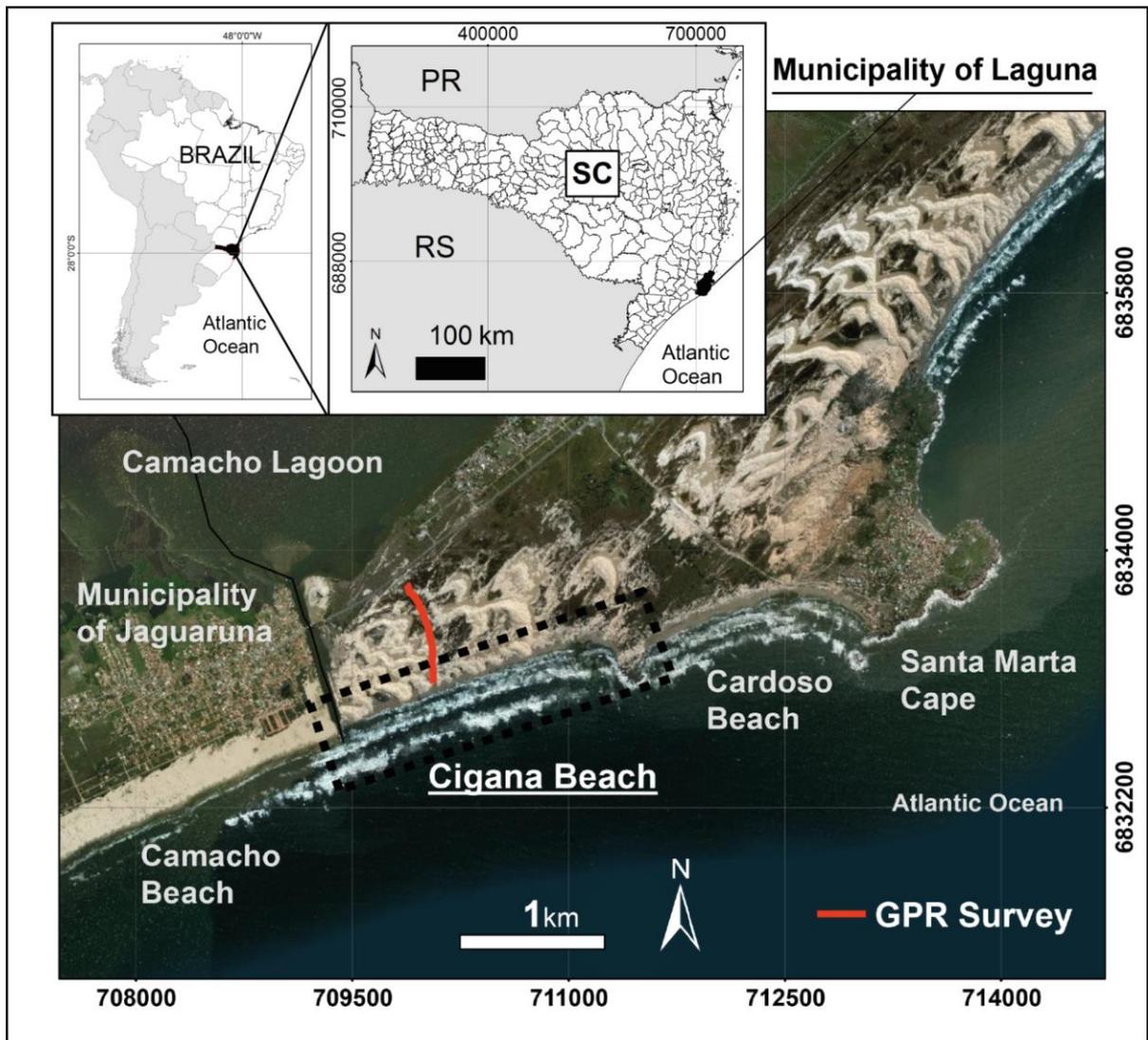


Figure 1 – The Study area Cigana Beach, Laguna, Santa Catarina/Brasil. The red line shows the GPR transect. Imagery source from Google™ Earth Pro®.

3. MATERIAL AND METHODS

This study is based on the geomorphologic analysis of remote sensing dataset (aerial photographs and satellite imagery) to assess the local coastal dynamic, and evolution on short- and long-time period. The authors analyzed the subsurface stratigraphy using the GPR methodology to evaluate the geometry of deposition of the coastal system. Additionally, the data collected has been integrated, analyzed, and associated with coastal management tools applied in the locality.

3.1 Geomorphological Analysis

Aerial Photographs from 1938 (1:30.000) and 1978 (1:25.000), obtained from Secretary of State for Sustainable Economic Development of the Santa Catarina

State (SDS/SC), have been georeferenced using Geographic Information System (GIS). The aerial photos from 2012 (1:10.000) (<< <http://sigsc.sds.sc.gov.br/> >>) has been used as a target for it. Due to the lack of metadata for the aerial surveys carried out in 1938 and 1978, has been used landmarks stable over time (e.g., house, streets, outcrops) that could be recognized in booth photos to georeferencing the images.

The geomorphological analysis has been carried out based on the identification of field measurements that are: 1) temporal evolution of coastal features, and their correlation over time; 2) the morphological pattern of the dunefield; 3) the direction of the dune migration; and 4) the variation of the coastline in a short-time period following Oliveira *et al.* (2017). For the temporal analysis, high-resolution imagery obtained from Google™ Earth Pro® has been used to identify recent morphological changes.

3.2 GPR Survey

The GPR data has been acquired using Cobra Plug-In GPR (Radarteam Sweden AB) data acquisition system with a SUBECHO SE-70 aerial antenna with a central frequency of 80 MHz, with a two-way-traveltime (TWTT) range of 900 ns, and this configuration penetrated 45 m depth. A high pass, stacking and gain filters were applied during the time of data acquisition. The profile (Fig. 1) has been surveyed using the common offset method through a walking perpendicular to the coastline and above the coastal dune deposition. To locate the profiles, the GPR had an integrated Global Navigation Satellite System (GNSS) Trimble® ProXRT unit, datum WGS84.

The raw data was post-processed with Radan™, Reflex-Win®, and Prism2® software packages, proceeding with trace analysis was used to validate the depositional environments (Leandro *et al.*, 2019), background removal, band-pass frequency filter (ORMSBY), gain equalization and time to depth conversion. A dielectric constant of 10 was used for wet sand to convert travel-time to depth, which represents a velocity of 0.09 m/ns (Daniels *et al.*, 1995). This constant is validated using lithological data obtained from a drill hole in another site (Dillenburg *et al.*, 2011). The data has been acquired in flat terrain. Consequently, it had not needed topography correction. The interpretation of the raw data was based on the method of seismostratigraphy (Payton, 1977) adapted to GPR (Neal, 2004), based on

termination (onlap, downlap, toplap, and truncations), geometry, pattern of reflections and stacking patterns (Neal and Abreu, 2009; Abreu *et al.*, 2010; Neal *et al.*, 2016).

3.3 ICM Rules and Regulations

The main actions proposed by PEGC were: 1) protecting e recovering watercourse banks; 2) reviewing the PDM to add the premises of the National Coastal Management Plan (PNGC II), Federal Law 7661, May 18, 1988; and 3) land use planning actions, to control the land use on Permanent Protected Areas (APP), to develop urban planning policies on areas defined by the ZEEC as “Human Occupation Nucleus”, and to review the urban perimeter and its constraints for its magnification.

The ZEEC and the PEGC present the coastal dynamic aspects in a detailed scale (1:50.000), and it has generated generic regional proposes that has been obtained from the socio-environmental study (Santa Catarina, 2010b). Thus, the spatial scales of the maps and the environmental information were not sufficient to aid the planning, controlling by the municipalities.

The PDM and PMGC are instruments that aim to improve the information and the zoning in a regional and national scale. Likewise, they incorporate guidelines for the municipal level. Even whether Laguna has not yet completed the ZEEC and the Municipal Coastal Management Plan, the PDM includes some instructions of the PNGC II and the National Environmental Policy established by the Federal Law nº 6.938, August 31, 1981.

Moreover, in the PDM the study area is described as an area where exist mobile and fixed dunes, and temporary lakes and “restingas”. Additionally, the PDM has recognized the local environmental fragility, and the landscape and cultural value of the area. Also, are included the guidelines for environmental studies and preservation, and the program for sustainability actions, e.g., a feasibility study for wind power plants, or expanding the urban area. However, it never has mentioned the geomorphologic aspect of the study area, whether it has a transgressive or regressive trend, and the impact of the local natural dynamic on the existents and futures anthropogenic facilities.

The Orla Project (MMA, 2004), seeks to organize and to plan the coastal area owned by the Union. Their recommendation is based on the classification of the

coastal area identifying the local coastal dynamic aspects, and has the goal to increase the participation of coastal communities, stakeholders, and decision-makers on the present and future management actions. Laguna municipality does not have any proposal to apply it.

The management plans are instruments for the territorial management that classify and establish rules for each conservation units according to space's capability, environmental sensitivity, and ecological relevance. The Management Plan for the Environmental Protection Area of the *Baleia Franca*, published in later 2018, was elaborated based on the integrated assessment of socioeconomic, biological and physical-geographic aspects of the territory. Regarding the physical-geographic elements, it has identified and evaluated depositional systems (aeolian, marine, lagoon), and coastal and oceanographic dynamic (tide, river discharge, lakes, and lagoons).

4. RESULTS

Through the analysis of the aerial photos and the field validation, the mobile dunefield is characterized by barcanoid dune chains and isolated barcanoid dunes. Nearby the margin of the lagoon traces of parabolic dunes has been noticed. The dunes migrate parallel to the shoreline (NE-SW), starting at the beaches north until southern of the Santa Marta Cape. Part of the sediments of the dunefield precipitates in the Camacho artificial inlet, and it causes an interruption on the aeolian sediment transport, and consequently, it decreases the sediment supply southern of the artificial inlet.

Evaluating the geomorphologic aspects of the 1938 aerial photos (Fig. 2) is possible to observe that the entire coastal barrier had the prevalence of mobile dune presence that migrated parallel to the shoreline from NE to SW. It is possible to find that part of the sediments from the dune were deposited inside the lagoon, and the connection between Camacho Lagoon and the Atlantic Ocean did not exist. The morphology clearly shows the existence of drainage that happens from the dunefield towards the lagoon. It was recognized by the morphological feature that are shaped as an intra-lagoon delta. Regarding the coastline from 1938 and its actual position (2012), a coastline displacement landward has been observed, with average retreat values of 60 m and mean annual rates of 0.81 m/yr.

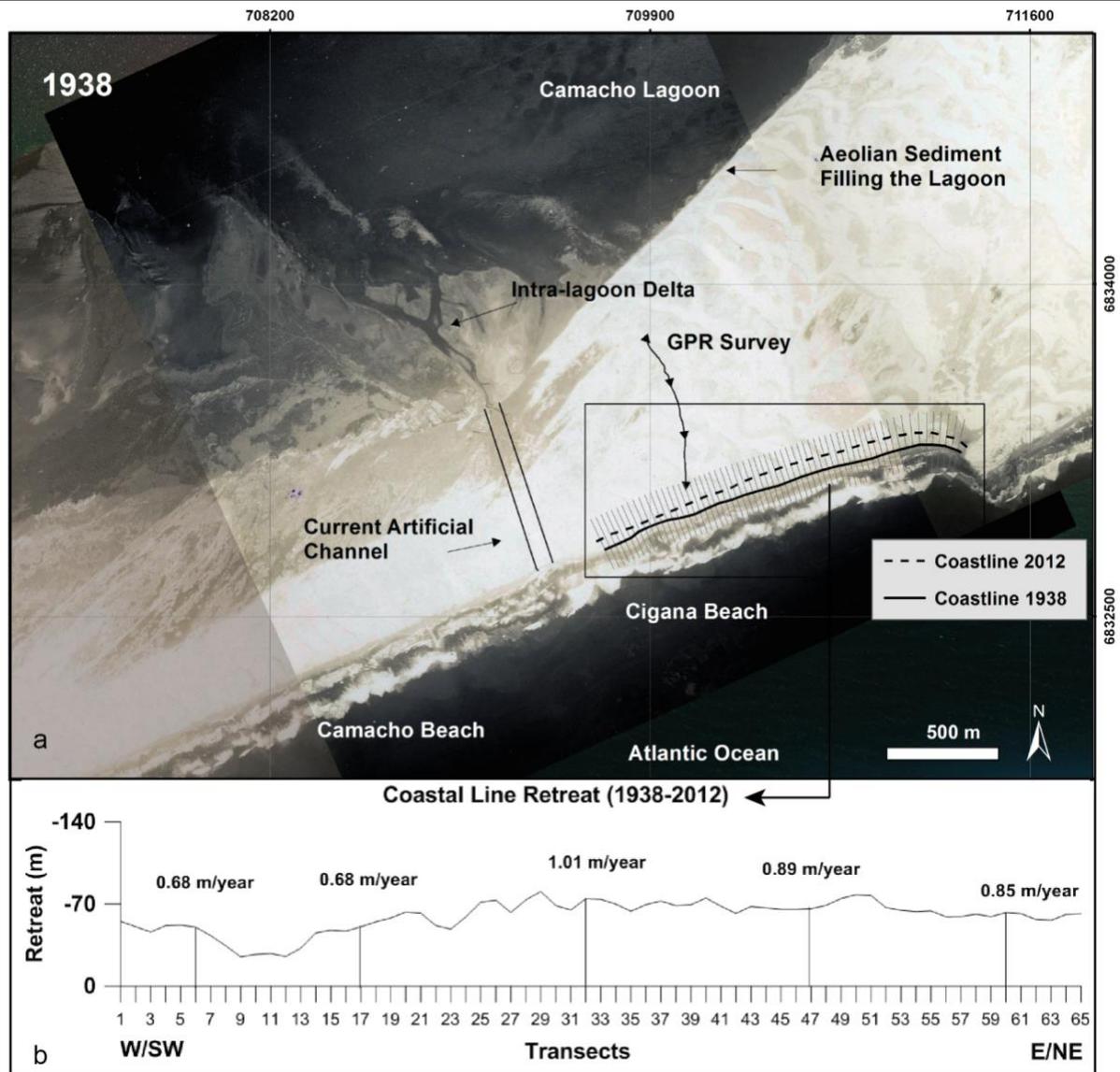


Figure 2 – Aerial photo from 1938, provided by SDS/SC. It indicates geomorphological aspects, the location of the GPR survey, and the shoreline changes rate between 1938 and 2012 (after Oliveira *et al.*, 2017).

The analysis of the aerial photo from 1978 (Fig. 3) allows identifying the presence of a tidal flood delta well developed. It indicates that when the connection between the lagoon and the sea was open, the sediment from the beach and the aeolian sediments were transported and deposited inside the lagoon. Analyzing Camacho beach, about 1 km southwestern from the Cigana beach, washover deposits and small lakes aligned to old trail ridges have been noticed.

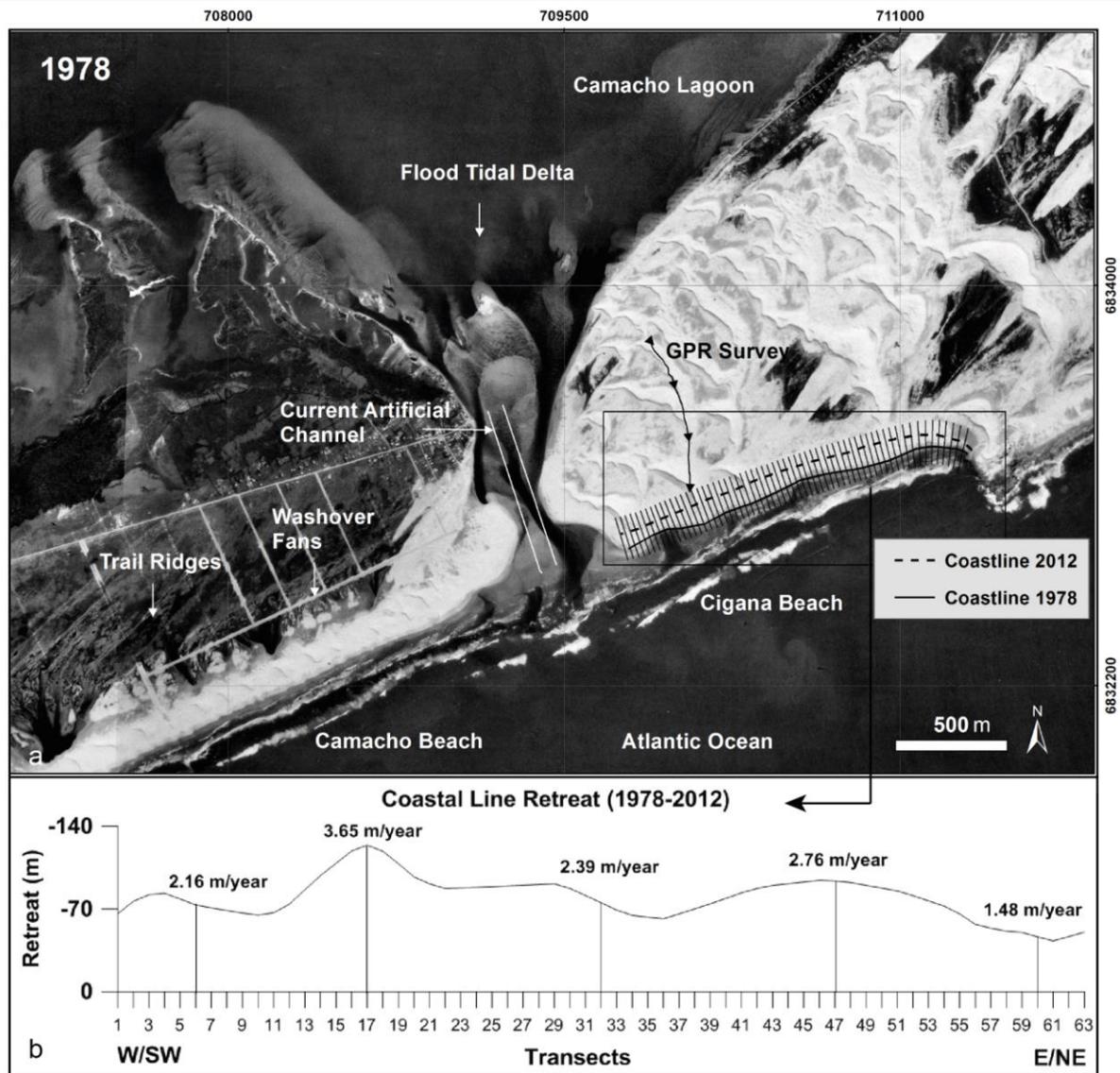


Figure 3 – Aerial photo from 1978, provided by the Sustainable Economic Development Secretary of Santa Catarina State. It indicates geomorphological aspects, the location of the GPR survey, and the shoreline changes rate between 1938 and 2012 (after Oliveira *et al.*, 2017).

To estimate the dunefield displacement rate, two dune crest features have been measured through high-resolution imagery analysis in 2003, 2009, 2013 e 2017. The calculation shows an average rate displacement of about 14 m/yr (Fig. 4).

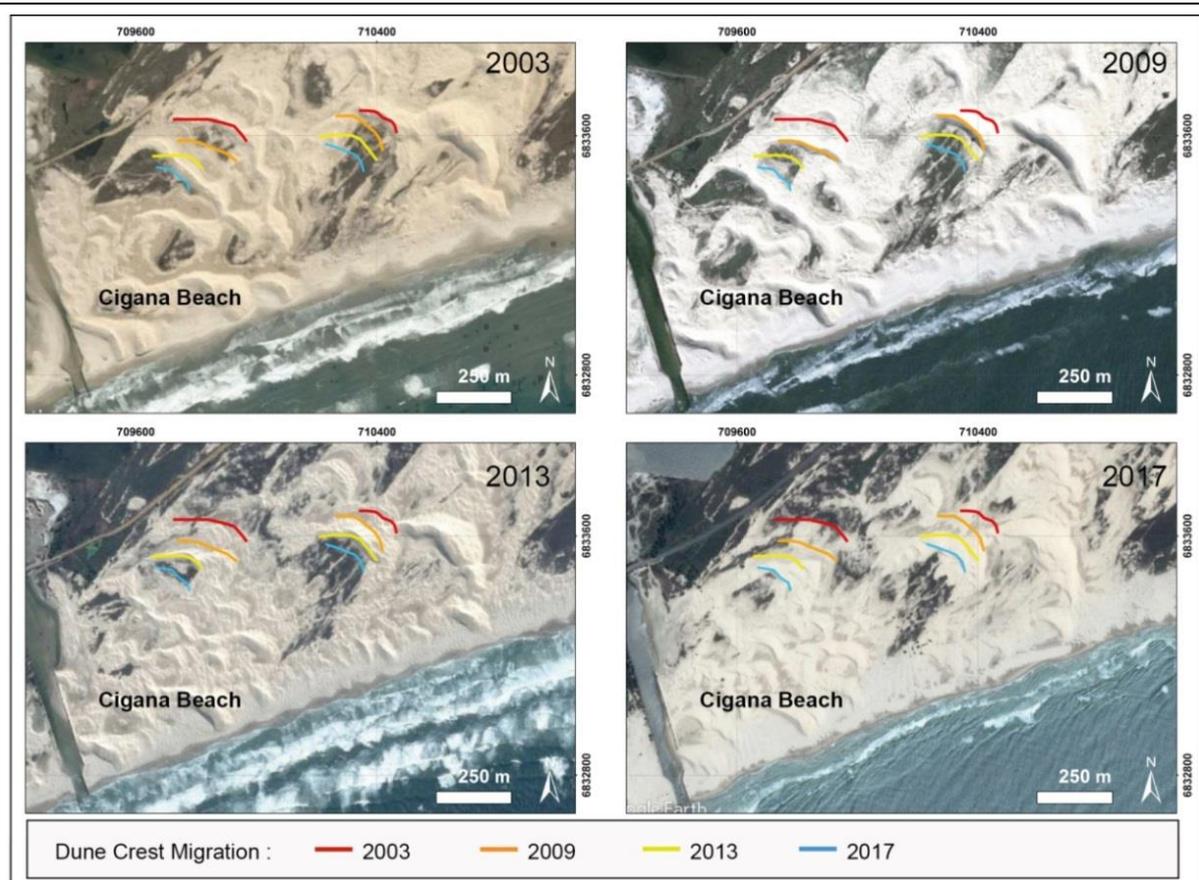


Figure 4 – Movement of dune crest during 2003 (red line), 2009 (orange line), 2013 (green line), and 2017 (blue line). Starting from above and left going clockwise the images from 2003, 2009, 2013, and 2017. Imagery source from Google™ Earth Pro®.

Discussing the GPR records surveyed perpendicular to the shoreline at Cigana beach (Fig. 5), a high-amplitude reflector at -25 m with erosive truncations at its base has been observed, and it is above downlap reflectors. The two cited aspect represents an erosive surface associated with an unconformity.

Regarding the units, four radarfacies (Rdf) were recognized (Table 1): 1) Rdf I, it was identified at the base of the GPR section, about -27 to -18 m. This unit presents reflector with a chaotic pattern and strong signal attenuation, and at the top of this unit reflectors with high-amplitude are present. 2) Rdf II that shows continuous and high-amplitude reflectors, with landward downlap termination, and with low thicknesses and low angles bellow Rdf III. Additionally, it has a sigmoid/oblique to oblique/tangential clinofolds that shows high thickness and high angles over Rdf I. 3) Rdf III is observed between -16 and -3 m, this radarfacies can be found in a succession of intercalation, the reflectors are parallel and continuous, slightly waved,

with low angle, and the thickness is less than 3 m, it presents high-amplitude of the signal. 4) Rdf IV is on the top of the data registered, reaching a maximum of -3 m. A continuous and undulating high-amplitude reflector, parallel and sub-parallel to the surface, mark it.

Table 1 – Correlation between the interpretation of the radarfacies and the depositional unit.

Unit	Image	Radarfacies
Aeolian deposits		IV
Lagoonal bottom deposits		III
Lagoonal margin/Pro-delta deposits		II
Pleistocene substrate		I

The GPR section obtained is shown in Fig. 5, and it presents the expected stacking pattern for a retrogradational barrier. The interpretation of the coastal environments from the standards of the radarfacies identified in the GPR section, allow the authors to identify at the base of the data the Pleistocene substrate associated to the Rdf I. Above it, intercalation of radarfacies Rdf II and Rdf III has been identified. It was interpreted as lagoon bottom and margin deposits. The Rdf IV on the top of the GPR section represents the more recently unit, and it is characterized by the straight cut of the dune migration direction, and represent the most recent aeolian deposition. It is possible to notice a strong attenuation of the signal at -10 and -25 m at the end of the section and nearby the shoreline (right of the GPR section) that represents the influence of the saltwater wedge.

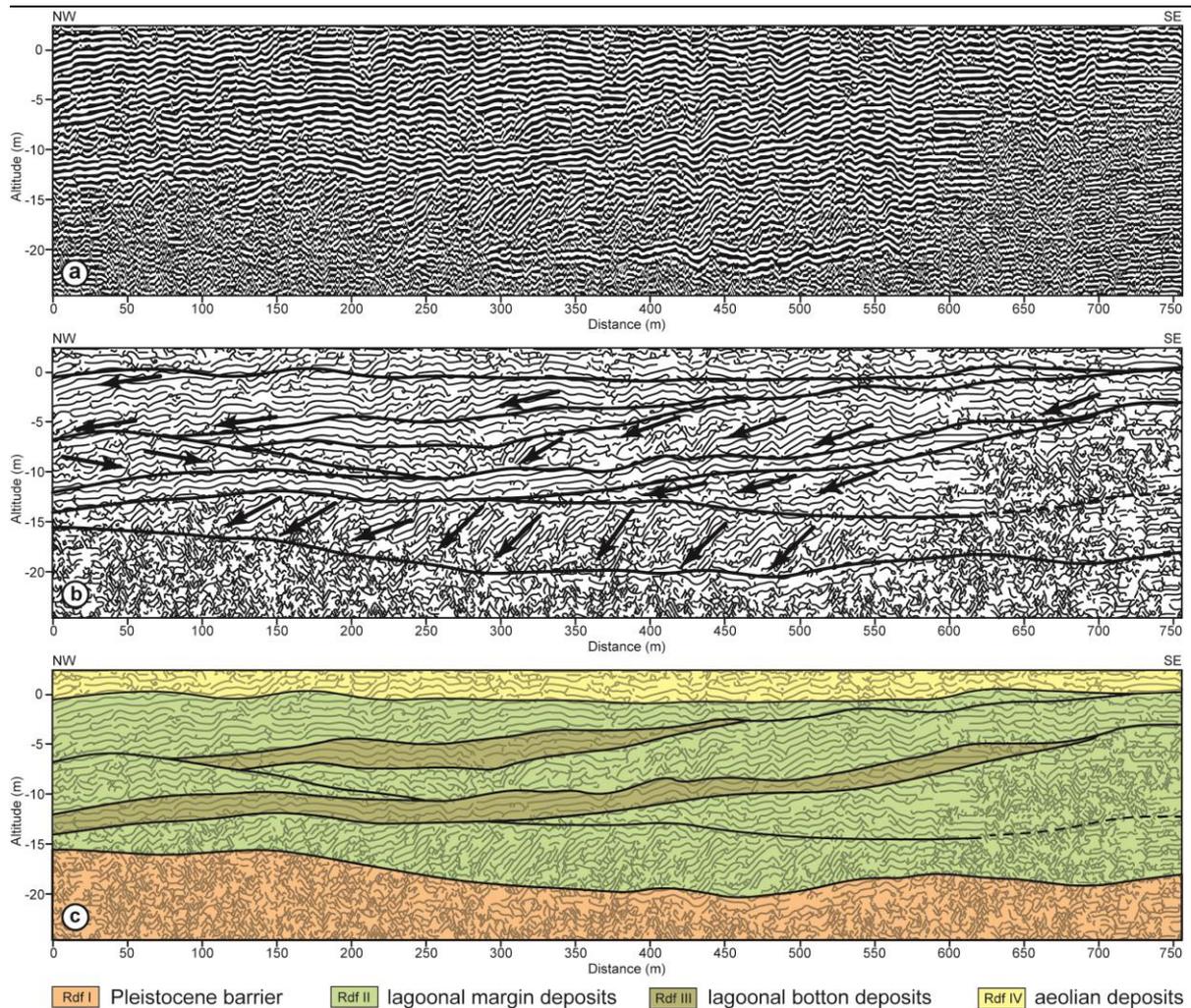


Figure 5 – GPR section interpretation showing the retrogradational stacking pattern and radarfacies/depositional units at the Cigana beach coastal barrier.

5. DISCUSSION

Most studies regarding transgressive barriers show that the main processes for sediments transfer towards the barrier and the lagoon system happen through overwash or tidal channel migration (Roy *et al.*, 1995; Cattaneo and Steel, 2002). According to Lima *et al.* (2013) and Rosa *et al.* (2016), due to the width of the Holocene transgressive barrier in southern Brazil, transfer sediments to the lagoon system through overwash processes is not possible.

Thus, the analysis of the results indicates two main processes related to the transgression of Cigana beach coastal barrier. The first one was developed based on the analysis of sediments distribution inside the Camacho Lagoon (Gonçalves Oliveira 2004). The granulometric analysis indicates the presence of fine sand

gradient between fine sand in the South and East part of the lagoon, and silt in the North and West. This observation indicates that sediments of the southern area of the lagoon come from the aeolian system present in the Holocene barrier, and they have been transported into the lagoon by the NE wind. This wind direction is predominant in the study area and can remove and transport the eroded sediment from the shoreface into the lagoon system and to other sectors of the coastal barrier (Fig. 2).

The second process verified in the transgressive stretches of the Pelotas Basin happens through the drainage channels formed in the interdunes. They allow the sediment from the barrier to deposit into the lagoon through the creation of small into-lagoon delta (Lima *et al.*, 2013; Rosa *et al.*, 2016). These small deltas are very well characterized in the aerial photo from 1938 (Fig. 2).

Therefore, the Rdf II identified in the GPR record presenting sigmoidal geometry that has been interpreted in the present work as the lagoonal margin/pro-delta, represents the sediments that have been transported into the lagoon system through drainage channels formed in the interdunes. The Rdf II, represented by deposits of lagoonal margin/pro-delta, allows estimating the relative sea-level for the time of this deposition according to the sea level curve proposed by Corrêa (1996).

The paleo-bathymetry of the lagoon system from the first record of Rdf II (between -20 and -12 m in Fig. 5), occurred at -11 m below the current sea-level. This proposed paleo-bathymetry is based on current observations of the relative level of coastal lagoons, and it is around 1 m above the current relative sea-level (Rosa *et al.*, 2016). The correlation of this information, with the curve proposed by Corrêa (1996) indicates that the deposition of the Rdf II occurred between 7.5 and 7 ka BP.

According to Corrêa (1996) from 8 to 6,5 ka BP, the sea-level rose from 0.6 to 1.6 cm/yr. The Rdf II represents the increment of the rate for this period. Results from Biancini da Silva (2015) using GPR data, and Santos-Fisher *et al.* (2018) using palynology data, indicates a marine influence similar to the results obtained in this work. The connections of these results allow us to propose that there are teleconnections related to the allogenic process along the Pelotas Basin.

Taking as a basis the presence of Rdf II as a first indication of the presence of the Holocene barrier in the stratigraphic record, it is predictive that at 7.5 ka BP the barrier was positioned offshore than the actual position. By observing the pattern of the stratigraphy, it shows that the reflectors alternate in four phases (Rdf II and Rdf

III), and they are migrating towards the continent. It means that during the Holocene the coastal barrier had a strong aggradation component, which is associated with the retrogradation of the barrier. This behavior, occurs over hundreds or thousands of years, demonstrating the dynamic character of the coastal system.

Analysis of GPR profiles made by Martins *et al.* (2014) and Oliveira *et al.* (2016) in coastal areas nearby the study area (Camacho and Garopaba do Sul, at the municipality of Jaguaruna), shows reflectors patterns that are typical of transgressive barriers. The data shows downlap terminations dipping landward. Additionally, Rosa *et al.* (2017) in a regional analysis of the Pelotas Basin's Holocene, indicates that the south sector of Santa Marta Cape, where the study area is located, presents a retrogradational stacking pattern, and this behavior is corroborated in this study.

However, Fornari *et al.* (2012) interpreted the evolutionary history of the region for the last 8 ka BP, and propose the gradual closure of a paleo-bay by sand spits. Before the closing of the coastal barrier, and the consequent formation of the lagoon system in the region of Santa Marta Cape, these authors affirm that the marine influence (water and sediments) occurred through an inlet only.

Nevertheless, from the information presented by Martins *et al.* (2014) and Oliveira *et al.* (2016), the subsurface data, and the geomorphological indicators observed on the 1938 and 1978 aerial photographs for the study area, indicate that events of high rainfall and storm surges occasionally broke the barrier through the drainage channels among the dunefield. Due to the morphology of the dunes that are barchanoid and barchan chains, and their spatial arrangement that are perpendicular to the coastline, the intermittent inlets had been formed. Thus, when considering the processes through the stratigraphy analysis, and related to the retrogradation process of the coastal barrier from the upper Pleistocene and during the Holocene, the evolution of the coastal barrier over this period has always had a spatial continuity — occasionally presenting an ephemeral segmentation caused by extreme ocean-meteorological events.

Analyzing the regional nearshore dynamic based on a recent scale approach, the low contribution for the sediment supply by the littoral drift is another factor that contributes to the sediment deficit and the consequent shoreline displacement landward (Oliveira *et al.*, 2016, 2017). According to Oliveira *et al.* (2016), in this

sector of the coastline exist an inversion of the coastal drift direction (from NE to SW). It results in the entrapment of the sediments that come from the coastal cells located at north of Santa Marta Cape.

The findings from Oliveira *et al.* (2017) can be corroborated by Giannini (1993), who identified digitiform ponds that are activated during storm surge events when the water level rise allows the water to pass through the interdunes that are oblique to the coastline. The digitiform features are vestiges of trail ridges that are generated by the path of the dune. It creates small ridges that act as dams that accumulate water. Through a temporal analysis of aerial photographs, the authors observed that the dunefield in the study area had been depleted since 1938. It is evidenced by the increase of wet and the vegetated regions that are related to local and regional climatic changes (Martinho *et al.* 2010; Miot da Silva and Hesp, 2013; Miot da Silva *et al.*, 2013).

The average rate of dune movement in the area under study has been measured at approximately 14 m/yr. It is higher than the measurement carried out by Martins *et al.* (2018) at Camacho beach (located SW of the Camacho artificial inlet) that presents a rate of about 10 m/yr. The difference between the rates can be related to the interruption of the sediment supply to Camacho beach's dunefield, which is fed by the Camacho artificial inlet. Regarding the position of the coastline in 1978, and the comparison with its current position, an average retreat in the order of 80 m landward, with an erosion rate of 2.34 m/yr has been noticed (Oliveira *et al.*, 2017).

According Miot da Silva and Hesp (2013) and Miot da Silva *et al.* (2013) where the change favors the growth of vegetation, consequently the sand supply will decrease. The reduction of the sediments supply, the fixation of dunes, and the remaining sand sheets act decreasing the sediments that return to the beach. Because of the orientation of this coastal stretch that is E-W oriented, it is contributing on reducing the sediment supply and accelerating the erosive process.

Based on the previous identification of the coastal dynamic and evolution aspects, the authors evaluated whether the results of these process have been incorporated into the ICM tools. Regarding the ZEEC of Santa Catarina State, the prevalent part of the study was classified as a "Predominant Preservation Zone", due to the presence of mobile dunefields and its untouched natural aspects. Nearby the

lagoon, two other zones were identified, one as "Predominant Rural", where there is a small nucleus of artisanal fishermen; and another as "Restricted Use", which is a transition stretch among areas destined for preservation and occupation.

The area of Cigana Beach was classified as a "Restricted Use Zone" by the APA management plan, because of the presence of dunes and ecosystem associated, and the existence of low anthropogenic areas, where new constructions are not allowed. According to the management plan, the goal of these areas is to maintain the natural environment, and to align the responsive land use with resources protection to keep the ecological processes and the biodiversity of the region.

The mean high tide line from 1831 (LPM-1831) is the legal framework for the definition of immovable property of the Federal Government (Federal Decree-Law No. 9760, dated September 05, 1946) defined by SPU (Secretary of Federal Patrimony). In this work, the Federal land is the Marine Lands that are represented by the 33 m coastal stretch from the LPM-183 towards the mainland, and the added Marine lands that are continental areas that have advanced seaward, naturally or artificially, going beyond of the LPM-1831 limits.

The Marine Lands were established from the shape of the coast in 1831. It is based on documentary research (the oldest reliable information will be used), determination of the altimetry (arithmetic mean of the maximum monthly tides of 1831), and field observations. In the study area, despite the retrogradational/transgressive behavior identified in this work, the LPM-1831 was established between 250 and 300 m from the current coastline towards the mainland.

However, when the coastline change rates are calculated for the period between 1938 and 2012, the three scenarios used to define the coastline location in 1831 (Scenario 1: maximum rate equal to 1.09 m/yr; Scenario 2: average rate of 0.81 m/yr; and Scenario 3: minimum rate equal to 0.34 m/yr) indicate that the LPM-1831 would be located in a submerged area (Fig. 6).

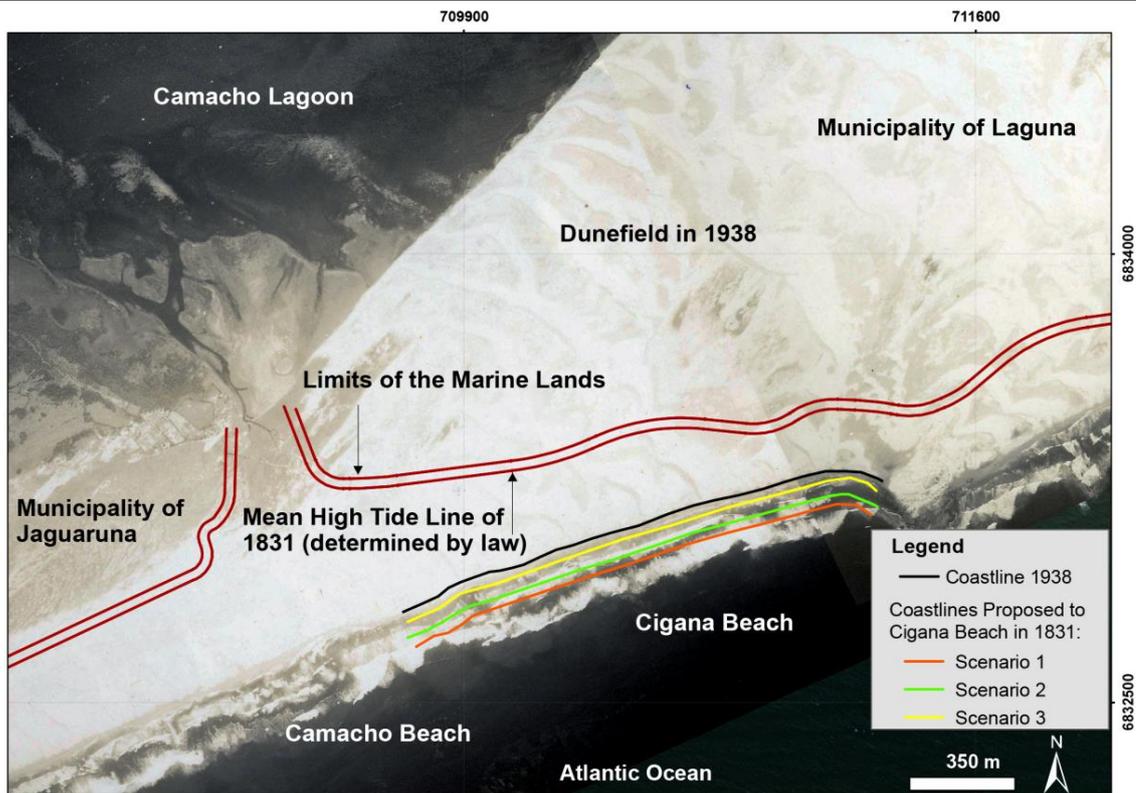


Figure 6 - Representation of inferred coastlines for 1831, based on erosion rates obtained between 1938 and 2012, and over the aerial photography of 1938: Scenario 1, erosion rate = 1.09 m/yr (orange); Scenario 2, erosion rate = 0.81 m/yr (green); Scenario 3, erosion rate = 0.34 m/yr (yellow). In black, the coastline of 1938; in red, the mean high tide line of 1831 and the limit of the Marine Lands defined by law.

Once the local coastal dynamics have been identified, the authors assessed the integration of the physical environment knowledge, into the municipal management instruments. It has been noticed that these instruments incorporate the knowledge about local coastal dynamics and coastal evolution since they are relevant factors for the decision making. However, the surveys, the data organization, the analysis, and the information obtained are based on a larger spatial scale that is on state and/or national level, while the main problems on the coastal zone are on a municipal scale. The consequence of this mismatching between scales are the inefficiency of the ICM actions due to the lack of detail about the local physical environment.

Considering the scale mismatching cited above, the knowledge about the coastal dynamic in a large spatial scale is applied only generally into the municipal

ICM plans. Additionally, has been identified that the municipal tools (e.g., the PDM) have incorporated the directives of higher-level ICM tools (state or federal). However, in most cases, its application needs decisions and actions based on technical knowledge obtained from local scale studies.

As an example, the Camacho artificial inlet that needs to be dredged continuously to maintain its connection with the ocean and then favor the fishing activity of the local community. Nevertheless, this action transformed a coastal lake into a lagoon. Also, the maintenance of the connection between the lagoon and the ocean helps the circulation and exchange of water inside the lagoon system, which is used as a receiving water system of domestic and agricultural effluents without treatment. However, the artificial inlet interrupts the sediment supply for the dunefield located SW (already depleted). In this case, the discussion about the effects of the changes on the local coastal dynamics goes beyond environmental issues. It encompasses socioeconomic repercussions, but no mention of this problem was cited in any of the ICM instruments.

Another notable example, are related to the Marine Lands located in the study area. These lands cover half of the dunefield. However, the retrogradational characteristics observed in the study area, do not corroborate the hypothesis that the coastline in 1831 was between 250 and 300 m landward. In this case, the delimitation proposed, which shows the non-observance of the coastal dynamics, results in an overlapping of the public rules in a natural area with multiple functions, including urban use and occupation. Thus, the discussion about the incorporation of local coastal dynamics' knowledge into the implementation of legal procedures involves more than technical argumentation. It needs to consider also the interests of the stakeholders and decision-makers.

Regarding Cigana beach's coastal barrier, the area does not have the human occupation. Then, it is essential to propose the creation of a preservation area. Thus, the inadequate occupancy conditions observed at Praia do Camacho (Cristiano *et al.*, 2017) will not be reproduced. According to Cristiano *et al.* (2018), applying the Coastal Landscapes Assessment System proposed by Ergin *et al.* (2002, 2004, 2006, 2011), Cigana beach is classified as a Class III sector (mostly natural areas with low landscape value). However, due to the lack of urban occupation and the

scenic beauty of this coastal sector. For the main purpose of preserving the area, it is suggested that this sector should be classified as a Class I (beautiful natural sites).

6. CONCLUSION

The stratigraphic record allowed to define the Holocene retrogradational stacking pattern of the coastal barrier at the study area. Additionally, the average of shoreline changes obtained from control points on the aerial photos of 1938, show a historical erosion trend. The coastline displacement towards the mainland exposes that the current proposal of the line LPM-1831, and, consequently, the delimitation of the Marine Lands, is not correct. Currently, it is in the subaqueous part of the beach.

Calculating the movement rate of the dune at the study area, and comparing it with the rates obtained southern of Camacho artificial inlet, the authors can affirm that the human-made changes on the artificial inlet inhibit the natural dynamic and the sediment supply for the dune field southward.

Due to lack of information in local and municipal scale, and the consequent missing application of management tools and knowledge about coastal dynamic for decision-making to resolve land use conflicts, it is suggested to incorporate the knowledge generated in this work to apply municipal management instruments. Furthermore, based on the scenic context and the natural character of the area, the authors suggest that the study area should be destined only for recreation uses, and/or for creating a municipal conservation unit.

Finally, the authors concluded that the application of remote sensing and GPR techniques, focused on geomorphological analysis and stratigraphy analyzes to understand the coastal processes at different time scales, are efficient. Additionally, it can be applied to evaluating the adherence of coastal management instruments related to the local coastal dynamic, as well as, for proposing new strategies for the ICM. Then, it will be based on the knowledge of the local coastal dynamic in municipal and local scale. In this way, the biggest challenge is to transform the knowledge obtained in this work into legal and practical information tools for decision-makers and public managers, solving the local conflicts related to coastal land use.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors Julio F de Oliveira and Eduardo G. Barboza thanks to CNPq/CAPES for providing their research fellowships (CNPq-140741/2012-7 e CAPES-BEX 8003/14-

9). This research was supported in part by the grant from the Fundação de Apoio da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (FAURGS) (04467 GEO/MUNICÍPIO DE JAGUARUNA - IAP 000097).

REFERENCES

- Abreu, V.S., Neal, J., Vail, P.R., 2010. Integration of Sequence Stratigraphy concepts. In: Abreu, V.S.; Neal, J.; Bohacs, K.M., and Kalbas, J.L. (Eds.), Sequence Stratigraphy of siliciclastic systems – The ExxonMobil Methodology: atlas of exercises, pp. 209-224.
- Adamo, F., Capua, C., Filianoti, P., Lanzolla, A.M.L., Morello, R., 2014. A coastal erosion model to predict shoreline changes. *Measurement* 47, 734-740. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2013.09.048>
- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M., Sparovek, G., 2014. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22, 711-728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Andrade, T.S., Sousa, P.H.G.O., Siegle, E., 2019. Vulnerability to beach erosion based on a coastal processes approach. *Applied Geography* 102, 12-19. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.11.003>
- Angulo, R.J., Lessa, G.C., Souza, M.C., 2006. A Critical Review of Mid- to Late Holocene Sea-Level Fluctuations on the Eastern Brazilian Coastline. *Quaternary Science Reviews* 25, 486-506. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2005.03.008>
- Araújo, C.E.S., Franco, D., Melo, E., Pimenta, F., 2003. Wave regime characteristics of southern Brazilian Coast. In: Proceedings of the Sixty International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries, COPEDEC VI, Sri Lanka. Ed. Colombo, 2003. Paper n°. 097. pp. 1-15 (CD-ROM).
- Barboza, E.G., Tomazelli, L.J., 2003. Erosional features of the eastern margin of the Patos Lagoon, southern Brazil: significance for Holocene history. *Journal of Coastal Research*, SI 35, 260-264.
- Barboza E.G., Rosa M.L.C.C., 2014. Indicadores geológicos e geomorfológicos de setores em erosão na costa do Rio Grande do Sul, Brasil. In: Goso C. (Ed.),
-

Problemática de Los Ambientes Costeiros. Sur de Brasil, Uruguay y Argentina, DIRAC, pp. 83-98. <https://doi.org/10.13140/2.1.4628.9602>

Barboza, E.G., Rosa, M.L.C.C., Hesp, P.A., Dillenburg, S.R., Tomazelli, L.J., Ayup-Zouain, R.N., 2011. Evolution of the Holocene coastal barrier of Pelotas Basin (southern Brazil) – a new approach with GPR data. *Journal of Coastal Research* SI 64, 646-650.

Barboza, E.G., Rosa M.L.C.C., Caron, F., 2014. Metodologia de Aquisição e Processamento em Dados de Georradar (GPR) nos Depósitos Quaternários da Porção Emersa da Bacia de Pelotas. In: VI Simpósio Brasileiro de Geofísica. Resumos Expandidos 1, 1-6. <https://doi.org/10.13140/2.1.3369.5047>

Barboza, E.G., Rosa, M.L.C.C., Dillenburg, S.R., Watanabe, D.S.Z., Esteves, T., Martins, E.M., Gruber, N.L.S., 2018. Diachronic Condition Between Maximum Transgressive and Maximum Eustatic Sea-Level in Holocene: Subsidies for Coastal Management. *Journal of Coastal Research* SI 85(1), 446-450. <https://doi.org/10.2112/SI85-090.1>

Biancini da Silva, A., 2015. A herança geológica, a geomorfologia e a estratigrafia da barreira complexa de Passo de Torres, Planície Costeira Sul-Catarinense. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. (Ph.D. Thesis). <http://hdl.handle.net/10183/132834>

Cabral, P., Augusto, G., Akande, A., Costa, A., Amade, N., Niquisse, S., Atumane, A., Cuna, A., Kazemi, K., Mlucasse, R., Santha, R., 2017. Assessing Mozambique's exposure to coastal climate hazards and erosion. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 23, 45-52. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.04.002>

Cattaneo, A., Steel, R.J., 2003. Transgressive deposits: a review of their variability. *Earth-Science Reviews* 62 (3–4), 187-228. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(02\)00134-4](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(02)00134-4)

Cellone, F., Carol, E., Tosi, L., 2016. Coastal erosion and loss of wetlands in the middle Río de la Plata estuary (Argentina). *Applied Geography* 76, 37-48. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.09.014>

-
- Corbella, S., Stretch, D.D., 2012. Predicting coastal erosion trends using non-stationary statistics and process-based models. *Coastal Engineering* 70, 40-49. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2012.06.004>
- Corrêa, I.C.S., 1996. Les variations du niveau de la mer durant les derniers 17.500 ans BP: l'exemple de la plate-forme continentale du Rio Grande do Sul-Brásil. *Marine Geology* 130(1/2), 163-178. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(95\)00126-3](https://doi.org/10.1016/0025-3227(95)00126-3)
- Cristiano, S.C., Barboza, E.G., Martins, E.M., Gruber, N.L.S., 2017. Caracterização da costa marinha do Balneário Camacho (Santa Catarina, Brasil) como subsídio à gestão. *Journal of Integrated Coastal Zone Management* 17(1), 37-63. <https://doi.org/10.5894/rgci-n98>
- Cristiano, S.C., Portz, L.C., Anfuso, G., Rockett, G.C., Barboza, E.G., 2018. Coastal scenic evaluation at Santa Catarina (Brazil): Implications for coastal management. *Ocean & Coastal Management* 160, 146-157. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.04.004>
- Daniels, J., Roberts, R., Vendl, M., 1995. Ground penetrating radar for the detection of liquid contaminants. *Journal of Applied Geophysics* 33, 195-207. [https://doi.org/10.1016/0926-9851\(95\)90041-1](https://doi.org/10.1016/0926-9851(95)90041-1)
- Dillenburg, S.R., Barboza, E.G., 2014. The strike-fed sandy coast of Southern Brazil. In: Martini, I.P., Wanless, H.R. (Eds.), *Sedimentary Coastal Zones from High to Low Latitudes: Similarities and Differences*. Geological Society, London, Special Publications Vol. 388. pp. 333-352.
- Dillenburg S.R., Roy P.S., Cowell P.J., Tomazelli L.J., 2000. Influence of antecedent topography on coastal evolution as tested by the Shoreface Translation-Barrier Model (STM). *Journal of Coastal Research* 16, 71-81.
- Dillenburg, S.R., Barboza, E.G., Tomazelli, L.J., Hesp, P.A., Clerot, L.C.P., Ayup-Zouain, R.N., 2009. The Holocene coastal barriers of Rio Grande do Sul. In: Dillenburg, S.R., Hesp, P.A. (Eds.), *Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil*. Springer, Lecture Notes in Earth Sciences Vol. 107. pp. 53-91. https://doi.org/10.1007/978-3-540-44771-9_3
-

-
- Dillenburg, S.R., Barboza, E.G., Hesp, P.A., Rosa, M.L.C.C. 2011. Ground Penetrating Radar (GPR) and Standard Penetration Test (SPT) records of a regressive barrier in southern Brazil. *Journal of Coastal Research* SI 64, 651-655.
- Ergin, A., Williams, A.T., Micallef, A., Karakaya, S.T., 2002. An innovate approach to coastal scenic evaluation. In: Ozhan, E. (Ed.), *Beach Management in the Mediterranean and the Black Sea*. MEDCOAST, Turkey, pp. 215-226.
- Ergin, A., Karaesmen, E., Micallef, A., Williams, A.T., 2004. A new methodology for evaluating coastal scenery: fuzzy logic systems. *Area* 36(4), 367-386. <https://doi.org/10.1111/j.0004-0894.2004.00238.x>
- Ergin, A., Williams, A.T., Micallef, A., 2006. Coastal Scenery: Appreciation and Evaluation. *Journal of Coastal Research* 22(4), 958-964. <https://doi.org/10.2112/04-0351.1>
- Ergin, A., Karaesmen, E., Uçar, B., 2011. A quantitative study for evaluation of coastal scenery. *Journal of Coastal Research* 27(6), 1065-1075. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-09-00093.1>
- Fernandez, G.B., Rocha, T.B., Barboza, E.G., Dillenburg, S.R., Rosa, M.L.C.C., Angulo, R.J., Souza, M.C., Oliveira, L.H.S., Dominguez, J.M.L., 2019. Natural Landscapes Along Brazilian Coastline. In: Salgado, A.A.R., Santos, L.J.C., Paisani, J.C. (Eds.), *The Physical Geography of Brazil - Environment, Vegetation and Landscape*. pp. 199-218. https://doi.org/10.1007/978-3-030-04333-9_10
- Fornari, M., Giannini, P.C.F., Nascimento Junior, D.R., 2012. Facies associations and controls on the evolution from a coastal bay to a lagoon system, Santa Catarina Coast, Brazil. *Marine Geology* 323–325, 56-68. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2012.07.010>
- Giannini, P.C.F., 1993. *Sistemas Depositionais no Quaternário Costeiro entre Jaguaruna e Imbituba, SC*. São Paulo, Inst. Geoc. Univ. S. Paulo. (Ph.D. Thesis). <https://doi.org/10.11606/T.44.1993.tde-11032013-133424>
- Gonçalves Oliveira, D.A., 2004. *Caracterização bio-sedimentológica e proposta de setorização das lagoas de Camacho e Garopaba do Sul e Santa Marta*,
-

-
- Santa Catarina, Brasil. Universidade Federal de Santa Catarina. (M.Sc. Dissertation). <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/86946>
- Gracia, A., Rangel-Buitrago, N., Oakley, J.A., Williams, A.T., 2018. Use of ecosystems in coastal erosion management. *Ocean & Coastal Management* 156, 277-289. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.07.009>
- Hegde, A.V., 2010. Coastal erosion and mitigation methods — global state of art. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences* 39(4), 521-530. <http://hdl.handle.net/123456789/10799>
- Innocenti, R.A., Feagina, R.A., Huff, T.P., 2018. The role of Sargassum macroalgal wrack in reducing coastal erosion. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 214, 82-88. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.09.021>
- Kantamaneni, K., 2016. Counting the cost of coastal vulnerability. *Ocean & Coastal Management* 132, 155-169. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2016.08.019>
- Leandro, C.G., Barboza, E.G., Caron, F., Jesus, F.A.N., 2019. GPR trace analysis for coastal depositional environments of southern Brazil. *Journal of Applied Geophysics* 162, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.jappeog.2019.01.002>
- Lima, L.G., Dillenburg, S.R., Medeanic, S., Barboza, E.G., Rosa, M.L.C.C., Tomazelli, L.J., Dehnhardt, B.A., Caron, F., 2013. Sea-level rise and sediment budget controlling the evolution of a transgressive barrier in southern Brazil. *Journal of South American Earth Science* 42, 27-38. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2012.07.002>
- Luo, S., Wang, H., Cai, F., 2013. An integrated risk assessment of coastal erosion based on fuzzy set theory along Fujian coast, southeast China. *Ocean & Coastal Management* 84, 68-76. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2013.07.007>
- Marchand, M., Sanchez-Arcilla, A., Ferreira, M., Gault, J., Jiménez, J.A., Markovic, M., Mulder, J., van Rijn, L., Stănică, A., Sulisz, W., Sutherland, J., 2011. Concepts and science for coastal erosion management – An introduction to the CONSCIENCE framework. *Ocean & Coastal Management* 54, 859-866. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2011.06.005>
-

-
- Martinho, C.T., Hesp, P.A., Dillenburg, S.R., 2010. Morphological and temporal variations of transgressive dunefields of the northern and mid-littoral Rio Grande do Sul coast, Southern Brazil. *Geomorphology* 117, 14-32. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.11.002>
- Martins, E.M., Oliveira, J.F., Bitencourt, V.J.B., Scarelli, F.M., Biancini da Silva, A., Gruber, N.L.S., Rosa, M.L.C.C., Barboza, E.G., 2014. Comportamento Evolutivo da Barreira Costeira junto ao Balneário do Camacho, Jaguaruna/SC. *Gravel* 12(1), 109-118.
- Martins, E.M., Gruber, N.L.S., Barboza, E.G., Cristiano, S.C., Prestes, L.D., Manzolli, R.P., Portz, L.C., Rockett, G.C., Oliveira, J.F., Oliveira, R.M., Franchini, R.A.L., Bitencourt, V.J.B., Watanabe, T.P., Leal, R.A., Braga, R.B., Fontes, J.L.B., Watanabe, D.S.Z., Vianna, N.Z., Ferreira, B.F., Fagundes, M.R., Villela, M.M., Esteves, T., Azarias, P.C., 2018. Subsídios para o planejamento estratégico costeiro do município de Jaguaruna, Santa Catarina. *Desenvolvimento e Meio Ambiente* 44, 267-289. <https://doi.org/10.5380/dma.v44i0.54885>
- Matthews, Y., Scarpa, R., Marsh, D., 2017. Using virtual environments to improve the realism of choice experiments: A case study about coastal erosion management. *Journal of Environmental Economics and Management* 81, 193-208. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2016.08.001>
- Mentaschi, L., Voudoukas, J.F.P., Voukouvalas, E., Feyen, L., 2018. Global long-term observations of erosion and accretion. *Nature Scientific Reports* 8, 12876. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-30904-w>
- Miot da Silva, G., Hesp, P.A., 2013. Increasing rainfall, decreasing winds, and historical changes in Santa Catarina dunefields, southern Brazil. *Earth Surface Process and Landforms* 38, 1036-1045. <https://doi.org/10.1002/esp.3390>.
- Miot da Silva, G., Martinho, C.T., Hesp, P.A., Keim, B.D., Ferligoj, Y., 2013. Changes in dunefield geomorphology and vegetation cover as a response to local and regional climate variations. *Journal of Coastal Research*, SI 65, 1307-1312. <https://doi.org/10.2112/SI65-221.1>
- MMA – Ministério do Meio Ambiente; MPOG - Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. 2004. Projeto orla: Subsídios para um projeto de gestão. Brasília/DF: MMA. 101p.
-

-
- MMA – Ministério do Meio Ambiente; MPOG - Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. 2018. Panorama da Erosão costeira no Brasil. Organização Dieter Muehe. Brasília/DF. 759p.
- Neal, A., 2004. Ground-penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems and progress. *Earth-Science Reviews* 66(3-4), 261-330. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2004.01.004>
- Neal, J., Abreu, V., 2009. Sequence stratigraphy hierarchy and the accommodation succession method. *Geology* 37(9), 779-782. <https://doi.org/10.1130/G25722A.1>
- Neal, J., Abreu, V., Bohacs, K.M., Feldman, H.R., Pederson, K.H., 2016. Accommodation succession ($\delta A/\delta S$) sequence stratigraphy: observational method, utility and insights into sequence boundary formation. *Journal of the Geological Society* 173(5), 803-816. <https://doi.org/10.1144/jgs2015-165>
- Oliveira, J.F., Barboza, E.G., Benavente, J., 2016. Nearshore Dynamics and Holocene Evolution of the Coastal Barrier South of the Santa Marta Cape, Southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, SI 75, 437-441. <https://doi.org/10.2112/SI75-088.1>
- Oliveira, J.F., Scarelli, F., Martins, E.M., Barboza, E.G., Fagundes, M.R., 2017. O Aporte Sedimentar às Praias da Cigana e do Cardoso, Cabo de Santa Marta, Santa Catarina, Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia* 18(2), 295-310. <https://doi.org/10.20502/rbg.v18i2.1160>
- Orselli J., 1986. Climatologia. In: GAPLAN – SC. Atlas de Santa Catarina. Rio de Janeiro, pp 38-39
- Rangel-Buitrago, N., Jongeb, V.N., Neal, W., 2018. How to make Integrated Coastal Erosion Management a reality. *Ocean and Coastal Management* 156, 290-299. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.01.027>
- Payton, C.E., 1977. *Seismic Stratigraphy — Applications to Hydrocarbon Exploration*. 26 Memoir AAPG, Tulsa (516 p).
- Pilkey, O.H., Cooper, J.A.G., 2014. Are natural beaches facing extinction? *Journal of Coastal Research*: SI 70, 431-436. <https://doi.org/10.2112/SI70-073.1>
-

-
- Rocha, C.M., Barboza, E.G., Niencheski, L.F.H., 2018. Radon activity and submarine groundwater discharge in different geological regions of a coastal barrier in Southern Brazil. *Environmental Earth Sciences* 77, 527. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7711-0>
- Rosa, M.L.C.C., Barboza, E.G., Dillenburg, S.R., Tomazelli, L.J., Ayup-Zouain, R.N., 2011. The Rio Grande do Sul (southern Brazil) shoreline behavior during the Quaternary: a cyclostratigraphic analysis. *Journal of Coastal Research* SI 64, 686-690.
- Rosa, M.L.C.C., Hoyal, D.C., Barboza, E.G., Fedele, J., Abreu, V.S., 2016. River-dominated deltas: upscaling autogenic and allogenic processes observed in laboratory experiments to field examples of small deltas in southern Brazil. In: Budd, D.A., Hajek, E.A., Purkis, S.J. (Eds.), *Autogenic Dynamics and Self-organization in Sedimentary Systems*. SEPM Special Publication 106. pp. 176-197. <https://doi.org/10.2110/sepm-sp.106.13>
- Rosa, M.L.C.C., Barboza, E.G., Abreu, V.S., Tomazelli, L.J., Dillenburg, S.R., 2017. High-frequency sequences in the Quaternary of Pelotas Basin (coastal plain): a record of degradational stacking as a function of longer-term base-level fall. *Brazilian Journal of Geology*, 47(2), 183-207. <http://dx.doi.org/10.1590/2317-4889201720160138>
- Roy, P.S., Cowell, M.A., Ferland, M.A., Thom, B.G., 1995. Wave-dominated coasts. In: Carter, R.W.G., Woodroffe, C.D. (Ed.), *Coastal Evolution – Late Quaternary Shoreline Morphodynamics*. Cambridge, Cambridge University Press. pp. 121-186. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511564420.006>
- SANTA CATARINA. Secretaria do Planejamento. 2013. Revisão do Plano de Gestão da Zona Costeira Setor 04 - Centro-Sul. Florianópolis/Santa Catarina: SPG. 41p. Disponível em << www.spg.sc.gov.br/acoes/20-gerco >>, acessado dia 20/01/2019.
- SANTA CATARINA. Secretaria do Planejamento. 2010a. Implantação do Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro - Fase 1: Zoneamento Ecológico Econômico Costeiro Setor Litoral Centro-Sul. Florianópolis/Santa Catarina: SPG. 160p. Disponível em << www.spg.sc.gov.br/acoes/20-gerco >>, acessado dia 20/01/2019.
-

-
- SANTA CATARINA. Secretaria do Planejamento. 2010b. Implantação do Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro - Fase 1: Diagnóstico Socioambiental Setor Litoral Centro-Sul. Florianópolis/Santa Catarina: SPG. 493p. Disponível em << www.spg.sc.gov.br/acoes/20-gerco >>, acessado dia 20/01/2019.
- Santos-Fischer, C.B., Weschenfelder, J., Corrêa, I.C.S., Stone, J.R., Dehnhardt, B.A., Bortolin, E.C., 2018. A Drowned Lagunar Channel in the Southern Brazilian Coast in Response to the 8.2-ka Event: Diatom and Seismic Stratigraphy. *Estuaries and Coasts* 41, 1601-1625. <https://doi.org/10.1007/s12237-018-0373-z>
- Serafim, M.B., Siegle, E., Corsi, A.C., Bonetti, J., 2019. Coastal vulnerability to wave impacts using a multi-criteria index: Santa Catarina (Brazil). *Journal of Environmental Management* 230, 21-32. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.09.052>
- Shilong, L., Houjie, W., Feng, C., 2013. An integrated risk assessment of coastal erosion based on fuzzy set theory along Fujian coast, southeast China. *Ocean & Coastal Management* 84, 68-76. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2013.07.007>
- Siegle, E., Asp, N.E., 2007. Wave refraction and longshore transport patterns along the Southern Santa Catarina coast. *Brazilian Journal of Oceanography* 55(2), 109-120. <https://doi.org/10.1590/S1679-87592007000200004>
- Souza, C.R.G., 2009. A erosão costeira e os desafios da Gestão Costeira no Brasil. *Journal of Integrated Coastal Zone Management* 9(1), 17-37. <https://doi.org/10.5894/rgci147>
- Sowmya, K., Dhivya Sri, M., Baskaran, A.S., Jayappa, K.S., 2019. Long-term coastal erosion assessment along the coast of Karnataka, west coast of India, International. *Journal of Sediment Research*, <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2018.12.007>
- Stancioff, C.E., Vermeer, J., Mukhopadhyay, A., Ruiter, S., Brown, G., Hofman, C.L., 2018. Predicting coastal erosion in St. Kitts: Collaborating for nature and culture. *Ocean & Coastal Management* 156, 156-169. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.09.015>
-

-
- Toimil, A., Losada, I.J., Camus, P., Díaz-Simal, P., 2017. Managing coastal erosion under climate change at the regional scale. *Coastal Engineering* 128, 106-122. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2017.08.004>
- Tonyes, S.G., Wasson, R.J., Munksgaard, N.C., Evans, K.G., Brinkman, R., Williams, D.K., 2015. Sand dynamics as a tool for coastal erosion management: A case study in Darwin Harbour, Northern Territory, Australia. *Procedia Engineering* 125, 220-228. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.032>
- Valderrama-Landerosa, L., Flores-de-Santiago, F., 2019. Assessing coastal erosion and accretion trends along two contrasting subtropical rivers based on remote sensing data. *Ocean and Coastal Management* 169, 58-67. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.12.006>
- Vieira da Silva, G., Carvalho, J.L.B., Klein, A.H.F., 2011. Camacho Inlet Southern Brazil – Instability causes and user conflicts. *Ocean and Coastal Management* 54(8), 569-576. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2011.04.003>
- 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 South America and Antarctic Peninsula* 4. pp. 79-97.
- Williams, A.T., Rangel-Buitrago, N., Pranzini, E., Anfuso, G., 2018. The management of coastal erosion. *Ocean & Coastal Management* 156, 4-20. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.03.022>
- Wright, L.D., Short, A.D., 1984. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A synthesis. *Marine Geology* 56(1–4), 93-118. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(84\)90008-2](https://doi.org/10.1016/0025-3227(84)90008-2)
-

Capítulo 5

Considerações Finais

5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

A mobilidade e a dinâmica de um sistema costeiro e os processos físicos que atuam em diferentes escalas de tempo, geralmente não são considerados na tomada de decisão por parte dos gestores públicos da zona costeira. Muitos dos conflitos socioambientais atuais relacionados ao uso e ocupação do espaço litorâneo, são decorrentes da negligência ao conhecimento disponível.

Conforme exposto no capítulo 1, a evolução de uma barreira costeira é regida pela combinação entre processos alóctones (ex.: nível relativo do mar) e autóctones (ex.: dinâmica costeira). Durante o estágio final da Transgressão Marinha Pós-Glacial, as barreiras costeiras da região foram transladando sobre a plataforma continental e antepraia, no sentido do continente. Após atingir o máximo eustático, iniciou-se o rebaixamento do nível do mar até o presente e, nesse contexto de trato de nível do mar em queda, seria esperado a formação de barreiras regressivas/progradacionais a partir de uma regressão forçada (Rosa, 2012).

Contudo, diversos trabalhos ao longo da Bacia de Pelotas demonstram que há uma alternância longitudinal entre setores regressivos/progradacionais e transgressivos/retrogradacionais da barreira holocênica (Barboza *et al.*, 2011; Dillenburg *et al.* 2000; Rosa *et al.*, 2011; Dillenburg & Hesp, 2009; Lima *et al.*, 2013; Biancini da Silva *et al.*, 2014; Dillenburg & Barboza *et al.*, 2014; Rosa *et al.*, 2017; Barboza *et al.*, 2018). Essa variação longitudinal está atrelada ao fato de que, no período após o máximo eustático (cerca de 5,6 ka A.P) até os dias atuais, os processos costeiros intrínsecos da bacia passaram a ter maior influência no comportamento e evolução da barreira costeira holocênica ao longo da Bacia de Pelotas. Nesse contexto, o entendimento da dinâmica costeira da área de estudo permite inferir os principais processos atuantes na evolução recente da barreira costeira holocênica no extremo norte da Bacia de Pelotas.

5.1. – A Herança Geológica e a Influência na Hidrodinâmica Local

O substrato no qual a barreira holocênica da área de estudo está assentada, é representado pelos depósitos pleistocênicos formados há aproximadamente 125 ka A.P. A herança geológica da topografia antecedente, representada pela morfologia do fundo submarino, pela inclinação da antepraia/plataforma continental interna e pela orientação da linha de costa, são fatores que influenciam diretamente

na forma que as ondas se aproximam da costa e, conseqüentemente, no regime hidrodinâmico litorâneo.

Segundo Dillenburg *et al.* (2000), a topografia antecedente condiciona gradientes de energia de ondas através dos processos de refração e de foco de incidência de ondas ao longo da costa, determinando setores com balaço sedimentar negativo, positivo e setores estáveis. Os autores supracitados constataram que ao longo do litoral do Rio Grande do Sul, a alternância entre projeções e embaixamentos costeiros acompanha um padrão em que os setores protuberantes da linha de costa possuem uma antepraia e plataforma interna com inclinação acentuada, onde ocorrem ondas de maiores alturas e predominam os processos erosivos, ao passo que nas reentrâncias essa inclinação é mais suave, as ondas possuem menores alturas e predominam processos de deposição sedimentar.

A análise da declividade da antepraia e da plataforma continental interna (perfis traçados entre a linha isobatimétrica de -50 m e a linha de costa) a partir da batimetria da Carta Náutica “Do Cabo de Santa Marta a Araranguá” (Diretoria de Hidrografia e Navegação - escala 1:100000) indicou uma clara tendência de diminuição da largura e aumento da inclinação do substrato rumo ao norte, em direção ao Cabo de Santa Marta (Figura 26). No litoral sul, próximo à desembocadura do Rio Urussanga a declividade é de 0.098° ; no litoral central na altura do Balneário Arroio Corrente, 0.148° ; e no litoral norte, 0.397° , próximo a Praia da Cigana.

Na análise comparativa da área de estudo com outros setores costeiros da região, Biancini da Silva (2015) apresenta dados da inclinação da antepraia e plataforma continental interna obtidos por para o litoral ao sul da área de estudo desta tese, pertencente ao mesmo embaixamento costeiro (trecho de 70 km aproximadamente, entre Araranguá no litoral sul de SC e Curumim, litoral norte do RS) que evidenciam uma maior largura e, conseqüentemente, menor inclinação da antepraia e plataforma interna. Portanto, em um contexto regional, a maior inclinação do substrato do embaixamento costeiro que se inicia no litoral norte do RS e termina próximo ao Cabo de Santa Marta, é no setor próximo ao cabo, onde está localizada a área de estudo da presente tese.

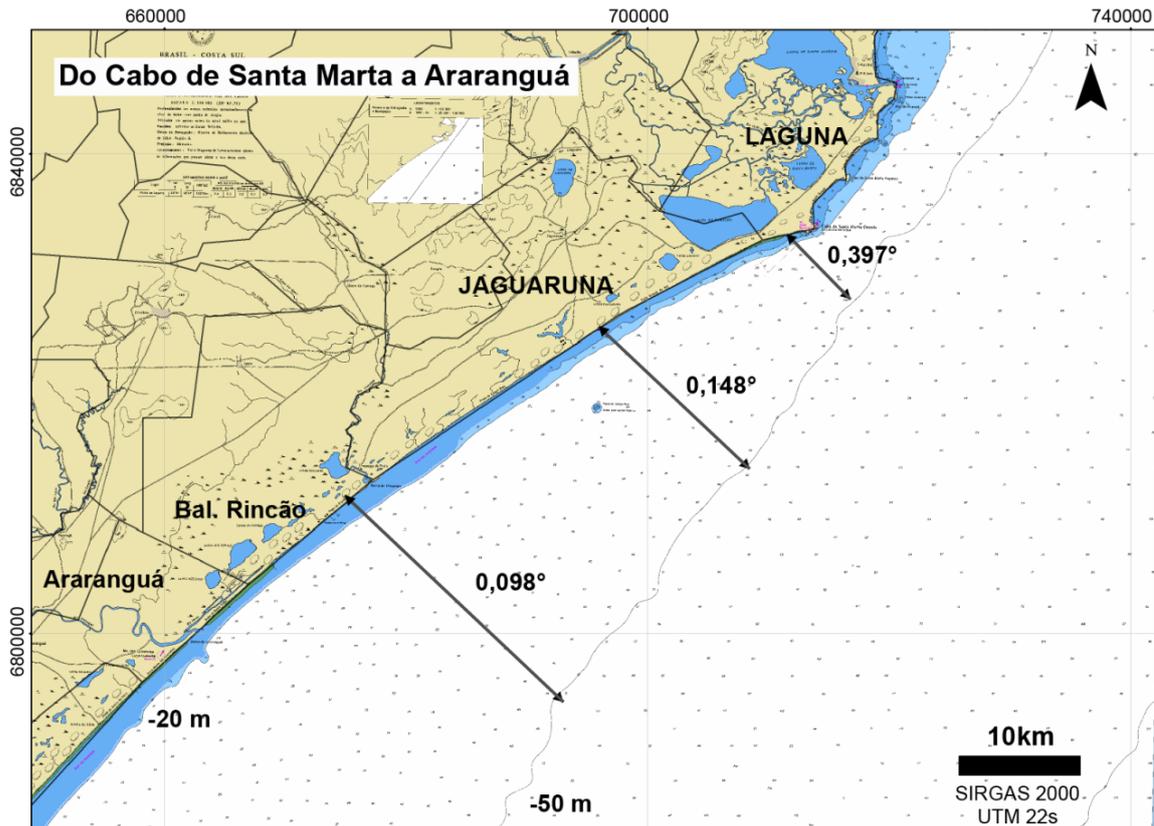


Figura 26: Inclinação da antepraia e plataforma continental interna a partir da Carta Náutica N° 1910 da DHN (Escala 1:100000).

A configuração da linha de costa atual também é um produto da herança geológica, e, portanto, possui papel fundamental no balanço de sedimentos costeiros. A orientação da linha de costa condiciona o padrão de ondas incidentes, bem como o sistema de correntes geradas pela arrebentação das ondas. No litoral sul e central da área de estudo, a linha de costa atual acompanha a orientação da barreira pleistocênica presente à retaguarda da barreira holocênica, com ângulos de N53°E e N65°E respectivamente. No litoral norte observa-se uma acentuada inflexão da linha de costa, que passa a apresentar uma orientação de N80°E nas proximidades do Cabo de Santa Marta (Figura 27).

Deste modo, a herança geológica exerce influência direta no padrão hidrodinâmico da área, com focos de concentração de energia de ondas e zonas de sombra, sobretudo em função: i) da mudança na orientação da linha de costa e; ii) das variações da profundidade junto ao Cabo de Santa Marta (aproximação da linha batimétrica de -50 m da linha de costa atual) e próximo à Laje da Jaguaruna (localizada há cerca de 5 km do balneário Campo Bom).

A análise do clima de ondas na área de estudo (Anexos A, B e C) evidencia que as ondas provenientes de sul e sudeste atingem o litoral ao sul do cabo com maiores alturas, se comparadas às ondas oriundas do quadrante leste. O setor norte apresenta maiores valores de fluxo médio de energia de ondas em comparação ao litoral sul (Oliveira *et al.*, 2016). Isso se deve ao fato de que as ondas incidentes do quadrante sul, de maior energia, atingem o litoral norte com maior perpendicularidade, diferentemente do litoral sul, onde as ondas oriundas do quadrante sul atingem de forma mais oblíqua.

As variações no ângulo de ataque das ondas na costa e a altura média com que alcançam a costa determinam o padrão do transporte sedimentar longitudinal na costa. Em análise em escala regional, Siegle & Asp (2007) compartimentaram o litoral sul e centro-sul de Santa Catarina em quatro setores e identificaram no setor 3 (litoral ao sul do Cabo de Santa Marta até o Balneário Esplanada em Jaguaruna) uma inversão no sentido da deriva resultante de NE para SW. Ainda segundo os autores, o aporte sedimentar pela deriva litorânea nesse setor é favorecido pela gradativa diminuição do transporte longitudinal de SW para NE das células costeiras situadas mais ao sul. Esse comportamento é decorrente da mudança na orientação da linha de costa nesse setor do litoral, que diminui a efetividade da deriva e favorece o transporte *onshore*.

Os resultados obtidos a partir da análise local de simulações do transporte longitudinal para o litoral da área de estudo (Oliveira *et al.*, 2016; 2017; Anexos D e E) demonstraram que há uma inversão no sentido da corrente de deriva resultante no setor norte. As praias da Cigana, do Cardoso (Laguna) e do litoral norte do município de Jaguaruna possuem o transporte longitudinal resultante de NE para SW.

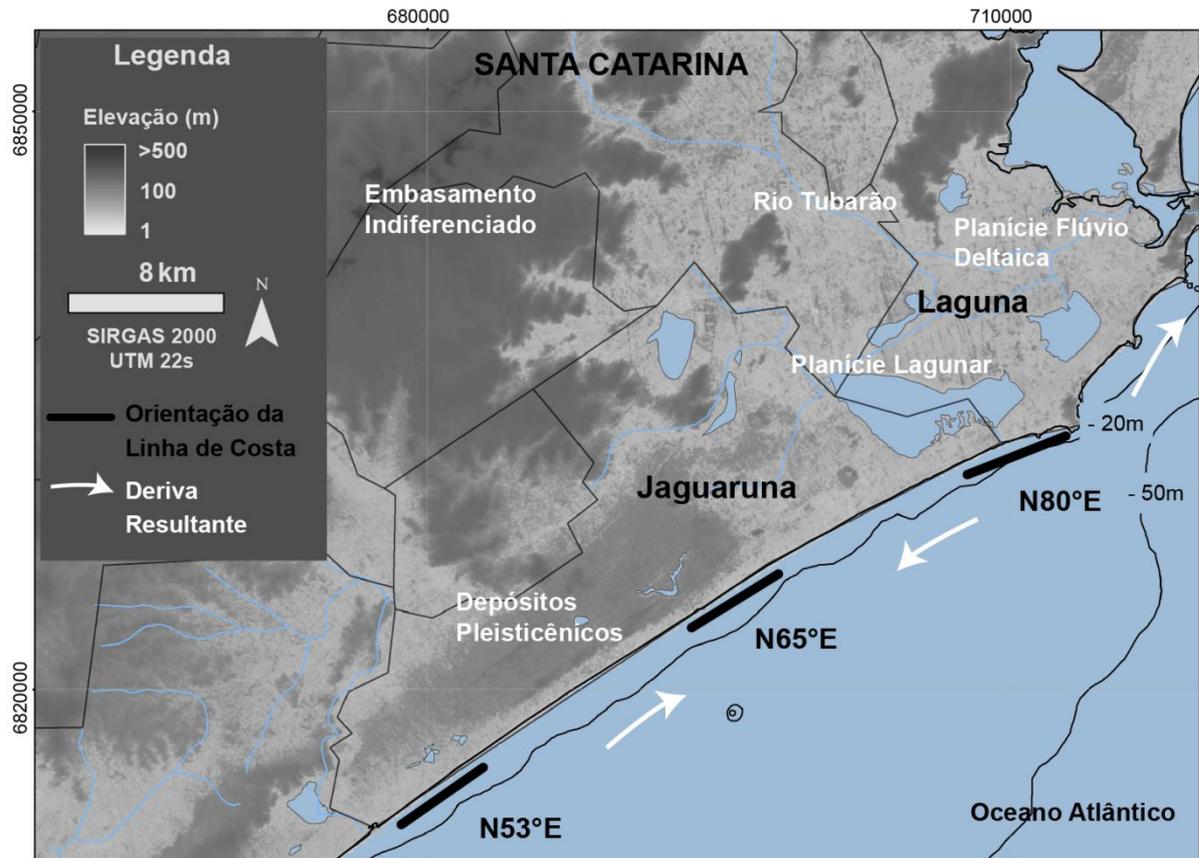


Figura 27: Orientação da linha de costa e deriva longitudinal resultante. Fonte dados altimétricos e batimétricos: SRTM/NASA.

A partir do exposto, constata-se que a presença do Cabo de Santa Marta faz com que grande parte dos sedimentos transportados pela deriva litorânea das células costeiras presentes ao sul da área de estudo, fique barrado nesta inflexão da linha de costa. Esse engarramento sedimentar (termo utilizado por Toldo Jr. *et al.*, 2006, para as projeções do litoral do Rio Grande do Sul) favorece a acumulação de areia na antepraia e posterior alimentação do campo de dunas adjacente, através dos processos atuantes na interface praia-duna.

Uma vez disponibilizado para o sistema eólico, o vento predominante de nordeste transporta os sedimentos ao longo da barreira, no sentido SW. Essa situação representa uma perda sedimentar significativa para o balanço de sedimentos do local. Cabe ressaltar que a contribuição de sedimentos oriundos de células costeiras ao norte do cabo para a área de estudo através do transporte pela deriva litorânea é insignificante, pois além da presença do cabo atuando como uma barreira natural, a deriva resultante ao norte do cabo é de S para N (Siegle & Asp, 2007).

5.2. – Morfodinâmica do Sistema Praia-Duna

As características da zona submersa da barreira costeira e os processos hidrodinâmicos dessa zona estão intrinsecamente relacionados à morfologia da parte emersa da barreira. No litoral sul, próximo ao Balneário Esplanada, onde há uma inclinação mais suave da antepraia e da plataforma interna, predomina a morfologia de cordões de dunas frontais contínuos e vegetados, com a presença de *blowouts*. Observa-se nos perfis topográficos levantados, uma duna frontal mais incipiente junto ao pós-praia e outra de maior altura próximo à retrobarreira (Figura 28). No mosaico de fotos aéreas de 1938 (Figura 14), é possível observar a presença de lençóis de areias transgressivos à retaguarda dos cordões de dunas frontais.

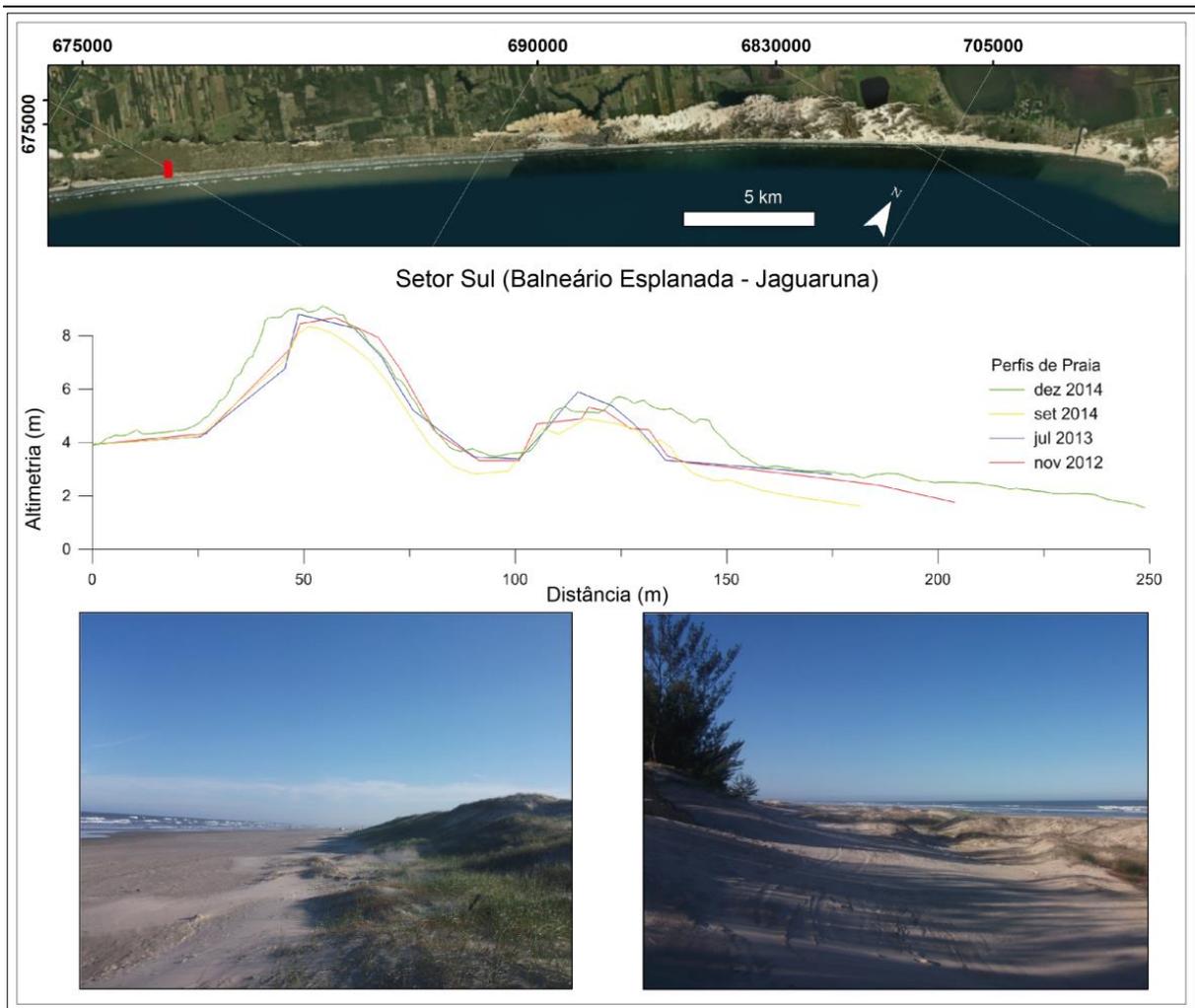


Figura 28: Sobreposição de perfis topográficos levantados no litoral sul (Balneário Esplanada) entre os anos de 2012 e 2014. Imagem de localização: Ortofoto de 2012 SDS/SC. Fotos: Labgerco-UFRGS.

As características geomorfológicas supracitadas podem ser explicadas com base na hipótese apresentada por Biancini da Silva (2015) para a barreira costeira em Passo de Torres (SC) com características semelhantes às da barreira no litoral sul da área de estudo, ambas pertencentes ao mesmo embaiamento e distantes aproximadamente 75 km uma da outra. O referido autor sugere que, em um primeiro momento, a barreira progradou e cordões de dunas frontais vegetados e bem desenvolvidos se estabeleceram em virtude de um clima mais úmido e influenciado pelos canais do Rio Mampituba que corriam paralelamente à linha de costa. Após essa fase, e sob condições de um clima mais seco, esses cordões de dunas frontais foram se desestabilizando, dando origem aos lençóis de areias transgressivos (Biancini da Silva, 2015). No extremo sul da área de estudo, o Rio Urussanga deságua na lagoa de mesmo nome, que por sua vez, desemboca no Oceano

Atlântico. Leal *et al.* (2017) identificaram a presença de paleocanais do Rio Urussanga em registros de GPR obtidos na área de estudo, assim como evidenciado por Biancini da Silva (2015) no Rio Mampituba, em Passo de Torres (SC).

No litoral central da área de estudo, no Balneário Campo Bom em Jaguaruna, a barreira holocênica encontra-se acoplada aos terrenos mais elevados (depósitos pleistocênicos). Destacam-se na paisagem a urbanização presente na barreira atual e a ausência de dunas, ou quando existentes, em estágios muito incipientes. Outra característica peculiar desse trecho do litoral é a estreita faixa de areia seca na praia (berma) e a concentração de sangradouros oriundos das drenagens que correm dos terrenos mais elevados em direção ao mar (Figura 29).

Observa-se que no setor central, há um controle no desenvolvimento da barreira costeira atual exercido por fatores continentais (terrenos elevados à retaguarda) e por fatores relacionados à hidrodinâmica da zona submersa. A partir da avaliação da simulação de ondas na costa (Anexo B), nota-se que a Laje de Jaguaruna (Figura 22) influencia na morfodinâmica da barreira costeira atual através de focos de energia de ondas nesse trecho do litoral.

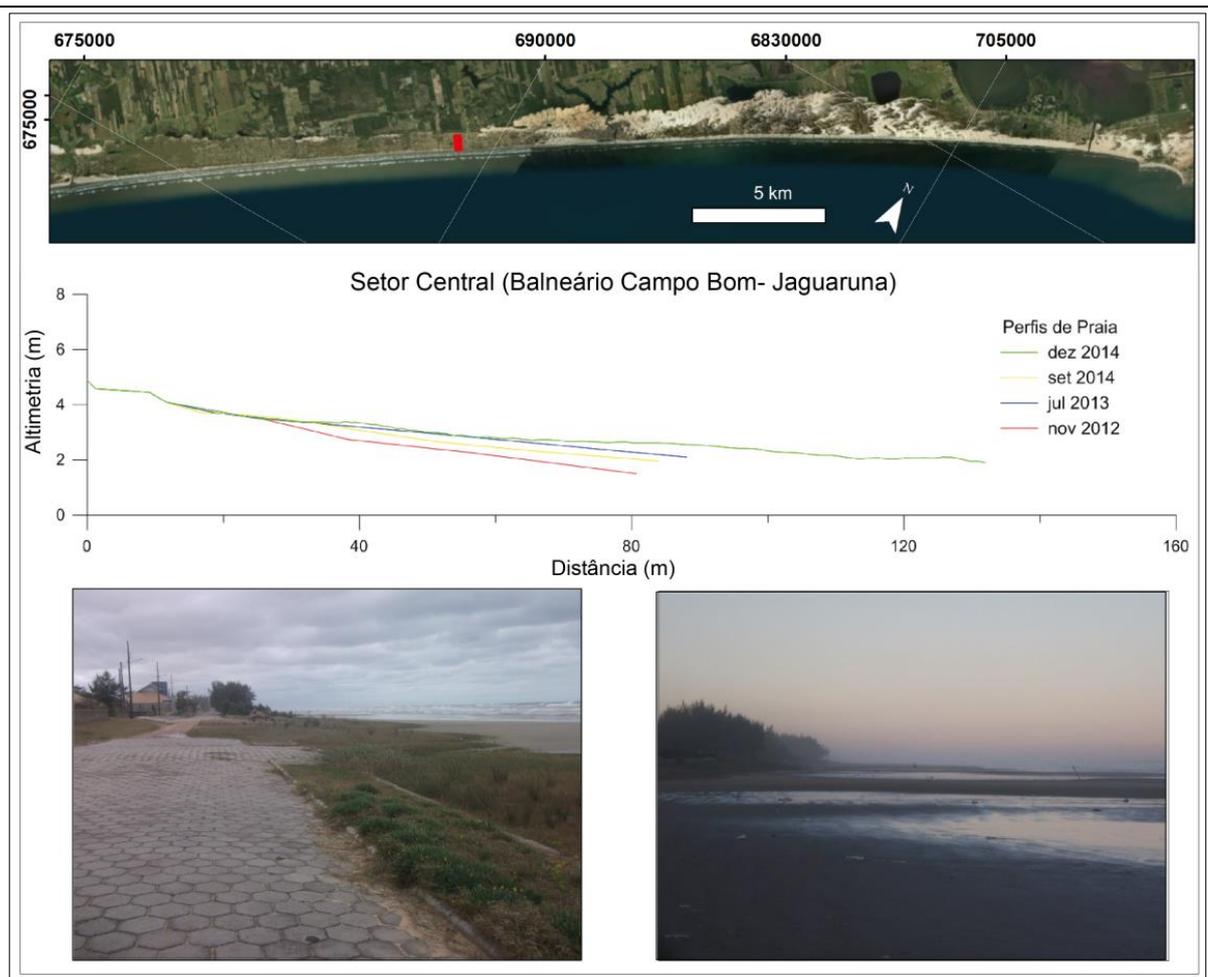


Figura 29: Sobreposição de perfis topográficos levantados no litoral central (Balneário Campo Bom) entre os anos de 2012 e 2014. Imagem de localização: Ortofoto de 2012 SDS/SC. Fotos: Labgerco-UFRGS.

No litoral norte da área de estudo, próximo ao balneário Garopaba do Sul em Jaguaruna, predominam dunas móveis dos tipos cadeias barcanóides, barcanas e transversas, de altura significativa (algumas próximas a 10 m), que migram no sentido sudoeste induzidas pelo vento predominante de nordeste. Nota-se elevada quantidade de sedimentos disponíveis para o transporte eólico e a alta mobilidade dos perfis levantados (Figura 30).

Devido à ausência de vegetação para estabilização das dunas frontais nesse setor da costa, as dunas móveis alcançam diretamente o pós-praia, intercalando-se com as planícies de interdunas (oblíquas à linha de costa), que servem como corredores para o espriamento das ondas e deposição de sedimentos no interior da barreira em situações de marés meteorológicas (Giannini, 1993; Martinho, 2004).

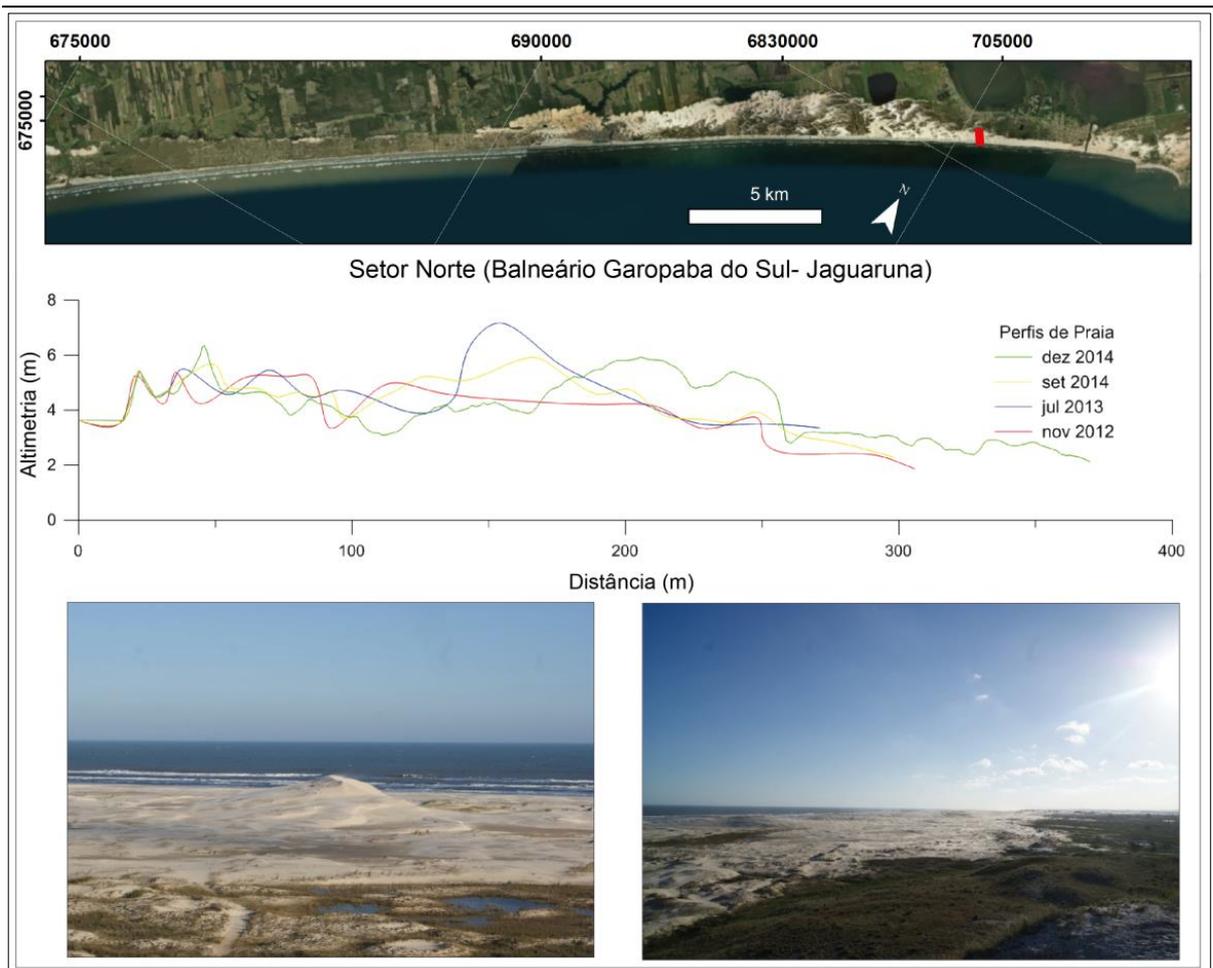


Figura 30: Sobreposição de perfis topográficos levantados no litoral norte (Balneário Garopaba do Sul) entre os anos de 2012 e 2014. Imagem de localização: Ortofoto de 2012 SDS/SC. Fotos: Labgerco-UFRGS.

De acordo com os resultados encontrados por Oliveira *et al.* (2017) o elevado estoque sedimentar disponível para o transporte eólico no litoral norte da área de estudo está associado; i) ao aporte eólico representado pelas dunas originadas nas praias ao norte do cabo (praias Santa Marta e Ypuã em Laguna) e que migram ao longo da costa rumo SW e ii) à erosão local dos sedimentos da face de praia pela ação das ondas no litoral norte da área de estudo e posterior mobilização desses sedimentos pelo vento.

A comparação da posição da linha de costa das praias da Cigana e do Cardoso (Figura 31), situadas no setor norte da área de estudo, entre o ano de 1938 e de 2012 evidenciou uma tendência erosiva nesse trecho do litoral (Oliveira *et al.*, 2017). A praia da Cigana apresentou taxas de recuo da linha de costa próximas a 1 m/ano no período entre os anos de 1938 e 2012. O canto norte da Praia do Cardoso foi o

único trecho que apresentou um comportamento estável e de baixa variabilidade da posição da linha costa. Nesse sentido, a análise em escala histórica (de décadas) do litoral norte da área de estudo indicou uma tendência geral de deslocamento da linha de costa em direção ao continente.

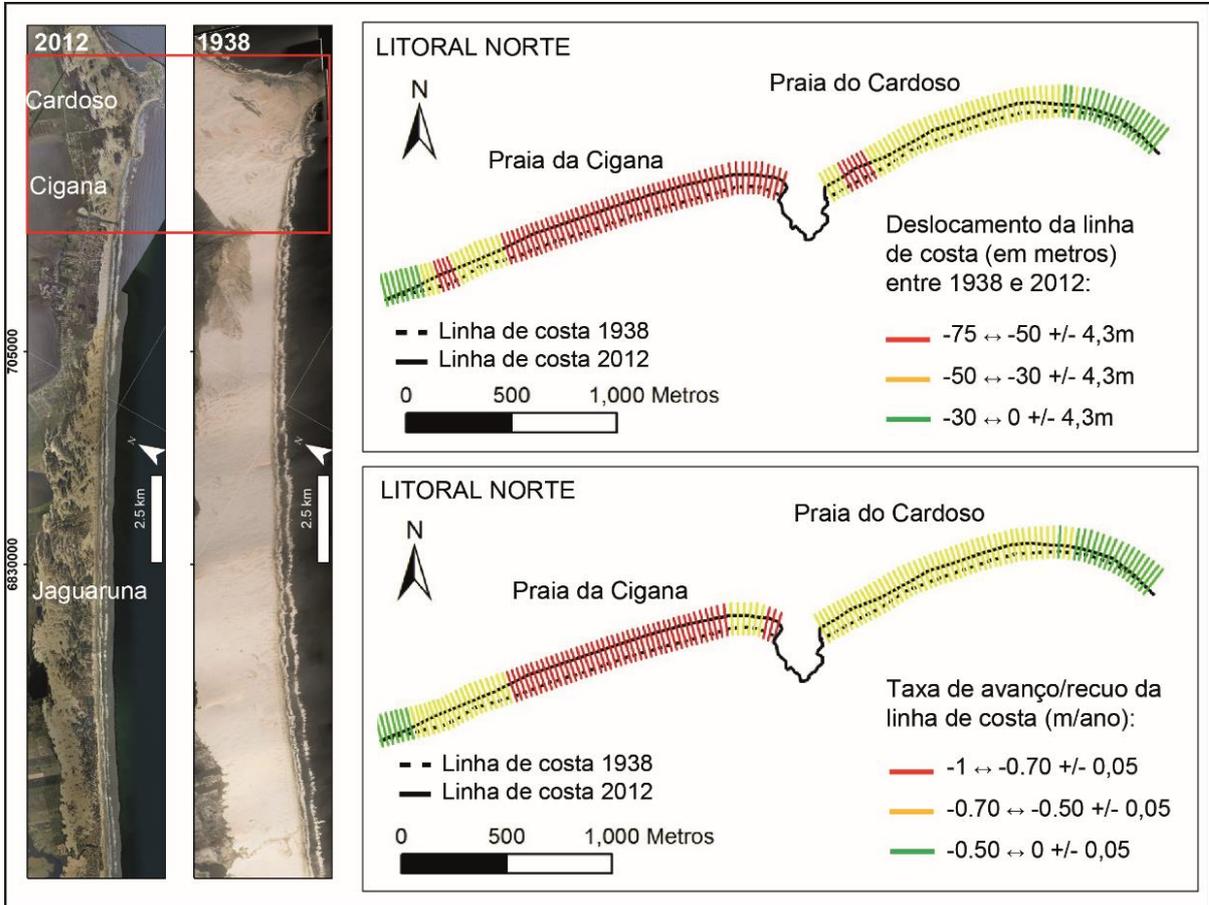


Figura 31: Deslocamento da linha de costa no litoral norte (praias da Cigana e do Cardoso) entre os anos de 1938 e 2012. Fonte das fotos aéreas: SDS/SC.

5. 3. – Evolução Holocênica da Barreira Costeira

O levantamento de dados de subsuperfície com GPR permitiu uma avaliação do registro estratigráfico da barreira costeira atual e, conseqüentemente, a inferência do comportamento evolutivo da barreira ao longo do Holoceno, com base nos padrões de radarfácies encontrados ao longo da barreira holocênica da Baía de Pelotas (Barboza *et al.*, 2011; Rosa *et al.*, 2017).

Perfis levantados perpendicularmente à linha de costa evidenciaram dois padrões distintos dos refletores nos registros do litoral norte e litoral central da área de estudo (Figura 32). No litoral norte, as seções de GPR demonstraram refletores com terminações em *downlap* no sentido do continente, associados aos processos

de erosão praial e transporte dos sedimentos para o interior da barreira e de corpos lagunares localizados à retaguarda. Segundo Rosa (2012) essa migração pode ocorrer através de leques de sobrelavagem - que, geralmente, não alcançam as lagoas costeiras devido à largura da barreira na área - e através do transporte eólico, fluvial e deltaico. Uma vez incorporados ao ambiente lagunar esses sedimentos migram na forma de margem lagunar sobre sedimentos lamosos do fundo lagunar.

Na seção localizada entre o litoral central e litoral sul da área de estudo (Balneário Campo Bom), os refletores possuem mergulho em direção ao oceano, correspondente à radarfície *backshore/foreshore*. A presença de cordões litorâneos que crescem no sentido do oceano indica um comportamento progradacional da barreira.

Portanto, a barreira costeira do setor norte da área de estudo possui características retrogradacionais/transgressivas, similares à de outros setores ao longo da Bacia de Pelotas, situados em posições correlatas (limites norte dos embaiamentos, onde se iniciam as projeções costeiras) como em Bujuru/RS e Hermenegildo/RS, locais onde também predominam processos erosivos e ocorrem expressivos campos de dunas transgressivos (Figura 13). Barboza *et al.* (2011) observaram que ao longo de toda a extensão da porção emersa da Bacia de Pelotas, extensos campos de dunas são encontrados nas extremidades nordeste dos setores transgressivos da barreira e que a gênese desses campos de dunas está associada aos sedimentos disponibilizados nesses setores retrogradacionais.

Fornari *et al.* (2012) propuseram um modelo de evolução da barreira holocênica (dos 7 ka AP até o presente) para o setor norte da área de estudo da presente tese, em que uma extensa baía foi fechada e transformada em laguna através do crescimento da barreira holocênica regressiva desde o balneário Garopaba do Sul em Jaguaruna até o Cabo de Santa Marta em Laguna. No modelo apresentado pelos autores, a entrada da baía, que no período entre 7 até 5,6 ka AP possuía uma extensão aproximada de 10 km foi sendo fechada gradativamente até resultar no canal "artificial" do Camacho. Entretanto, em nenhum dos registros de subsuperfície obtidos com o GPR apresentados na presente tese, se observa a presença de um *inlet* em subsuperfície, e do fechamento lateral do mesmo (Martins *et al.*, 2014; Oliveira *et al.*, 2016). Ademais, as fotos aéreas de 1938 da área

evidenciam a ausência de qualquer conexão do sistema lagunar com o Oceano Atlântico (Figura 14).

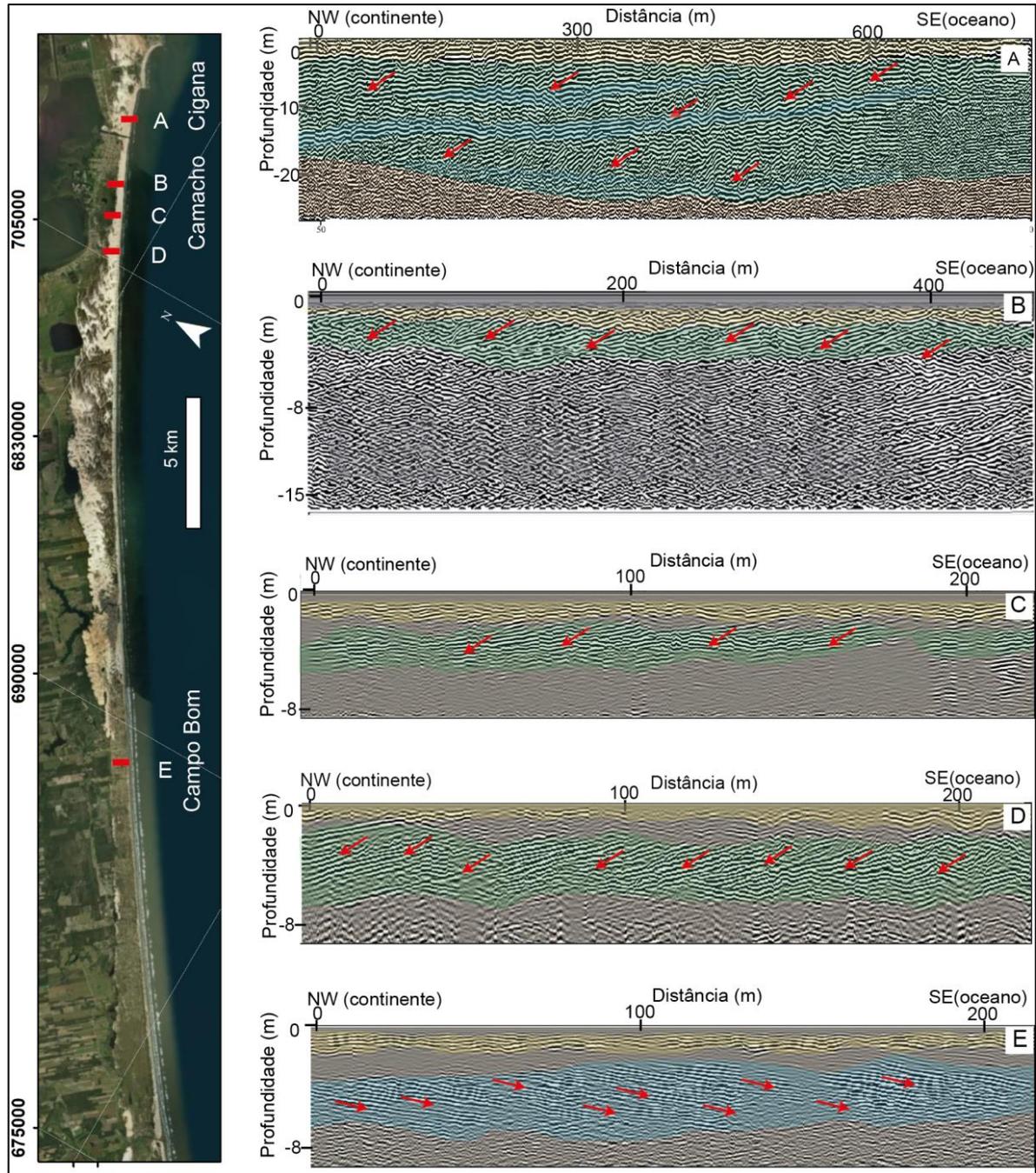


Figura 32: Seções de GPR levantadas na área de estudo. A) Praia da Cigana (artigo submetido, Cap.4); B) Praia do Camacho (Martins *et al.*, 2014); C) Praia do Camacho (Oliveira *et al.*, 2016); D) Praia do Camacho (Oliveira *et al.*, 2016); E) Praia do Campo Bom (Oliveira *et al.*, 2016). Imagem de localização: Ortofoto de 2012 SDS/SC

Nesse sentido, conclui-se que a área de estudo representa a transição entre o embaçamento composto pela barreira holocênica regressiva - ao sul do Balneário Campo Bom - e a projeção costeira constituída pela barreira holocênica transgressiva - próximo ao Cabo de Santa Marta (Figura 33).

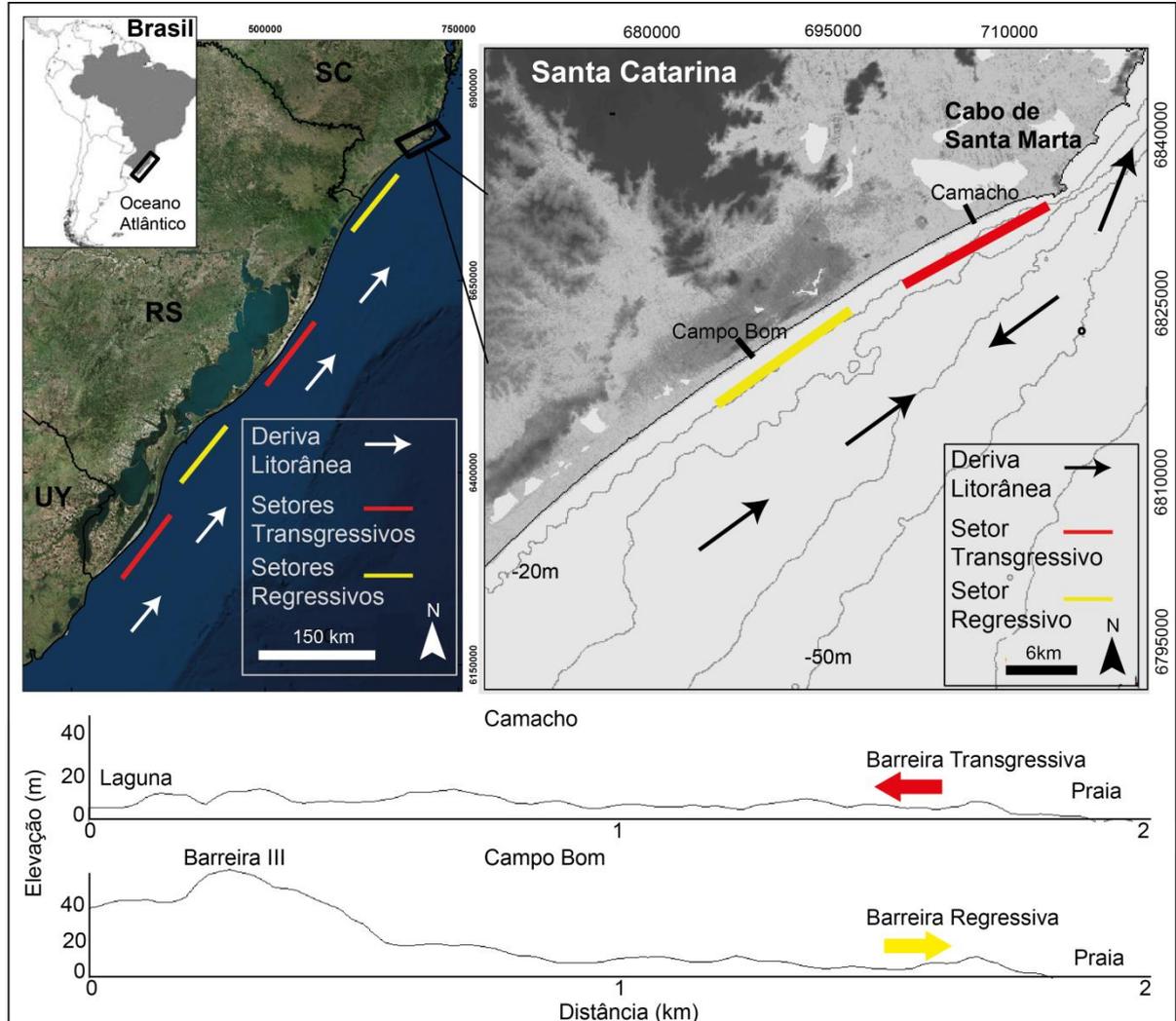


Figura 33: No canto superior esquerdo, representação da Bacia de Pelotas em escala regional com indicação de setores transgressivos e regressivos, bem como a deriva longitudinal resultante (Mapa Base: Imagery ArcGis™). No canto superior direito, mapa em escala local da área de estudo, com a indicação da inversão local da deriva litorânea e da transição entre o comportamento holocênico da barreira. Abaixo, perfis topográficos obtidos a partir do Modelo Digital de Elevação SRTM/NASA para representação da barreira e retrobarreira nos setores norte (Balneário Camacho) e Centro (Balneário Campo Bom).

Por fim, constata-se que o máximo transgressivo holocênico nos setores sul e centro da área de estudo, está situado mais para o interior na planície costeira, próximo aos depósitos pleistocênicos onde a barreira holocênica encontra-se acoplada (Figura 34). Em contrapartida, no setor norte, a linha de costa atual representa o máximo transgressivo, ou este ainda não ocorreu.

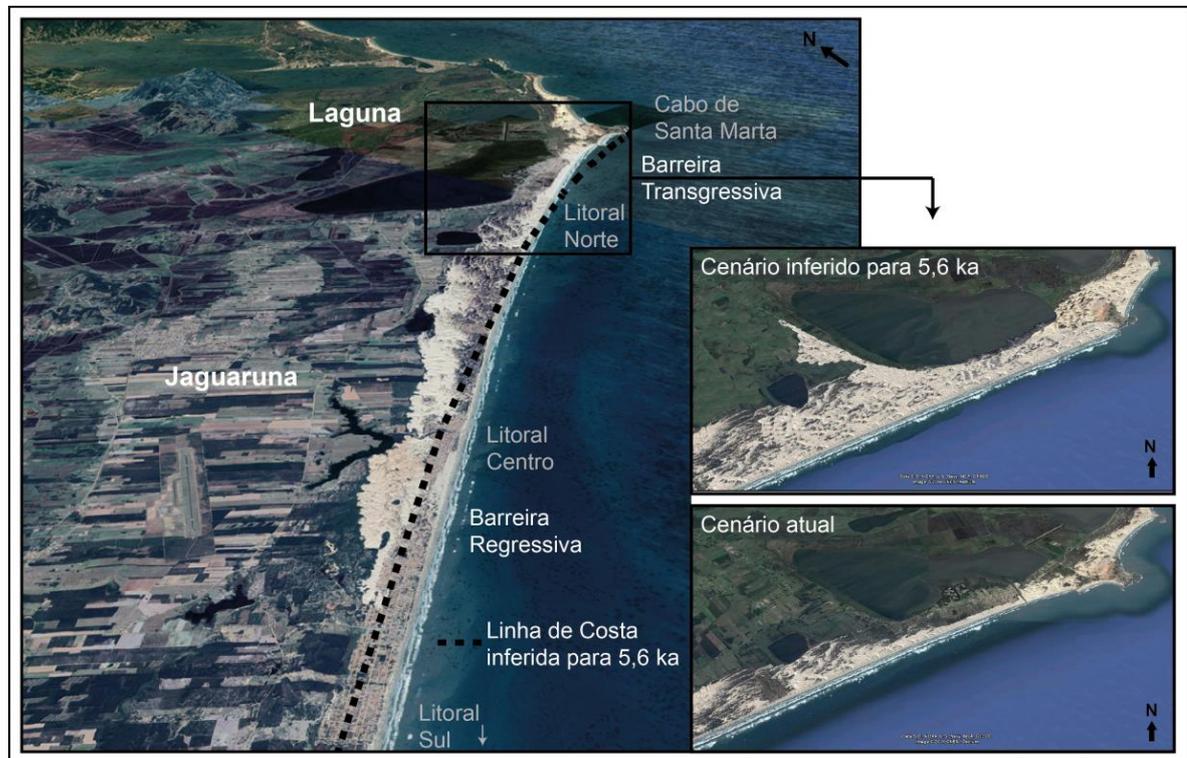


Figura 34: Modelo ilustrativo (sem precisão de escala) da evolução da barreira holocênica no litoral central e norte da área de estudo, nos últimos 5,6 ka. Fonte das imagens: Google™ Earth

5.4 – Aspectos da Gestão do Litoral

Uma vez identificados os principais processos costeiros atuantes na barreira costeira holocênica presente nos municípios de Jaguaruna e de Laguna (praias da Cigana e do Cardoso), empreendeu-se a avaliação da incorporação deste entendimento do meio físico aos instrumentos de gestão em escala local. Observou-se que os levantamentos, os agrupamentos de dados, as análises e a produção de informação são elaborados a partir de informações em escala estadual, regional e/ou nacional, enquanto os problemas ocorrem na escala local do município. Essa incompatibilidade entre escalas acarreta em ações, muitas vezes ineficazes, devido à falta de detalhamento do meio físico e às peculiaridades do local. A seguir, são apresentados três casos de conflitos socioambientais que ocorrem na zona costeira

da área de estudo e exemplificam a incompatibilidade entre as distintas escalas de análise dos instrumentos de gestão:

5.4.1 – A Linha de Preamar Média de 1831:

A linha de preamar média de 1831 utilizada para delimitação dos terrenos de marinha pela Secretária do Patrimônio da União (SPU) está localizada cerca de 300 m de distância da linha de costa atual para o interior da planície costeira, no setor norte da área de estudo. Portanto, pressupõe-se que a linha de costa se deslocou em direção ao mar ao longo dos últimos dois séculos nesse setor da costa.

Entretanto, os dados obtidos nesta tese indicam uma tendência erosiva de médio (décadas) e longo (Holoceno Superior) prazo e, portanto, um deslocamento da linha de costa em direção ao continente no setor norte da área de estudo. Dessa forma, a proposta de delimitação da linha de preamar média de 1831, e consequentemente dos terrenos de marinha, evidencia a inobservância de aspectos referentes à dinâmica e evolução costeira do local e gera uma sobreposição de jurisdições públicas.

Assim, a discussão sobre a incorporação do conhecimento da dinâmica costeira local na execução de normativas legais envolve, além da compreensão dos interesses dos distintos atores sociais e das relações de governança, a ponderação sobre aspectos técnicos; principalmente quando o instrumento legal é balizado por concepções técnicas assíncronas ao conhecimento científico e tecnologias contemporâneas.

5.4.2 – A Abertura do Canal da Barra do Camacho:

O canal artificial da lagoa do Camacho, que faz divisa entre os municípios de Jaguaruna e de Laguna, necessita ser constantemente dragado para manter aberta a conexão entre lagoa e oceano, e favorecer a atividade pesqueira artesanal (peixes, camarões e siris) das comunidades locais. A manutenção dessa ligação facilita a circulação de água no interior do corpo lagunar, o qual é utilizado como corpo receptor de efluentes domésticos e agrícolas sem tratamento. Entretanto, a intrusão salina não favorece a cultura de arroz irrigado às margens da lagoa (Vieira da Silva *et al.*, 2011).

Além da questão do fluxo de troca de água entre o mar e a lagoa, o manejo do sedimento dragado necessita ser realizado de forma adequada para minimizar os

impactos ambientais ao sistema costeiro e evitar a extração irregular e destinação ilegal de areia. Nesse caso, a discussão sobre os efeitos da alteração da dinâmica costeira no local não remete somente às questões ambientais, mas abrange repercussões socioeconômicas. Não obstante, nenhuma menção sobre essa problemática é observada nos instrumentos de gestão vigentes.

5.4.3 – Embargos Judiciais:

Na última década, loteamentos e construções presentes na zona costeira dos municípios de Jaguaruna e Laguna vem sendo alvo de embargos judiciais através de ações civil-públicas ajuizadas pelo Ministério Público Federal (MPF). Por estarem inseridas em Áreas de Preservação Permanente (APP) e dentro dos limites da APA da Baleia Franca, essas ações visam a preservação dos ambientes naturais da zona costeira mediante planejamento urbano e fiscalização pública.

Nesse contexto, há um conflito de interesses que permeia as decisões das três esferas institucionais (federal, estadual e municipal), além de distintos atores da sociedade civil. Parte da economia local gerada pelos setores imobiliários e da construção civil tende a estagnar-se, pois os municípios são impedidos de emitir alvarás de construções. Com isso, além dos proprietários dos imóveis, há o interesse dos envolvidos com a indústria imobiliária e do turismo “de sol e mar”, na expansão da malha urbana e ocupação de áreas ainda inabitadas. No entanto, outra parcela da sociedade, muitas vezes representada por movimentos organizados da sociedade civil, é a favor da manutenção e preservação dos ambientes costeiros, no que se refere aos aspectos ambientais, arqueológicos e culturais.

Portanto, entende-se que para a resolução de conflitos locais, como o relatado, faz-se necessário uma abordagem metodológica transversal, como sugerido no Projeto Orla (SPU, 2004), em que representantes da sociedade civil, de instituições de Ensino Superior e das esferas municipal, estadual e federal, participem da elaboração de diretrizes para o equacionamento dos problemas e conflitos que ocorrem na zona costeira dos municípios.

Vale destacar as iniciativas por parte de universidades e da sociedade civil, que culminaram em dois importantes projetos de caráter socioambiental na área de estudo recentemente: i) o Diagnóstico e Plano de Manejo de Dunas Frontais do Município de Jaguaruna (Gruber *et al.*, 2017a,b,c,d,e,f; 2018a,b,c,d,e,f), executado pela equipe de pesquisadores do Centro de Estudos em Geologia Costeira e

Oceânica (UFRGS), com apoio da Associação de Balneários de Jaguaruna (ABJ), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e do Instituto de Meio Ambiente de Jaguaruna (IMAJ); ii) o Projeto de Preservação e Recuperação das Dunas Frontais da Praia do Cardoso, executado pela Associação de Surf e Tow-In do Farol de Santa Marta (ASTFSM), em colaboração com representantes do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), da Fundação Lagunense de Meio Ambiente (FLAMA), da ONG Rasgamar, e da Câmara de Vereadores. Trabalhos como esses são necessários nos municípios costeiros, pois abordam especificidades de cada localidade, o que contribui de forma positiva à gestão costeira na escala municipal.

5.5 – CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos nesta tese conclui-se que, a hipótese de que os fatores autóctones são determinantes na evolução da barreira costeira ao longo do Holoceno superior na área de estudo foi confirmada e os objetivos propostos foram atingidos. A aplicação de técnicas de sensoriamento remoto e GPR, com enfoque nas análises geomorfológica e estratigráfica da barreira costeira, se mostraram eficientes para compreensão dos processos atuantes em diferentes escalas de tempo.

De acordo com os resultados apresentados, constatou-se: i) redução da área de dunas móveis no período entre 1938 e 2012 no campo de dunas à retaguarda das praias da Cigana e do Cardoso e, conseqüente diminuição do aporte sedimentar eólico ao sistema praias; ii) taxa média de migração das dunas rumo SW de 14 m/ano na última década; iii) o Cabo de Santa Marta representa uma zona de divergência da deriva litorânea local e o litoral centro-sul de Jaguaruna uma zona de convergência; iv) litoral sul da área de estudo possui menor energia de ondas e elevado aporte de sedimentos pela deriva litorânea resultante (SW-NE) e o litoral norte, maior energia de ondas e baixo aporte sedimentar pela deriva resultante (NE-SW); v) tendência de erosão da linha de costa nas praias da Cigana e do Cardoso no período entre 1938 e 2012, com taxa média de recuo de 0,65 m/ano, e intensificação da erosão a partir de 1978, com taxa média de 1,80 m/ano; vi) ao longo do Holoceno superior, a barreira costeira no litoral norte apresentou um comportamento transgressivo/retrogradacional e no litoral centro-sul, um comportamento regressivo/progradacional.

Como sugestão para futuros trabalhos na área, recomenda-se: i) o aprofundamento da análise estratigráfica da barreira através de testemunhos de sondagens e coleta de material para datações; ii) a realização de levantamento batimétrico detalhado para verificação da morfologia do fundo marinho, sobretudo na área próximo à Laje de Jaguaruna; iii) avaliação através de medições de ondas e correntes a partir de boias instaladas próximo ao Cabo de Santa Marta para calibração mais acurada dos modelos; iv) implementação do Projeto Orla nos municípios de Jaguaruna e Laguna; v) revisão da LPM de 1831 e da demarcação dos terrenos de marinha na região.

Devido à disponibilidade insuficiente de informações na escala municipal/local e a conseqüente falta de aderência entre os instrumentos de gestão e o conhecimento da dinâmica costeira para resolução de problemas e conflitos costeiros, sugere-se a incorporação do conhecimento gerado neste trabalho aos instrumentos de gestão pertinentes. Nesse viés, o grande desafio é transformar o conhecimento em informação acessível e prática para a tomada de decisão por parte dos gestores públicos, visando o equacionamento efetivo dos conflitos locais relacionados ao uso da terra.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- AAGAARD, T.; DAVIDSON-ARNOTT, R.; GREENWOOD, B.; NIELSEN, J. 2004. Sediment supply from shoreface to dunes: linking sediment transport measurements and long term morphological evolution. *Geomorphology* 60: 205-224
- ABREU, V.S., NEAL, J., VAIL, P.R., 2010. Integration of Sequence Stratigraphy concepts. In: Abreu, V.S.; Neal, J.; Bohacs, K.M., and Kalbas, J.L. (Eds.), *Sequence Stratigraphy of siliciclastic systems – The ExxonMobil Methodology: atlas of exercises*, pp. 209-224.
- ALVARES, C.A., STAPE, J.L., SENTELHAS, P.C., GONÇALVES, J.L.M., SPAROVEK, G., 2014. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22, 711-728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- ANGULO, R.J., LESSA, G.C., SOUZA, M.C., 2006. A Critical Review of Mid- to Late Holocene Sea-Level Fluctuations on the Eastern Brazilian Coastline. *Quaternary Science Reviews* 25, 486-506. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2005.03.008>
- ARAÚJO, C. E. S.; FRANCO, D.; MELO, E. & PIMENTA, F. 2003. Wave regime characteristics of the southern Brazilian coast. *International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries, COPEDEC VI, Colombo, Sri Lanka. Proceedings. Paper 97. CD-ROM.*
- ASMUS, H.E. & PORTO, R. . 1972 - Classificação das bacias bra sileiras segundo a tectônica de placas. In : CONGR. BRAS. GEOL.. 26. Belém. 1972. Anais• Belém. SBG. v. 2. p. 67-90 .
- ASMUS, M. L.;KITZMANN, D. 2004. Gestão Costeira no Brasil: estado atual e perspectivas. *ECOPLATA - Programa de Apoyo a la Gestión Integrada en la Zona Costera Uruguaya. Rio Grande,*
- BARBOZA, E.G.; DILLENBURG, S.R.; ROSA, M.L.C.C.; TOMAZELLI, L.J.; HESP, T.A. 2009. Ground-penetrating Radar profiles of two Holocene regressive barriers in Southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, SI 56, 579-583
-

-
- BARBOZA, E.G., ROSA, M.L.C.C., HESP, P.A., DILLENBURG, S.R., TOMAZELLI, L.J., AYUP-ZOUAIN, R.N., 2011. Evolution of the Holocene coastal barrier of Pelotas Basin (southern Brazil) – a new approach with GPR data. *Journal of Coastal Research* SI 64, 646-650.
- BARBOZA, E.G.; ROSA, M.L.C.C.; DILLENBURG, S.R.; TOMAZELLI, L.J. 2013. Preservation potential of foedunes in the stratigraphic record. *Journal of Coastal Research*, SI 65, 1265-1270.
- BARBOZA, E.G., ROSA M.L.C.C., CARON, F., 2014. Metodologia de Aquisição e Processamento em Dados de Georradar (GPR) nos Depósitos Quaternários da Porção Emersa da Bacia de Pelotas. In: VI Simpósio Brasileiro de Geofísica. Resumos Expandidos 1, 1-6. <https://doi.org/10.13140/2.1.3369.5047>
- BARBOZA, E.G.; ROSA, M.L.C.C.; DILLENBURG, S.R.; BIANCINI DA SILVA, A.; TOMAZELLI, L.J. 2014. Stratigraphic analysis applied on the recognition of the interface between marine and fluvial depositional systems. *Journal of Coastal Research*. SI 70, 687-692.
- BARBOZA, E.G.; ROSA, M.L.C.C.; DILLENBURG, S.R.; WATANABE, D.S.Z.; ESTEVES, T.; MARTINS, E.M., AND GRUBER, N.L.S., 2018. Diachronic Condition Between Maximum Transgressive and Maximum Eustatic Sea-Level in Holocene: Subsides for Coastal Management. In: Shim, J.-S.; Chun, I., and Lim, H.S. (eds.), *Proceedings from the International Coastal Symposium (ICS) 2018 (Busan, Republic of Korea)*. *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 85, pp. 446–450. Coconut Creek (Florida), ISSN 0749-0208.
- BATTJES, J. A.; JANSEEN, J. P. F. M. 1978. Energy loss and set-up due to breaking of random waves. In: *COASTAL ENGINEERING CONFERENCE*, 16., Hamburg, Alemanha. *Proceedings...* Hamburg: ASCE,
- BAUER, BO, SHERMAN, DJ. 1999. Coastal dune dynamics, problems and perspectives. In: Goudie, A.S.; Livingstone, I.; Stokes, S. (eds.) *Aeolian environments, sediments, and landforms*. Chischester, England/New York, Wiley, p. 71 – 104
-

-
- BAUER, B.O.; DAVIDSON-ARNOTT, R.G.D. 2002. A general framework for modelling sediment supply to coastal dunes including wind angle, beach geometry, and fetch effects. *Geomorphology* 49: 89-108.
- BIANCINI DA SILVA, A.; BARBOZA, E.G.; ROSA, M.L.C.C.; DILLENBURG, S.R. 2014. Meandering Fluvial System Influencing the Evolution of a Holocene Regressive Barrier in Southern Brazil. In: Green, A.N. and Cooper, J.A.G. (eds.), *Proceedings 13th International Coastal Symposium (Durban, South Africa)*, *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 70, pp. 205-210, ISSN 0749-0208.
- BIANCINI DA SILVA, A., 2015. A herança geológica, a geomorfologia e a estratigrafia da barreira complexa de Passo de Torres, Planície Costeira Sul-Catarinense. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. (Ph.D. Thesis). <http://hdl.handle.net/10183/132834>
- BIRD, E. 2008. *Coastal Geomorphology, an introduction*. Wiley, Chichester
- BOAK, E. H.; TURNER, I. L. 2005. Shoreline definition and detection: a review. *Journal of Coastal Research*. 688-703. (doi: <http://dx.doi.org/10.2112/03-071.1>).
- BROOKFIELD M.E. 2011. *Aeolian processes and features in cool climates*. Geological Society, Special Publications 354: 241–258.
- CALLIARI, L. J.; MUEHE, D.; HOEFEL, F. G.; TOLDO JÚNIOR., E. 2003. Morfodinâmica: uma breve revisão. *Revista Brasileira de Oceanografia*, v. 51, n. 1, p. 63-78.
- CAMUS, P.; MENDEZ, F.; MEDINA, R.; TOMAS, A.; IZAGUIRRE, C. 2013. High resolution downscaled ocean waves (DOW) reanalysis in coastal areas. *CoastalEngineering*.72:5668.(doi:p://dx.doi.org/10.1016/j.coastaleng.2012.09.002).
- CARTER, R.W.G.1977. The rate and pattern of sediment interchange between beach and dune. In Tanner WF (ed) *Coastal sedimentology*. Florida St Univ, Tallahassee, pp 3–34
-

-
- CARUSO JR., F. 1995. Mapa geológico e de recursos minerais do sudeste de Santa Catarina. In: Programa Cartas de Síntese e Estudos de Integração Geológica. DNPM/MME, v.1. 1995
- CATUNEANU, O. 2019. Model-independent sequence stratigraphy. *Earth-Science Reviews*, Volume 188, 2019, p. 312-388, ISSN 0012-8252, <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.09.017>.
- CERC. 1984. Shore Protection Manual. US Army Engineer Waterways Experiment Station. US Government Printing Office, Washington, DC..
- CHURCH, M. 1996. The Scientific Nature of Geomorphology: Proceedings of the 27th Binghamton Symposium in Geomorphology. John Wiley & Sons Ltd.
- CORREA ICS. 1990. Analyse Morphostructurale et Evolution Paleogeographique de la plate-forme Continentale Atlantique Sud-Brésilienne (Rio Grande do Sul-Brésil). Bordeaux. Université de Bordeaux Doctorate Thesis. France. 314 pp.
- CORRÊA, I.C.S., 1996. Les variations du niveau de la mer durant les derniers 17.500 ans BP: l'exemple de la plate-forme continentale du Rio Grande do Sul-Brésil. *Marine Geology* 130(1/2), 163-178. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(95\)00126-3](https://doi.org/10.1016/0025-3227(95)00126-3)
- COSTAS, S. 2006. Evolución morfosedimentaria anual, decadal y secular del sistema barrera-lagoon de Cíes durante el Cuaternario (Galicia, NO Península Ibérica). Universidad de Vigo. Tesis de Doctorado. 202p.
- COWELL, P.J.; THOM, B.G. 1994. Morphodynamics of coastal evolution. In: Carter, R.W.G. and Woodrofe, C.D. (eds), *Coastal Evolution: Late Quaternary shoreline morphodynamics*, Cambridge: Cambridge University Press, 33–86.
- COWELL, P.J., ROY, P.S., JONES, S.A., 1995. Simulation of large-scale coastal change using a morphological behaviour model. *Mar. Geol.* 126, 45–61.
- CRISTIANO, S.C.; MARTINS, E.M.; GRUBER, N.L.S.; BARBOZA, E.G. 2015. Avaliação do Processo de Ocupação Irregular na Zona Costeira: Caso da “Invasão Maria Terezinha”, Município de Jaguaruna/SC. *Gravel*, N. 13, V. 1, Pg 1-14. Porto Alegre/RS: UFRGS.
- CRISTIANO, S.C., BARBOZA, E.G., MARTINS, E.M., GRUBER, N.L.S., 2017. Caracterização da costa marinha do Balneário Camacho (Santa Catarina,
-

-
- Brasil) como subsídio à gestão. *Journal of Integrated Coastal Zone Management* 17(1), 37-63. <https://doi.org/10.5894/rgci-n98>
- CURRAY, J.R., 1964, Transgressions and regressions, in Miller, R.L., ed., *Papers in Marine Geology*: New York, MacMillan, p. 175–203.
- DALINGHAUS, C., ALMEIDA, L.R., GONZÁLEZ, M., KLEIN, A.H.F. 2018. Sistema de modelagem costeira do Brasil: Estudos de caso. Florianópolis: Editora da UFSC.
- DANIELS, J., ROBERTS, R., VENDL, M., 1995. Ground penetrating radar for the detection of liquid contaminants. *Journal of Applied Geophysics* 33, 195-207. [https://doi.org/10.1016/0926-9851\(95\)90041-1](https://doi.org/10.1016/0926-9851(95)90041-1)
- DAVIDSON-ARNOTT, R.G.D. 1988. Temporal and spatial controls on beach/dune interaction, Long Point, Lake Erie; in: N.P. Psuty (ed), *Dune/Beach Interaction*. *J. Coastal Research Special Issue No. 3*: 131-136.
- DAVIDSON-ARNOTT, R.G.D., LAW, M.N., 1990. Seasonal patterns and controls on sediment supply to coastal foredunes, Long Point, Lake Erie. In: Nordstrom, K.F., Psuty, N.P., Carter, R.W.G. (Eds.), *Coastal Dunes: Forms and Processes*. Wiley, Chichester, pp. 177–200.
- DAVIS JR. A.R. & FITZGERALD. D.M. 2004. *Beaches and Coasts*. Oxford, Blackwell, p. 115-166
- DEBLASIS, P. EGGERS, E. LAHR, M.M. FIGUTI, L.; AFONSO, M.; GASPAR, M.D. 1998. Padrões de assentamento e formação de sambaquis em Santa Catarina. *Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia* 8 (3), 319–321.
- DEBLASIS, P.; KNEIP, A.; SCHEEL-YBERT, R.; GIANNINI, P.C.F.; GASPAR, M.D. 2007. Sambaquis e Paisagem: Dinâmica natural e arqueologia regional no litoral do sul do Brasil. *Arqueologia Sul-Americana* 3 (1), 29–61.
- DELGADO-FERNANDEZ I, DAVIDSON-ARNOTT RGD. 2011. Mesoscale Aeolian sediment input to coastal foredunes: the nature of aeolian transport events. *Geomorphology* 126: 217–232. DOI: 10.1016/j.geomorph.2010.11.005.
- DEL RIO, L.; F.J. GRACIA. 2013. Error determination in the photogrammetric assessment of shoreline changes. *Natural hazards* 65 (3): 2385-2397. (doi:10.1007/s11069-012- 0407).
-

-
- DE VRIEND, H.J. 1997. Prediction of aggregated-scale coastal evolution. Proceedings Coasta Dynamics '97. ASCE, New York, p. 644–653.
- DILLENBURG S.R., ROY P.S., COWELL P.J., TOMAZELLI L.J., 2000. Influence of antecedent topography on coastal evolution as tested by the Shoreface Translation-Barrier Model (STM). *Journal of Coastal Research* 16, 71-81.
- DILLENBURG S.R.; TOMAZELLI L.J.; HESP P.A.; BARBOZA E.G.; CLEROT L.C.P.; SILVA D.B. 2006 Stratigraphy and evolution of a prograded, transgressive dunefield barrier in southern Brazil. *Journal of Coastal Research*. SI 39(1):132–135
- DILLENBURG S.; HESP, P.A. (Eds) 2009. *Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil*. Springer-Verlag Lecture Notes in Earth Sciences 107. Springer.
- DILLENBURG, S.R., BARBOZA, E.G., HESP, P.A., Rosa, M.L.C.C. 2011. Ground Penetrating Radar (GPR) and Standard Penetration Test (SPT) records of a regressive barrier in southern Brazil. *Journal of Coastal Research* SI 64, 651-655.
- DILLENBURG S.R.; BARBOZA E.G. 2014. The strike-fed sandy coast of Southern Brazil Geological Society, London, Special Publications, 388, first published on March 12, 2014, doi:10.1144/SP388.16
- DOLAN, R.; FENSTER, M.S.; HOLME, S.J. 1991. Temporal Analysis of Shoreline Recession and Accretion. *Journal of Coastal Research* Vol. 7, No. 3. 723-744.
- FORNARI, M. 2010. *Evolução sedimentar holocênica da retrobarreira na região de Jaguaruna-Laguna, Santa Catarina*. São Paulo. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 290 pp.
- FORNARI, M., GIANNINI, P.C.F., NASCIMENTO JUNIOR, D.R., 2012. Facies associations and controls on the evolution from a coastal bay to a lagoon system, Santa Catarina Coast, Brazil. *Marine Geology* 323–325, 56-68. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2012.07.010>
- FRYBERGER, S.G.; DEAN G. 1979. Dune forms and wind regime. In: McKee, E.D. (Ed.), *A Study of Global Sand Seas*. U.S., Geol. Survey, Profess. Papers, vol. 1052, pp. 83–134.
-

-
- GAMBOA, L.A.P. & RABINOWITZ, P.D. 1981. The Rio Grande Fracture Zone in the western South Atlantic and its tectonic implications. *Earth and Planetary Science Letters*, Amsterdam, 52: 410-418.
- GENZ A.S.; FLETCHER C.H.; DUNN R.A.; FRAZER L.N.; ROONEY J.J. 2007. The predictive accuracy of shoreline change rate methods and alongshore beach variation on Maui, Hawaii. *Journal of Coastal Research*, 23(1): pp. 87–105.. (doi:<http://dx.doi.org/10.2112/05-0521.1>).
- GERCOS/SC. 2004. Entendendo o processo de gerenciamento costeiro para o litoral de Santa Catarina. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Social, Urbano e Meio Ambiente. Florianópolis.
- GIANNINI, P.C.F. 1993. Sistemas Depositionais no Quaternário Costeiro entre Jaguaruna e Imbituba, SC. São Paulo, Inst. Geoc. Univ. S. Paulo. Tese de Doutorado (inéd.) 2v, 2 mapas, 439p. <https://doi.org/10.11606/T.44.1993.tde-11032013-133424>
- GIANNINI, P.C.F. 2002. Complexo lagunar centro-sul catarinense- valioso patrimônio sedimentológico, arqueológico e histórico. In: Schobbenhaus, C.; Campos, D.A.; Queiroz, E.T.; Winge, M.; Berbert-Born, M. eds. *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. Brasília, DNPM, p.213-222.
- GIANNINI, P.C.F.; Sawakuchi, A.O.; Martinho, C.T.; Tatum, S.H. 2007. Eolian depositional episodes controlled by Late Quaternary relative sea level changes on the Imbituba– Laguna coast (southern Brazil). *Marine Geology* 237, 143–168.
- 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. *Computers & Geosciences*.33 (7): 916–931. (doi: 10.1016/j.cageo.2006.12.005).
- GORNITZ V. 2009. Sea Level Change, Post-Glacial. In: Gornitz V. (eds) *Encyclopedia of Paleoclimatology and Ancient Environments*. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, Dordrecht
- GRACIA, F.J.; DEL RÍO, L.; ALONSO, C.; BENAVENTE, J.; ANFUSO, G. 2006. Historical evolution and present state of the coastal dune systems in the
-

Atlantic coast of Cadiz (SW Spain): palaeoclimatic and environmental implications. *Journal of Coastal Research* SI 48, 55–63.

GRUBER, N.L.S.; STROHAECKER, T.M.; PORTZ, L.C.; ROCKETT, G.C.; WATANABE, T.P.; BITENCOURT, V.J.B.; MARTINS, E.M. 2017a. Diagnóstico e Plano de Manejo das Dunas Frontais do Município de Jaguaruna: Arcabouço teórico-conceitual. 2ª Ed. V. 1. Porto Alegre: UFRGS. 86 p.

GRUBER, N.L.S.; PORTZ, L.C.; CRISTIANO, S.M.; OLIVEIRA, R.M.; OLIVEIRA, J.F.; ROCKETT, G.C.; MIRANDA, I.M.; MANZOLLI, R.P.; MARTINS, E.M. 2017b. Diagnóstico e Plano de Manejo das Dunas Frontais do Município de Jaguaruna: Orla Marítima – Morfodinâmica e aspectos ecológicos do sistema eólico-praial. 2ª Ed. V. 2. Porto Alegre: UFRGS. 85 p.

GRUBER, N.L.S.; BARBOZA, E.G.; MARTINS, E.M.; FERREIRA, B.F.; WATANABE, D.S.Z.; VIANNA, N.Z. 2017c. Diagnóstico e Plano de Manejo das Dunas Frontais do Município de Jaguaruna: Índice de Criticidade Legal - Ambiental. 2ª Ed. V. 3. Porto Alegre: UFRGS. 70 p.

GRUBER, N.L.S.; BARBOZA, E.G.; MARTINS, E.M.; PRESTES, L.D.; CRISTIANO, S.C. 2017d. Diagnóstico e Plano de Manejo das Dunas Frontais do Município de Jaguaruna: Fundamentação metodológica. V. 1. Porto Alegre: UFRGS. 107 p.

GRUBER, N.L.S.; BARBOZA, E.G.; MARTINS, E.M.; CRISTIANO, S.C. 2017e. Diagnóstico e Plano de Manejo das Dunas Frontais do Município de Jaguaruna: Balneário Camacho – Dunas Interiores. V. 2. Porto Alegre: UFRGS. 224 p.

GRUBER, N.L.S.; BARBOZA, E.G.; MARTINS, E.M. 2017f. Diagnóstico e Plano de Manejo das Dunas Frontais do Município de Jaguaruna: Balneário Camacho – Orla Marítima. V. 3. Porto Alegre: UFRGS. 110 p.

GRUBER, N.L.S.; PEIXOTO, J.S.; FRANCHINI, R.A.L.; MARTINS, E.M.; BECKER, C.; DADALT, R.C.; OLIVEIRA, R.M.; MARSICANO, E. 2018a. Diagnóstico e Plano de Manejo das Dunas Frontais do Município de Jaguaruna: Balneários Dunas do Sul a Arroio Corrente – Dunas Interiores. V. 4. Porto Alegre: UFRGS. 180 p.

-
- GRUBER, N.L.S.; PEIXOTO, J.S.; FRANCHINI, R.A.L; MARTINS, E.M.; BECKER, C; DADALT, R.C.; OLIVEIRA, R.M.; MARSICANO, E. 2018b. Diagnóstico e Plano de Manejo das Dunas Frontais do Município de Jaguaruna: Balneários Dunas do Sul a Arroio Corrente – Orla Marítima. V. 5. Porto Alegre: UFRGS. 106 p.
- GRUBER, N.L.S.; BECKER, C; PEIXOTO, J.S.; DADALT, R.C.; RIBEIRO, C.S.; MARTINS, E.M. 2018c. Diagnóstico e Plano de Manejo das Dunas Frontais do Município de Jaguaruna: Balneários Campo Bom a Esplanada – Dunas Interiores. V. 6. Porto Alegre: UFRGS. 296 p.
- GRUBER, N.L.S.; BECKER, C; PEIXOTO, J.S.; DADALT, R.C.; RIBEIRO, C.S.; MARTINS, E.M. 2018d. Diagnóstico e Plano de Manejo das Dunas Frontais do Município de Jaguaruna: Balneários Campo Bom a Esplanada – Orla Marítima. V. 7. Porto Alegre: UFRGS. 92 p.
- GRUBER, N.L.S.; MARTINS, E.M.; CERCINÁ, M.; VILELLA, M.M.; PEIXOTO, J.S.; BECKER, C; DADALT, R.C. MARSICANO, E. 2018e. Diagnóstico e Plano de Manejo das Dunas Frontais do Município de Jaguaruna: Balneário Torneiro – Dunas Interiores. V. 8. Porto Alegre: UFRGS. 203 p.
- GRUBER, N.L.S.; MARTINS, E.M.; CERCINÁ, M.; VILELLA, M.M.; PEIXOTO, J.S.; BECKER, C; DADALT, R.C. MARSICANO, E. 2018f. Diagnóstico e Plano de Manejo das Dunas Frontais do Município de Jaguaruna: Balneário Torneiro – Orla Marítima. V. 9. Porto Alegre: UFRGS. 99 p.
- GUILLÉN, J.; STIVE, M.J.F.; CAPOBIANCO, M. 1999. Shoreline evolution of the Holland Coast on a decadal scale. *Earth Surface Processes and Landforms*, 24, 517-536.
- GUERRA, A.T. 1950 Contribuição ao estudo da geomorfologia e do quaternário no litoral de Laguna, Santa Catarina. *Revista Brasileira de Geografia*.12(4):535-564
- HESP, P.A. 1988. Surfzone, beach, and foredune interactions on the Australian South East Coast. *Journal of Coastal Research*, Special Issue No 3. p. 15-25.
- HESP, P.A.; GIANNINI, P.C.F.; MARTINHO, C.T.; SILVA, G.M.; ASP, N.E. 2009. The Holocene barrier systems of the Santa Catarina coast, southern Brazil. In:
-

-
- Dillenburg, S.R., Hesp, P. (Eds.), *Geology of the Brazilian Coastal Barriers. Lecture Notes in Earth Sciences*, 107. Springer-Verlag, Berlin, pp. 93–133
- HOLMAN, R.A. 2001. Pattern formation in the nearshore. En: Seminara, G., Blondeaux, P. (Eds.). *River, Coastal and Estuarine Morphodynamics*, Springer, Berlin, p. 141–162.
- HORN, N.O. 1988. *Geologia das folhas de Torres, Três Cachoeiras, Arroio Teixeira e Maquiné,, Nordeste do Rio Grande do Sul*. Instituto de Geociências. Porto Alegre, UFRGS. Dissertação de mestrado: 241p.
- HORN FILHO, N.; FELIX, A.; VIEIRA, C.V.; BAPTISTA, E.M.C. *Geologia da planície costeira das Folhas Jaguaruna e Lagoa de Garopaba do Sul, SC, Brasil*. *Revista Discente Expressões Geográficas*. (6). 90 – 110. 2010.
- HORN-FILHO, N.O.; FELIX, A.; VIEIRA, C.V.; BAPTISTA, E.M.C.; MALANDRIN, D.A., LEAL, R.A., MACHADO, V.C.; SILVA, M. 2012. *Mapa geológico da planície costeira das folhas Lagoa de Garopaba do Sul (SH-22-Z-XB-V-1) e Jaguaruna (SH-22-X-B-IV-2), Santa Catarina, Brasil*.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2009. *Estimativas de População*. Rio de Janeiro: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2010. *Censo Demográfico 2010*. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2011. *Perfil dos municípios brasileiros*. Rio de Janeiro: IBGE.
- IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. 2014. In: *Relatório do Grupo de Trabalho II. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability..*
- KOMAR, P. D. 1998. *Beach processes and sedimentation*. 2nd ed. New Jersey: Prentice Hall,. 544 p.
- LEAL, R.A.; BARBOZA, E.G. 2006. *Caracterização geológica, geomorfológica e evolutiva holocênica do litoral sul de Jaguaruna, SC, Brasil*. *Pesquisas em Geociências*, 43 (1): 417-430, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil ISSN 1518-2398 E-ISSN 1807-9806
-

-
- LEANDRO, C.G., BARBOZA, E.G., CARON, F., JESUS, F.A.N., 2019. GPR trace analysis for coastal depositional environments of southern Brazil. *Journal of Applied Geophysics* 162, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.jappeog.2019.01.002>
- LIMA, L.G., DILLENBURG, S.R., MEDEANIC, S., BARBOZA, E.G., ROSA, M.L.C.C., TOMAZELLI, L.J., DEHNHARDT, B.A., CARON, F., 2013. Sea-level rise and sediment budget controlling the evolution of a transgressive barrier in southern Brazil. *Journal of South American Earth Science* 42, 27-38. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2012.07.002>.
- LINS-DE-BARROS, F.M. 2017. Integrated coastal vulnerability assessment: A methodology for coastal cities management integrating socioeconomic, physical and environmental dimensions -Case study of Região dos Lagos, Rio de Janeiro, Brazil. *Ocean and Coastal Management*, v. 149, p. 1-11
- LIST, J.H. 2005. Sedimentary budget. In: SCHWARTZ, M. L. (e.d.) *Encyclopedia of Coastal Science*. Springer. 846-850. ISBN 978-1-4020-1903-6.
- LOPES, R.P., SIMONE, L.R., DILLENBURG, S.R., SCHULTZ, C.L. & PEREIRA, J.C. 2013. A middle Pleistocene marine molluscan assemblage from the Southern coastal plain of Rio Grande do Sul State. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 16(3): 343-360.
- MARTIN, L.; SUGUIU, K.; FLEXOR, J.M.; AZEVEDO, A.E.G. 1988. Mapa Geológico do Quaternário Costeiro dos Estados do Paraná e Santa Catarina. Brasília, DNPM, 40p., 2 mapas. Série Geologia (28), Seção Geologia Básica (18).
- MARTINHO, C.T. 2004. Morfodinâmica e Sedimentologia de Campos de Dunas Transgressivos da Região de Jaguaruna–Imbituba, Santa Catarina. Unpub. Master Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 108 pp.
- MARTINHO, C.T.; GIANNINI, P. C. F.; SAWAKUCHI, A. O.; HESP, P. A. 2006. Morphological and depositional facies of transgressive dunefields of the Imbituba-Jaguaruna region, Santa Catarina State, Southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, SI 39: 673 - 677. ISSN 0749-0208.
- MARTINHO, C.T., HESP, P.A., DILLENBURG, S.R., 2010. Morphological and temporal variations of transgressive dunefields of the northern and mid-littoral
-

-
- Rio Grande do Sul coast, Southern Brazil. *Geomorphology* 117, 14-32. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.11.002>
- MARTINS, L.R.S; MARTINS, I.R. 1974. Propriedades texturais dos sedimentos litorâneos de Santa Catarina. Trecho Laguna – Araranguá. *Pesquisas*, 3, 17-34.
- MARTINS, E.M., OLIVEIRA, J.F., BITENCOURT, V.J.B., SCARELLI, F.M., BIANCINI DA SILVA, A., GRUBER, N.L.S., ROSA, M.L.C.C., BARBOZA, E.G., 2014. Comportamento Evolutivo da Barreira Costeira junto ao Balneário do Camacho, Jaguaruna/SC. *Gravel* 12(1), 109-118.
- MARTINS, E.M. 2017. Gerenciamento Costeiro Integrado à luz dos sistemas e da diversidade ambiental: aplicação em Jaguaruna, Santa Catarina/. Tese de Doutorado—Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 324 f..
- MIOT DA SILVA, G., HESP, P.A., 2013. Increasing rainfall, decreasing winds, and historical changes in Santa Catarina dunefields, southern Brazil. *Earth Surface Process and Landforms* 38, 1036-1045. <https://doi.org/10.1002/esp.3390>.
- MIOT DA SILVA, G., MARTINHO, C.T., HESP, P.A., KEIM, B.D., FERLIGOJ, Y., 2013. Changes in dunefield geomorphology and vegetation cover as a response to local and regional climate variations. *Journal of Coastal Research*, SI 65, 1307-1312. <https://doi.org/10.2112/SI65-221.1>
- MMA – Ministério do Meio Ambiente; MPOG - Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. 2004. Projeto orla: Subsídios para um projeto de gestão. Brasília/DF: MMA. 101p.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente; MPOG - Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. 2018. Panorama da Erosão costeira no Brasil. Organização Dieter Muehe. Brasília/DF. 759p.
- MUEHE, D. 1996. Geomorfologia Costeira. In: Cunha, S.B.; Guerra, A.J.T. (org.s) *Geomorfologia: Exercícios. Técnicas e aplicações*. Rio de Janeiro: Editora Bertrand. Brasil, 1996. P.191-238.
- MUEHE, D. 1998. O litoral brasileiro e sua compartimentação. In: Cunha S.B., Guerra A.J.T. (eds) *Geomorfologia do Brasil*. Editora Bertrand Brasil S.A, Rio de Janeiro, pp 273–349
-

-
- MUEHE D, ROSO R.H; SAVI D.C. 2003. Avaliação de método expedito de determinação do nível do mar como datum vertical para amarração de perfis de praia. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 4(1): 53-57.
- MUEHE, D. 2010. Brazilian coastal vulnerability to climate change. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, v. 5, n. 2 p. 173-183.
- MUEHE, D.; BELLIGOTTI, F. M.; LINS-DE-BARROS, F. M.; OLIVEIRA, J. F.; MAIA, L. F. P. G. 2010. Potential vulnerability to climate change of the beach-dune system of the Perú coastal plain - Cabo Frio, Rio de Janeiro state, Brazil. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, vol. 5, n.2, pp. 267-276
- MUEHE, D., ROSMAN, P. C. C., 2011, A orla costeira da Região Metropolitana do Rio de Janeiro: impactos das mudanças climáticas sobre o meio físico In: Nobre, C., Hogan, D. J. (Eds.), *Projeto Megacidades, Vulnerabilidade e Mudanças Climáticas*, INPE/UNICAMP/UFRJ, pp. 77–105, São José dos Campos - SP.
- MUEHE, D.; KLUMB-OLIVEIRA, L. 2014. Deslocamento da linha de costa versus mobilidade praial. *Quaternary and Environmental Geosciences*. 5(2):121-124. (doi [http:// dx.doi.org/10.5380/abequa.v5i2.35884](http://dx.doi.org/10.5380/abequa.v5i2.35884)).
- NASCIMENTO JR., D. R. 2010. Evolução sedimentar holocênica do delta do Rio Tubarão, SC. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 290 pp.
- NEAL, A., 2004. Ground-penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems and progress. *Earth-Science Reviews* 66(3-4), 261-330. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2004.01.004>
- NEAL, J., ABREU, V., 2009. Sequence stratigraphy hierarchy and the accommodation succession method. *Geology* 37(9), 779-782. <https://doi.org/10.1130/G25722A.1>
- NEAL, J., ABREU, V., BOHACS, K.M., FELDMAN, H.R., PEDERSON, K.H., 2016. Accommodation succession ($\delta A/\delta S$) sequence stratigraphy: observational method, utility and insights into sequence boundary formation. *Journal of the Geological Society* 173(5), 803-816. <https://doi.org/10.1144/jgs2015-165>
-

-
- NORDSTROM, K.F.; BAUER, B.O.; DAVIDSON-ARNOTT, R.G.D.; GARES, P.A.; CARTER, R.W.G.; JACKSON, D.W.T.; SHERMAN, D.J. 1996. Off-shore aeolian transport across a bench: Carrick Finn Strand. Ireland Journal of Coastal Research, 664-672. ISSN 0749-020.s.
- OLIVEIRA, J.F., BARBOZA, E.G., BENAVENTE, J., 2016. Nearshore Dynamics and Holocene Evolution of the Coastal Barrier South of the Santa Marta Cape, Southern Brazil. Journal of Coastal Research, SI 75, 437-441. <https://doi.org/10.2112/SI75-088.1>
- OLIVEIRA, J.F., SCARELLI, F., MARTINS, E.M., BARBOZA, E.G., FAGUNDES, M.R., 2017. O Aporte Sedimentar às Praias da Cigana e do Cardoso, Cabo de Santa Marta, Santa Catarina, Brasil. Revista Brasileira de Geomorfologia 18(2), 295-310. <https://doi.org/10.20502/rbg.v18i2.1160>
- ORSELLI, L. 1986. Climatologia. Gaplan- SC. Atlas de Santa Catarina. Aerofoto Cruzeiro, Rio de Janeiro, pp. 38–39.
- OTVOS, E.G. 2012. Coastal barriers – Nomenclature, processes and classification issues. Geomorphology, n.139-140, p.39-52.
- PAYTON, C.E., 1977. Seismic Stratigraphy — Applications to Hydrocarbon Exploration. 26 Memoir AAPG, Tulsa (516 p).
- PIMIENTA, J. 1958. A faixa costeira meridional de Santa Catarina. Rio de Janeiro. DNPM-DGM. Bol.176 pp.
- POLETTE M.; SOUZA J. G.; MAZZER A. M. 1995. Geoecologia da paisagem costeira do estado de Santa Catarina.In: REGIONAL CONFERENCE OF LATIN AMERICAN AND CARIBBEAN COUNTRIES - INTERNATIONAL GEOGRAPHICAL UNION. The world: environment society and development. Havana, Cuba: [s.n.].
- PSUTY, N.P. 1988. Sediment budget and dune/beach interaction. In: Psuty, N.P. (Ed.), J. Coast. Res. SI, 3, pp. 1–4.
- REGUERO B.G., MENÉNDEZ M., MÉNDEZ F.Z., MÍNGUEZ R., LOSADA I.J.2012. A Global Ocean Wave (GOW) calibrated reanalysis from 1948 onwards. Coastal Engineering. 65: 38-55. (doi: 10.1016/j.coastaleng.2012.03.003).
-

-
- ROSA, M.L.C.C. Análise gravimétrica e magnetométrica da região sul da Província costeira do Rio Grande do Sul, setor sudoeste da Bacia de Pelotas. 2009. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 79 p
- ROSA, M.L.C.C., BARBOZA, E.G., DILLENBURG, S.R., TOMAZELLI, L.J., AYUP-ZOUAIN, R.N., 2011. The Rio Grande do Sul (southern Brazil) shoreline behavior during the Quaternary: a cyclostratigraphic analysis. *Journal of Coastal Research* SI 64, 686-690.
- ROSA, M.L.C.C., HOYAL, D.C., BARBOZA, E.G., FEDELE, J., ABREU, V.S., 2016. River-dominated deltas: upscaling autogenic and allogenic processes observed in laboratory experiments to field examples of small deltas in southern Brazil. In: Budd, D.A., Hajek, E.A., Purkis, S.J. (Eds.), *Autogenic Dynamics and Self-organization in Sedimentary Systems*. SEPM Special Publication 106. pp. 176-197. <https://doi.org/10.2110/sepmsp.106.13>
- ROSA, M.L.C.C., BARBOZA, E.G., ABREU, V.S., TOMAZELLI, L.J., DILLENBURG, S.R., 2017. High-frequency sequences in the Quaternary of Pelotas Basin (coastal plain): a record of degradational stacking as a function of longer-term base-level fall. *Brazilian Journal of Geology*, 47(2), 183-207. <http://dx.doi.org/10.1590/2317-4889201720160138>
- ROY, P.S.; COWELL, P.J.; FERLAND, M.A.; THOM, B.G. 1994. Wave-dominated coasts. En: Carter, R.W.G., y Woodroffe, C.D. (Eds.). *Coastal Evolution, Late Quaternary Shoreline Morphodynamics*. Cambridge U.K., Cambridge University Press, p. 121-186.
- ROY, P.S., COWELL, M.A., FERLAND, M.A., THOM, B.G., 1995. Wave-dominated coasts. In: Carter, R.W.G., Woodroffe, C.D. (Ed.), *Coastal Evolution – Late Quaternary Shoreline Morphodynamics*. Cambridge, Cambridge University Press. pp. 121-186. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511564420.006>
- SANJAUME, E.; GRACIA, F.J. (eds). 2011. Las Dunas en España., *Sociedad Española de Geomorfología*, pp. 359-386.
- SAWAKUCHI, A.O.; GIANNINI, P.C.F.; MARTINHO, C.T.; TANAKA, A.P.B. 2009. Grain size and heavy minerals of the Late Quaternary eolian sediments from
-

-
- the Imbituba– Jaguaruna coast, Southern Brazil: depositional controls linked to relative sea-level changes. *Sedimentary Geology* 222, 226–240.
- SCHERER, M.; FERREIRA, C., M. ; MUDAT, J. ; CATANEO, S. 2006. Urbanização e Gestão do Litoral Centro-Sul do Estado de Santa Catarina. *Desenvolvimento e Meio Ambiente (UFPR)* , v. 13, p. 31-50.
- SHERMAN, D. 1995. Problems os scale in the modeling and interpretation of coastal dunes. *Marine Geology*.124 (1995) 339-349.
- SHERMAN, D.J.; HOTTA, S. 1990. Aeolian sediment transport: theory and measurements. In: Nordstrom, K.F., Psuty, N.P., Carter, R.W.G. (Eds.), *Coastal Dunes: Form and Process*. John Wiley & Sons, Chichester, pp. 17–37.
- SHORT, A.D.; HESP, P.A. 1982. Wave, beach and dune interactions in southeast Australian. *Marine Geology*, 48, p. 259-284.
- SHORT, A. 1999. *Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*. New York: John Wiley e Sons.
- SHORT A.D., AND JACKSON D.W.T. 2013. Beach Morphodynamics. In: John F. Shroder (ed.) *Treatise on Geomorphology*, Volume 10, pp. 106-129. San Diego: Academic Press.
- 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.
- SPG. Secretaria do Planejamento. 2010. *Implantação do Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro - Fase 1: Zoneamento Ecológico Econômico Costeiro Setor Litoral Centro-Sul*. Florianópolis/Santa Catarina: SPG. 160p.
- STIVE, M.J.F.; DE VRIEND, H.J. 1995. Modelling shoreface profile evolution. *Marine Geology* 126, 235–248.
- THIELER, E.R.; HIMMELSTOSS, E.A.; ZICHICHI, J.L.; ERGUL, A. 2009. Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0— An ArcGIS extension for calculating shoreline change: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278..
-

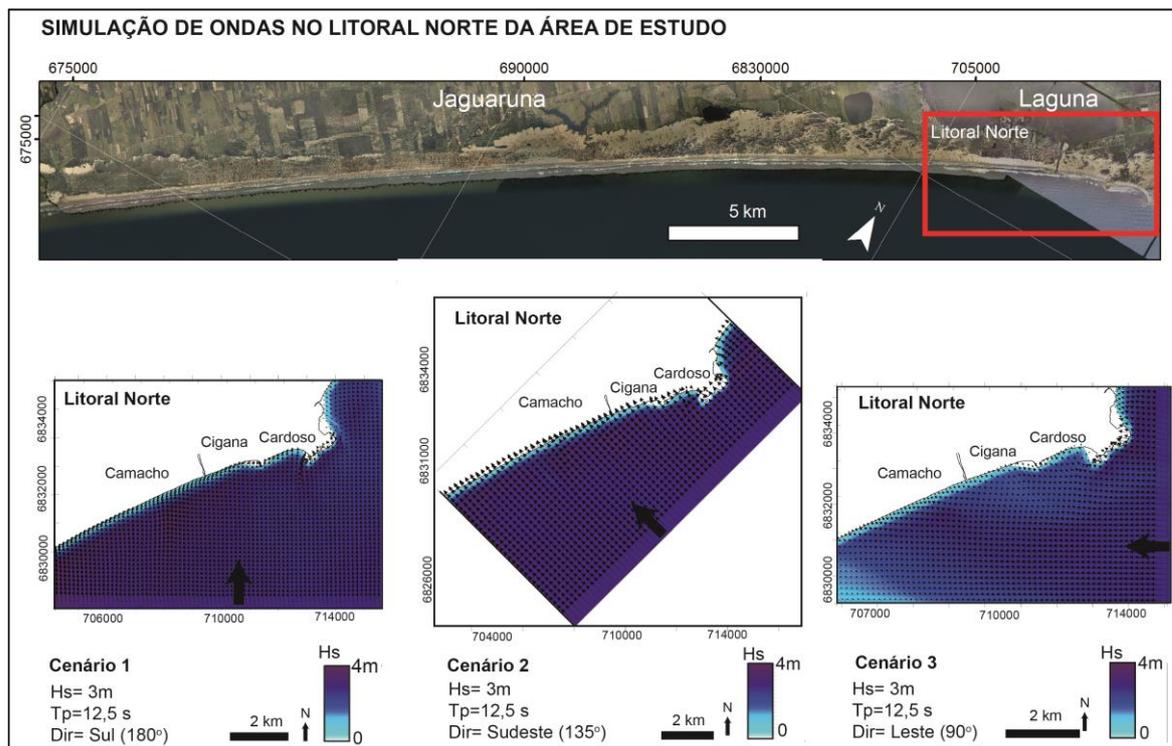
-
- TOLDO JR, E. E.; DILLENBURG, S. R.; ALMEIDA, L. E. S. B.; TABAJARA, L. L.; MARTINS, R. R.; CUNHA, L. O. B. P. 1993. Parâmetros morfodinâmicos da praia de Imbé, RS. *Pesquisas*, 20(1): 27-32. CECO/IG/UFRGS, Porto Alegre, RS.
- TOLDO JR, E. E.; ALMEIDA, L. E. S. B.; NICOLODI, J. L.; ABSALONSEN, L.; GRUBER, N. L. S. 2006. Controle da Deriva Litorânea no Desenvolvimento do Campo de Dunas e da 52 Antepraia no Litoral Médio do Rio Grande do Sul. *Pesquisas em Geociências*, 33, p. 35 - 42.
- TOMAZELLI, L.J. 1990. Contribuição ao Estudo dos Sistemas Depositionais do Nordeste da Província Costeira do Rio Grande do Sul, com Ênfase no Sistema Eólico. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre
- TOMAZELLI, L.J. AND 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. *Revista Pesquisas*, Porto Alegre, v. 19, p. 3-12.
- VIEIRA, C. V.; FELIX, A.; BAPTISTA, E. M. C.; HORN FILHO, N. O. 2009. Paleogeografia da planície costeira das folhas Jaguaruna e Lagoa de Garopaba do Sul, litoral sul do estado de Santa Catarina. *Geosul*, 24(47): 91-112.
- VIEIRA DA SILVA, G., CARVALHO, J.L.B., KLEIN, A.H.F., 2011. Camacho Inlet Southern Brazil – Instability causes and user conflicts. *Ocean and Coastal Management* 4(8), 569-576. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2011.04.003>
- 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 South America and Antarctic Peninsula* 4. pp. 79-97.
- VILLWOCK, J.A. AND TOMAZELLI, L.J., 1995. Geologia Costeira do Rio Grande do Sul. *Notas Técnicas*. CECO, Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre, v. 8, 45p.
-

WRIGHT, L. D. & SHORT, A. D. 1983. Morphodynamics of beaches and surf zones in Australia. In: Komar P. D. ed. Handbook of coastal processes and erosion. Boca Raton, CRC Press, p. 35-64.

WRIGHT, L.D., SHORT, A.D., 1984. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A synthesis. Marine Geology 56(1-4), 93-118.
[https://doi.org/10.1016/0025-3227\(84\)90008-2](https://doi.org/10.1016/0025-3227(84)90008-2)

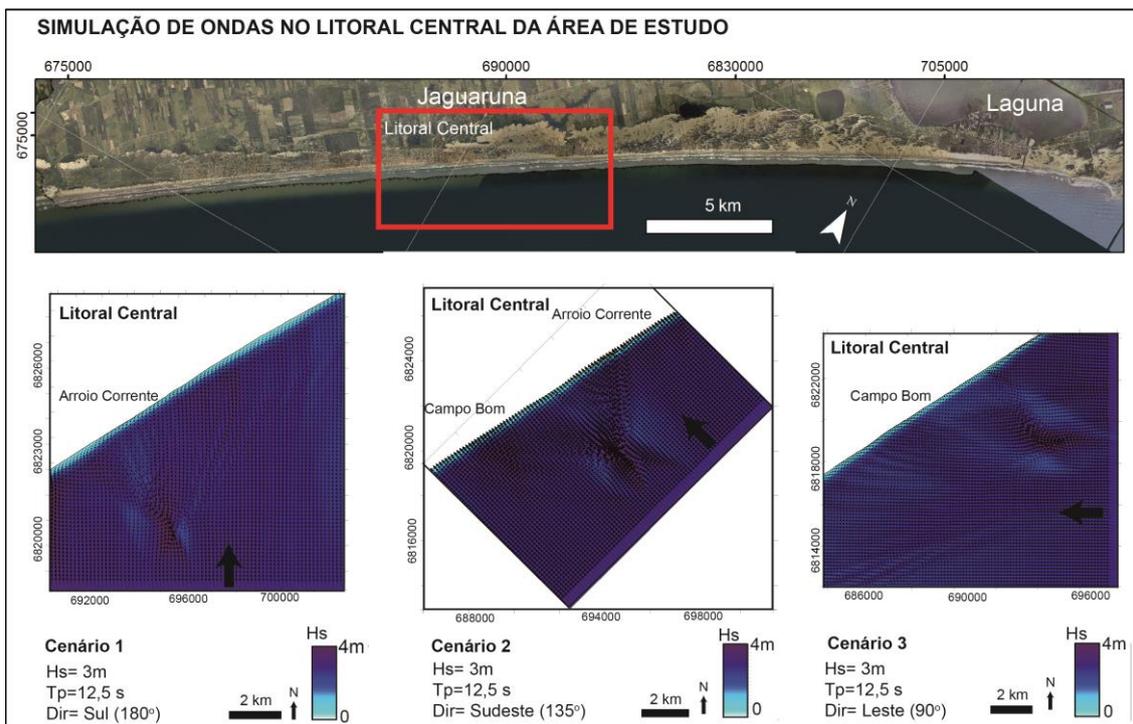
Anexos

ANEXO A –



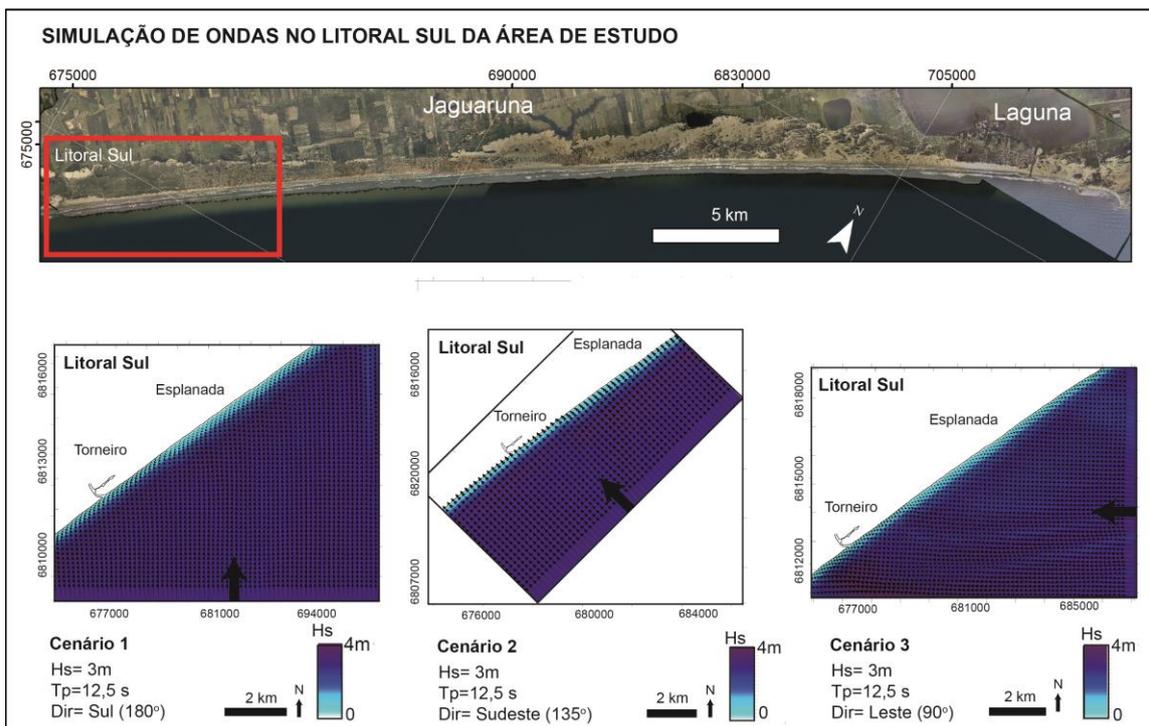
Anexo A: Simulação de ondas provenientes de sul, sudeste e leste, no litoral norte da área de estudo.

ANEXO B -



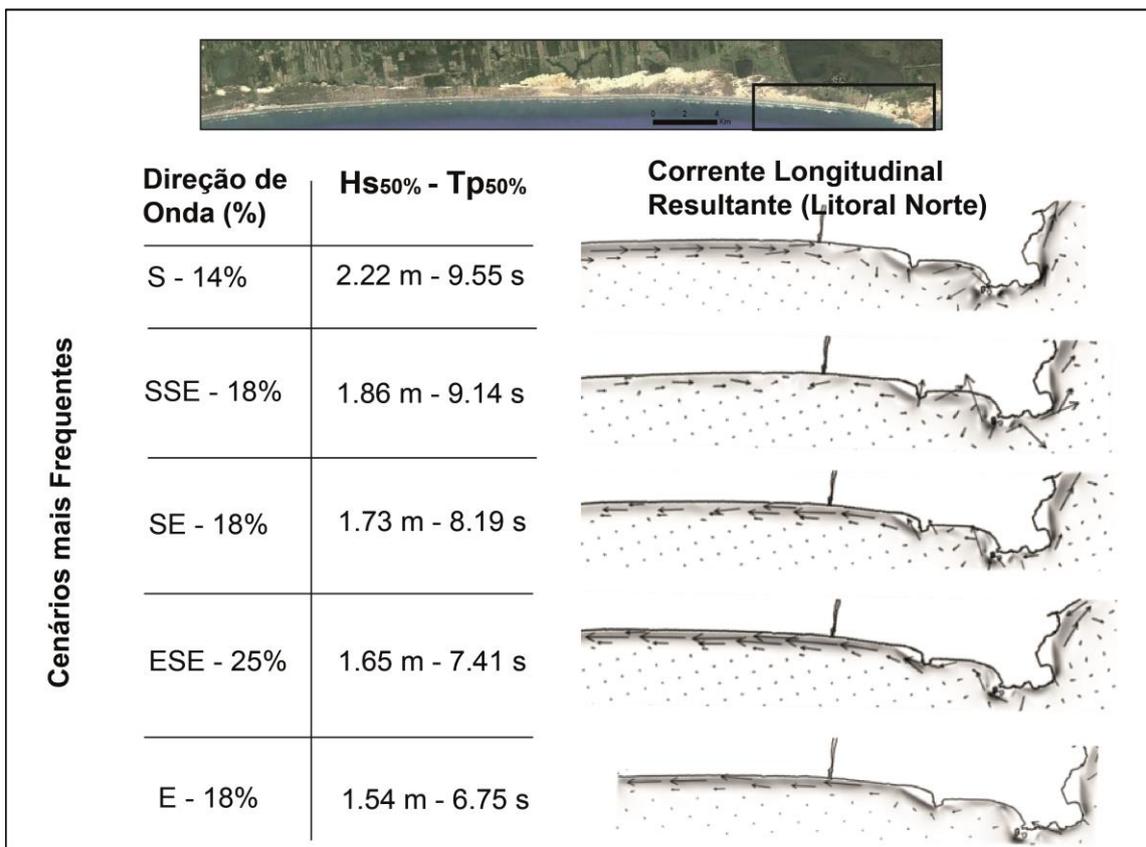
Anexo B: Simulação de ondas provenientes de sul, sudeste e leste, no litoral central da área de estudo.

ANEXO C –



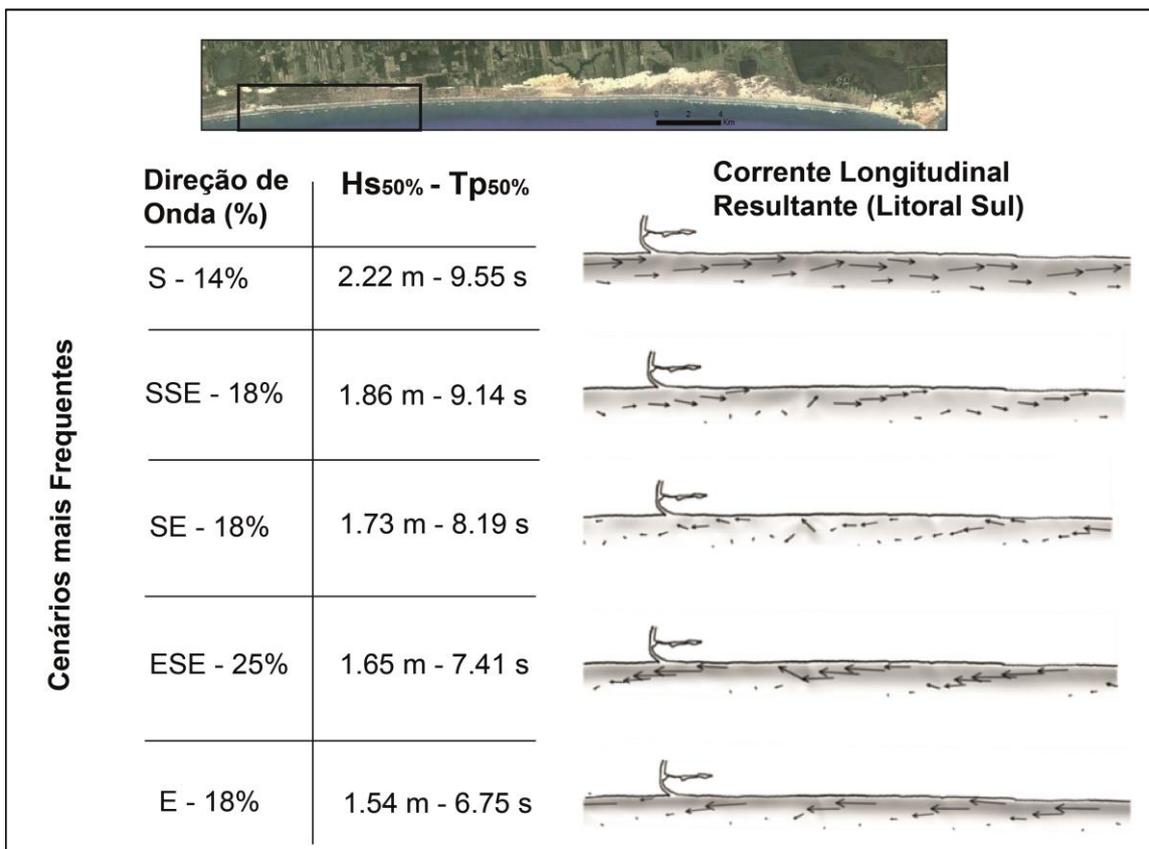
Anexo C: Simulação de ondas provenientes de sul, sudeste e leste, no litoral sul da área de estudo.

ANEXO D –



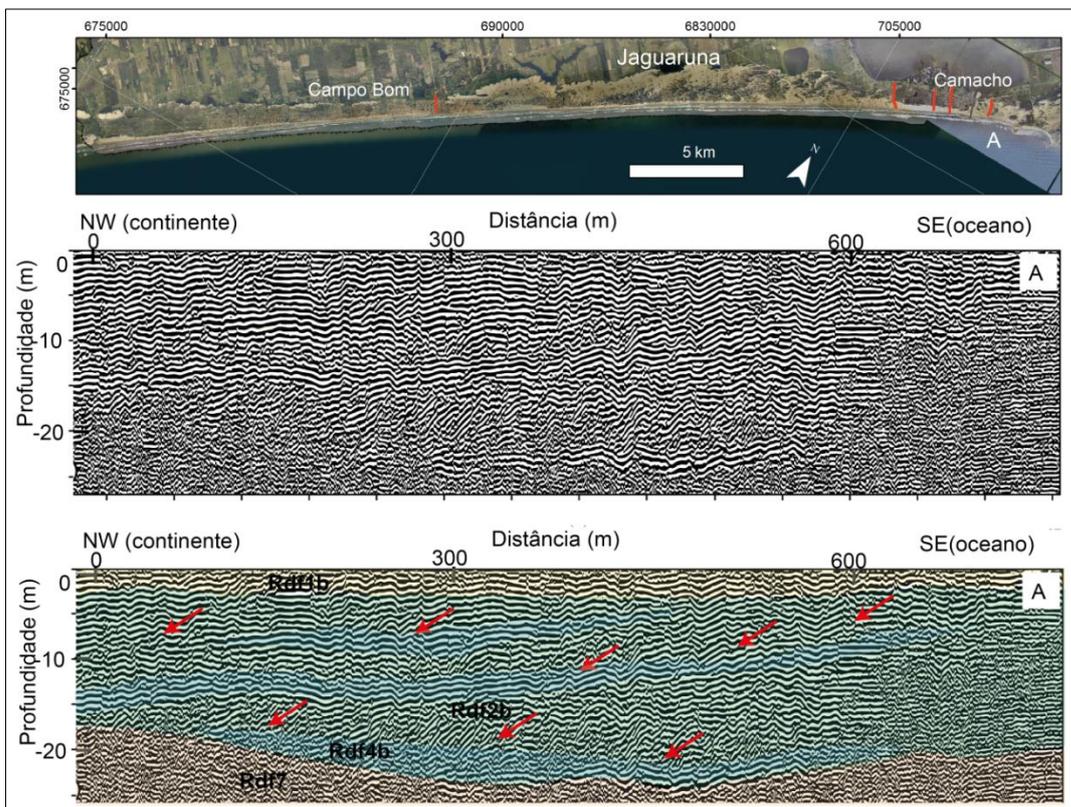
Anexo D: Transporte longitudinal resultante no litoral norte nos cenários de ondas mais frequentes.

ANEXO E –



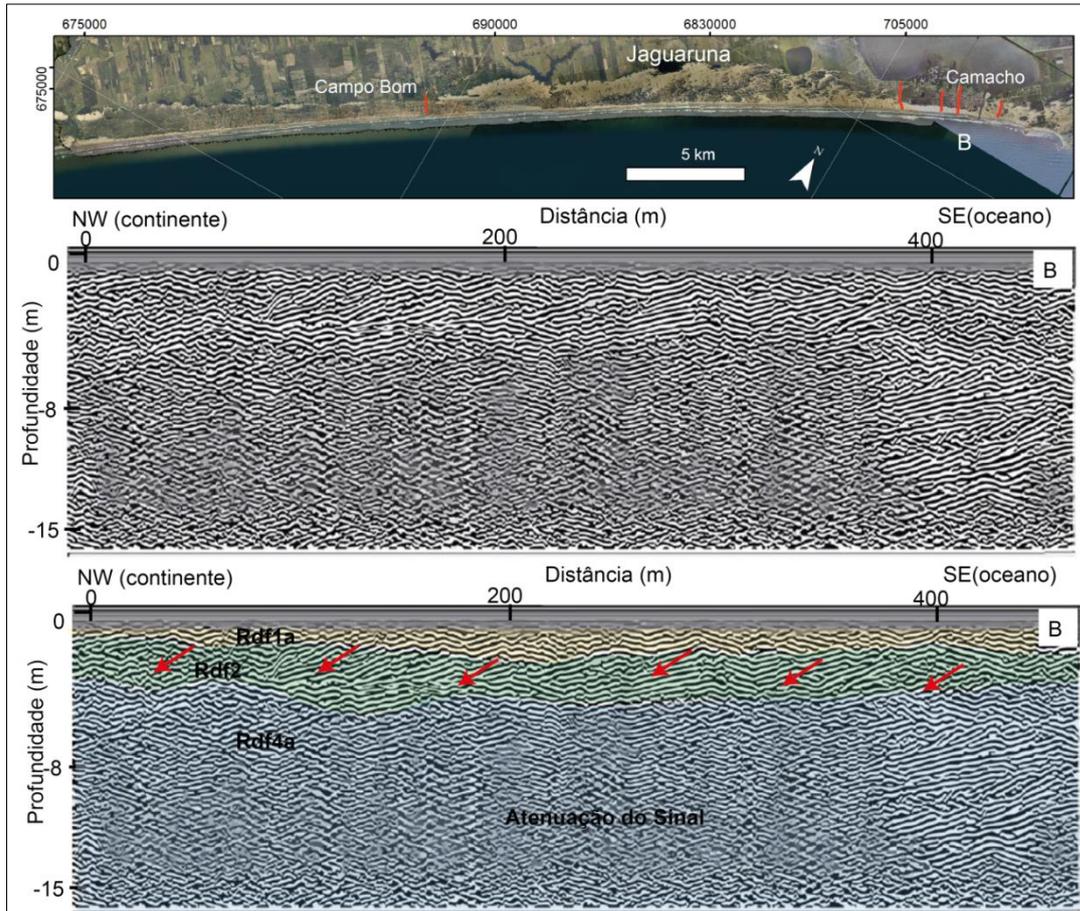
Anexo E: Transporte longitudinal resultante no litoral sul nos cenários de ondas mais frequentes.

ANEXO F –



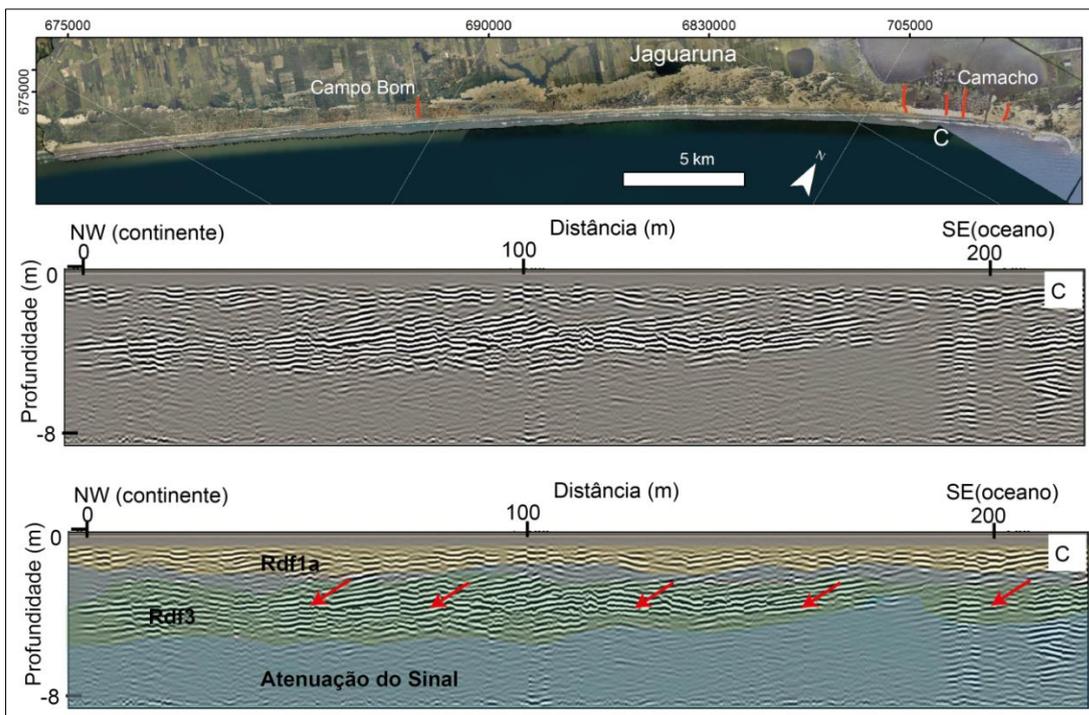
Anexo F: Seção de GPR obtida com antena 80 MHz na Praia da Cigana (Laguna).

ANEXO G –



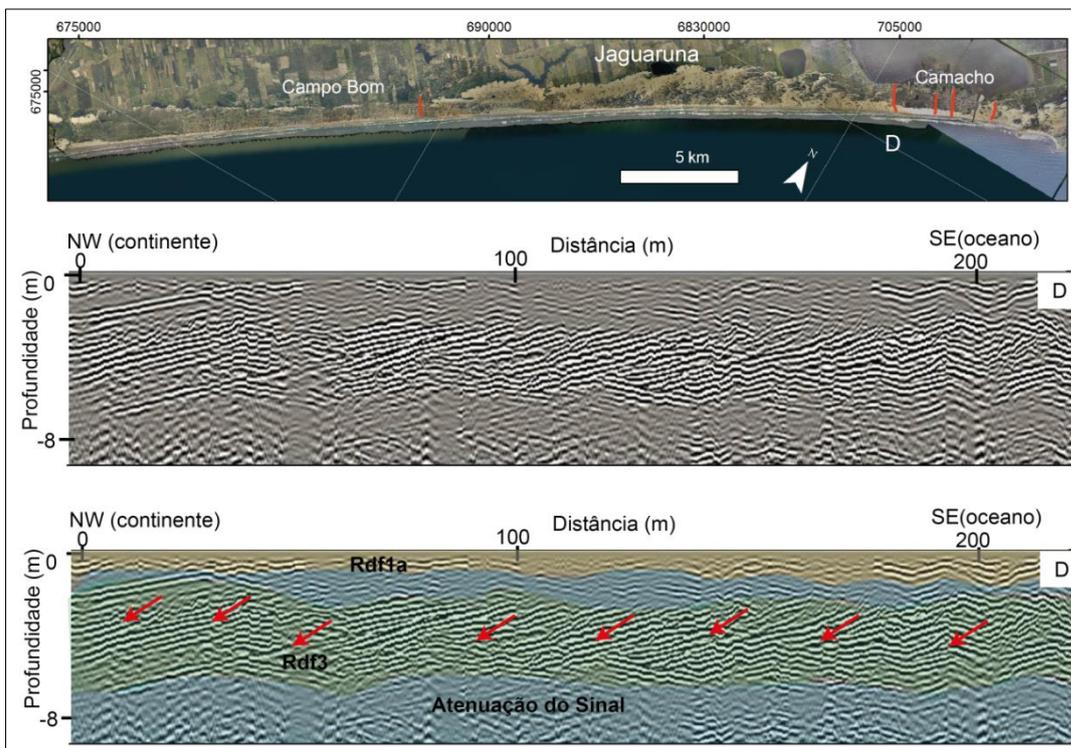
Anexo G: Seção de GPR obtida com antena de 200 MHz no Balneário Camacho (Jaguaruna) (modificado de Martins *et al.*, 2014).

ANEXO H –



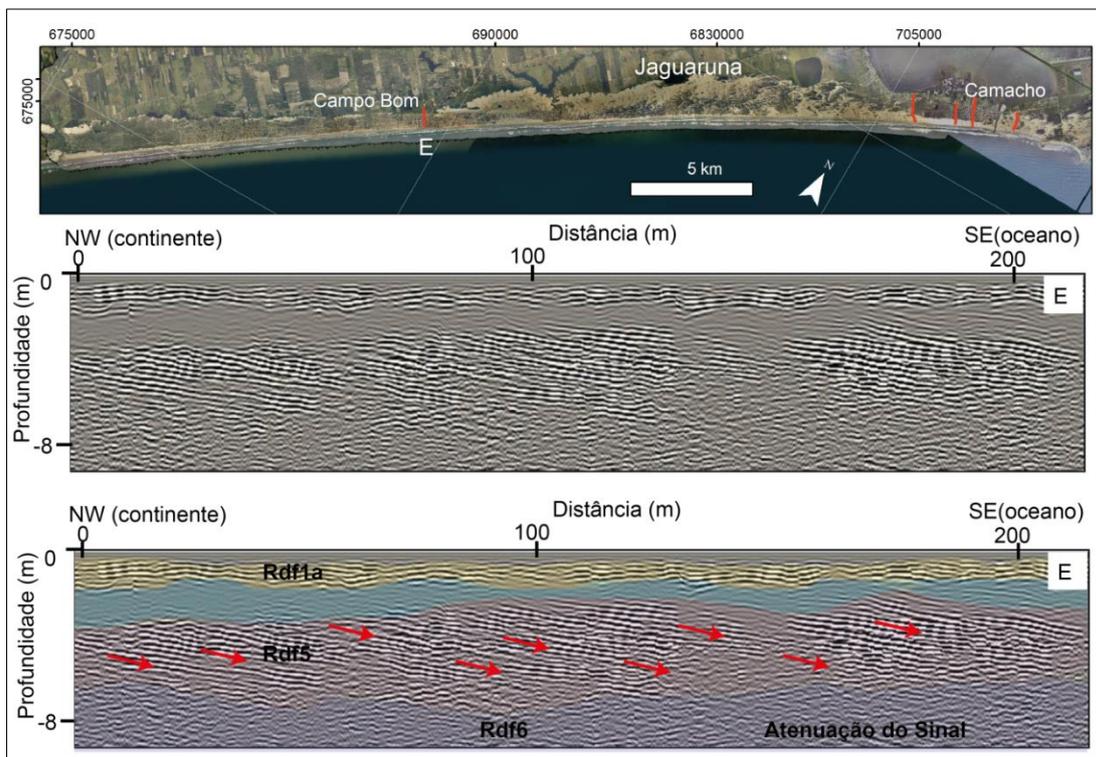
Anexo H: Seção de GPR obtida com antena de 200 MHz no Balneário Camacho (Jaguaruna) (Oliveira *et al.*, 2016).

ANEXO I –



Anexo I: Seção de GPR obtida com antena de 200 MHz no Balneário Garopaba do Sul (Jaguaruna) (Oliveira *et al.*, 2016).

ANEXO J –



Anexo J: Seção de GPR obtida com antena de 200 MHz no Balneário Campo Bom (Jaguaruna) (Oliveira *et al.*, 2016).

ANEXO I
Título da Dissertação:
“A DINÂMICA E A EVOLUÇÃO COSTEIRA DO LITORAL AO SUL DO CABO DE SANTA MARTA, ESTADO DE SANTA CATARINA”
Área de Concentração: Geologia Marinha
Autor: Julio Fernandes de Oliveira
Orientador: Prof. Dr. Eduardo Guimarães Barboza
Examinador: Dr. Anderson Biancini da Silva
Data: 20/05/2019
Conceito: B
PARECER:
<p>A tese apresenta uma consonância entre objetivos, metodologia e resultados obtidos, no entanto o capítulo 1 carece de uma melhor organização sequencial de informações e melhora na fluência do texto.</p> <p>O ponto alto da tese é o viés prático apresentado, abrangendo questões que contribuem para a tomada de decisões por parte dos gestores públicos.</p> <p>Também merece destaque o capítulo 5, no qual o autor discute os dados apresentados no corpo do texto, integrando os artigos publicados e submetidos, além de uma descrição das características morfodinâmicas das barreiras presentes na área de estudo.</p> <p>Tendo em vista que somente um artigo ainda não foi publicado, este requer algumas pequenas considerações citadas abaixo:</p> <p><i>Results and Discussion:</i></p> <ul style="list-style-type: none">a) Foi descrito a presença de uma superfície erosiva. Esta não foi interpretada e evidenciada na Figura 5.;b) As descrições de todas as radarfácies deveriam seguir um padrão de detalhamento (amplitude, terminação dos refletores, profundidade, espessura e etc.);c) Na legenda da Figura 5 não está explicitado o que significam as setas pretas;d) Na Tabela 1, uma breve descrição das radarfácies facilitaria a compreensão

transgressivo holocênico, trazendo a Figura 34 para o corpo do artigo;

De acordo com todo conteúdo apresentado na tese, bem como os resultados expostos, levanta-se aqui uma hipótese mais adequada para a tese: “ A existência de padrões estratigráficos anômalos dentro do contexto de embaiamentos costeiros (área de estudo), sendo estes gerados por fatores autóctones de mais alta frequência.”

O produto final tem relevância acadêmica, científica e prática.

Assinatura: Anderson Bioncini do Silva

Data: 20/05/2019

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno:

ANEXO I

Título da Dissertação:

“A DINÂMICA E A EVOLUÇÃO COSTEIRA DO LITORAL AO SUL DO CABO DE SANTA MARTA, ESTADO DE SANTA CATARINA”

Área de Concentração: Geologia Marinha

Autor: **Julio Fernandes de Oliveira**

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Guimarães Barboza

Examinador: Dr. Felipe Caron

Data: 20/5/2019

Conceito: 3

PARECER:

A TESE APRESENTA DADOS INÉDITOS E COM EXCELENTE QUALIDADE. OS ASPECTOS METODOLÓGICOS TRANSITAM EM DIFERENTES ESCALAS DE TRABALHO. A TESE DEMONSTRA BOM CONTROLE DAS METODOLOGIAS. OS RESULTADOS SE APRESENTAM CLAROS COM BOA ANÁLISE. OS ARTIGOS COMO CORPO PRINCIPAL DA TESE ESTÃO DE BOA QUALIDADE E TRAZEM CONTRIBUIÇÕES SIGNIFICATIVAS NO CONHECIMENTO DA GEOLÓGIA COSTEIRA DO LITORAL SUL CATARINENSE. AS CONCLUSÕES SÃO PERTINENTES E IMPORTANTES COMO SUBSÍDIOS PARA O GERENCIAMENTO COSTEIRO DESTES SETOR DO LITORAL CATARINENSE.

Lined writing area for text.

Assinatura:

[Handwritten signature]

Data:

20/05/2019

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno:

ANEXO I	
Título da Dissertação:	
“A DINÂMICA E A EVOLUÇÃO COSTEIRA DO LITORAL AO SUL DO CABO DE SANTA MARTA, ESTADO DE SANTA CATARINA”	
Área de Concentração: Geologia Marinha	
Autor: Julio Fernandes de Oliveira	
Orientador: Prof. Dr. Eduardo Guimarães Barboza	
Examinador: Dr. Nelson Luiz Sambaqui Gruber	
Data: 20/05/2019	
Conceito: A Excelente	<i>Deferência à qualidade do trabalho e nível das publicações</i>
PARECER:	
O Trabalho de Tese apresentado é de grande relevância no tema e trata de questões	
de Geotecnologias aplicadas na costa de Jaguaruna com possibilidade de uso estratégico para Gestão e Gerenciamento costeiro.	
Os Objetivos e Hipótese aparentados são claros e os Resultados correspondem ao.	
proposto. A redação é clara e o texto é fluido aplicação de geotecnologias e com ilustrações e muito bem utilizadas.	
A Metodologia trata de aplicação de diversos métodos e modelos para mapeamentos e definição de parâmetros de dinâmica e evolução costeira, considerando o SMC como uma das ferramentas bem utilizadas	
Os Resultados são de extrema relevância, sobretudo na definição de Propostas de Evolução costeira com setores de Retrogradação e Progradação costeira, que ainda	
se configura numa ferramenta muito útil para gestão e gerenciamento costeiro.	
Os artigos são de grande relevância e publicados em revistas de peso.	
Consideramos o trabalho apto obtenção de título de Doutor.	
Aprovado	
<i>Deferência especial à qualidade dos artigos e revistas</i>	
Assinatura: <i>Nelson Luiz Sambaqui Gruber</i>	Data: 20/05/2019
Ciente do Orientador: <i>[Assinatura]</i>	
Ciente do Aluno: <i>[Assinatura]</i>	