

Universidade Federal do Rio Grande – FURG
Instituto das Ciências Humanas e da Informação – ICHI
Programa de Pós-Graduação em Geografia – PPGGeo
Linha de pesquisa: Análise de Sistemas Naturais e Ambientais



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**MOBILIDADE DO LIMITE PRAIA DUNA NO BALNEÁRIO
MOSTARDENSE – RS: MONITORAMENTO POR DRONE**

RODRIGO SILVA SIMÕES

Orientador: Prof. Dr. Ulisses Rocha de Oliveira (ICHI-FURG)

RIO GRANDE
2018

Rodrigo Silva Simões

**MOBILIDADE DO LIMITE PRAIA DUNA NO BALNEÁRIO MOSTARDENSE
– RS: MONITORAMENTO POR DRONE**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia – PPGGeo da Universidade Federal do Rio Grande – FURG, linha de pesquisa Análise de Sistemas Naturais e Ambientais, como requisito para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Ulisses Rocha de Oliveira (Orientador – ICHI – FURG)

Prof. Dr. Miguel da Guia Albuquerque (IFRS – PPGGeo)

Dr. Rodrigo do Carmo Barletta (CB&I Brazil, Environmental & Infrastructure)

Prof. Dr. Éder Bayer Mayer (Suplente – ICHI – FURG)

Rio Grande - RS, fevereiro de 2018

*Essa noite eu tive um sonho...
nem deu pra acreditar.
Era diferente...
custei pra acordar.
Todo mundo estava...
convivendo em paz.
A vida valia mais...
Não tinha miséria...
nem destruição.
Nem tinha barreiras...
de imigração.
Todo mundo estava...
convivendo em paz.
A vida valia mais...*

*Só que o mundo está em guerra, ganância e ambição
É o que a sociedade nos faz...
Sem ter perspectiva, guerra por religião
Estamos caminhando pra “trás” ...*

*Então eu acordei, e agora eu percebi
O que é preciso fazer...
Fazer alguém feliz, faça uma boa ação
Eu faço isso enquanto viver...*

*Porque rumamos para guerra e para destruição
Então eu me permito sonhar...
E se o mundo inteiro fosse alagado
Por um tsunami de paz?
Rumamos para guerra e para destruição
Então eu me permito sonhar....
E se o mundo inteiro fosse visitado
Pelo extraterrestre da paz?
(Rodrigo Simões)*

AGRADECIMENTOS

É difícil completar um ciclo de trabalho por algo em torno de dois anos, sem ter muito e muitos para agradecer. Seja por todo conhecimento adquirido na convivência com os colegas e professores, nas disciplinas cursadas, trabalhos de campo realizados, ou nas conversas, por muitas vezes despretensiosas e descontraídas, mas que muito me ensinaram sobre a profissão e a vida acadêmica. Obviamente existem aquelas pessoas, internas ou externas ao convívio acadêmico, que em algum momento tiveram uma participação expressiva na realização deste trabalho ou mesmo em minha formação profissional. Este singelo texto, é dedicado a essas pessoas especiais.

Inicialmente gostaria de agradecer a todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Geografia da FURG, que muito colaboraram com minha formação, alguns inclusive desde a graduação. Agradecer também a todos os colegas do programa, em especial ao Gabriel Motta e ao Marcos Lima, por todas conversas no laboratório de Geomorfologia e Recursos Hídricos e todos os conselhos e discussões muito produtivas na elaboração de mapas e produtos. Ainda agradecer aos colegas Caio Pandolfo e João Flores, colegas desde a graduação, que juntamente comigo, cerca de dois anos atrás, estavam a organizar toda documentação necessária para o ingresso no programa, e que neste momento também estão finalizando este ciclo e prestes a iniciar um novo. Agradecer ainda aos colegas Luis Zuñiga “Chileno” pelo auxílio em alguns dos trabalhos de campo (ao meio dia solar), e a Thaís Conceição e Bruna Gautério pelas dicas sobre geoprocessamento.

Também gostaria de expressar minha gratidão ao pessoal do IFRS, que com a convivência tornaram-se meus amigos: Jean Espinoza, Miguel Albuquerque e Deivid Alves, por todas contribuições prestadas, seja com empréstimo de equipamentos, auxílio no tratamento de dados ou nos trabalhos de campo de “olho no drone”. Ainda é importante agradecer ao seu João e ao Salati também pelo auxílio com o receptor geodésico. Gostaria ainda de agradecer aos professores Christian Serpa e Elaine Goulart, pelas contribuições muito construtivas, que foram prestadas ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Também agradeço ainda a duas pessoas da minha família que sempre me apoiaram e estiveram presentes em todos os momentos da realização deste trabalho, seja “correndo atrás do drone” em trabalhos de campo, seja me dando inúmeros conselhos, ou me

aguentando falar da dissertação a cada 15 minutos. Ao meu pai e a minha namorada Monique registro aqui minha eterna gratidão.

Gostaria também de agradecer ao meu orientador Ulisses Oliveira, pela confiança depositada, em acreditar nas minhas ideias e me auxiliar a concretizar meus projetos, seja este que está sendo finalizado, ou aos próximos passos de minha carreira profissional, pois certamente contei com seus conselhos, auxílio e votos de confiança, seja em árduos trabalhos de campo ao longo dos últimos dois anos “ao sol do meio dia”, ou em diversas discussões muito produtivas no laboratório de Geomorfologia e Recursos Hídricos. Hoje posso dizer que somos ótimos amigos, fruto de uma parceria profissional bem-sucedida e produtiva, que rendeu diversos trabalhos, além de uma bela amizade. Em tempo ainda, gostaria de agradecer do fundo do coração, mais uma vez a todos que me auxiliaram em minha carreira acadêmica e a todos meus familiares, as pessoas citadas nesta singela homenagem e aquelas que em função de um breve lapso não foram citadas, gostaria de prestar neste momento os meus mais sinceros agradecimentos. Muito obrigado!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABELAS	XI
LISTA DE GRÁFICOS	XI
RESUMO	XII
ABSTRACT	XIII
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	6
2.1. Objetivo Geral	6
2.2. Objetivos específicos	6
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	7
3.1. Praias arenosas oceânicas	7
3.1.1. Estágios morfodinâmicos	8
3.1.2. Taxas de variação da linha de costa	11
3.2. Dunas Costeiras	14
3.2.1. Dunas frontais incipientes	14
3.2.2. Dunas frontais	15
3.2.3. Dunas transgressivas	18
3.3. Uso de imagens aéreas e orbitais no estudo costeiro	19
3.3.1. Fotografias aéreas e imagens orbitais.....	19
3.3.1.1. Imagens orbitais no estudo de praias e dunas costeiras.....	22
3.3.2. Drones e vant's.....	23
3.3.2.1. Drones e vant's no estudo de praias e dunas costeiras	24
4. ÁREA DE ESTUDO	26
4.1. Localização Geográfica	26
4.2. Caracterização geológica e geomorfológica	27
4.2.1. Quaternário Costeiro	27
4.2.2. Praias arenosas	29
4.2.3. Dunas costeiras.....	32
4.3. Breve histórico de ocupação e características socioeconômicas	33
5. MATERIAIS E MÉTODOS	35
5.1. Revisão bibliográfica e documental	35
5.2. Geoprocessamento e análise de imagens orbitais e fotografias aéreas	36
5.2.1. Aquisição e processamento das imagens.....	36
5.2.1.1. Aquisição e processamento de imagens do Google Earth PRO	36

5.2.1.2. Aquisição e processamento de fotografias aéreas utilizando drone	36
5.2.1.2.1. <i>O equipamento utilizado (drone)</i>	37
5.2.1.2.2. <i>Planejamento da coleta de dados e segurança de voo</i>	38
5.2.1.2.3. <i>Coleta de dados com pilotagem manual</i>	39
5.2.1.2.4. <i>Calibração da Câmera</i>	39
5.2.1.2.5. <i>Fluxograma</i>	40
5.2.1.2.6. <i>Obtenção de fotografias verticais</i>	42
5.2.1.2.7. <i>Obtenção de fotografias oblíquas</i>	42
5.2.1.2.8. <i>Trabalhos de campo</i>	43
5.2.1.2.9. <i>Processamento das fotografias verticais</i>	44
5.2.1.3. Georreferenciamento e registro das imagens orbitais e mosaicos de fotografias aéreas.....	45
5.2.2. Caracterização da mudança morfológica do limite praia duna.....	46
5.2.2.1. Variação do limite praia duna entre 2005 e 2017.....	47
5.2.2.2. Variação do limite praia duna entre junho de 2016 a junho de 2017	47
5.3. Condições oceanográficas e meteorológicas entre junho de 2016 e junho de 2017 ..	47
5.3.1. Coleta de séries de dados de onda	48
5.3.2. Coleta de séries de dados meteorológicos	50
5.4. Situação das edificações frente aos processos erosivos e eólicos	51
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
6.1. Variação limite praia duna entre 2005 e 2017	54
6.1.1. Variação da linha de costa e mobilidade dunar	61
6.2. Variação do limite praia duna entre 2016 e 2017	68
6.2.1. Dados meteo-oceanográficos	76
6.2.1.1. Dados de vento	76
6.2.1.2. Dados de onda	80
6.2.1.2.1. <i>Ciclone ocorrido em outubro de 2016</i>	83
6.2.1.3. Radiação, temperatura, chuva e umidade	84
6.2.2. Processos costeiros na variação do limite praia duna.....	86
6.2.3. Estado morfodinâmico da praia.....	100
6.3. Situação das edificações a beira mar em relação aos processos de erosão costeira e movimentação eólica	102
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	106
8. REFERÊNCIAS	109
ANEXOS	115

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação em perfil e em planta dos seis estágios morfodinâmicos segundo WRIGHT; SHORT, 1984 (Fonte: CALLIARI et al., 2003).....	9
Figura 2. Dinâmica do sistema praia-duna (Fonte: DA SILVA, 2006 modificado de HESP, 2000).....	16
Figura 3. Diagrama esquemático da zona de surf em praias refletivas, intermediárias e dissipativas, mostrando também os típicos estágios de dunas e a cobertura vegetal (Fonte: Modificado de HESP, 2012).....	17
Figura 4. Relação entre a energia de ondas e o tipo de dunas costeiras majoritariamente encontrado (Fonte: Modificado de Short, 1988).....	18
Figura 5. (a) Boston nos Estados Unidos fotografada por James W. Black e Samuel A. King em 1860 a partir de um balão a 350 metros de altura. (b) Pombos correio equipados com câmeras fotográficas desenhadas por Julius Neubronner. (c) Fotografia aérea realizada por pombo correio. (d) Fotografia aérea dos escombros de São Francisco nos Estados Unidos, após terremoto em 1906, realizada por George R. Lawrence com uma série de 17 pipas interligadas erguendo uma câmera de mais de 22 kg (Fonte: Adaptado de JENSEN, 2009).....	20
Figura 6. Mapa de localização da área de estudo.....	26
Figura 7. Perfil esquemático (W-E) transversal aos sistemas deposicionais da Planície Costeira do Rio Grande do Sul com suas fácies sedimentares associadas (Fonte: TOMAZELLI; VILLWOCK, 2005).....	28
Figura 8. Barreiras Pleistocênicas e Holocênica ao longo da costa do RS de Torres até a barra do Chuí. O segmento I indica o setor mais ao Norte e assim progressivamente até o segmento mais ao Sul (IV) (Fonte: DILLEMBURG et al., 2009).....	29
Figura 9. Contornos batimétricos de profundidade na costa central do RS (Fonte: BARLETTA, 2006).....	30
Figura 10. Erosão e progradação da linha de costa segundo diagramas de refração de ondas para o Litoral Médio do RS (Fonte: SPERANSKI; CALLIARI, 2006).....	32
Figura 11. (a) Drone Phantom 3 profissional. (b) Controle do drone Phantom 3 Professional e tablet acoplado, com destaque para as informações contidas na telemetria do equipamento (fonte: www.dji.com).....	37
Figura 12. (a) Fotografia aérea de drone com tamanho (4000x3000pixels), demonstrando um segmento do balneário Cassino em 10/5/2016, onde há uma passarela sobre as dunas. (b) Fotografia do mesmo local com tamanho (4000x2250pixels) adquirida no dia 19/5/2016, testando diferentes configurações de exposição.....	40
Figura 13. Fluxograma da coleta e processamento de dados.....	41
Figura 14. Modelo esquemático indicando formas de obtenção de fotografias aéreas: (a) Fotografia vertical. (b e c) Fotografias oblíquas ou inclinadas. d) Fotografia horizontal. Fonte: Adaptado de Disperati (1995).....	42
Figura 15. (a) Fotografia oblíqua obtida por drone, com visada para o Sul do Balneário Mostardense adquirida em 8/7/2016 a 400 m de altura em relação ao solo. (b) Fotografia oblíqua com visada para o Norte do Balneário Mostardense adquirida em 8/7/2016 a 400 m de altura em relação ao solo.....	43
Figura 16. Mosaicos das imagens de drone obtidas com as campanhas realizadas em 5/11/2016 (a) e 7/12/2016 (b).....	45
Figura 17. Fragmento das informações contidas no banco de dados gerado pelo ondógrafo.....	49

Figura 18. Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática 86994, instalada na Praia do Farol, em Tavares.....	50
Figura 19. Fragmento de imagem orbital de 7/12/2014 com destaque para a rua B, que delimita as ocupações analisadas.....	51
Figura 20. Variação do limite superior da praia entre 13/8/2005 e 13/8/2016.....	55
Figura 21. Variação do limite superior da praia entre 7/12/2014 e 7/12/2016.....	56
Figura 22. Variação do limite superior da praia entre 15/6/2016 e 14/6/2017.....	57
Figura 23. Variação do limite superior da praia entre 13/8/2005 e 14/6/2017.....	58
Figura 24. Fotografia oblíqua obtida por drone no balneário Mostardense em 15 de junho de 2016, identificando alteração na orientação da linha de costa ao Norte do mesmo.....	61
Figura 25. Fotografia oblíqua de drone obtida cerca de 700 metros ao Norte do sangradouro que delimita o balneário, onde é possível observar dunas deslocando-se em direção as construções na porção norte do sítio urbano.....	63
Figura 26. (a) Afloramento de turfa na porção central do balneário e dunas frontais bastante escarpadas. (b) Mesmo afloramento em detalhe. (c) Afloramento de turfas nas proximidades da Praia do Farol, poucos km ao Sul do balneário Mostardense. (d) Afloramento de turfa nas proximidades do balneário Pai João poucos km ao Norte do balneário Mostardense.....	66
Figura 27. Relação entre “sand waves” deriva litorânea e erosão costeira. Fonte: BARLETTA; CALLIARI, 2002; SPERANSKI; CALLIARI, 2006; ABSALONSEN; TOLDO JR., 2007; ALVES, 2009; SIMÕES, 2015; LEAL, 2016; LIMA; SATO, 2017.....	67
Figura 28. Imagens orbitais e mosaicos de fotografias aéreas obtidas por drone utilizados na pesquisa e vetorizações das respectivas linhas de costa entre 2005 e 2016.....	69
Figura 29. Mosaicos de fotografias aéreas obtidos por drone utilizados na pesquisa e vetorizações das respectivas linhas de costa entre 2016 e 2017.....	70
Figura 30. Mosaicos de fotografias aéreas obtidos por drone utilizados na pesquisa e vetorizações das respectivas linhas de costa em 2017.....	71
Figura 31. Comportamento da linha de costa no balneário Mostardense entre 15jun2016 e 7dez2016.....	73
Figura 32. Comportamento da linha de costa no balneário Mostardense entre 7dez2016 e 14jun2017.....	73
Figura 33. Variabilidade da linha de costa no balneário Mostardense entre 2005 e 2017.....	75
Figura 34. Escarpas nas dunas frontais do balneário Mostardense em 8 de julho de 2016.....	86
Figura 35. Aporte eólico na base das dunas frontais em 13 de agosto de 2016.....	87
Figura 36. Recomposição das dunas frontais em 9 de setembro de 2016 no balneário Mostardense.....	88
Figura 37. Fotografias realizadas ao final da tarde do dia 28/10/2016 por morador local, demonstrando a maré meteorológica positiva e ondas de alta energia chegando a base das dunas frontais. (a) Arbustos expostos a ação marinha direta. (b) Ondas solapando a base da duna frontal. (c) Inundação na proximidade de um canal sangradouro.....	91
Figura 38. (a) Fotografia vertical realizada a 400 m em 15 de junho de 2016 com destaque para ocupação e para o campo de dunas frontais. (b) Fotografia vertical realizada a 400 m em 5 de novembro de 2016 com destaque para a mesma ocupação e para o processo erosivo que removeu grande parte das dunas frontais, expondo a vegetação da frente da ocupação diretamente a ação marinha.....	92

Figura 39. (a) Fotografia oblíqua de drone realizada na extremidade Norte do Balneário Mostardense com destaque para uma das ocupações mais ameaçadas pelo processo de erosão costeira. (b) e (c) Mesma ocupação sobre duas diferentes perspectivas oblíquas onde também é possível observar outras ocupações em processo de soterramento nas adjacências.....	93
Figura 40. (a) Ocupação vulnerável a soterramento eólico e a erosão costeira fotografada em 10 de outubro de 2016. (b) Mesma ocupação em 5 de novembro de 2016, parcialmente destruída pela ação direta das ondas. (c) Intervenção antrópica realizada no local terraplanando um dos acessos a praia em 13 de agosto de 2016. (d) Ocupação visualizada em fotografia oblíqua realizada com auxílio de drone em 5 de novembro de 2016.....	94
Figura 41. Alicerce de ocupação que estava soterrada, aflorando no pós praia após passagem de evento de alta energia. Fotografia obtida em 5 de novembro de 2016 a partir de um drone.....	95
Figura 42. Fotografia oblíqua do balneário Mostardense em 7 de dezembro de 2016 obtida a partir de um drone.....	96
Figura 43. Berma de acreção em contraste com presença massiva de minerais pesados no balneário Mostardense em 12 de janeiro de 2017.....	97
Figura 44. Fotografia oblíqua de drone demonstrando a regeneração do perfil praiado com presença de cúspides obtida em 5/4/2017.....	98
Figura 45. Fotografias aéreas oblíquas de drone do segmento sul do balneário Mostardense em: (a) 15/6/2016, (b) 8/7/2016, (c) 9/9/2016, (d) 5/11/2016, (e) 12/1/2017, (f) 7/3/2017, (g) 4/4/2017 e (h) 5/5/2017. Fotos: Rodrigo Silva Simões. Elaboração: Ulisses Rocha de Oliveira.....	100
Figura 46. Produto cartográfico síntese da situação das edificações a beira mar em relação aos processos de erosão costeira e movimentação eólica.....	103

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Infraestrutura dos balneários Mostardense, São Simão, Solidão, Pai João e Bacopari (Fonte: Modificado do Plano de Manejo de Dunas Costeiras do Município de Mostardas – NEMA, 2011).....	34
Tabela 2. Principais trabalhos científicos que ofereceram informações sobre a área de estudo.....	35
Tabela 3. Dados relevantes referentes aos trabalhos de campo realizados com o drone DJI® Phantom 3 Professional.....	44
Tabela 4. Erro médio quadrático (RMS) de cada mosaico registrado.....	46
Tabela 5. Variação da área das dunas (m ²) e variação média da linha de costa (m) para cada período de análise.....	54
Tabela 6. Variação da área das dunas (m ²) e variação média da linha de costa (m) para cada período de análise.....	72

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Perda de área das dunas frontais do balneário Mostardense entre 2005-2017.....	60
Gráfico 2. Variação mensal da área das dunas frontais do balneário Mostardense entre 15jun2016-14jun2017.....	74
Gráfico 3. Rosas de vento nos períodos que antecederam cada um dos trabalhos de campo realizados. (a) 15mai-15jun2016 (b) 15jun-8jul (c)8jul-13ago (d)13ago-9set (e) 9set-10out (f) 10out-5nov2016.....	77
Gráfico 4. Rosas de vento nos períodos que antecederam cada um dos trabalhos de campo realizados. (a) 5nov7-dez2016 (b) 7dez-12jan (c) 12jan-7fev (d) 7fev-7mar (e) 7mar-5abr (f) 5abri-5mai2017 (g) 5mai-14jun2017 (h) período total, entre 15jun2016-14jun2017.....	78
Gráfico 5. Direção e velocidade do vento no segundo semestre de 2016 com destaque para os dados relativos ao ciclone de 27 de outubro.....	79
Gráfico 6. Direção e velocidade do vento no primeiro semestre de 2017.....	79
Gráfico 7. Direção, período e altura das ondas durante o primeiro semestre do monitoramento por drone pelo ondógrafo PNBOIA, com destaque para alturas superiores a 9 m, quando da passagem do ciclone em outubro de 2016.....	80
Gráfico 8. Direção, período e altura das ondas durante o segundo semestre do monitoramento com drone obtidas pelo ondógrafo PNBOIA.....	81
Gráfico 9. Direção, período e altura das ondas durante o primeiro semestre do monitoramento com drone, obtidas pelo ondógrafo do Rede Ondas, com destaque para dados do ciclone de outubro de 2016.....	82
Gráfico 10. Gráficos de parâmetros hidrodinâmicos costeiros entre 24/10/2016 e 31/10/2016 destacando o momento relevante para a erosão da costa. (a) Altura significativa primária de onda a 100 km a leste do balneário Mostardense; (b, c, d) Altura significativa primária de onda, direção e período de onda respectivamente medidos pelo ondógrafo direcional fundeado ao largo da praia do Cassino (Fonte: Projeto Rede Ondas) e (e) dados de nível de maré medidos pela Praticagem do Porto do Rio Grande no canal de acesso ao Porto. (Fonte: OLIVEIRA <i>et al.</i> , submetido).....	83
Gráfico 11. (a) Radiação solar (Kj/m ²) e sua linha de tendência entre 15/5/2016 e 14/6/2017. (b) Temperatura Instantânea (°C) e sua linha de tendência no mesmo período.....	85
Gráfico 12. (a) Chuva (mm) entre 15/5/2016 e 14/6/2017. (b) Umidade no momento da coleta e sua linha de tendência no mesmo período.....	85

RESUMO

Este trabalho analisou a mobilidade do limite praia-duna defrontante ao balneário Mostardense, município de Mostardas, litoral médio do Rio Grande do Sul. Trabalhos anteriores revelaram que há problemas neste sítio urbano e adjacências relacionados a erosão costeira e a transgressão dunar em direção à retroterra, por vezes soterrando ocupações. Para identificar melhor esses processos, foi realizada uma coleta de imagens orbitais disponíveis no software *Google Earth PRO*, somadas a um acompanhamento mensal ao longo de um ano, com o auxílio de uma aeronave remotamente pilotada (drone), no intento de fornecer fotografias aéreas verticais da área de estudo. As imagens orbitais e os mosaicos de fotografias aéreas extraídas por drone foram processadas e comparadas nos softwares Agisoft Photoscan e ArcMap 10.3, o que permitiu a vetorização do limite praia duna, caracterizando processos de erosão por ação marinha e recomposição por ação eólica. Fotografias aéreas oblíquas e em solo também foram utilizadas para auxiliar na compreensão dos processos. Dados meteorológicos e oceanográficos foram levantados para o local, permitindo compreender melhor os processos responsáveis pela dinâmica analisada. Os dados produzidos conjuntamente com a revisão da bibliografia regional, apontam para um processo erosivo acentuado no balneário Mostardense. As taxas de variação de linha de costa no referido balneário, foram próximas as encontradas em dois “hotspots” erosivos, bastante conhecidos na costa do RS (Balneário Hermenegildo e Farol da Conceição). Embora também tenham sido encontrados valores de recomposição do limite praia duna em alguns períodos, estes foram muito inferiores aos valores erosivos. Os resultados permitem identificar que os processos erosivos das dunas frontais ocorrem por ondas de alta energia, tendo destaque para a erosão ocorrida em outubro de 2016. Este conjunto de informações também demonstra o comportamento não linear do limite praia duna, podendo apresentar estabilidade durante todo ano, e sofrer considerada erosão em um único evento com duração de um a dois dias. Atualmente as dunas estão sendo obliteradas, ou seja, destruídas por ação marinha, sendo progressivamente suprimidas entre o pós praia e as edificações. Processos de recomposição são ocasionados pela ação de vento nordeste embora não tenha havido relação direta com a sazonalidade destes processos. Por fim, foi possível analisar a situação das edificações a beira mar em relação aos processos de erosão costeira e movimentação eólica a partir de um produto cartográfico síntese. Os dados revelam que as edificações, sobretudo as mais próximas ao mar, estão ameaçadas pelos processos marinhos e eólicos atuantes.

Palavras chave: Limite praia duna, monitoramento por drone, erosão costeira.

ABSTRACT

This document analyzed the mobility of the beach-dune limit facing of the Mostardense's Beach, municipality of Mostardas, in the middle coast of Rio Grande do Sul. Previous works has revealed that there are problems in this urban site and adjacent areas related to coastal erosion and the dune transgression towards to the continent, sometimes burying houses. To identify these processes better, were performed a collect of orbital imagery available in the Google Earth Pro software, added to a monthly monitoring over a year, with the aid of an unnamed aerial vehicle (drone), in an attempt to provide vertical aerial photographs of the study área. Orbital images and mosaics of aerial photographs extracted by drone were processed and compared in Agisoft Photoscan and ArcMap 10.3 softwares, which allowed the vectorization the beach dune limit, characterizing processes of erosion by marine action and recomposition by wind action. Oblique aerial photographs and ground photographs, were also used to aid in the understanding of the processes. Meteorological and oceanographic data were collected, allowing a better understanding of the processes responsible for the analyzed dynamics. The data produced together with the review of the regional bibliography, point to a marked erosion process in the Mostardense's Beach. The rates of variation of the coastline in this beach were close to those found in two erosive hotspots, well known on the RS coast (Baln. Hermenegildo and Farol da Conceição). Although values of recomposition of the beach dune limit were also found in some periods, these values were much lower than the erosive values. The results allow us to identify that the erosive processes of the frontal dunes occur through high energy waves, highlighting the erosion occurred in October 2016. This set of information also demonstrates the non linear behavior of the beach dune limit, being able to present stability throughout the year, and suffer erosion in a single event in one to two days. Currently the dunes are being obliterated, that is, destroyed by marine action, being progressively suppressed between the swash zone and the buildings. Reconstruction processes are caused by the action of northeast wind although there has been no direct relationship with the seasonality of these processes. Finally, it was possible to analyze the situation of the buildings on the seafront in relation to the processes of coastal erosion and wind movement from a cartographic product synthesis. The data show that the buildings, especially those closest to the sea, are threatened by the active marine and wind processes.

Keywords: Beach dune limit, monitoring by drone, coastal erosion

1. INTRODUÇÃO

Cerca de dois terços da população mundial vivem em áreas costeiras, estando localizadas a beira mar a maior parte das metrópoles contemporâneas. No que diz respeito aos últimos 40 anos, tem havido um aumento substancial da população costeira, seja em áreas diretamente de frente para o oceano ou em campos de dunas adjacentes, culminando em uma forma de desenvolvimento, que na maioria das vezes, ocorre de maneira não planejada (MORAES, 2007; KLEIN; SHORT, 2016).

Este fato é substancialmente importante quando consideramos as pressões antrópicas em um período onde as alterações do clima estão em discussão, com relatos do aumento médio do nível dos oceanos e da intensidade das tempestades costeiras, sendo um fator importante a se considerar o tempo de resposta das praias a essas mudanças (WALSH *et al.*, 2004; BOWMAN; PRANZINI, 2007; NORDSTROM, 2010; COOKE *et al.*, 2012).

As praias existem em todas as áreas sedimentares costeiras expostas a ondas. Elas estão entre os sistemas físicos mais dinâmicos da superfície da terra, ocorrendo em costas onde haja sedimentos suficientes para que as ondas os depositem acima do nível do mar (SHORT, 1999). Nesta temática, Bird (2008) destaca que existem praias relativamente estáveis ao longo de décadas, porém a grande maioria apresenta mudanças rápidas, especialmente após a passagem de tempestades. O mesmo autor ainda relata que algumas praias apresentam ao longo do tempo diferentes balanços sedimentares, podendo apresentar ganho ou perda de sedimentos, sendo que esta dinâmica pode ocorrer em diferentes escalas temporais, variando de dias a séculos ou milênios, podendo ou não ser cíclica ao longo de uma determinada escala de análise.

Neste sentido é importante destacar que a linha de costa está em contínua mudança respondendo a forças naturais e também antrópicas (MARTINS *et al.*, 2004; MUEHE, 2004). Nordstrom (2010) aponta que é comum a degradação de dunas costeiras para construção de edificações ou o nivelamento de praias e dunas para facilitar o acesso à praia e potencializar áreas de recreação. O mesmo autor ainda sustenta que a erosão das praias, conjuntamente com as tentativas humanas de manter edifícios e construções em posições fixas à beira mar, pode resultar em uma redução ou perda dos ambientes praias, dunas e encostas litorâneas ativas. Como consequência dessas alterações e do dinamismo inerente a esses sistemas, inúmeras orlas urbanizadas sofrem no mundo com a erosão costeira, uma vez que os responsáveis por controlar os processos de ocupação, muitas

vezes não tomam conhecimento do tipo de sistema praial que está sendo ocupado, ou sua disponibilidade sedimentar, seus ecossistemas e os impactos causados pela ocupação (KLEIN; SHORT, 2016). Este fato ocasiona uma série de problemas relacionados, sendo os mais relevantes, aqueles provenientes da interação entre a ocupação não planejada em áreas sujeitas a processos naturais de erosão costeira e a transgressão de campos de dunas sobre edificações.

A identificação das causas dos fenômenos de erosão e da remobilização eólica em determinados sítios, segundo Neves; Muehe (2008) é difícil, devido a fragilidade dos dados de monitoramento ambiental de longo prazo, somados a ocupação territorial desordenada, a exploração indiscriminada de jazidas de areia em estuários e braços de mar e a construção de obras de proteção costeira sem critérios adequados de engenharia. Este fato dificulta distinguir se resultam das intervenções antrópicas ou se indicariam uma tendência de longo prazo.

Neste contexto, Calliari *et al.*, (2003) apontam que a utilização de conceitos desenvolvidos a partir do estudo da morfodinâmica praial (seguindo os modelos propostos por pesquisadores da chamada Escola Australiana de Geomorfologia Costeira), pode ser eficiente no manejo e solução de problemas ambientais relacionados às praias arenosas oceânicas. Este conhecimento do comportamento morfodinâmico de uma praia específica, segundo os autores, permite o acompanhamento espaço-temporal de ciclos de erosão/deposição e a definição de patamares esperados de variação morfológica e de linha de costa. Ainda segundo os autores, o processo de avaliação aumenta consideravelmente o grau de sucesso de diversas atividades relacionadas ao gerenciamento costeiro específico a praias, principalmente aquelas que sofrem processos erosivos.

Martins *et al.*, (2004) abordam a linha de costa como uma porção do espaço bastante dinâmica, portanto, sensível tanto a mudanças naturais como a influência do homem no ambiente costeiro, relacionando problemas de erosão, para a zona costeira do Rio Grande do Sul, a marés meteorológicas impulsionadas por eventos de tempestades, fato também elucidado por Calliari; Toldo Jr. (2016).

Além da erosão, em alguns segmentos do Rio Grande do Sul a areia transportada pelo vento, ocasionalmente invade áreas urbanizadas, o que acaba por proporcionar prejuízos, situação frequente sob a ação de ventos provenientes dos quadrantes leste/nordeste (VILLWOCK; TOMAZELLI, 1995). Neste contexto, no intento de atenuar os efeitos da migração de dunas sobre edificações, Martins *et al.*, (2004) ressaltam que o princípio basilar para um profícuo manejo de dunas está relacionado a manutenção de

uma satisfatória cobertura vegetal sobre a duna frontal, uma vez que a vegetação age no sentido de mitigar a migração da areia em direção ao continente.

A costa do Rio Grande do Sul, ao longo de mais de 600 km, apresenta uma orientação geral Nordeste-Sudoeste com praias arenosas retilíneas e contínuas, predominantemente dominadas por ondas (CALLIARI *et al.*, 2005; CALLIARI; TOLDO JR, 2016). Todavia, superimposto nesta orientação geral, existem segmentos levemente côncavos e convexos (DILLEMBURG *et al.*, 2005; DILLEMBURG *et al.*, 2009) ou em outras palavras leves sinuosidades (CALLIARI; TOLDO JR, 2016) que se estendem desde os promontórios rochosos localizados em Torres até o Arroio Chuí na fronteira entre Brasil e Uruguai. Somente quatro principais irregularidades interrompem a costa gaúcha: o Arroio Chuí, a desembocadura da Lagoa dos Patos, a desembocadura da Laguna de Tramandaí e por último o rio Mampituba na fronteira entre o Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CALLIARI *et al.*, 2005).

O segmento localizado entre os municípios de São José do Norte e Mostardas apresenta pouca densidade populacional, com pequenas aglomerações junto a faixa de praia, sendo as três mais significativas o balneário Praia do Mar Grosso (São José do Norte), o balneário Mostardense (Mostardas) e o balneário Solidão. O acesso ao balneário Mostardense, objeto do presente estudo, por vezes pode até exigir a utilização de um veículo *off-road*, pelo fato de a estrada de acesso atravessar um extenso campo de dunas transgressivas, localizado dentro do contexto do Parque Nacional da Lagoa do Peixe. Muito provavelmente por este motivo, poucos estudos de caso envolvendo sucessivos trabalhos de campo e coletas mensais de dados, foram realizados especificamente no referido balneário, mesmo existindo diversos trabalhos com uma abordagem mais regional ou em balneários adjacentes. Todavia, Simões (2015) e Leal (2016) retrataram um avanço do limite superior da praia em direção à retroterra de pouco mais de vinte metros entre 2005 e 2014 no balneário Mostardense utilizando imagens orbitais. Simões (2015) também identificou o soterramento e remoção de ocupações em decorrência da remobilização eólica das dunas no local.

Uma hipótese é que o processo de erosão costeira, pode estar impulsionando todo o sistema praia-duna em direção à retroterra, fato corroborado por exemplo, pelo aparecimento de depósitos turfáceos no pós-praia em segmentos ao norte, ao sul e até na porção central do balneário. Cabe salientar que nesse segmento específico do litoral, o surgimento desses depósitos ainda ocorre apenas em períodos de forte erosão praial, diferentemente do evidenciado mais ao sul nas proximidades do farol da Conceição, onde

os depósitos turfáceos são facilmente visualizados durante praticamente todo ano em função do déficit sedimentar e das altas taxas de erosão. Uma parte significativa das dunas do balneário Mostardense, rapidamente recompõem-se alimentadas pelos ventos dominantes de nordeste. Esse transporte eólico move as dunas para retroterra depositando-se por vezes, sobre as ocupações, uma vez que em função do processo de retração da linha de costa, estas estão suprimidas entre a área ocupada e o pós-praia.

O problema do soterramento de casas localizadas na primeira linha de dunas do Balneário Mostardense e de outros balneários hoje abandonados já era abordado no contexto da elaboração do Plano de Manejo do Parque Nacional da Lagoa do Peixe – Fase 2, (1999) que também ressalta que em grande parte do litoral médio, processos de soterramento de ocupações são relatados desde o século XVIII. O Município de Mostardas também encomendou um plano de manejo para o Núcleo de Educação e Monitoramento Ambiental (NEMA) intitulado Plano de Manejo de Dunas Costeiras do Município de Mostardas – RS, publicado em 2011. Cabe salientar que neste plano, haviam ocupações previstas para remoção, uma vez que estavam sobre as dunas frontais, mas que até o momento ainda não foram removidas. Todavia, outras ocupações que não estavam previstas para remoção, foram soterradas ou removidas (SIMÕES, 2015). Porto (2015) ao estudar indicadores de qualidade ambiental em balneários nos litorais médio e sul do RS, também constatou que devido a problemas de planejamento, ocorrem diversos soterramentos no balneário Mostardense, decorrentes da migração das dunas sobre as áreas urbanas, classificando o local como de qualidade ambiental intermediária.

É importante salientar que para Klein; Short (2016) a preservação das praias, atrativos naturais para milhões de pessoas no mundo inteiro e o desenvolvimento, podem caminhar de mãos dadas, mas apenas se o desenvolvimento for bem planejado, controlado e simpático com as necessidades de todo o sistema praial. Embora trabalhos tenham sido realizados e medidas tenham sido tomadas no intento de amenizar os danos causados, ainda hoje são construídas residências sobre o cordão de dunas frontais ou em áreas limítrofes, sem considerar as taxas de retração do limite praia duna (limite superior da praia) e de migração das dunas em direção à retroterra, o que acarretará muito provavelmente em mais soterramentos e possivelmente danos a edificações por erosão costeira.

O surgimento de novas tecnologias permitiu realizar um estudo mais detalhado sobre esta dinâmica, contando com o auxílio de imagens orbitais disponibilizadas em softwares de acesso livre, como o *Google Earth PRO*, e fotografias aéreas extraídas

através do uso de uma aeronave remotamente pilotada (ARPs), popularmente conhecida como DRONE. Dados adicionais, tais como derivados de ondógrafos e estações meteorológicas, foram utilizados para compreender melhor as taxas de mobilidade da linha de costa, da erosão das dunas frontais e da migração do campo de dunas sobre as ocupações, permitindo identificar conexões entre os processos. Isto pode ser relevante no planejamento e gerenciamento ambiental da área, e de outras localidades costeiras com características similares.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

- Caracterizar a mobilidade do limite praia duna no balneário Mostardense - RS, entre 2005-2017 e entre junho2016-junho2017.

2.2. Objetivos específicos

- Determinar a variação do limite praia duna (limite superior da praia) no balneário Mostardense entre 2005 e 2017, analisando imagens orbitais do software *Google Earth PRO* e fotografias aéreas de drone.
- Determinar a variação mensal do limite praia duna (limite superior da praia) no balneário Mostardense entre junho de 2016 e junho de 2017, analisando fotografias aéreas de drone.
- Quantificar a variação de área de dunas frontais perdida ou recuperada, entre junho de 2016 e junho de 2017 com o auxílio de fotografias aéreas adquiridas mensalmente;
- Elaborar um produto cartográfico síntese que contemple as principais características da área e os processos relacionados no intuito de fornecer suporte ao planejamento do balneário, demonstrando a situação das edificações a beira mar em relação aos processos de erosão costeira e movimentação eólica.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Praias arenosas oceânicas

Embora existam diferenças nos conceitos utilizados para definir o termo “praia”, é evidente o caráter não coesivo dos sedimentos que a compõe e a dominância nestes sistemas de fatores hidrodinâmicos como ondas e marés (HOEFEL, 1998). Bird (2008) compreende praia, pelo acúmulo de sedimentos na costa geralmente inconsolidados, podendo variar de areia muito fina até seixos, ou substratos ainda maiores, contornando cerca de 40% dos litorais no mundo, consistindo geralmente em depósitos não consolidados de areia e cascalho.

Segundo Hoefel (1998) os principais setores das praias dominadas por onda são: Antepraia - Porção do perfil dominada por processos de empinamento de onda, que se estende, em direção à terra, a partir da profundidade de fechamento externa, até a profundidade de fechamento interna, ou até o início da zona de rebentação; Praia Média – Porção do perfil sobre a qual ocorrem os processos da zona de surf e da zona de arrebatção; Face Praial – Identifica a parte do perfil praial sobre a qual ocorrem os processos da zona de espraiamento; Pós-praia – Zona que se estende do limite superior do espraiamento até o início das dunas fixadas por vegetação ou de qualquer outra mudança fisiográfica brusca.

As praias arenosas oceânicas são consideradas como sistemas transicionais bastante dinâmicos, portanto muito sensíveis, uma vez que constantemente adaptam-se as flutuações dos níveis de energia locais sofrendo o retrabalhamento por processos eólicos, biológicos e hidráulicos (HOEFEL, 1998). A mesma autora ainda destaca que no que tange a praias arenosas dominadas por onda, onde a influência da variação das marés astronômicas é menor do que a das marés meteorológicas, é importante ressaltar que ocorrem flutuações semianuais na morfologia praial devido a ciclos sazonais com características erosivas em períodos com maior energia de ondas, e características majoritariamente acrescivas em períodos menos energéticos, implicando em perfis praias de inverno e de verão (HOEFEL, 1998), ou de alta e baixa energia.

Praias oceânicas dominadas por onda em zonas de micro-maré podem ser classificadas utilizando-se de três parâmetros, são eles: altura da onda, período da onda e granulometria (SHORT, 1999). Praias dominadas por onda são majoritariamente praias Oceânicas, portanto:

Abrangem também um amplo espectro de modos de movimento, entre os quais se destacam as ondas geradas pelo vento, as correntes litorâneas, as oscilações do longo período (subharmônicas e de infra-gravidade) e as marés. Respondendo àquelas flutuações dos níveis de energia através de mudanças morfológicas e trocas de sedimentos com regiões adjacentes, as praias atuam como zonas tampão e protegem a costa da ação direta da energia do oceano, sendo esta a sua principal função ambiental. [...] podem ser formadas por sedimentos de diversas composições e granulometrias. Esta última variável, em combinação com o clima de ondas incidente, determina a morfologia do perfil (HOEFEL, 1998 pg. 21).

Bird (2008) destaca que existem praias relativamente estáveis ao longo de décadas, porém a grande maioria apresenta mudanças rápidas, especialmente após a passagem de tempestades. O mesmo autor ainda relata que algumas praias apresentam ao longo do tempo diferentes balanços sedimentares, podendo apresentar ganho ou perda de sedimentos, sendo que esta dinâmica pode ocorrer em diferentes escalas temporais, variando de dias a séculos ou milênios, podendo ou não ser cíclica ao longo de uma determinada escala de análise. Hoefel (1998) ainda sustenta que eventos de extrema energia (e amplitude) sobre a costa, podem ocasionar mudanças significativas no perfil praiar apontando a importância da realização de acompanhamento de alta frequência.

3.1.1. Estágios morfodinâmicos

Os pesquisadores Wright; Short propuseram a classificação de praias arenosas oceânicas em dois estágios morfodinâmicos extremos (Dissipativo e Refletivo), e quatro estágios intermediários, totalizando seis estágios morfodinâmicos. Parte destes estágios foram abordados em outros documentos, mas foram claramente elucidados em Wright; Short (1984) e levaram em consideração parâmetros como a energia de ondas, a altura das ondas, a largura da praia dentre outros. É importante ressaltar que Hoefel (1998) também destaca a ampla aceitação da chamada Escola Australiana de Geomorfologia Costeira no que diz respeito aos estágios morfodinâmicos propostos por Wright; Short. Wright; Short (1984). Os autores formularam um modelo sequencial de evolução morfológica para praias arenosas dominadas por onda. Este modelo é ilustrado na figura 1:

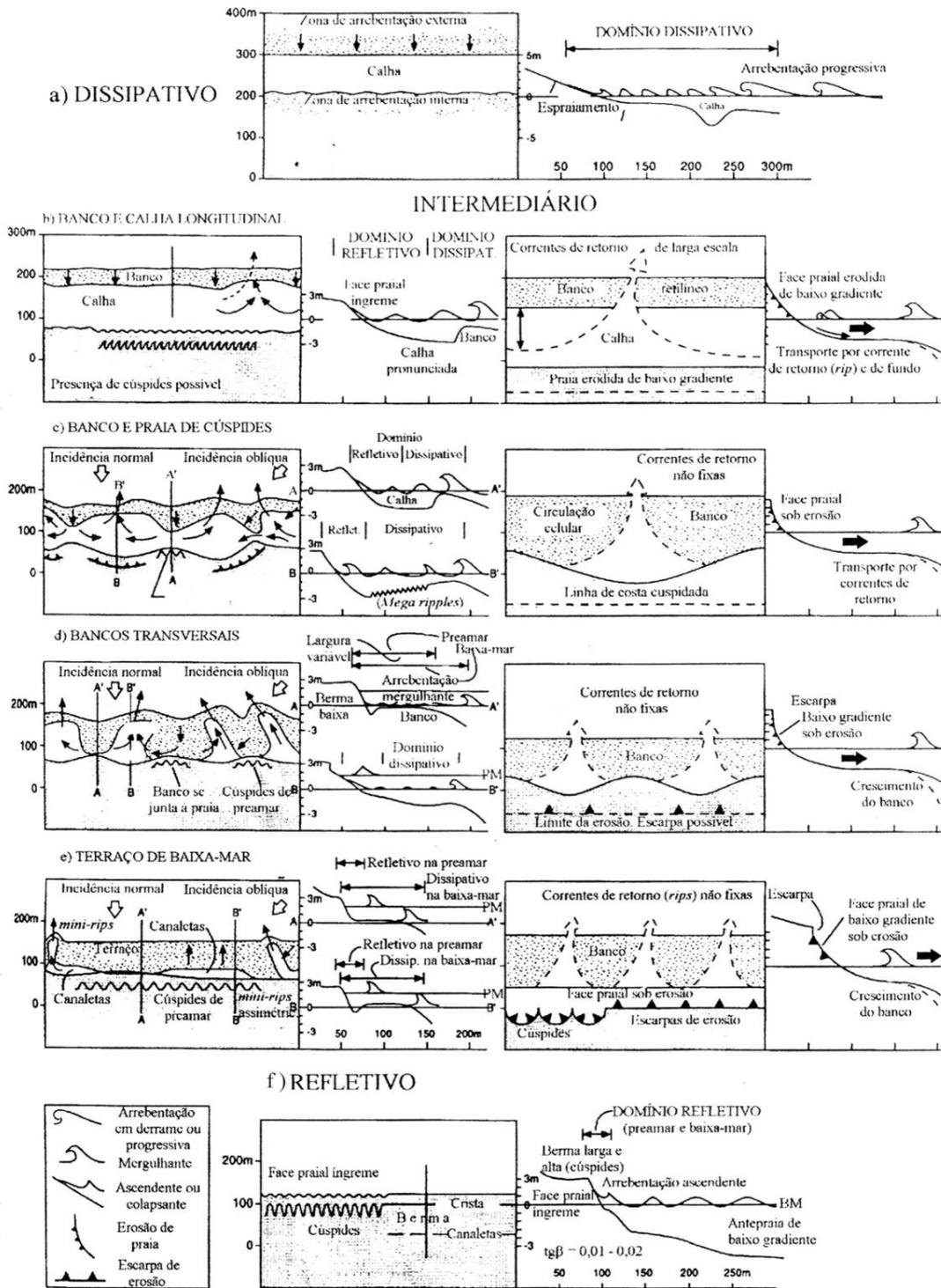


Figura 1. Representação em perfil e em planta dos seis estágios morfodinâmicos segundo WRIGHT; SHORT, 1984 (Fonte: CALLIARI *et al.*, 2003).

Cabe salientar que o processo hidrodinâmico e as relativas contribuições de diferentes mecanismos de transporte de sedimentos e a mudança morfológica diferem bastante em função do estado da praia, dependendo se a zona de arrebentação da praia é

refletiva ou dissipativa ou se está em um dos estágios intermediários (WRIGHT; SHORT, 1984).

Short; Hesp (1982) salientam que as praias dissipativas ocorrem como uma espécie de resposta a ambientes geralmente expostos a altas energias de onda que possuem um suprimento de areia de granulometria de fina a média abundante. O extremo dissipativo de uma praia é para Wright; Short (1984) quando uma praia apresenta baixo gradiente de declividade, largos depósitos de areias finas e múltiplos bancos arenosos na zona de surf. “Geralmente, em tais condições, a zona de surf é “saturada”, ou seja, as ondas arrebentam longe da face da praia, decaindo progressivamente em altura à medida que dissipam sua energia através da arrebentação” (CALLIARI *et al.*, 2003 pg. 66). Segundo Short; Hesp (1982) a morfologia subaérea dessas praias é larga e plana, possuindo um grande potencial para transporte eólico e grandes e extensas dunas frontais.

No que diz respeito ao extremo refletivo o transporte de areia induzido por ondas é mínimo e o sedimento é armazenado na praia subaérea na forma de uma berma. A zona de surf tem déficit de sedimentos e é relativamente profunda, apresentando um gradiente bastante acentuado, reduzindo a sua largura, sendo a praia composta por material mais grosso. Este estado tende a ocorrer em praias bastante compartimentadas, em zonas protegidas entre promontórios, na presença de areias grossas ou após longos períodos de acreção. A reserva de areia encontra-se majoritariamente depositada na porção subaérea de praia, com pouco sedimento depositado na porção subaquosa. A praia no estado refletivo pode apresentar cúspides pronunciadas e altamente rítmicas na zona de varrido (SHORT; HESP, 1982; WRIGHT; SHORT, 1984; CALLIARI *et al.*, 2003). Short; Hesp (1982) ainda salientam que a recuperação dessas praias é rápida após a passagem de tempestades, podendo apresentar as dunas frontais escarpadas por um período, mas que tendem a ser relativamente estáveis no diz respeito a taxas erosivas ou acrescivas.

Wright; Short (1984) salientam que os quatro estados intermediários podem conter elementos dissipativos e refletivos. Calliari *et al.*, (2003) abordam que os estágios de “banco e calha longitudinal” e “banco e praia rítmicos ou de cúspides” podem se desenvolver a partir de um perfil dissipativo numa sequência acrescional. O espraiamento na face da praia é relativamente alto com a formação de cúspides praias, no estágio de “banco e praia rítmicos” feições submarinas de cúspides são também frequentes. Neste tipo de ambiente podem ocorrer correntes de retorno nas depressões dos bancos.

Para Calliari *et al.*, (2003) o estado caracterizado por “mega cúspides ou bancos dispostos transversalmente à praia e fortes correntes de retorno” se desenvolve na maioria

das vezes em sequências acrescionais quando as extremidades dos bancos, em forma de cúspide soldam-se à face da praia. Os autores ainda salientam que a intensidade das correntes de retorno é proporcional a energia das ondas.

Os terraços de baixa-mar, são o tipo de praia intermediária que apresenta a menor energia. As condições que propiciam o seu desenvolvimento estão relacionadas as baías moderadamente abrigadas, ou em áreas mais expostas onde a areia é fina. A face da praia é íngreme e conecta-se no nível de baixa-mar à um terraço plano ou banco, de onde deriva o nome: terraço de baixa-mar (WRIGHT; SHORT, 1984; CALLIARI *et al.*, 2003).

3.1.2. Taxas de variação da linha de costa

Para tornar possível determinar taxas de variação da linha de costa, primeiramente é importante compreender que este processo ocorre em diversas escalas temporais e espaciais, sendo a escolha de um recorte temporal e espacial adequado a pesquisa, um fator crucial para o seu sucesso. Este fato é abordado por autores como Stive *et al.*, (2002) que discorrem sobre as conexões transescalares da variação da linha de costa, sendo este um fenômeno bastante complexo. Os mesmos autores subdividem essas taxas de variação em: sazonais ou intersazonais, interanuais, interdecadais, seculares e milenares. Bowman; Pranzini (2007) destacam que o mapeamento da linha de costa é essencial para o planejamento e o manejo costeiro, para o estabelecimento de linhas de retrocesso de construção e para a concepção de defesa costeira. Os mesmos autores salientam que mesmo séries de dados confiáveis, por si só, não garantem a projeção de uma taxa de variação da linha de costa a longo prazo, por tratarem-se de muitas variáveis envolvidas.

Mazzer; Dillemburg (2009) sustentam que a linha de costa é um elemento geomorfológico que pode apresentar uma alta dinâmica espacial resultante da resposta a processos costeiros de diferentes magnitudes e frequências. Neste contexto, as linhas de costa segundo Bowman; Pranzini (2007) podem migrar devido a vários fatores e processos como: A tendência do aumento do nível médio do mar, sendo um fator importante a se considerar o tempo de resposta das praias a essa mudança; Diferenças no suprimento de sedimentos ao longo da costa; Mudanças sazonais ou decadais nas condições das ondas de tempestades; Mudanças no aporte sedimentar que incluem a remoção das dunas; Tempestades extremas incluindo eventos que podem ocorrer a cada 50/100 anos.

Todavia Ranieri; El-Robrini (2015) alertam que apesar de as taxas médias de variação da linha de costa serem bons indicadores para determinar tendências evolutivas,

projeções devem ser realizadas com cuidado, uma vez que correspondem à comparação de situações que podem ser bastante distintas ao longo do tempo, podendo então, não refletirem o que de fato ocorreu entre esses hiatos de informações, e nem a possíveis excepcionalidades.

Boak; Turner (2005) salientam que anteriormente a análise da variação da linha de costa, é necessária uma definição funcional de linha de costa, em função da natureza dinâmica desse limite. Os mesmos autores ainda salientam que a definição escolhida deve levar em consideração a escala espacial e temporal de análise, uma vez que se tem diversas linhas de costa possíveis de serem monitoradas. Stive *et al.*, (2002) também discorrem sobre as diferentes escalas de análise, temporais e espaciais em que a linha de costa pode ser estudada.

Dentre deste contexto, Albuquerque (2013) salienta que quantificar as taxas de variação da linha de costa ainda é um grande desafio para a ciência costeira. Boak; Turner (2005) destacam que o real desafio em monitorar a variação da linha de costa está no desenvolvimento de uma técnica suficientemente robusta e possível de ser replicada por outros pesquisadores que permita a correta detecção desse limite em todo o recorte espacial e temporal da pesquisa. Os pesquisadores ainda salientam que aparentemente simples, essa definição de interface entre água e terra, é na verdade um desafio, uma vez que a posição de linha de costa muda continuamente ao longo do tempo, dependendo da escala de tempo escolhida para análise e do contexto da investigação, podendo a correta frequência de amostragem variar de segundos a décadas.

Neste contexto Albuquerque (2013) também destaca que a confiabilidade da linha de costa, sobretudo para estimar tendências erosivas ao longo do tempo, depende da variabilidade do indicador escolhido e o método empregado, conjuntamente com as condições dinâmicas tanto naturais como antrópicas.

Boak; Turner (2005) discorrem sobre diversos indicadores que podem ser utilizados para a análise da linha de costa e suas potencialidades e fragilidades em decorrência da escala de análise escolhida, apontando mais de 40 indicadores encontrados em uma extensa revisão da literatura.

Albuquerque (2013) destaca que na literatura internacional há uma série de métodos para avaliação do recuo médio de uma determinada linha de costa, destacando como primeiro requisito a escolha de qual indicador a ser mapeado. O mesmo autor ainda destaca que há dois métodos consagrados para a realização do cálculo da variação da linha

de costa: o Digital Shoreline Analysis System (DSAS) e o Método do Polígono de Mudança.

Mazzer; Dillemburg (2009) salientam que o (DSAS), uma extensão do software ArcGIS, torna automático o cálculo da variação da linha de costa, utilizando-se de uma linha de base como referência para realizar os cálculos realizando transectos perpendiculares a linha de costa, possibilitando a determinação de sua variação em cada um desses transectos. Esta extensão:

Utiliza-se de vários métodos estatísticos para realizar o cálculo da variação das taxas de recuo e avanço da linha de costa. Os métodos se baseiam nas diferenças entre as posições da linha de costa ao longo do tempo. As taxas relatadas são expressadas em metros de mudança ao longo dos transectos por ano (MARINO; SÁ FREIRE, 2013 pg. 119).

A ferramenta utiliza-se de diversos métodos de análise, dentre eles o EPR (*End Point Rate*) e o LRR (*Linear Regression Rate*). O método EPR calcula a variação de forma simples dividindo a distância do movimento entre dois vetores (linha de costa mais antiga e linha de costa mais recente) pelo tempo decorrido obtendo como resultado uma taxa em m/ano. O método LRR calcula as taxas de recuo e avanço através da regressão linear simples, considerando, para a realização do cálculo, os desvios existentes ao longo de cada linha de costa (MARINO; SÁ FREIRE, 2013).

Todavia Boak; Turner (2005) salientam que muitos estudos da variação da linha de costa, consideram poucos transectos, que podem introduzir uma incerteza adicional ao método de amostragem, uma vez que podem considerar pontos realmente representativos e outros nem tanto, atribuindo erros metodológicos. Albuquerque (2013) também alerta que o método DSAS é susceptível a determinações equivocadas de erosão e acreção, uma vez que esse método considera uma medida pontual (transecto por transecto), podendo assim, ter influência no resultado final de uma pesquisa, se os transectos utilizados contemplarem áreas com processos muito localizados, fato que segundo o autor poderia levar a estatística a demonstrar um resultado equivocado.

Uma alternativa ao método DSAS é o método do Polígono de Mudança descrito por Smith; Crowley (2012), que se baseia na vetorização de duas linhas de costa distintas conjuntamente com a criação e subtração de polígonos, o que permite a quantificação da diferença total de área entre as duas linhas de costa. Segundo Albuquerque (2013); Albuquerque *et al.*, (2013) o método do polígono da mudança ao considerar toda a área de praia, pode determinar valores médios de erosão ou acreção para todo o segmento costeiro analisado, sendo então, mais robusto e confiável se comparado ao método DSAS

por não tendenciar seus resultados com variações isoladas que não representam o real comportamento da linha de costa, sobretudo em segmentos que apresentem linhas de costa com reentrâncias.

3.2. Dunas Costeiras

As dunas costeiras podem ser entendidas como formações eólicas que se desenvolvem em situações de amplo aporte sedimentar disponível para ser transportado, fazendo parte de ecossistemas únicos que atuam na transição espacial entre o ambiente marinho e o continental (MARTÍNEZ *et al.*, 2004).

Pavlopoulos *et al.*, (2009) destacam que dunas costeiras são criadas quando a areia seca do pós-praia é transportada pelo vento e encontra algum obstáculo durante esta movimentação. A sua morfologia está, segundo estes autores, relacionada a quantidade de areia disponível e possível de ser transportada pelo vento e pelos ciclos de deposição-erosão. Os autores ainda destacam que suas extensões podem variar de poucos metros a muitos quilômetros, podendo possuírem alturas que variam de 1 m a mais de 20-30 m. As dunas costeiras diferem de dunas interiores (deserto) por estarem sujeitas a uma variedade de processos, incluindo a ação das ondas e vegetação que influenciam o seu tamanho (BIRD, 2008).

Segundo Hesp (1999) uma variedade de dunas costeiras pode ser formada influenciadas ou não pela existência de vegetação. As principais dentro do contexto da área de estudo são as dunas frontais incipientes, as dunas frontais, as dunas parabólicas, as dunas barcanas e transversas e os campos de dunas transgressivos.

3.2.1. Dunas frontais incipientes

As dunas frontais incipientes são dunas em recente desenvolvimento formadas por comunidades de plantas pioneiras (HESP, 2004; HESP, 1999). Estas dunas surgem na faixa de praia entre as dunas frontais e o pós-praia e podem ser sazonais, mantidas apenas por um período do ano dependendo da inserção de outras gramíneas que permitam a sua fixação. A sua variação morfológica e sua estabilização dependem do tipo e densidade de vegetação que se estabelecer nelas (HESP, 1999). Ou ainda, dunas frontais incipientes são formadas por areia eólica recém depositada em meio a vegetação pioneira (MARTINHO, 2008).

3.2.2. Dunas frontais

Para Bird (2008) dunas frontais são cumes de areia acumulados logo após o pós-praia, onde a vegetação colonizadora atua como um defletor, reduzindo a velocidade do vento, criando um ambiente propício para que a areia se deposite. As dunas frontais são eminentemente paralelas a linha costa e podem possuir cumes simétricos ou assimétricos, possuindo estas uma larga variação morfológica e ecológica (HESP, 1999).

Para Calliari *et al.*, (2005) as dunas frontais são definidas como cordões paralelos à linha de costa e formadas logo após o pós-praia no momento em que sedimentos com granulometria majoritariamente fina, são transportados pelos ventos e depositados quando encontram alguma espécie de barreira, normalmente caracterizada pela vegetação. As dunas frontais neste contexto atuam contribuindo com o equilíbrio do balanço sedimentar, além de ser o principal obstáculo para o avanço das ondas de tempestade. Portanto, para estes autores, é de fundamental importância a compreensão, manutenção e preservação dessas feições geomorfológicas, por sua capacidade de troca de sedimentos com a praia.

A figura 2, elaborada por Hesp (2000), ilustra essa troca de sedimentos do sistema praia-duna: (1) períodos de baixa energia de onda, favorecem a estabilização da duna frontal e o desenvolvimento de uma duna incipiente; (2) pode ocorrer destruição da duna incipiente durante tempestades além do escarpamento da duna frontal e o transporte de sedimento em direção ao mar; (3) período de calmaria, gradualmente os sedimentos voltam a ser transportados em direção à praia, o transporte eólico recobre de sedimentos a escarpa da duna frontal; (4) duna incipiente volta a se estabelecer.

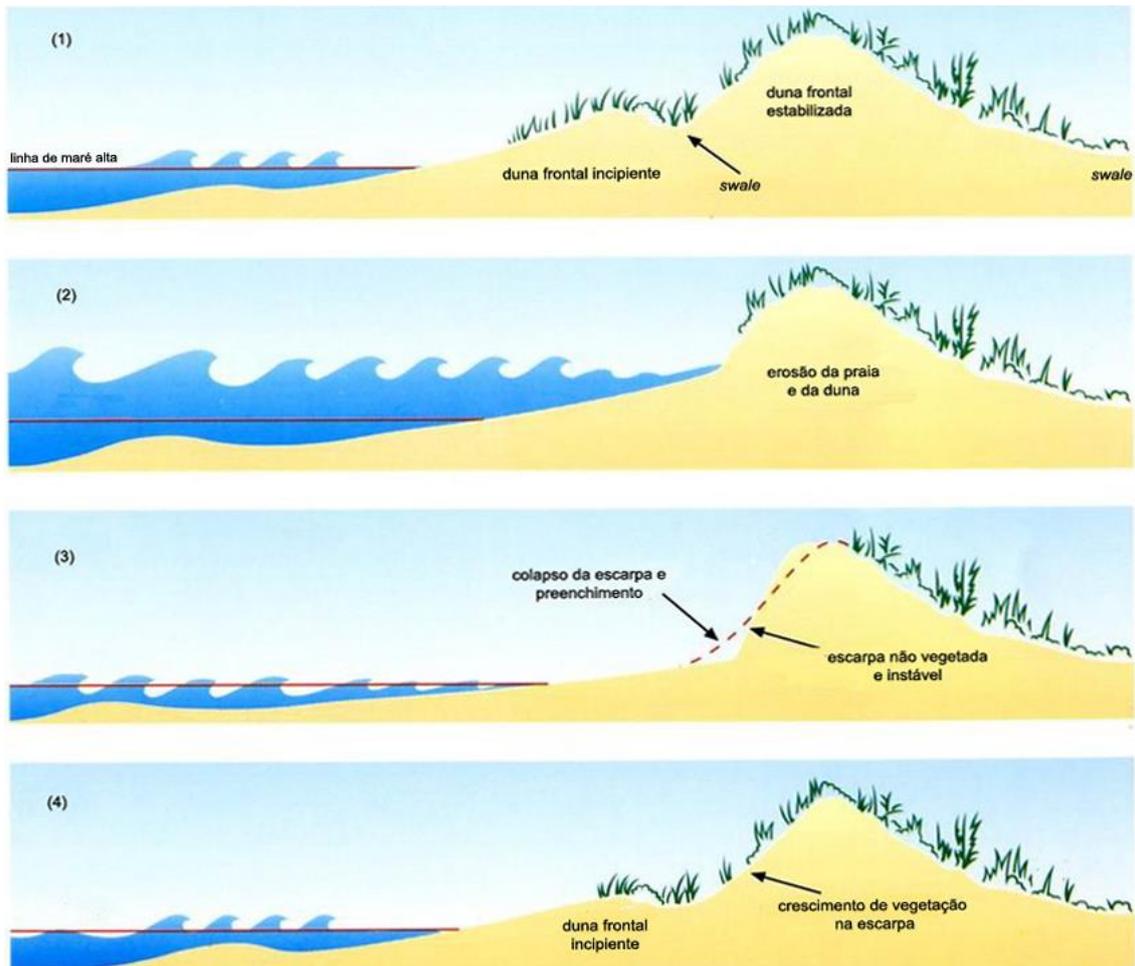


Figura 2. Dinâmica do sistema praia-duna (Fonte: DA SILVA, 2006 modificado de HESP, 2000).

Short; Hesp (1999); Hesp (2002a); Hesp (2002b) abordam que as dunas frontais podem variar de muito esparsamente vegetadas a muito vegetadas. Este fato depende de diversas variáveis tanto climáticas como da energia de ondas incidente e o estágio morfodinâmico mais característico da praia. Neste contexto, Hesp (2012) ilustrou três tipos distintos de praias arenosas, e estabeleceu relações com as dunas frontais, conforme a figura 3:

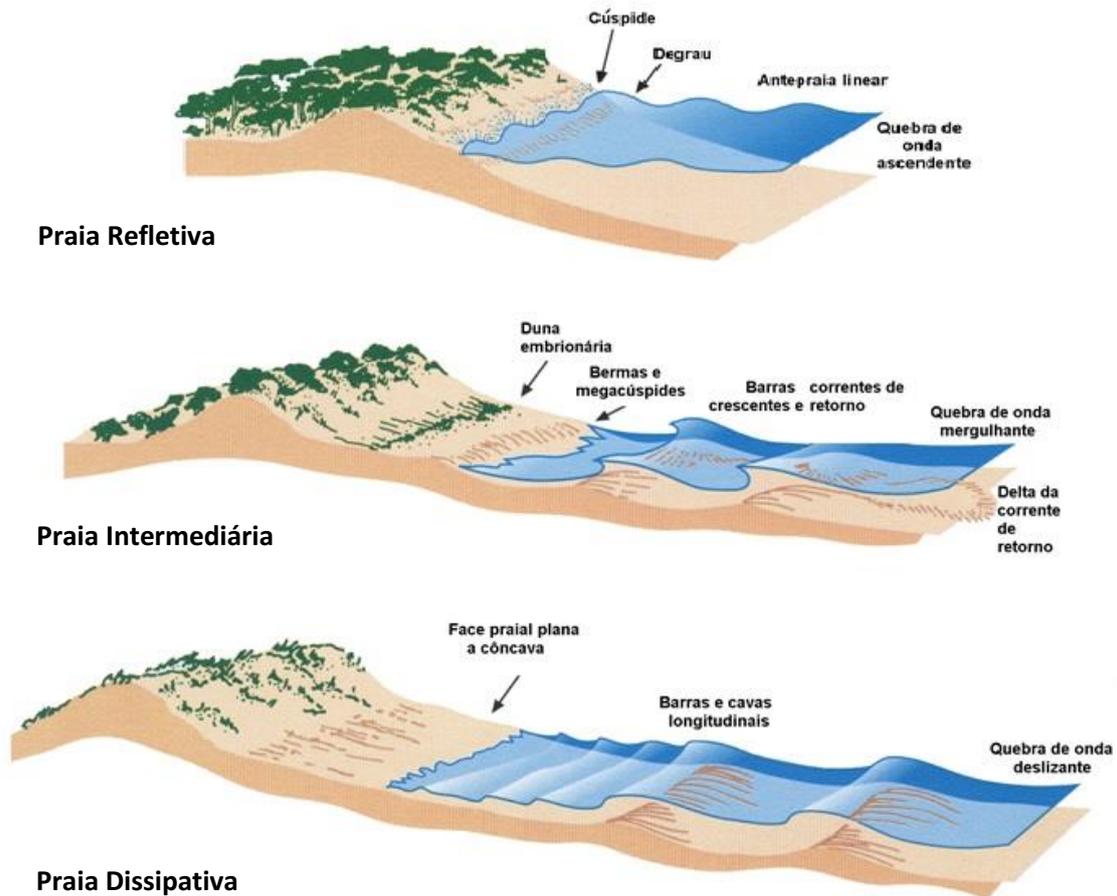


Figura 3. Diagrama esquemático da zona de surf em praias refletivas, intermediárias e dissipativas, mostrando também os típicos estágios de dunas e a cobertura vegetal (Fonte: Modificado de HESP, 2012).

Hesp (2012) relacionou os estados morfodinâmicos praias com as dunas frontais, observando que praias dissipativas de alta energia exibem uma morfologia mais ampla do sistema praia duna. Nesta condição as dunas frontais se tornam maiores e menos estáveis (SHORT, 1988). A amplitude vai encurtando em cada um dos estágios intermediários até chegar a praia refletiva, onde geralmente a duna frontal é mais estreita e estável. A capacidade de transporte de sedimento da praia está intimamente ligada a mobilidade morfológica, que pode ser, por vezes, bastante estreita, e por vezes bastante ampla, especialmente em praias intermediárias. Existe uma relação positiva entre o nível da energia das ondas, o tipo de dunas e sua extensão (figura 4).

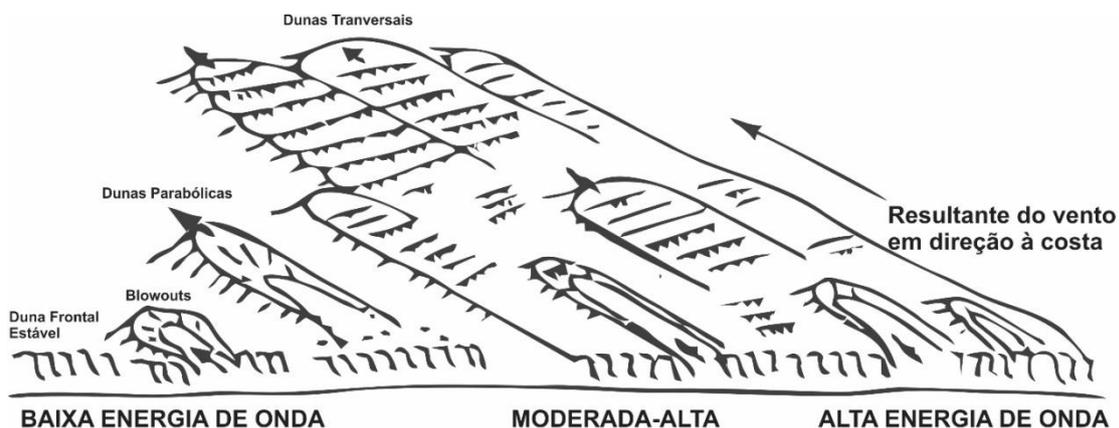


Figura 4. Relação entre a energia de ondas e o tipo de dunas costeiras majoritariamente encontrado (Fonte: Modificado de Short, 1988).

Como pode ser observado na figura 4, quando há maior energia de onda e vento resultante em direção a costa, há também um maior campo de dunas à retroterra, podendo apresentar dunas transversais e parabólicas dentre outras. Já com energia de onda moderada-alta esse campo começa a reduzir podendo apresentar dunas parabólicas. Com baixa energia de onda a tendência é de uma duna frontal mais estável, ainda com a possibilidade do aparecimento de alguns blowouts.

3.2.3. Dunas transgressivas

Campos de dunas transgressivos são amplos depósitos eólicos formados pelo movimento de lençóis de areia e campos de dunas a favor do vento predominante sobre terreno vegetado ou semi-vegetado, podendo conter ou não vegetação em diversos níveis (HESP *et al.*, 2005).

As dunas transgressivas são amplas e fluem em direção ao continente formando-se quando a areia não é retida pela vegetação, sendo mais comuns e extensas em costas desérticas, mas também podem ser encontradas em regiões úmidas onde o aporte sedimentar é grande o suficiente para não ser totalmente estabilizado pela vegetação (BIRD, 2008).

Áreas de interdunares, lençóis de areia, e planícies de deflação são bastante comuns em campos de dunas transgressivas. Várias outras estruturas sedimentares podem ocorrer como resultado da presença de vegetação variando esse sistema de simples a complexo (SHORT; HESP, 1999).

Para Hesp (1999) campos de dunas transgressivas são depósitos de sedimento eólico que podem variar de muito pequenos (algumas centenas de metros) até gigantescos (muitos quilômetros de extensão) e ocorrem em ambientes com alta energia de onda e

ventos além de um grande aporte sedimentar. Eles são classificados separadamente das dunas parabólicas porque as parabólicas tipicamente exibem uma forma de lóbulo deposicional parabólico, dois braços de arrasto e uma bacia de deflação ou planície, contida dentro das cristas.

O movimento das dunas é frequentemente retido pela vegetação ou qualquer outro obstáculo como afloramentos rochosos, porém onde não há obstáculos elas podem deslocar-se em direção ao vento predominante. Dunas entre 10-20 m de altura tendem a migrar algo em torno de 1-10 m por ano (BIRD, 2008). É importante ressaltar também que existem muitos registros do avanço de dunas recobrando diversas construções, vilarejos e áreas rurais, o que evidencia o rápido avanço das areias em poucas décadas (BIRD, 2008).

3.3. Uso de imagens aéreas e orbitais no estudo costeiro

3.3.1. Fotografias aéreas e imagens orbitais

Desde o surgimento da fotografia existe uma constante curiosidade do homem em compreender melhor o espaço geográfico, através de uma perspectiva vertical ou oblíqua, mas que permita visualizar a área de interesse do alto. Este fato possui relação com a origem das civilizações, que já nos seus primórdios, buscavam formas de se comunicar com seus “deuses” que na grande maioria das crenças “voavam ou habitavam os céus”.

Para formular uma melhor compreensão das potencialidades e importância da utilização das imagens de satélite, é necessário realizar uma breve reflexão sobre a necessidade quase que ancestral do homem em visualizar o espaço que ocupa sobre uma perspectiva até então somente experimentada pelos pássaros ou pelos “deuses”. Esta necessidade, este anseio, esta busca, podem ser evidenciados em inúmeras tentativas, realizadas pelo homem pelo menos nos últimos 500 anos, em voar, com destaque para os protótipos de máquinas voadoras desenhados por Leonardo da Vinci no início do século XVI. Ainda podemos retornar mais ao passado para o contexto da concepção das linhas de Nazca no Sul do Peru, estruturas que somente podem ser identificadas com sobrevoos há uma certa altura do solo.

Jensen (2009) destaca que por muito tempo o homem desejou voar para ter a perspectiva aérea dos pássaros e, após sonhar com os céus durante séculos, a criatividade humana finalmente resultou em uma série de invenções que permitiram vencer a gravidade e obter uma perspectiva aérea da superfície terrestre. Neste contexto durante o

século XIX e o início do século XX, diversas experiências foram realizadas utilizando-se de câmeras fotográficas acopladas a balões, pipas e pombos correio, com destaques para uma das primeiras fotografias aéreas realizadas, de autoria de Gaspard-Félix Tournachon (Nadar), obtida com o auxílio de um balão em 1858, em Bievre Valley na França, infelizmente todas as imagens se perderam. (JENSEN, 2009) A primeira fotografia aérea que temos registro ainda segundo Jensen (2009) é de James W. Black e Samuel A. King em Boston nos Estados Unidos em 1860, feita a partir de um balão a 350 metros de altura. Em meados de 1888 já haviam ideias em se fotografar a partir de foguetes, mesmo antes da invenção do avião. Ludwig Rahrman patenteou um sistema fotográfico que seria lançado a partir de um foguete. Em 1903, Julius Neubronner patenteou uma câmera aérea atada ao peito de pombos correios que pesava apenas 70 gramas e realizava fotografias a cada 30 segundos (Figura 5) (JENSEN, 2009).



Figura 5. (a) Boston nos Estados Unidos fotografada por James W. Black e Samuel A. King em 1860 a partir de um balão a 350 metros de altura. (b) Pombos correio equipados com câmeras fotográficas desenhadas por Julius Neubronner. (c) Fotografia aérea realizada por pombo correio. (d) Fotografia aérea dos escombros de São Francisco nos Estados Unidos, após terremoto em 1906, realizada por George R. Lawrence com uma série de 17 pipas interligadas erguendo uma câmera de mais de 22 kg (Fonte: Adaptado de JENSEN, 2009).

Após a invenção do avião e o advento das duas grandes guerras mundiais subsequentes, grandes avanços foram realizados no que diz respeito a fotografia aérea, tanto na qualidade dos aviões entre a primeira e a segunda guerras mundiais, quanto na qualidade e tamanho reduzido das câmeras fotográficas, principalmente utilizadas com finalidades militares, mas que paulatinamente foram empregadas na ciência. Com o surgimento da Guerra fria, a aerofotogrametria entrou em outro patamar, sendo amplamente utilizada na espionagem com destaque para os balões de alta altitude e o programa de aviões de reconhecimento intitulado U2, e que podia voar a altitudes nunca antes alcançadas, cerca de 70000 pés.

A era dos reconhecimentos a partir do espaço iniciou-se a partir do lançamento do Sputnik em 1957 pela União Soviética e das missões de reconhecimento Corona realizadas durante toda a década de 1960 pelos norte-americanos (JENSEN, 2009). A partir daí a tecnologia de lançamento de satélites e espaçonaves, além de um gradual avanço nas tecnologias de comunicação e localização, permitiram que satélites cada vez mais sofisticados entrassem em órbita e que essa tecnologia, antes puramente utilizada para fins militares fosse sendo liberada para utilização na pesquisa. É importante destacar o lançamento do sensor *Thematic Mapper*, a bordo do Landsat 4 que revolucionou o sensoriamento remoto com a possibilidade de geração de informações em 7 bandas espectrais no VIS, NIR, SWIR e TIR (FLORENZANO, 2011). Segundo Jensen (2009) os sistemas de sensoriamento remoto a bordo de satélites podem fornecer dados de alta qualidade e relativamente baratos quando analisados por km² uma vez que recobrem extensas áreas em uma única cena.

Atualmente existem inúmeros satélites com capacidade para fornecer imagens de alta resolução e em diversas bandas espectrais de toda a superfície terrestre. Algo importante a ressaltar é o custo relativamente elevado na aquisição das imagens de satélite de alta resolução espacial, fato que motiva uma constante busca por alternativas mais econômicas para a realização de determinados estudos. Uma alternativa que por vezes demonstra-se viável, é a utilização de softwares livres durante parte da realização da pesquisa, a destacar-se o programa *Google Earth PRO*, que fornece imagens de alta resolução (RGB) de toda a superfície terrestre de forma gratuita (para uso sem fins lucrativos por instituições de ensino por exemplo) mas que tem suas limitações como apontado em (LIMA, 2012; SCHEFFERS *et al.*, 2012).

3.3.1.1. *Imagens orbitais no estudo de praias e dunas costeiras*

Pavlopoulos *et al.*, (2009) destacam que, apesar de satélites como os hoje conhecidos como LANDSAT fornecerem imagens orbitais já há algumas décadas, existem limitações quanto a sua resolução espacial. Por este motivo, segundo os autores, os mapeamentos geomorfológicos de detalhe, incluindo aqueles relacionados a praias e dunas costeiras, utilizando-se de imagens de satélite como dado primário, ganharam força a partir dos anos 2000, uma vez que foram lançados satélites com capacidade para transmitir imagens de alta resolução espacial. Todavia estes mesmos autores destacam que mesmo que uma imagem de satélite possua limitações de escala espacial, ainda sim pode ser utilizada se aliada a dados coletados diretamente em campo, obtendo-se como resultado final um trabalho mais detalhado.

Neste contexto são inúmeros os trabalhos que se utilizaram de imagens de satélite para o estudo de praias e dunas costeiras, com imagens nas mais variadas escalas espaciais, desde imagens LANDSAT com pixels de 30 m até imagens de alta resolução com pixels inferiores a 1 m, sendo as imagens de satélite por vezes o dado primário, por vezes o dado complementar. Essas imagens sobre a ótica do estudo de praias e dunas costeiras auxiliam no processo de compreensão da alta dinâmica ao qual este ambiente está submetido.

Albuquerque *et al.*, (2015) apontam que a utilização de geotecnologias dentre elas imagens de satélite, são de grande importância para a compreensão de fenômenos relacionados a praias e dunas costeiras, como a ocorrência das chamadas “Ressacas do Mar”, uma vez que métodos analógicos e/ou tradicionais tornariam uma compreensão mais detalhada bastante difícil, sendo a posição da linha de costa o indicador apontado pelos autores como um dos mais relevantes.

Meireles *et al.*, (2006) e Meireles (2011) utilizaram-se de imagens de satélite LANDSAT, IKONOS e Quickbird, imagens com resoluções espaciais bastante distintas, aliadas a outras fontes de dados, para auxiliar na composição de unidades morfológicas para estudar campos de dunas móveis no litoral do Ceará.

Lima (2012) destaca as potencialidades e limitações da utilização de imagens orbitais, disponibilizadas de forma gratuita no software *Google Earth* na pesquisa e ensino da geomorfologia, exemplificando diversas aplicações, dentre elas o transporte eólico em dunas e o regime de ondas na ilha de Santa Catarina.

Marino; Sá Freire (2013) utilizaram-se de imagens Quickbird e fotografias aéreas para analisar a evolução da linha de costa através da ferramenta DSAS – *Digital Shoreline Analysis System* em praias da região metropolitana de Fortaleza no Ceará.

Koerner *et al.*, (2013) utilizaram-se de imagens de satélite como base para plotar dados de perfis topográficos no intento de discutir os efeitos da erosão costeira no balneário do Hermenegildo. Neste caso, onde as imagens de satélite não forneceram subsídios diretos para a base de dados, foram também importantes uma vez que permitiram a visualização dos dados coletados, diretamente sobre a área de estudo.

3.3.2. Drones e vant's

Recentemente uma outra alternativa para o fornecimento de imagens e fotografias áreas está ganhando campo a passos largos. Refere-se a utilização de plataformas autônomas como Veículos Aéreos não Tripulados (VANT's) e Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP) ou “DRONES” como são popularmente conhecidos.

Por tratar-se de uma tecnologia recentemente popularizada, os drones como conhecemos atualmente, não possuem um longo histórico consolidado. Todavia como grande parte das tecnologias, sua origem está relacionada a ambição de sua utilização para fins militares, sendo assim destaca-se que em meados dos anos 1980 o governo dos EUA investiu bilhões de dólares no desenvolvimento de veículos aéreos não tripulados. Alguns desses equipamentos podem permanecer no ar durante muitas horas e operar a milhares de km de distância, além de possuírem um tamanho relativamente reduzido, tornando-se praticamente impossíveis de serem detectados. Apesar de um custo elevado no caso dos Vant's de grande porte, estes têm a vantagem de não envolverem a perda de vida humana e quando comparados a aeronaves tripuladas, custam muito menos. Estas aeronaves podem carregar câmeras digitais, câmeras infravermelho-termais de visada frontal, sensores hiperespectrais, armamentos, dentre outros (JENSEN, 2009).

A partir dos anos 2000, após a ampla utilização de drones para incursões especialmente norte-americanas no Afeganistão e Iraque, esta tecnologia popularizou-se e começou a ser explorada por empresas privadas para os mais variados fins, desde a pesquisa, cinema, reconhecimento, como recreativos dentre outros. Empresas como as chinesas DJI e Walkera, a norte-americana 3D Robotics (3DR), e a francesa Parrot estão entre as líderes do mercado de drones civis no mundo, investindo milhões de dólares todo o ano, em um mercado que cresce exponencialmente.

Neste sentido, Jensen (2009) já abordava a qualidade de fotografias aéreas obtidas por um aeromodelo adaptado para portar uma câmera digital de pequeno formato, para cobrir áreas relativamente pequenas com uma detalhada escala espacial.

3.3.2.1. Drones e vant's no estudo de praias e dunas costeiras

Devido a recente popularização dos drones no Brasil, são poucos os estudos já publicados utilizando essa tecnologia, embora existam muitos trabalhos em andamento sendo realizados, devido a este fato não existe, portanto, uma metodologia consolidada para o trabalho com drones em praias e dunas costeiras.

Gonçalves *et al.* (2016a) realizaram um trabalho com o auxílio de um drone para formular modelos digitais de superfície (MDS) de dunas frontais em um segmento de praia arenosa no litoral Português. Estes autores realizaram a comparação de (MDS) obtidos a partir do levantamento por varrimento de laser terrestre e de fotografias aéreas realizadas a partir da operação manual de um drone de pequeno porte e baixo custo apontando suas potencialidades e fragilidades. Já Gonçalves *et al.* (2016b) utilizaram drone também para monitorar a variação da linha de costa, a partir da variação topográfica, na Praia do Furadouro, no litoral centro-norte de Portugal, comparando os dados fornecidos por drone, com dados de perfis topográficos realizados em campo com receptor geodésico, e realizando uma análise da variação da linha de costa a partir da ferramenta DSAS, estes autores apontam que a:

“Recente disponibilização e utilização de sistemas drones [...] de baixo custo aliada com o desenvolvimento e facilidade de uso do Software Fotogramétrico baseado em algoritmos SfM (Structure from Motion) e correlação densa, abre as portas para o uso intensivo desta geotecnologia na monitorização topográfica das superfícies dos sistemas dunares” (GONÇALVES *et al.*, 2016b pg. 6)

Gonçalves *et al.* (2016b) destacam que mesmo os drones de baixo custo, permitem obter simultaneamente ortomosaicos e MDS sendo ferramentas valiosas nos estudos da erosão costeira em uma escala local. Neste contexto um software que vem ganhando espaço no processamento de fotografias aéreas obtidas a partir de um drone é o software russo Agisoft Photoscan, esse software também foi utilizado por Lopes (2015) para monitorar um segmento de costa rochoso em Portugal.

No Brasil, Scarelli (2016) utilizaram-se de um drone DJI® modelo Phantom para produzir ortofotos e Modelos Digitais de Superfície (MDS), na praia de Capão Novo – RS. Estes autores compararam as mudanças na morfologia das dunas em segmentos ocupados e não ocupados da costa dessa localidade, apontando para as vantagens de se

adquirir dados de alta precisão com um baixo custo de operação a partir da utilização de um drone, além da possibilidade de se repetir várias vezes o método de aquisição dos dados, somados a facilidade de se operar o equipamento com segurança, bem como a possibilidade de ir a campo rapidamente para realizar um voo, após a passagem de uma tempestade, por exemplo.

4. ÁREA DE ESTUDO

4.1. Localização Geográfica

A área de estudo situa-se no segmento do litoral do Rio Grande do Sul conhecido como litoral médio, mais especificamente no município de Mostardas (figura 6). A forma mais segura de acesso até o Balneário Mostardense é através da BR 101 até a cidade de Mostardas. Para acessar o balneário partindo do centro de Mostardas há uma via não pavimentada de aproximadamente 14 km que leva até o Balneário Mostardense.

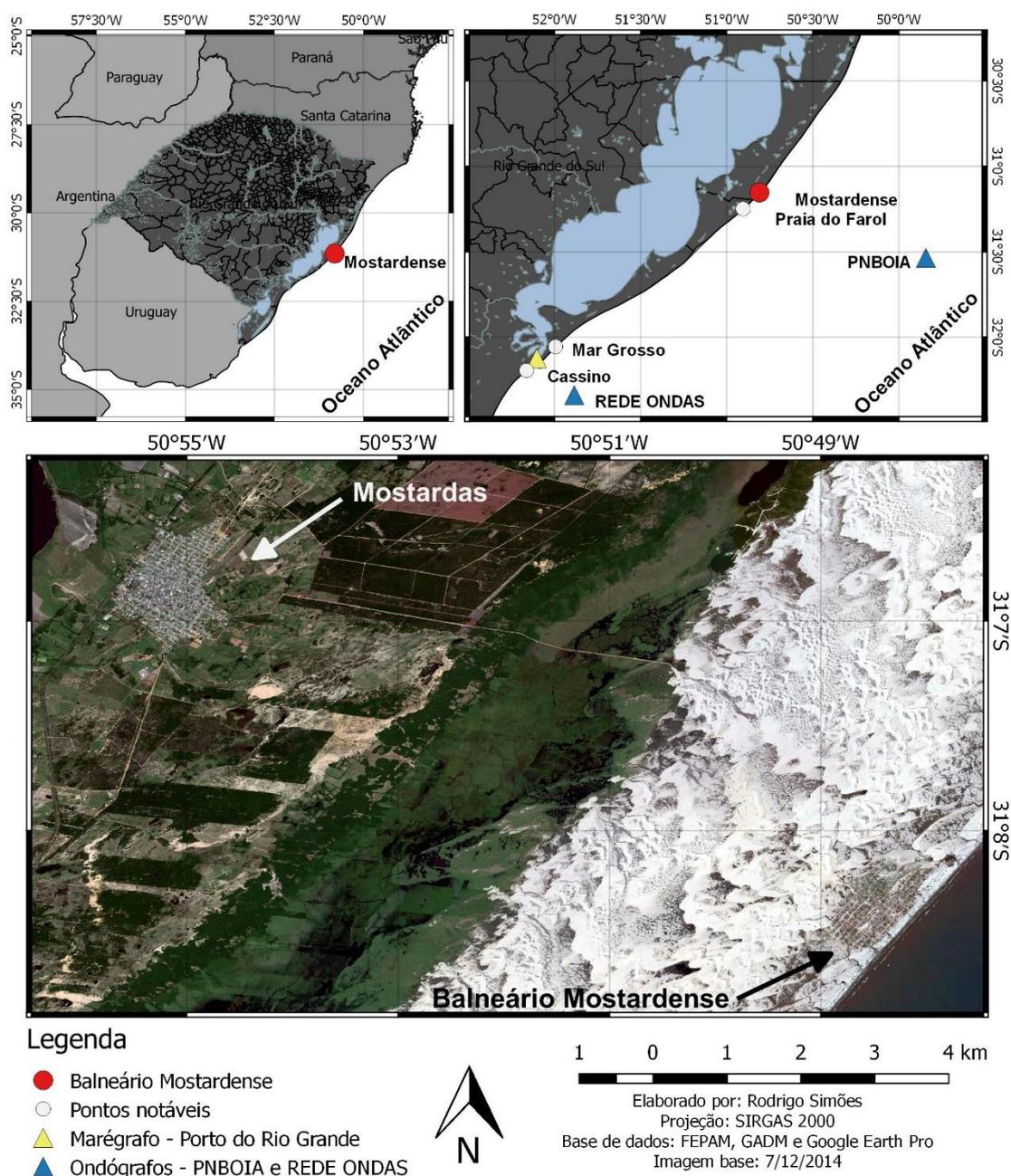


Figura 6. Mapa de localização da área de estudo.

4.2. Caracterização geológica e geomorfológica

A área de estudo, em uma escala de menor detalhe, atualmente, sofre domínio predominante de forças exógenas, que derivam majoritariamente da radiação solar e suas implicações na dinâmica terrestre, como; intemperismo, erosão, transporte, deposição, soterramento e diagênese, não estando no que diz respeito ao seu passado geológico mais recente, diretamente relacionada com processos tectônicos. Todavia há de se considerar como processo endógeno não atuante, porém relevante na atual configuração costeira, a sua herança geológica distante, que reflete no tipo atual de costa. Uma vez que a costa Atlântica da América do Sul, desenvolveu-se nos últimos milhares de anos sobre uma margem continental do tipo passiva (INMAN; NORDSTROM, 1971), distante do limite divergente caracterizado pela dorsal meso-atlântica podendo ser discordante no que diz respeito a orientação de seus dobramentos. Ainda segundo Inman; Nordstrom (1971) costas como a costa Atlântica da América do Sul, são caracterizadas majoritariamente por possuírem sedimentos de granulometria fina e abundante, apresentando uma morfologia de costa com extensas planícies deltaicas e barreiras costeiras, um embasamento cristalino com idades superiores a 100 MA e com uma plataforma continental larga e com baixo gradiente, além de estabilidade tectônica. Calliari; Toldo Jr. (2016) destacam que as praias do Rio Grande do Sul estão alocadas em uma larga superfície sedimentar, denominada Bacia de Pelotas, estando ainda bastante distantes do escudo Pré-Cambriano.

4.2.1. Quaternário Costeiro

Analisando a área de estudo sobre uma perspectiva de maior detalhamento, no âmbito do quaternário costeiro, é possível dizer que o litoral do Rio Grande do Sul apresenta feições geomorfológicas decorrentes de transgressões e regressões marinhas, intercalando ao longo do tempo geológico, períodos interglaciais e glaciações respectivamente, caracterizado por sistemas do tipo laguna barreira (VILLWOCK; TOMAZELLI, 1995; TOMAZELLI; VILLWOCK, 2000), sendo a porção emersa representada por quatro distintos sistemas deposicionais transgressivos-regressivos, denominados Barreiras I, II, III e IV em ordem cronológica. Para Tomazelli; Villwock (2005), cada uma dessas barreiras provavelmente originou-se no limite atingido por cada transgressão e foi preservada em função da regressão da linha de costa. Estes quatro sistemas foram formados durante os últimos 400 ka. A figura 7 ilustra os sistemas laguna-barreira com suas fácies associadas:

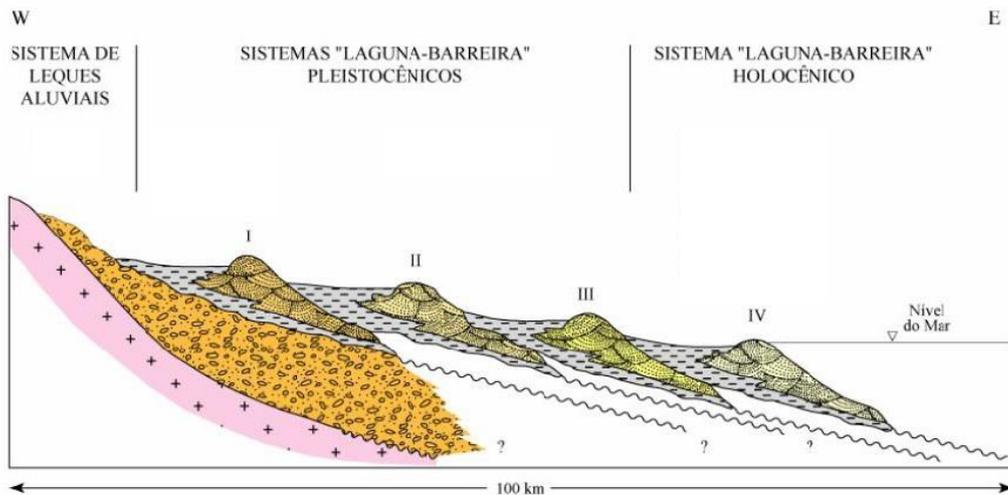


Figura 7. Perfil esquemático (W-E) transversal aos sistemas deposicionais da Planície Costeira do Rio Grande do Sul com suas fácies sedimentares associadas (Fonte: TOMAZELLI; VILLWOCK, 2005).

Ao longo de toda a costa existe uma barreira arenosa holocênica, regionalmente conhecida como barreira IV, com uma orientação predominante NE-SW (TOMAZELLI; VILLWOCK, 2000). Esta possui certas sinuosidades, declividades suaves, poucos inlets e pequenas drenagens, conhecidas regionalmente como sangradouros. Apesar de uma aparente homogeneidade existem heterogeneidades em seus depósitos, uma vez que coexistem temporalmente barreiras de naturezas transgressiva e regressiva (DILLEMURG *et al.*, 2005). Dillemburg *et al.*, (2009) subdividem a costa do RS em 4 setores (figura 8), sendo os setores I e III os com uma morfologia côncava e os setores II e IV com uma morfologia convexa. Neste contexto a área de estudo está localizada no segmento II, com uma barreira holocênica bastante larga, apresentando um vasto campo de dunas transgressivas ativas e relativamente distante da barreira Pleistocênica.

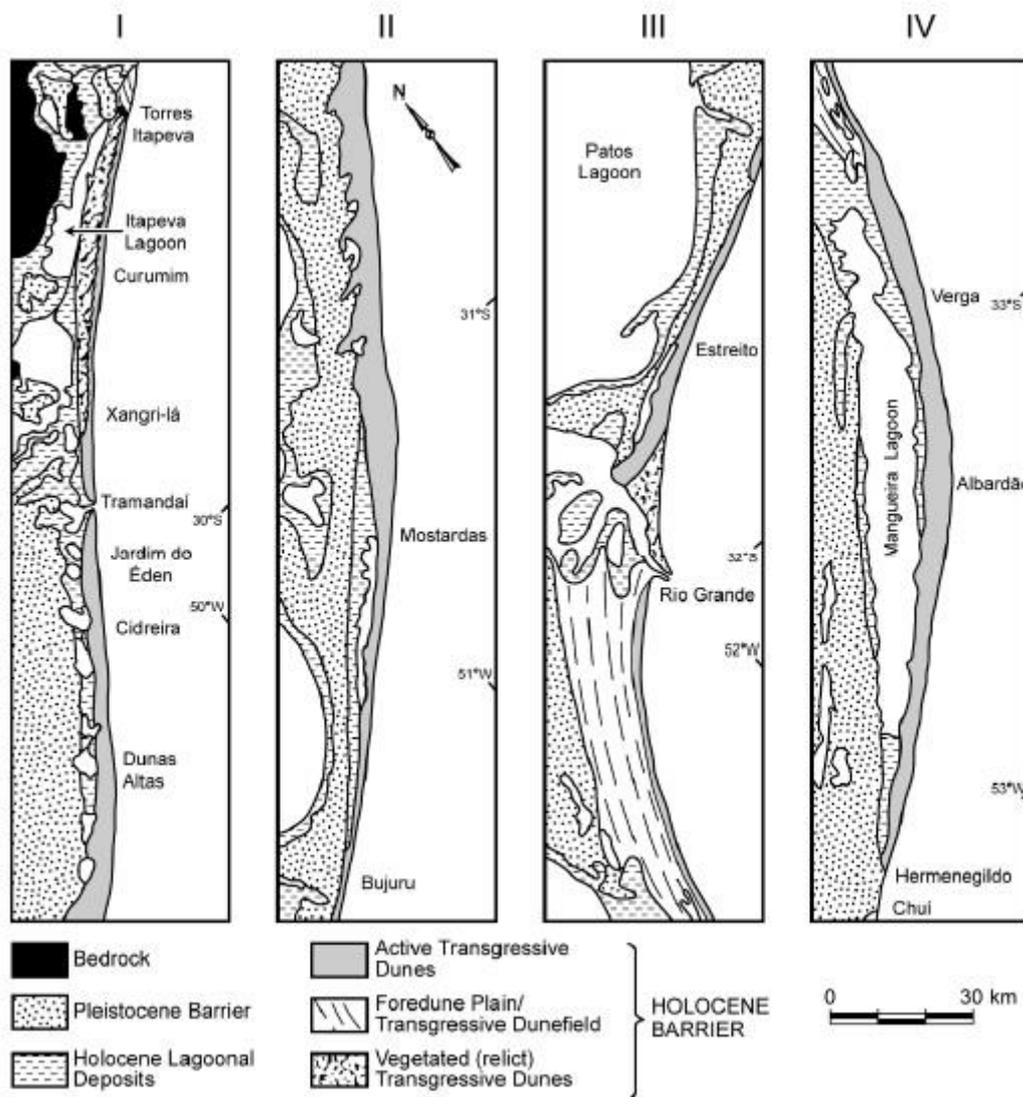


Figura 8. Barreiras Pleistocênicas e Holocênica ao longo da costa do RS de Torres até a barra do Chuí. O segmento I indica o setor mais ao Norte e assim progressivamente até o segmento mais ao Sul (IV) (Fonte: DILLEMBURG *et al.*, 2009).

4.2.2. Praias arenosas

A costa da área de estudo, com base na classificação proposta por Davis (1964) é dominada por ondas. Encontra-se em uma zona de micro-maré, onde a variação da maré astronômica é pequena e menos representativa do que a variação da maré meteorológica, que por vezes pode causar o empilhamento de ondas na praia.

Pereira *et al.*, (2010) salientam que as praias do Rio Grande do Sul são majoritariamente expostas a ação das ondas e compostas predominantemente por areia fina quartzosa resultando geralmente em inclinações bastante suaves. Todavia os mesmos autores ressaltam que nas proximidades de Mostardas, as praias apresentam um aumento na porcentagem de areia de granulometria média, além de possuírem características

morfodinâmicas classificadas como intermediárias podendo variar entre banco e cava longitudinal a banco e praia rítmica, com moderada a alta mobilidade sedimentar (PEREIRA *et al.*, 2010).

Dillemburg *et al.*, (2003), ao realizar perfis transversais a orientação da linha de costa entre +2 e -70 metros de profundidade em todo o estado, constataram que, onde a costa apresenta uma morfologia côncava, a declividade da plataforma é menor, e onde a costa apresenta uma morfologia convexa, como em Mostardas, a declividade é maior. Barletta (2006) sustenta que existe uma relação entre a morfologia da antepraia e os padrões de refração de ondas, os quais interferem sobre a distribuição de alturas e direções de ondas ao longo de grandes trechos do litoral médio, fato relevante principalmente na adjacência sul da área de estudo, onde a isóbata de 20 m é mais próxima a costa (figura 9), expondo a área de estudo a uma alta energia de ondas.

Contornos de profundidade

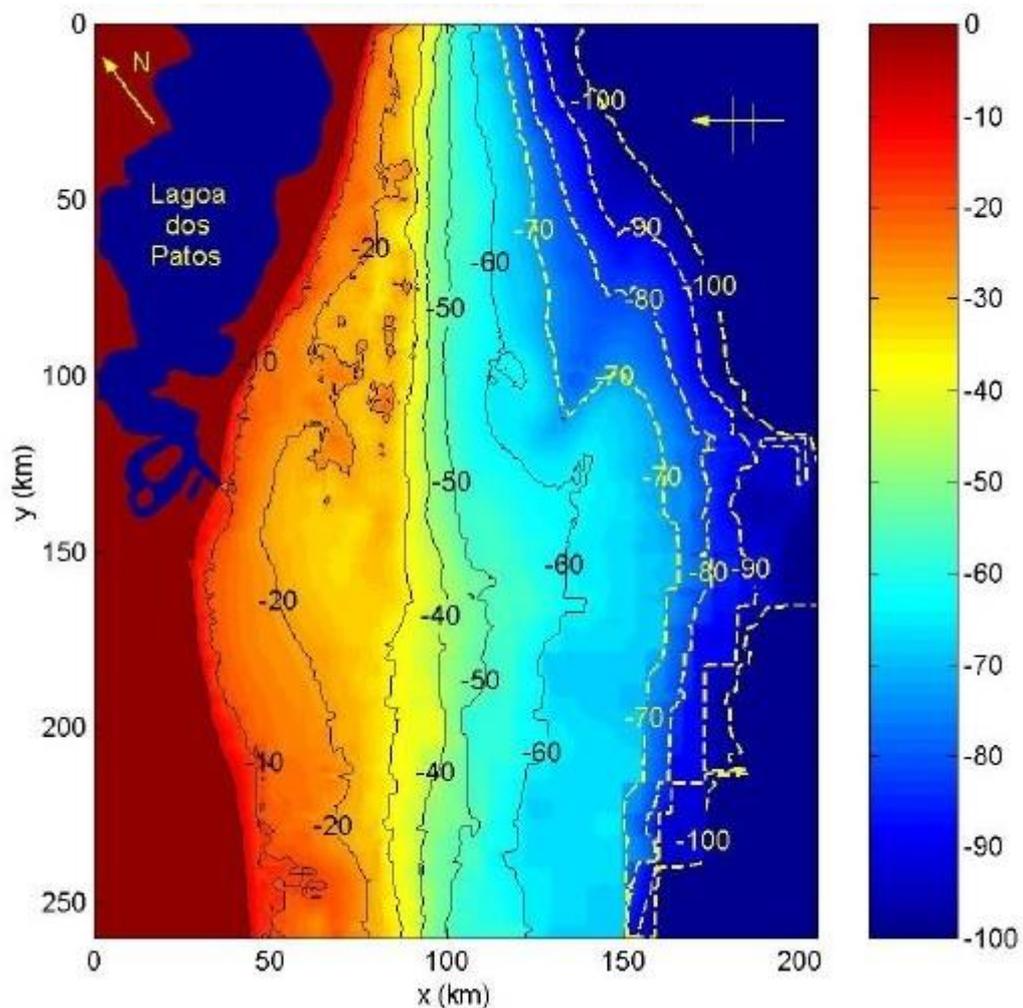


Figura 9. Contornos batimétricos de profundidade na costa central do RS (Fonte: BARLETTA, 2006).

Este fato é importante uma vez que a costa do RS é regularmente atingida por tempestades, que geram ondas provenientes do quadrante S e marés meteorológicas significativas com potencial para ocasionar erosão no perfil praial. Salienta-se ainda que o transporte longitudinal de sedimentos ocorre em duas direções de SW-NE e NE-SW. Todavia o transporte mais efetivo de sedimentos ocorre durante a passagem de frentes frias, transportando os sedimentos de SW para NE (CALLIARI; TOLDO JR. 2016). Nicolodi *et al.*, (2003) ao realizar um estudo sobre as correntes costeiras induzidas por tempestades no litoral médio do RS, constataram que essas correntes são excepcionalmente intensas quando associadas a passagem de frentes frias, acumulando água na costa e resultando em marés meteorológicas em torno de 1,5 m de altura, que quando combinadas à ondas de alta energia, podem ocasionar processos de erosão costeira e transporte de sedimentos. Estes autores também salientam o elucidado por Lima *et al.*, (2001), que demonstrou que apesar de as ondas provenientes do quadrante S, ocorrerem com menor frequência (9%), elas são responsáveis por mais de 30% do total do transporte longitudinal, enquanto que as ondas de N-NE (cerca de 13%) produzem apenas 2% do transporte.

Neste contexto Speranski; Calliari (2006) destacaram que a linha de costa oceânica do Rio Grande do Sul apresenta áreas em erosão, estabilidade e acreção. Locais de severa erosão são encontrados em três pontos da costa do Estado, próximo ao farol de Mostardas, ao farol da Conceição e ao balneário Hermenegildo. A figura 10 demonstra áreas em erosão, acreção e em estabilidade, com base em diagramas de refração de onda para o litoral médio do RS:

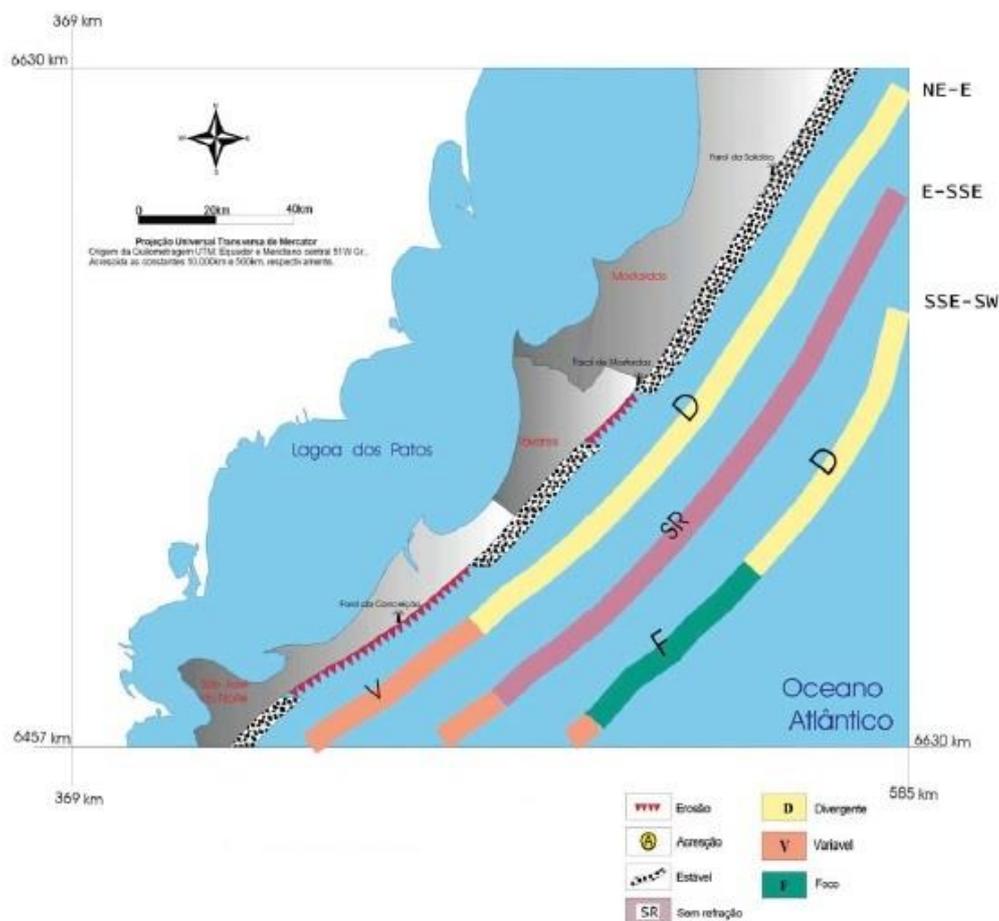


Figura 10. Erosão e progradação da linha de costa segundo diagramas de refração de ondas para o Litoral Médio do RS (Fonte: SPERANSKI; CALLIARI, 2006).

É importante destacar que a orientação da linha de costa somada a fatores morfodinâmicos, podem ser os responsáveis pela mobilidade praial, uma vez que praias intermediárias do litoral médio apresentam uma maior mobilidade, sendo que as flutuações anuais da linha de costa apresentam um padrão ondulatório com áreas em erosão e acreção adjacentes (ESTEVES, 2006).

4.2.3. Dunas costeiras

Tagliani (2011) ressalta que na costa oriental da Lagoa dos Patos, a largura dos campos de dunas pode variar de 300 metros nos segmentos mais ao Sul até aproximadamente 10 km nos arredores do Farol da Solidão, com alturas que podem chegar até 17 metros. Salienta-se ainda que o balneário Mostardense possui uma extensa faixa de dunas móveis na retaguarda (PEREIRA *et al.*, 2010; OLIVEIRA *et al.*, 2015).

Calliari *et al.*, (2005) constataram que os ventos predominantes de nordeste são o fator mais relevante para a diferenciação na altura das dunas frontais tanto no litoral Norte como no litoral Médio do RS. Estes autores ainda destacam que a orientação da linha de

costa em relação ao vento predominante NE age sobre as dunas frontais, ao longo do litoral norte e médio do RS. Portanto as diferenças na orientação da linha de costa em determinados setores da costa do Estado, podem ocasionar significativas alterações na morfologia da praia e na dinâmica do transporte de sedimentos. Este transporte eólico em determinados setores se dá obliquamente à linha de costa, hora carregando sedimentos do pós-praia em direção ao cordão de dunas frontal, hora transportando sedimentos em direção ao Oceano. Neste sentido pode-se afirmar que a formação dos campos de dunas na área é favorecida em função do alto aporte sedimentar, ocasionado sobretudo pela erosão da linha de costa, conjuntamente com a baixa umidade e o alto potencial de deriva eólica (MARTINHO, 2008; SCOTTÁ *et al.*, 2015). Scottá *et al.*, (2015) através da análise de imagens orbitais, calcularam o deslocamento dos campos de dunas do Parque Nacional da Lagoa do Peixe, dunas nas adjacências da área de estudo, entre os anos de 1986 a 2014, com setores variando entre 347 m a mais de 1500 m no período segundo os autores.

4.3. Breve histórico de ocupação e características socioeconômicas

A ocupação de Mostardas teve início durante o século XVIII, principalmente com imigrantes açorianos. Mostardas foi elevada à categoria de cidade apenas em 1963, emancipando-se de São José do Norte. Salienta-se que a violência dos ventos e do mar e a dificuldade em se atravessar as extensas dunas foram limitantes para o desenvolvimento da ocupação costeira (PREFEITURA MUNICIPAL DE MOSTARDAS, 2011).

Atualmente há cinco principais áreas urbanas junto ao mar no município, havendo outras menores e edificações esparsas. Segundo dados do Plano de Manejo de Dunas Costeiras do Município de Mostardas, elaborado pelo Núcleo de Educação e Monitoramento Ambiental - NEMA em 2011, o balneário Mostardense é o maior e mais desenvolvido do município (tabela 1).

Tabela 1. Infraestrutura dos balneários Mostardense, São Simão, Solidão, Pai João e Bacopari (Fonte: Modificado do Plano de Manejo de Dunas Costeiras do Município de Mostardas – NEMA, 2011).

<i>Balneários</i>	<i>Balneário Mostardense</i>	<i>São Simão</i>	<i>Solidão</i>	<i>Pai João</i>	<i>Bacopari</i>
Construções	1188	328	699	122	262
Residências	1151	319	691	120	238
Estabelecimentos Comerciais	25	5	6	1	23
Associações e Órgãos Cíveis	12	4	2	1	1
Estabelecimento com Luz	876	287	488	94	174
Estabelecimento com Água (poço artesiano)	838	273	327	-	-
Estabelecimento com Esgoto	0	0	0	0	0
Estabelecimento com Coleta de Lixo	943	277	332	122	262
Escolas	1	1	-	-	-
Posto de Saúde	1	1	1	1	-
Tamanho do Lote	450m²	450m ²	300m ²	300m ²	405m ²
Número de Moradores	221	80	81	2	97
Número de Veranistas	4704	1296	2788	484	1044

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. Revisão bibliográfica e documental

Como primeira etapa metodológica desta pesquisa, foi realizada uma revisão de trabalhos anteriores e relatórios técnicos que contemplaram algum segmento da área de estudo, bem como de pesquisas que abordavam outras áreas, mas que contribuíram de alguma forma para qualificar o manuscrito. A tabela 2 demonstra, em ordem cronológica, os trabalhos que contribuíram para a pesquisa de forma mais relevante, no sentido de fornecer informações importantes contribuindo com as discussões sobre a dinâmica regional.

Tabela 2. Principais trabalhos científicos que ofereceram informações sobre a área de estudo.

<i>Autor</i>	<i>Trabalho</i>	<i>Ano</i>	<i>Tipo de publicação</i>
DILLEMBURG, S. R., ROY, P. S., COWELL, P. J., AND TOMAZELLI, L. J	Influence of antecedent topography on coastal evolution as antecedent topography on coastal evolution as tested by the shoreface translation-barrier model (STM)	2000	Artigo
BARLETTA, R.C.; CALLIARI, L.J.	Determinação da intensidade das tempestades que atuam no litoral do Rio Grande do Sul, Brasil	2002	Artigo
ESTEVES, L.S.	Variabilidade espaço-temporal dos deslocamentos da linha de costa no Rio Grande do Sul	2004	Tese de doutorado
CALLIARI, L.R.; PEREIRA, P.S.; DE OLIVEIRA, A.O.; FIQUEIREDO, S.A.	Variabilidade das Dunas Frontais no Litoral Norte e Médio do Rio Grande do Sul, Brasil	2005	Artigo
DILLEMBURG, S.R.; TOMAZELLI, L.J.; MARTINS, L.R.; BARBOZA, E.G.	Modificações de Longo Período da Linha de Costa das Barreiras Costeiras do Rio Grande do Sul	2005	Artigo
TOLDO JR, E. E.; ALMEIDA, L.E. S. B.; NICOLODI, J.L.; ABSALONSEN, L.; GRUBER, N.L.S.	O Controle da Deriva Litorânea no Desenvolvimento do Campo de Dunas e da Antepraia no Litoral Médio do Rio Grande do Sul	2006	Artigo
BARLETTA, R.C.	Teste e aplicação de modelos parabólicos de refração-difração com ênfase na propagação de ondas sobre parcéis	2006	Tese de Doutorado
SPERANSK, N.; CALLIARI, L.J.	Padrões de refração de ondas para a costa do Rio Grande do Sul e sua relação com a erosão costeira	2006	Capítulo de Livro
ABSALONSEN, L; TOLDO JR., E.	A Influência da Inflexão Costeira na Variabilidade da Linha de Praia em Mostardas – RS	2007	Artigo
MARTINHO, C. T.	Morfodinâmica e evolução de campos de dunas transgressivos quaternários do litoral do Rio Grande do Sul.	2008	Tese de Doutorado
MACHADO, A.A.; CALLIARI, L.J.; MELO, E.; KLEIN, A.H.F	Historical assessment of extreme coastal sea state conditions in southern Brazil and their relation to erosion episodes	2010	Artigo
MELO, E., ROMEU, M. A. R.; HAMMES, G. R.	Condições extremas de agitação marítima ao largo de Rio Grande a partir do Modelo WW3	2010	Anais de Congresso
SIMÕES, R.S.	Análise da distância média entre as ocupações a beiramar e o limite superior da praia nos balneários São Simão, Mostardense, Praia do Farol e Mar Grosso, RS	2015	Trabalho de conclusão de curso em Geografia

5.2. Geoprocessamento e análise de imagens orbitais e fotografias aéreas

5.2.1. Aquisição e processamento das imagens

Para proporcionar uma melhor compreensão da mobilidade do limite praia duna na área de estudo, foi realizada uma análise em duas escalas temporais, no intento de permitir um melhor entendimento desses processos e de suas conexões transescalares. Neste intuito, foram analisados dados das duas únicas imagens orbitais de alta resolução disponíveis no programa *Google Earth Pro* (2005 e 2014), e dados de um monitoramento mensal realizado no período de um ano entre junho de 2016 até junho de 2017. Para este monitoramento foi utilizado um drone fabricado pela empresa chinesa DJI®, modelo Phantom 3 Professional.

5.2.1.1. Aquisição e processamento de imagens do *Google Earth PRO*

Como mencionado anteriormente, até o momento, há apenas duas imagens disponíveis no banco de dados do software *Google Earth PRO* (2005 e 2014) para a área de estudo. Estas imagens foram extraídas a partir da metodologia descrita por Simões (2015). As imagens foram extraídas do software *Google Earth Pro* a uma altura do ponto de visão de 1000 m, com um ângulo de visada de cerca de 90° em relação ao solo, propiciando a visualização em detalhe da área pretendida. Foram então extraídos recortes de imagens orbitais que posteriormente foram utilizados para composição de mosaicos no software *ArcMap 10.3*® e georeferenciados com pontos coletados em campo por receptor geodésico. A primeira imagem disponível data de 13 de agosto de 2005 e a segunda de 7 de dezembro de 2014, ambas da *Digital Globe*, empresa americana que disponibiliza para o *Google Earth PRO* as imagens orbitais *Quickbird*, *GeoEye*, *IKONOS* e *WorldView*, todas de alta resolução com tamanho de pixel variando entre 0,5 m a 1 m.

5.2.1.2. Aquisição e processamento de fotografias aéreas utilizando drone

A necessidade de aquisição de dados de alta resolução inspirou a compra de uma aeronave remotamente pilotada, popularmente chamada de DRONE, por parte do Laboratório de Geomorfologia e Recursos Hídricos com verbas do Edital Universal

CNPq 2014¹, possibilitando assim ampliar as séries amostrais do *Google Earth PRO* para trechos de orla urbanizada nos litorais médio e sul do RS. Desta forma, embora a área de estudo deste trabalho, tenha sido especificamente o balneário Mostardense, testes foram realizados em outras orlas urbanizadas do Rio Grande do Sul, fato que permitiu a lapidação de uma metodologia, aplicada neste trabalho, e que pode ser replicada em trabalhos futuros. Esta metodologia é detalhadamente descrita nos itens a seguir:

5.2.1.2.1. O equipamento utilizado (drone)

Embora em muitos trabalhos seja comum o emprego do termo UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) ou ainda ARP (Aeronave Remotamente Pilotada), neste trabalho adotou-se a terminologia (*drone*). Esta terminologia foi adotada para referir-se ao equipamento utilizado, no intuito de maximizar a popularização das informações contidas neste documento, já que esta é a forma como tais equipamentos são popularmente conhecidos.

O equipamento utilizado para realização do trabalho (*DJI® Phantom 3 Professional*), trata-se de um quadricóptero, equipado com uma câmera de pequeno formato. Este quadricóptero pesa pouco mais de 1 kg e pode operar com segurança a até cerca de 2 km de distância do rádio transmissor, com possibilidade de telemetria (transmissão de vídeo da câmera acoplada em tempo real e informações de demais sensores), a partir de utilização de um tablet ou telefone celular conectado ao transmissor de rádio (figura 11a).



Figura 11. (a) Drone Phantom 3 profissional. (b) Controle do drone Phantom 3 Professional e tablet acoplado, com destaque para as informações contidas na telemetria do equipamento (fonte: www.dji.com).

¹ PROJETO: VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DO SISTEMA DUNA PRAIA JUNTO A ORLA URBANA DOS BALNEÁRIOS MOSTARDENSE, MAR GROSSO, CASSINO, HERMENEGILDO E BARRA DO CHUÍ – RS. Coordenador: Ulisses Rocha de Oliveira. Financiador: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

Os controles do rádio transmissor do referido drone (figura 11b), permitem a operação total da câmera acoplada, possibilitando a obtenção de fotografias verticais e oblíquas da área de interesse, com visualização em tempo real. Também há a possibilidade da captura de vídeos em resolução ultra HD (4K). Este equipamento ainda possui um GPS de navegação, o que lhe permite gravar um ponto de partida ao decolar e adicionar metadados espaciais as fotografias obtidas. Este fato também agrega segurança ao drone, uma vez que há um botão (*go home*), que em caso de um eventual problema durante o voo, perda de sinal de vídeo ou do rádio transmissor, ou nível de bateria muito baixo, o equipamento retorna e pousa automaticamente no último ponto de decolagem salvo em seu sistema. A telemetria demonstrada no *software* DJI GO, utilizado em um tablet/smartphone acoplado ao rádio transmissor, permite observar e alterar diversas especificações do funcionamento da câmera, como velocidade do obturador, ISO, e modos de disparo. Também é possível observar a altura de voo, distância entre o drone e o ponto de decolagem, intensidade do sinal de rádio, número de satélites ao qual o drone está conectado, dentre muitas outras opções.

5.2.1.2.2. Planejamento da coleta de dados e segurança de voo

Em relação à coleta de dados, inicialmente é importante abordar os procedimentos e a segurança de voo cuidadosamente realizados durante a elaboração deste trabalho. Os primeiros voos foram realizados próximo ao solo em áreas controladas, com intuito de apenas compreender totalmente o funcionamento do equipamento e dominar seus controles. Também deve-se destacar a necessidade de habilidades com geolocalização, manuseio de controles remotos, domínio de língua estrangeira (sobretudo inglês) e noções de programação.

Nas imagens utilizadas nesta pesquisa quase não há pessoas e carros nas cenas. Isto foi um dos aspectos relevantes: não colocar pessoas em risco na decolagem e pouso. A praia de onde partiram os voos configura um local seguro com amplos locais de pouso, principalmente em períodos fora de temporada turística ou de veraneio, que no caso do Rio Grande do Sul, restringe-se aos meses de dezembro a fevereiro e finais de semana. O segundo aspecto é que a área de estudo é distante de aeroportos e rotas aéreas, rodovias e de linhas de transmissão de energia. Em relação às rotas de aeronaves, a área de estudo é plana, com visão até o horizonte, isto é, sem cadeias de montanhas próximas. Isto possibilita identificar a aproximação de aeronaves a quilômetros, fato que permite pousar o drone com segurança caso necessário. Também é importante destacar que no mínimo

duas pessoas estiveram presentes durante os procedimentos de voo. Isto serviu tanto para auxiliar na captação das cenas, nos procedimentos de montagem e desmontagem do equipamento, na segurança dos equipamentos e/ou estar presente em um possível mal súbito do piloto.

5.2.1.2.3. Coleta de dados com pilotagem manual

Os primeiros testes com pilotagem manual foram realizados no balneário Cassino, ao longo de três trabalhos de campo (10/5, 19/5 e 2/6/2016 respectivamente) que serviram para testar diferentes alturas de voo, configurações da câmera, realizar fotografias verticais e oblíquas, e estudar suas possibilidades. Os voos foram realizados sempre sobre o pós-praia e sobre as dunas frontais, estando as ocupações retratadas na borda das imagens, não diretamente abaixo da rota do drone. Destaca-se a necessidade da realização de “croquis de voo” quando se pretende monitorar uma determinada área de interesse a partir da pilotagem manual do equipamento, o que auxilia o processo de captação das imagens maximizando o curto tempo de duração de cada bateria (menos de 23 min).

Na área de estudo foram realizados voos paralelos a linha de costa, contemplando parte da zona de surf, todo o pós-praia, dunas frontais e a primeira linha de urbanização diretamente defrontante ao oceano. Os voos ocorreram majoritariamente no horário entre as 10 e as 15 horas, buscando um ângulo solar favorável. É importante salientar que em operações realizadas com drone, é imprescindível se considerar a previsão do tempo, pois diversos fatores meteorológicos podem inviabilizar a coleta de dados como: presença de nuvens a baixa altitude, precipitação e ventos acima dos 40km/h. Salienta-se que alguns drones podem operar mesmo com fortes ventos e precipitação, porém, uma quantidade expressiva de drones, sobretudo os de pequeno porte, possuem limitações quanto a intensidade de ventos, algumas inclusive bem mais restritivas do que as do drone Phantom 3 utilizado nesta pesquisa. Estas precauções foram importantes no intuito de garantir a integridade do equipamento bem como de todos em seu entorno, evitando quedas.

5.2.1.2.4. Calibração da Câmera

Os três primeiros testes, realizados na praia do Cassino, foram utilizados para calibrar o equipamento (bússola, rádio controle, câmera), treinar a pilotagem manual e identificar suas potencialidades e limitações. Os testes demonstraram a ótima qualidade da câmera fotográfica com possibilidade de alteração de suas configurações, testaram o limite de alcance de rádio (em torno de 2 km) e evidenciaram sua capacidade de operação

mesmo com rajadas de vento forte. A figura 12 demonstra alguns dos resultados desses testes. Nesta figura, apresenta-se uma porção de orla oceânica do balneário Cassino em dois formatos de fotografia vertical obtida com o drone DJI® Phantom 3 Professional em 10 e 19 de maio de 2016, sendo o formato ilustrado na figura 4a o que melhor se adequou para a construção de mosaicos por possuir mais pixels (4000x3000). Salienta-se ainda que durante esses testes, diversas configurações de exposição da câmera acoplada foram testadas, concluindo-se que as configurações padrão do equipamento são suficientes para a confecção dos mosaicos.



Figura 12. (a) Fotografia aérea de drone com tamanho (4000x3000pixels), demonstrando um segmento do balneário Cassino em 10/5/2016, onde há uma passarela sobre as dunas. (b) Fotografia do mesmo local com tamanho (4000x2250pixels) adquirida no dia 19/5/2016, testando diferentes configurações de exposição.

5.2.1.2.5. Fluxograma

Após a realização dos primeiros testes, um fluxograma de trabalho começou a ser lapidado para o processamento das fotografias aéreas adquiridas por drone. Este fluxograma contempla diversas formas de obtenção e processamento de fotografias extraídas por drone exploradas nos últimos dois anos e, apesar de ser também um resultado deste trabalho, foi inserido neste capítulo, para elucidar a maneira como foi realizada a coleta e processamento de dados. Salienta-se ainda que todas as formas de processamento contidas neste fluxograma (figura 13) foram testadas ao longo da realização deste trabalho, estando destacadas na cor cinza apenas aquelas utilizadas para a produção dos resultados apresentados no manuscrito.

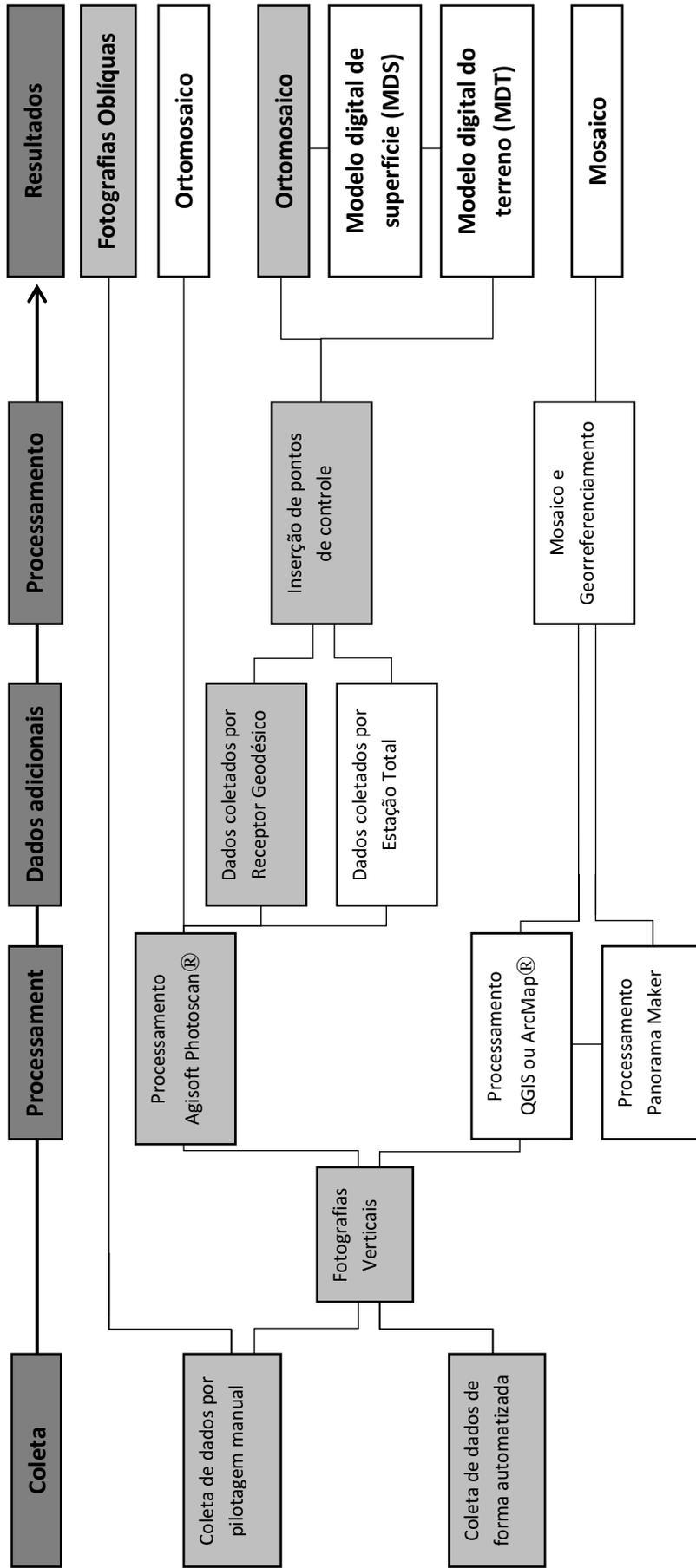


Figura 13. Fluxograma da coleta e processamento de dados

5.2.1.2.6. Obtenção de fotografias verticais

Entende-se por fotografia vertical aquela em que o ângulo entre a linha do horizonte e a lente da câmera é de 90° , com uma tolerância de 3° para mais ou para menos. (JENSEN, 2009). Uma fotografia aérea é dita vertical quando, no momento de sua tomada, o eixo ótico da câmara fotográfica estava apontado verticalmente, equivalente à linha do fio do prumo, ou tão próximo dela quanto possível (DISPERATI, 1995). A figura 14 ilustra os tipos de fotografias aéreas:

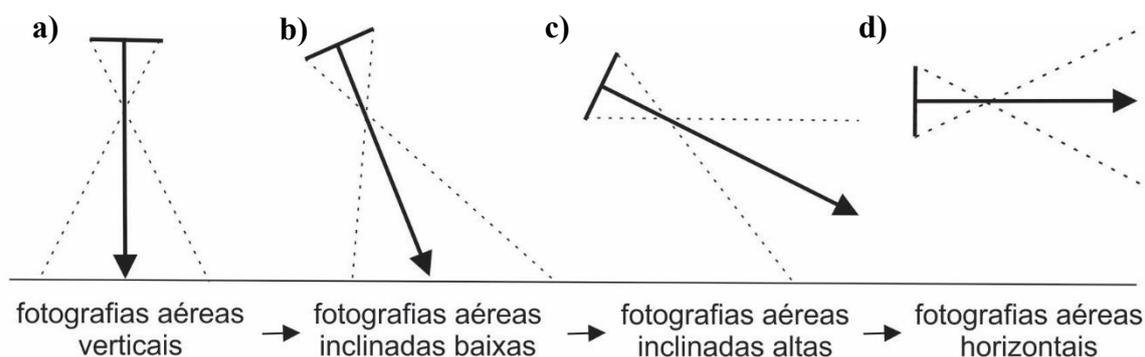


Figura 14. Modelo esquemático indicando formas de obtenção de fotografias aéreas: (a) Fotografia vertical. (b e c) Fotografias oblíquas ou inclinadas. d) Fotografia horizontal. Fonte: Adaptado de Disperati (1995).

Este tipo de fotografia (figura 14a) possui o intento de quantificar os processos atuantes a partir do processamento das imagens obtidas. Considerando isto, nos trabalhos de campo realizados, fotografias aéreas verticais de uma altitude pré-estipulada de 400 metros, foram obtidas. Estas configurações podem ser pré-determinadas no equipamento. Deste modo, buscou-se um equilíbrio entre a resolução espacial (tamanho do pixel) e a área máxima contemplada em cada fotografia, fato que permitiu a comparação de diversos parâmetros.

5.2.1.2.7. Obtenção de fotografias oblíquas

As fotografias oblíquas, somadas as fotografias realizadas em solo, foram utilizadas para complementar e interpretar as informações adquiridas a partir das fotografias verticais. Este conjunto de dados, possibilitou obter informações relevantes permitindo uma visão mais holística de todos os processos atuantes na área de estudo e, embora não sejam as mais indicadas para a quantificação (JENSEN, 2009; DISPERATI, 1995), forneceram subsídios para a compreensão e avaliação qualitativa de diversos processos atuantes em uma área sensível e dinâmica. Cabe salientar que não foi adotado um padrão metodológico na aquisição dessas fotografias oblíquas, uma vez que foram utilizadas para uma caracterização qualitativa e no auxílio da interpretação dos dados

obtidos pelas fotografias verticais. Estas fotografias foram realizadas em diversas áreas do balneário, mas principalmente nas extremidades Sul e Norte, permitindo a observação de sua totalidade, bem como suas adjacências como pode ser observado nas figuras 15 (a) e 15 (b).

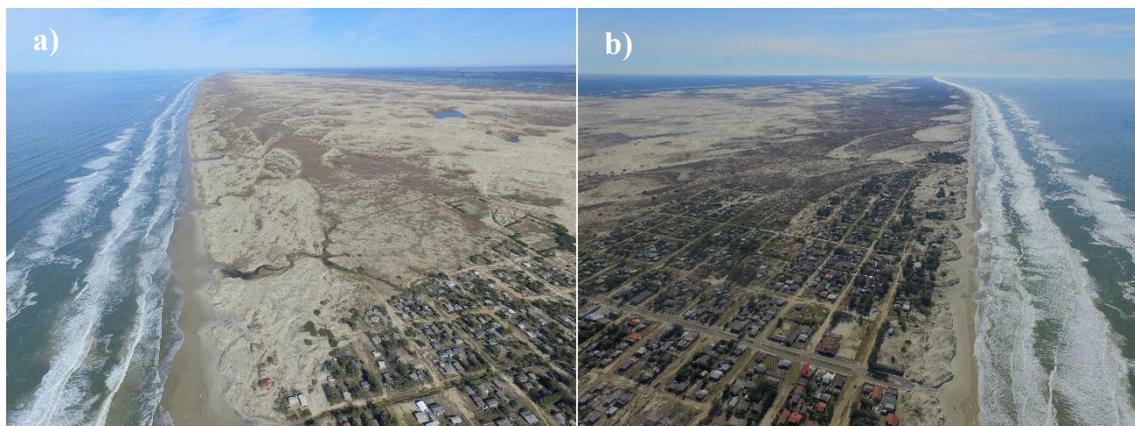


Figura 15. (a) Fotografia oblíqua obtida por drone, com visada para o Sul do Balneário Mostardense adquirida em 8/7/2016 a 400 m de altura em relação ao solo. (b) Fotografia oblíqua com visada para o Norte do Balneário Mostardense adquirida em 8/7/2016 a 400 m de altura em relação ao solo.

5.2.1.2.8. *Trabalhos de campo*

Foram realizadas campanhas amostrais mensais entre junho de 2016 e junho de 2017, buscando compreender a movimentação da linha de costa e eólica no local, no período de um ano. As ações realizadas em campo consistiram na aquisição de fotografias aéreas verticais obtidas através de um Drone DJI® Phantom 3 Professional. Adicionalmente fotos aéreas oblíquas e em solo foram adquiridas possibilitando uma melhor interpretação dos dados obtidos pelas imagens verticais, conforme já descrito.

Para tornar possível a realização deste estudo foi adotada uma “janela metodológica” que também poderia ser chamada de “janela meteorológica”, já que se trata de um intervalo de 11 dias (do dia 5 ao dia 15 de cada mês), onde o objetivo foi de buscar as melhores condições meteorológicas possíveis dentro deste período para a realização dos voos. A tabela 3 demonstra as datas dos trabalhos de campo e demais dados relevantes.

Tabela 3. Dados relevantes referentes aos trabalhos de campo realizados com o drone DJI® Phantom 3 Professional.

<i>Data de aquisição</i>	<i>Horário do voo</i>	<i>Total de fotografias verticais obtidas</i>	<i>Total de fotografias oblíquas obtidas</i>	<i>Intensidade, Rajadas (m/s) e direção (°) do vento no momento da coleta de dados</i>	<i>Tamanho do pixel fotografias verticais (cm)</i>
15/6/2016	11:40 a 11:49	9	12	Int. 1,1 Raj. 2,2 Dir. 129°	16,9 cm
8/7/2016	10:58 a 11:10	9	13	Int. 1,6 Raj. 4,6 Dir. 291°	16,5 cm
13/8/2016	10:16 as 13:28	25	11	Int. 4,6 Raj. 8,5 Dir. 322°	16,6 cm
9/9/2016	11:02 as 11:38	14	14	Int. 3,4 Raj. 5,0 Dir. 66°	16,4 cm
10/10/2016	10:21 as 10:34	18	4	Int. 3,7 Raj. 5,5 Dir. 85°	16,8 cm
5/11/2016	10:09 as 10:17	20	27	Int. 4,2 Raj. 6,5 Dir. 56°	17,2 cm
7/12/2016	10:10 as 12:03	13	11	Int. 4,3 Raj. 5,7 Dir. 174°	17,1 cm
12/1/2017	11:29 as 11:41	12	4	Int. 4,1 Raj. 5,5 Dir. 65°	17,2 cm
7/2/2017	11:32 as 11:41	19	-	Int. 7,9 Raj. 10,3 Dir. 191°	17 cm
7/3/2017	12:26 às 12:36	23	2	Int. 5,0 Raj. 6,3 Dir. 139°	17,5 cm
5/4/2017	11:13 às 14:31	41	28	Int. 4,3 Raj. 7,6 Dir. 294°	17,3 cm
5/5/2017	11:24 às 11:36	29	11	Int. 2,0 Raj. 4,6 Dir. 191°	17,1 cm
14/6/2017	14:09 às 15:08	26	65	Int. 3,8 Raj. 5,0 Dir. 52°	16,3 cm

5.2.1.2.9. *Processamento das fotografias verticais*

Mosaicos de fotografias aéreas verticais foram criados com o auxílio do software Agisoft Photoscan²®, que utiliza-se dos metadados das fotografias fornecidas pelo drone, para construir mosaicos de fotografias aéreas. As figuras 16(a) e 16(b) demonstram os produtos de dois mosaicos “brutos” (sem pós-processamentos) criados através da utilização desse programa:

²Photoscan: Software fotogramétrico para tratamento de imagens fornecidas por drone, desenvolvido na Rússia pela empresa Agisoft. Utilizado para geração automática de ortomosaicos e modelos digitais de superfície. Licença adquirida pelo Instituto Federal Rio Grande do Sul – IFRS – Rio Grande e cedida para a realização do presente trabalho.

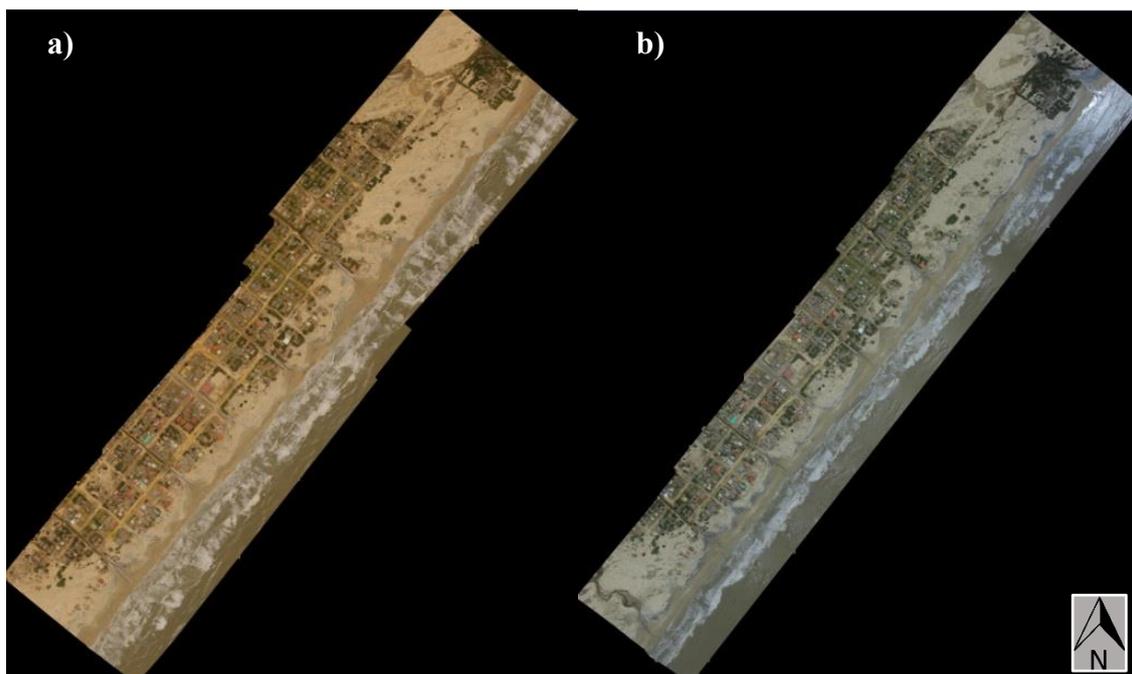


Figura 16. Mosaicos das imagens de drone obtidas com as campanhas realizadas em 5/11/2016 (a) e 7/12/2016 (b).

5.2.1.3. Georreferenciamento e registro das imagens orbitais e mosaicos de fotografias aéreas

Para tornar possível a realização de comparações entre os mosaicos produzidos, e melhorar a acurácia dos dados, estes passaram por dois processos: Georreferenciamento e registro. Estes processos foram realizados no software ArcMap 10.3 da plataforma ArcGIS³. Para tal foram utilizados dados coletados por receptor geodésico em campo.

Estes pontos de controle, foram coletados nos trabalhos de campo realizados em julho 2016 e junho 2017. Os pontos de controle (X, Y) coletados em julho 2016 e junho 2017 foram utilizados para o georreferenciamento dos mosaicos de fotografias aéreas verticais. O equipamento utilizado para coleta dos pontos de controle em todos os trabalhos de campo realizados foi um receptor geodésico da marca Leica Viva® GS15 GNSS. Este equipamento recebe as frequências L1 e L2 e L2C, com 120 canais, operando com uma tolerância na precisão em 3D (X, Y, Z) de 0,05m. O equipamento possui um rádio *Pacific Crest* ADL acoplado que lhe dá um alcance operacional de 12 km, podendo receber sinal dos sistemas GPS L2, GPS L5, *Glonas*, *Galileo* e *BeiDou*. Todos os pontos coletados foram registrados pelo modo stop-and-go que consiste em parar num determinado ponto e salvar as suas coordenadas. A antena da estação base permaneceu

³ ArcGIS: Conjunto de softwares para processamento de Sistemas de Informações Geográficas desenvolvido pela empresa americana ESRI, dentre os quais destacam-se o ArcMap e o ArcScene. Licença adquirida pelo laboratório de monitoramento da criosfera – LACRIO e cedida ao Laboratório de Geomorfologia e Recursos Hídricos.

fixa no ponto de apoio altimétrico. Este equipamento foi disponibilizado pelo IFRS – Campus Rio Grande.

O mosaico escolhido para ser georreferenciado foi o elaborado a partir dos dados obtidos em junho de 2017, com auxílio de mais de 40 pontos coletados com receptor geodésico, também em junho do mesmo ano. Este mosaico serviu de base para o registro de todos os outros mosaicos. O processo de registro dos mosaicos, utilizou-se de 60 a 120 pontos de controle para cada mosaico, este processo permitiu que se realizasse o cálculo do (RMS – *Root Mean Square Error*) ou em português: erro médio quadrático. Como pode ser observado na tabela 4, todos os erros ficaram abaixo de 1 pixel (0,16 m).

Tabela 4. Erro médio quadrático (RMS) de cada mosaico registrado.

<i>Data do mosaico</i>	<i>Fonte de dados</i>	<i>RMS – Erro médio quadrático (m)</i>
13/8/2005	Imagem Orbital	0,053
7/12/2014	Imagem Orbital	0,065
15/6/2016	Mosaico de fotografias aéreas	0,003
8/7/2016	Mosaico de fotografias aéreas	0,114
13/8/2016	Mosaico de fotografias aéreas	0,006
9/9/2016	Mosaico de fotografias aéreas	0,048
10/10/2016	Mosaico de fotografias aéreas	0,004
5/11/2016	Mosaico de fotografias aéreas	0,049
7/12/2016	Mosaico de fotografias aéreas	0,080
12/1/2017	Mosaico de fotografias aéreas	0,050
7/2/2017	Mosaico de fotografias aéreas	0,027
7/3/2017	Mosaico de fotografias aéreas	0,082
5/4/2017	Mosaico de fotografias aéreas	0,074
5/5/2017	Mosaico de fotografias aéreas	0,051
14/6/2017	Mosaico de fotografias aéreas	Mosaico BASE

5.2.2. Caracterização da mudança morfológica do limite praia duna

Para realizar a caracterização da mudança do limite praia duna no balneário Mostardense, tanto em um intervalo decadal (2005 – 2017) como em um intervalo anual (jun2016 – jun2017) foram realizadas vetorizações da linha de costa, caracterizada pelo

limite superior da praia (limite praia duna) nos mosaicos de fotografias aéreas e imagens orbitais. As fotografias oblíquas e em solo, como elucidado anteriormente, foram utilizadas para auxiliar no processo de interpretação dos dados. Os itens a seguir discorrem sobre esse processo mais detalhadamente:

5.2.2.1. Variação do limite praia duna entre 2005 e 2017

Para determinar a variação desse limite, foi vetorizada no software Arc Map 10.3®, a base da duna frontal nas imagens orbitais de 13/8/2005 e 7/12/2014 (*Google Earth PRO*) além dos mosaicos de 15/6/2016, 13/8/2016, 7/12/2016 e 14/6/2017 sendo os mosaicos de agosto e dezembro de 2016, cuidadosamente adquiridos no mesmo dia e mês das imagens orbitais, podendo-se então extrair a variação nos períodos de 1, 2, 11 e ~12 anos. Após este processo de vetorização, foi realizado o cálculo da variação da linha de costa a partir do método do polígono de mudança, já descrito no item 3.1.2. Este método consiste basicamente em construir um polígono a partir de uma linha base, paralela à linha de costa, e fechar este polígono com mais duas linhas perpendiculares. Dessa forma, quando esses vetores são utilizados em diferentes linhas de costa, é possível criar-se polígonos com 3 lados completamente idênticos, e um dos lados correspondente a linha de costa. Ao subtrair-se estes polígonos é possível realizar o cálculo da variação da área dos polígonos que foi alterada, e ao dividir-se a área pela largura do segmento analisado, obtém-se o valor da variação média de linha de costa para o período.

5.2.2.2. Variação do limite praia duna entre junho de 2016 a junho de 2017

A variação mensal, ao longo de um ano do limite praia duna foi calculada a partir da vetorização da base da duna frontal em todos os 13 ortomosaicos construídos de jun2016 a jun2017 (Tabela 3). A variação foi calculada para todos os intervalos de aquisição de dados ou seja: de 15/6/2016 a 8/7/2016, 8/7/2016 a 13/8/2016 e assim consecutivamente. Todos os cálculos utilizaram-se do método do polígono de mudança.

5.3. Condições oceanográficas e meteorológicas entre junho de 2016 e junho de 2017

Para compreender os processos atuantes na área de estudo, dados oceanográficos e meteorológicos também foram investigados ao longo de um ano com intuito de comparar essas informações com os dados obtidos pelo monitoramento com drone, visando determinar sua influência nos resultados. Para isto foram analisadas séries de

dados de onda de dois ondógrafos e dados de vento, precipitação e radiação solar obtidos junto a uma estação automática. Destaca-se ainda que o volume de dados analisado foi de cerca de 30 mil linhas de informações, entre dados oceanográficos e meteorológicos, robustecendo os resultados obtidos na pesquisa. Estas condições influenciaram tanto na retração da linha de costa, como na mobilidade eólica no local e foram adquiridas entre o período anterior a cada uma das saídas a campo (maio 2016 a junho 2017).

5.3.1. Coleta de séries de dados de onda

Foram utilizados dados de onda fornecidos através do ondógrafo instalado pela Rede Ondas, integrante do Programa de Observação Global dos Oceanos (GOOS), coordenada pela Universidade Federal do Rio Grande – FURG. Este ondógrafo estava situado próximo a desembocadura da Lagoa dos Patos e fornecia informações de altura, direção e período das ondas incidentes na costa Sul e Central do Rio Grande do Sul. O fragmento de texto a seguir, extraído do sítio eletrônico do programa Rede Ondas, descreve com exatidão as características do equipamento e sua operação:

O ondógrafo direcional "waverider" - que se encontra fundeado na Praia do Cassino, na cidade de Rio Grande - RS, em uma profundidade de aproximadamente 7 metros. Este ondógrafo é capaz de medir: Altura de onda, direção, temperatura da água e a posição geográfica. A medição das ondas se dá por meio de acelerômetros, que medem as séries temporais da sua movimentação espacial, ou seja, deslocamentos horizontais e verticais. A cada 30 min o espectro em frequência é calculado por um microprocessador interno, a transmissão dos dados brutos e espectrais são realizados a cada uma hora, por meio de uma antena de rádio posicionada no topo da boia para uma estação receptora em terra que os reenvia para o Laboratório de Engenharia Costeira – FURG, onde são processados e então divulgados. A frequência de operação do rádio é entre 25.5 a 35.5 MHz, o ondógrafo mede as ondas com períodos variando entre 1.6 a 30 segundos e possui uma frequência de amostragem de 3.84 Hz. A resolução das medições obtidas é de cerca de 1 cm para altura das ondas, 1.5° para direção e 0.05°C para temperatura da água. O ondógrafo possui um GPS que transmite sua posição geográfica (Rede Ondas – www.redeondas.furg.br).

Os dados de onda forneceram informações sobre altura e direção das ondas incidentes. A coleta desses dados, ocorria duas vezes a cada hora, totalizando 48 medições por dia, o que propiciou uma resolução temporal bastante detalhada. Um fragmento do banco de dados gerado para outubro de 2016, quando da passagem de um ciclone extratropical, pode ser observado na figura 17.

AAAA	MM	DD	hh	mm	ss	Hs	Tp	Dp
2016	10	28	0	7	0	3.69000	12.50000	165.90000
2016	10	28	0	37	0	3.75000	10.00000	165.90000
2016	10	28	1	7	0	3.71000	11.11000	165.90000
2016	10	28	1	37	0	3.49000	14.29000	165.90000
2016	10	28	2	7	0	3.67000	14.29000	167.30000
2016	10	28	2	37	0	3.67000	15.38000	158.90000
2016	10	28	3	7	0	3.87000	15.38000	158.90000
2016	10	28	3	37	0	3.90000	15.38000	158.90000
2016	10	28	4	7	0	3.83000	15.38000	164.50000
2016	10	28	4	37	0	3.95000	15.38000	157.50000
2016	10	28	5	7	0	3.97000	15.38000	153.30000
2016	10	28	5	37	0	4.09000	15.38000	156.10000
2016	10	28	6	7	0	4.39000	15.38000	157.50000
2016	10	28	6	37	0	4.58000	15.38000	150.50000
2016	10	28	7	7	0	4.43000	16.67000	154.70000
2016	10	28	7	37	0	5.12000	15.38000	147.70000
2016	10	28	8	7	0	4.45000	15.38000	157.50000
2016	10	28	8	37	0	5.05000	14.29000	160.30000
2016	10	28	9	7	0	5.17000	14.29000	154.70000
2016	10	28	9	37	0	5.16000	14.29000	154.70000
2016	10	28	10	7	0	4.56000	14.29000	157.50000
2016	10	28	10	37	0	5.18000	15.38000	156.10000
2016	10	28	11	7	0	4.92000	14.29000	154.70000
2016	10	28	11	37	0	4.93000	15.38000	154.70000
2016	10	28	12	7	0	4.87000	15.38000	150.50000
2016	10	28	12	37	0	4.67000	14.29000	153.30000
2016	10	28	13	7	0	4.69000	14.29000	153.30000
2016	10	28	13	37	0	4.58000	15.38000	157.50000
2016	10	28	14	7	0	4.40000	15.38000	150.50000
2016	10	28	14	37	0	4.55000	16.67000	150.50000
2016	10	28	15	7	0	4.77000	15.38000	153.30000
2016	10	28	15	37	0	4.98000	15.38000	156.10000
2016	10	28	16	7	0	5.34000	14.29000	149.10000
2016	10	28	16	37	0	4.89000	15.38000	150.50000
2016	10	28	17	7	0	5.52000	15.38000	147.70000

Figura 17. Fragmento das informações contidas no banco de dados gerado pelo ondógrafo.

Ressalta-se que apenas a condição mais energética de onda foi disponibilizada no site, podendo existir dados secundários, os quais não foram analisados. Logo após a passagem do ciclone de outubro, o ondógrafo sofreu avarias decorrentes do choque de uma embarcação, não fornecendo mais dados para o recorte temporal da pesquisa. Este ondógrafo situava-se nas adjacências da desembocadura da Lagoa dos Patos em Rio Grande.

Também foram utilizados dados de um ondógrafo do programa PNBOIA (Programa Nacional de Boias), situado a cerca de 100 km da costa do litoral médio próximo ao bal. Mostardense. Foram extraídos dados de altura, período e direção das ondas ao longo de praticamente todo o período de monitoramento. Os dados deste ondógrafo são fornecidos pela Marinha do Brasil e estão disponíveis no site:

http://www.mar.mil.br/dhn/chm/meteo/prev/dados/pnboia/boia_rg.htm

5.3.2. Coleta de séries de dados meteorológicos

Os dados meteorológicos foram coletados diretamente no site do INMET - Instituto Nacional de Meteorologia, mais especificamente da Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática 86994, instalada na Praia do Farol cerca de 13,5 km ao sul do balneário Mostardense. A figura 18 demonstra a Estação Meteorológica:



Figura 18. Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática 86994, instalada na Praia do Farol, em Tavares.

Foram coletados dados de velocidade e direção do vento, radiação solar, e precipitação durante o período jun2016-jun2017. Estes dados auxiliaram para compreender melhor os processos de recomposição das dunas frontais por ação eólica, geralmente ocasionados por períodos de intensidade de ventos provenientes do quadrante NE e pouca precipitação, somados a considerada radiação solar, o que facilita o movimento das dunas bem como inferir sobre condicionantes com potencial para causar erosão costeira, uma vez que estes processos geralmente estão associados a passagem de frentes frias e ciclones com fortes ventos de SSW.

Após realizar o download do conjunto de dados correspondente ao recorte temporal da pesquisa diretamente do site do INMET, os mesmos foram tratados no software Microsoft Office Excel. Estes dados geraram como resultado gráficos que estão disponíveis no item 6.3. As rosas de vento foram processadas em outro software livre, o

WRPLOT View, que permitiu a criação de gráficos de vento mensal após um processo de tratamento dos dados no Microsoft Office Excel.

5.4. Situação das edificações frente aos processos erosivos e eólicos

Para este estudo adotou-se como ocupações defrontantes ao oceano e de interesse de análise, todas as ocupações localizadas a SE da rua (B), ou seja, todas as ocupações do balneário a partir da rua B, grifada na figura 19, em direção ao Oceano. Esta rua foi escolhida por ser a mais próxima à praia, paralela à linha de costa e que corta todo o balneário. Foram identificadas e vetorizadas todas ocupações da rua (b) em direção ao Oceano nos mosaicos de ago2005 e jun2017. Dessas foram identificadas as ocupações que foram soterradas ou removidas e aquelas que atualmente estão ameaçadas tanto pela dinâmica eólica como pela dinâmica marinha. Estes dados foram utilizados na confecção de um produto cartográfico síntese, e estão disponíveis no item 6.3.

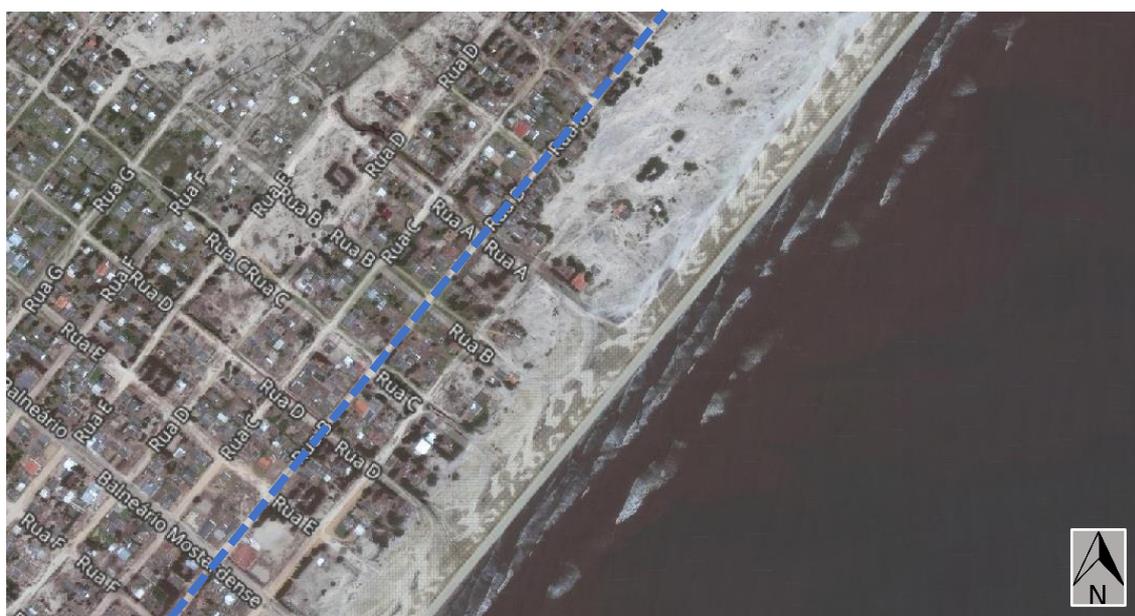


Figura 19. Fragmento de imagem orbital de 7/12/2014 com destaque para a rua B, que delimita as ocupações analisadas.

Após o término da coleta de dados e da caracterização dos processos identificados, foi realizada uma análise conjunta dos dados, que forneceram subsídios para a compreensão dos complexos processos ao qual a área de estudo está submetida, possibilitando então traçar alternativas para o manejo e mitigação dos problemas relacionados a erosão costeira e ao soterramento de edificações. Considerando isto, os dados foram compilados em um produto cartográfico síntese, com informações relevantes aos gestores da área, no sentido de auxiliar nos processos de gestão e manejo das dunas e da ocupação no local. O mosaico de jun2017 foi utilizado como base, para plotar os

resultados da variação da linha de costa, das ocupações que foram soterradas ou removidas, das ocupações ameaçadas por ação eólica e por erosão costeira e das alternativas de gestão, como o fechamento de acessos a praia e remoção de algumas ocupações dentre outros. Além disso ainda foram realizadas projeções da possível posição da linha de costa do balneário em 2027 e 2037 (10 e 20 anos no futuro), com base na menor taxa de variação de linha de costa encontrada na pesquisa (2,5 m/ano).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados aqui apresentados foram divididos em três subcapítulos:

Em um primeiro momento, utilizando-se de dados de imagens orbitais e mosaicos de fotografias aéreas foi possível estabelecer a variação do limite praia duna ao longo do período analisado, sendo esta uma análise de variação ao longo de um período um pouco superior a uma década (2005-2017). Esta análise aponta para um comportamento com significativa retração da linha de costa, como os dados apresentados no item 6.1 demonstram. Também foram revisados dados da literatura local e regional, realizando uma discussão dos resultados obtidos traçando paralelos com essas referências. Neste item ainda foram inseridas fotografias aéreas oblíquas e fotografias convencionais, como dado de caráter qualitativo, buscando enriquecer a discussão dos resultados obtidos na pesquisa.

Na sequência são demonstrados os dados de variação de linha de costa coletados mensalmente por drone durante um ano (jun2016-jun2017), dentre os quais se destacam os obtidos entre outubro e novembro de 2016, quando a passagem de um forte ciclone extratropical, ocasionou uma retração generalizada em toda linha de costa, como ilustrado no item 6.2. Complementando estes dados, também são apresentados os dados meteo-oceanográficos, importantes para a compreensão das forçantes naturais que impulsionaram a retração da linha de costa e também a movimentação eólica no local durante o período analisado.

Por fim, no item 6.3, foi possível analisar a situação das edificações a beira mar em relação aos processos de erosão costeira e movimentação eólica a partir de um produto cartográfico síntese, buscando fornecer informações que auxiliem no manejo do balneário Mostardense. Ancorado nos princípios da geomorfologia e morfodinâmica costeira, este documento visa projetar possíveis avanços da linha de costa em direção a retroterra, movimentação eólica e ações no intuito de mitigar esses efeitos causados pelos processos naturais, mas que podem ser potencializados por ações antrópicas mal planejadas.

6.1. Variação limite praia duna entre 2005 e 2017

A partir dos cálculos realizados com o método do polígono de mudança, foi possível descrever o processo de retração de linha de costa no balneário, visto que com base nestas imagens analisadas praticamente não foram identificadas taxas de progradação no limite praia duna. Este cálculo foi realizado para os mosaicos de imagens orbitais de ago2005 e dez2014, bem como para os mosaicos de fotografias aéreas de drone de jun2016, ago2016, dez2016 e jun2017. Dois desses mosaicos de fotografias aéreas coletadas por drone foram realizados no mesmo dia e mês que as imagens orbitais foram coletadas, permitindo assim que se obtivesse recortes temporais de exatamente 2 e 11 anos ao se comparar imagens orbitais e os mosaicos realizados. Além disso também foram considerados os dados do primeiro e do último voo com drone realizados no monitoramento mensal, obtendo-se também um recorte temporal de 1 ano. Adicionalmente ainda foi considerado o período total da pesquisa com um intervalo de análise de ~12 anos. A tabela 5 resume os resultados obtidos a partir dos cálculos realizados com a subtração dos polígonos gerados a partir do método do polígono de mudança.

Tabela 5. Variação da área das dunas (m²) e variação média da linha de costa (m) para cada período de análise.

Período analisado	Diferença da área (m²) dos Polígonos	Variação média da linha de costa (m)	Taxa de recuo da linha de costa (m/ano)
13/8/2005 – 13/8/2016 (11 anos)	-55880 m ²	-28,30	2,57
7/12/2014 – 7/12/2016 (2 anos)	-34360 m ²	-17,40	8,7
15/6/2016 – 14/6/2017 (1 ano)	-27572 m ²	-13,96	13,96
13/8/2005 – 14/6/2017 (~12 anos)	-82558 m ²	-41,80	3,53

Além dos dados demonstrados na tabela 5, também foram gerados mapas, que ilustram a retração da linha de costa, plotando o polígono de mudança em seu respectivo mosaico correspondente. As figuras 20, 21, 22 e 23 demonstram a variação do limite praia duna nos períodos descritos na tabela 5 respectivamente.

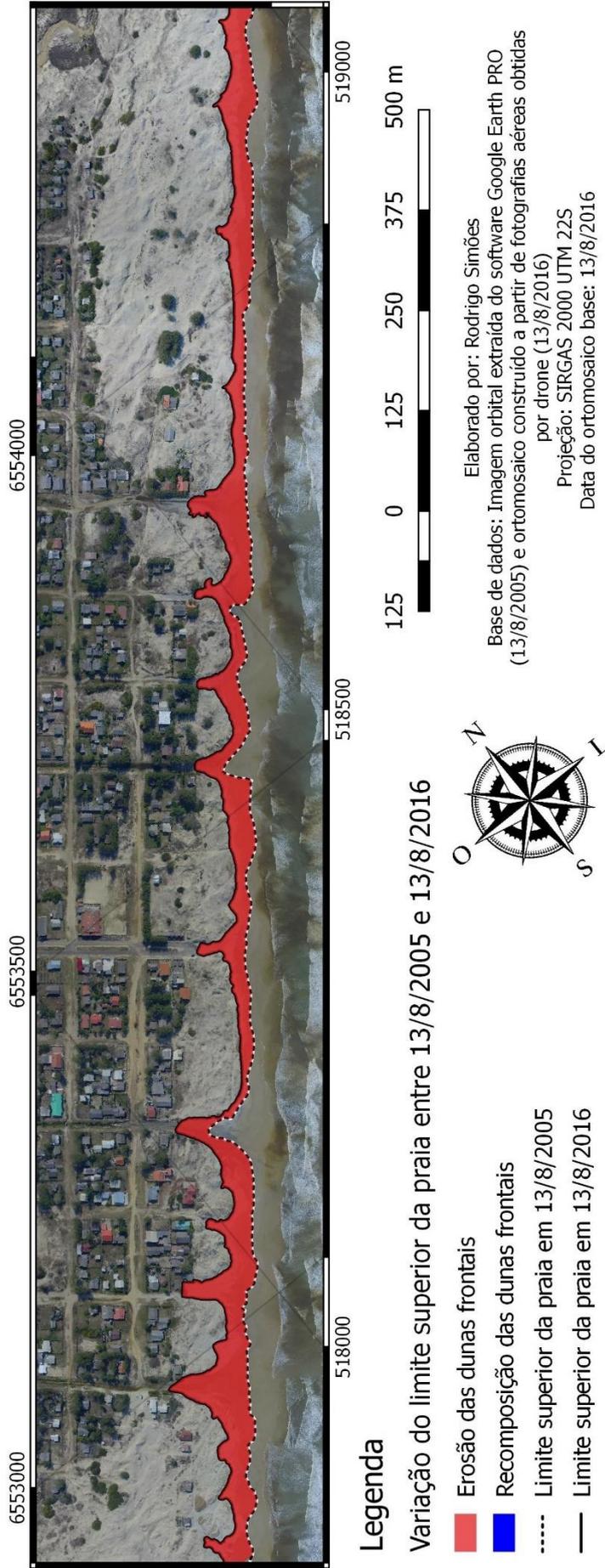


Figura 20. Variação do limite superior da praia entre 13/8/2005 e 13/8/2016

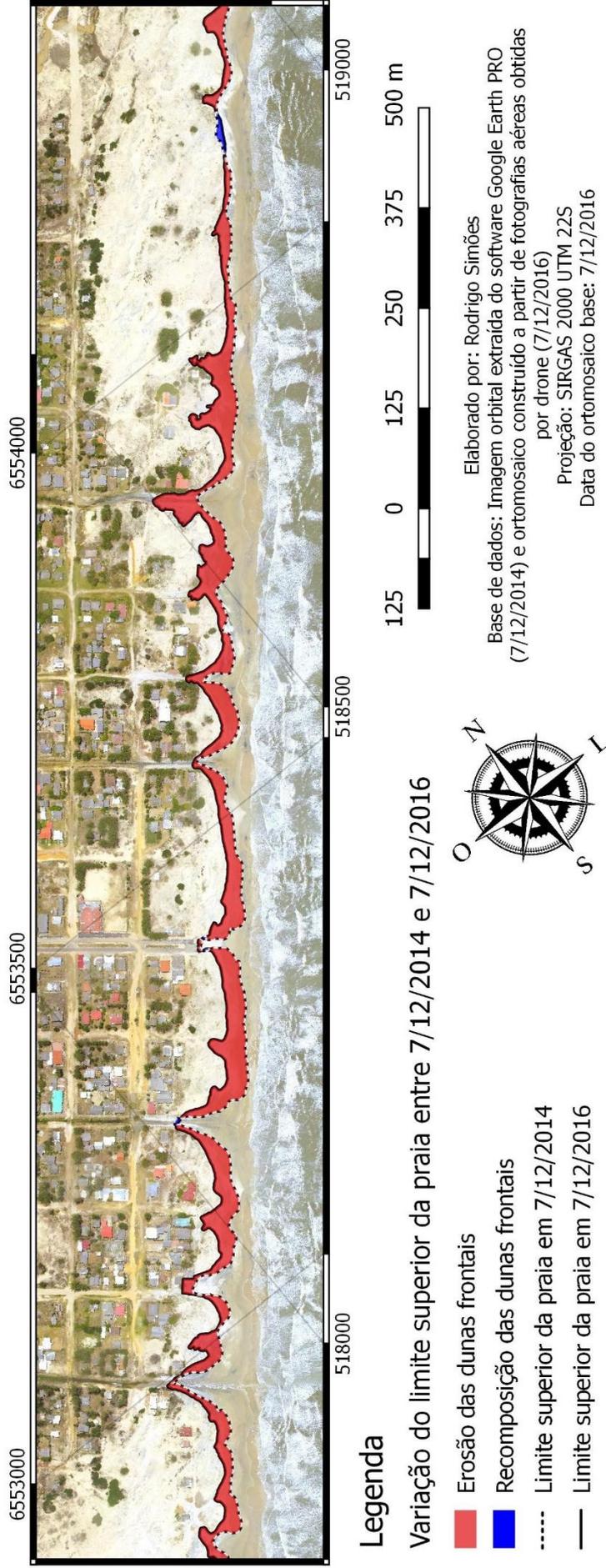


Figura 21. Variação do limite superior da praia entre 7/12/2014 e 7/12/2016

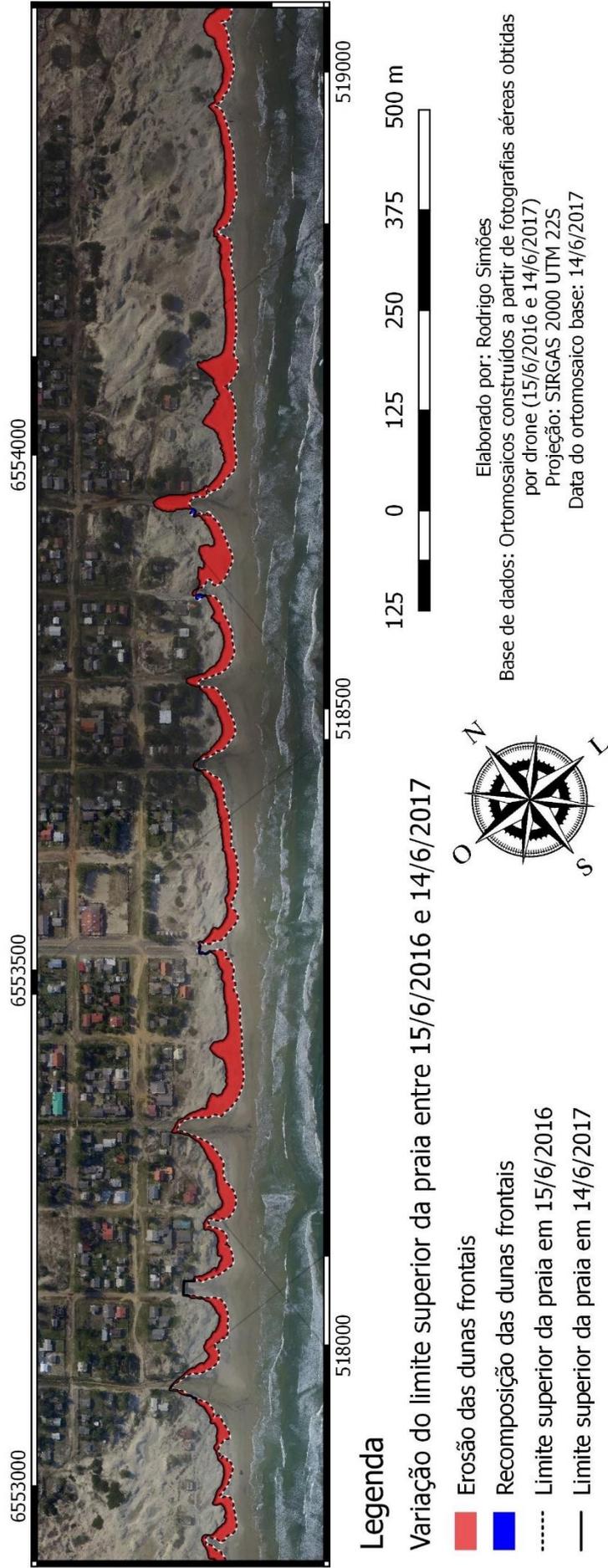


Figura 22. Variação do limite superior da praia entre 15/6/2016 e 14/6/2017

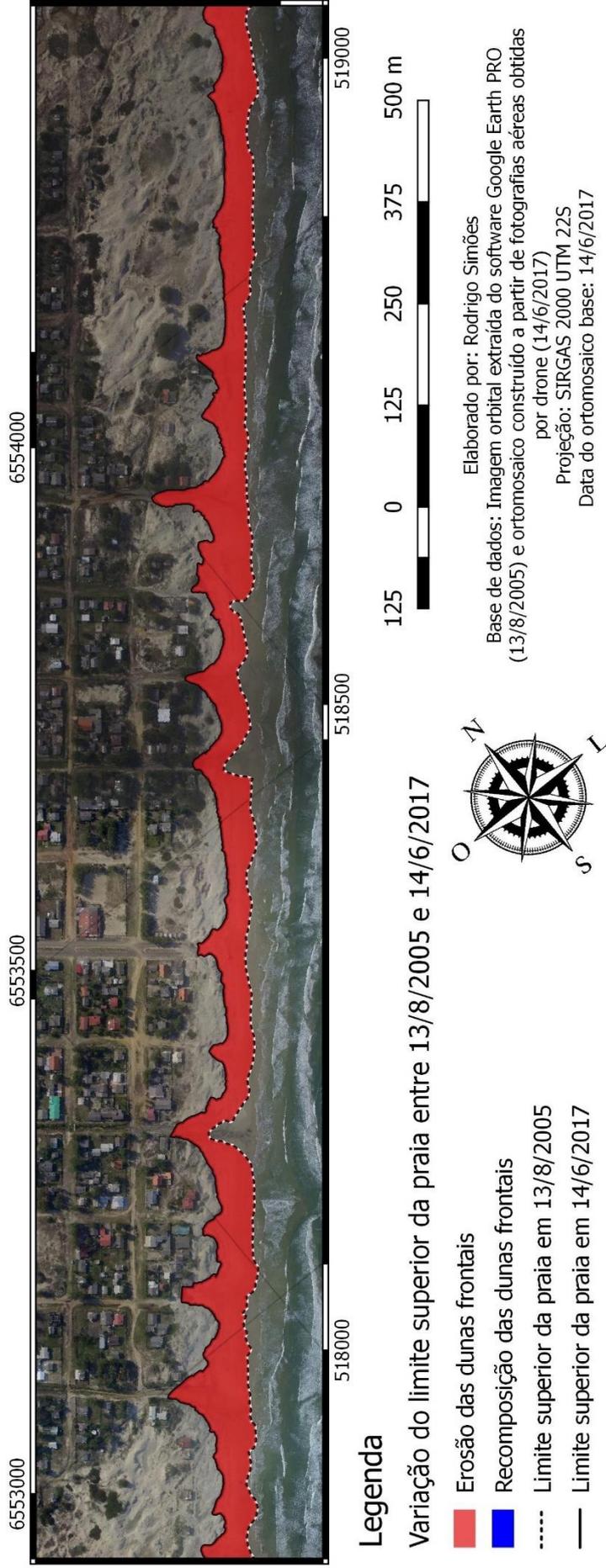


Figura 23. Variação do limite superior da praia entre 13/8/2005 e 14/6/2017

Entre ago2005 e ago2016, a linha de costa moveu-se em média 28 m em direção ao continente em um período de 11 anos, com uma perda de mais de 55 mil m² de área de dunas frontais, em um segmento de costa de apenas 2 km de extensão, recorte analisado nesta pesquisa. Esta retração da linha de costa foi ainda mais acentuada onde foram abertos os arruamentos, pois este fato possibilitou a fragmentação das dunas. A taxa anual de recuo de linha de costa neste período, foi de pouco mais de 2,5 m/ano.

Quando analisamos dois períodos menores entre dez2014 e dez2016 e entre jun2016 e jun2017, também encontramos valores acentuados de retração das dunas frontais. No período de dois anos entre 2014 e 2016 a retração média do limite superior da praia foi de mais de 17 m, com uma perda de área das dunas de cerca de 34 mil m². Já no período 2016 e 2017, a perda foi de cerca de 14 m com uma redução da área de dunas de 27 mil m². Este último período foi analisado mensalmente no item 6.2.

Ao analisar todo o recorte temporal da pesquisa (ago2005 a jun2017) os dados derivados do cálculo de variação dos polígonos, demonstram uma perda de mais de 80 mil m² de dunas frontais em um recorte de ~12 anos. Esta retração significativa, realocou a linha de costa existente em 2005, em média 42 m em direção ao continente, com algumas áreas, apresentando deslocamentos superiores a 60 m, podendo chegar pontualmente a 80 m em segmentos específicos. É possível observar na figura 23 que a linha d'água atual, está em alguns momentos mais em direção ao continente do que o limite superior da praia de 2005, fato que indica uma retrogradação da linha de costa em uma taxa anual que para este período de análise foi de cerca de 3,5 m/ano, muito similar as taxas encontradas no Farol da Conceição e no balneário Hermenegildo, dois conhecidos “hotspots” erosivos da costa do Rio Grande do Sul. Neste contexto as taxas de variação de linha de costa demonstradas na tabela 5, podem chegar a ultrapassar as encontradas nestes outros dois sítios urbanos, porém como os estudos consideram intervalos diferentes, deve-se realizar essas comparações com cautela. Todavia as taxas de (1,68 m/ano, 5,25 m/ano e 6,29 m/ano) descritas por Albuquerque (2013) para o balneário Hermenegildo, e as encontradas no Farol da Conceição (2,5 m/ano, 3,6 m/ano) por Tomazelli *et al.*, (1998); Barletta; Calliari (2002) respectivamente, parecem corroborar para caracterizar o balneário Mostardense também como um “hotspot” erosivo da costa do RS, pelo menos no período atual. O valor de 3,5 m/ano em um intervalo de pouco menos de 12 anos, quando comparado ao valor de 2,5 em um intervalo de 11 anos deve-se ao excepcional evento de outubro de 2016, melhor analisado no item 6.2.

Observando o comportamento da linha de costa na figura 20 entre ago2005 e ago2016 é possível perceber claramente a influência dos arruamentos que foram abertos após 2005 e que acabaram por potencializar o processo erosivo. A linha de costa em 2005 possuía um traçado mais retilíneo, que foi alterado pela abertura de arruamentos por parte da prefeitura para facilitar o acesso dos carros a praia. Esta alteração em seu traçado, removeu a proteção natural que as dunas frontais ofereciam, permitindo que ondas ocasionadas por tempestades costeiras, adentrassem mais no balneário levando consigo parte dos sedimentos, remobilizados pela forte deriva litorânea. Este fato também pode ser observado na figura 28 (p. 69), também no item 6.2.

Com base nos cálculos de variação da área de dunas nas duas imagens orbitais (2005 e 2014) e no primeiro e último mosaico de fotografias aéreas verticais coletados (2016 e 2017), também foi possível analisar a variação da área das dunas ao longo de todo o recorte temporal da pesquisa. Para o recorte temporal selecionado, os dados demonstram uma tendência de redução bastante clara, sem nenhum valor de recomposição da área total das dunas frontais nesta escala de análise. O gráfico 1 demonstra esse processo com valores acumulativos de erosão entre ago2005-dez2014 (-49163,868 m²), dez2014-jun2016 (-5822,528 m²) e entre jun2016-jun2017 (-27571,75 m²) respectivamente.

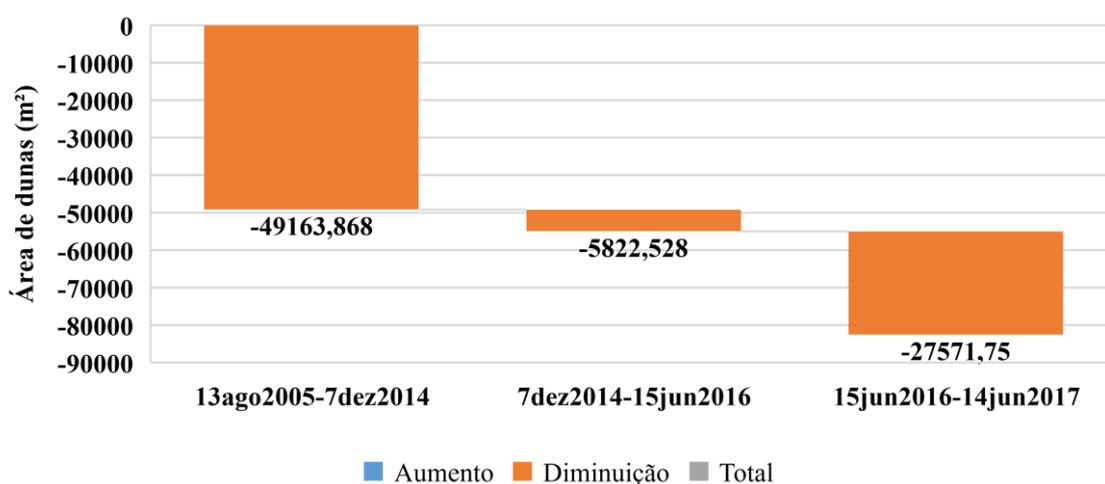


Gráfico 1. Perda de área das dunas frontais do balneário Mostardense entre 2005-2017.

Este processo ilustrado no gráfico 1, culminou em uma redução de mais de 80 mil m² na área de dunas frontais do balneário, em um período de ~12 anos de análise, em um segmento de costa com apenas 2 km de extensão.

6.1.1. Variação da linha de costa e mobilidade dunar

Os resultados até aqui apresentados, demonstram claramente que a área de estudo apresenta acentuado processo de retração de linha de costa. Nos itens seguintes serão expostas algumas variáveis do comportamento regional e local que podem influenciar no processo. Dois aspectos relevantes são a orientação da linha de costa e a transgressão dunar. Ao analisarmos a figura 24, obtida em 15 de junho de 2016 pelo drone, observa-se uma significativa alteração na orientação da linha de costa, poucos km ao norte do balneário Mostardense.



Figura 24. Fotografia oblíqua obtida por drone no balneário Mostardense em 15 de junho de 2016, identificando alteração na orientação da linha de costa ao Norte do mesmo.

Este fato foi descrito por Absalonsen; Toldo Jr. (2007), que discutiram sobre a diferença de cerca de 11° na orientação da linha de costa no litoral do município de Mostardas, apontando este fato como um dos fatores preponderantes para a erosão costeira em segmentos ao sul dessa alteração na orientação. Todavia analisando intervalos anteriores, Esteves (2004); Toldo Jr. *et al.*, (2006) haviam apontado a área das adjacências do bal. Mostardense, com estabilidade da linha de costa e até progradação.

Retornando a análise da figura 24, é possível ainda observar dunas parabólicas migrando de NE para SW e cadeias barcanóides também com movimentos similares, que

remetem a alta dinâmica eólica no local. Cabe salientar que a coexistência de barreiras de natureza retrogradante e dunas transgressivas é abordada por Dillemburg *et al.*, (2000), corroborando com os dados de retração de linha de costa obtidos na pesquisa. Seguindo a análise da figura 24, observa-se dunas frontais claramente fragmentadas no momento da fotografia, devido aos arruamentos, fato também ilustrado na vetorização das linhas de costa, sobretudo na figura 20. Este pode ser apontado como um dos fatores antrópicos que potencializou o processo, possibilitando uma maior influência de fluxos de água e retrabalhamento, forçados pelo *run up* das ondas de tempestades em porções mais interiores do balneário. Estas ondas ocasionaram elevada deriva litorânea para norte, e removeram parte das dunas frontais transportando este sedimento para áreas mais ao norte. Este processo, em parte um processo natural, pode ter sido muito provavelmente potencializado por ação antrópica mal planejada. É possível, com base nos dados obtidos, ainda abstrair que este sedimento removido por ação marinha, não apenas do balneário Mostardense, mas também em suas adjacências, seja mobilizado para setores mais ao norte e acabe em parte, retornando pela dinâmica eólica. Isto em períodos de baixa energia de onda que favorecem os processos de recomposição praial e propiciam a dinâmica eólica agir sobre a areia seca no pós praia.

Por outro lado, a visão oposta, a cerca de 700 metros da extremidade norte do balneário, permite observar que também há uma mudança na orientação da linha de costa um tanto quanto mais suave em direção ao sul, o que significa que o balneário Mostardense está em uma projeção da planície costeira. Outro fato que pode ser observado, é que diferentemente do demonstrado na figura 24, não é possível observar grandes dunas parabólicas próximas a linha de costa nas adjacências ao sul do balneário Mostardense. Isto ocorre, provavelmente, pelo fato que o balneário como um todo pode estar atuando como uma armadilha de sedimento, interferindo na dinâmica natural da migração das dunas parabólicas para SW, e na própria diminuição do aporte ao sul da projeção. Neste contexto, ainda é importante destacar que Simões (2015) demonstrou uma maior concentração de processos de soterramento na porção Norte do Balneário, onde é possível observar uma extensa faixa de areia migrando em direção as ocupações (Figura 25).



Figura 25. Fotografia oblíqua de drone obtida cerca de 700 metros ao Norte do sangradouro que delimita o balneário, onde é possível observar dunas deslocando-se em direção as construções na porção norte do sítio urbano.

Na figura 25, também é possível observar que parte da ocupação está muito próxima ao oceano, fato relacionado com o próprio processo de erosão costeira que paulatinamente desloca a linha de costa em direção ao continente, chegando próxima as ocupações. No extremo norte da área de estudo (figura 25 - parte inferior) é possível observar o ambiente e sua dinâmica natural com dunas parabólicas que migram em direção SW. Na área vegetada com espécies exóticas no centro da imagem, junto ao sangradouro, é possível observar uma contenção do movimento eólico por parte da vegetação. Já na área urbanizada é possível observar que mais ao norte, ainda há grande aporte sedimentar migrando em direção a retroterra por vezes soterrando as edificações. No extremo sul do balneário (figura 25 - parte superior), as dunas frontais estão suprimidas entre a urbanização e o pós praia e encontram-se muito fragmentadas.

Em uma escala de análise de caráter regional, Dillemburg *et al.*, (2005) abordam os diferentes setores da barreira holocênica do RS, demonstrando dois setores com morfologia côncava, e dois com morfologia convexa. É possível dizer que estes setores de morfologia convexa, ficam mais expostos a ação das ondas provenientes de Sul, e de sua forte deriva litorânea. As duas localidades, situadas na porção mais ao Sul dos dois

segmentos convexos da barreira holocênica do Rio Grande do Sul, são conhecidos pontos que sofrem com erosão costeira (Balneário Hermenegildo e Farol da Conceição) no Estado. Neste sentido, o balneário Mostardense, fica localizado a cerca de 90 km ao norte do Farol da Conceição, apresentando nesta pesquisa, taxas de recuo de linha de costa bastante similares as encontradas no referido farol e também no Hermenegildo, como elucidado anteriormente.

Dados de Simões (2015) também demonstram o processo de retração de linha de costa no balneário Praia do Farol, localizado cerca 13,5 km ao Sul do balneário Mostardense. O mesmo autor ainda retrata diversos processos de soterramento de ocupações no balneário São Simão, localizado cerca de 23 km ao Norte do balneário Mostardense, com relativa estabilidade da linha de costa, fruto provavelmente dessa orientação diferenciada. Neste contexto Barletta; Calliari (2002) a partir do monitoramento de perfis de praia, demonstram retração significativa da linha de costa no Farol da Conceição (90 km ao sul do Mostardense), déficit sedimentar na Praia do Farol (cerca de 13,5 km ao sul do Mostardense) mas sem reportar retração da linha de costa, e estabilidade da linha de costa e sedimentar em São Simão, corroborando pelo menos em parte (uma vez que são diferentes metodologias e períodos analisados), com os dados obtidos por Simões (2015).

Todavia um recente estudo de Schossler *et al.*, (2017) com base em imagens orbitais LANDSAT 5 TM entre 1987-2009 aponta dados de progradação para a área de estudo e dados de retração apenas ao sul da desembocadura da Lagoa do Peixe, localizada cerca de 30 km ao Sul do balneário Mostardense. Esta discrepância pode ser fruto do indicador de linha de costa utilizado pelos autores (limite entre areia seca e úmida) e da baixa resolução espacial (30m) das imagens LANDSAT 5 TM utilizadas na pesquisa, que podem atribuir erros consideráveis. Neste contexto é importante destacar que a partir de classificação de imagens, Lima; Sato (2017) obtiveram dados bastante significativos de aumento da área marinha (caracterizando retração da linha de costa) para toda porção ao norte do inlet da Lagoa do Peixe analisando imagens LANDSAT entre 1986-2016, corroborando com os dados de retração de linha de costa encontrados neste trabalho, embora também se considere a maior margem de erro destas imagens para o devido fim.

Ainda é importante destacar que neste contexto, Alves (2009) sustenta que há uma correlação entre locais que apresentam erosão costeira em um determinado período de análise e segmentos adjacentes que apresentam recomposição do perfil praial. Este fato segundo o autor, ocorre em função das chamadas “*sand waves*”, projeções arenosas que

migram no sentido da deriva litorânea em diferentes escalas espaciais e temporais. Baseado nesta hipótese, a área de estudo estaria atualmente ligeiramente um pouco mais ao Sul do centro de uma projeção que estaria deslocando-se para o norte, rumo a São Simão, explicando pelo menos em parte a forte retração de linha de costa no local nos últimos anos. Considerando esta teoria, futuramente o balneário Mostardense poderia até passar por um período de progradação, mas observando-se imagens orbitais é possível identificar que a projeção situada ao sul se encontra a cerca de 100 km de distância, podendo tal fato demorar décadas ou séculos para ocorrer, baseado nesta teoria de transporte sedimentar. Todavia o que parece claro é que os sedimentos remobilizados pela deriva, depositem-se nas áreas mais ao norte, sobretudo após a mudança de orientação da linha de costa corroborando com os dados obtidos por Absalonsen; Toldo Jr. (2007).

Estes sedimentos são mais intensamente remobilizados quando da passagem de eventos de alta energia de onda, sobretudo com ventos de orientação SW, que segundo Parise *et al.*, (2009) uma vez que são paralelos a orientação geral da costa do RS, causam o empilhamento de água na costa, em função do efeito de Coriolis. Ainda no que diz respeito as ondas no litoral central do RS, Barletta (2006) utilizou-se de modelagem para estudar a refração-difração de ondas com base em dados da batimetria local, reportando alturas de onda maiores nas adjacências do balneário Mostardense.

Todos os dados até aqui discutidos, nos permitem abstrair sobre as causas da erosão costeira no balneário Mostardense. Estas parecem claramente ter uma influência geral de aspectos de caráter regional, como a retrogradação da barreira Holocênica, evidenciada, por exemplo, pelo surgimento de depósitos de turfas no pós praia de segmentos ao Sul, ao Norte e em frente ao balneário (figura 26).

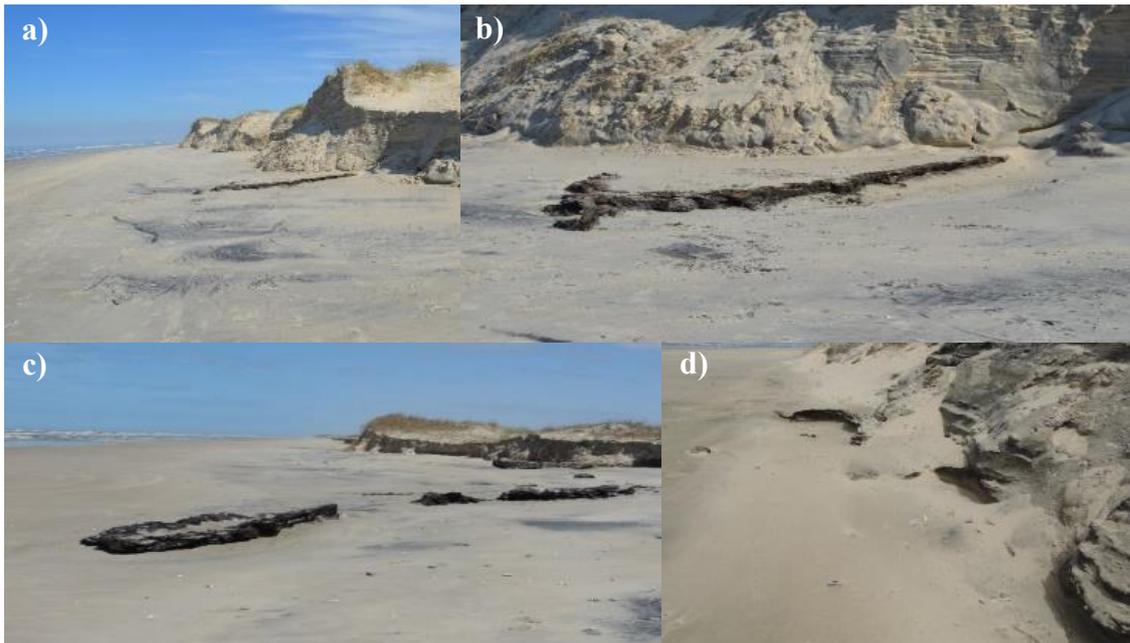


Figura 26. (a) Afloramento de turfa na porção central do balneário e dunas frontais bastante escarpadas. (b) Mesmo afloramento em detalhe. (c) Afloramento de turfas nas proximidades da Praia do Farol, poucos km ao Sul do balneário Mostardense. (d) Afloramento de turfa nas proximidades do balneário Pai João poucos km ao Norte do balneário Mostardense.

Ainda podemos considerar que o referido balneário, encontrasse ao sul do centro de uma projeção costeira de cerca de 40 km que se inicia ao norte do inlet da Lagoa do Peixe, tem seu centro nas imediações do balneário Pai João a cerca de 8 km ao norte do balneário Mostardense, e termina cerca de 5,5 km ao sul do balneário São Simão (figura 27). Esta projeção está inserida em outra projeção costeira de caráter mais regional com mais de 200 km de extensão, o setor II caracterizado por Dillemburg *et al.*, (2005).

A figura 27 com base nas informações contidas em alguns trabalhos realizados nas adjacências da área de estudo, visa possibilitar uma melhor compreensão de sua dinâmica:



Figura 27. Relação entre “sand waves” deriva litorânea e erosão costeira. Fonte: BARLETTA; CALLIARI, 2002; SPERANSKI; CALLIARI, 2006; ABSALONSEN; TOLDO JR., 2007; ALVES, 2009; SIMÕES, 2015; LEAL, 2016; LIMA; SATO, 2017.

Como elucidado anteriormente, Lima; Sato (2017) encontraram dados de retração de linha de costa de forma generalizada nos segmentos ao Norte da desembocadura da Lagoa do Peixe. A classificação das imagens realizada por estes autores demonstrou um aumento de cerca de 2% da área marinha e uma redução de cerca de 10% da área de dunas, quando considerada a área total do Parque Nacional da Lagoa do Peixe, nas adjacências da área de estudo. Barletta; Calliari (2002) ao realizar perfis praias, demonstraram déficit sedimentar na Praia do Farol, e estabilidade sedimentar e de linha de costa em São Simão. Speranski; Calliari (2006) com base em diagramas de refração de ondas demonstraram dados de erosão ao sul da Praia do Farol, e nas adjacências do Farol da Conceição. Absalonsen; Toldo Jr. (2007) concluíram que, no que tange ao litoral médio do RS, todos os segmentos ao sul da inflexão costeira (poucos km ao norte do Balneário Mostardense) têm predominância de processos erosivos. Já Simões (2015) encontrou dados bastante significativos de retração de linha de costa na Praia do Farol e de estabilidade e possível acresção no balneário São Simão. Leal (2016) também encontrou dados de retração de linha de costa no balneário Mostardense.

Toda a discussão e dados apresentados neste capítulo, é corroborada pelos dados obtidos da Tabela 5 e do Gráfico 1, além das figuras 20, 21, 22 e 23. Este conjunto de dados permite caracterizar o balneário Mostardense, em uma escala de análise decadal, e muito possivelmente geológica, com um processo de retração de linha de costa bastante significativo, podendo ainda possivelmente ser um “*hotspot*” erosivo da costa do RS. Todavia, a interpretação dos dados coletados durante o acompanhamento mensal, conjuntamente com os dados meteo-oceanográficos, permitiu avançar este debate, à medida que as flutuações no comportamento da linha de costa e suas causas, ainda necessitam ser melhor compreendidas.

6.2. Variação do limite praia duna entre 2016 e 2017

A partir do acompanhamento mensal realizado, foram construídos mosaicos de fotografias aéreas verticais obtidas por drone além da vetorização do limite superior da praia, neste trabalho caracterizado como o limite praia duna. As figuras 28, 29 e 30, demonstram fragmentos das duas imagens orbitais extraídas do software *Google Earth Pro* e os 13 mosaicos obtidos a partir do monitoramento realizado por drone utilizados na pesquisa respectivamente, além das vetorizações das linhas de costa de cada um dos mosaicos, ilustrando seu comportamento. O objetivo das duas imagens orbitais neste item foi o de comparar com as imagens de drone, demonstrando o recorte analisado (igual para imagens orbitais e mosaicos de fotografias aéreas), também realizando uma conexão com o item anterior.

Nas figuras a seguir (28, 29 e 30) que compilam as informações do banco de dados de imagens e fotografias aéreas coletadas para a pesquisa e suas vetorizações, o limite praia duna demonstrou considerável variação entre 2005-2014, 2014-jun2016 e entre out2016-nov2016. Nos demais períodos o limite praia duna manteve-se relativamente estável. Ainda cabe salientar que nas imagens que seguem, em alguns momentos a praia apresentava comportamento mais erosivo (molhada com areias mais escuras) e períodos com recomposição eólica (mais seca com areias mais claras), fatores demonstrados no monitoramento da dinâmica do limite praia duna nos itens seguintes.

13/8/2005 - Imagem Orbital



7/12/2014 - Imagem Orbital



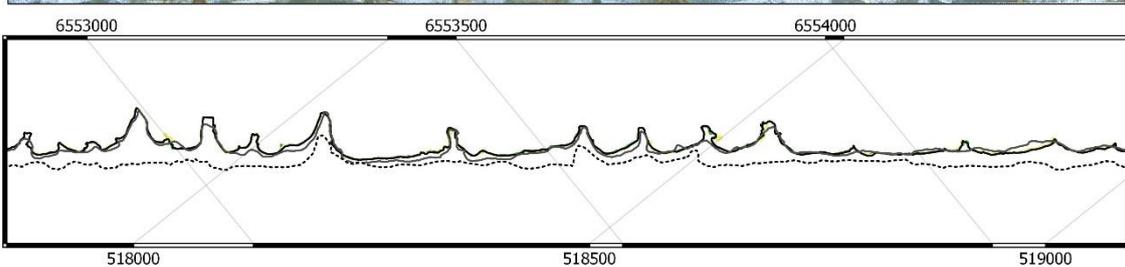
15/6/2016 - Monitoramento por drone



8/7/2016 - Monitoramento por drone

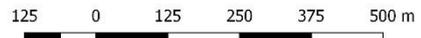


13/8/2016 - Monitoramento por drone



Legenda

- Limite praia duna 13/8/2005 - Imagem Orbital
- Limite praia duna 7/12/2014 - Imagem Orbital
- Limite praia duna 15/6/2016 - Monitoramento por drone
- Limite praia duna 8/7/2016 - Monitoramento por drone
- Limite praia duna 13/8/2016 - Monitoramento por drone



Elaborado por: Rodrigo Simões
Projeção: SIRGAS 2000 UTM 22S
Base de dados: Google Earth PRO e Mosaicos de fotografias aéreas obtidas por drone

Figura 28. Imagens orbitais e mosaicos de fotografias aéreas obtidas por drone utilizados na pesquisa e vetorizações das respectivas linhas de costa entre 2005 e 2016.

9/9/2016 - Monitoramento por drone



10/10/2016 - Monitoramento por drone



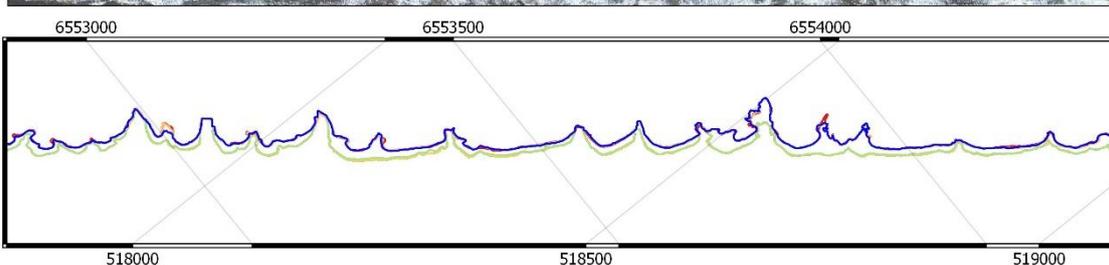
5/11/2016 - Monitoramento por drone



7/12/2016 - Monitoramento por drone



12/1/2017 - Monitoramento por drone



Legenda

- Limite praia duna 9/9/2016 - Monitoramento por drone
- Limite praia duna 10/10/2016 - Monitoramento por drone
- Limite praia duna 5/11/2016 - Monitoramento por drone
- Limite praia duna 7/12/2016 - Monitoramento por drone
- Limite praia duna 12/1/2017 - Monitoramento por drone



Elaborado por: Rodrigo Simões
Projeção: SIRGAS 2000 UTM 22S
Base de dados: Mosaicos de fotografias aéreas obtidas por drone

Figura 29. Mosaicos de fotografias aéreas obtidos por drone utilizados na pesquisa e vetorizações das respectivas linhas de costa entre 2016 e 2017.

7/2/2017 - Monitoramento por drone



7/3/2017 - Monitoramento por drone



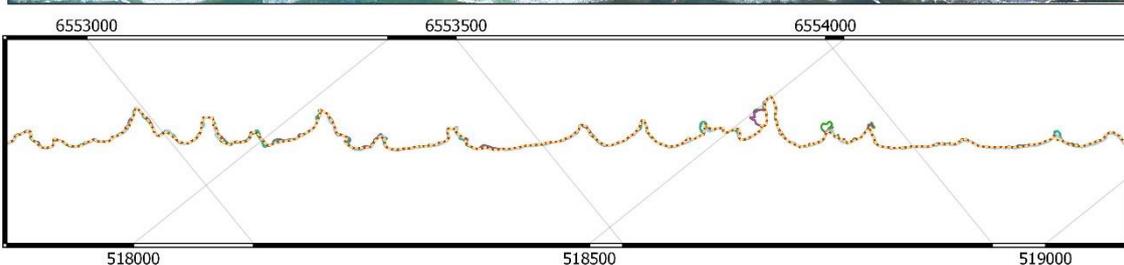
5/4/2017 - Monitoramento por drone



5/5/2017 - Monitoramento por drone

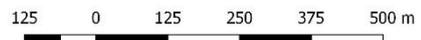


14/6/2017 - Monitoramento por drone



Legenda

- Limite praia duna 7/2/2017 - Monitoramento por drone
- Limite praia duna 7/3/2017 - Monitoramento por drone
- Limite praia duna 5/4/2017 - Monitoramento por drone
- Limite praia duna 5/5/2017 - Monitoramento por drone
- Limite praia duna 14/6/2017 - Monitoramento por drone



Elaborado por: Rodrigo Simões
Projeção: SIRGAS 2000 UTM 22S
Base de dados: Mosaicos de fotografias aéreas obtidas por drone

Figura 30. Mosaicos de fotografias aéreas obtidos por drone utilizados na pesquisa e vetorizações das respectivas linhas de costa em 2017.

Este comportamento ilustrado nas figuras (28, 29 e 30) pode ser melhor analisado de forma quantitativa a partir do cálculo dos polígonos de mudança para mosaicos de fotografias aéreas coletados mensalmente. Os valores de variações mensais do comportamento da linha de costa podem ser observados na tabela 6:

Tabela 6. Variação da área das dunas (m²) e variação média da linha de costa (m) para cada período de análise.

Período analisado	Diferença da área (m²) dos Polígonos	Variação média da linha de costa (m)	Comportamento da linha de costa
15jun-8jul 2016	-651	-0,33	Retração
8jul-13ago 2016	-241	-0,12	Retração
13ago-9set 2016	1127	0,57	Progradação
9set-10out 2016	-2040	-1,03	Retração
10out-5nov 2016	-27300	-13,82	Retração
5nov-7dez 2016	568	0,29	Progradação
7dez-12jan 2017	-490	-0,25	Retração
12jan-7fev 2017	623	0,31	Progradação
7fev-7mar 2017	-0,798	-0,000404051	Estável
7mar-5abr 2017	916	0,46	Progradação
5abr-5mai 2017	1613	0,82	Acrescivo
5mai-14jun 2017	-1696	-0,86	Erosivo

A partir do cálculo de variação de linha de costa, com base no polígono de mudança, também foram criados mapas com intuito de ilustrar os processos de retração e progradação da linha de costa, retratando assim de forma didática a mobilidade do limite praia duna ao longo do período de jun2016-jun2017. Por tratar-se de uma escala de análise de bastante detalhe, com variações na maioria inferiores a 1m, esses dados foram apresentados de forma diferente dos apresentados no item 6.1. Foram criados dois mapas: o primeiro com os dados entre jun2016 até dez2016, e o segundo com dados entre dez2016 até jun2017. As figuras 31 e 32 demonstram o comportamento da linha de costa durante o segundo semestre de 2016 e o primeiro semestre de 2017 respectivamente:

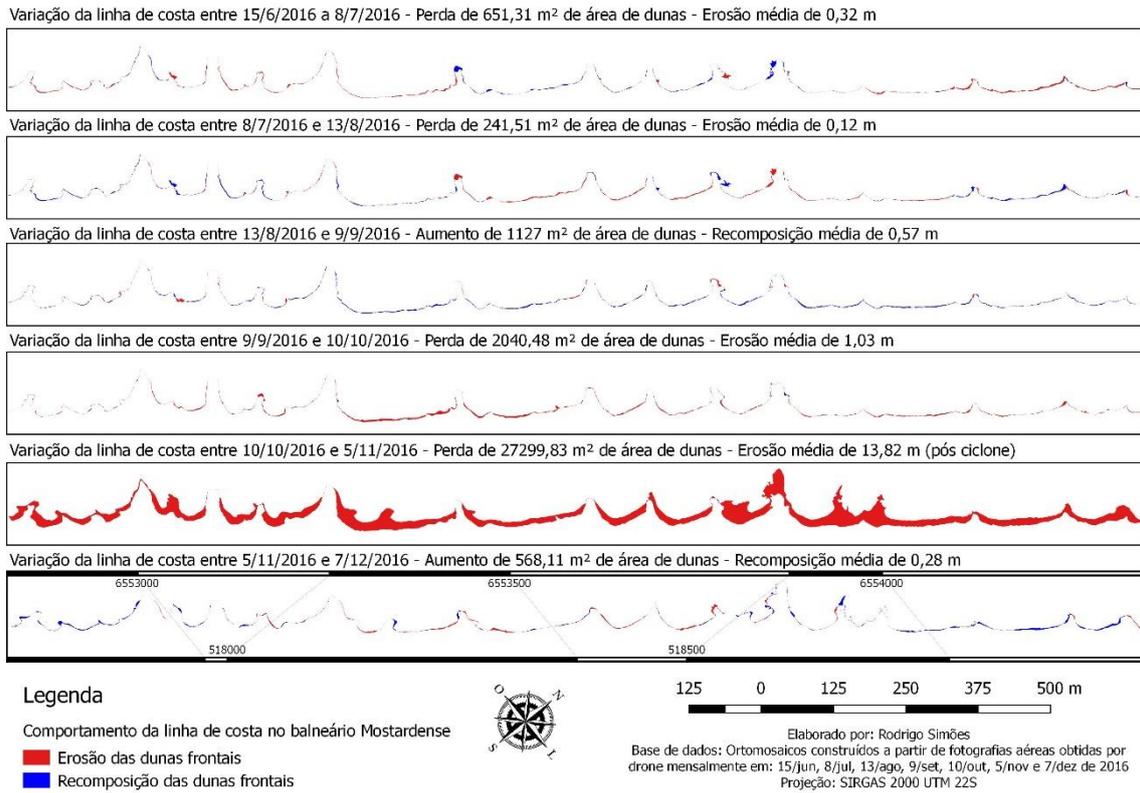


Figura 31. Comportamento da linha de costa no balneário Mostardense entre 15jun2016 e 7dez2016.

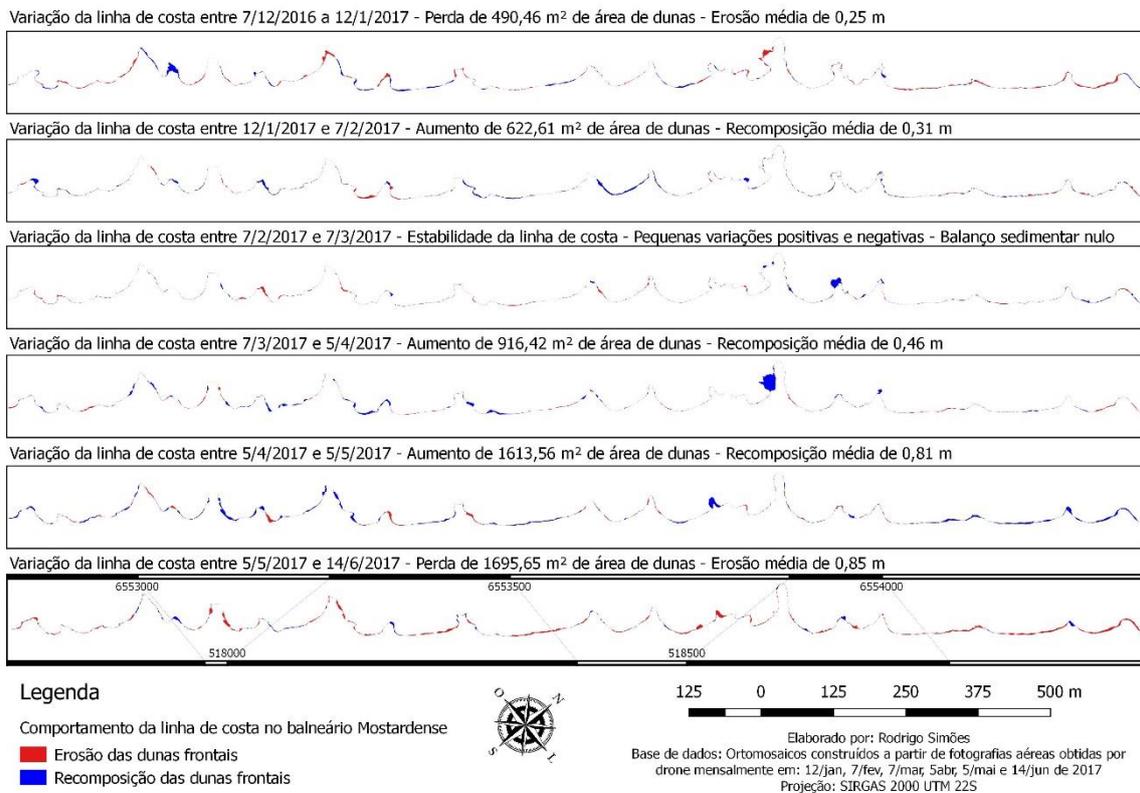


Figura 32. Comportamento da linha de costa no balneário Mostardense entre 7dez2016 e 14jun2017.

Como pode ser observado pelos dados demonstrados pela tabela 6 e na figura 31, a linha de costa do balneário Mostardense foi fortemente alterada entre outubro e novembro de 2016, com uma retração média de 13,8 m no período. Estes dados correspondem basicamente a passagem do ciclone extratropical que ocorreu no dia 27 de outubro, ocasionando erosão costeira generalizada, fato também ilustrado de forma qualitativa na figura 29. Durante o segundo semestre de 2016, a praia apresentou um comportamento majoritariamente erosivo, com pequenas recomposições apenas entre ago-set2016 e nov-dez2016.

Já a figura 32, demonstra o comportamento da linha de costa no balneário Mostardense, durante o primeiro semestre de 2017. Neste período, a linha de costa do balneário Mostardense apresentou um comportamento acrescivo, com valores erosivos ocorrendo apenas entre os meses de dez2016jan2017 e maio2017jun2017.

Considerando todo o monitoramento, quando excluimos da análise os dados relativos ao ciclone (cerca de 13,8 m de erosão) e somamos os outros valores de retração (2,59 m) e os valores de progradação (2,45 m), podemos observar que a linha de costa se manteve relativamente estável com uma variação negativa de apenas 0,14 m no período.

Ao compilar os dados da tabela 6 e das figuras 31 e 32, ainda foi possível construir um gráfico que ilustrasse a não linearidade da variação da linha de costa. Este gráfico contempla os valores de variação de área dos polígonos utilizados para o cálculo de variação média da linha de costa durante o período analisado (gráfico 2).

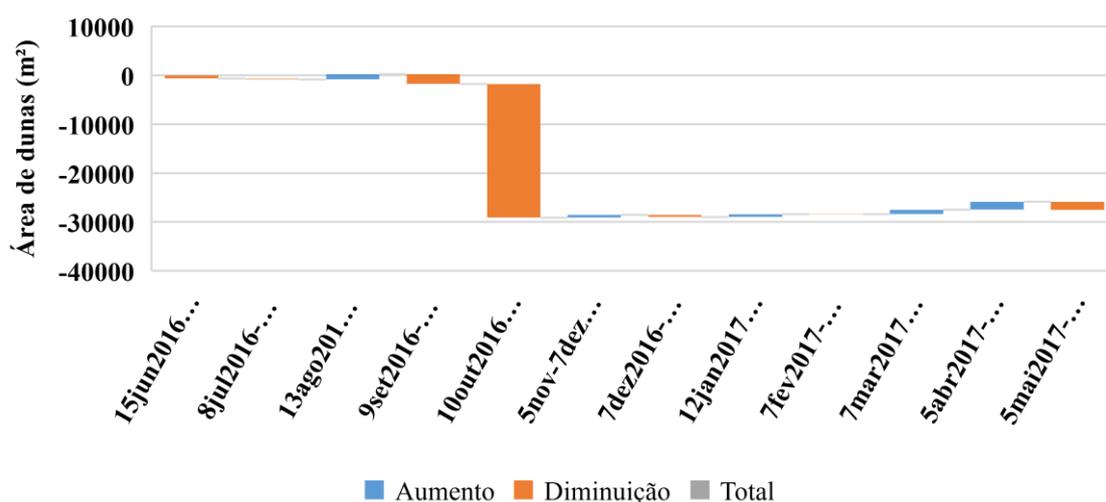


Gráfico 2. Variação mensal da área das dunas frontais do balneário Mostardense entre 15jun2016-14jun2017.

Ainda, quando contemplamos todas as linhas de costa vetorizadas na pesquisa e as plotamos em um único mapa, é possível observar sua variabilidade e o processo de

retração de linha de costa claramente. A figura 33 ilustra este processo para um fragmento da área de estudo, permitindo assim sua visualização em maior detalhe:

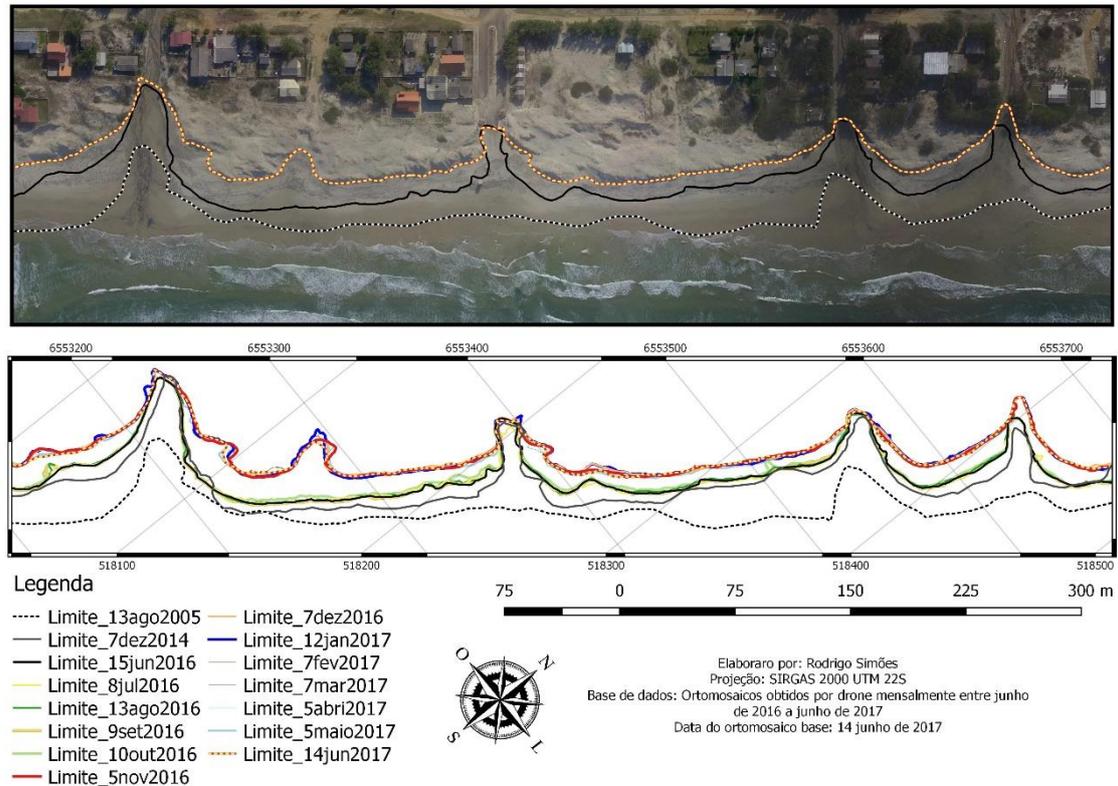


Figura 33. Variabilidade da linha de costa no balneário Mostardense entre 2005 e 2017.

Estes dados são substancialmente importantes, pois demonstram como a variação da linha de costa não é um processo linear. Desse modo, quando consideramos os dados relativos ao ciclone, estes correspondem a praticamente toda variação encontrada no gráfico 2. Por este motivo, diversos autores alertam sobre a cautela na determinação de taxas de variação de linha de costa. Todavia, estas taxas são importantes pois permitem que se realize comparações.

Como é possível observar em detalhe na figura 33 e ainda nas figuras (28,29 e 30), a linha de costa em um intervalo de análise decadal, vem sofrendo alterações que paulatinamente a deslocam em direção ao continente, já estando muito próxima as ocupações. Já durante o intervalo analisado em uma frequência mensal (15jun2016-14jun2017) a linha de costa apresentou um comportamento relativamente estável, até a passagem do ciclone no final de outubro de 2016, e novamente apresentou um comportamento relativamente estável até o final do acompanhamento. Este fato é visualmente observado ao analisarmos as linhas vetorizadas. Os dados meteo-

oceanográficos foram relevantes para aprofundar essa discussão e compreender sua influência no comportamento da linha de costa e das dunas frontais.

6.2.1. Dados meteo-oceanográficos

O item a seguir apresenta gráficos com dados meteo-oceanográficos. Os mesmos foram analisados em conjunto com os dados provenientes dos trabalhos de campo no item 6.2.2.

6.2.1.1. *Dados de vento*

Os dados de vento criados a partir do software WRplot View refletem as características do vento local, influentes na dinâmica eólica. Estes foram coletados por uma estação automática localizada a cerca de 13,5 km ao Sul do balneário Mostardense, em uma localidade chamada Praia do Farol, onde fica localizado o farol de Mostardas. Este dado foi processado mês a mês, ou seja, no período que antecedeu cada um dos trabalhos de campo realizados. Este processo gerou rosas de vento que demonstram a intensidade dos ventos e sua direção, fato bastante importante para discutir os processos eólicos atuantes na área de estudo. Adicionalmente também foi elaborada uma rosa de vento demonstrando o comportamento durante todo o período (jun2016-jun2017).

O gráfico 3 (a, b, c, d, e, f) contempla os dados de vento anteriores a realização dos trabalhos de campo realizados em junho e novembro de 2016.

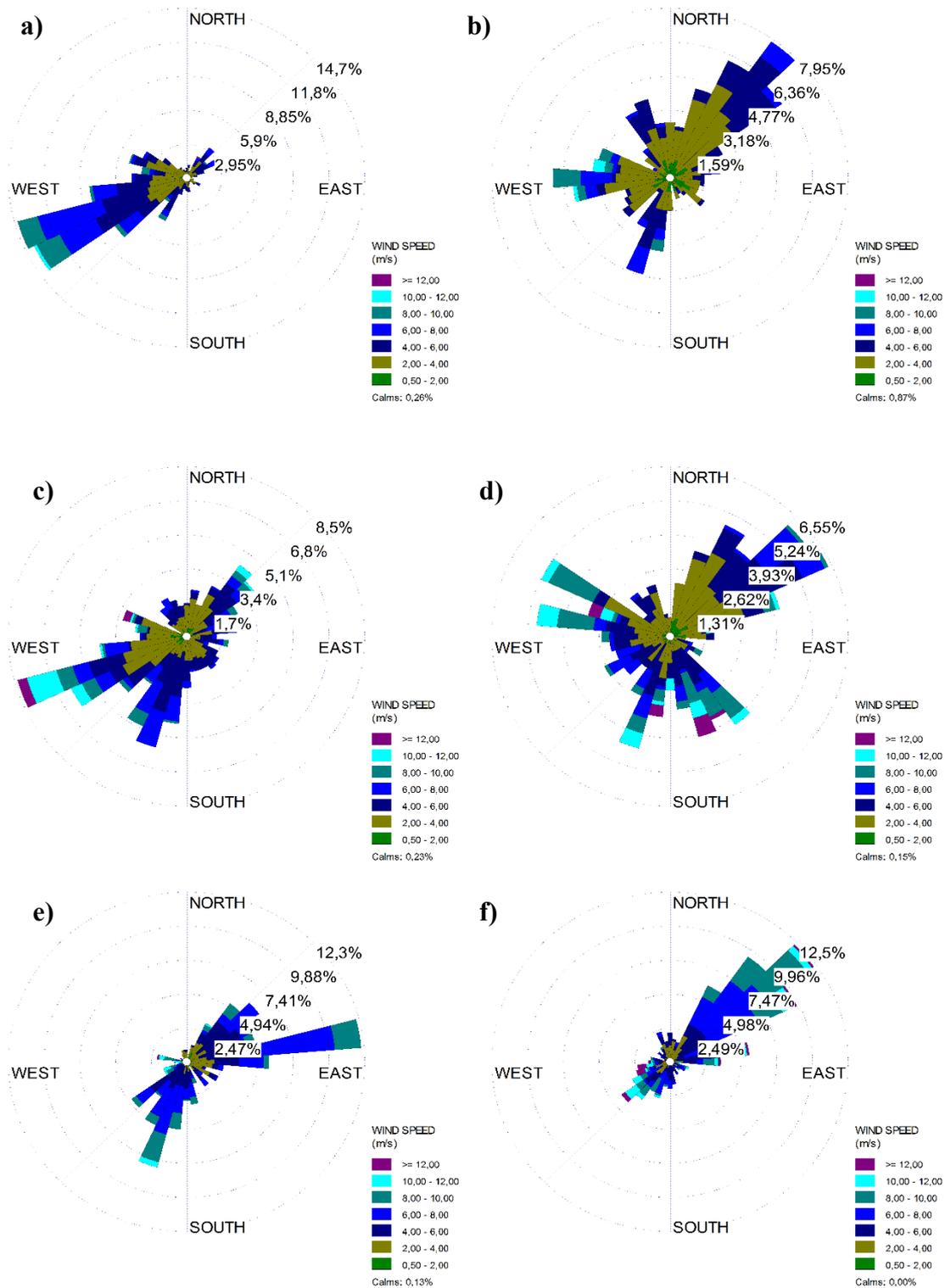


Gráfico 3. Rosas de vento nos períodos que antecederam cada um dos trabalhos de campo realizados. (a) 15mai-15jun2016 (b) 15jun-8jul (c) 8jul-13ago (d) 13ago-9set (e) 9set-10out (f) 10out-5nov2016.

Já o gráfico 4 (a, b, c, d, e, f, g, h) contempla os dados de vento anteriores a realização dos trabalhos de campo realizados em dezembro de 2016 e julho de 2017 bem como um gráfico do período integral.

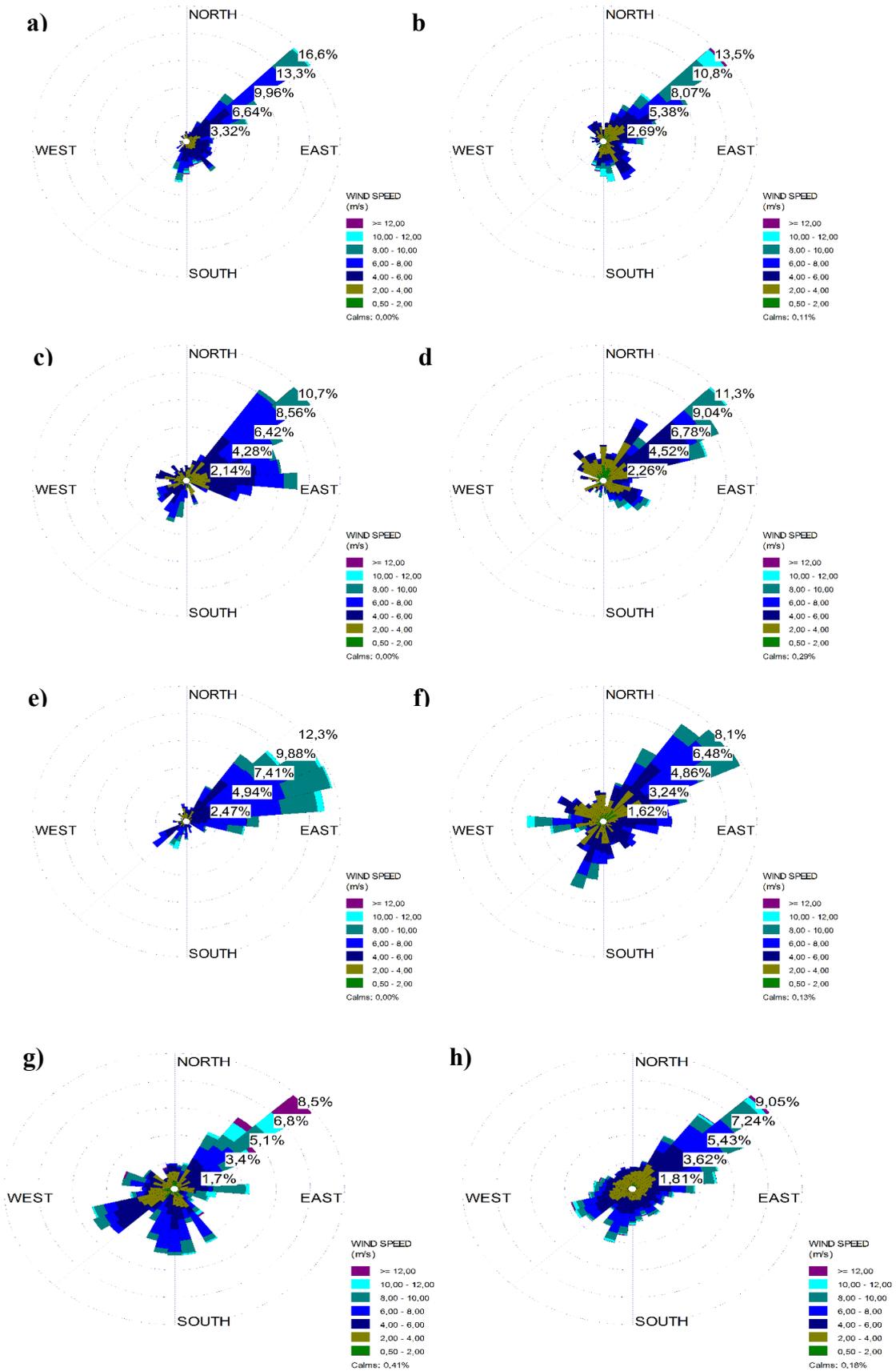


Gráfico 4. Rosas de vento nos períodos que antecederam cada um dos trabalhos de campo realizados. (a) 5nov7-dez2016 (b) 7dez-12jan (c) 12jan-7fev (d) 7fev-7mar (e) 7mar-5abr (f) 5abri-5mai2017 (g) 5mai-14jun2017 (h) período total, entre 15jun2016-14jun2017.

Dados de vento também foram processados no Microsoft Excel gerando os gráficos 5 e 6, para o primeiro e o segundo semestres da pesquisa respectivamente:

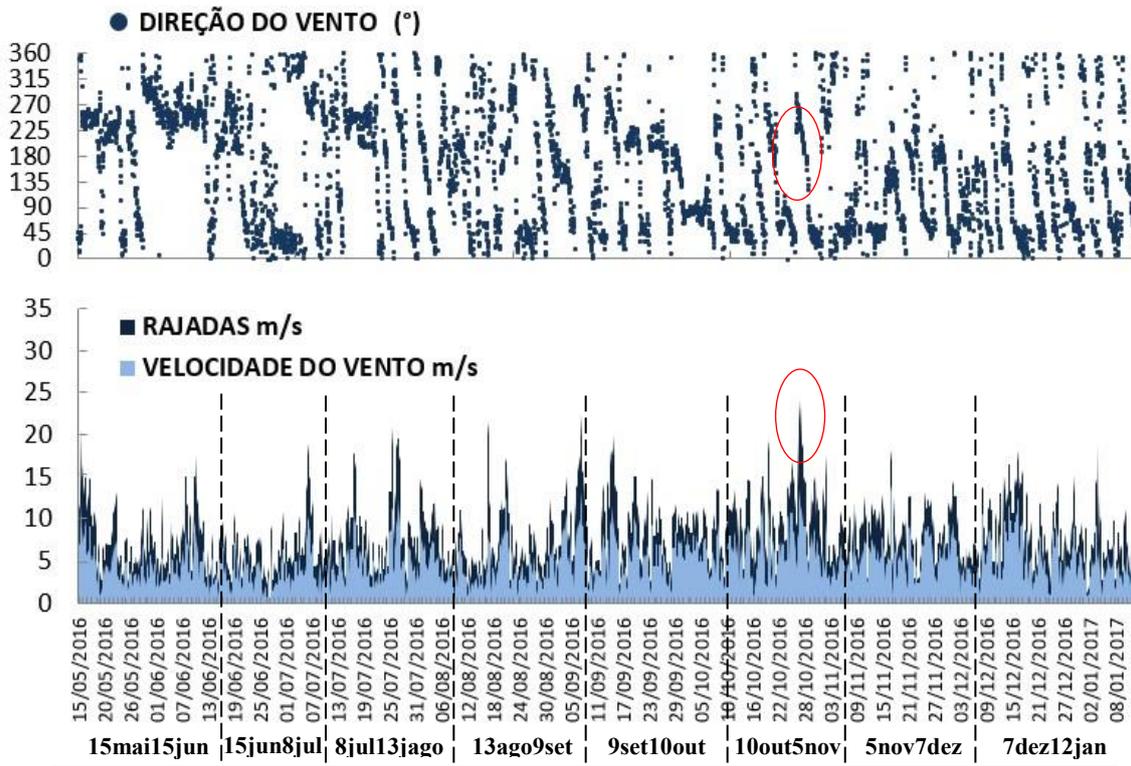


Gráfico 5. Direção e velocidade do vento no segundo semestre de 2016 com destaque para os dados relativos ao ciclone de 27 de outubro.

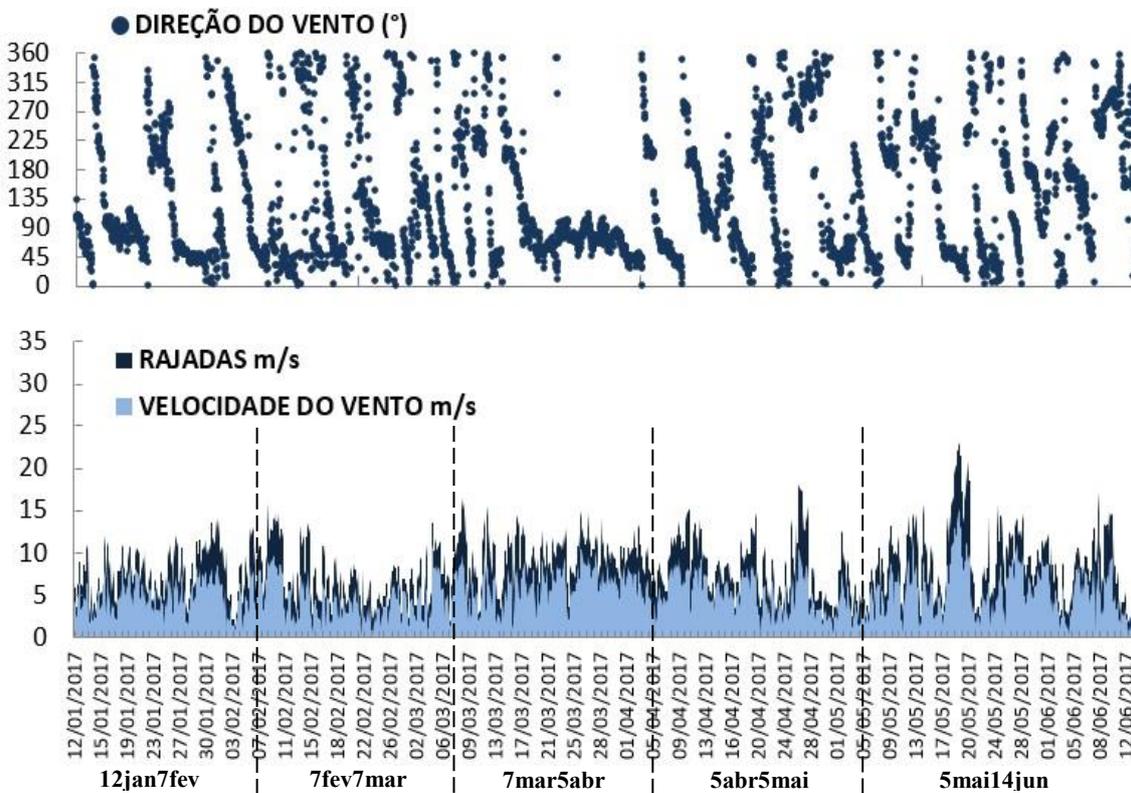


Gráfico 6. Direção e velocidade do vento no primeiro semestre de 2017.

6.2.1.2. Dados de onda

Os dados da onda foram extraídos dos dois ondógrafos mais próximos a área de estudo (PNBOIA – Localizado a cerca de 100 km da costa de Mostardas, e Rede Ondas – Localizado próximo da desembocadura da Lagoa dos Patos em Rio Grande). Ambos os dados possuíam alguns “buracos” na série, onde foi inserido um valor “no data” nestes casos. Os gráficos 7 e 8 correspondem aos dados obtidos do ondógrafo situado próximo a Mostardas:

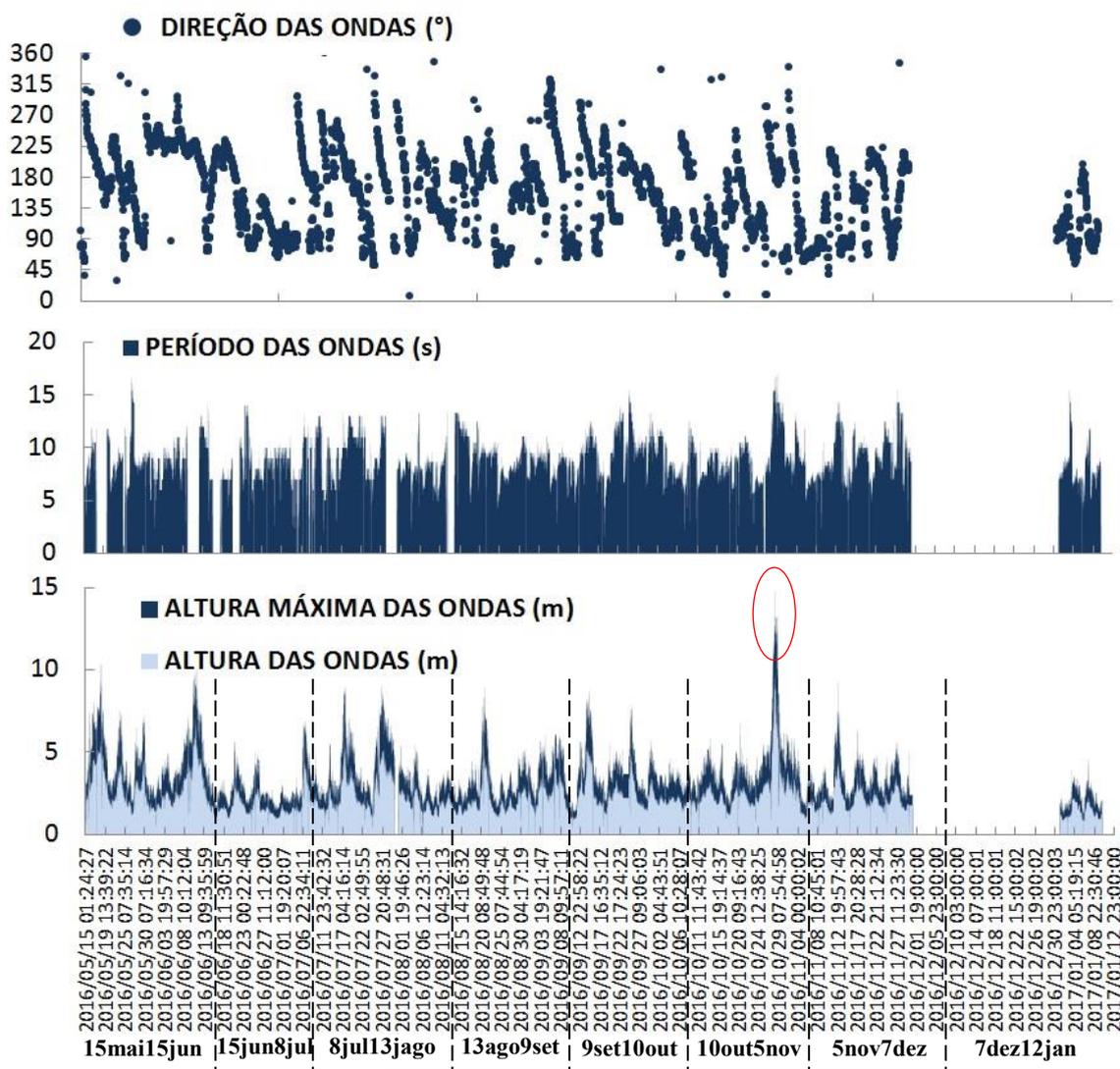


Gráfico 7. Direção, período e altura das ondas durante o primeiro semestre do monitoramento por drone pelo ondógrafo PNBOIA, com destaque para alturas superiores a 9 m, quando da passagem do ciclone em outubro de 2016.

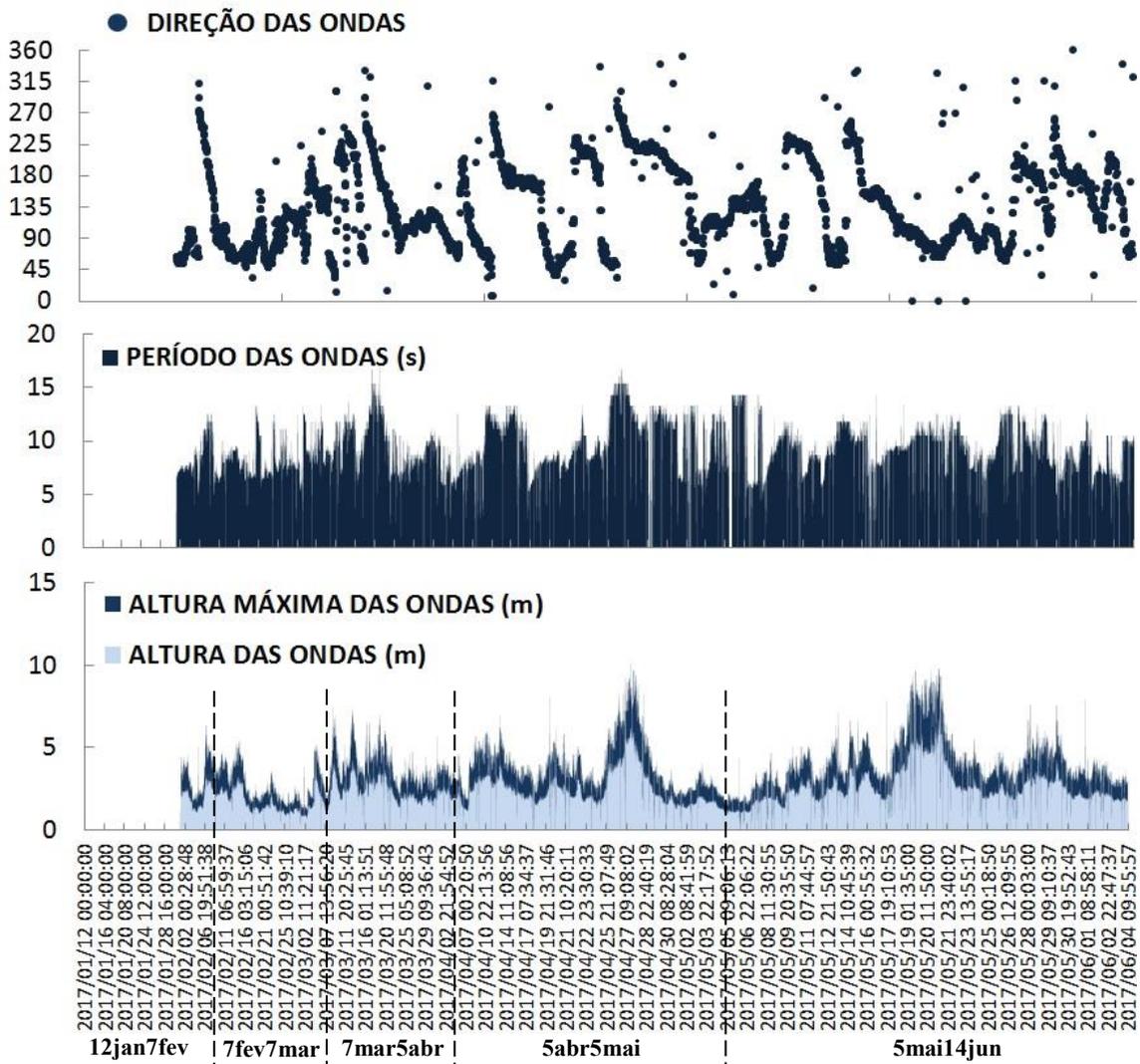


Gráfico 8. Direção, período e altura das ondas durante o segundo semestre do monitoramento com drone obtidas pelo ondógrafo PNBOIA.

Já o gráfico 9, demonstra a compilação dos dados obtidos junto ao ondógrafo Rede Ondas, que estava localizado próximo a desembocadura da Lagoa dos Patos, mas no momento encontra-se inoperante. Por este motivo foi criado um gráfico apenas com os dados referentes ao primeiro semestre da pesquisa, já que no semestre seguinte, o ondógrafo em questão não coletou dados.

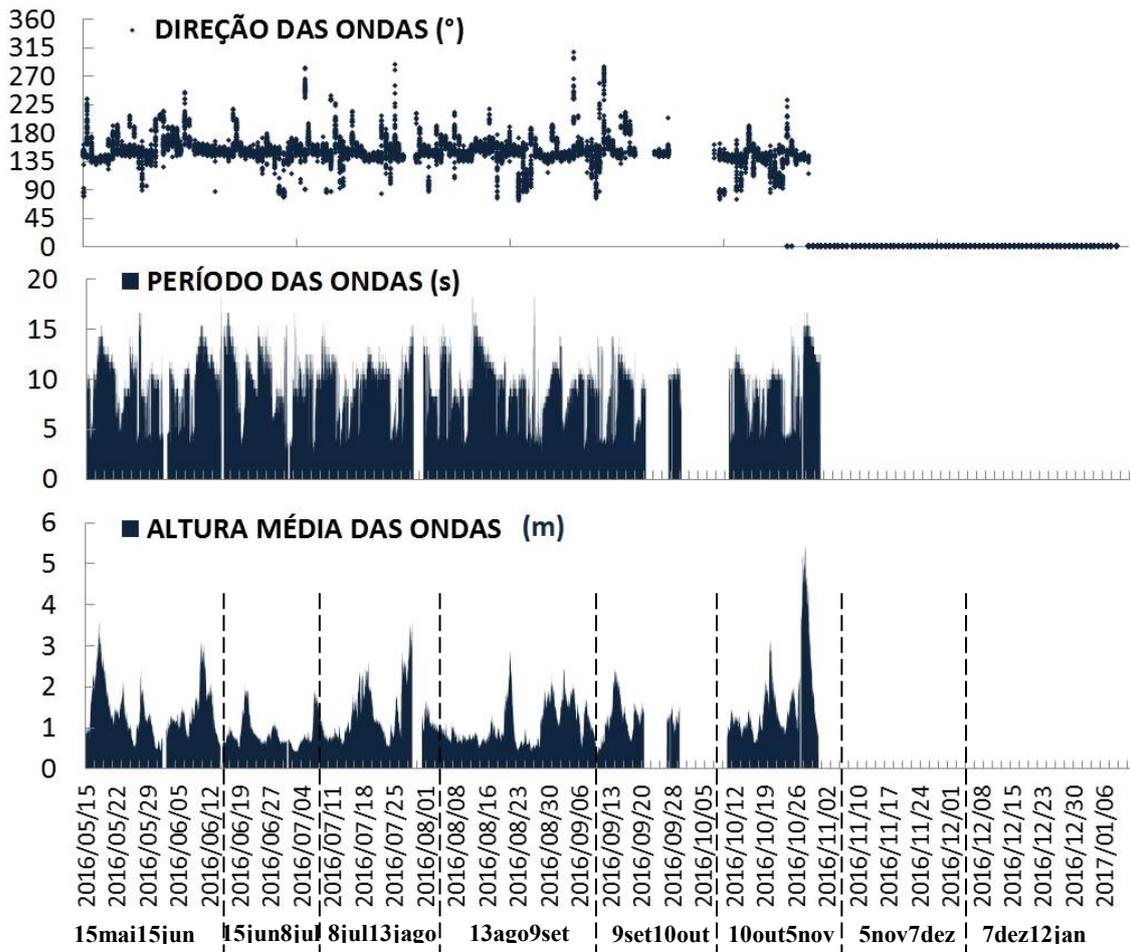


Gráfico 9. Direção, período e altura das ondas durante o primeiro semestre do monitoramento com drone, obtidas pelo ondógrafo do Rede Ondas, com destaque para dados do ciclone de outubro de 2016.

6.2.1.2.1. Ciclone ocorrido em outubro de 2016

A magnitude do evento ocorrido em outubro de 2016 e seus impactos na costa, inspiraram a elaboração de um artigo por parte do laboratório de Geomorfologia e Recursos Hídricos da FURG, compilando dados coletados para este trabalho e também dados adicionais de diversas outras localidades da costa do RS (OLIVEIRA *et al.*, 2017; OLIVEIRA *et al.*, submetido). Neste contexto, o banco de dados de ondas utilizado nesta pesquisa foi também utilizado para demonstrar em detalhe o comportamento das ondas no período entre 24 e 31 de outubro de 2016. Ainda foram levantados dados de nível de maré com a Praticagem do Porto do Rio Grande (gráfico 10).

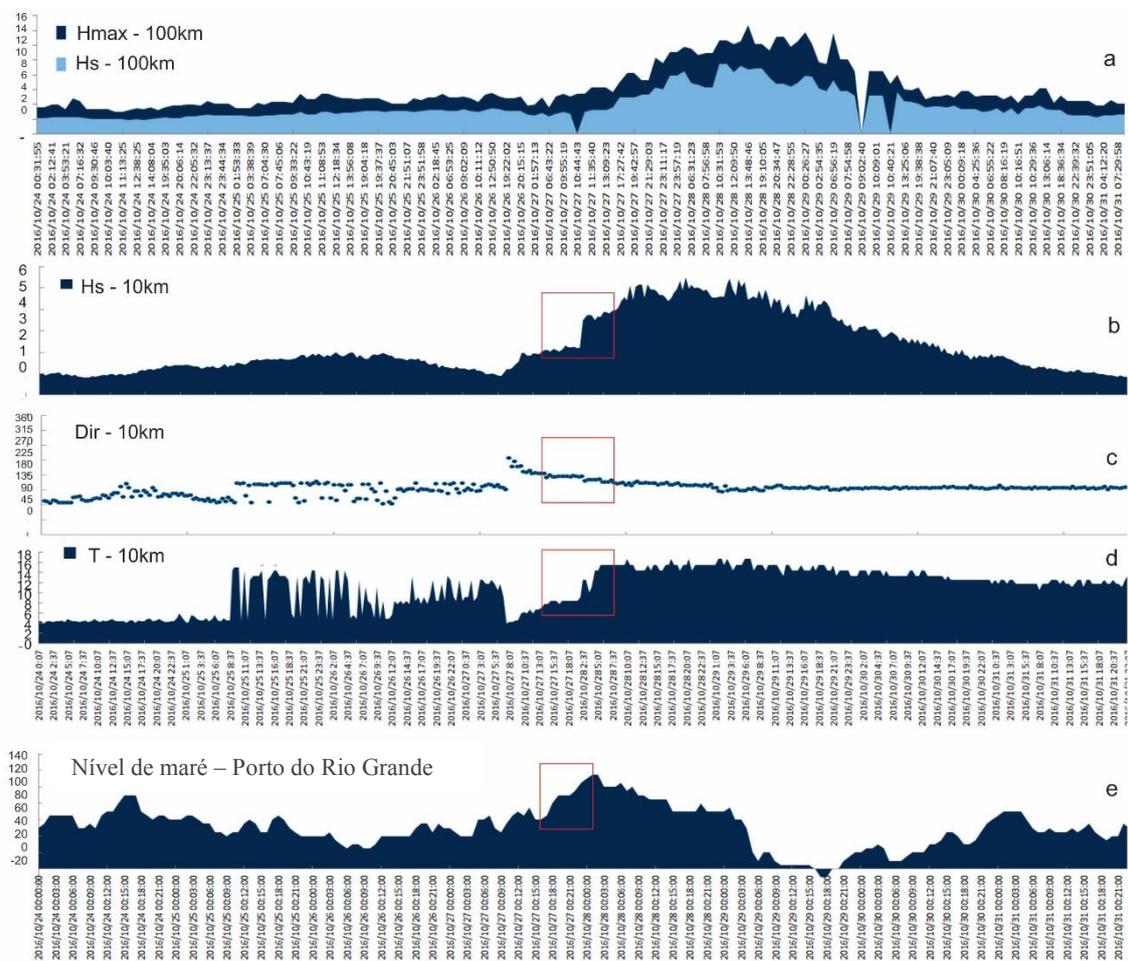


Gráfico 10. Gráficos de parâmetros hidrodinâmicos costeiros entre 24/10/2016 e 31/10/2016 destacando o momento relevante para a erosão da costa. (a) Altura significativa primária de onda a 100 km a leste do balneário Mostardense; (b, c, d) Altura significativa primária de onda, direção e período de onda respectivamente medidos pelo ondógrafo direcional fundeado ao largo da praia do Cassino (Fonte: Projeto Rede Ondas) e (e) dados de nível de maré medidos pela Praticagem do Porto do Rio Grande no canal de acesso ao Porto. (Fonte: OLIVEIRA *et al.*, submetido)

6.2.1.3. Radiação, temperatura, chuva e umidade

Dados de radiação solar, temperatura, chuva e umidade instantânea foram adicionalmente analisados para o período de monitoramento. Os mesmos foram coletados pela estação automática de observação de superfície de Mostardas. Estas variáveis também têm sua influência na movimentação sedimentar na área de estudo, ainda que, à princípio, menor que as variáveis anteriormente apresentadas. Há de se considerar que uma maior incidência de radiação solar, e conseqüentemente uma maior temperatura, podem potencializar os processos eólicos, secando mais rapidamente a areia depositada no pós praia, ou ainda que o aumento das chuvas e de valores de umidade muito altos, podem reduzir a taxa de transporte eólico. Estes dados são apresentados nos gráficos 11 e 12.

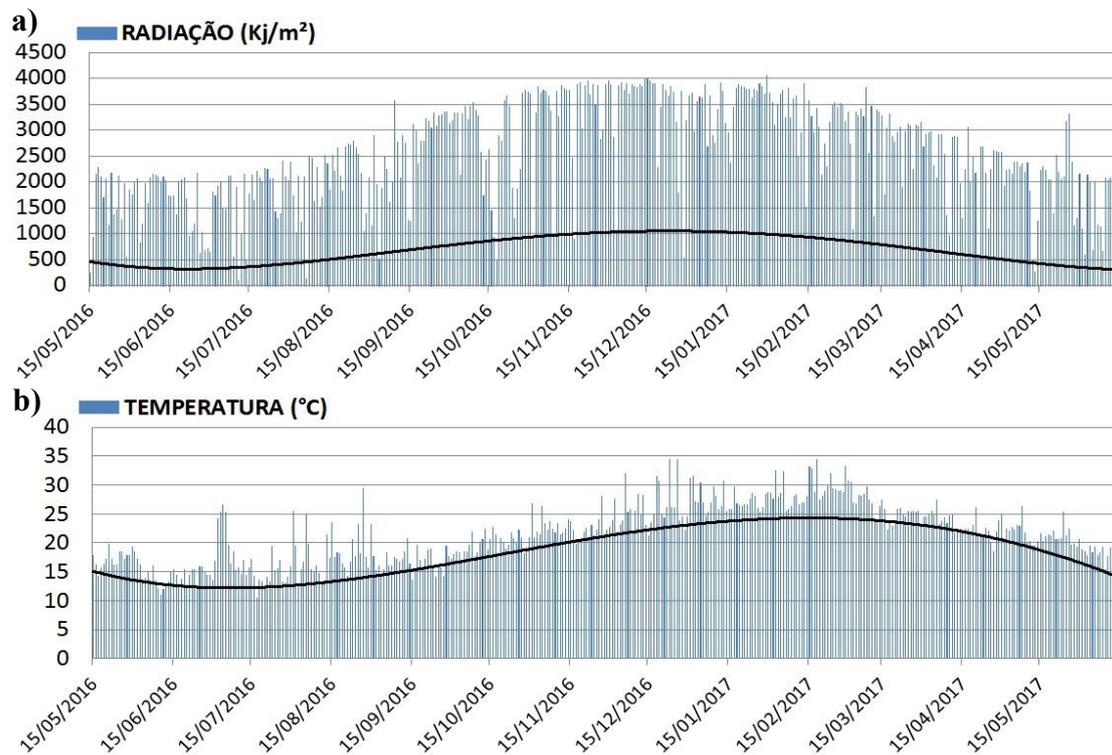


Gráfico 11. (a) Radiação solar (Kj/m²) e sua linha de tendência entre 15/5/2016 e 14/6/2017. (b) Temperatura Instantânea (°C) e sua linha de tendência no mesmo período.

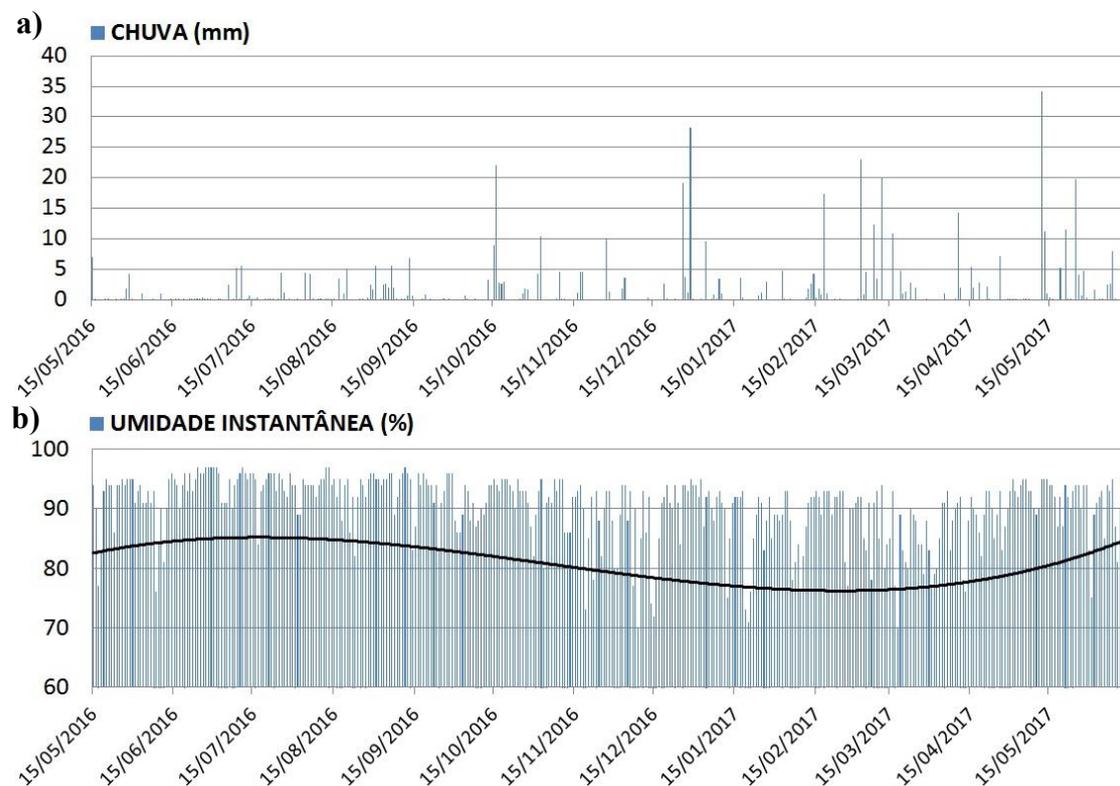


Gráfico 12. (a) Chuva (mm) entre 15/5/2016 e 14/6/2017. (b) Umidade no momento da coleta e sua linha de tendência no mesmo período.

6.2.2. Processos costeiros na variação do limite praia duna

Ao analisarmos os gráficos conjuntamente com os dados derivados das imagens e fotografias aéreas, sobretudo as obtidas em campo, foi possível realizar algumas discussões sobre os processos costeiros na variação do limite praia duna.

Os dados do gráfico 3a (rosas de vento) correspondentes ao intervalo de um mês anterior ao primeiro trabalho de campo realizado em 15 de junho de 2016, demonstram uma predominância de ventos de WSW e SW, ventos majoritariamente inferiores a 10 m/s. As dunas frontais do balneário, neste primeiro trabalho de campo realizado, apresentavam-se bastante escarpadas, com escarpas superiores a 4 m de altura em alguns segmentos e presença de turfas no pós praia-figura 26 (a), o que remete a um período anterior bastante erosivo.

Já quando analisamos o gráfico 3b (rosas de vento), que corresponde ao período de variação de linha de costa entre 15jun2016 e 8jul2016, há uma predominância de ventos de NE, ainda com presença de ventos de W, SW e S. Neste período foi possível realizar o cálculo de variação de linha de costa, que teve uma retração média de 0,32 m (figura 31). As dunas neste período estavam bastante escarpadas e fragmentadas (figura 34). Outro fato que chama atenção na figura 34 é a orientação das escarpas, remetendo muito provavelmente a orientação das ondas que as causaram, provenientes do quadrante S, estando registradas no gráfico 7, com pelo menos dois eventos de alta energia e ondas deste quadrante.



Figura 34. Escarpas nas dunas frontais do balneário Mostardense em 8 de julho de 2016.

O terceiro período analisado gráfico 3c (rosas de vento), correspondente a variação da linha de costa entre 8jul2016 e 13ago2016, demonstra uma predominância de ventos de WSW e SW, com presença significativa de ventos acima de 12 m/s nesta orientação. A linha de costa sofreu uma pequena retração de cerca de 0,12 m neste intervalo (figura 31). Todavia, a fotografia oblíqua extraída com auxílio do drone utilizado na pesquisa, demonstra uma praia com bastante aporte eólico sendo soldado as escarpas das dunas frontais, que neste caso já não estavam tão pronunciadas (figura 35). No gráfico 3c observa-se que os ventos de NE entre 10 a 12 m/s foram um tanto quanto mais frequentes, fato também ilustrado no gráfico 5 (vento). Estes ventos de NE provavelmente ocasionaram o depósito eólico demonstrado na fotografia. O gráfico 7 (ondas) também demonstra uma leve redução na energia de ondas neste intervalo (8jul-13ago2016) apresentando alturas e períodos menores que nos meses anteriores.



Figura 35. Aporte eólico na base das dunas frontais em 13 de agosto de 2016.

O gráfico 3d (rosas de vento) remete aos dados anteriores ao trabalho de campo realizado em 9 de setembro de 2016. Estes dados demonstram ventos bastante distribuídos em praticamente todas as direções, com uma leve predominância de ventos do quadrante NE. Todavia também há de se considerar ventos com intensidades superiores a 12 m/s provenientes do quadrante SE, também presentes na série (gráfico 5).

Estes ventos de NE propiciaram uma recomposição das dunas frontais, com uma progradação média da linha de costa de 0,57 m no período (figura 31). Também há de correlacionar estes dados com os demonstrados no gráfico 7, que no intervalo analisado demonstra ondas de E com menores alturas e período, remetendo a uma menor energia de onda. A figura 36 demonstra os sedimentos sendo soldados as escarpas das dunas frontais, neste caso já pouco pronunciadas, devido ao processo de recomposição dunar.



Figura 36. Recomposição das dunas frontais em 9 de setembro de 2016 no balneário Mostardense.

O gráfico 3e (rosas de vento) que corresponde ao período anterior ao voo realizado em 10 de outubro de 2016, demonstra o predomínio de ventos de E, ainda com presença significativa de ventos de SSW. Neste intervalo o comportamento da linha de costa apresentou o segundo maior valor de retração encontrado com 1,03 m de recuo médio (figura 31). Mesmo com este comportamento da linha de costa, a praia ainda apresentava características da dinâmica eólica, fruto dos ventos de E e NE (gráfico 5) que predominaram no período que antecedeu a coleta de dados e propiciaram grande movimentação eólica no local. Ainda é possível dizer que a própria dinâmica eólica, sobretudo de E, tenha auxiliado na retração da linha de costa, rebaixando e atenuando o topo das escarpas sem vegetação, empurrando areia em direção as ocupações.

Short; Hesp (1982) discorrem sobre esta ação eólica, uma vez que durante períodos erosivos tempestades costeiras podem causar a fragmentação da duna e a morte de parte da vegetação que fixa a duna frontal, além escarpar a mesma, permitindo que a

ação eólica posterior, dependendo de sua orientação e energia, possa remobilizar os sedimentos em direção a retroterra e reativar dunas que estavam estabilizadas. Neste sentido Calliari *et al.*, (2005) também discorrem sobre a orientação da linha de costa do RS, ser o fator mais relevante para a movimentação das dunas frontais frente ao vento predominante, podendo transportar a areia em direção à retroterra ou em direção ao oceano. Isto pode ter ocorrido neste curto intervalo de tempo apresentando predominância de vento E, que pode ter ocasionado erosão por ação eólica no local, potencializando ainda os processos de soterramento de ocupações. Ainda é importante salientar que o gráfico 7 (onda), demonstra um evento de alta energia de onda de orientação SW e posteriormente ondas de E com menores alturas e intervalos, corroborando com as discussões apresentadas. Entre o intervalo analisado, ocorreu um período com maior energia de onda (que pode ter sido o responsável por parte significativa da retração da linha de costa) e um período com menor energia de onda mas alta energia eólica de E (gráfico 5), que pode ter possibilitado a ação eólica influenciada também pelo aumento da radiação solar e temperatura (gráfico 11), a baixa pluviosidade e o início do declínio da umidade com a chegada da primavera (gráfico 12). Tsoar; Arens (2003) também discorrem sobre a vegetação ser o fator preponderante para conter o movimento das dunas em locais com alta energia eólica. Neste contexto Martinho (2008) ao analisar dados de vento de toda costa do RS, constatou que em Mostardas é onde há maior energia de ventos na costa do Estado, com menor incidência de calmarias na série analisada. A mesma autora também demonstra a deriva eólica para W e SW no local, também corroborando com os dados apresentados.

O gráfico 3f (rosas de vento) demonstra o intervalo de dados entre 10 de outubro de 2016 e 5 de novembro do mesmo ano. Este período é substancialmente importante, uma vez que no dia 27 de outubro deste ano ocorreu a passagem de um forte ciclone extratropical, que atingiu a costa central e Sul do RS (Oliveira *et al.*, 2017) ocasionando retração da linha de costa generalizada. Neste sentido os dados dos cálculos de variação de linha de costa (figura 31) e área de dunas perdida (gráfico 2) apresentaram uma retração média de 13,8 m no período com uma redução da área de dunas superior a 27 mil m², sendo a maior variação encontrada neste acompanhamento mensal. Todavia, ao analisarmos os dados de vento, nesta escala mensal de análise, é difícil perceber a influência dos ventos de SW que atingiram toda a costa do Estado, ficando evidentes na rosa de vento apenas os ventos de NE. Porém, ao analisarmos com um pouco mais de cautela, é possível perceber ventos de SW, superiores a 12m/s na parte mais central do

gráfico 3f. Este excepcional evento ficou bastante evidente e foi destacado no gráfico 5 (vento) e nos gráficos 7 e 9 (ondas) além do gráfico 10 que aborda apenas este evento extremo.

Os eventos que podem ocasionar grande erosão na costa são para Machado *et al.*, (2010) ocasionados por sistemas meteorológicos como ciclones extratropicais de alta intensidade que ocorrem no sul do Brasil gerando ondas de alta energia, podendo levar um perfil de praia de um estágio máximo acrescido ao máximo erosivo em poucas horas.

Analisando os dados de vento demonstrados no gráfico 5, estes apontam para ventos de SW virando para S com rajadas superiores aos 27 m/s (~100km/h), nos dias 27 e 28 de outubro de 2016. Já os gráficos 7,9 e 10 demonstram que o auge do evento ocorreu na madrugada do dia 28 de outubro, onde as ondas apresentaram altura significativa de mais de 9 m no ondógrafo situado próximo a Mostardas, chegando até 14 m de altura máxima (a), sendo que no situado em águas mais rasas, a altura significativa das ondas passou dos 5 m (b). É possível ainda observar, que ocorreu uma sutil mudança na direção das ondas a partir do início da tarde do dia 27, o que propiciou que as ondas que já estavam aumentando em altura com direção SW, passassem a incidir na costa na direção S (c). O período (d) foi de cerca de 15 segundos e permaneceu alto por vários dias. Estas ondas cresceram abruptamente junto a costa, fato demonstrado nos dados do ondógrafo situado em águas mais rasas, passando de menos de 2 m no final da tarde do dia 27 para mais de 4 m na madrugada do dia 28, chegando a 5 m ao longo do dia 28 de outubro. Já no ondógrafo em águas mais profundas as ondas aumentaram sua altura mais gradativamente. A variação na direção das ondas (de SW para S) e o expressivo incremento na sua altura foi acompanhada por uma subida no nível da maré (e), fazendo com que as ondas avançassem significativamente em direção as dunas (OLIVEIRA *et al.*, 2017). O avanço das ondas em direção as dunas no balneário Mostardense é demonstrado na figura 37:

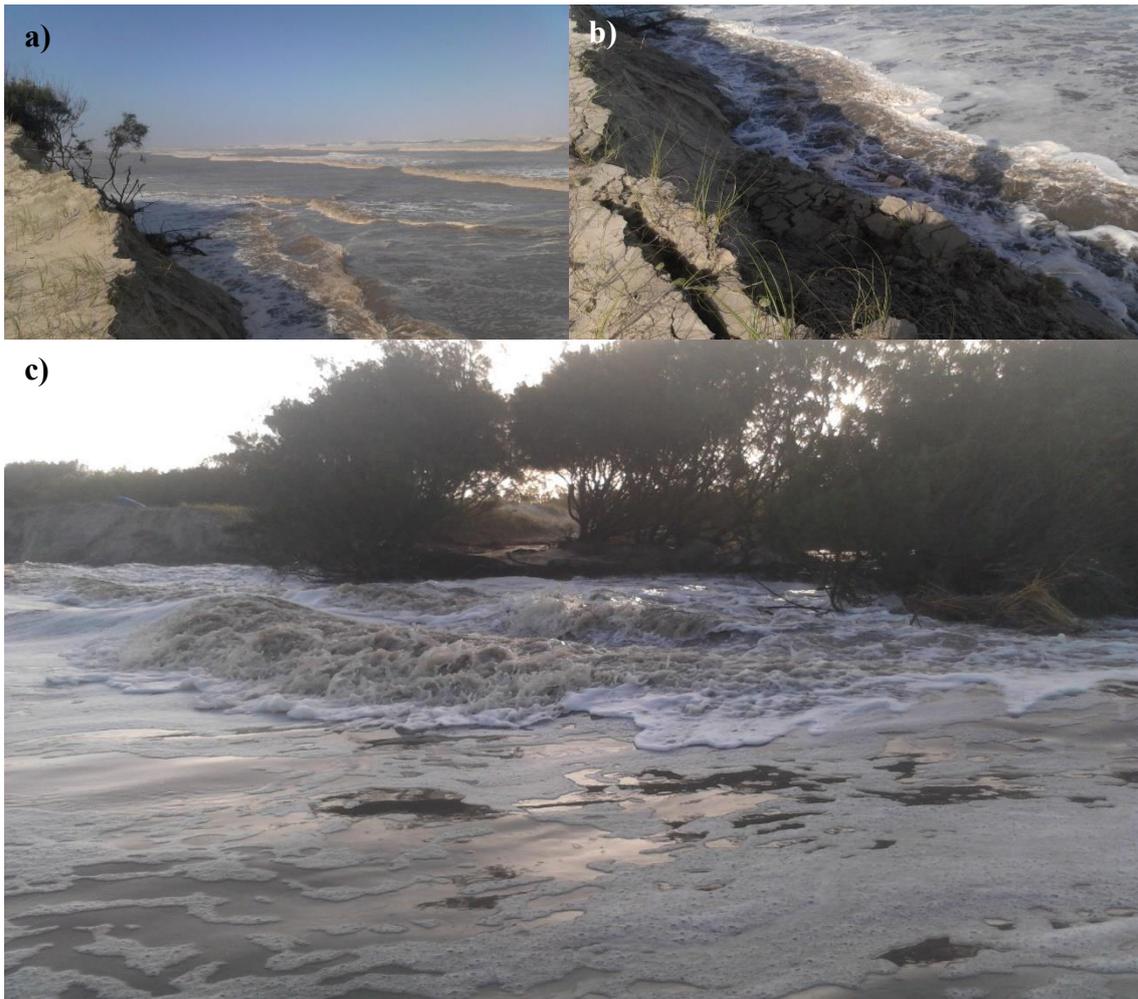


Figura 37. Fotografias realizadas ao final da tarde do dia 28/10/2016 por morador local, demonstrando a maré meteorológica positiva e ondas de alta energia chegando a base das dunas frontais. (a) Arbustos expostos a ação marinha direta. (b) Ondas solapando a base da duna frontal. (c) Inundação na proximidade de um canal sangradouro.

Estes dados coletados despreziosamente por moradores locais (figura 37) demonstram claramente a elevação de nível de maré, além da elevada energia de onda, com capacidade para remover completamente alguns segmentos de dunas frontais, expondo arbustos e suas raízes a dinâmica marinha direta. O local demonstrado na figura 37 (a) e (b) possuía uma grande duna frontal com cerca de 3 a 4 m de altura, que foi completamente removida por ação marinha, que ainda causou a inundação das áreas mais baixas nas proximidades dos sangradouros (c).

Os efeitos deste evento, podem ser visualizados nas figuras a seguir, com alteração muito significativa do traçado da linha de costa, além dos dados anteriormente citados. As fotografias realizadas em campo, ilustram de forma bastante clara este processo erosivo (figura 38).



Figura 38. (a) Fotografia vertical realizada a 400 m em 15 de junho de 2016 com destaque para ocupação e para o campo de dunas frontais. (b) Fotografia vertical realizada a 400 m em 5 de novembro de 2016 com destaque para a mesma ocupação e para o processo erosivo que removeu grande parte das dunas frontais, expondo a vegetação da frente da ocupação diretamente a ação marinha.

Embora a variação da linha de costa entre outubro e novembro de 2016 tenha sido de 13,8 m em média, em alguns segmentos como o ilustrado na figura 38, a retração foi superior a 40 m, ameaçando diretamente esta ocupação pela ação marinha no caso de eventos futuros. Neste sentido, da possibilidade de eventos futuros, Melo *et al.*, (2010) ao utilizar dados de modelagem, aferidos por dados medidos em campo, estimaram um total de 40 eventos extremos, com altura significativa (H_s) superior a 6 m em um intervalo de análise de 30 anos (1979-2008). Os mesmos autores ainda evidenciaram que os 5 eventos mais energéticos destes 40 selecionados, possuíam todas as mesmas características, com ventos soprando do quadrante S por longos segmentos oceânicos, criando condições de mar extremas, com ondas de S com (H_s) em torno dos 8 m. Este fato é substancialmente importante uma vez que em um período de 30 anos de análise, estes autores evidenciaram pelo menos 5 eventos similares ao ciclone ocorrido em outubro de 2016, o que demonstra que este tipo de evento, pode hipoteticamente ocorrer em intervalos inferiores a uma década, ameaçando as ocupações costeiras muito próximas ao limite praia duna.

Ao analisarmos este segmento por uma perspectiva oblíqua, ainda é possível identificar ocupações em processo de soterramento muito próximas a esta ocupação ameaçada diretamente pela dinâmica marinha. Isto se dá pelo fato que o processo de retração de linha de costa no balneário Mostardense, está suprimindo as dunas frontais, sendo que estas são erodidas pela dinâmica marinha que as torna também mais susceptíveis a dinâmica eólica que em certos momentos, as remobiliza para o interior do continente, por vezes soterrando as ocupações que estavam situadas no reverso das dunas frontais (figura 39).



Figura 39. (a) Fotografia oblíqua de drone realizada na extremidade Norte do Balneário Mostardense com destaque para uma das ocupações mais ameaçadas pelo processo de erosão costeira. (b) e (c) Mesma ocupação sobre duas diferentes perspectivas oblíquas onde também é possível observar outras ocupações em processo de soterramento nas adjacências.

No segmento mais ao S da área de estudo, quando da passagem do ciclone, uma ocupação que vinha sendo acompanhada por registro fotográfico sofreu danos provenientes de ação direta das ondas. Salienta-se que esta ocupação estava sendo

fotografada com intuito de ilustrar a dinâmica eólica no local, pois a mesma está sendo soterrada. Ainda assim, quando da passagem do ciclone a mesma sofreu colapso parcial. Isto gerou uma situação peculiar, ação direta de ondas e soterramento de ocupação em uma mesma casa (figura 40).



Figura 40. (a) Ocupação vulnerável a soterramento eólico e a erosão costeira fotografada em 10 de outubro de 2016. (b) Mesma ocupação em 5 de novembro de 2016, parcialmente destruída pela ação direta das ondas. (c) Intervenção antrópica realizada no local terraplanando um dos acessos a praia em 13 de agosto de 2016. (d) Ocupação visualizada em fotografia oblíqua realizada com auxílio de drone em 5 de novembro de 2016.

O ocorrido com esta ocupação tem também influência de ação antrópica mal planejada, pois há um arruamento que chega a praia em frente a mesma. Em um dos trabalhos de campo realizados foi possível flagrar a prefeitura realizando a abertura desta e de outras vias de acesso à praia, removendo a proteção natural das dunas frontais a ação de tempestades costeiras.

Outro dado interessante para aprofundar essa discussão surgiu também após a passagem do ciclone. O alicerce de uma ocupação que estava soterrada, aflorou no pós praia após a acentuada retração de linha de costa ocorrida. Este fato é substancialmente importante para caracterizar o processo erosivo não apenas de forma pontual (quando da passagem deste evento extremo) mas também já em uma escala decadal, fato que corrobora com os dados demonstrados no item 6.1, sobretudo na tabela 5 e figura 20. Esta ocupação foi construída no reverso das dunas frontais, foi soterrada pela ação eólica e

posteriormente seus destroços foram desenterrados por ação marinha, aflorando no pós praia (figura 41).



Figura 41. Alicerce de ocupação que estava soterrada, aflorando no pós praia após passagem de evento de alta energia. Fotografia obtida em 5 de novembro de 2016 a partir de um drone.

Ao continuarmos a análise dos dados demonstrados no item 6.2. podemos observar no gráfico 4a (rosas de vento) a predominância de ventos do quadrante NE, isto culminou em uma recomposição média do limite superior da praia de 0,28 m no período (figura 31). A fotografia oblíqua (figura 42) extraída a partir do drone ainda revela as demais características do balneário no momento da aquisição da fotografia, como a presença de um significativo aporte eólico na base das dunas frontais (decorrente do aumento da radiação solar e temperatura e o declínio da umidade - gráficos 11 e 12), a presença de cúspides praias e de deriva litorânea para S, característica de períodos menos energéticos, demonstrados no gráfico 7 (onda) que propiciam a recomposição do perfil praias.



Figura 42. Fotografia oblíqua do balneário Mostardense em 7 de dezembro de 2016 obtida a partir de um drone.

Já o gráfico 4b (rosas de vento) correspondente ao intervalo anterior aos dados obtidos em 12jan2017 demonstra uma predominância de ventos de NE, característico do verão da região, com a praia estando majoritariamente com um comportamento acrescivo, como descrito por Mello *et al.*, (2010). Todavia os dados de variação de linha de costa indicaram uma leve retração média de 0,25 m no período (figura 32). Os dados de onda seriam relevantes para se aprofundar essa discussão, porém, infelizmente há “buracos” nas séries dos dois ondógrafos utilizados na pesquisa neste intervalo, impossibilitando sua análise.

Os dados do gráfico 11 (a) e (b) nos demonstram o aumento da radiação solar e temperatura entre outubro2016 e abril2017, isso também potencializou o transporte eólico, todavia o primeiro semestre de 2017, foi substancialmente mais chuvoso do que o segundo semestre de 2016 na área de estudo, como demonstrado no gráfico 12 (a). Isto pode ter prejudicado um pouco o transporte eólico durante o primeiro semestre de 2017. A figura 43, extraída a partir do drone em 12 de janeiro de 2017, demonstra claramente o contraste entre uma berma de acreção formada nos momentos menos energéticos sobretudo com incidência de ventos de NE fato corroborado pelos dados meteorológicos

obtidos (gráfico 5), e a presença massiva de minerais pesados no pós praia e base das dunas frontais, quase como “cicatrices” do traçado da linha de costa anterior a passagem do ciclone. Há de se considerar ainda a possibilidade de uma leve erosão por ação eólica ocorrida no período, fato que justificaria a inconformidade dos dados de variação de linha de costa frente a predominância de ventos de NE.



Figura 43. Berma de acreção em contraste com presença massiva de minerais pesados no balneário Mostardense em 12 de janeiro de 2017.

Continuando a análise, o gráfico 4c (rosas de vento) nos remete aos dados anteriores ao trabalho de campo realizado em 7fev2017 com predomínio de ventos de NE e E. Neste período a praia apresentou uma leve progradação de cerca de 0,31 m, demonstrados na tabela 6 e na figura 32. Os dados do gráfico 6 (vento) demonstram claramente a ação desses ventos, já quando analisamos os dados de onda (gráfico 8) estes estão bastante fragmentados no intervalo analisado, todavia ainda sim demonstram o predomínio de ondas de NE e E corroborando com os dados obtidos.

Já o gráfico 4d (rosas de vento) demonstra os dados anteriores ao trabalho de campo realizado em 7mar2017 também com predomínio de ventos de NE porém com ventos com intensidades superiores a 10 m/s com orientação SE. Ao recorrer aos dados de vento (gráfico 6) este demonstra o predomínio de ventos de NE, assim como o gráfico 8 (ondas) demonstra o predomínio de ondas de NE e E no período, porém ao final deste

intervalo observa-se ondas de alta energia, com alturas próximas aos 5 m de orientação S e SE. Ao comparar a linha de costa deste intervalo com a linha de costa do intervalo anterior, a mesma apresentou estabilidade, com pequenas variações que levaram a um balanço sedimentar considerado estável. Todavia como os dados de vento e onda demonstram, é muito provável que tenha ocorrido um período de recomposição praial, seguido de um período de retração da linha de costa que levou a esse balanço sedimentar estável, refletindo a alta dinâmica da linha de costa no local, mesmo em uma frequência de análise mensal.

O gráfico 4e (rosas de vento) nos demonstra a presença massiva de ventos de NE e E, com intensidades superiores a 10 m/s, sendo que neste período a linha de costa apresentou uma progradação média de 0,45 m (figura 32). Este dado corresponde ao período de análise entre março e abril de 2017. Os dados de onda (gráfico 8) demonstram um evento de alta energia de ondas virando de SW para S, com períodos superiores a 15 s e alturas na casa dos 5 m no início da série. Na sequência os mesmos demonstram a predominância de ondas de E e SE de menor energia. Os dados do gráfico 6 (vento) demonstram ventos de E e NE soprando durante a maior parte do período. As fotografias de campo ilustram o aporte eólico e a presença de cúspides praiais, bem como a deriva litorânea para S (figura 44).



Figura 44. Fotografia oblíqua de drone demonstrando a regeneração do perfil praial com presença de cúspides obtida em 5/4/2017.

Já o gráfico 4f (rosas de vento) demonstra ventos bem distribuídos entre NE, W, SSW e W, com predominância de NE e com ventos acima de 10 m/s de W. Neste período entre abril e maio de 2017, a linha de costa teve uma progradação média de 0,81 m (figura 32). Isto ocorreu muito provavelmente porque ao analisarmos os dados de onda disponíveis no gráfico 8, é possível perceber que neste intervalo o único evento com maior energia de ondas, gerou ondas com orientação geral de NE que não costumam causar retração das dunas frontais no RS em função das marés mais baixas geradas.

O gráfico 4g (rosas de vento) demonstra os dados do período entre maio e junho de 2017, onde é possível observar ventos bem distribuídos em todas as direções, ainda com predominância de ventos de NE, e presença de ventos intensos de WSW, SW, SSW, S e SE, característicos da chegada do inverno. Neste período a linha de costa apresentou retração média de 0,85 m como elucidado na tabela 6 e na figura 32. A análise dos dados de onda do gráfico 8, revelou que neste período, foram identificados pelo menos 4 eventos com ondas de S e alturas médias entre 3 e 5 m que poderiam ter auxiliado nesse processo de retração de linha de costa. O gráfico 4h (rosas de vento) compila os dados de vento durante todo o período analisado, ilustrando claramente o predomínio de ventos do quadrante NE, ainda com presença de ventos com intensidades superiores a 10 m/s de direções entre W e S.

6.2.3. Estado morfodinâmico da praia

As imagens oblíquas de drone possibilitaram dar um outro enfoque, mais de caráter qualitativo e conceitual, do estado ou estágio morfodinâmico da praia ao longo do monitoramento (figura 45). Embora não seja um objetivo do trabalho é necessário identificar algumas questões referentes.



Figura 45. Fotografias aéreas oblíquas de drone do segmento sul do balneário Mostardense em: (a) 15/6/2016, (b) 8/7/2016, (c) 9/9/2016, (d) 5/11/2016, (e) 12/1/2017, (f) 7/3/2017, (g) 4/4/2017 e (h) 5/5/2017. Fotos: Rodrigo Silva Simões. Elaboração: Ulisses Rocha de Oliveira.

Na figura 45, as fotografias (a) e (b) demonstram o balneário Mostardense em junho e julho de 2016 respectivamente. Em ambas as imagens, a praia apresentava dois

bancos longitudinais bem demarcados, com ondas de S, gerando deriva para N, sendo que na figura 45(b) havia uma energia de onda consideravelmente maior do que na figura 45(a), com ondas arrebatando no banco externo e a costa apresentando um caráter mais erosivo. No terceiro período analisado (figura 45c) em setembro de 2016 a praia apresentava deriva para S. Já em novembro de 2016 a área de estudo apresentava deriva para N (figura 45d). Nestas duas imagens os dois bancos longitudinais não estavam tão paralelos, havendo uma junção dos bancos ao sul do balneário. Neste caso a praia apresentava algumas evidências de ação eólica e cúspides praias. Na fotografia extraída em janeiro de 2017 (figura 45e), é possível observar claramente o aparecimento de uma berma de acreção característica de momentos menos energéticos sob influência de ventos de NE e deriva para S. Neste período a praia apresentou algumas características de praia rítmica. Em março de 2017 (Figura 45f) a berma que estava bem demarcada em janeiro, já não parecia mais tão evidente, estando bastante fragmentada por ação marinha. Já em abril de 2017 (figura 45g) as cúspides praias estavam bem pronunciadas com deriva resultando para S e bastante aporte eólico no pós praia. Ressalta-se que a junção dos bancos encontrados na figura 45d ainda pode ser observada na figura 45g. Já em maio de 2017 estas cúspides também estavam bem demarcadas, porém sem a presença de tanto aporte eólico. Pode-se observar ainda que haviam dois bancos longitudinais bem demarcados, provavelmente fruto do retorno da alta energia no início do outono.

Em todas as fotografias da figura 45, a praia apresentou comportamento morfodinâmico intermediário com predominância do estado banco e calha longitudinal podendo ainda ter apresentado banco e praia rítmicos em alguns momentos.

6.3. Situação das edificações a beira mar em relação aos processos de erosão costeira e movimentação eólica

Após a análise conjunta de todos os dados levantados para esta pesquisa, sejam eles obtidos por drone ou imagens orbitais, dados meteo-oceanográficos e dados extraídos da literatura regional, bem como a revisão bibliográfica realizada, foi possível analisar a situação das edificações a beira mar em relação aos processos de retração da linha de costa e movimentação eólica a partir de um produto cartográfico síntese.

Este produto levou em consideração as linhas de costa vetorizadas nesta pesquisa, o transporte eólico frente ao vento predominante, futuras linhas de costa com base nas taxas de recuo encontradas, a área perdida de dunas frontais nos últimos 12 anos, as ocupações soterradas pela dinâmica eólica ou que sofreram avarias pela ação marinha e as ações antrópicas que podem potencializar o processo de erosão costeira. Com base nos dados obtidos na pesquisa e nas observações contidas no Projeto Orla, publicado em 2004, foram vetorizadas como ocupações diretamente ameaçadas por processos marinhos aquelas que se encontravam a menos de 50 metros do limite praia duna, visto que este é o limite mínimo recomendado pelo documento para áreas já urbanizadas. Ainda é importante destacar que o mesmo documento sugere que litorais como o do Rio Grande do Sul, associados a largas planícies costeiras, podem ainda necessitar de áreas de exclusão de ocupações ainda superiores aos 50 m, sendo este um valor mínimo.

A figura abaixo também contempla a síntese das informações mais relevantes obtidas no trabalho no que concerne ao gerenciamento costeiro no local. Nesta, foram destacadas as ocupações já removidas ou soterradas pela dinâmica eólica, as ocupações com distâncias inferiores a 10 m do limite praia duna (situação crítica), as ocupações com distâncias inferiores a 50 m do limite praia duna, a linha de costa de agosto de 2005, a linha de costa de junho de 2017, as ocupações defrontantes ao oceano em 2005, as novas ocupações defrontantes ao oceano em 2017, os acessos a praia que potencializam o processo de erosão costeira e deveriam ser fechados, além de projeções de linhas de costa futuras (2027 e 2037) com base na menor taxa anual de recuo do limite praia duna encontrada nesta pesquisa (2,5 m/ano). Considerando isto, este documento final, é um registro que demonstra no que diz respeito as projeções futuras para o balneário Mostardense, um cenário de certa forma até otimista, podendo a evolução do processo de retração de linha de costa no referido balneário, ocorrer de maneira mais abrupta e com taxas mais elevadas nos próximos anos (figura 46).

SITUAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES A BEIRA MAR EM RELAÇÃO AOS PROCESSOS DE EROÇÃO COSTEIRA E MOVIMENTAÇÃO EÓLICA

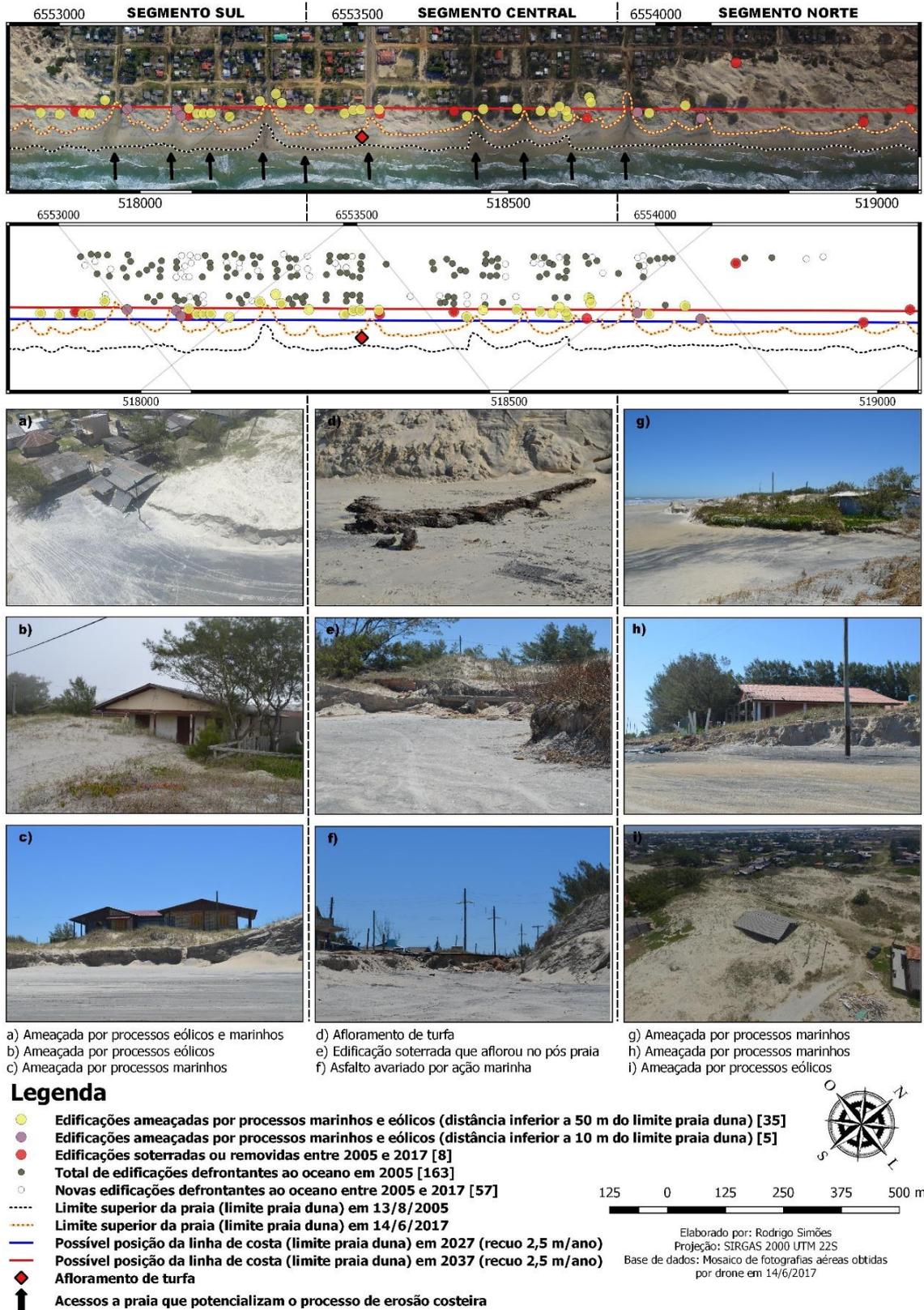


Figura 46. Produto cartográfico síntese da situação das edificações a beira mar em relação aos processos de erosão costeira e movimentação eólica.

Como é possível observar no produto cartográfico síntese (figura 46), foram identificadas 35 edificações com distâncias inferiores a 50 m do limite praia duna. Estas edificações foram vetorizadas como ameaçadas pelos processos marinhos, visto que os dados da pesquisa demonstram o claro processo erosivo no referido balneário, podendo ainda em caso de um único evento meteo-oceanográfico extremo nos próximos anos, virem a sofrer danos estruturais decorrentes de ação marinha direta. Algumas dessas edificações também estão ameaçadas por processos eólicos, como demonstrado nos itens anteriores, remetendo a alta dinâmica da área ocupada. Ainda foram destacadas as edificações em situação mais crítica frente aos processos marinhos. Estas casas estão situadas a menos de 10 m do limite praia duna atual e evidentemente podem sofrer destruição e perda de patrimônio edificado nos próximos anos se as taxas de recuo de linha de costa encontradas nesta pesquisa, se mantiverem para o referido sítio urbano.

Neste documento ainda foram destacadas oito ocupações que foram removidas ou soterradas no período, embora possam ainda existir mais. Destaca-se o fato de não ter sido realizada uma pesquisa mais detalhada sobre o histórico de cada ocupação, podendo algumas dessas casas terem sido removidas por ações judiciais, por este motivo foram classificadas como soterradas ou removidas. Todavia as fotografias e observações obtidas em campo, demonstrando o afloramento dos alicerces e destroços de uma dessas edificações no pós praia, de ocupações atualmente em processos de soterramento, e de algumas ruínas parcialmente soterradas parecem corroborar com os dados de edificações soterradas no balneário Mostardense, sendo ainda sua quantificação bastante difícil por uma falta de mais imagens orbitais disponíveis em softwares de acesso livre como o *Google Earth Pro*, o que possibilitaria a análise de dados em diversos intervalos.

No que diz respeito as ocupações consideradas defrontantes ao oceano (aquelas a SE da rua B) em 2005 haviam 163 edificações, já em 2017 haviam 220 construções, caracterizando um crescimento de 35% no número de ocupações defrontantes ao oceano em um intervalo inferior a 12 anos em uma área com elevada erosão costeira que ameaça essas ocupações de destruição por ação marinha nas próximas décadas. Isto também foi demonstrado no documento, quando plotadas as projeções de posição de linhas de costa futuras, com base na menor taxa de recuo encontrada (2,5 m/ano). Estes dados simulam a posição futura da linha de costa em 2027 e 2037, e como pode ser observado na figura 46, a linha de costa irá muito provavelmente atingir o limite da urbanização já em 2027, estando praticamente todas as casas vetorizadas como ameaçadas por processos marinhos e eólicos atrás da linha de costa projetada para 2037.

Cabe ainda salientar que esta projeção grosseira não reflete o real comportamento da linha de costa, que não é totalmente retilínea e que sofre flutuações de maior e menor magnitude em determinados segmentos, podendo ainda o comportamento da mesma ser mais agressivo no que diz respeito a destruição de ocupações em função de que os arruamentos que fragmentam as dunas frontais, podem potencializar ainda mais esse processo. Contudo essas projeções são válidas a medida que demonstram o enorme desafio que os gestores e a comunidade locais irão enfrentar nos próximos anos, mesmo com projeções bastante modestas no que diz respeito as taxas de recuo de linha de costa.

A vetorização das linhas de costa de 2005 e 2017 na figura 46, demonstra o recuo do limite praia duna, superior a 40 metros nesse período de análise, a área entre essas duas linhas, corresponde unicamente a área de dunas perdida no período (superior a 80 mil m²). Isto teve também influência dos arruamentos, sobretudo aqueles que foram abertos ou ampliados após 2005 como apontado no documento. O surgimento de turfas na porção central do balneário (destacado na figura), também emerge como uma evidência geomorfológica bastante contundente de um processo de erosão costeira de longo período, que embora possa sofrer flutuações ou relativa estabilidade em uma determinada escala de análise, tem uma tendência de longo e médio prazo erosiva bastante clara.

É importante destacar que quando da passagem do ciclone em outubro de 2016, em alguns segmentos mais de 40 metros de dunas frontais foram levados em um único evento, o que pode muito provavelmente vir a ameaçar as ocupações próximas do limite praia duna em caso de eventos extremos futuros. A incidência destes eventos excepcionais de erosão, provavelmente é o principal problema a ser enfrentado no local dadas as mudanças climáticas em curso. Soma-se a isto a hipótese das “*sandwaves*” que caracterizam o complexo contexto geomorfológico local.

Considerando tudo isso é evidente a urgência em medidas no sentido de mitigar os efeitos da erosão costeira no local, visto que o mesmo se encontra nas adjacências do Parque Nacional da Lagoa do Peixe, local de grande valor ambiental. Caso ações como a remoção das ocupações a SE da rua mais próxima ao oceano e posteriormente da rua B, o fechamento dos acessos a praia e a conscientização da população local para evitar o trânsito sobre as dunas não sejam tomadas, o balneário Mostardense pode vir a experimentar situação similar à ocorrida no balneário Hermenegildo (destruição de edificações e dunas), em um futuro que não tarda a chegar, com grande degradação ambiental e perda de patrimônio edificado por erosão costeira, fruto da combinação da dinâmica natural e de uma ocupação mal planejada ou sem planejamento algum.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao término dessa pesquisa, após mais de um ano de acompanhamento intenso, totalizando 13 trabalhos em campo para coletas de dados com drone, o levantamento de imagens orbitais e a coleta e tratamento de mais de 30 mil linhas de dados meteo-oceanográficos, foi possível fazer uma análise sob a ótica da geomorfologia e morfodinâmica costeira, tendo como objeto central o limite praia duna junto ao balneário Mostardense. Neste sentido, o levantamento de dados da literatura local, regional e referências de aspecto global, também auxiliaram para avançar as discussões sobre a retração da linha de costa e dinâmica eólica na área de estudo em diferentes escalas temporais.

Os resultados demonstram claramente que o balneário Mostardense vem sofrendo um processo de retração de linha de costa bastante significativo, pelo menos desde 2005 (início da coleta de dados), mas que ainda muito provavelmente, pode ser um processo em escala de tempo maior, como algumas evidências em campo parecem demonstrar. As taxas de retração de linha de costa encontradas na pesquisa, se assemelham as taxas encontradas nos dois principais “*hotspots*” erosivos da costa do Rio Grande do Sul.

Os dados do monitoramento mensal, demonstram de forma bastante didática, a não linearidade da linha de costa e seu comportamento frente as variáveis meteo-oceanográficas avaliadas. Fortes ventos soprando de S e SW por longos segmentos oceânicos, criam as condições oceanográficas mais energéticas que podem ocasionar acentuada erosão costeira, em intervalos de apenas um ou dois dias. Neste sentido, salienta-se que a questão da sazonalidade dos processos erosivos, não ficou evidenciada durante a pesquisa, pois apesar de se ter mais ventos de S, durante o inverno e onde consequentemente se esperaria um processo erosivo mais acentuado, o período onde ocorreu a maior retração da linha de costa foi na primavera, com predominância de ventos de NE.

Com o avanço da retração da linha de costa não linear, as dunas frontais vêm sendo suprimidas entre as ocupações e o pós-praia, uma vez que o processo remove parte da fixação natural que a vegetação fornece às dunas. Isto permite que a ação eólica as remobilize em direção ao continente, inevitavelmente atingindo as casas que estavam anteriormente no reverso das dunas frontais, que acabam por ser soterradas ou removidas pelos moradores locais. A urbanização do balneário foi efetuada sobre uma área altamente instável e vem sofrendo com os efeitos da mesma, primeiramente resultante de processos

eólicos e no futuro próximo provavelmente irá sofrer com processos marinhos diretos decorrentes da erosão costeira. Apesar de uma única ocupação ter sido afetada pelos processos marinhos durante o acompanhamento realizado, é possível afirmar que em breve outras ocupações poderão sofrer danos estruturais devido ao recuo da linha de costa como elucidado claramente no produto cartográfico síntese. Mesmo considerando-se o fato que o processo erosivo na área de estudo é de caráter natural, este pode estar sendo potencializado por ações antrópicas mal planejadas como a abertura de ruas que chegam à praia. Estas removem a proteção natural fornecidas pelas dunas frontais e fragmentam as mesmas. A circulação de veículos *off road* e o pisoteio, também podem ser fatores antrópicos que estão auxiliando a maximizar os efeitos do processo erosivo natural.

Destaca-se ainda que os resultados apresentados constituem uma importante base para futuros estudos no local, pois demonstram a necessidade de se pensar com cautela na frequência de análise para este tipo de variável, podendo se considerar ainda a possibilidade de frequências de análises oportunistas (antes e depois da passagem de grandes tempestades) conjuntamente com frequências mensais.

É importante ainda afirmar que a ferramenta drone, apresenta-se para a pesquisa em geografia física, sobretudo sobre o escopo da geomorfologia costeira e morfodinâmica, como uma ótima aliada, possibilitando inúmeros estudos, podendo contemplar muitas variáveis. Drones de pequeno porte e baixo custo, como o drone DJI® Phantom 3 Professional utilizado na pesquisa, possuem limitações quando comparados a drones de maior porte e evidentemente muito mais onerosos. Como principal limitação pode-se salientar o fato deste pequeno drone, não possuir um GPS Topográfico embutido, o que possibilitaria a realização de levantamentos com maior detalhamento no eixo Z (altimétrico). Outra das limitações do equipamento é o curto tempo de duração das baterias (cerca de 23 min), mas este não é um problema apenas do DJI® Phantom 3 Professional, e sim de todos os drones de pequeno porte e baixo custo operacional. Esta curta duração da bateria do drone, exige dos pesquisadores um planejamento detalhado antes da realização de cada voo. O tempo de duração de uma única bateria, quando bem aproveitado, é o suficiente para realizar uma longa série de fotografias verticais e oblíquas de toda a linha de urbanização defrontante ao oceano de segmentos com mais de 2 km de largura, dependendo é claro, da altitude do voo e da intensidade dos ventos.

Outro aspecto bastante importante a se destacar sobre a utilização desse equipamento no estudo da orla oceânica, é que a operação do mesmo exige uma equipe de apenas duas pessoas, sendo uma dessas pessoas o pesquisador responsável pela

operação do drone, e a outra atuando como observador, mantendo o drone sempre na linha de visada, cuidando da segurança do mesmo e de todos ao seu redor, auxiliando no processo de montagem e desmontagem do equipamento e estando a postos para assumir o controle do drone no caso de um mal súbito do piloto.

As potencialidades do drone DJI® Phantom 3 Professional vão além das supracitadas e cabe a cada pesquisador adequar a metodologia descrita as especificidades de sua pesquisa. Neste sentido, as fotografias oblíquas emergem como uma possibilidade para diversas análises qualitativas das categorias da geografia e de outras áreas do conhecimento, com destaque para a paisagem. Essas fotografias também podem ser utilizadas para compreender processos geomorfológicos inerentes a dinâmicas de praias e adjacências, como movimentação dunar, movimentação sedimentar na zona de surf e pós praia e processos de drenagem. A riqueza de detalhes permite aos pesquisadores, abstraírem diversas hipóteses ao analisar apenas uma única fotografia oblíqua. Por outro lado, as fotografias verticais permitem a construção de ortomosaicos e modelos digitais de superfície, que apesar de exigirem um conhecimento técnico de geoprocessamento um pouco mais elevado, permitem a quantificação de inúmeros processos, por vezes ilustrados nas fotografias oblíquas.

Aliar duas perspectivas distintas de visualização (vertical e oblíqua), bem como a utilização de um “drone”, neste caso específico um drone de marca DJI® modelo Phantom 3 Professional, ferramenta de baixo custo operacional, parece ser uma ótima alternativa para a realização de análises em praias e adjacências, pois permitem aos pesquisadores gerar o próprio dado a ser analisado, a partir da operação de um equipamento de fácil acesso. Por fim destaca-se que operações com drone, requerem antes de mais nada cuidados com a segurança, tanto dos operadores como de todos ao seu redor. Operar um equipamento como este, por mais leve e pequeno que seja, por mais similar que a sua operação seja a de um aeromodelo, é preciso saber que este equipamento não configura um brinquedo, e sim uma ferramenta de trabalho que quando bem utilizada, fornece um volume robusto de dados, mas requer responsabilidade de todos envolvidos no projeto, desde o seu planejamento em laboratório a sua execução em campo.

8. REFERÊNCIAS

- ABSALONSEN, L.; TOLDO JR., E. A Influência da Inflexão Costeira na Variabilidade da Linha de Praia em Mostardas – RS. Porto Alegre: **Revista Pesquisas em Geociências**. v. 34 p. 3-18, 2007.
- ALBUQUERQUE, M.G. **Análise espaço-temporal das causas da variabilidade da linha de costa e erosão na praia do Hermenegildo – RS**. Tese de doutorado apresentada à Universidade Federal do Rio Grande do Sul para obtenção do título de Doutor em Geociências. Porto Alegre – RS, 2013. 127 p.
- ALBUQUERQUE, M.G.; ESPINOZA, J.M.A.; OLIVEIRA, A.; CORRÊA, I.; CALLIARI, L.J. Erosion or Coastal Variability: an evaluation of the DSAS and the Change Polygon methods for the determination of erosive processes on sandy beaches. Florida: **Journal of Coastal Research**. Special Issue v. 65 p. 1710-1714, 2013.
- ALBUQUERQUE, M.G.; ALVES, D.L.; MACHADO, A.; ESPINOZA, J.; CALLIARI, L.; GANDRA, T. Capítulo 2. **Gestão costeira e riscos associados a tempestades: um panorama dos impactos costeiros causados pelos eventos extremos no Rio Grande do Sul, Brasil**. In. DE PAULA, D.P.; DIAS, J.A. Ressacas do Mar/Temporais e Gestão Costeira, Fortaleza: Premius, 2015. 448 p.
- ALVES, A.R. Long-term erosional hot spots in the southern Brazilian coast. **Journal of Geophysical Research**. v. 114 p. 1-11, 2009.
- BARLETTA, R. C.; CALLIARI, L. J. Determinação da intensidade das tempestades que atuam no litoral do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: **Pesquisas em Geociências**, v. 28(2), p 117-124, 2002.
- BARLETTA, R.C. **Teste e aplicação de modelos parabólicos de refração-difração com ênfase na propagação de ondas sobre parcéis**. Tese de doutorado apresentada à Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do título de Doutor em Engenharia Ambiental. Florianópolis – SC, 2006. 155 p.
- BIRD, E. **Coastal Geomorphology – An Introduction**. England: Wiley, 2008. 436 pg.
- BOAK, E.H.; TURNER, I.L. Shoreline Definition and Detection: A Review. Florida: **Journal of Coastal Research** v. 21 p. 688-703, 2005.
- BOWMAN, D.; PRANZINI, E. Shoreline monitoring: review and recommendations. In: PRANZINI, Enzo; WETZEL, Lilian. **BEACH EROSION MONITORING**. Florence: Nuova Grafica Fiorentina, 2007.
- CALLIARI, L.R.; MUEHE, D.; HOEFEL, F.G.; TOLDO JR. E. Morfodinâmica praial: uma breve revisão. São Paulo: **Revista Brasileira de Oceanografia**. v. 51 p. 53-68, 2003.
- CALLIARI, L.R.; PEREIRA, P.S.; DE OLIVEIRA, A.O.; FIQUEIREDO, S.A. Variabilidade das Dunas Frontais no Litoral Norte e Médio do Rio Grande do Sul, Brasil. Porto Alegre: **GRAVEL**. v. 3 p. 15-30, 2005.
- CALLIARI, L.J.; TOLDO JR, E.E. Chapter 18 – Ocean Beaches of Rio Grande do Sul. In: SHORT, A.D.; KLEIN, A.H.F. (ORG) **Brazilian Beach Systems**. Florida: Springer, p. 1-36, 2016.
- COOKE, B. C.; JONES, A. R.; GOODWIN, I.D.; BISHOP, M.J. Nourishment practices on Australian sandy beaches: A review. **Journal of Environmental Management**. v. 113 p.319-327, 2012
- DAVIES J.L. A morphologic approach to the world's shorelines. **Geomorphology**. v.8 p.127-142, 1964.

- DILLEMBURG, S. R., ROY, P. S., COWELL, P. J.; TOMAZELLI, L. J. Influence of antecedent topography on coastal evolution as tested by the shoreface translation-barrier model (STM). **Journal of Coastal Research**, V. 16 (1); 71-81, 2000.
- DILLEMBURG, S.R.; TOMAZELLI, L.J.; CLEROT, L.C.P. Gradientes de energia de onda: o principal fator controlador da evolução costeira no Rio Grande do Sul durante o Holoceno superior. **Anais do IX Congresso Brasileiro de Estudos do Quaternário**. 2003
- DILLEMBURG, S.R. TOMAZELLI, L.J, MARTINS, L.R.; BARBOZA, E.G. Modificações de Longo Período da Linha de Costa das Barreiras Costeiras do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: **GRAVEL**. v. 3 p. 9-14, 2005.
- DILLEMBURG, S.R., BARBOZA, E.G., TOMAZELLI, L.J., HESP, P.A., CLEROT, L.C.P; AYUP-ZOUAIN, R.N. Chapter 3 – The Holocene Coastal Barriers of Rio Grande do Sul. *In*: Dillemburg, S.R.; Hesp, P.A. (Ed). Springer. **Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil**. Berlim: Springer, p. 53-91, 2009.
- DISPERATTI, A.A. **Fotografias aéreas inclinadas**. Curitiba: Editora UFPR, 1995. 113 p.
- ESTEVES, L.S. **Variabilidade espaço-temporal dos deslocamentos da linha de costa no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre. Tese de doutorado apresentada ao programa de pós graduação em Geociências, 2004. 150 p.
- ESTEVES, L.S. Rio Grande do Sul. *In*: MUEHE, D. (org) **Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro**. Ministério do Meio Ambiente, p. 460-467, 2006.
- FLORENZANO, T.G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 128 p.
- GONÇALVES, G. R.; SANTOS, S.; DUARTE, D.; DUARTE, J.; GOMES, J. Utilização de geotecnologias na monitorização topográfica da erosão costeira. Lisboa: **I Seminário Internacional UAV**, 2016.
- GONÇALVES, G.; DUARTE, D.; PÉREZ, J.A.; ATKINSON, A.D.; SÁNCHEZ-FERNÁNDEZ, M.; DUARTE, J. **Avaliação da qualidade e adequabilidade de mds obtidos por drones low-cost na monitorização topográfica de dunas primárias**, 2016.
- HESP, P. A. The Beach Backshore and Beyond. *In*: SHORT, A.D. (Org.) **Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics**. Baffins Lane, Chichester, England: Wiley, p. 145-169, 1999.
- HESP, P.A. Coastal sand dunes: form and function. **CDVN Technical Bulletin**. v. 28, 2000.
- HESP. P. A. Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics. **Geomorphology**. v. 48 p. 245-268, 2002 (a).
- HESP. P. A. gênese de cristas de praias e dunas frontais. Fortaleza: **Mercator – Revista de Geografia da UFC**, v. 2 p. 119-125, 2002 (b).
- HESP, P. A. Coastal dunes in the Tropics and Temperate Regions: Location, Formation, Morphology and Vegetation Processes. *In*. MARTINÉZ, M.L.; PSUTY, N.P. **Coastal dunes – Ecology and Conservation**. Berlin: Springer, p. 29-45, 2004.
- HESP, P. A.; DILLEMBURG, S.R.; BARBOZA, E.G.; TOMAZELLI, L.J.; AYUO-ZOUAIN, R.N.; ESTEVES, L.S.; GRUBER, N.L.S.; TOLDO JR. E.E.; TABAJARA, L.L.C.A.; CLEROT, L.C.P. Beach ridges, foredune or transgressive dunefields? Definitions and an examination of the Torres to Tramandaí barrier system, Southern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 77 p. 493-508, 2005.

- HESP, P. A. Surfzone-beach-dune interactions. **Jubilee Conference Proceedings, NCK-Days**, p 35-40, 2012
- HOEFEL, F.G. **Morfodinâmica de praias arenosas oceânicas: uma revisão bibliográfica**. Itajaí: Editora da Univali, 1998. 90 p.
- INMAN, DL.; TAIT, RJ.; NORDSTROM, CE. 1971. Mixing in the surf zone. **Journal of Geophysical Research**, v.76 p. 3493-3514.
- JENSEN, J.R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução de J.C.N. Epiphânio. São José dos Campos: Parênteses, 2009. 598 p.
- KLEIN, A.H.F.; SHORT, A.D. Chapter 1 – Brazilian Beach Systems: Introduction. *In*: SHORT, A.D.; KLEIN, A.H.F. (ORG) **Brazilian Beach Systems**. Springer: Florida, p. 1-36, 2016.
- KOERNER, K.F.; OLIVEIRA, U.R.; GONÇALVES, G. Efeito de estruturas de contenção à erosão costeira sobre a linha de costa: Balneário Hermenegildo, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**. p. 457-471, v, 13, 2013.
- LEAL, K.B. **Análise da variação da linha de costa nos balneários Mostardense, Mar Grosso, Cassino e Barra do Chuí – RS a partir de geotecnologias**. Trabalho de conclusão de curso em Geografia. FURG, 2016. 90 p.
- LIMA, S.F.; ALMEIDA, L.E.S.B.; TOLDO JR., E.E. Estimate of longshore sediments transport from waves data to the Rio Grande do Sul coast. Porto Alegre: **Pesquisas em Geociências**. v. 48 p. 99-107, 2001.
- LIMA, R.N.S. Google Earth aplicado a pesquisa e ensino da geomorfologia. Uberlândia: **Revista de Ensino de Geografia**. v. 5 p. 17-30, 2012.
- LIMA, M.P.R.; SATO, S. E. Análise espaço-temporal (1986 - 2016) do Parque Nacional da Lagoa do Peixe RS. Rio Grande: **Anais do X ENCOGERCO** p. 192-193, 2017.
- LOPES, M.F.A.A. **Aplicação de VANT em estudos geomorfológicos dos litorais rochosos: o exemplo de S. Paio, Vila do Conde**. Dissertação de mestrado apresentada ao programa de Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território. Faculdade de Letras da Universidade do Porto. Portugal, 2015. 105 p.
- MACHADO, A.A.; CALLIARI, L.J.; MELO, E.; KLEIN, A.H.F. Historical assessment of extreme coastal sea state conditions in southern Brazil and their relation to erosion episodes. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences** v. 5(2) p. 105-114.
- MARINO, M.T.R.D.; SÁ FREIRE, G.S. Análise da evolução da linha de costa entre as Praias do Futuro e Porto das Dunas, Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), estado do Ceará, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**. v. 13 p. 113-129, 2013.
- MARTINÉZ, M.L.; PSUTY, N.P; LUBKE, R.A. A Perspective on Coastal Dunes. *In*. MARTINÉZ, M.L.; PSUTY, N.P. **Coastal dunes – Ecology and Conservation**. Berlin: Springer, p 3-10, 2004
- MARTINHO, C.T. **Morfodinâmica e evolução de campos de dunas transgressivos quaternários do litoral do Rio Grande do Sul**. Tese de doutorado em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Porto Alegre, 2008. 241 p.
- MARTINS, L.R.; TABAJARA, L.L.; FERREIRA, E.R. Linha de Costa: problemas e estudos. Porto Alegre: **GRAVEL**. v. 2, p. 40-56, 2004.

- MAZZER, A.M.; DILLEMBURG, S. Variações temporais da linha de costa em praias do sudeste da ilha de Santa Catarina (Florianópolis, SC, Brasil). Porto Alegre: **Pesquisas em Geociências**, v. 36 p. 117-135, 2009.
- MEIRELES. A.J.A.; DA SILVA, E.V.; THIER, P.R.L. Os campos de dunas móveis: fundamentos dinâmicos para um modelo integrado de planejamento e gestão da zona costeira. São Paulo: **GEOUSP – Espaço e Tempo**. v. 20 p. 101-119, 2006.
- MEIRELES. A.J.A. geodinâmica dos campos de dunas móveis de Jericoacoara/CE-BR. Fortaleza: **Mercator – Revista de Geografia da UFC**. v. 22 p. 169-190, 2011.
- MELO, E., ROMEU, M.A.R.; HAMMES, G. R. Condições extremas de agitação marítima ao largo de Rio Grande a partir do Modelo WW3. **IV Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica – FURG (SEMENGO)**, Rio Grande: Rio Grande do Sul, Brasil, 2010. 20 p.
- MIOT DA SILVA, G. **Orientação da Linha de Costa e Dinâmica dos Sistemas Praia e Duna: Praia de Moçambique, Florianópolis, SC**. Tese de doutorado em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Porto Alegre – RS, 2006. 280 p.
- MORAES, A.C.R. **Contribuições para a gestão da zona costeira do Brasil: elementos para uma geografia do litoral brasileiro**. São Paulo: Annablume, 2007. 232 p.
- MUEHE, D. Definição de limites e tipologias de orlas sob os aspectos morfodinâmico e evolutivo. *In*: Ministério Do Meio Ambiente, Ministério Do Planejamento, Orçamento E Gestão. **Projeto Orla: Subsídios para um projeto de gestão**. Brasília, 2004. 101 p.
- NEVES, C.F.; MUEHE, D. Vulnerabilidade impactos e adaptação a mudança do clima: a zona costeira. Brasília: **Parcerias Estratégicas**. p. 217-295, 2008.
- NICOLODI, J.L.; TOLDO JR, E.E.; ALMEIDA, L.E.S.B. Correntes costeiras induzidas por eventos de tempestades no litoral médio do Rio Grande Do Sul. **Anais do IX Congresso Brasileiro de Estudos do Quaternário**. 2003.
- NOSDSTROM, K.F. **Recuperação de praias e dunas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 263 p.
- OLIVEIRA, U.R.; LEAL.; K.B.; SIMÕES, R.S.; RODRIGUES, G.; PORTO, F.; MOREIRA, J. Geomorfologia costeira junto aos balneários oceânicos do litoral médio e sul do estado do Rio Grande do Sul: uma abordagem qualitativa. Imbé - RS: **Anais da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário – ABEQUA**. p. 56-57, 2015.
- OLIVEIRA, U. R.; SIMÕES, R. S.; GAUTÉRIO, B. C.; ESPINOZA, J. M. A. Impactos do ciclone extratropical de outubro de 2016 sobre localidades costeiras do litoral médio e sul do Rio Grande do Sul. Rio Grande: **Anais do X ENCOGERCO**, p. 263-264, 2017.
- OLIVEIRA, U. R.; SIMÕES, R. S.; GAUTÉRIO, B. C.; CALLIARI, L.J. Erosão das dunas frontais em localidades costeiras do litoral médio e sul do Rio Grande do Sul, Brasil, decorrentes de um evento hidrodinâmico extremo ocorrido em outubro de 2016. **Revista Brasileira de Geografia física**. Artigo Submetido.
- PARISE, C. K.; CALLIARI, L. J.; KRUSCHE, N. Extreme storm surges in the south of Brazil: atmospheric conditions and shore erosion. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 57(3) p. 175-188, 2009.
- PAVLOPOULOS, K.; EVELPIDOU, N.; VASSILOPOULOS, A. **Mapping Geomorphological Environments**. Athens: Springer, 2009. 247 p.

- PEREIRA, P.S.; CALLIARI, L.J.; BARLETTA, R.C. Heterogeneity and homogeneity of Southern Brazilian beaches: A morphodynamic and statistical approach. **Continental Shelf Research**, v. 30 p. 270-280, 2010.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE MOSTARDAS – SECRETARIA MUNICIPAL DE PLANEJAMENTO – NÚCLEO DE EDUCAÇÃO E MONITORAMENTO AMBIENTAL (NEMA). Mostardas: **Plano de Manejo das Dunas Costeiras do Município de Mostardas – RS**. 2011. 103 p.
- PORTO, C.J. **Diagnóstico da qualidade ambiental de trechos de orla costeira urbanizada do litoral médio e sul do RS, a partir de indicadores ambientais**. Dissertação de mestrado apresentada ao programa de Pós-Graduação em Geografia – FURG. 2015 101 p.
- RANIERI, L.A.; EL-ROBRINI, M. Evolução da linha de costa de Salinópolis, Nordeste do Pará, Brasil. Porto Alegre: **Pesquisas em Geociências**. v. 42 p. 207-226, 2015.
- SCARELLI, F.M. **Integração de geotecnologias como subsídio a gestão integrada de zonas costeiras, Capão Novo (RS-Brasil) e Ravenna (ER-Itália)**. Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. 2016 184 p.
- SCHOSSELER, V.; TOLDO JR., E.E.; DANI, N. Morfodinâmica da desembocadura da Lagoa do Peixe, litoral sul do Brasil. Porto Alegre: **Pesquisas em Geociências**, v. 44 (1) p.25-39, 2017.
- SCOTTÁ, F.C.; ROCKETT, G.C.; PORTZ, L.; CARDIA, V.C. Deslocamento de dunas costeiras: uma análise através de dados de sensoriamento remoto orbital na Lagoa do Peixe, RS. Porto Alegre: **GRAVEL** p. 15-25, 2015.
- SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL, MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO, UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE. Brasília: **Plano de manejo – Parque Nacional da Lagoa do Peixe – Fase 2**. 1999. 465 p.
- SHORT, A.D.; HESP, P. Wave, beach and dune interactions in southeastern Australia. Amsterdam: **Marine Geology**, v.48 p.259-284. 1982.
- SHORT, A.D. Wave, beach, foredune and mobile dune interactions in southeast Australia. **Journal of Coastal Research**. v.3 Special Issue p. 5-9, 1988.
- SHORT, A.D. **Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics**. Chichester, England: Wiley, 1999, 379 p.
- SHORT, A.D.; HESP, P. A. Beach and Dune Stratification. *In*: Short, A. D. **Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics**. Chichester, England: Wiley, p. 279-292, 1999.
- SIMÕES, R.S. **Análise da distância média entre as ocupações a beira-mar e o limite superior da praia nos balneários São Simão, Mostardense, Praia do Farol e Mar Grosso, RS**. Trabalho de Conclusão de Curso em Geografia. Universidade Federal do Rio Grande – FURG, 2015 84 p.
- SMITH, M.J.; CROMLEY, R.G. Measuring historical coastal change using GIS and the change polygon approach. **Transactions in GIS**. v. 16 p. 3-15, 2012.
- SPERANSKI N.S.; CALLIARI, L.J. Rio Grande do Sul. *In*: MUEHE, D. (Org.) **Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro**. Ministério do Meio Ambiente, p. 446-454, 2006.
- STIVE, M.J.F., AARNINKHOF, S.G.J., HAMM, L., HANSON, H., LARSON, M., WIJNBERG, K.M., NICHOLLS, R.J.; CAPOBIANCO, M. Variability of shore and shoreline evolution. **Coastal Engineering**. v. 47 p. 211-235, 2002.
- TAGLIANI, P.R.A. **Ecologia da paisagem da Restinga da Lagoa dos Patos**. Rio Grande: Editora da FURG, 2011. 184 p.

- TOLDO JR, E. E.; ALMEIDA, L.E. S. B.; NICOLODI, J.L.; ABSALONSEN, L.; GRUBER, N.L.S. O Controle da Deriva Litorânea no Desenvolvimento do Campo de Dunas e da Antepraia no Litoral Médio do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: **Pesquisas em Geociências**. v. 33 p. 35-42, 2006.
- TOMAZELLI, L. J.; VILLWOCK, J.A.; DILLEMBURG, S. R.; BACHI, F. A.; AND DEHNHARDT, B. A. Significance of present-day coastal erosion and marine transgression, Rio Grande do Sul, Southern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 70 (2); 221-229, 1998.
- TOMAZELLI, L.J.; VILLWOCK, J.A. O Cenozoico no Rio Grande do Sul: Geologia da Planície Costeira. *In*: HOLZ, M.; DE ROS, L.F. (Ed). **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CIGO/UFRGS, p. 375-406, 2000.
- TOMAZELLI, L.J.; VILLWOCK, J.A. Mapeamento Geológico de Planícies Costeiras: o Exemplo da Costa do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: **GRAVEL**. v. 3 p. 109-115, 2005.
- TSOAR, H.; ARENS, S.M. Mobilização e estabilização de dunas em climas úmidos e secos. Fortaleza: **MERCATOR**, v. 3 p. 131-144, 2003.
- VILLWOCK, J.A; TOMAZELLI L.J. Geologia Costeira do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: **Notas Técnicas / Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – CECO/IG/UFRGS, 1995.
- WALSH, K.J.E.; BETTS, H.; CHURCH, J.; PITTOCK, A.B.; MCINNES, K.L.; JACKETT, D.R.; MCDOUGALL, T.J. Use sea level rise projections for urban planning in Australia. West Palm Beach, Florida: **Journal of Coastal Research**, v. 20 p. 586-598, 2004.
- WRIGHT, L.D.; SHORT. A.D. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. Amsterdam: **Marine Geology**. v. 56 p. 93-118, 1984.

Outras referências:

Site - Rede Ondas

Disponível em: www.redeondas.com.br acesso: 20/01/2018

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

Disponível em: www.inmet.gov.br acesso: 12/01/2018

ANEXOS

Certificação drone - ANAC

	REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL	
	AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL NATIONAL CIVIL AVIATION AGENCY	

CERTIDÃO DE CADASTRO DE AERONAVE NÃO TRIPULADA – USO NÃO RECREATIVO UNMANNED AIRCRAFT REGISTER CERTIFICATE – NON-RECREATIONAL	
<p>Esta certidão de cadastro, emitida de acordo com o RBAC-E nº 94, é válida até 14/11/2019, salvo em caso de cancelamento, suspensão ou revogação pela Autoridade de Aviação Civil Brasileira.</p> <p><i>This Register Certificate, issued in accordance with RBAC-E nr. 94, shall remain valid until 11/14/2019, unless it is cancelled, suspended or revoked by the Brazilian Civil Aviation Authority.</i></p> <p>Operador (Operator) ULISSES ROCHA DE OLIVEIRA</p> <p>CPF (document): 922.174.940-15</p>	<p>Nº do cadastro (Register Number): PP-001041977</p> <p>Uso (Purpose): não recreativo (non-recreational) Ramo de atividade (Business): Aerolevantamento - Aerofotogrametria Fabricante (Maker): DJI Modelo (Model): Phantom 3 Nº de série (Serial Number): ss3-wm32311503 Peso máximo de decolagem (MTOW): 2,00 kg Foto (Picture):</p> 
<p>O descumprimento da regulamentação aplicável pode ensejar consequências administrativas, civis e/ou criminais para o infrator.</p>	<p>Informações adicionais (additional information): Equipamento adquirido através do Edital Universal do CNPq com uso exclusivo para pesquisa.</p>
<p>O detentor desta certidão de cadastro (o operador) é considerado apto pela ANAC a realizar voos recreativos e não recreativos no Brasil, com a aeronave não tripulada acima identificada, em conformidade com os regulamentos aplicáveis da ANAC. É responsabilidade do operador tomar as providências necessárias para a operação segura da aeronave, assim como conhecer e cumprir os regulamentos do DECEA, da Anatel, e de outras autoridades competentes.</p> <p><i>The holder of this register certificate (the operator) is considered apt by Brazilian Civil Aviation Authority to perform recreational and non-recreational flights in Brazil, using the above identified unmanned aircraft, in conformity with the applicable regulations of Brazilian Civil Aviation Authority. It's the operator's responsibility to take the necessary actions to ensure a safe operation, as well as know and comply with the regulations of air traffic control (ATC), telecommunications, and other competent authorities</i></p>	
<p>A validade desta certidão pode ser verificada pelo link https://sistemas.anac.gov.br/SISANT/Aeronave/ConsultarAeronave</p>	
<p>Local e data da emissão (Place and date of issue) Brasília, 14 de novembro de 2017 Brasília, November 14th, 2017</p>	
<p>Esta certidão de cadastro não é válida para aeronaves não tripuladas acima de 25 kg de peso máximo de decolagem, ou em voos além da linha de visada visual (BVLOS) ou acima de 400 pés ou 120 metros acima do nível do solo (AGL). <i>This register certificate is not valid for unmanned aircraft of more than 25 kg maximum takeoff weight, or flying beyond visual line of sight (BVLOS) or over 400 feet or 120 meters above ground level (AGL).</i></p>	