

Universidade Federal do Rio Grande
Instituto de Oceanografia
Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica

**Sistema Praia Dunas Frontais, Variabilidade Sedimentológica,
Morfológica e Suscetibilidade à Inundação no Litoral Norte do
Rio Grande Do Sul, Brasil**

Humberto Dias Vianna

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Oceanografia Física, Química e Geológica como
parte dos requisitos para a obtenção do Título de
Doutor.

Orientador: Prof. Dr. Lauro Julio Calliari

Rio Grande

Novembro de 2017

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS TESE.....	iv
LISTA DE FIGURAS CAPÍTULO 1.....	v
LISTA DE FIGURAS CAPÍTULO 2.....	vii
LISTA DE FIGURAS CAPÍTULO 3.....	ix
LISTA DE TABELAS CAPÍTULO 1.....	x
LISTA DE TABELAS CAPÍTULO 2.....	xi
LISTA DE TABELAS CAPÍTULO 3.....	xiii
LISTA DE EQUAÇÕES CAPÍTULO 1.....	xiv
LISTA DE EQUAÇÕES CAPÍTULO 2.....	xv
AGRADECIMENTOS.....	xvi
RESUMO:.....	1
ABSTRACT.....	2
I. INTRODUÇÃO GERAL.....	3
II. OBJETIVOS.....	5
II.I. Objetivos gerais.....	5
II.II. Objetivos específicos.....	5
III. ÁREA DE ESTUDO.....	5
III.I. Geologia, Geomorfologia e Hidrografia.....	13
III.II. Clima.....	17
III.III. Flora e Fauna.....	18
IV. REFERÊNCIAS.....	19
CAPÍTULO 1.....	25
COBERTURA VEGETAL E MORFOLOGIA DAS DUNAS FRONTAIS NO LITORAL NORTE DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL.....	26
RESUMO:.....	26
1. INTRODUÇÃO.....	27
2. METODOLOGIA.....	30
3. RESULTADOS.....	32
4. DISCUSSÃO.....	53
5. CONCLUSÕES.....	57
5. REFERÊNCIAS.....	58
CAPÍTULO 2.....	63

SEDIMENTOLOGIA E MORFOMETRIA DO SISTEMA PRAIA DUNAS NO LITORAL NORTE DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL	64
RESUMO:	64
1. INTRODUÇÃO	64
2. METODOLOGIA.....	66
3. RESULTADOS.....	70
4. DISCUSSÃO	98
5. CONCLUSÕES	105
6. REFERÊNCIAS.....	106
CAPÍTULO 3.....	110
Avaliação dos impactos promovidos pela maré meteorológica de 2016 e mapeamento de áreas suscetíveis no litoral norte do Rio Grande do Sul – Brasil.....	111
RESUMO:	111
1. INTRODUÇÃO	112
2. METODOLOGIA.....	113
3. RESULTADOS.....	115
4. DISCUSSÃO	159
5. CONCLUSÕES	166
6. REFERÊNCIAS.....	167
V. CONSIDERAÇÕES FINAIS	171

LISTA DE FIGURAS TESE

Figura 1. Área de estudo.	6
Figura 2. Balneários de Palmares do Sul.....	7
Figura 3. Balneários de Balneário Pinhal e Cidreira	7
Figura 4. Balneários de Tramandaí.....	8
Figura 5. Balneários de Imbé.....	8
Figura 6. Balneários de Osório e Xangri-lá.....	9
Figura 7. Balneários de Capão da Canoa.....	10
Figura 8. Balneários de Arroio do Sal.....	11
Figura 9. Balneários de Torres.	12
Figura 10. Barreira Holocênica e Pleistocênica no litoral norte do RS (Fonte: HESP et a., 2005).....	16

LISTA DE FIGURAS CAPÍTULO 1

Figura 1. Classificação morfológica para dunas frontais descrita por Hesp (1988). Fonte: Hesp (2000).	30
Figura 2. Processo de classificação supervisionada, duna frontal demarcada no MDS (A), composição colorida (B), imagem editada com melhorias no contraste (C), imagem classificada (D).	31
Figura 3. Trechos (números) e grupos morfo ecológicos (polígonos) da área de estudo.	36
Figura 4. Dunas frontais do balneário Barra, imagem LIDAR (esquerda), World Imagery (centro) e de campo (direita).	37
Figura 5. Morfologia do campo de dunas do balneário Imbé, <i>blowouts</i> calha (superior esquerda), bacia e cristas múltiplas (superior direita), topografia <i>hummocky</i> (inferior).	38
Figura 6. Campo de dunas dos balneários Ecademar (esquerda), montes vegetados em Presidente (superior direita) e topografia contínua (inferior direita).	38
Figura 7. Dunas frontais e área deflacionada em Arroio do Sal (trecho 18).	39
Figura 8. Campo de dunas do balneário Magistério seccionado por sangradouros (esquerda), fragmento da duna frontal (direita).	40
Figura 9. Dunas frontais de Xangri-lá.	40
Figura 10. Dunas frontais do estágio 4 em Terra de Areia na imagem é possível visualizar a duna embrionária.	41
Figura 11. Cordão bem vegetado do estágio 3 no trecho 21.	42
Figura 12. Campo de dunas interrompido por sangradouros no Centro de Palmares do Sul.	42
Figura 13. Campo de dunas de forma elíptica no centro de Palmares do Sul (esquerda), foto de campo (direita).	43
Figura 14. Campo de dunas preservado ao norte de Cidreira.	44
Figura 15. Duna embrionária e frontal entre cidreira e Tramandaí.	44
Figura 16. Dunas parabólicas em Marisul.	45
Figura 17. Dunas <i>hummocky</i> vegetadas a barlavento em Atlântida.	46
Figura 18. Duna em estágio erosivo avançado.	46
Figura 19. Montículos de areia parcialmente vegetados no trecho 20.	47
Figura 20. Dunas Frontais de Salinas na imagem LIDAR (esquerda) é possível visualizar <i>blowouts</i> bacia e calha.	48
Figura 21. Dunas frontais do balneário Tiarajú (superior) e Jardim Atlântico (inferior).	48

Figura 22. Dunas frontais ao sul de Capão Novo.	49
Figura 23. Duna barcanóide em Capão Novo.....	50
Figura 24. Duna embrionária e frontal no balneário Recreio.	50
Figura 25. Duna frontal do balneário Itapeva.....	51
Figura 26. Dunas frontais do Parque Estadual de Itapeva.....	51
Figura 27. Campo de dunas de Praia Grande, imagem LIDAR (esquerda) e World Imagery (direita).....	52
Figura 28. Dunas frontais do balneário Dunas Altas.....	52
Figura 29. Dunas frontais do balneário Dunas Altas, atentar aos rastros lineares e <i>blowout</i> bacia.	53
Figura 30. Feições erosionais ocasionadas por sangradouro e <i>blowouts</i> em Santa Rita.	53

LISTA DE FIGURAS CAPÍTULO 2

Figura 1. Processo de coleta de sedimentos em campo, à esquerda coleta sobre a crista da duna frontal, ao centro na praia subaérea e à direita na face da praia.	66
Figura 2. Pontos para a coleta de sedimentos no perfil subaéreo de uma praia.	67
Figura 3. %AM das amostras coletadas nas dunas frontais, onde G1 (grupo 1), G2 (grupo 2) e G3 (grupo 3).	76
Figura 4. %AM das amostras coletadas nas praias subaéreas, onde G1 (grupo 1), G2 (grupo 2), G3 (grupo 3) e G4 (grupo 4).	77
Figura 5. %AM das amostras coletadas nas faces das praias, onde G1 (grupo 1), G2 (grupo 2), G3 (grupo 3), G4 (grupo 4), G5 (grupo 5) e G6 (grupo 6).	78
Figura 6. %AF dos três ambientes estudados.	79
Figura 7. %AMF dos três ambientes estudados.	80
Figura 8. TMG dos três ambientes estudados, onde tamanho médio dos grãos das dunas – TMGD, tamanho médio do grão da praia subaérea – TMGPS e tamanho médio dos grãos da face da praia – TMGFP.	81
Figura 9. Biplot CP1 versus CP2 sobre as variáveis das dunas frontais.	83
Figura 10. Biplot CP1 versus CP2 sobre as variáveis da praia subaérea.	84
Figura 11. Biplot CP1 versus CP2 sobre as variáveis da face da praia.	84
Figura 12. Subgrupos criados a partir da PCA e agrupamentos prévios, onde 1.1 (subgrupo 1 do grupo 1), (2.1 subgrupo 2 do grupo 1), (1.2 subgrupo 1 do grupo 2), (2.2 subgrupo 2 do grupo 2), (3) grupo 3 refinado.	85
Figura 13. Grupos e subgrupos criados para as dunas frontais.	87
Figura 14. Dunas frontais do balneário Dunas Altas, subgrupo 1.1.	88
Figura 15. Dunas frontais do balneário Imara, subgrupo 2.1.	89
Figura 16. Dunas frontais de Pinhal Sede 1, subgrupo 1.2.	89
Figura 17. Dunas frontais do balneário Paraíso, subgrupo 2.2, atentar para as ritimicidades.	90
Figura 18. Dunas frontais do balneário Albatroz, grupo 3 (dunas frontais).	90
Figura 19. Distribuição dos grupos de balneários da praia subaérea ao longo da área de estudo.	92
Figura 20. Balneário Nordeste, grupo 4 (dunas frontais).	93
Figura 21. Balneário Conceição, grupo 3 (praia subaérea).	94

Figura 22. Balneário Tupynambá, grupo 2 (praia subaérea).	95
Figura 23. Balneário Dunas Altas, grupo 1 (praia subaérea).....	95
Figura 24. Grupos da face da praia distribuídos ao longo da área de estudo.....	97
Figura 25. Grandes concentrações de minerais pesados na praia subaérea do campo de dunas de Tramandaí.	101
Figura 26. Minerais pesados transportados em direção a face da praia em Arroio Teixeira.	101
Figura 27. Minerais pesados em sangradouro (Arroio Teixeira).	102

LISTA DE FIGURAS CAPÍTULO 3

Figura 1. Base da duna frontal e escarpa erosiva demarcada no MDS (esquerda) e foto aérea (direita).....	115
Figura 2. Direções dos ventos registrados na estação A 834 – Tramandaí.....	115
Figura 3. Direções dos ventos registrados na estação A 808 – Torres.....	116
Figura 4. Velocidades médias dos ventos registrados na estação A 834 – Tramandaí.....	117
Figura 5. Velocidades médias dos ventos registrados na estação A 808 – Torres.....	117
Figura 6. Velocidades das rajadas registradas na estação A 834 – Tramandaí.....	118
Figura 7. Velocidade das rajadas registradas na estação A 808 – Torres.....	118
Figura 8. Direções médias das ondas registradas na boia 69153 – PNBOIA.....	119
Figura 9. Alturas significativas das ondas registradas na boia 69153 – PNBOIA.....	119
Figura 10. Alturas máximas das ondas registradas na boia 69153 – PNBOIA.....	120
Figura 11. Períodos de picos registrados na boia 69153 – PNBOIA.....	121
Figura 12. Pressões atmosférica registradas na boia 69153 – PNBOIA.....	121
Figura 13. Nível do Rio Tramandaí registrado pela estação linimétrica da SPH em Imbé....	122
Figura 14. Base da duna frontal (Dunas Altas – Palmares do Sul) demarcada no MDS.	130
Figura 15. Escarpa erosiva (Dunas Altas – Palmares do Sul) demarcada em foto aérea. ...	131
Figura 16. Base da duna frontal (Zona A – Cidreira) demarcada no MDS.....	132
Figura 17. Escarpa erosiva (Zona A – Cidreira) demarcada em foto aérea.....	133
Figura 18. Imagem hipsométrica e área inundada no balneário Dunas Altas (Palmares do Sul).	135
Figura 19. Imagem hipsométrica e área inundada nos balneários Santa Rita e Frade (Palmares do Sul).	136
Figura 20. Imagem hipsométrica e área inundada do balneário Centro de Palmares do Sul.	137
Figura 21. Imagem hipsométrica e área inundada dos balneários Magistério, Pinhal Zona Nobre e Sede Balneário Pinhal.....	138
Figura 22. Imagem hipsométrica e área inundada do balneário Sede Balneário Pinhal.....	139
Figura 23. Imagem hipsométrica e área inundada do balneário Sede Balneário Pinhal.....	140
Figura 24. Imagem hipsométrica e área inundada do balneário Costa do Sol (Cidreira).....	141
Figura 25. Imagem hipsométrica e área inundada do balneário Costa do Sol (Cidreira).....	142

Figura 26. Imagem hipsométrica e área inundada dos balneários Costa do Sol e Zona A (Cidreira).....	143
Figura 27. Imagem hipsométrica e área inundada dos balneários Centro e Nazaré (Cidreira).	144
Figura 28. Imagem hipsométrica e área inundada dos balneários Barra (Tramandaí) e Balneário Imbé.....	145
Figura 29. Imagem hipsométrica e área inundada entre Morada do Sol e Nordeste.....	146
Figura 30. Imagem hipsométrica e área inundada entre Mariluz Plano B e Santa Terezinha.	147
Figura 31. Imagem hipsométrica e área inundada entre Atlântida Sul e Mariápolis (Osório).	148
Figura 32. Imagem hipsométrica e área inundada em Xangri-lá.	149
Figura 33. Imagem hipsométrica e área inundada entre Xangri-lá e Enara.....	150
Figura 34. Imagem hipsométrica e área inundada do balneário Atlântida (Xangri-lá).	151
Figura 35. Imagem hipsométrica e área inundada entre os balneários Navegantes e Centro (Capão da Canoa).	152
Figura 36. Imagem hipsométrica e área inundada do balneário Praia do Barco (Capão da Canoa).....	153
Figura 37. Imagem hipsométrica e área inundada do balneário Capão Novo (Capão da Canoa).....	154
Figura 38. Imagem hipsométrica e área inundada de Arroio do Sal.	155
Figura 39. Imagem hipsométrica e área inundada ao norte de Arroio do Sal.	156
Figura 40. Imagem hipsométrica e área inundada na Praia da Cal (Torres).	157
Figura 41. Imagem hipsométrica e área inundada na Prainha (Torres).....	158
Figura 42. Imagem hipsométrica e área inundada na Praia Grande (Torres).....	159
Figura 43. Calçadão e mureta de contenção parcialmente destruídos em Balneário Imbé. .	162
Figura 44. Escarpa erosiva em Dunas Altas.....	162
Figura 45. Danos em edificações de baixo padrão em Zona A.	163
Figura 46. Edificações colapsadas em Zona A (Cidreira).....	164

LISTA DE TABELAS CAPÍTULO 1

Tabela 1. Classificação morfológica proposta Hesp (1988) para dunas frontais.	28
Tabela 2. %CV das dunas frontais na área de estudo e respectivos trechos de balneários...	32
Tabela 3. Grupos de trechos no litoral norte do RS.	35

LISTA DE TABELAS CAPÍTULO 2

Tabela 1. Sedimentologia de Palmares do Sul.....	70
Tabela 2. Sedimentologia de Balneário Pinhal.....	70
Tabela 3. Sedimentologia de Cidreira.....	70
Tabela 4. Sedimentologia de Tramandaí.....	70
Tabela 5. Sedimentologia de Imbé.....	71
Tabela 6. Sedimentologia de Osório.....	71
Tabela 7. Sedimentologia de Xangri-lá.....	71
Tabela 8. Sedimentologia de Capão da Canoa e Terra de Areia.....	72
Tabela 9. Sedimentologia de Arroio do Sal.....	72
Tabela 10. Sedimentologia de Torres.....	72
Tabela 11. Grupos de balneários criados pelos %AM dos ambientes estudados.....	73
Tabela 12. Componentes principais (PC), autovalores, porcentagem da variância explicada e proporção acumulada (%) pelos componentes.....	82
Tabela 13. Coeficientes de ponderação das variáveis estudadas em cada ambiente.....	82

LISTA DE TABELAS CAPÍTULO 3

Tabela 1. Locais inundados em 28 de outubro de 2016.	122
Tabela 2. Volumes erodidos nos balneários Dunas Altas e Zona A.	134

LISTA DE EQUAÇÕES CAPÍTULO 1

%CV balneário (Equação 1).....	32
%CV trecho (Equação 2)	32

LISTA DE EQUAÇÕES CAPÍTULO 2

Transformação arco seno x – Equação 169

Transformação raiz quadrada x – Equação 269

AGRADECIMENTOS

Ao apoio recebido de meus familiares, em especial meus pais Hermeto e Rosa, meus irmãos Saionara, Fabiana, Hermeto Filho e minha tia Elodi

Agradeço a minha esposa Deisi por todo o incentivo e constante motivação ao longo dessa jornada

Ao meu orientador Lauro Julio Calliari, pelos ensinamentos, orientação e amizade

Agradeço ao apoio técnico da servidora Glória do Laboratório de Oceanografia Geológica da FURG

Ao setor de viaturas da Universidade Federal do Rio Grande e seus servidores

Ao professor Mauricio Camargo (IO-FURG) pelo auxílio na estatística dos dados

Ao professor Ulisses Rocha de Oliveira (ICHI-FURG) pelo fornecimento do VANT para a tomada de fotos aéreas.

Ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica e ao Instituto de Oceanografia da FURG, seus servidores e professores

A CAPES pela bolsa!

RESUMO: Esta tese é constituída por três artigos que abordam temáticas relacionadas a morfologia, sedimentologia e suscetibilidade à inundação no litoral norte do Rio Grande do Sul. A área de estudo situa-se entre os municípios de Palmares do Sul e Torres. Modelos digitais de superfície, produzidos a partir de dados laser scanning - LIDAR, são a base de dados cartográficos comum aos trabalhos. O primeiro artigo aborda a cobertura vegetal das dunas frontais. A metodologia utilizada consistiu em demarcar a área de todas as dunas frontais nos modelos digitais de superfície. A delimitação da área vegetada foi efetuada em imagens de satélite pela técnica de classificação de imagens supervisionada (máxima verossimilhança). Os resultados demonstraram que as dunas frontais da região são bem vegetadas, com percentuais variando entre 40% a 83%. As dunas frontais correspondem aos estágios morfoecológicos 2, 3 e 4, sendo o 3 mais frequente. O segundo artigo versa sobre as relações entre sedimentologia e morfometria do sistema praia dunas frontal. Amostras de sedimentos foram coletadas nas dunas frontais, praia subaérea e face da praia em todos os balneários da área de estudo. As variáveis sedimentológicas determinadas foram tamanho médio do grão e percentuais de areia fina, muito fina e média. As variáveis morfológicas (altura das dunas frontais, azimute da linha de costa, largura e declividade da praia subaérea) foram obtidas dos modelos digitais de superfície, já os percentuais de cobertura vegetal correspondem ao determinado no primeiro artigo. As variáveis citadas foram analisadas, para cada ambiente estudado, pela técnica estatística de componentes principais. Os tamanhos médios dos grãos são: 2,44 ϕ (dunas frontais), 2,45 ϕ (praia subaérea) e 2,36 ϕ (face da praia). Os percentuais médios são: dunas frontais (6,9% - areia média, 90,1% - areia fina, 3,0% - areia muito fina); praia subaérea (8,0% - areia média, 88,3% - areia fina, 3,7% - areia muito fina); face da praia (15,6% - areia média, 80,8% - areia fina, 3,4% - areia muito fina). A análise de componentes principais dividiu as variáveis de cada ambiente em três grupos (dunas frontais), quatro (praia subaérea) e seis (face da praia). O terceiro artigo trata da suscetibilidade à inundação dos balneários estudados. No mesmo são apresentados os dados meteorológicos e oceanográficos de um evento de maré meteorológica ocorrido em 28/10/2016. Também foi avaliado o volume de sedimentos erodidos nos balneários Dunas Altas (Palmares do Sul) e Zona A (Cidreira). As altitudes inundadas foram obtidas identificando-se os pontos impactados, registrados em fotos e vídeos, nos modelos digitais de superfícies. As altitudes determinadas serviram para a produção de mapas de inundação com o pacote Simulate Water Level Rise/Flooding (Global Mapper V.15). No evento, a direção dos ventos foi oeste sudoeste e a velocidade chegou a 42 km/h, já as rajadas a 93 km/h. A altura significativa das ondas atingiu 9,5 m e a máxima 14,8 m. O nível do Rio Tramandaí chegou a 11,25 m. O volume erodido corresponde a 0,54 m³/m em Dunas Altas e 3,54 m³/m na Zona A. Altitudes abaixo de 2,30 m foram inundadas e as águas ultrapassaram 200 m além das dunas frontais. Os mapas de inundação demonstraram que os balneários próximos aos Rio Tramandaí e Mampituba são os mais suscetíveis. Balneários mal urbanizados, Costa do Sul e Zona A, ambos em Cidreira, são suscetíveis devido a urbanização inadequada no perfil ativo da praia.

Palavras Chave: laser scanning – LIDAR, geomorfologia costeira, mapas de inundação, maré meteorológica

ABSTRACT: This thesis consists of three articles that deal with topics related to morphology, sedimentology and susceptibility to flooding in the northern coast of Rio Grande do Sul. The study area is located between the municipalities of Palmares do Sul and Torres. Digital surface models, produced from laser scanning (LIDAR) data, are the cartographic database common to the articles. The first article deals with the vegetation cover of the frontal dunes. The methodology used consisted of demarcating the area of all the frontal dunes in the digital surface models. The delimitation of the vegetated area was carried out in satellite images by the technique of supervised image classification (maximum likelihood). The results showed that the frontal dunes of the region are well vegetated, with cover percentages varying between 40% and 83%. The frontal dunes correspond to the morphoecological stages 2, 3 and 4, being 3 more frequent. The second article deals with the relationship between sedimentology and morphometry of the beach-frontal dune system. Sediment samples were collected in the frontal dunes, subaerial beach and beach face in all the beaches of the study area. The determined sedimentological variables were mean grain size and percentages of fine, very fine and medium sand. The morphological variables (height of the frontal dunes, coastline azimuth, width and slope of the subaerial beach) were obtained from the digital surface models, and the percentage of vegetation cover corresponds to that determined in the first article. The cited variables were analyzed, for each sub-environment studied, by the statistical technique of principal component analysis (PCA). The mean grain sizes is: 2.44 ϕ (frontal dunes), 2.45 ϕ (subaerial beach) and 2.36 ϕ (beach face). The average percentages are: frontal dunes (6.9% - medium sand, 90.1% - fine sand, 3.0% - very fine sand); subaerial beach (8.0% - medium sand, 88.3% - fine sand, 3.7% - very fine sand); beach face (15.6% - medium sand, 80.8% - fine sand, 3.4% - very fine sand). The PCA method divided the variables of each environment into three groups for the frontal dunes, four for the subaerial beach and six for the beach face. The third article deals with the susceptibility to flooding along the studied beaches. It also display the meteorological and oceanographic data of a storm surge event occurred on october of 2016. The eroded sediment volume in the Dunas Altas (Palmares do Sul) and Zone A (Cidreira) beaches was also evaluated. The flooded levels were obtained by identifying the impacted points, recorded in photos and videos, in the digital surfaces models. The determined altitudes were used to produce flood maps with the Simulate Water Level Rise / Flooding (Global Mapper V.15) package. During the event, wind direction was from west to southwest with velocity of 42 km / h and gusts reaching 93 km/h. Significant wave height reached 9.5 m and the maximum 14.8 m. The level of the Tramandaí River reached 11.25 m. The eroded volume corresponds to 0.54 m³ /m in Dunas Altas and 3.54 m³/m in Zone A. Elevations below 2.30 m were flooded and water surpassed 200 m beyond the frontal dunes. Flood maps have shown that the resorts near the Tramandaí and Mampituba Rivers are the most susceptible to be inundated. Additionally, badly urbanized sectors such as, South Coast and Zone A, both in the Cidreira area, are also susceptible to be flooded due to inadequate urbanization in the active zone of the beach-dune prism.

Keywords: laser scanning – dune vegetation, coastal geomorphology, storm surges

I. INTRODUÇÃO GERAL

Praias arenosas consistem em acumulações de sedimentos inconsolidados, geralmente de granulometria fina, transportados por ondas e correntes (DAVIDSON-ARNOTT, 2010). Seus limites correspondem, em direção ao mar, ao ponto em que as ondas interagem com o fundo, transmitindo energia aos sedimentos, até o limite, na costa, da ação de ondas de tempestades. Nos sistemas praias ocorrem constantes trocas sedimentares entre a praia submersa e a subaérea (DAVIDSON-ARNOTT, 2010).

O perfil praias é trabalhado pelo movimento bidirecional das ondas na face da praia, *swash* e *backwash*, e pelos ventos na praia subaérea (BIRD, 2008). O *swash* carrega sedimentos de diferentes tamanhos no sentido das ondas, já o *backwash* sedimentos mais finos de volta para o oceano (HUGGETT, 2007). Os ventos transportam sedimentos finos e muito finos por saltação em direção às dunas. A incidência oblíqua das ondas na costa ocasiona um transporte sedimentar de sentido resultante paralelo à mesma, denominado deriva litorânea. O tamanho médio dos sedimentos varia de acordo com o estágio morfodinâmico, praias com tendências refletivas são formadas por sedimentos mais grossos, quando comparadas com dissipativas (SHORT; HESP, 1982).

A morfologia do sistema praia dunas frontais está relacionada à energia das ondas, sedimentologia, orientação do vento predominante em relação à linha de costa e ao potencial de deriva do vento (MARTINHO; HESP; DILLENBURG, 2010). O tamanho dos sedimentos é maior na face da praia, já sedimentos mais finos ocorrem nas dunas frontais, pois são facilmente transportados pelos ventos (VISHER, 1969). No litoral norte do Rio Grande do Sul há uma predominância de areias finas em todos os ambientes praias, com presença de minerais pesados associados a fração areia muito fina (VIANNA; CALLIARI, 2017).

Além dos fatores já citados, a morfologia das dunas frontais depende do suprimento de areia, frequência de processos erosivos provocados por ondas ou ventos, percentual de cobertura vegetal e respectivas espécie ocorrentes (SILVA et al, 2008). A cobertura vegetal exerce um importante papel para o desenvolvimento morfológico e estabilização das dunas frontais (HESP, 2002). Dunas frontais de grande altura e bem vegetadas são típicas de praias dissipativas com grande aporte eólico, já dunas de pequena magnitude e pouco vegetadas são características de praias refletivas (SHORT; HESP, 1982).

As dunas frontais podem ser classificadas de acordo com o percentual de cobertura vegetal e morfologia em 5 estágios morfoecológicos (HESP, 1988). Os estágios variam desde

dunas frontais de topografia linear (*foredune ridge*), com até 100% da superfície vegetada, até pequenos montículos parcialmente vegetados, 5% de cobertura vegetal (HESP, 1988). Estágios intermediários são caracterizados por feições erosivas, como *blowouts* e lençóis de areia. A topografia varia de cristas pouco onduladas a montículos bem vegetados (HESP, 1988). Na costa do Rio Grande do Sul, as espécies vegetais predominantes nas dunas frontais são *Panicum racemosum* e *Senecio crassiflorus*. Outra espécie frequente, *Blutaparon portulaciodes*, é uma pioneira que habita as dunas embrionárias.

A cobertura vegetal varia com a frequência e intensidade de processos erosivos promovidos pela ação de marés meteorológicas, que são elevações no nível do mar superiores a maré prevista. São ocasionadas pelos ventos, ciclones e aumento da altura da arrebentação (MACHADO et al., 2010). Na área de estudo, elevações no nível ocorrem pela ação de ventos que tem orientação de sul (PARISE, et al., 2009). Marés meteorológicas promovem perdas sedimentares significativas, que podem desencadear processos erosivos nas dunas frontais. Além dos riscos ambientais associados, também promovem perdas materiais e humanas (CALLIARI, SILVA 1998).

Mapear as áreas suscetíveis a danos provenientes de marés meteorológicas é uma boa alternativa para a delimitação de áreas de risco e, para tal, uma base cartográfica de alta resolução planialtimétrica é necessária.

Esta tese de doutorado foi estruturada na forma de três estudos de casos distribuídos em capítulos. A área de estudo, litoral norte do Rio Grande do Sul, e a base cartográfica, proveniente de dados laser scanning, são comuns aos trabalhos. O primeiro estudo de caso versa sobre cobertura vegetal nas dunas frontais. A demarcação da vegetação nas dunas foi efetuada pela técnica de classificação supervisionada de imagens de satélite. No estudo relacionou-se as dunas frontais da área de estudo com os estágios morfoecológicos propostos por Hesp (1988).

O segundo estudo discute as relações entre morfologia e sedimentologia do sistema praia dunas frontais da área de estudo. Para tal, foram utilizadas informações morfológicas pretéritas de Vianna e Calliari (2015) e dados sedimentológicos coletados em campo. O último estudo de caso trata sobre as causas e efeitos da maré meteorológica ocorrida na costa do Rio Grande do Sul em 28/10/2016. Nesse estudo são apresentadas informações meteorológicas, oceanográficas, registros fotográficos e de vídeo do evento. Também se identificou as altitudes inundadas e mapeou-se as áreas suscetíveis a eventos dessa magnitude.

II. OBJETIVOS

II.I. Objetivos gerais

Este trabalho teve como objetivos identificar os estágios morfoecológicos, a inter-relação morfológica sedimentar e a avaliação de um evento extremo de maré meteorológica no sistema de dunas frontais do litoral norte do RS.

II.II. Objetivos específicos

- Discutir os elementos responsáveis pela formação e diversidade morfoecológica das dunas frontais.
- Verificar se ocorrem relações entre sedimentologia e morfometria no sistema praia dunas para se identificar as variáveis responsáveis pela diferenciação.
- Mapear as áreas inundadas no evento extremo de 28/10/2016 para identificar as áreas suscetíveis a danos promovidos por marés meteorológicas no litoral norte do RS.

III. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo situa-se entre as coordenadas 30°19'34" S, 49°42'47" O e 30°24'15" S, 50°17'23" (FIGURA 1). É formada pelos municípios de Palmares do Sul, Balneário Pinhal, Cidreira, Tramandaí, Imbé, Osório, Xangri-lá, Capão da Canoa, Terra de Areia, Arroio do Sal e Torres (FIGURAS 2 a 9), limitada ao sul pelo farol Berta e ao norte pelo Rio Mampituba. Os balneários desses municípios são constituídos por uma linha de costa retilinizada, com 126,5 km de extensão, e orientação sudoeste nordeste.

A linha de costa é interrompida em dois pontos, ao sul pela desembocadura da Laguna de Tramandaí e ao norte pelo Rio Mampituba (divisa entre os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina).

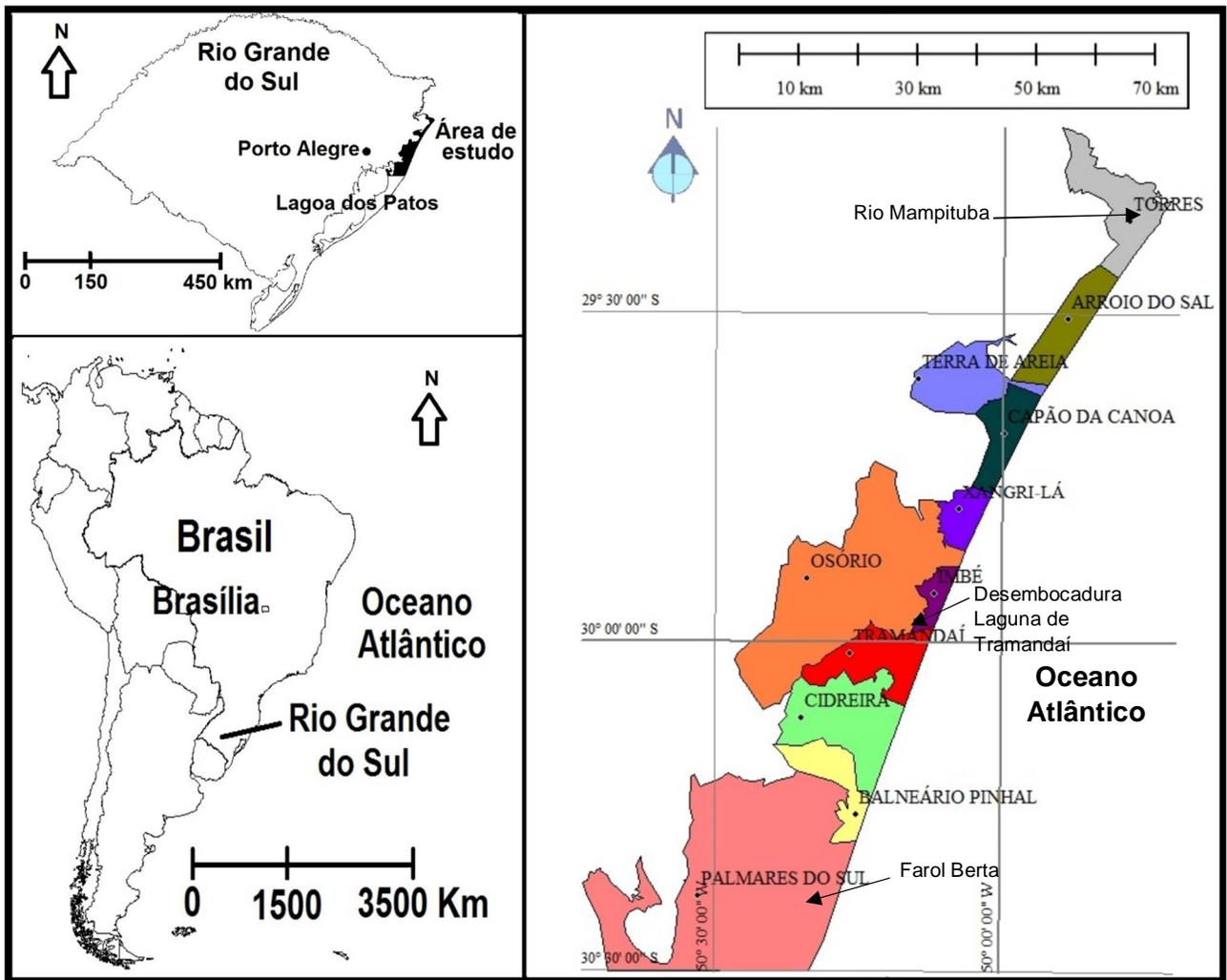


Figura 1. Área de estudo.

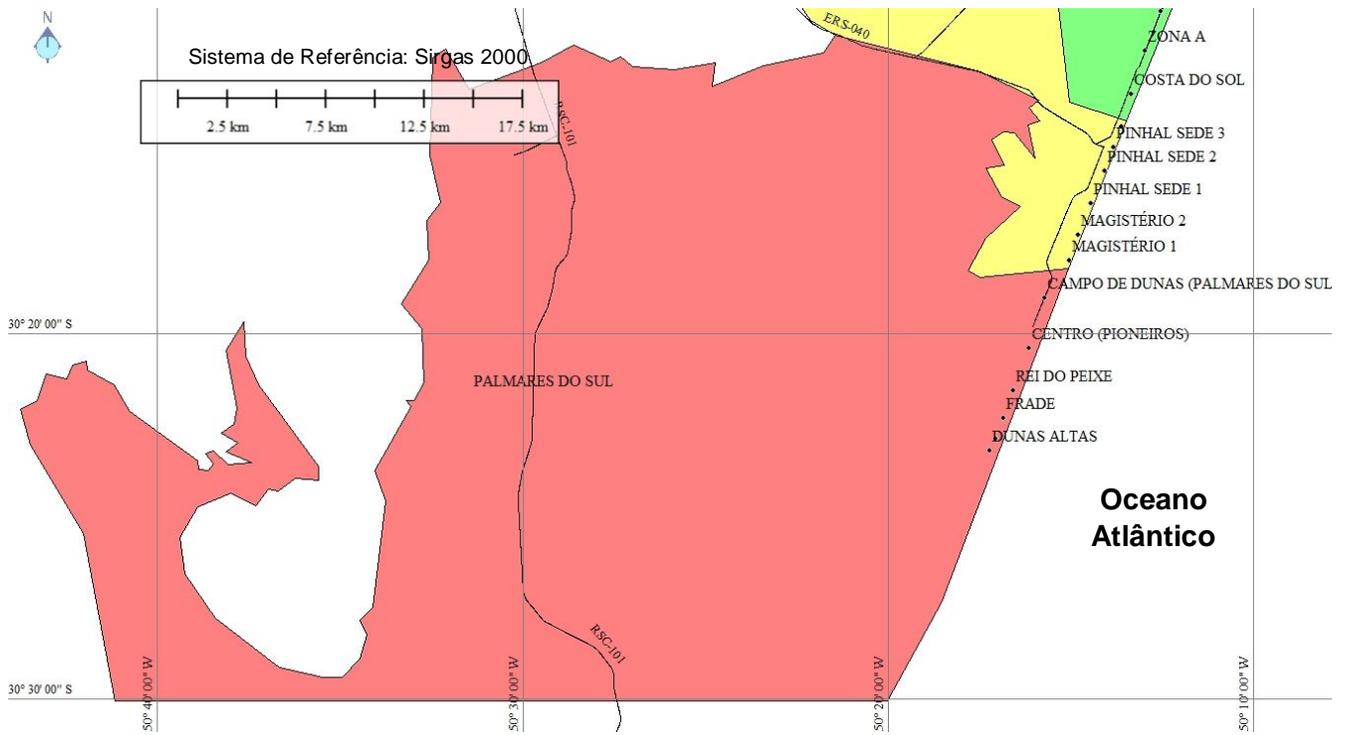


Figura 2. Balneários de Palmares do Sul.

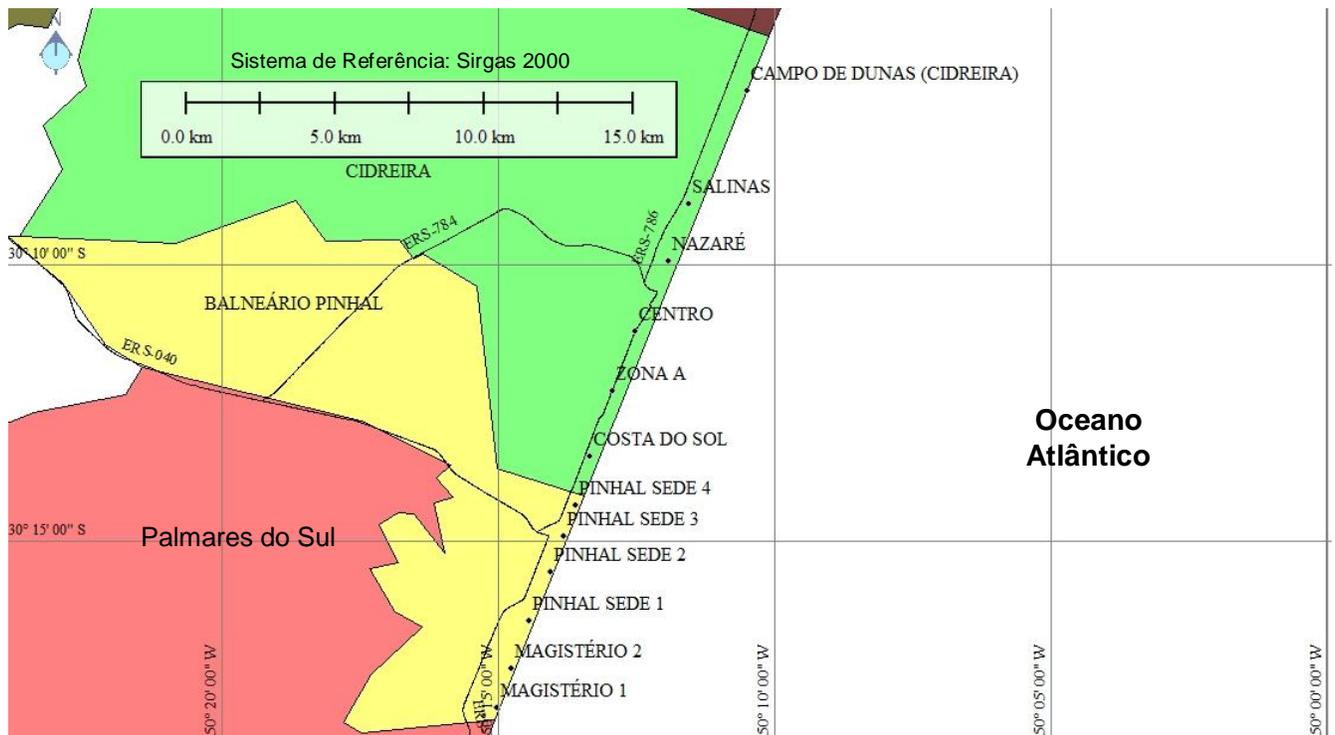


Figura 3. Balneários de Balneário Pinhal e Cidreira

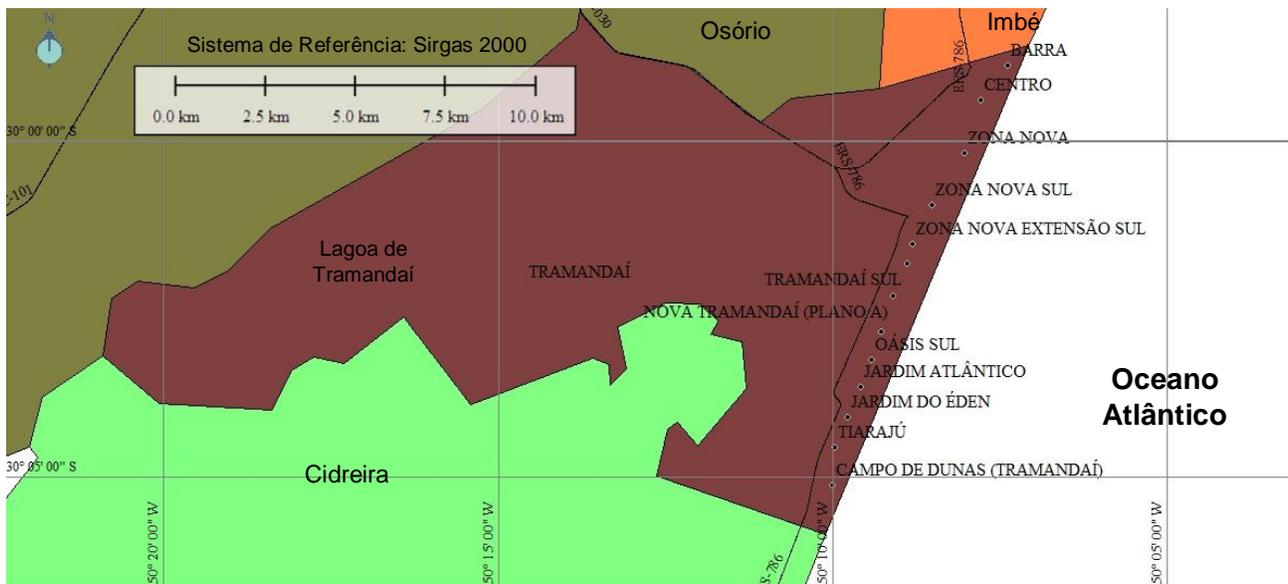


Figura 4. Balneários de Tramandaí.

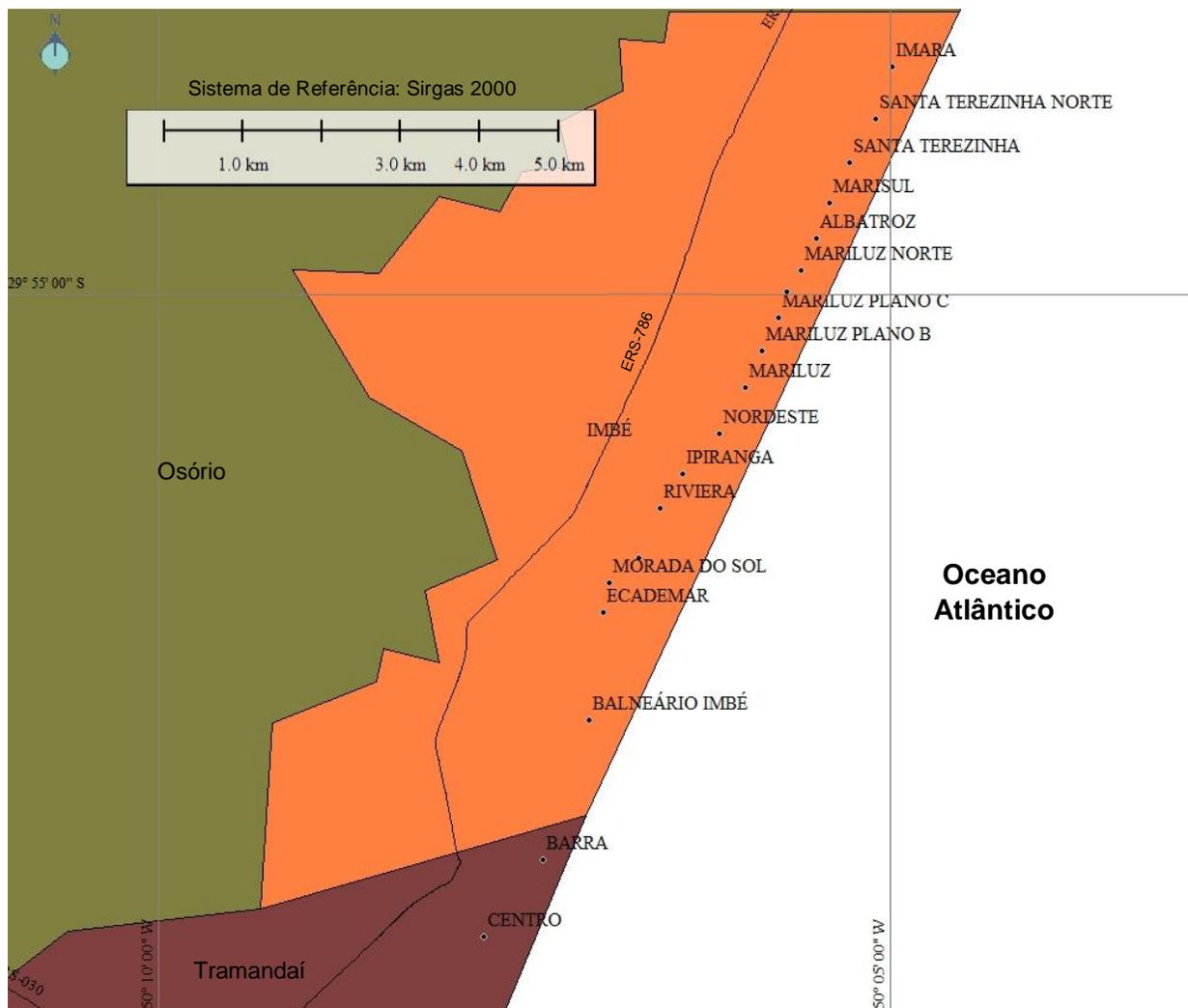


Figura 5. Balneários de Imbé.

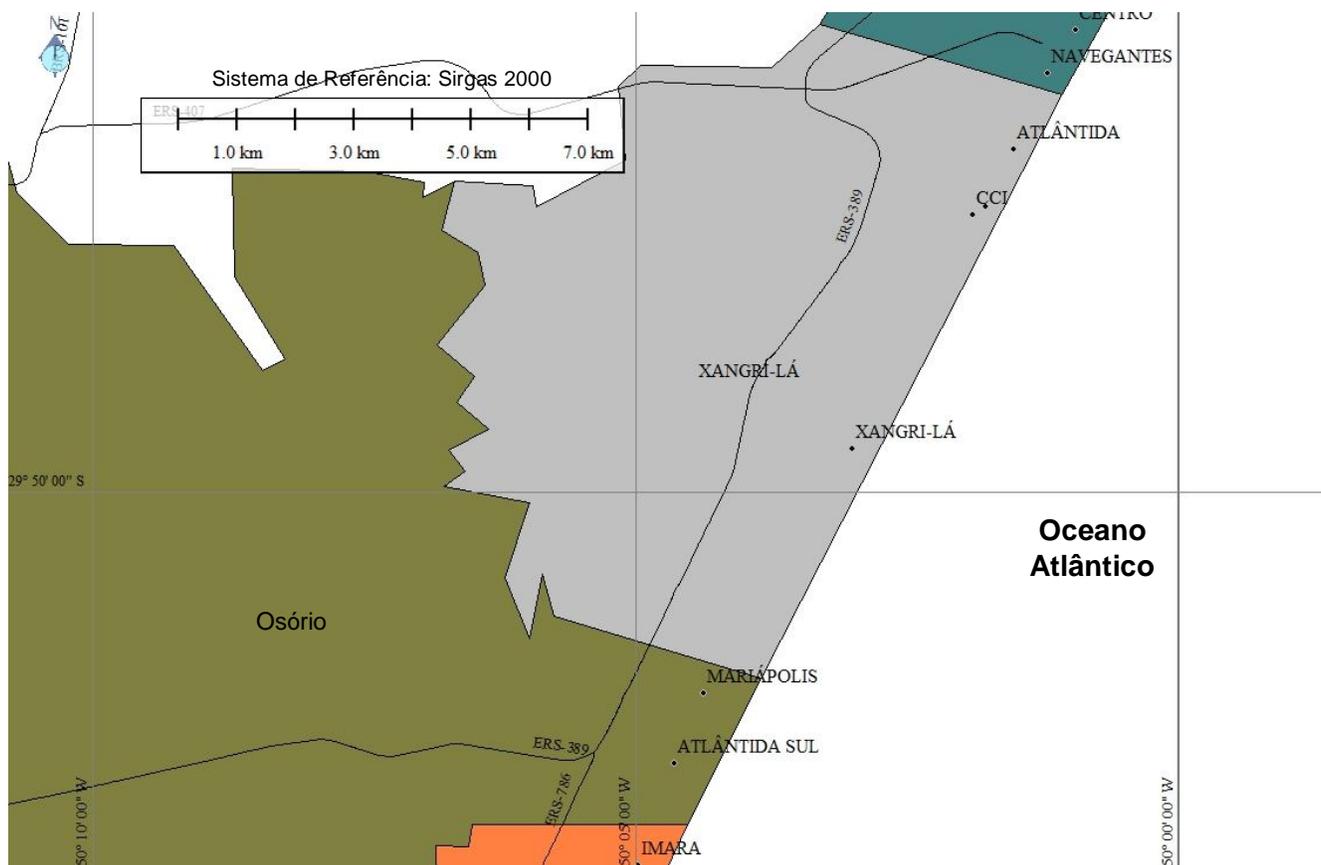


Figura 6. Balneários de Osório e Xangri-lá.

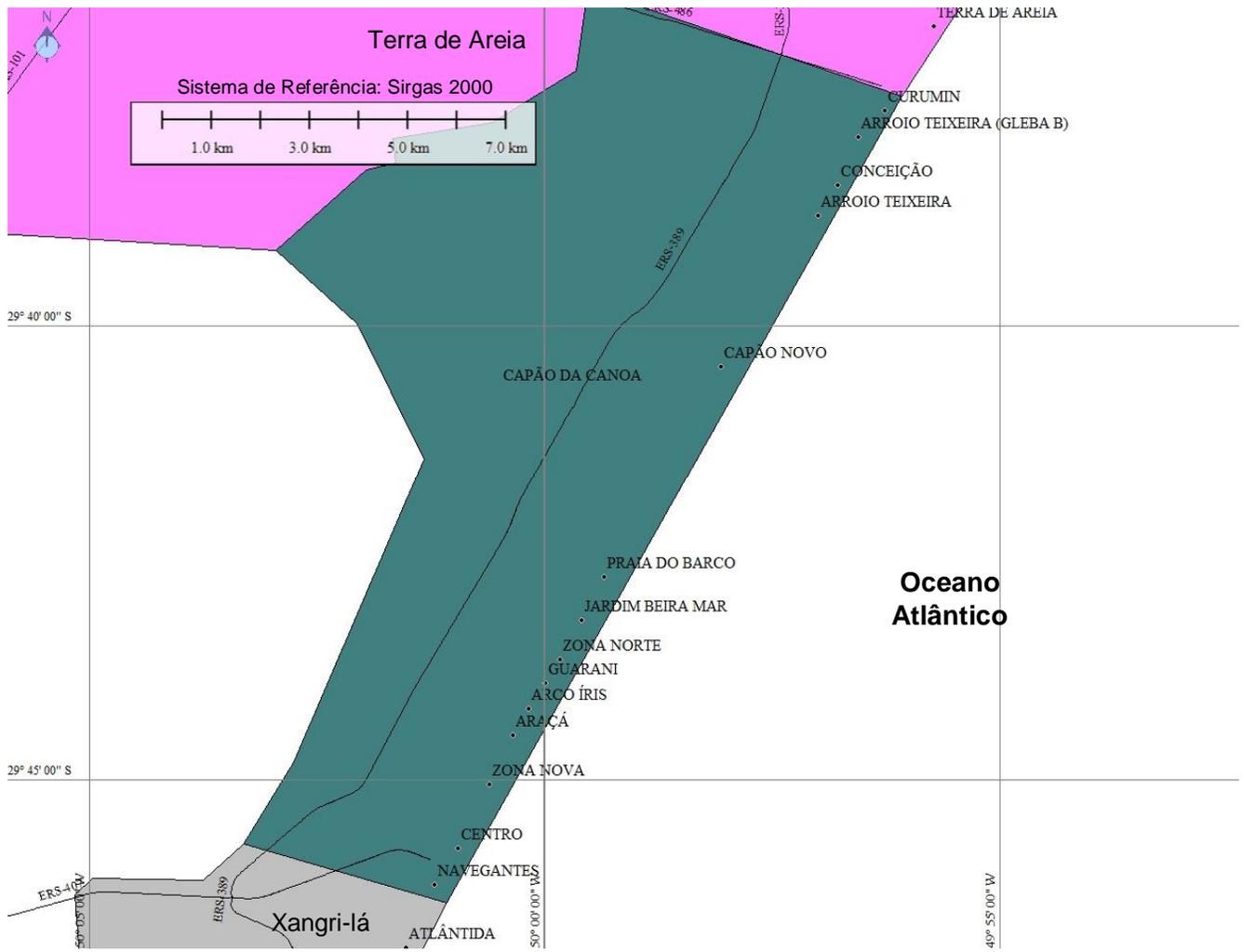


Figura 7. Balneários de Capão da Canoa.

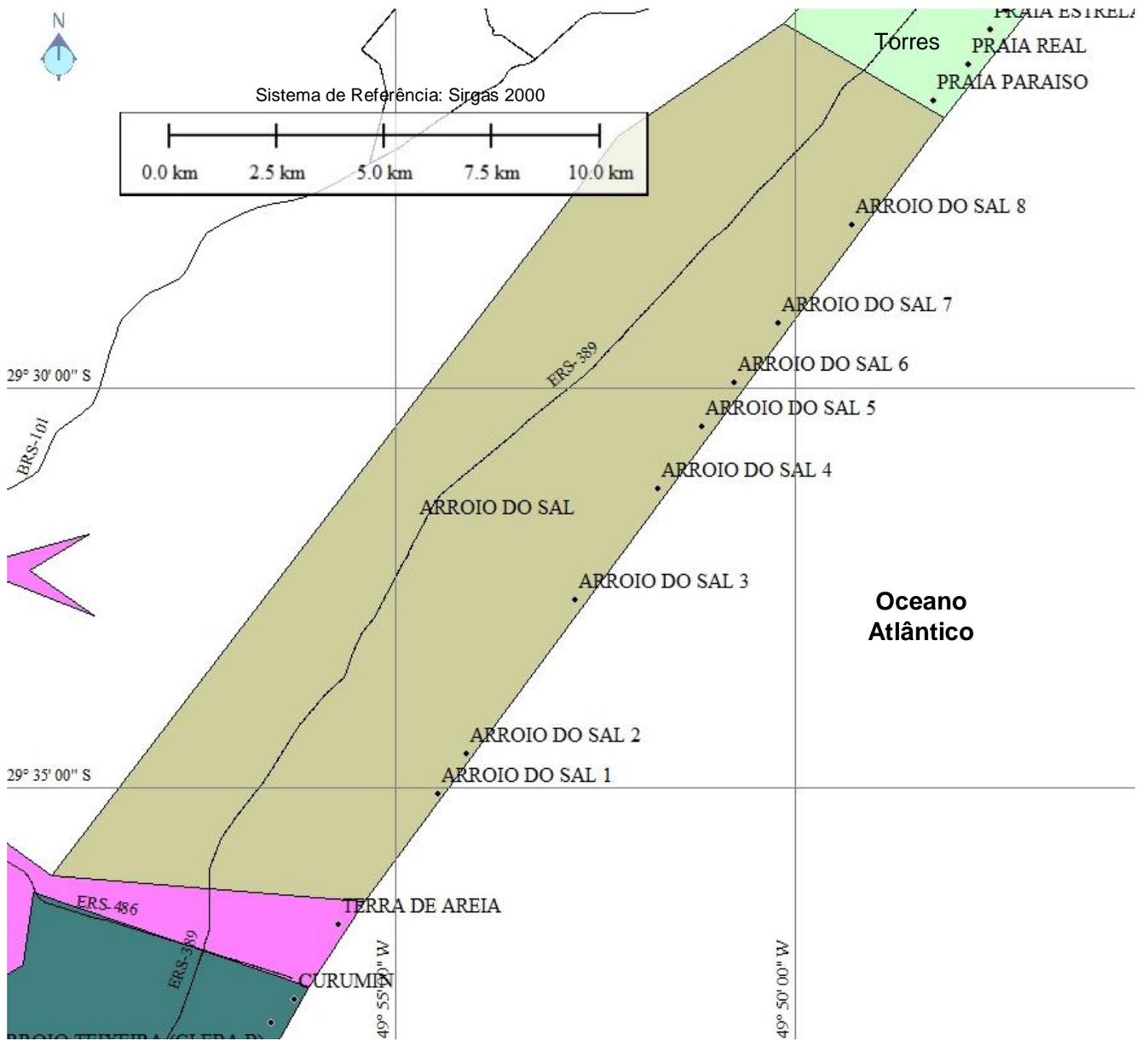


Figura 8. Balneários de Arroio do Sal.

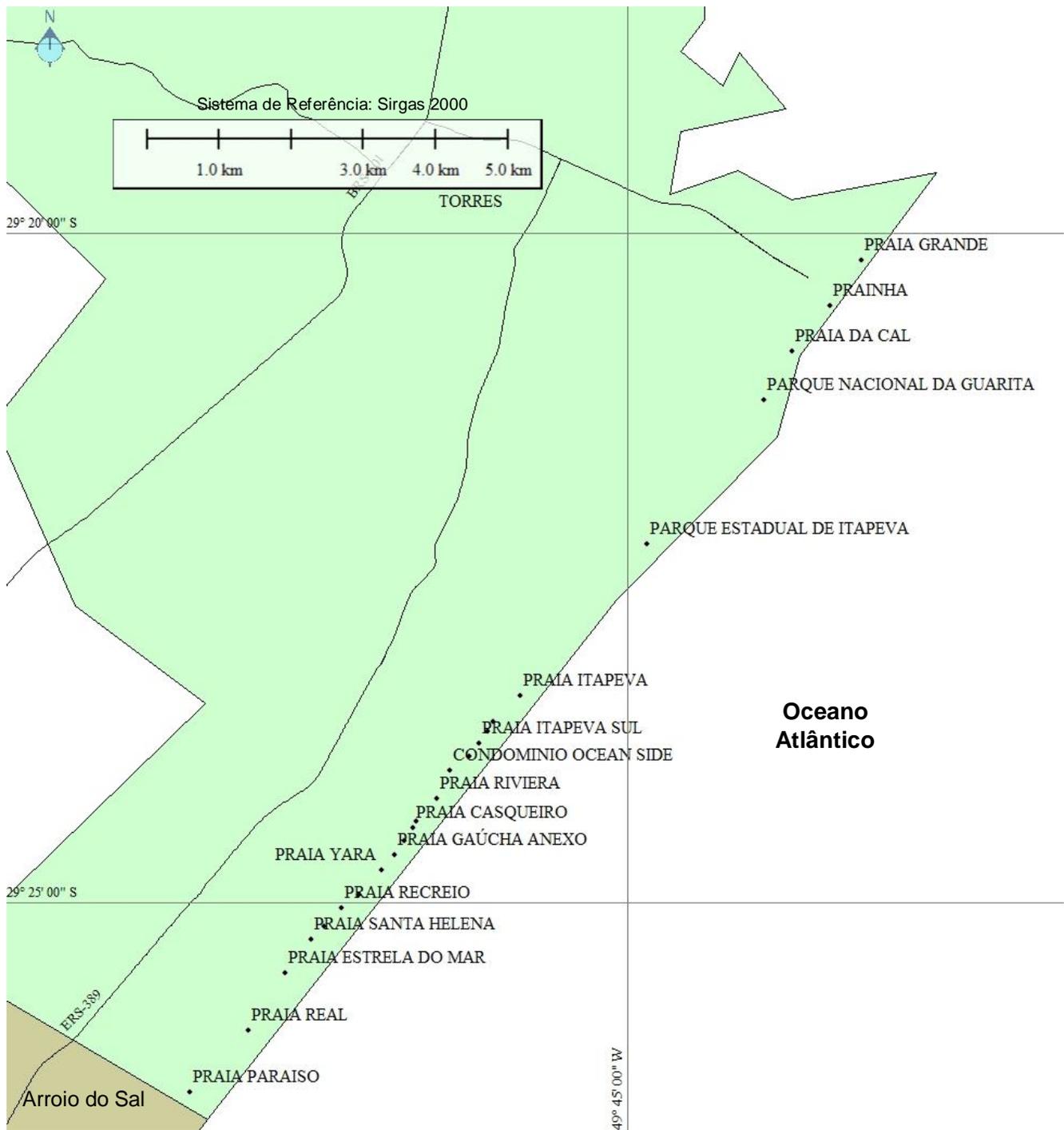


Figura 9. Balneários de Torres.

III.I. Geologia, Geomorfologia e Hidrografia

A área de estudo situa-se na planície costeira do Rio Grande do Sul (RS), a mais ampla do país. Essa planície cresceu durante o Quaternário, através do desenvolvimento de um sistema de leques aluviais situados em sua parte mais interna próximo às áreas fonte, e do acréscimo lateral de quatro sistemas deposicionais do tipo laguna barreira. Cada barreira instalou-se nos máximos transgressivos alcançados durante os últimos maiores ciclos glácio-eustáticos do Quaternário (TOMAZELLI; VILLWOCK, 2000). A planície costeira do RS corresponde a uma região onde estão expostos os depósitos mais superficiais e proximais do pacote sedimentar acumulado em uma bacia marginal aberta, a Bacia de Pelotas (TOMAZELLI; VILLWOCK, 2000).

A espessura máxima de sedimentos da planície costeira tem 1515 m e os sedimentos mais antigos tem idade miocênica. Os balneários são formados por praias arenosas em quase sua totalidade, porém ao norte, em Torres, afloram arenitos eólicos provenientes da Formação Botucatu e rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, ambas do Mesozoico (TOMAZELLI; VILLWOCK, 2000).

A área de estudo situa-se na Barreira IV, sua formação teve início a 5 ka quando o nível do mar variou entre 2 e 5 m acima do atual, dando início a formação de uma barreira formada por sedimentos eólicos e praias (ANGULO; LESSA; SOUZA, 2006). A barreira instalou-se no máximo transgressivo devido à grande disponibilidade de sedimentos arenosos disponíveis na plataforma continental interna, progredindo lateralmente pelo desenvolvimento de cordões litorâneos (*beach ridges*) na fase regressiva posterior (TOMAZELLI; VILLWOCK, 2000).

A plataforma continental possui 150 a 200 km de extensão, profundidades de 100 a 140 m e declividade suave, 0,5 a 1,5 m/km. A antepraia é constituída por depósitos arenosos, com limites externos nas profundidades de 10 e 15 m (ALMEIDA et. al., 2006). Os sedimentos praias são constituídos por areias finas de tamanho médio de 0,2 mm (NICOLODI et al., 2002, GRUBER, 2002).

Os balneários da área de estudo são, segundo Pereira et al., (2010), caracterizados por praias de características intermediárias de acordo com a classificação de Wright e Short (1984). Entre o farol de Mostradas até os desfiladeiros encontrados na praia da Guarita em Torres, os balneários apresentam características intermediárias com índice de mobilidade moderado a alto (PEREIRA et. al., 2010; PIVEL; CALLIARI, 1999). No município de Torres,

ocorrem balneários de características intermediárias e dissipativas com moderado a baixo índice de mobilidade (PEREIRA et. al., 2010).

O cordão de dunas é constituído por areias finas quartzosas (MARTINS, 1967) interrompido por sangradouros em diversos pontos. Entre Cidreira e Tramandaí notam-se extensos campos de dunas, os quais progradam sobre pântanos e lagoas costeiras. A altura das dunas frontais aumenta de norte a sul, as maiores ocorrem no balneário Dunas Altas (Palmares do Sul), onde atingem 8 m de altura (CALLIARI et al., 2005). Os mesmos autores afirmam que 50% das dunas do litoral norte encontram-se no estágio 2, segundo a classificação de Hesp (1988). Esse estágio é caracterizado por dunas de topografia simples, lateralmente contínuas, com 75 a 90 % de sua superfície vegetada.

Rastros lineares, rupturas de deflação (*blowouts*), *nebkas* e dunas parabólicas são frequentes, principalmente nas áreas onde o campo de dunas frontal e transgressivo foi preservado. Em diversos pontos, os campos de dunas foram removidos e substituídos por construções pelo intenso processo de urbanização em décadas anteriores (VIANNA; CALLIARI, 2015). Feições características e únicas na costa gaúcha são encontradas no município de Torres, como afloramentos rochosos e falésias, frequentes próximo ao Rio Mampituba (ROHDE, 1975).

Sobre o litoral incidem ondas geradas no Atlântico Sul e vagas formadas pelos fortes ventos nordeste de primavera e verão. Exceto pelos ventos sul e sudeste, as ondas são caracterizadas por média a alta energia (FONTOURA, 2004). Regimes ondulatórios correspondem as vagas e ondulações, sendo a maior concentração de vagas observadas nas direções entre E (leste) e ESE (leste-sudeste) no verão, com predominância de E em Tramandaí (STRAUCH et al., 2009). A altura significativa de ondas no verão em Tramandaí distribui-se entre as direções ENE (leste-nordeste) e S (sul) com valores entre 1,5 a 3 m. No outono, as alturas significativas chegam a 4,0 m entre as direções ENE e S, com predominância da direção SSE. Os períodos de picos se dividem entre as direções ENE e S, com valores de 15 s na direção SE (sudeste). No outono, os períodos de pico distribuem-se entre as mesmas direções observadas no verão, com períodos de 19 s na direção SSE.

A maré astronômica é semi diurna, com valores de amplitude máximos na ordem de 0,32 m (TOLDO et al., 2006). As marés meteorológicas positivas podem atingir três vezes o valor dos níveis de preamar normais para a região e, além de ocasionar elevação do nível do mar, podem causar o atraso ou adiantamento dos instantes de ocorrência das preamares e

baixa-mares, nestas condições, as preamares e baixamares poderão ser mais altas ou mais baixas do que as alturas previstas (TOLDO et al., 2006).

As marés astronômicas positivas possuem maior influência e intensidade durante outono e primavera períodos favoráveis ao aumento do nível do mar na costa (TOLDO et al., 2006). Marés meteorológicas têm sido registradas com mais frequência nos meses de abril a maio, associadas a frentes frias e podem elevar o nível do mar em até 1,5 m (BARLETTA, CALLIARI, 2001). No Atlântico Sul, marés meteorológicas formam-se quando sistemas frontais vindos do sul (centros de baixa pressão) formam ciclones extratropicais sobre o mar (SARAIVA et al., 2003). Na área de estudo já ocorreram marés meteorológicas com duração superior a 60 horas e altura de ondas na costa superior a 3 m, esses eventos ocasionam grandes erosões nas dunas frontais e perdas materiais nas áreas urbanizadas (OLIVEIRA, 2008).

A deriva litorânea promove o transporte longitudinal no sentido SO/NE (sudoeste-nordeste) próximos a $1520 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$ em Cidreira, $1060 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{m}$, entre Cidreira e Torres, e $1370 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$ próximo à Torres (ALMEIDA et al., 2006). O padrão de movimento da linha de costa foi descrito por Esteves et. al. (2006) onde, em termos de mudanças anuais, o comportamento da linha de costa na região apresentou características ondulatórias, ocorrendo acreção entre 1997 a 1998 e erosão entre 1998 e 1999. Essa alternância entre acreção e erosão coincidiu com eventos meteorológicos como El-Niño e La-Niña. A acreção ocorreu pela redução da energia dos ventos e ondas, que possibilitou a reconstrução da praia, já o segundo, caracterizado pelo aumento da ciclogênese, resultou na erosão da linha de costa. As variações sazonais que ocorreram na região evidenciaram erosão no inverno e acreção após o final do verão (ESTEVES et al., 2006). A linha de costa tende a erodir no outono e inverno pela maior energia de ondas e frequência de tempestades, e engordar na primavera e verão (BARLETTA, CALLIARI, 2001).

Nicolodi (2016) ao analisar a variação da posição da linha de costa em curto termo observou as seguintes tendências: Entre Dunas Altas a Centro de Palmares do Sul progradação moderada; campo de dunas de Palmares do Sul a Mariluz Plano B estável; Mariluz Plano C a Curumim progradação moderada; Terra de Areia a Parque Estadual de Itapeva erosão moderada; Parque Nacional da Guarita a Praia da Cal estável; Prainha a Praia Grande progradação moderada.

A barreira holocênica e pleistocênica da região (FIGURA 10) é formada basicamente por campos de dunas transgressivos ativos (DILLENBURG et al., 2009). Entre Torres e Tramandaí a costa é suavemente côncava, a barreira é suavemente regressiva com largura

entre 2 e 5 km (DILLENBURG et al., 2009). Ao sul de Tramandaí até Mostardas, a linha de costa é suavemente convexa, a barreira mede de 2 a 6 km, é coberta por dunas transgressivas que, em alguns pontos, excedem a barreira Pleistocênica (DILLENBURG et al., 2009). Em Jardim do Éden há evidências de que a barreira é retrogradante pela presença de afloramentos de turfas (DILLENBURG et al., 2009). Em Cidreira existem evidências de retrogradação da barreira em longo termo, porém mais recentemente a barreira está progradando (TRAVESSAS, 2003). Em Dunas Altas, as grandes dunas frontais indicam que a barreira é estável (DILLENBURG et al., 2009).

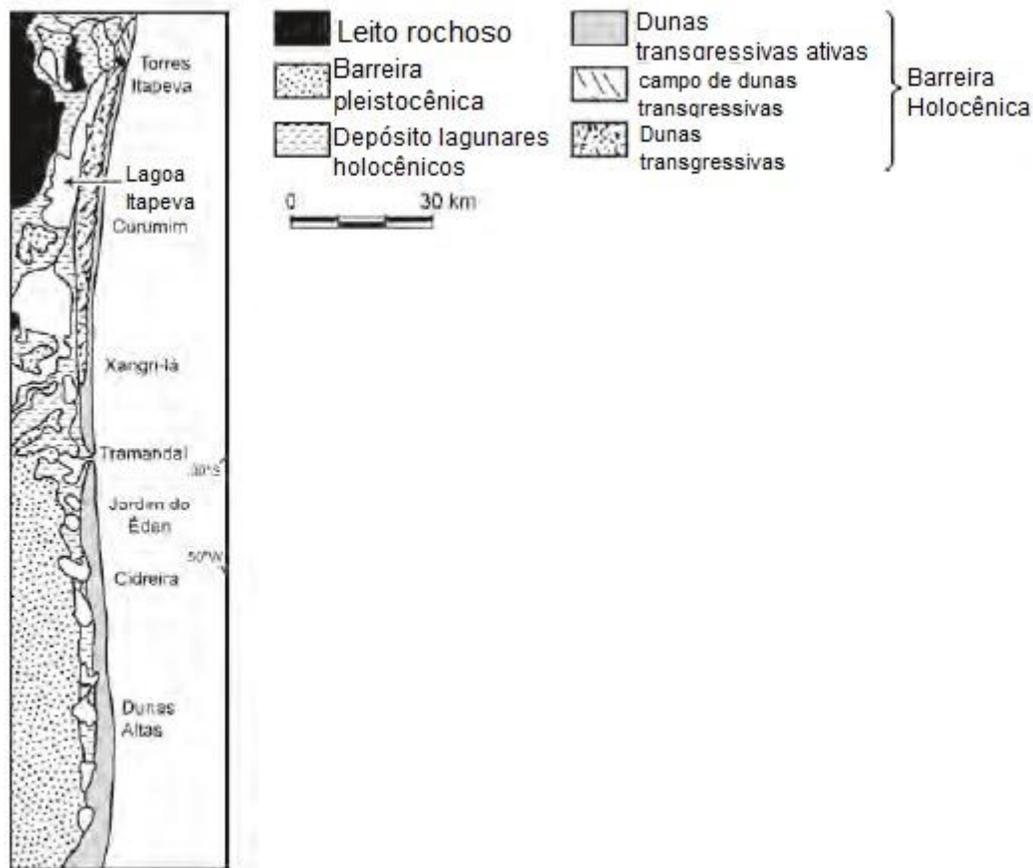


Figura 10. Barreira Holocênica e Pleistocênica no litoral norte do RS (Fonte: HESP et a., 2005).

Na região ocorrem, em média, de 6 a 10 sangradouros a cada 10 km até a desembocadura da laguna de Tramandaí, onde a média cai para 4, aumentando entre 10 a 14 em Torres. A diminuição em Tramandaí é atribuída à laguna que dirige a drenagem superficial para o seu interior. O brusco aumento na sua frequência nos trechos mais urbanizados pode ocasionar déficit sedimentar praial e, conseqüente, erosão costeira em casos mais extremos

devido ao maior transporte de sedimentos para a zona de arrebentação (FIGUEIREDO; CALLIARI, 2005).

III.II. Clima

O RS situa-se climaticamente em uma zona de transição, visto que sofre influência de Sistemas Extratropicais (massas e frentes polares) e Sistemas Intertropicais (massas tropicais). O estado é dominado por um clima brando, super úmido, com boa distribuição de chuvas durante todo o ano e sem estação seca, pois há pré-condição à evaporação devido ao extenso litoral regido por correntes quentes (NIMER, 1989). Pesquisas recentes identificaram quatro tipos climáticos no RS, são eles: Subtropical I – pouco úmido, Subtropical II - medianamente úmido com variação longitudinal das temperaturas médias, Subtropical III – úmido com variação longitudinal das temperaturas médias, Subtropical IV - muito úmido (ROSSATO, 2011).

Baseado na classificação acima, a região de estudo está localizada na zona de influência do clima subtropical I, subclassificação Ib, caracterizado por ser pouco úmido com inverno frio e verão quente. A região sofre influência dos sistemas polares com maior participação de sistemas tropicais continentais, em associação com o efeito da continentalidade e do relevo. Os sistemas frontais são responsáveis pela maior parte das precipitações. Chove entre 1400 – 1700 mm ao ano, de forma concentrada em 70 – 90 dias de chuva. A precipitação ocorre entre 6 – 9 dias ao mês, principalmente nos meses de outono e primavera. A temperatura média anual é amena, varia de 20 a 23° C. No mês mais frio oscila entre 11 e 14° C, no mês mais quente varia entre 23 – 29° (ROSSATO, 2011).

Tomazelli (1993) efetuou a análise de séries temporais de vento, entre 1970 e 1982, obtidas das estações meteorológicas de Torres, Imbé e Rio Grande, determinando a direção e velocidade dominante. O estudo mostrou que o vento nordeste (NE) é o mais frequente, sendo procedido pelo sul (S) para Torres, oeste (O) para Imbé e sudoeste (SO) para Rio Grande. A frequência do vento NE durante o ano para Torres chega a 24,1%, para Imbé a 41,4%. A maior frequência percentual de NE ocorre em dezembro para Imbé com (53,2%) e em novembro para Torres (62,7%).

Segundo o Atlas Eólico do Rio Grande do Sul, a direção e frequência dos ventos dominantes na região de estudo são as seguintes: Torres: NE, 17,5%; Arroio do Sal a Capão da Canoa NE, 17,5%; Xangri-lá ao centro de Tramandaí NE, 22,5%; centro de Tramandaí até

Balneário Pinhal NE, 25% e de Balneário Pinhal a Dunas Altas NE, 20% (CAMARGO et al., 2002).

III.III. Flora

Nos campos de dunas da região ocorrem as espécies *Calysera crassifolia*, *Cakile maritima*, *Blutaparon Portulacoides*, *Panicum racemosum*, *Senecio crassiflorus*, *Gamochaeta american* e *Hydrocotyle bonariensis* (SEELIGER et. al., 1998). Além das citadas espécies, nas dunas frontais do litoral norte do RS ocorrem *Spartina ciliata*, e *Hydrocotyle bonariensis* (PALMA; JARENKOW, 2008). Segundo Seeliger, Cordazzo e Barcellos (2004) *Blutaparon portulacoides* é uma vegetação pioneira que habita as dunas embrionárias, a mesma constitui-se em um obstáculo e intercepta o fluxo de areia transportado pelos ventos, sendo essa espécie responsável pela formação das dunas incipientes. *Panicum racemosum* ocasiona maior deposição de areia e pode ser encontrada nas dunas frontais, sendo chamada de construtora das dunas (SEELIGER; CORDAZZO; BARCELLOS, 2004). Palma (2006) ao estudar a vegetação das dunas frontais do Parque Estadual de Itapeva encontrou com maior frequência e cobertura *Panicum racemosum*, *Senecio crassiflorus* e *Hydrocotyle bonariensis*.

Entre Torres e Cidreira ocorrem associações entre *Panicum racemosum* e *Senecio crassiflorus*, sem zonação definida. A maior densidade de *Panicum racemosum* encontra-se em Dunas Altas devido ao maior suprimento sedimentar e disponibilidade de nutrientes (CALLIARI et al., 2005). Quando as dunas frontais são segmentadas por sangradouros, há formação de uma topografia irregular vegetada por *Spartina Ciliata* e *Paspalum vaginatum* (CALLIARI et al., 2005).

IV. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. E. S. B.; LIMA, S. F.; TOLDO Jr, E. E. Estimativa da capacidade de transporte de sedimentos a partir de dados de ondas. In: MUEHE, D. **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, 2006 p. 455-459.

ANGULO, R; LESSA, G; SOUZA, M. A critical review of mid- to late-Holocene sea-level fluctuations on the eastern Brazilian coastline. **Quaternary Science Reviews**, [s.l.], v. 25, n. 5-6, p.486-506, mar. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2005.03.008>.

BARLETTA, R. C.; CALLIARI L. J. Determinação da intensidade das tempestades que atuam no litoral do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, v. 28, n. 2, p.117-124, jun. 2001.

BIRD, E. **Coastal Geomorphology**. 2. ed. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2008. 411 p.
CALLIARI, L. J. et al. Variabilidade das dunas frontais no litoral norte e médio do Rio Grande do Sul/Brasil. **Gravel**, Porto Alegre, p.15-30, nov. 2005.

CALLIARI, L. J.; SILVA, R. P. Erosion processes associated to storm surge and washout along the south brazilian coastline. **Journal of Coastal Research**, v. 26, n.SI, p. 1-7, 1998.

CALLIARI, L. J.; TOLDO Jr, E. E.; NICOLODI, J. L. Classificação Geomorfológica. In: MUEHE, D. **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, 2006 p. 438-444.

CAMARGO, O. A. et al. **Atlas eólico: Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria de Energia Minas e Comunicações, 2002. 70 p.

DAVIDSON-ARNOTT, R. **Introduction to Coastal Processes and Geomorphology**. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. 442 p.

DILLENBURG, Sérgio R. et al. The Holocene Coastal Barriers of Rio Grande do Sul. **Geology And Geomorphology Of Holocene Coastal Barriers Of Brazil**, [s.l.], p.53-91, jan. 2009. Springer Berlin Heidelberg. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-44771-9_3.

ESTEVES, L. S.; DILLENBURG, S. R.; TOLDO Jr., E. E. Alongshore patterns of shoreline movements in southern Brazil. **Journal of Coastal Research**, Itajaí, v. SI 39, p. 215-219, 2006.

FIGUEIREDO, S.; CALLIARI, L. J. Sangradouros: distribuição espacial, variação sazonal, padrões morfológicos e implicações no gerenciamento costeiro. **Gravel**, Porto Alegre, p.47-57, nov. 2005.

FONTOURA, J. A. S. **Hidrodinâmica costeira e quantificação do transporte longitudinal de sedimentos não coesivos na zona de surfe das praias adjacentes aos molhes da Barra do Rio Grande, RS, Brasil**. 2004. 281 f. Tese (Doutorado) - Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

GRUBER, N. L. S. **A antepraia na região de Tramandaí, RS**. 2002. 221 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

HESP, P. Morphology, dynamics and internal stratification of some established foredunes in southeast Australia. **Sedimentary Geology**, [s.l.], v. 55, n. 1-2, p.17-41, mar. 1988. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0037-0738\(88\)90088-7](http://dx.doi.org/10.1016/0037-0738(88)90088-7).

HESP, P. Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics. **Geomorphology**, v. 48, n. 1-3, p.245-268, nov. 2002. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0169-555x\(02\)00184-8](http://dx.doi.org/10.1016/s0169-555x(02)00184-8).

HESP, Patrick A. et al. Beach ridges, foredunes or transgressive dunefields? Definitions and an examination of the Torres to Tramandaí barrier system, Southern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [s.l.], v. 77, n. 3, p.493-508, set. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0001-37652005000300010>.

HUGGETT, R. J. **Fundamentals of Geomorphology**. Oxford: Routledge, 2007. 458 p.

MACHADO, A. A. et al. Historical assessment of extreme coastal sea state conditions in southern Brazil and their relation to erosion episodes. **Pan-american Journal of Aquatic Sciences**, v. 2, n. 5, p.277-286, out. 2010.

MARTINHO, C. T.; HESP, P. A.; DILLENBURG, S. R. Morphological and temporal variations of transgressive dunefields of the northern and mid-littoral Rio Grande do Sul coast, Southern Brazil. **Geomorphology**, [s.l.], v. 117, n. 1-2, p.14-32, abr. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.11.002>.

MARTINS, L. R. Aspectos deposicionais e texturais dos sedimentos praias e eólicos da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. *Publicação Especial da Escola de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul*, 13: 1-102, 1967.

NICOLODI, J. L. et al. Análise sedimentológica do pós-praia no Rio Grande do Sul. In: MARTINS, L. R.; TOLDO Jr, E. E.; DILLENBURG, S. R. **Erosão Costeira: Causas, análise de risco e sua relação com a gênese de depósitos minerais**. Porto Alegre: UFRGS, 2002. p. 3.

NICOLODI, J. L. Cartograma. Erosão e Progradação da Costa do Rio Grande do Sul: Universidade Federal do Rio Grande, 2016. 1 imagem.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Ibge, 1989. 422 p.

OLIVEIRA, M. P. **Análise dos Parâmetros Meteorológicos e Oceanográficos de um Evento de MM Ocorrido em Tramandaí**. 2008. 59 f. TCC (Graduação) - Curso de Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

PALMA, C. B. **Estrutura e fenologia floral da vegetação herbácea de dunas frontais no Parque Estadual de Itapeva, Torres, Rio Grande do Sul**. 2006. 58 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Botânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

PALMA, C. B.; JARENKOW, J. A. Estrutura de uma formação herbácea de dunas frontais no litoral norte do Rio Grande do Sul. **Biociências**, Porto Alegre, v. 16, n. 2, p.114-124, jul. 2008.

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**, [s.l.], v. 57, n. 3, p.175-188, set. 2009. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1679-87592009000300002>.

PEREIRA, P. S.; CALLIARI, L. J.; BARLETTA, R. C. Heterogeneity and homogeneity of Southern Brazilian beaches: A morphodynamic and statistical approach. **Continental Shelf Research**, [s.l.], v. 30, n. 3-4, p.270-280, fev. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.csr.2009.11.007>.

PIVEL, M. A. G; CALLIARI, L. J. Mobilidade das Praias de Torres (RS). In: VII CONGRESSO DA ABEQUA, 1999, Porto Seguro. Anais do VII Congresso da Abequa. Disponível em: <http://abequa.org.br/trabalhos/viiabequa_zcp019.pdf>. Acesso em: 23 jan. 1999.

ROHDE, G. M. A origem geológica das formações de Torres - RS. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, n. 18, p.88-91, 1975.

ROSSATO, M. S. **Os climas do Rio Grande do Sul: Variabilidade, tendências e tipologia**. 2011. 240 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

SARAIVA, J. M. B.; BEDRAN, C.; CARNEIRO, C. Monitoring of Storm Surges on Cassino Beach, RS, Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. [s.i.], n. 35, p.323-331, spring 2003.

SEELIGER, U. A Flora das Dunas Costeiras. In: SEELIGER, U.; ODEBRECHT, C.; CASTELLO, J. P. **Os Ecossistemas Costeiro e Marinho do Extremo Sul do Brasil**. Rio Grande: Ecocientia, 1998. p. 109-11.

SEELIGER, U.; CORDAZZO, C.; BARCELLOS, L.. **Areias do Albardão: um guia ecológico ilustrado do litoral no extremo sul do Brasil**. Rio Grande: Ecoscientia, 2004.

SHORT, A. D.; HESP, P. A. Wave, beach and dune interactions in southeastern Australia. **Marine Geology**, [s.l.], v. 48, n. 3-4, p.259-284, ago. 1982. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0025-3227\(82\)90100-1](http://dx.doi.org/10.1016/0025-3227(82)90100-1).

SILVA, G. M. et al. Foredune vegetation patterns and alongshore environmental gradients: Moçambique Beach, Santa Catarina Island, Brazil. **Earth Surface Processes and Landforms**, [s.l.], v. 33, n. 10, p.1557-1573, set. 2008. Wiley-Blackwell. <http://dx.doi.org/10.1002/esp.1633>.

STRAUCH, J. et al. O Padrão das Ondas de Verão e Outono no Litoral Sul e Norte do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [s.l.], v. 14, n. 4, p.29-37, 2009. Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v14n4.p29-37>.

TOLDO Jr., E. E. et al. Erosão e acreção da zona costeira. In: Muehe, D. **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, 2006. p. 468-475.

TOMAZELLI, L. J. O Regime dos Ventos e a Taxa de Migração das Dunas Eólicas Costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas**, Porto Alegre, v. 20, n. 1, p.18-26, jan. 1993.

TOMAZELLI L. J.; VILLWOCK J. A. O cenozóico costeiro do rio grande do sul. In: Holz, M; De Ros, L F. **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, 2000. p. 175-406.

TRAVESSAS, F. A.; DILLENBURG, S. R.; CLEROT, L. C. P. ESTRATIGRAFIA E EVOLUÇÃO DA BARREIRA HOLOCÊNICA DO RIO GRANDE DO SUL NO TRECHO TRAMANDAÍ-CIDREIRA. **Boletim Paranaense de Geociências**, [s.l.], v. 57, p.57-73, 31 dez. 2005. Universidade Federal do Paraná. <http://dx.doi.org/10.5380/geo.v57i0.6043>.

VIANNA, H. D.; CALLIARI, L. J. Variabilidade do sistema praia-dunas frontais para o litoral norte do Rio Grande do Sul (Palmares do Sul a Torres, Brasil) com o auxílio do Light Detection

and Ranging – LIDAR. **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, v. 2, n. 42, p.141-158, Maio-ago. 2015.

VIANNA, H. D.; CALLIARI, L. J. VARIABILIDADE GRANULOMÉTRICA DO SISTEMA PRAIA DUNAS AO LONGO DO LITORAL NORTE DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL. **Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão (issn: 2525-4782)**, [s.l.], v. 2, n. 1, p.1-13, 16 ago. 2017. Revista Mundi. <http://dx.doi.org/10.21575/25254782rmetg2017vol2n1332>.

VISHER, G. S. Grain Size Distributions and Depositional Processes. **Septm Journal of Sedimentary Research**, [s.l.], v. 39, p.1074-1106, 1969. Society for Sedimentary Geology. <http://dx.doi.org/10.1306/74d71d9d-2b21-11d7-8648000102c1865d>.

WRIGHT, L. D.; SHORT, A. D. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A synthesis. **Marine Geology**, [s.l.], v. 56, n. 1-4, p.93-118, abr. 1984. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0025-3227\(84\)90008-2](http://dx.doi.org/10.1016/0025-3227(84)90008-2).

CAPÍTULO 1

COBERTURA VEGETAL E MORFOLOGIA DAS DUNAS FRONTAIS NO LITORAL NORTE DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL

VIANNA, Humberto Dias

CALLIARI, Lauro Julio

hvianna@furg.br

Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica-IO-FURG

RESUMO: O desenvolvimento morfológico de uma duna frontal estabilizada depende do suprimento de areia, frequência de processos erosivos provocados por ondas ou ventos, percentual de cobertura vegetal e respectivas espécie ocorrentes. Dunas frontais podem ser classificadas de acordo com o percentual de cobertura vegetal em cinco estágios morfoecológicos. O objetivo desse trabalho consistiu em determinar e discutidos os estágios encontrados, com a morfologia associada, para 23 trechos de balneários no litoral norte do Rio Grande do Sul. Para tal, a área das dunas frontais foi demarcada em modelos digitais de superfície produzidos com dados laser scanning. Imagens de satélite foram utilizadas para a determinação automatizada do percentual de cobertura vegetal. O processo utilizado foi o de classificação supervisionada de imagens, máxima verossimilhança. Os percentuais de cobertura vegetal nos trechos variaram entre 83%, trecho 1 e 23, a 40%, trecho 18. As dunas frontais correspondem aos estágios morfoecológicos 2, 3 e 4, sendo o 3 predominante. A morfologia do campo de dunas varia de cordões lineares bem vegetados em Dunas Altas (estágio 2) a pequenos montículos parcialmente vegetados ao sul de Arroio do Sal (estágio 4). A topografia *hummocky* é a mais comum na região. Dunas parabólicas, barcanóides e *nebkas* são feições menos frequentes. A morfologia das dunas frontais é explicada pelo grande número de sangradouros e *blowouts* ocorrentes na região, que ocasionam processos erosivos e seccionam os cordões dunares. Dunas com maiores percentuais de cobertura vegetal e contínuas ao sul indicam variações ao longo da linha de costa no aporte sedimentar eólico. Ao sul, a maior largura da praia subaérea e potencial de deriva de vento, assim como a orientação da linha de costa, possibilitam que maiores quantidades de sedimentos sejam transportados em direção das dunas frontais, diferentemente dos trechos mais ao norte.

Palavras-chave: Vegetação costeira; classificação de imagens; laser scanning; geomorfologia costeira.

1. INTRODUÇÃO

Dunas frontais são definidas como cristas dunares paralelas à costa formada no topo da praia através da deposição de sedimentos eólicos na vegetação (HESP, 2002). São estruturas não migratórias que se desenvolvem em resposta a interações aerodinâmicas entre vegetação, transporte de areia e processos costeiros locais (HESP, 1988).

A vegetação das dunas frontais é função de fatores ambientais como transporte eólico, tipo de zona de surf, spray salino, disponibilidade de nutrientes, pluviosidade, temperatura e porosidade do substrato (SILVA et al, 2008).

As plantas presentes nas dunas frontais são selecionadas de acordo com suas fisiologias, tolerância ao spray salino, morfologia e trato reprodutivos (HESP, 1991). A dinâmica ecológica da vegetação costeira é importante para o crescimento das dunas frontais. O crescimento vertical e horizontal das dunas depende da interação entre suprimento de sedimento, crescimento da vegetação e campo de vento. O crescimento da vegetação parece responder positivamente à deposição (CARTER, 1988).

No litoral do Rio Grande do Sul (RS), na retaguarda de praias dissipativas e intermediárias, ocorrem nas dunas frontais associações de *Blutaparon portulacoides*, *Panicum racemosum*, *Spartina ciliata*, *Hydrocotyle bonariensis*, *Paspalum vaginatum*, *Androtrichum trigynum* e *Andropogon arenarius* (CORDAZZO; SEELIGER, 1993). A ação de ondas e ventos na costa, e consequente transporte eólico de sedimentos, atuam na seleção de espécies dominantes nas dunas frontais, as quais influenciam na formação fisiográfica das dunas frontais ao sul do Brasil (SEELIGER, 1997)

Diversos estudos apontam que ocorre uma redução exponencial no transporte eólico quando os sedimentos se movem de uma praia para uma duna vegetada (ARENS, 1996). Para a formação das dunas frontais, a densidade de cobertura vegetal é mais importante que o tipo de vegetação, de modo que o aumento na densidade provoca um incremento na rugosidade e, conseqüentemente, redução na velocidade do vento próximo da superfície e deposição (HESP, 1983).

Quando a densidade diminui, a penetração do fluxo de ar aumenta e a turbulência capaz de mover o sedimento pode existir. Dunas frontais com grandes percentuais de cobertura vegetal (%CV) barram o transporte eólico, ocasionando a deposição dos sedimentos transportados por saltação e arrasto, com resultante crescimento vertical da duna (GOLDSMITH, 1985).

O estágio de desenvolvimento morfológico de uma duna frontal estabilizada depende dos seguintes fatores: suprimento de areia, cobertura vegetal e tipo de planta que a compõe, acresção ou erosão eólica, morfologia inicial da duna incipiente, frequência e magnitude de ondas e ventos (SHORT; HESP, 1982).

A morfologia das dunas frontais é fortemente controlada pela natureza das plantas pioneiras incluindo o modo de colonização, morfologia, tolerância ao sal e resistência ao atrito com os sedimentos (TRENHAILE, 1997).

Hesp (1988) criou um sistema para classificação morfológica das dunas frontais de acordo com o % CV. Nesse sistema, cinco estágios morfo ecológicos evolucionários foram definidos (Tabela 1).

Tabela 1. Classificação morfológica proposta Hesp (1988) para dunas frontais.

Estágio 1	Dunas topograficamente contínuas, bem vegetadas (90%-100%), moderadamente onduladas, <i>foredune ridges</i>
Estágio 2	Depressões não vegetadas de pequena escala, menor cobertura vegetal 75-90%
Estágio 3	Topografia do tipo <i>hummocky</i> , pequenos <i>blowouts</i> , cobertura vegetal entre 45-75%
Estágio 4	Topografia pronunciada, moderados a grandes <i>blowouts</i> e lençóis de areia, cristas parcialmente vegetadas, cobertura vegetal entre 20-40%
Estágio 5	Pequenas elevações remanescentes, bacias de deflação de grande escala <i>blowouts</i> e lençóis de areia, % CV entre 5 e 20%.

A classificação é essencialmente morfoecológica, onde para cada estágio de duna frontal é atribuída uma morfologia típica. Nenhuma dimensão da duna é atribuída aos cinco estágios, podendo a altura da duna frontal variar, por exemplo, de 5 a 30 m (HESP, 1988).

No estágio 1, as dunas são topograficamente simples, lateralmente contínuas e bem vegetadas, podem estar associadas com uma duna incipiente, possuem perfil de inclinação suave com uma crista larga e perfil a sotavento mais inclinado. É raro encontrar encostas com inclinações superiores a 20°, geralmente exibem zonação clássica de vegetação, com espécies pioneiras, intermediárias e de clímax, encontradas na área que se estende da base a barlavento à base a sotavento (HESP, 1988).

No estágio 2, as dunas frontais apresentam uma morfologia semelhante ao estágio 1, porém com menor grau de cobertura vegetal, é caracterizada por depressões e lençóis de areia, com crista instável e menor densidade de vegetação nas faces. Áreas bem vegetadas (90% de cobertura) se alternam com lençóis arenosos, quando a cobertura é menor (75%), os lençóis de areia tendem a ser maior, de forma côncava circular ou alongada (HESP, 1988).

O tipo de duna frontal mais comum é o estágio 3, que são parcialmente vegetadas e possuem *blowouts* que podem chegar a 40 m. A face a barlavento é vegetada com forma côncava, crista irregular e discretos montículos de areia ocorrem. Variações na morfologia, como montículos de terra e protuberâncias, são comuns quando espécies de plantas que formam tufo e não possuem rizomas ou estolões se estabelecem. Nesses casos, as dunas são muito suscetíveis a processos erosivos. No estágio 3 *blowouts* são característicos (HESP, 1988).

Caracterizado por *blowouts* de grande escala, lençóis de areia e bacias de deflação intercaladas com cristas, montículos e depressões parcialmente vegetadas, as dunas do estágio 4 apresentam grande diversidade de tamanho e morfologias, são semelhantes as do estágio 3, porém com ambientes deposicionais e erosionais maiores (HESP, 1988).

O estágio 5 ocorre quando uma duna frontal foi amplamente removida pela erosão provocada pelo vento ou ondas, discretos montículos e cristas de areia pobremente vegetadas podem remanescer, intercalando com bacias de deflação côncavas e lençóis arenosos (HESP, 1988).

Uma ilustração esquemática dos estágios descritos acima pode ser visualizada na figura 1.



Figura 1. Classificação morfológica para dunas frontais descrita por Hesp (1988). Fonte: Hesp (2000).

Esse trabalho teve o objetivo de mensurar o %CV das dunas frontais pertencentes aos municípios do litoral norte do Rio Grande do Sul (RS), onde predominam praias dissipativas a intermediárias, classificá-las de acordo com estágios morfoecológicos propostos por Hesp (1988), apresentar a morfologia associada e discutir os elementos responsáveis pela variação encontrada.

2. METODOLOGIA

Modelos digitais de superfície (MDS) produzidos com dados de laser scanning (LIDAR) foram utilizados para a análise visual da geomorfologia e demarcação das áreas de todas as dunas frontais do trecho estudado. Os MDS possuem resolução espacial de 0,5 m e correspondem a um modelo topográfico real do litoral norte do RS (VIANNA; CALLIARI, 2015). A demarcação dos polígonos de cada duna frontal foi efetuada manualmente junto à base da duna para posterior cálculo das áreas, essas etapas foram executadas no software Global Mapper V.15.

Imagens de sensores orbitais de alta resolução, provenientes do World Imagery, foram empregadas para a demarcação das áreas vegetadas. O World Imagery prove composições coloridas de imagens de satélite sub métricas da DigitalGlobe com resolução espacial de 1 m ou superior de diversas partes do mundo (ESRI, 2017). Como o World Imagery possui imagens de diversos sensores com diferentes resoluções espaciais, adotou-se um tamanho de pixel padrão de 2 m. As cenas baixadas, correspondem aos anos de 2010 e 2011, foram georreferenciadas e editadas, preservando-se apenas as áreas das dunas a fim de se diminuir

o esforço computacional durante o processo de classificação.

Melhorias nos contrastes das imagens foram efetuadas a partir da utilização de um filtro linear que, basicamente, ressalta as estruturas de detalhe na imagem, ou seja, realça as bordas nas direções horizontais, verticais e diagonais (MENESES; SANTA ROSA, 2012).

Uma técnica comum de análise de imagem no sensoriamento remoto da vegetação de dunas costeiras é a classificação da imagem, que pode ser definida como um processo automatizado para extração da informação temática desejada (HAGUE, 2016). O processo de classificação de imagens supervisionada (máxima verossimilhança) foi aplicado nas cenas para a demarcação da área vegetada das dunas, de acordo com a metodologia proposta por Ahmady-Birgani et al. (2017) e Keijsers, Groot e Riksen (2015). O último autor, ao validar a metodologia, obteve uma acurácia que variou de 71% a 100% no processo de classificação.

Nessa classificação, cada pixel é destinado à classe que tem a mais alta probabilidade, isto é, a máxima verossimilhança. É o classificador mais eficiente porque classes de treinamento nas imagens são utilizadas para estimar a forma da distribuição dos pixels contidos em cada classe (MENESES; SANO, 2016). O algoritmo de máxima verossimilhança incorpora valores de média e covariância das classes de treinamento para construir a equiprobabilidade das regiões de contorno (AHMAD, 2012).

Duas classes foram criadas durante o processo, uma para sedimento e outra para vegetação (FIGURA 2), assim como o proposto por Keijsers, Groot e Riksen (2015). Polígonos foram gerados para demarcação e obtenção da área vegetada em cada duna.

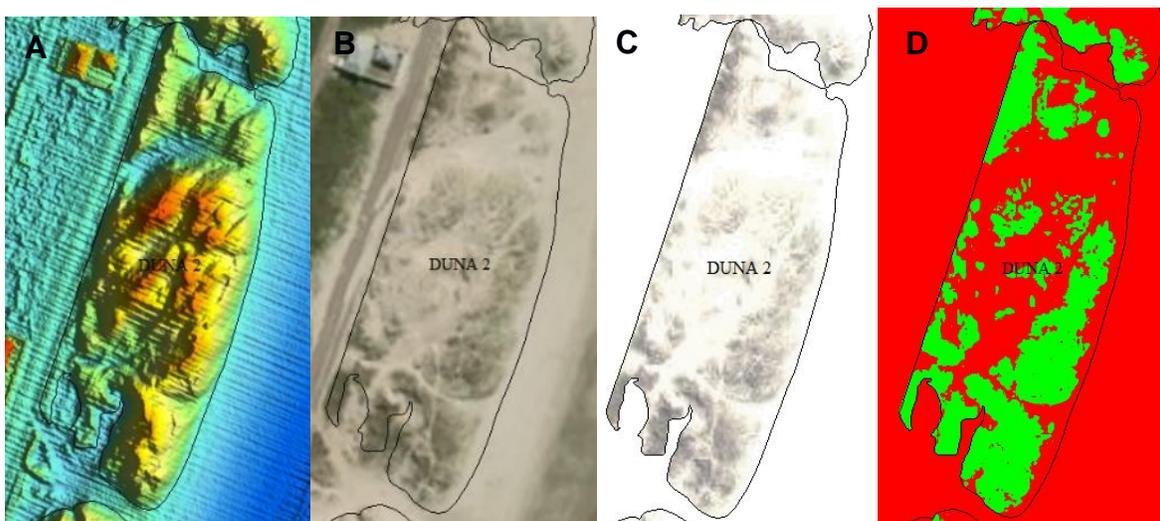


Figura 2. Processo de classificação supervisionada, duna frontal demarcada no MDS (A), composição colorida (B), imagem editada com melhorias no contraste (C), imagem classificada (D).

O % CV foi determinado para cada duna e, posteriormente, para cada balneário (EQUAÇÃO 1). Como o litoral norte do RS possui balneários com diferentes comprimentos de linha de costa, os mesmos foram agrupados em trechos, com comprimento médio de 5 km, a fim de se eliminar essas discrepâncias e simplificar as análises. O %CV médio por trecho também foi determinado (EQUAÇÃO 2)

$$\%CV \text{ balneário } (N) = \left[\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\text{área vegetada duna } i \text{ m}^2}{\text{área duna } i \text{ m}^2} \right) + \dots + \left(\frac{\text{área vegetada duna } n \text{ m}^2}{\text{área duna } n \text{ m}^2} \right)}{n} \right] \text{ (Equação 1)}$$

$$\%CV \text{ trecho } (N) = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (\%CV \text{ balneário } i) + \dots + (\%CV \text{ balneário } n)}{n} \right] \text{ (Equação 2)}$$

As morfologias das dunas frontais observadas nos MDS foram descritas e identificou-se, para cada trecho, o estágio morfo ecológico encontrado.

3. RESULTADOS

As dunas frontais do litoral norte do RS são bem vegetadas, com %CV médio igual a 66%. Nos balneários, os %CV das dunas frontais variam entre 27% e 99%. Na tabela 2 são apresentados os percentuais determinados para cada balneário, assim como os 23 trechos na qual a área de estudo foi subdividida, também mostrados na figura 3.

Tabela 2. %CV das dunas frontais na área de estudo e respectivos trechos de balneários.

Município	Trechos e seus limites (latitudes)	Balneários	% Cob. veg. Dunas
Palmares do Sul	Trecho 1 30°24'00"S - 30°21'10"S	Dunas Altas	80,3
		Santa Rita	79,8
		Frade	86,9
		Rei do Peixe	86,6
	Trecho 2 30°21'10"S - 30°18'17"S	Centro (Pioneiros)	76,4
	Campo Dunas	48,7	
Balneário Pinhal	Trecho 3 30°18'17"S - 30°16'53"S	Magistério	48,1
		Pinhal Zona Nobre	52,5
	Trecho 4 30°16'53"S - 30°14'10"S	Pinhal Sul	62,2
		Pinhal Sede	74,8
Cidreira	Trecho 5 30°14'10" S - 30°10'30"S	Costa Do Sol	80,0
		Zona A	73,7
		Centro	64,0
	Trecho 6	Nazaré	75,5
		Salinas	75,5

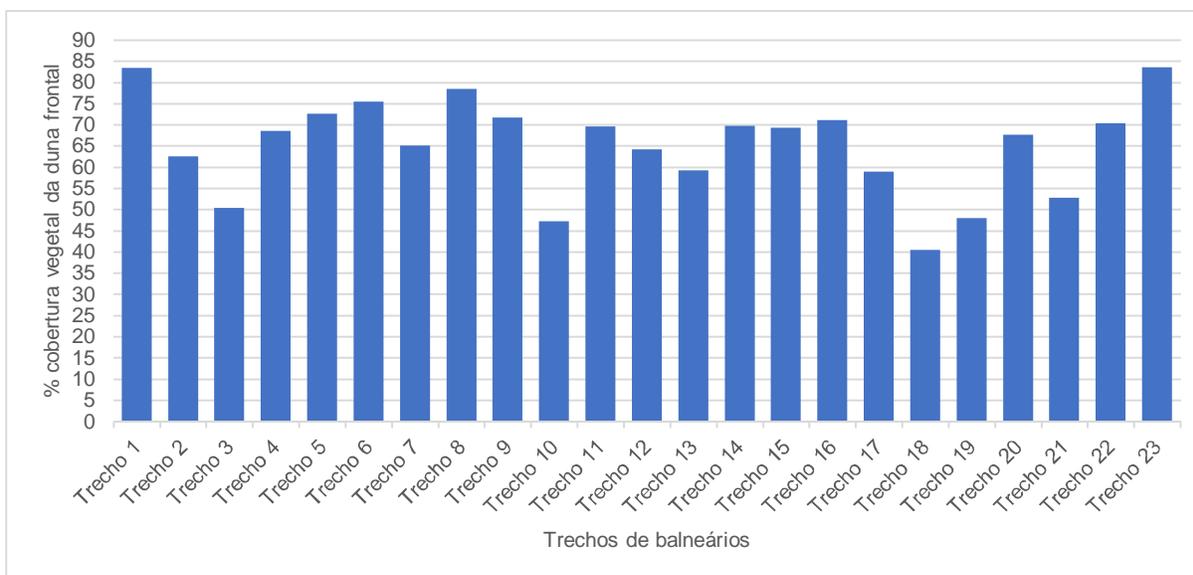
	30°10'30"S – 30°08'11"S		
Tramandaí	Trecho 7 30°08'11"S – 30°04'52"S	Campo Dunas	61,0
		Campo Dunas	69,0
	Trecho 8 30°04'52"S – 30°02'05"S	Tiarajú	78,0
		Jardim Do Édem	77,0
		Jardim Atlântico	92,0
		Oásis Sul	72,0
		Nova Tramandaí Plano B	75,0
		Nova Tramandaí Plano A	77,0
	Trecho 9 30°02'05"S – 29°59'12"S	Tramandaí Sul	82,0
		Zona Nova Extensão Sul	71,0
Zona Nova Sul		70,0	
Zona Nova		65,0	
Centro		70,0	
Imbé	Trecho 10 29°59'12"S – 29°56'44"S	Barra	50,0
		Balneário Imbé	50,0
		Ecademar	27,0
		Morada Do Sol	63,0
		Presidente	46,0
	Trecho 11 29°56'44"S – 29°53'58"S	Riviera	37,0
		Ipiranga	45,0
		Nordeste	71,0
		Mariluz	74,0
		Mariluz Plano B	57,0
Mariluz Plano C		79,0	
Harmonia		80,0	
Mariluz Norte		80,0	
Albatroz		81,0	
Marisul	85,0		
Trecho 12 29°53'58"S – 29°51'42"S	Santa Terezinha	77,0	
	Santa Terezinha Norte	81,0	
	Imara	70,0	
Osório	29°53'58"S – 29°51'42"S	Atlântida Sul	48,5
		Mariápolis	57,1
Xangri-lá	Trecho 13 29°51'42"S – 29°47'32"S	Xangri-lá	
			59,3
Capão da Canoa	Trecho 14 29°47'32"S – 29°44'41"S	Loteamento Companhia Comercial de Imóveis	72,0
		Enara	88,0
		Atlântida	50,0
		Navegantes	73,8
		Centro	78,0
	Trecho 15 29°44'41"S – 29°42'32"S	Zona Nova	56,4
		Araçá	62,7
		Arco Iris	55,7
		Guarani	56,3
		Zona Norte	71,0
Jardim Beira Mar		84,0	
Trecho 16 29°42'32"S – 29°39'06"S	Praia Do Barco	86,1	
	Capão Novo	71,0	
Terra de Areia	Trecho 17 29°39'06"S – 29°36'01"S	Arroio Teixeira	61,2
		Conceição	48,4
		Arroio Teixeira gleba B	76,1
		Curumim	65,2
Arroio do Sal	Trecho 18 29°36'01"S – 29°34'21"S		43,0
		Arroio Do Sal 1	36,8
	Trecho 19 29°34'21"S – 29°31'04"S	Arroio Do Sal 2	44,2
		Arroio Do Sal 3	30,9
	Trecho 20 29°31'04"S – 29°29'50"S	Arroio Do Sal 4	64,9
		Arroio Do Sal 5	69,3
		Arroio Do Sal 6	66,0
		Arroio Do Sal 7	61,4

	Trecho 21 29°29'50"S – 29°27'49"S	Arroio Do Sal 8	44,0
Torres	Trecho 22 29°27'49"S – 29°24'29"S	Paraíso	78,8
		Real	56,8
		Estrela Do Mar	54,8
		Santa Helena	59,5
		Webber	72,3
		Recreio	79,5
		Petrópolis	78,1
		Yara	64,2
		Gaúcha Anexo	66,0
		Gaúcha	92,4
	Trecho 23 29°24'29"S – 29°21'33"S	Casqueiro	96,5
		Tupynambá	96,4
		Praia Riviera	85,3
		Condominio Ocean Side	71,3
		Lagoa Do Jardim	98,1
		Itapeva Sul	99,2
		Torres Tur	83,2
		Itapeva III Etapa	60,3
		Itapeva	97,4
		Parque Estadual de Itapeva	67,7
		Praia Grande	63,2

Obs: Arroio do Sal possui muitos balneários e, para fins de simplificação, o município foi dividido em 8 segmentos de 2 km de comprimento. Os balneários de Torres Praia da Cal, Prainha e Parque Nacional da Guarita foram excluídos das análises devido as dificuldades da técnica de classificação em diferenciar vegetação de rochas.

Os valores médios encontrados através da divisão da área de estudo em trechos permitem uma visão mais equilibrada dos %CV da região. Os %CV variam entre 83%, trecho 1e 23, a 40%, trecho 18, (GRÁFICO 1).

Gráfico 1 – %CV dos trechos no litoral norte do RS.



A partir do gráfico 1 é possível visualizar que os %CV da metade sul (trechos 1-12) são

discretamente maiores. As dunas frontais correspondem aos estágios morfo ecológicos 2, 3 e 4 descritos por Hesp (1988), sendo o 3 predominante. Para se detalhar a descrição morfológica dos campos de dunas, separou-se os trechos, de acordo com o %CV, em 5 grupos (TABELA 3 e FIGURA 3)

Tabela 3. Grupos de trechos no litoral norte do RS.

Grupo	Trechos
1 ($40\% \leq \%CV < 50\%$)	Trecho 10, 18 e 19
2 ($50\% \leq \%CV < 60\%$)	Trecho 3,13,17 e 21
3 ($60\% \leq \%CV < 70\%$)	Trecho 2, 4, 7, 11, 12, 14, 15, 20
4 ($70\% \leq \%CV < 80\%$)	Trecho 5, 6, 8, 9, 16, 22
5 ($80\% \leq \%CV < 90\%$)	Trecho 1, 23

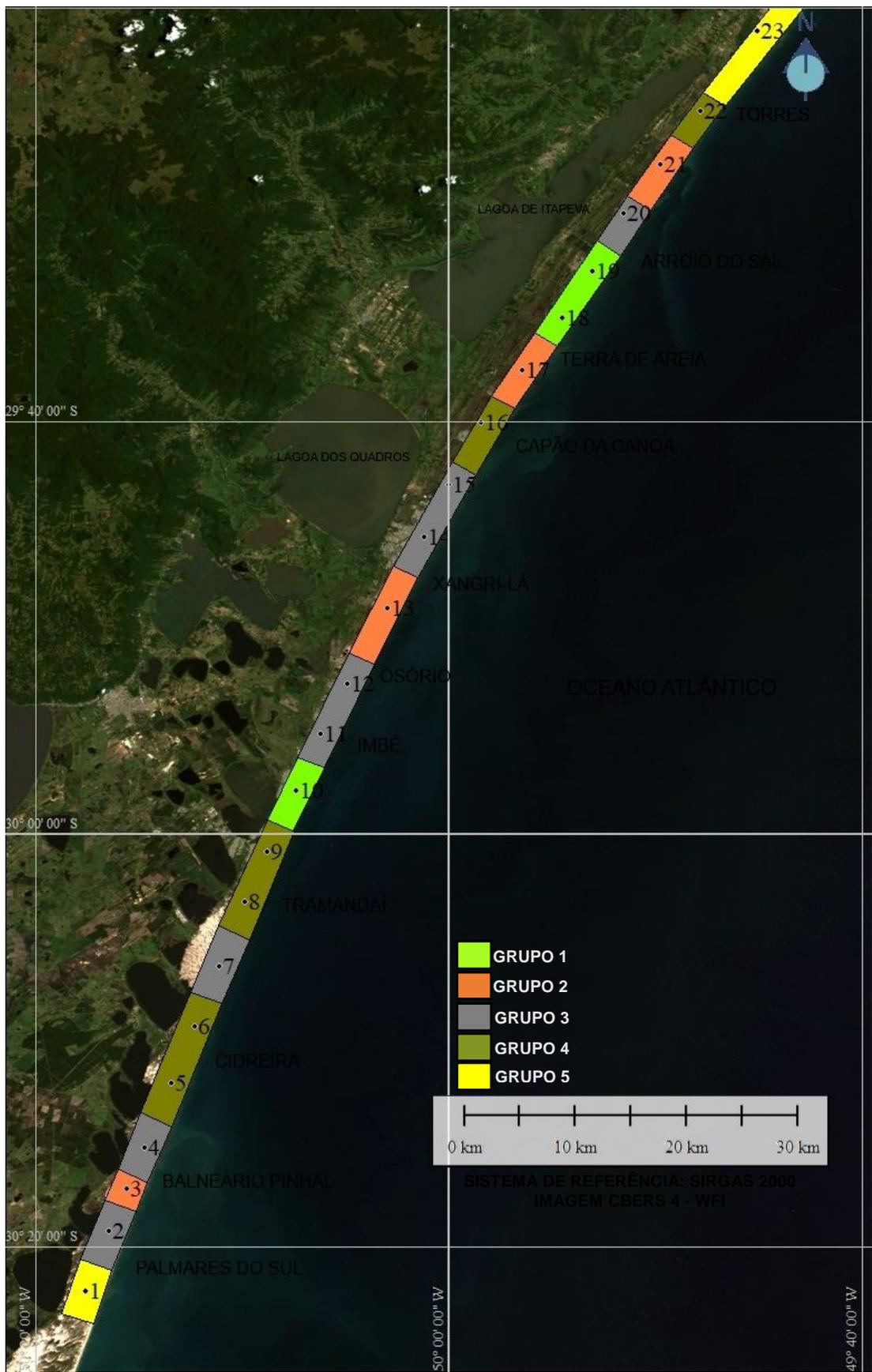


Figura 3. Trechos (números) e grupos morfo ecológicos (polígonos) da área de estudo.

Os grupos não são contínuos, o percentual predominante varia entre 60%-70% e abrange praias das metades sul e norte da área de estudo. Não ocorrem trechos de estágios 1 e 5.

Formado pelos trechos 10, 18 e 19 o grupo 1 compreende balneários dos municípios de Tramandaí, Imbé e Arroio do Sal. O balneário Barra possui um campo de dunas limitado pela Av. Beira Mar, que atingem a altitude de até 8 m, não segmentado por sangradouros (VIANNA; CALLIARI, 2015). A morfologia desse trecho é diversa, com cristas contínuas em alguns pontos e descontínuas em outros (topografia *hummocky*), *blowouts* do tipo calha foram observados ao norte (FIGURA 4). O estágio morfo ecológico corresponde ao 3 e, ao norte, a morfologia segue um padrão linear.

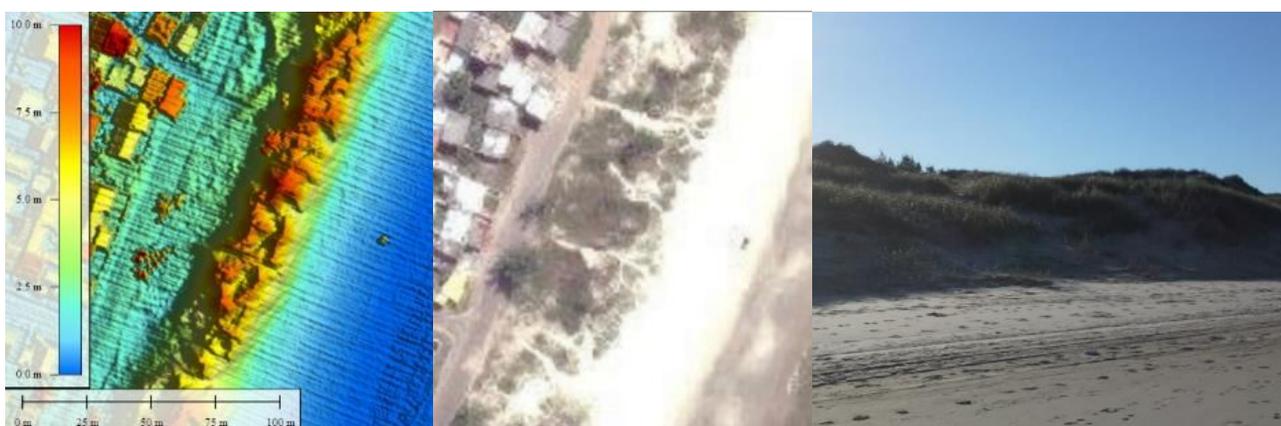


Figura 4. Dunas frontais do balneário Barra, imagem LIDAR (esquerda), World Imagery (centro) e de campo (direita).

O campo de dunas frontais do Balneário Imbé (FIGURA 5) é semelhante ao do balneário Barra, também limitado em largura pela avenida Beira Mar e estendendo-se por 1,3 km na direção norte. As dunas frontais têm largura máxima de 58 m e altura chegando a 9 m (VIANNA; CALLIARI, 2015). A morfologia predominante varia entre cordões lineares e *hummocky*. Morfologias do tipo cristas múltiplas, *blowouts* calha e bacia também foram encontradas. Nesse campo de dunas o estágio morfo ecológico corresponde ao 3.

A morfologia contínua dos balneários Barra e Imbé pode ser explicada pela ausência de sangradouros, visto que a drenagem urbana do balneário é direcionada para a Laguna de Tramandaí (FIGUEIREDO; CALLIARI, 2005).

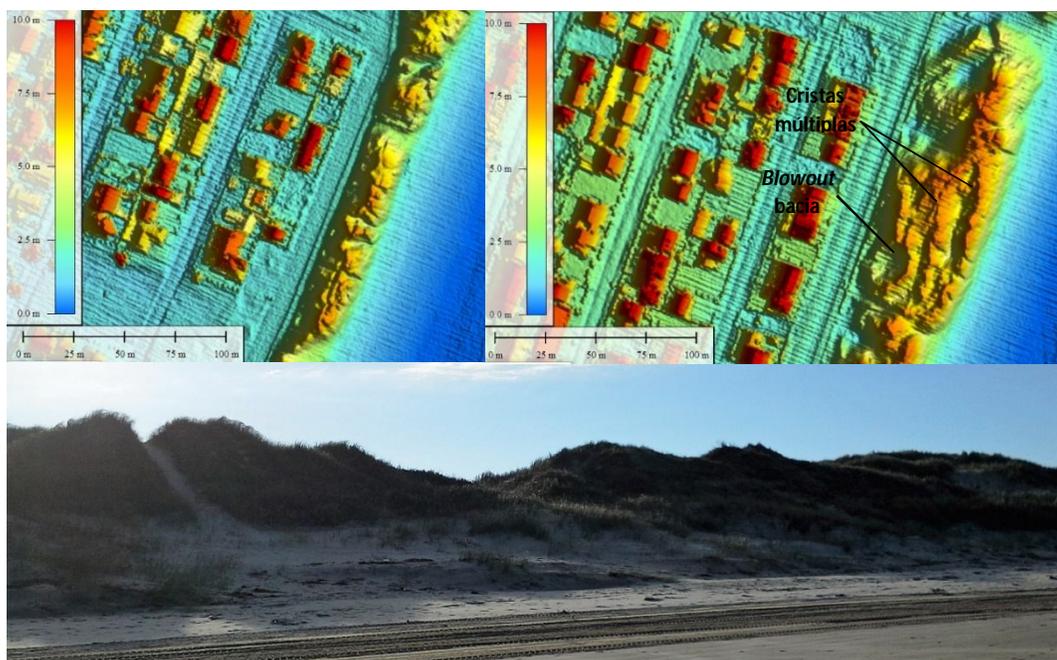


Figura 5. Morfologia do campo de dunas do balneário Imbé, *blowouts* calha (superior esquerda), bacia e cristas múltiplas (superior direita), topografia *hummocky* (inferior).

Os balneários Morada do Sol, Ecademar e Presidente possuem um campo de dunas com, aproximadamente, 1,25 km segmentado por sangradouros. Em Morada do Sol, as dunas frontais constituem um grupo de montículos intercalados por pequenos lençóis de areia e bacias de deflação, são dunas do estágio 4 (FIGURA 6). As dunas frontais de Ecademar e Presidente são de maior magnitude e possuem cristas contínuas, seguidas por montículos de areia, bacias de deflação e lobos de deposição, são dunas do estágio 3 (FIGURA 6).



Figura 6. Campo de dunas dos balneários Ecademar (esquerda), montes vegetados em Presidente (superior direita) e topografia contínua (inferior direita).

A topografia sinuosa e proeminente de dunas pouco vegetadas resulta de espaçados *blowouts* formados durante uma antiga fase de erosão eólica (HESP, 1988). Na figura 5, os lobos de deposição orientados em direção ao continente consistem em sedimentos erodidos a partir de *blowouts* e ancorados pela vegetação.

Os trechos 18 e 19 é formado por dunas frontais de altura máxima igual a 4 m (VIANNA; CALLIARI, 2015). O 18 é o único com dunas de estágio 4. Nesses trechos as dunas possuem cristas contínuas, porém de pequena altura (FIGURA 7), montes de areia intercalam-se entre as cristas e lençóis de areia ocorrem nessa região atrás das dunas frontais. Não há migração das dunas em direção ao continente devido a orientação da linha de costa paralela ao vento predominante NE (VIANNA; CALLIARI, 2015). Regiões interdunas e bacias de deflação são frequentes, assim como sangradouros que segmentam os cordões, poucos *blowouts* ocorrem (FIGURA 7).



Figura 7. Dunas frontais e área deflacionada em Arroio do Sal (trecho 18).

A morfologia observada no TRECHO 18 é explicada pelo baixo %CV que, em dunas de pequena altura e volume, acelera o processo de erosão eólica resultando em diversos lençóis eólicos.

O segundo grupo abrange balneários dos seguintes municípios: Balneário Pinhal, Xangri-lá, Capão da Canoa e Terra de Areia. As dunas frontais de Magistério e Pinhal Zona Nobre foram degradadas pela urbanização inadequada, em alguns pontos foram subtraídas para dar lugar às edificações e, as existentes, são seccionadas por diversos sangradouros formados pela drenagem urbana. As dunas, geralmente, possuem a morfologia de montes sedimentares moderadamente vegetados, oscilando entre os estágios 3 e 4. Nos pontos mais degradados, fragmentos de dunas ocorrem (FIGURA 8). Há uma grande diversidade

morfológica na região, como pequenos *blowouts* e pequenas protuberâncias vegetadas.



Figura 8. Campo de dunas do balneário Magistério seccionado por sangradouros (esquerda), fragmento da duna frontal (direita).

O trecho 13 (Xangri-lá) possui dunas frontais do estágio 3 (FIGURA 9), a morfologia predominante é do tipo *hummocky* pouco vegetado. Pequenos cordões lineares reconstruídos parcialmente vegetados coexistem com pequenas regiões interdunas. *Blowouts* do tipo calha, áreas deflacionadas e rastros lineares não vegetados também ocorrem.



Figura 9. Dunas frontais de Xangri-lá.

O trecho 17, em Capão da Canoa e Terra de Areia, é caracterizado por dunas frontais de estágio 3, com topografia *hummocky* vegetadas a barlavento e não a sotavento, segmentadas por *blowouts* calha e sangradouros. Ocorrem depressões bem vegetadas, pequenas áreas deflacionadas e rastros lineares. Também existem diversas dunas em

estágios erosivos acentuados (FIGURA 10), na forma pequenos montículos pobremente vegetados (estágio 4).



Figura 10. Dunas frontais do estágio 4 em Terra de Areia na imagem é possível visualizar a duna embrionária.

Na figura 10 é possível visualizar a duna embrionária vegetada por *Blutaparon portulacoides*, espécie que possui raízes na forma de estolões com nós e entrenós, de onde formam-se raízes adventícias. É uma planta pioneira tolerante ao estresse salino com grande poder de fixar areia, podendo formar dunas embrionárias de até 1,5 m de altura (CORDAZZO; SEELIGER, 1995).

Xangri-lá teve a paisagem natural modificada pelas atividades antrópicas e drenagem pluvial, suas dunas frontais são cordões contínuos lateralmente interrompidos por sangradouros (TABAJARA; WESCHENFELDER, 2011). Em Capão da Canoa, o seccionamento das dunas frontais remanescentes pelo escoamento pluvial intensificado pela impermeabilização de áreas urbanizadas constitui-se no principal problema do município (STROHAECKER; TOLDO, 2009).

O trecho 21 possui dunas frontais de altura máxima de 4 m segmentadas por sangradouros, possuem topografia *hummocky* e são moderadamente vegetadas (estágio 3). Cordões de pequena altura e largura com crista contínua e, em alguns casos, paralelas também ocorrem, assim como pequenas planícies de areia bem vegetadas (FIGURA 11). Diversas protuberâncias (estágio 4) e feições diferenciadas como dunas frontais de pequena largura e altura, seguidas por pequenas parabólicas e barcanóides existem ao norte desse trecho.



Figura 11. Cordão bem vegetado do estágio 3 no trecho 21.

O grupo 3 compreende balneários dos municípios de Palmares do Sul, Balneário Pinhal, Cidreira, Tramandaí, Imbé, Osório, Xangri-lá, Capão da Canoa e Arroio do Sal. No Centro de Palmares do Sul (FIGURA 12), Pinhal Sul e Sede o campo de dunas frontais é constantemente interrompido por sangradouros e sofre grande pressão da urbanização, sendo subtraído em alguns pontos. Entre os sangradouros, as dunas são constituídas por volumes únicos com crista contínua bem vegetada. Ocorrem *blowouts* do tipo bacia e áreas deflacionadas mal vegetadas, evidenciando processos erosivos eólicos.



Figura 12. Campo de dunas interrompido por sangradouros no Centro de Palmares do Sul.

Topografias suavemente onduladas e do tipo *hummocky* (estágio 3) são frequentes e,

em alguns pontos, devido a presença de sangradouros, as dunas adquirem formas elípticas bem vegetadas, esse formato é mais proeminente na direção do vento predominante (FIGURA 13). Em Pinhal ocorrem dunas de pequena largura (estágio 4) e lobos de deposição. Pequenos montículos bem vegetados (estágio 4 e 5), depósitos remanescentes das antigas dunas frontais, estão presentes nas áreas mais urbanizadas.



Figura 13. Campo de dunas de forma elíptica no centro de Palmares do Sul (esquerda), foto de campo (direita).

Trechos preservados compõem o grupo 3 e ocorrem nas divisas Palmares do Sul - Balneário Pinhal e entre Cidreira - Tramandaí. Nessas áreas, as dunas frontais correspondem ao estágio 3, são bem vegetadas com cristas contínuas (FIGURA 14), *blowouts* do tipo calha e bacia ocorrem em alguns pontos. Além das dunas frontais, ocorrem áreas deflacionadas e pequenos lençóis de areia não vegetados.

Em Tramandaí há uma grande área deflacionada bem vegetada, que se estende por mais de 500 m ao longo da linha de costa. Ao sul da mesma, dunas do tipo *nebka* ocorrem devido a vegetação que tem estratégia de crescimento compactada, resultando em hastes agrupadas.



Figura 14. Campo de dunas preservado ao norte de Cidreira.



Figura 15. Duna embrionária e frontal entre cidreira e Tramandaí.

Ao grupo 3 pertence o trecho entre os balneários Riviera e Mariápolis. Esses locais possuem o cordão e dunas frontais seccionados, em diversos pontos, por sangradouros antrópicos. As dunas remanescentes são formadas por volumes mal vegetado seguidas por bacias de deflação (estágio 4). Nos trechos mais degradados, as dunas frontais adquirem o formato *hummocky* e são mais bem vegetadas (estágio 4). Em Imbé há pontos em que as dunas frontais foram removidas, restando pequenos fragmentos mal vegetados. Áreas úmidas e bem vegetadas ocorrem logo atrás das dunas frontais em Mariluz Plano C. *Blowouts* do tipo fenda foram observados em Mariluz Norte.

Em Albatroz as dunas frontais e áreas deflacionadas são bem vegetadas (estágio 3), uma duna parabólica ocorre atrás das dunas frontais nesse balneário. *Blowouts* do tipo bacia

e dunas parabólicas ocorrem frequentemente em Marisul (FIGURA 16).

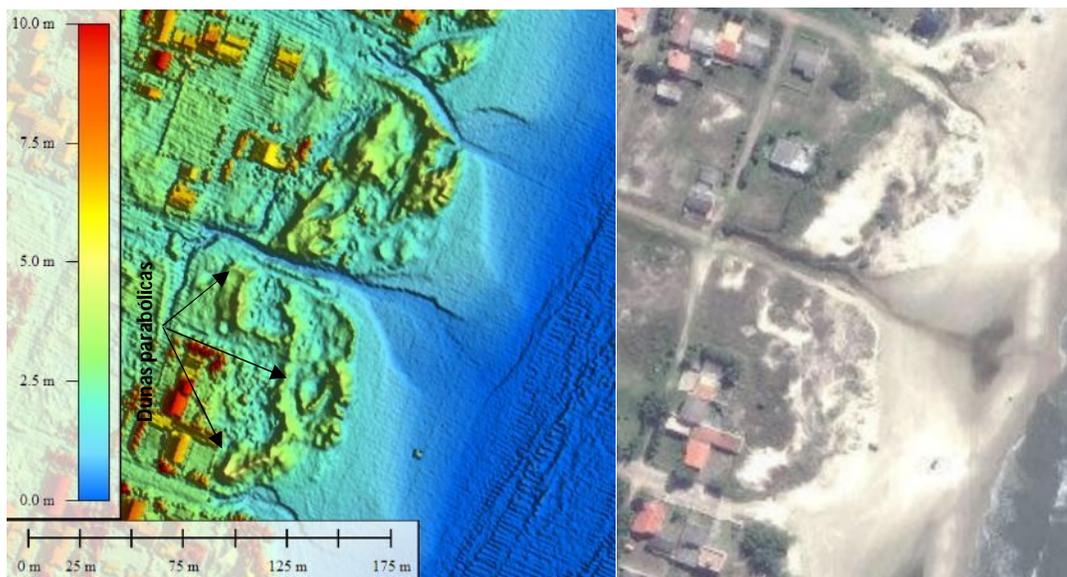


Figura 16. Dunas parabólicas em Marisul.

Devido ao aumento no número de sangradouros em Santa Terezinha, as dunas frontais adquirem formas arredondadas, semelhante aos pontos urbanizados de Palmares do Sul e Balneário Pinhal. Um pequeno cordão reconstruído, contínuo e moderadamente vegetado existe na divisa entre Imbé e Osório. Em Atlântida Sul, as dunas possuem cristas descontínuas pelos diversos *blowouts* fenda, as faces a barlavento são bem vegetadas e a sotavento pouco, áreas deflacionadas mal vegetadas também ocorrem. Nessa região, as dunas frontais correspondem, predominantemente, ao estágio 3, porém há pontos com morfologia semelhante ao estágio 4.

Os trechos 14 e 15, pertencentes ao grupo 3, possuem dunas frontais, estágio 3, com topografia *hummocky*. Bacias de deflação pouco vegetadas e áreas deflacionadas bem vegetadas ocorrem atrás das dunas frontais. O campo de dunas é constantemente seccionado pelos sangradouros, fazendo com que as dunas frontais adquiram formato elíptico, comum nesse grupo. Em Atlântida e Zona Nova, as dunas frontais têm a crista seccionada por uma sequência de *blowouts* calha, o processo erosivo eólico resultou em domos vegetados a barlavento (FIGURA 16), e dunas em estágios erosivos avançados (FIGURA 18). No balneário Araçá pequenas protuberâncias parcialmente vegetadas existem, assim como dunas vegetadas por arbóreas.



Figura 17. Dunas *hummocky* vegetadas a barlavento em Atlântida.



Figura 18. Duna em estágio erosivo avançado.

Pertencente ao grupo 3, o trecho 20 possui dunas frontais de morfologia semelhante a montículos parcialmente vegetados, dunas do tipo *nebka*, intercaladas com pequenos lençóis de areia não vegetados, estágio 4, (FIGURA 19). Áreas úmidas bem vegetadas e lobos de deposição não vegetados perpendiculares ao vento predominante também ocorrem. Dunas parabólicas não vegetadas coexistem com as dunas frontais de estágio 3 e pequenos cordões lineares paralelos são comuns em diversos pontos.



Figura 19. Montículos de areia parcialmente vegetados no trecho 20.

O grupo 4 compreende todos os balneários urbanizados do município de Cidreira. Nesse município as dunas frontais sofreram grande impacto pela urbanização. Nos balneários ao Sul (Costa do Sol e Zona A) as dunas frontais são seccionadas por sangradouros e morfologicamente constituem montes e montículos bem vegetados, que são vestígios da antiga duna frontal. O campo de dunas, quando existente, tem formato elíptico.

Ao norte da Zona A há um pequeno trecho preservado, as dunas frontais têm morfologia do estágio 3, são bem vegetadas com crista contínua, *blowouts* do tipo bacia e rastros lineares também ocorrem. Em Salinas, as dunas frontais possuem cristas contínuas, são bem vegetadas e morfologicamente correspondem ao estágio 3, cordões lineares paralelos, áreas deflacionadas bem vegetadas, lobos de deposição e *blowouts* do tipo bacia, com até 30 m de comprimento, são frequentes nesse balneário (FIGURA 20).

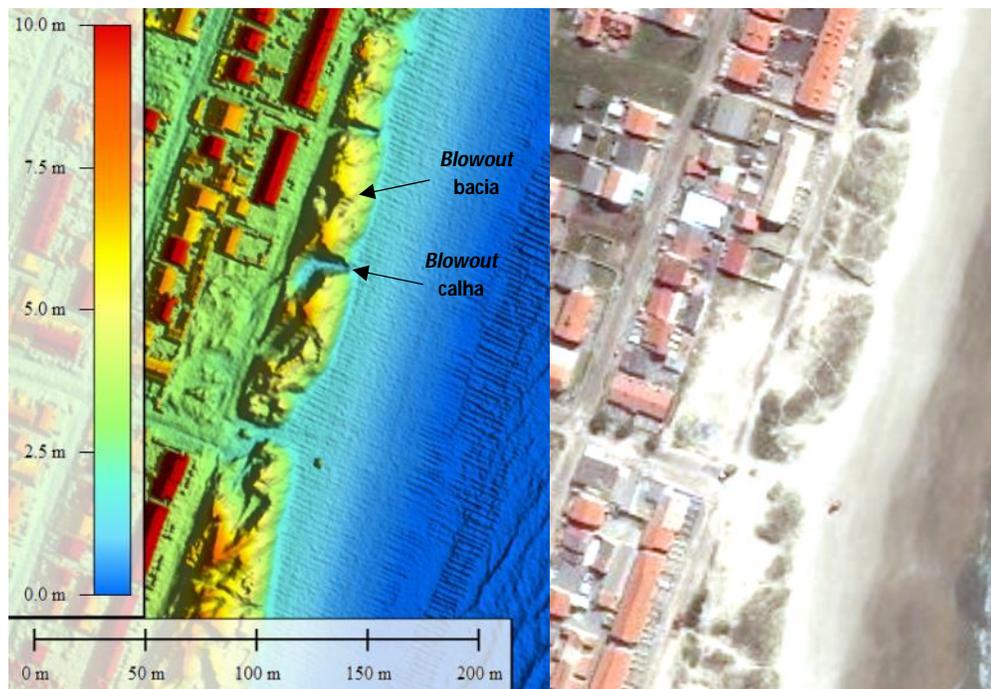


Figura 20. Dunas Frontais de Salinas na imagem LIDAR (esquerda) é possível visualizar *blowouts* bacia e calha.

Assim como Cidreira, todos os balneários urbanizados de Tramandaí pertencem ao grupo 4. Ao sul, as dunas frontais sofrem pressão pela urbanização, possuem morfologia do tipo *hummocky* e face a barlavento bem vegetada (FIGURA 21).



Figura 21. Dunas frontais do balneário Tiarajú (superior) e Jardim Atlântico (inferior).

Diversas bacias de deflação não vegetadas ocorrem. Pequenas regiões interdunas bem vegetadas existem atrás das dunas frontais. Dunas do estágio 3, *blowouts* bacia e pequenas dunas transversais pouco vegetadas estão presentes também ao sul. Pequenos montículos de areia bem vegetados ocorrem a partir de Jardim Atlântico e coexistem com dunas parabólicas pouco vegetadas e *blowouts* do tipo bacia, essa morfologia repete-se até Zona Nova extensão Sul.

Zona Nova Sul apresenta uma morfologia característica dos estágios 3 e 4, como dunas amplamente removidas por processos erosivos intercaladas por áreas deflacionadas bem vegetadas. Montículos pouco vegetados e depósitos mais vegetados a barlavento são frequentes. Cordões contínuos e bem vegetados intercalam-se com topografias *hummocky*, essa morfologia repete-se até o Centro de Tramandaí.

Capão Novo é um balneário que possui diversos trechos preservados, com dunas frontais do estágio 3 formadas de cordões irregulares parcialmente vegetados (FIGURA 22). Pequenas áreas deflacionadas úmidas não vegetadas ocorrem entre os cordões. *Blowouts* fenda e bacia segmentam cordões e possuem orientação sudoeste. Topografia *hummocky* e pequenos rastros lineares também ocorrem em Capão Novo. No balneário uma sucessão de dunas parabólicas propaga-se por 150 m além das dunas frontais.



Figura 22. Dunas frontais ao sul de Capão Novo.

Na figura 23 os sedimentos das dunas frontais migraram formando uma duna barcanóide mal vegetada, restando feições erosionais (montículos mal vegetados), seguidos de regiões interdunas. Próximo ao limite norte do balneário, lençóis de areia e dunas parabólicas parcialmente vegetadas ocorrem após as dunas frontais.

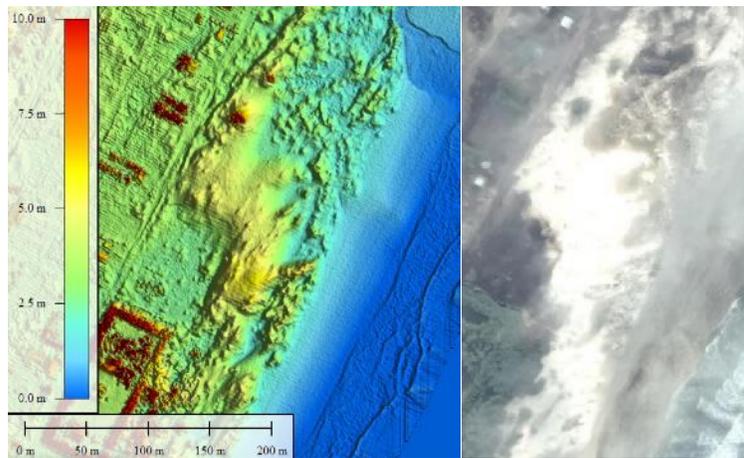


Figura 23. Duna barcanóide em Capão Novo.

Balneários situados ao sul de Torres finalizam o grupo 4, as dunas frontais variam morfológicamente, desde dunas contínuas de pequena largura pouco vegetadas até montículos bem vegetados (estágios 3 e 4). Pequenas regiões interdunares e lençóis arenosos ocorrem na região. Campos de dunas com formato elíptico e de pequena altura existem entre sangradouros. A morfologia predominante na região é a de pequenos cordões embrionários e estabelecidos bem vegetados (FIGURA 24), intercalados por pequenas áreas deflacionadas bem vegetadas.



Figura 24. Duna embrionária e frontal no balneário Recreio.

O grupo 5 é constituído por dois trechos morfológicamente diferentes. O trecho formado pelos balneários Casqueiro até Parque Estadual de Itapeva possuem dunas frontais do estágio 2, porém de morfologia semelhante aos balneários de Torres pertencentes ao grupo 4. As dunas frontais são pequenos cordões contínuos bem vegetados (FIGURA 25), seguidos a

sotavento por pequenas áreas e bacias deflacionadas bem vegetadas.



Figura 25. Duna frontal do balneário Itapeva.

Dunas com topografia *hummocky* ocorrem junto ao Condomínio Ocean Side, com montes parcialmente vegetados. Dunas com formato elíptico devido a ação combinada do vento e sangradouros ocorrem a partir do balneário Lagoa do Jardim. No Parque Estadual de Itapeva, o campo de dunas é preservado, de pequena altura e bem vegetadas (FIGURA 26). A sotavento, áreas de topografia onduladas bem vegetadas ocorrem. Ao norte do balneário, dunas bem vegetadas a barlavento e pequenos cordões lineares bem vegetados coexistem. A boa cobertura vegetal do campo de dunas no parque é uma característica marcante na área de estudo.

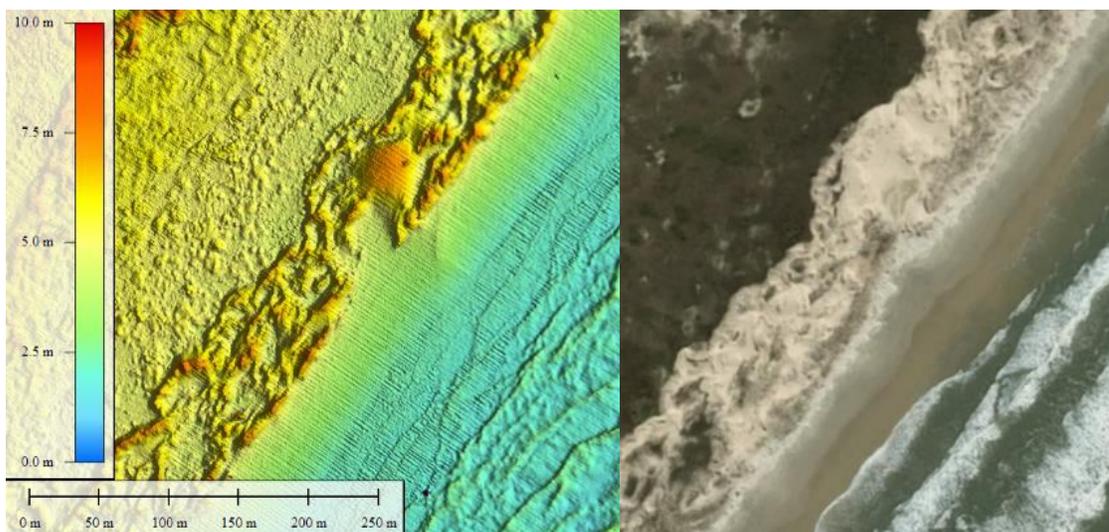


Figura 26. Dunas frontais do Parque Estadual de Itapeva.

O balneário Praia Grande possui um campo de dunas frontais com 160 m de largura que se estende por 1,8 km até o Rio Mampituba. A morfologia dessas dunas é caracterizada pela topografia do tipo *hummocky*, com altura variando de 5 a 7 m. A crista é irregular e, em

alguns casos, múltiplas cristas ocorrem (FIGURA 27). Segundo a classificação de Hesp (1988) essas dunas pertencem ao tipo 3.



Figura 27. Campo de dunas de Praia Grande, imagem LIDAR (esquerda) e World Imagery (direita).

No grupo 5, o trecho 1 possui características únicas na região de estudo, Dunas Altas possui um cordão de dunas frontais que corresponde ao estágio morfoecológico 2. As dunas frontais são formadas por cordões lineares largos bem vegetados, chegando a 85 metros, com cristas contínuas (FIGURA 28). Possuem a topografia menos complexa da região e a face a barlavento é menos inclinada que a sotavento. Um *blowout* bacia com 16 m de comprimento foi registrado (FIGURA 29). Atrás das dunas frontais ocorrem rastros lineares e dunas parabólicas que migram no sentido sudoeste sobre a área deflacionada. A face a barlavento possui um %CV maior que a sotavento.



Figura 28. Dunas frontais do balneário Dunas Altas.

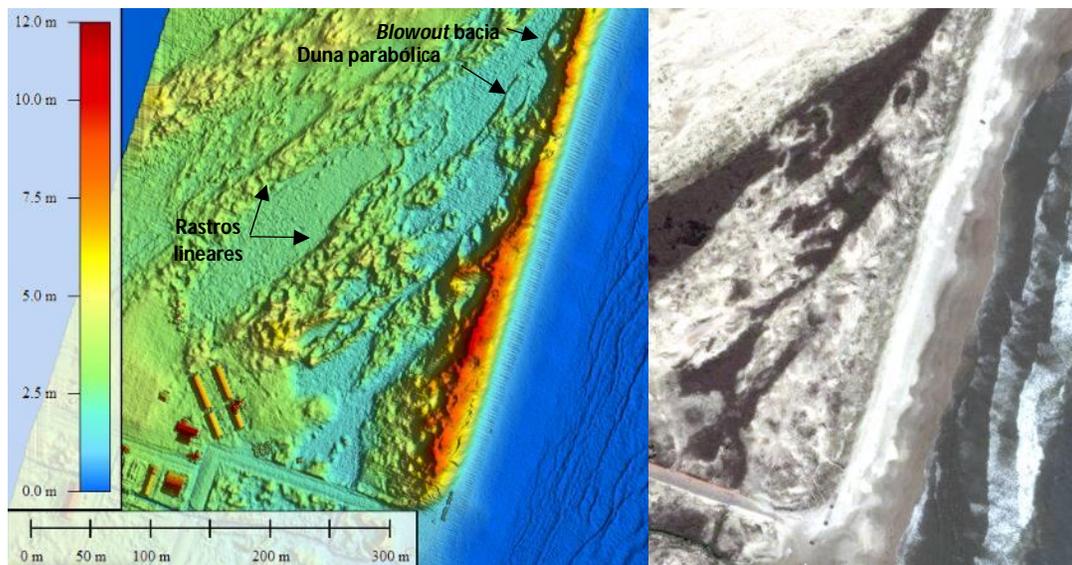


Figura 29. Dunas frontais do balneário Dunas Altas, atentar aos rastros lineares e *blowout* bacia.

Blowouts do tipo calha ocorrem ao norte de um sangradouro em Santa Rita (FIGURA 30). Dunas de formato elíptico aparecem nas áreas urbanizadas, quando segmentadas por sangradouros. Nesses pontos correspondem a montes únicos bem vegetados a barlavento. A morfologia de Dunas Altas reaparece em Frade, porém as dunas são de menor magnitude, bem vegetadas a barlavento e com *blowouts* calha. Rastros lineares são frequentes. Uma característica marcante do trecho 1 é a maior densidade na cobertura das dunas frontais e, nos trechos mais preservados, as dunas correspondem ao estágio 1.



Figura 30. Feições erosionais ocasionadas por sangradouro e *blowouts* em Santa Rita.

4. DISCUSSÃO

Na região de estudo, diversos sangradouros, formados por drenagem urbana, seccionam os cordões dunares e são responsáveis por modificações em suas morfologias, devido aos processos erosivos relacionados.

A ação de sangradouros altera a morfologia, antes linear do campo de dunas, para formas elípticas. Os sangradouros criam escarpas erosivas nas dunas e não permitem a recomposição vegetal da mesma pelo contínuo processo de erosão hídrica. Na região de estudo, podem ocorrer 14 sangradouros por quilômetro nos trechos mais urbanizados (FIGUEIREDO; CALLIARI, 2005). O seccionamento dos cordões dunares é altamente influenciado pela ocorrência e distribuição de sangradouros (CALLIARI et al., 2005).

As escarpas são ampliadas pela erosão eólica pois, sem a vegetação, os sedimentos são facilmente transportados pelo vento, fazendo com que o formato do campo de dunas evolua para formas elípticas. As escarpas também promovem formas arredondadas nas dunas, visto que ocasionam o colapso de sedimentos, *grainfall* e *grainflow*, das partes mais altas para os sangradouros. As faces côncavas das escarpas localizadas são produzidas por erosão eólica discreta, e pode se tornar um local para aceleração do fluxo local e formação de *blowouts* (HESP, 2002).

O uso recreativo e trânsito sobre as dunas também é responsável pela redução no %CV e posterior formação de *blowouts*, que desencadeiam processos erosivos eólicos e são um claro indicador da tendência erosiva observada nas dunas frontais da região. No estágio morfoecológico 3, predominante na região, *blowouts* são característicos e criam cordões dunares de crista descontínua (*hummocky*), (HESP, 1988). Algumas erosões localizadas são agravadas pela erosão eólica com consequente formação de *blowouts* (SHORT; HESP, 1982).

Dunas *hummocky* são resultado da presença anterior de *blowouts* calha, iniciados nos pontos mal vegetados da duna, que a escavaram transversalmente até sua base, resultando em uma topografia irregular. No estágio 3 a assimetria dunar ocorre quando há redução no grau de cobertura vegetal e aumento da erosão eólica em certos pontos da duna (HESP, 1988). A fisiologia da planta também influencia a morfologia dunar (DURÁN; MOORE, 2013). A instabilidade da duna frontal pode estar relacionada a praias intermediárias de alta energia (SHORT; HESP, 1982).

A topografia *hummocky* pode estar relacionada, também, ao rápido desenvolvimento das dunas incipientes, que retêm a areia transportada pelo vento, isolando as dunas frontais mais antigas de sua fonte de sedimentos (RUZ et al., 2017).

Quando existirem zonas não vegetadas a partir da base da duna frontal (estágio 3), os

sedimentos transportados por saltação são uniformemente distribuídos na duna, podendo atingir facilmente as partes mais altas, visto que não há vegetação para retê-los. Se esse padrão de sedimentação persistir, devido ao %CV desigual, dará origem a diferentes desenvolvimentos morfológicos (KEIJERS; GROOT; RIKSEN, 2015).

A erosão por ondas durante eventos extremos cria dunas frontais de topografia complexa. As escarpas erosivas nas dunas podem ser ampliadas ou formadas pela ação de ondas durante esses eventos. O grau de erosão promovida pelas ondas depende da altura da duna e %CV (HESP, 2002).

Dunas frontais podem sofrer grandes processos erosivos, resultando em pequenos depósitos remanescentes, estágio 5, quando a erosão desencadeada pelas ondas em eventos extremos é adicionada à provocada pelos ventos incidentes. Dunas instáveis são iniciadas por ondas em eventos extremos e provocam erosão lateralmente contínua. As escarpas e aberturas nas dunas criadas nesses eventos iniciam a erosão eólica, provocando a perda de grandes volumes e migração dos sedimentos para o continente (SHORT; HESP, 1982).

A morfologia das dunas frontais também está relacionada a vegetação. Na região ocorrem, em maior frequência, *Panicum racemosum* e *Senecio crassiflorus*, a primeira mais frequente ao sul da área de estudo (CALLIARI et al, 2005). Conforme observações em campo, *Panicum racemosum* habita, em maior quantidade, as dunas de morfologia mais linearizada, trechos ao sul, visto que são regiões de maior distúrbio eólico e com maior aporte sedimentar. *Senecio crassiflorus* distribui-se, em maiores quantidades, nos trechos mais ao norte, regiões de menor aporte sedimentar devido a orientação da linha de costa quase paralela ao vento predominante. A distribuição geográfica dessas duas espécies na área de estudo é indicadora de variações morfológicas nas dunas frontais.

Panicum racemosum é uma espécie pioneira e encontrada a barlavento das dunas frontais (PFADENHAUER 1978). A mesma reduz a velocidade do vento e facilita a deposição de sedimentos, visto que a planta apresenta boa resposta de crescimento em função dessa deposição, criando uma boa cobertura vegetal nas dunas frontais (CORDAZZO, 2009). Em alguns trechos, a face a barlavento é mais bem vegetada, devido a maior presença de nutrientes provenientes do spray salino e absorvido pela areia (CORDAZZO; SEELIGER, 1993).

Nos trechos pertencentes a Arroio do Sal e Torres, as dunas frontais são de pequena altura devido a orientação quase paralela ao vento predominante, fazendo com que os sedimentos sejam transportados paralelamente às dunas e não em direção ao continente.

Após eventos extremos, os sedimentos removidos pelas ondas não são recuperados pelos processos eólicos, transformando os campos de dunas frontais em lençóis arenosos. Dunas frontais de praias com tendências reflectivas são pequenas e assimétricas (SHORT; HESP, 1982).

A topografia descrita na forma de montículos é explicada pela baixa densidade de vegetação e presença, em maior quantidade, de espécies que crescem na forma de touceiras. Espécies vegetais que crescem na forma de tufos e não possuem raízes do tipo rizoma ou estolão são mais suscetíveis a erosão eólica, visto que a areia ao redor da planta é removida deixando a planta em um pequeno pedestal arenoso (HESP, 1988).

Nebkas são pequenos depósitos arenosos não erodidos ao redor da vegetação. A atenuação do fluxo de ar ao redor da planta permite que o depósito se forme (LORENZ; ZIMBELMAN, 2014). As *nebkas* podem ser pequenas dunas ovoides, com 0,5 m de altura por 1,5 m de comprimento, orientadas na direção do vento predominante, variações de maiores dimensões, com 2 m de altura e 4 m de comprimento podem ocorrer (BERTE, 2010). Nos trechos em que ocorrem, as *nebkas* foram formadas sobre *Spartina ciliata*, que possui crescimento do tipo falange com hastes agrupadas muito densas (CORDAZZO, 2009).

As pequenas dunas barcanóides e parabólicas existentes foram formadas pelos sedimentos pretéritos das dunas frontais. Essas formações são indícios de costas mal vegetadas e são consequências de ventos secundários ou oblíquos (HESP; MARTINEZ, 2008). Pequenas dunas parabólicas podem ocorrer em praias de média a baixa energia (SHORT; HESP, 1982).

Dunas parabólicas formam-se além das dunas frontais, quando ventos fortes rompem parte de um cordão vegetado e formam um lobo de deposição, que é transportado na direção do vento predominante. Parte desse sedimento é recolonizado por espécies pioneiras formando braços (rastros lineares vegetados). Dunas parabólicas formam-se a partir de *blowouts*, quando esses se tornam alongados (HESP, 2002).

No trecho 1 uma série de fatores contribuem para a formação de dunas estágio 2. Primeiramente a orientação da linha de costa, mais oblíqua ao vento NE, e a maior largura de praia subaérea da região, que resulta em maior pista de vento. Essas características favorecem o transporte de sedimentos para o continente e promovem aumento no volume do perfil e altura das dunas frontais (VIANNA; CALLIARI, 2015). Adicionalmente, a inflexão da linha de praia e a convergência da deriva litorânea contribuem para o maior volume de areia na antepraia, que se constitui em fonte de sedimentos para o desenvolvimento da mesma e

do campo de dunas (TOLDO et al., 2006).

Nesse trecho, há uma grande densidade de *Panicum racemosum* devido ao aumento do suprimento sedimentar e nutrientes, favorecendo o florescimento dessa espécie e reduzindo o desenvolvimento de outras menos adaptadas a grandes aportes sedimentares (CALLIARI et al., 2005). Dunas estáveis, contínuas e bem vegetadas são características de praias dissipativas (SHORT; HESP, 1982).

5. CONCLUSÕES

Na região de estudo, as dunas frontais são bem vegetadas, os estágios morfoecológicos oscilam entre os II e IV de Hesp (1988). O %CV não é uma variável determinante para a diferenciação da morfologia dos campos de dunas frontais no litoral norte do RS e fatores adicionais devem ser avaliados. O intenso grau de urbanização do litoral norte do RS resulta em feições morfológicas não naturais formadas pela ação conjunta de sangradouros e *blowouts*.

O estágio 3, mais frequente na região, indica que as dunas se encontram em estágios erosivos moderados, indicando a necessidade de medidas preservacionistas nas dunas frontais existentes e de recuperação nas de estágios erosivos mais avançados (estágios 4 e 5).

Dunas mais bem vegetadas e contínuas ao sul e do tipo *nebkas* encontradas ao norte, indicam variações ao longo da linha de costa no aporte sedimentar eólico. Conforme Vianna e Calliari (2015) isso ocorre pela orientação da linha de costa em relação ao vento predominante, largura de praia subaérea e menor potencial de deriva de vento. Ao sul, a orientação da linha de costa permite que o transporte eólico ocorra em direção das dunas frontais, diferentemente dos trechos mais ao norte, onde o vento predominante é praticamente paralelo, transportando menos sedimentos em direção ao continente. A largura da praia subaérea também é maior ao sul, assim como o potencial de deriva de vento.

A presença em maior quantidade, ao sul, de *Panicum racemosum* e ao norte de *Senecio crassiflorus* é um claro indicador da variação no fluxo eólico ao longo da linha de costa, visto que a primeira tem seu crescimento estimulado à medida que a deposição de sedimentos ocorre, já a segunda é presente em locais de menores distúrbios.

5. REFERÊNCIAS

AHMAD, A.; QUEGAN, S. Analysis of Maximum Likelihood Classification on Multispectral Data. **Applied Mathematical Sciences**, Ruse, v. 6, n. 129, p.6425-6436, 2012.

AHMADY-BIRGANI, H. et al. Sand Dune Encroachment and Desertification Processes of the Rigboland Sand Sea, Central Iran. **Scientific Reports**, [s.l.], v. 7, n. 1, p.1-10, 8 maio 2017. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-017-01796-z>.

ARENS, S. M. Patterns of sand transport on vegetated foredunes. **Geomorphology**, [s.l.], v. 17, n. 4, p.339-350, out. 1996. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0169-555x\(96\)00016-5](http://dx.doi.org/10.1016/0169-555x(96)00016-5).

BERTE, C. J.; MOHAMED, M. O.; SALECK, M. O. **Fighting sand encroachment Lessons from Mauritania**. Rome: Food and Agriculture Organization Of The United Nations, 2010. 74 p.

CALLIARI, L. J. et al. Variabilidade das dunas frontais no litoral norte e médio do Rio Grande do Sul/Brasil. **Gravel**, Porto Alegre, p.15-30, nov. 2005.

CORDAZZO. C. V.; SEELIGER. U. Zoned habitats of southern Brazilian coastal foredunes. **Journal of Coastal Research** v.9, n.2, p. 317-323, 1993.

CORDAZZO, C. V.; SEELIGER, U. **Guia ilustrado da vegetação costeira no extremo sul do brasil**. Rio Grande: Furg, 1995. 275 p

CORDAZZO, C. V. O efeito do *Panicum racemosum* x *Spartina ciliata* na formação das dunas costeiras frontais do extremo sul do Brasil. **Gravel**, Porto Alegre, p.13-17, jul. 2009.

CARTER, R. W. G. Coastal dunes. In: CARTER. R.W.G. **Coastal Environments: An Introduction to the Physical, Ecological and Cultural Systems of Coastlines**. Cambridge, Massachusetts, EUA: Academic Press, 1988. p. 301-333.

COSTA, C. S. B.; SEELIGER, U. Quantitative phenology and horizontal distribution of the rhizomatous perennial herb *Hydrocotyle bonariensis* Lam. in coastal sand dunes. **Vida Silvestre Neotropical**, Costa Rica, v. 2, n. 2, p. 36-42, 1990.

DURAN, O.; MOORE, L. J.. Vegetation controls on the maximum size of coastal dunes. **Proceedings of The National Academy Of Sciences**, [s.l.], v. 110, n. 43, p.17217-17222, 7 out. 2013. Proceedings of the National Academy of Sciences. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1307580110>.

ESRI. **World Imagery**. Disponível em:

<<https://www.arcgis.com/home/item.html?id=10df2279f9684e4a9f6a7f08febac2a9>>. Acesso em: 02 jun. 2017.

FIGUEIREDO, S.; CALLIARI, L. J. Sangradouros: distribuição espacial, variação sazonal, padrões morfológicos e implicações no gerenciamento costeiro. **Gravel**, Porto Alegre, p.47-57, nov. 2005.

GOLDSMITH, V. Coastal Dunes. **Coastal Sedimentary Environments**, [s.l.], p.303-378, 1985. Springer New York. http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4612-5078-4_5.

HAGUE, B. T. **The Use of Remote Sensing to Map and Monitor Coastal Dune Vegetation Change at Southampton, Ontario, Canada**. 2016. 144 f. Tese (Doutorado) - Curso de Master Of Sustainability, University St. Catharines, Ontario, 2016. Disponível em: <http://dr.library.brocku.ca/bitstream/handle/10464/9290/Brock_Hague_Brodie_2016.pdf?sequence=2>. Acesso em: 04 jun. 2017.

HESP, P. Morphodynamics of Incipient Foredunes in New South Wales, Australia. **Eolian Sediments and Processes**, [s.l.], p.325-342, 1983. Elsevier. [http://dx.doi.org/10.1016/s0070-4571\(08\)70802-1](http://dx.doi.org/10.1016/s0070-4571(08)70802-1).

HESP, P. Morphology, dynamics and internal stratification of some established foredunes in southeast Australia. **Sedimentary Geology**, [s.l.], v. 55, n. 1-2, p.17-41, mar. 1988. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0037-0738\(88\)90088-7](http://dx.doi.org/10.1016/0037-0738(88)90088-7).

HESP, P. Ecological processes and plant adaptations on coastal dunes. **Journal of Arid Environments**, p.165-191, 1991.

HESP, P. Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics. **Geomorphology**, v. 48, n. 1-3, p.245-268, nov. 2002. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0169-555x\(02\)00184-8](http://dx.doi.org/10.1016/s0169-555x(02)00184-8).

HESP, P. A.; MARTINEZ, M.I. Transverse dune trailing ridges and vegetation succession. **Geomorphology**, [s.l.], v. 99, n. 1-4, p.205-213, jul. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.11.001>.

KEIJRSERS, J.G.S.; GROOT, A.V. de; RIKSEN, M.J.P.M. Vegetation and sedimentation on coastal foredunes. **Geomorphology**, [s.l.], v. 228, p.723-734, jan. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.10.027>.

LORENZ, R. D.; ZIMBELMAN, J. R. **Dune Worlds: How Windblown Sand Shapes Planetary Landscapes**. London: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014. 308 p.

MENESES, P. R.; SANO, E. E. Classificação Pixel a Pixel de Imagens. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **INTRODUÇÃO AO PROCESSAMENTO DE IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO**. Brasília: UNB, 2012. p. 191-208.

MENESES, P. R.; SANTA ROSA, A. N. C. Filtragem. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **INTRODUÇÃO AO PROCESSAMENTO DE IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO**. Brasília: Unb, 2012. p. 168-186.

PFADENHAUER, J. Contribuição ao conhecimento da vegetação e de suas condições de crescimento nas dunas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Biologia**, São Carlos, v. 38, p. 827-836, 1978.

RUZ, M. et al. Development of an incipient foredune field along a prograding macrotidal shoreline, northern France. **Géomorphologie: Relief, Processus,**

Environnement, Villeneuve D'ascq, v. 23, n. 1, p.37-50, mar. 2017.

SEELIGER, U. The Foredune System. In: Ulrich Seeliger; Clarisse Odebrecht; Jorge P. Castello. (Org.). Subtropical Convergence Environments: The Coast and Sea in the Southwestern Atlantic. 1ed. Berlim (Alemanha): Springer-Verlag, 1997, v. 1, p. 161-166.

SHORT, A.D.; HESP, P.A. Wave, beach and dune interactions in southeastern Australia. **Marine Geology**, [s.l.], v. 48, n. 3-4, p.259-284, ago. 1982. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0025-3227\(82\)90100-1](http://dx.doi.org/10.1016/0025-3227(82)90100-1).

SILVA, G. M. et al. Foredune vegetation patterns and alongshore environmental gradients: Moçambique Beach, Santa Catarina Island, Brazil. **Earth Surface Processes and Landforms**, [s.l.], v. 33, n. 10, p.1557-1573, set. 2008. Wiley-Blackwell. <http://dx.doi.org/10.1002/esp.1633>.

STROHAECKER, T. M.; TOLDO J. R., E. E. Medidas não estruturais de proteção à costa: o caso do município de Capão da Canoa no litoral norte do estado do Rio Grande do Sul. In: XII Encuentro de Geógrafos de America Latina, 2009, Montevideo. Anais do XII Encuentro de Geógrafos de America Latina, 2009.

TABAJARA, L. L. C. A.; WESCHENFELDER, J. Recuperação das dunas frontais em área degradada por sangradouro na praia de Xangri-lá/RS. **Gravel**, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p.69-85, dez. 2011.

TOLDO Jr, E. E. et al. O Controle da Deriva Litorânea no Desenvolvimento do Campo de Dunas e da Antepraia no Litoral Médio do Rio Grande do Sul. **Pesquisas em Geociencias**, Porto Alegre, v. 2, n. 33, p.35-42, jul. 2006.

TRENHAILE, A. S. **Coastal Dynamics and Landforms**. New York: Oxford University Press, 1997. 384 p.

VIANNA, H. D.; CALLIARI, L. J. Variabilidade do sistema praia-dunas frontais para o litoral norte do Rio Grande do Sul (Palmares do Sul a Torres, Brasil) com o auxílio do Light Detection and Ranging – LIDAR. **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, v. 2, n. 42, p.141-158, Maio-ago. 2015.

CAPÍTULO 2

SEDIMENTOLOGIA E MORFOMETRIA DO SISTEMA PRAIA DUNAS NO LITORAL NORTE DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL

VIANNA, Humberto Dias

CALLIARI, Lauro Julio

hvianna@furg.br

Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica-IO-FURG

RESUMO: Nas regiões litorâneas, a sedimentação é controlada por processos hidrodinâmicos e eólicos. O conhecimento da sedimentologia entre a face da praia e duna frontal é essencial para a compreensão dos processos costeiros atuantes. Esse trabalho teve por objetivo caracterizar a sedimentologia do litoral norte do Rio Grande do Sul, verificar suas relações com a morfometria do sistema praiado e dividir os balneários em grupos pelas suas características ambientais. Amostras de sedimentos georreferenciadas foram coletadas entre 2013 e 2016 em todos os balneários dessa região. Dados morfométricos foram obtidos de um trabalho pretérito. Três ambientes foram amostrados: crista da duna frontal, praia subaérea e face da praia. Na região há predominância de areias finas quartzosas bem a muito bem classificadas, unimodais, simétricas a bem simétricas com curtose mesocúrtica. Os tamanhos médios dos grãos são: $2,44 \phi$ (dunas frontais), $2,45 \phi$ (praia subaérea) e $2,36 \phi$ (face da praia). As variáveis sedimentológicas e morfométricas foram analisadas conjuntamente por técnicas de estatística multivariada (Análise de Componentes Principais). A análise demonstrou que a morfometria não está relacionada a sedimentologia na área de estudo. Isso se deve, em maior escala, a grande uniformidade sedimentológica da região. As variáveis mais importantes para a formação dos componentes principais foram: percentual de areia média, tamanho médio dos grãos, azimute da linha de costa, altura das dunas frontais, largura e declividade da praia subaérea. Essas variáveis são as mais importantes para a diferenciação dos grupos formados.

Palavras chave: geomorfologia praiado, análise componentes principais, Wentworth, LIDAR.

1. INTRODUÇÃO

Nas regiões litorâneas, os processos sedimentares são controlados pela hidrodinâmica e ação eólica, os quais transportam e depositam sedimentos na face da praia (DAVIS, 1992).

Areias grossas são transportadas por saltação e arrasto, já as finas por saltação (STANICA; UNGUREANU 2010).

Os processos sedimentares que ocorrem no sistema praia dunas estão relacionados às características granulométricas dos grãos (BITTENCOURT; BOAS; FARIAS, 1992). No sistema praial existe uma gradação decrescente no tamanho do grão definida por processos de *swash*, *backwash* e vento, identificada desde a face da praia (*swash* e *backwash*) para o pós praia (saltação) e depois nas dunas (VISHER, 1969). Parâmetros estatísticos analisados por Visser (1969) definiram previamente os processos atuantes em cada setor de perfil praial.

O movimento da água e o transporte de sedimentos é influenciado pela infiltração na praia subaérea e refluxo e direção ao oceano dirigido pela gravidade (DAVIDSON-ARNOTT, 2010). O *swash* é um movimento ascendente e transporta sedimentos de diferentes tamanhos na direção das ondas, certas vezes transporta sedimentos além da berma, contribuindo para a formação da praia subaérea. O movimento de retorno da água em direção ao mar (*backwash*) carrega os sedimentos mais finos de volta ao oceano (HUGGETT, 2007).

O transporte sedimentar também ocorre paralelamente à linha de costa pela associação de ondas e correntes, esse processo é denominado deriva litorânea. O processo de transporte lateral de sedimentos é realizado pelas ondas que incidem obliquamente na linha de costa, é o fator mais importante para a configuração das praias (TOMAZELLI; VILLWOCK, 2000). A deriva litorânea é máxima quando as ondas chegam à linha de costa em um ângulo aproximado de 30° (HUGGETT, 2007).

Praias dissipativas são formadas por sedimentos finos, já as refletivas são constituídas por sedimentos mais grossos (SHORT; HESP, 1982). Em praias com areias médias ou grossas ocorre a formação de um degrau e, a partir dele, em direção às dunas, a granulometria diminui (CALLIARI, 2015). O tamanho dos sistemas dunares e largura da praia subaérea também está relacionado à sedimentologia da região. Areias finas e muito finas são facilmente transportadas pelos processos eólicos, diferentemente dos sedimentos mais grossos.

Eventos energéticos, tempestades, são de grande importância para a dinâmica sedimentar em praias arenosas. Durante esses eventos, as ondas removem grandes quantidades de sedimentos finos e muito finos da praia subaérea e duna frontal, alterando a granulometria local (KOMAR, 1988).

Estudos detalhados sobre a sedimentologia, em todos os balneários, são fundamentais para a compreensão dos processos costeiros atuantes no litoral norte do RS. Esse trabalho tem por objetivo caracterizar a sedimentologia de todos os balneários oceânicos do litoral norte

do RS, mais especificamente determinar os tamanhos médios dos grãos (TMG ϕ), percentuais de areia média (%AM), fina (%AF) e muito fina (%AMF) de três ambientes sedimentares (face da praia, praia subaérea e duna frontal), conhecer as relações existentes entre sedimentologia e morfometria e dividir os balneários em grupos por suas características ambientais.

2. METODOLOGIA

Coletas de sedimentos superficiais foram realizadas entre fevereiro de 2013 a abril de 2016 nos seguintes ambientes: face da praia, praia subaérea e crista da duna frontal (FIGURA 1 e 2). Amostras com pesos superiores a 40 gramas nos primeiros 10 cm abaixo da superfície foram coletadas. O local amostrado foi demarcado com um GNSS de navegação Garmin Oregon 550.



Figura 1. Processo de coleta de sedimentos em campo, à esquerda coleta sobre a crista da duna frontal, ao centro na praia subaérea e à direita na face da praia.

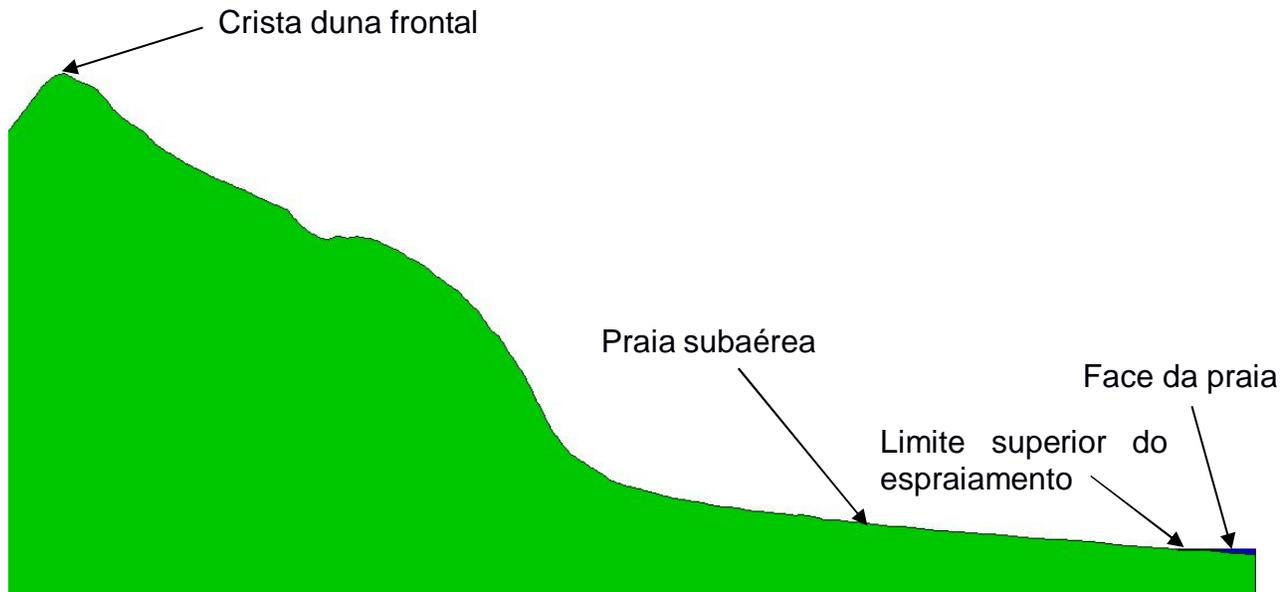


Figura 2. Pontos para a coleta de sedimentos no perfil subaéreo de uma praia.

O material foi seco em estufa abaixo de 40°C. O processamento manteve os fragmentos de carbonatos biodentríticos e minerais pesados nas amostras, a exemplo de Oliveira et al. (2012). Geralmente, os carbonatos distribuem-se ao longo das peneiras, já os minerais pesados compuseram parte da fração areia muito fina. O material seco foi peneirado em um conjunto de peneiras no intervalo de -2 a 4 ϕ com variação de $\frac{1}{4}$ de ϕ (FOLK; WARD, 1957).

As planilhas de laboratório foram analisadas no software GRADISTAT (BLOTT; PYE, 2001). Foram extraídos os %AM, %AF, %AMF e TMG ϕ , na escala logarítmica de Wentworth (1922). Dados morfométricos de todos os balneários da região de estudo foram obtidos de Vianna e Calliari (2015). Esses autores produziram modelos digitais de superfície (MDS), com resolução espacial de 50 cm, a partir de dados laser scanner - LIDAR. Os dados obtidos correspondem a dois dos ambientes estudados: Duna frontal (altura das dunas e azimute da linha de costa) e praia subaérea (largura e declividade da praia subaérea).

A altura da duna frontal consiste na altitude orientada ao referencial altimétrico oficial brasileiro (Marégrafo de Imbituba – IBGE). Vianna e Calliari (2015) determinaram a altitude média das dunas frontais para cada balneário estudado. O azimute consiste no ângulo formado pela linha de costa dos balneários em relação ao norte. As divisas entre balneários foram obtidas através das bases cartográficas oficiais dos municípios (VIANNA; CALLIARI, 2015).

A largura e declividade da praia subaérea foram determinadas a partir de perfis traçados sobre os MDS entre a linha d'água até a base da duna frontal. Os perfis têm espaçamento aproximado de 250 m e são perpendiculares à linha de costa. As larguras e declividades

médias foram calculadas para cada balneário (VIANNA; CALLIARI, 2015). O percentual de cobertura vegetal da duna frontal (%CV) foi obtido de Vianna e Calliari (2017, no prelo) e consistem no %CV médio medido para todas as dunas frontais de cada balneário da região.

Todos os dados obtidos em campo e nas referências foram organizados em planilhas, que tiveram os nomes dos balneários substituídos por equivalentes numéricos a fim de facilitar a visualização e interpretação gráfica. Agrupamentos prévios de balneários foram criados a partir de análise gráfica do %AM dos três ambientes estudados. Essa variável foi escolhida pois, dentre as demais, foi a que possibilitou uma boa separação dos balneários em grupos. Os sedimentos das dunas frontais foram separados em três grupos: grupo 1 ($\%AM < 5\%$), grupo 2 ($5\% \leq \%AM \leq 10\%$) e grupo 3 ($\%AM > 10\%$). Os das praias subaéreas em quatro grupos: grupo 1 ($\%AM < 5\%$), grupo 2 ($5\% \leq \%AM < 10\%$), grupo 3 ($10\% \leq \%AM < 25\%$), grupo 4 ($25\% \leq \%AM$). Os das faces das praias foram distribuídos em 6 grupos: ($\%AM < 5\%$), grupo 2 ($5\% \leq \%AM < 10\%$), grupo 3 ($10\% \leq \%AM < 15\%$), grupo 4 ($15\% \leq \%AM < 20\%$), grupo 5 ($20\% \leq \%AM < 25\%$), grupo 6 ($25\% \leq \%AM < 45\%$).

A análise estatística utilizada consistiu na técnica multivariada denominada Análise de Componentes Principais (PCA). A análise de componentes principais é uma técnica que permite classificar amostras ou encontrar a relação entre tais (ANDRIOTTI, 1997). A técnica transforma linearmente um conjunto original de variáveis, inicialmente correlacionadas entre si, em um conjunto menor de variáveis não correlacionadas e que contém a maior parte da informação do conjunto original (HONGYU; SANDANIELO; OLIVEIRA JUNIOR, 2015). As novas variáveis são denominadas de componentes principais (CP), que são combinações lineares de todas as variáveis, os componentes principais são independentes entre si (HONGYU; SANDANIELO; OLIVEIRA JUNIOR, 2015). A operação que gera os CP pode ser vista como uma operação que gera novo conjunto de dados, ou seja, um novo conjunto de coordenadas que sejam perpendiculares entre si (ANDRIOTTI, 1997).

A PCA permite classificar elementos de um conjunto (observações originais) em classes de elementos próximos ou similares (nuvens de elementos). Ao se utilizar a técnica analisa-se, também, a correlação entre as variáveis originais e os componentes principais (ANDRIOTTI, 1997). A análise pode ser utilizada para se agrupar indivíduos de acordo com suas variâncias, ou seja, segundo seu comportamento dentro da população, representado pela variação do conjunto de características que define o indivíduo (HONGYU; SANDANIELO; OLIVEIRA JUNIOR, 2015).

Para que os resultados da PCA sejam coerentes, os dados não normais passaram pelo processo de normalização, ou seja, transformar o conjunto amostral em uma distribuição gaussiana. O processo de normalização foi efetuado em planilha eletrônica seguindo os seguintes preceitos:

Transformação raiz arco seno (Equação 1): Efetuada nas variáveis sedimentológicas (%AM, %AF e %AMF), %CV e declividade. A transformação é apropriada para dados em proporções. A transformação é procedimento padrão para a análise de dados proporcionais em ecologia (WARTON; HUI, 2011).

$$X = \text{arc seno}(\sqrt{x}) - \text{Equação 1}$$

Onde **X** é a variável normalizada e **x** é a variável em %.

Transformação raiz quadrada (Equação 2): Realizada nas variáveis morfométricas (altura da duna frontal, azimute da linha de costa, largura e declividade da praia subaérea). É a transformação mais comum para a normalização de dados e consiste na raiz quadrada do valor amostrado (Equação 2), (OSBORNE, 2010).

$$X = \sqrt{x} - \text{Equação 2}$$

Onde **X** é a variável normalizada e **x** é a variável bruta.

Após a normalização das variáveis, procedeu-se a análise PCA, efetuada no software PRIMER versão 5.2.4 (CLARKE; GORLEY, 2006). Para cada ambiente realizou-se uma análise PCA com as seguintes variáveis: duna frontal (Variáveis dos sedimentos das dunas frontais, %AM, %AF, %AMF, TMG ϕ , altura da duna frontal, %CV e azimute da linha de costa); praia subaérea: (Variáveis dos sedimentos das praias subaéreas, %AM, %AF, %AMF e TMG ϕ , largura e declividade da praia subaérea); face da praia: Variáveis dos sedimentos coletados nas faces das praias (%AM, %AF, %AMF e TMG ϕ).

Os agrupamentos prévios foram associados a diferentes cores no PCA, de modo a se identificar nos biplots as variáveis que mais contribuíram para a formação dos mesmos. A análise PCA foi realizada para confirmar a coerência dos agrupamentos prévios e refiná-los.

3. RESULTADOS

Na área de estudo foram coletadas 303 amostras, Palmares do Sul – 18, Balneário Pinhal – 18, Cidreira – 18, Tramandaí - 39, Imbé - 51, Osório - 6, Xangri-lá - 12, Capão da Canoa - 42, Terra de Areia - 3, Arroio do Sal – 24 e Torres - 72. Os resultados das análises sedimentológicas e os valores obtidos nas referências podem ser visualizados nas tabelas 1 a 10.

Tabela 1. Sedimentologia de Palmares do Sul.

Balneários	Dunas frontais				Praia subaérea				Face da praia				Alt. Duna (m)	Larg. PS	Dec. PS %	%CV	AZ graus
	%AM	%AF	% AMF	TMGφ	%AM	%AF	% AMF	TMGφ	%AM	%AF	% AMF	TMGφ					
Dunas Altas	1,5	93,7	4,8	2,54	2,7	93,9	3,5	2,48	16,7	81,4	1,9	2,31	7,7	61,9	1,0	80,3	17,9
Santa Rita	7,6	88,8	3,6	2,43	0,9	93,3	5,7	2,59	4,0	92,9	3,1	2,43	6,8	61,3	2,9	79,8	16,3
Frade	8,5	89,8	1,7	2,37	13,6	85,3	1,1	2,31	42,2	55,3	1,8	2,12	6,0	56,3	3,2	86,9	17,6
Rei do Peixe	5,5	92,0	2,5	2,43	14,8	84,1	1,1	2,31	8,3	86,2	3,9	2,44	5,6	59,9	3,4	86,6	18,7
Centro (Pioneiros)	4,8	92,9	2,2	2,43	5,6	91,7	2,7	2,43	8,8	82,1	4,2	2,40	5,0	58,7	3,1	76,4	18,7
Campo de Dunas	4,5	92,4	3,2	2,45	2,3	90,1	7,6	2,56	14,5	82,4	3,1	2,35	4,6	55,5	3,3	48,7	19,5

Abreviaturas: %AM (% areia média), %AF (%areia fina), %AMF (%areia muito fina), TMGφ (tamanho médio do grão em φ), Alt Duna (m) – (altura média das dunas frontais em metros), Larg. PS (m) – (largura da praia subaérea em metros), Dec. PS % (declividade da praia subaérea em %), %CV (% de cobertura das dunas frontais), AZ graus (azimute da linha de costa em graus).

Tabela 2. Sedimentologia de Balneário Pinhal.

Balneários	Dunas frontais				Praia subaérea				Face da praia				Alt. Duna (m)	Larg. PS	Dec. PS %	%CV	AZ graus
	%AM	%AF	% AMF	TMGφ	%AM	%AF	% AMF	TMGφ	%AM	%AF	% AMF	TMGφ					
Magistério 1	5,8	91,7	2,5	2,41	9,0	88,7	2,3	2,40	29,6	68,0	2,4	2,24	6,5	65,9	2,5	54,3	20,3
Magistério 2	8,9	88,4	2,6	2,40	2,2	94,6	3,2	2,51	23,1	72,1	4,8	2,32	4,5	79,6	3,0	41,7	19,5
Pinhal Sede 1	13,2	85,6	1,1	2,30	22,9	75,9	1,1	2,26	26,0	73,3	0,7	2,22	4,2	64,2	3,4	87,5	18,8
Pinhal Sede 2	33,9	64,2	1,9	2,20	13,7	84,7	1,6	2,33	25,8	70,8	3,2	2,27	4,9	36,5	5,2	50,3	18,3
Pinhal Sede 3	6,4	90,5	3,0	2,40	15,2	84,0	0,8	2,29	15,2	84,0	0,8	2,23	3,9	51,1	5,0	74,8	20,2
Pinhal Sede 4	3,0	91,8	5,1	2,53	14,7	83,9	1,4	2,31	17,1	78,6	4,3	2,39	3,4	87,2	3,2	69,0	18,9

Nota: Magistério e Pinhal Sede foram amostrados em mais de um ponto devido ao seu comprimento, maior que 5 km.

Tabela 3. Sedimentologia de Cidreira.

Balneários	Dunas frontais				Praia subaérea				Face da praia				Alt. Duna (m)	Larg. PS	Dec. PS %	%CV	AZ graus
	%AM	%AF	% AMF	TMGφ	%AM	%AF	% AMF	TMGφ	%AM	%AF	% AMF	TMGφ					
Costa do Sol	5,7	92,3	2,0	2,43	5,2	91,5	3,3	2,47	2,6	90,1	7,1	2,57	4,1	76,0	3,7	80,0	18,4
Zona A	6,3	92,2	1,4	2,40	9,0	87,3	3,7	2,44	17,8	78,0	2,3	2,29	3,7	72,9	3,6	73,7	18,6
Centro	3,2	93,0	3,8	2,51	5,2	90,2	4,5	2,50	5,8	87,8	6,3	2,52	4,3	60,5	4,4	64,0	19,3
Nazaré	3,4	92,2	4,3	2,51	17,0	78,5	4,5	2,41	27,9	68,0	2,6	2,25	3,7	70,0	3,9	75,5	18,0
Salinas	1,7	91,8	6,5	2,59	4,1	92,0	3,9	2,50	13,5	83,1	3,2	2,39	6,5	65,3	3,4	75,5	18,6
Campo Dunas	5,2	90,4	4,3	2,42	3,3	92,8	3,8	2,52	5,1	91,5	3,3	2,50	3,8	62,9	4,4	61,0	19,5

Tabela 4. Sedimentologia de Tramandaí.

Balneários	Dunas frontais				Praia subaérea				Face da praia				Alt. Duna (m)	Larg. PS	Dec. PS %	%CV	AZ graus
	%AM	%AF	% AMF	TMGφ	%AM	%AF	% AMF	TMGφ	%AM	%AF	% AMF	TMGφ					
Campo Dunas	10,6	86,8	2,5	2,37	1,4	93,5	5,1	2,54	30,6	66,4	3,0	2,24	5,4	74,6	3,0	78,0	19,9
Tiarajú	2,7	92,6	4,6	2,49	5,0	92,8	2,2	2,46	2,4	93,2	4,3	2,50	3,6	66,6	2,9	77,0	25,4
Jardim do Édem	3,8	91,2	5,0	2,54	4,7	89,6	5,6	2,55	3,2	91,0	5,8	2,52	3,2	78,6	3,9	92,0	27,1
Jardim Atlântico	7,0	90,4	2,6	2,42	8,7	88,5	2,8	2,40	15,3	79,4	3,1	2,34	4,1	65,2	4,6	72,0	20,6
Oásis Sul	2,7	93,1	4,1	2,46	13,1	84,4	2,5	2,37	17,3	78,9	3,8	2,36	4,0	64,7	4,7	75,0	19,5
Nova Tramandaí Plano B	6,3	91,8	1,9	2,44	3,1	92,5	4,4	2,53	1,8	91,7	6,6	2,58	4,5	63,4	4,5	77,0	22,3
Nova Tramandaí Plano A	4,5	90,0	5,3	2,46	2,3	92,6	5,1	2,55	8,5	87,2	4,2	2,42	3,4	78,4	3,7	82,0	20,8
Tramandaí Sul	3,1	91,7	5,1	2,54	18,1	78,0	3,8	2,37	4,7	90,6	4,7	2,52	3,7	73,4	3,6	71,0	20,5
Zona Nova Extensão Sul	8,6	87,9	3,5	2,42	2,3	94,3	3,4	2,50	4,3	90,3	5,3	2,47	4,2	59,8	4,4	70,0	22,0
Zona Nova Sul	6,3	91,4	2,3	2,45	12,0	83,4	3,4	2,39	5,9	89,1	5,0	2,49	4,3	64,2	3,9	65,0	21,6
Zona Nova Centro	2,5	92,4	5,1	2,55	5,3	90,9	3,8	2,49	8,7	88,8	2,5	2,41	4,2	39,5	5,6	70,0	19,8
Barra	5,4	91,3	3,3	2,43	2,8	92,3	4,9	2,58	3,5	93,3	3,2	2,49	6,3	42,6	7,0	50,0	24,7
Barra	8,8	89,2	2,0	2,39	2,4	93,5	4,1	2,53	8,2	86,4	5,3	2,48	5,4	74,6	3,0	78,0	19,9

Tabela 5. Sedimentologia de Imbé.

Balneários	Dunas frontais				Praia subaérea				Face da praia				Alt. Duna (m)	Larg. PS	Dec. PS %	%CV	AZ graus
	%AM	%AF	% AMF	TMGφ	%AM	%AF	% AMF	TMGφ	%AM	%AF	% AMF	TMGφ					
Balneário Imbé	6,0	91,7	2,3	2,41	4,7	90,6	4,7	2,52	29,4	65,8	4,8	2,32	6,9	47,7	4,4	50,0	24,2
Ecademar	19,4	79,3	1,3	2,28	2,7	89,7	8,7	2,61	24,0	75,7	0,2	2,29	3,8	56,3	2,6	27,0	18,1
Morada do Sol	3,4	93,5	3,0	2,41	4,1	92,6	3,3	2,51	9,5	87,4	3,1	2,20	4,2	49,3	2,8	63,0	23,3
Presidente	19,0	79,6	1,4	2,23	1,8	94,7	3,5	2,47	19,5	79,8	0,7	2,41	4,0	54,6	2,6	46,0	23,7
Riviera	0,4	95,9	3,7	2,55	10,7	86,9	2,4	2,40	6,6	91,6	1,8	2,29	5,0	51,3	2,7	37,0	21,5
Ipiranga	9,7	89,1	1,2	2,35	14,3	84,3	1,4	2,29	11,7	86,5	1,8	2,41	5,2	58,7	2,4	45,0	21,9
Nordeste	5,6	93,6	0,8	2,34	33,2	66,1	0,7	2,16	10,2	87,9	1,7	2,35	4,9	50,9	3,4	71,0	28,1
Mariluz	9,3	88,5	2,2	2,39	12,3	85,9	1,7	2,36	35,2	63,8	0,9	2,38	5,2	66,9	2,9	74,0	19,2
Mariluz Plano B	2,8	96,0	1,2	2,40	15,9	82,4	1,8	2,30	11,7	87,0	1,2	2,33	5,4	49,4	3,7	57,0	25,8
Mariluz Plano C	2,2	92,6	5,2	2,45	2,2	92,6	5,2	2,24	21,4	76,9	2,2	2,17	4,4	60,0	3,1	79,0	20,9
Harmonia	7,9	90,6	1,5	2,32	10,7	86,8	2,5	2,36	30,4	68,3	1,2	2,30	3,6	56,5	2,8	80,0	21,5
Mariluz Norte	2,7	95,5	0,9	2,45	9,2	89,4	1,4	2,36	15,2	82,4	2,4	2,22	5,0	42,6	3,2	80,0	23,0
Albatroz	22,9	75,7	1,3	2,28	29,8	68,9	1,1	2,17	12,3	85,2	2,5	2,36	4,2	44,6	3,0	81,0	23,3
Marisul	3,3	94,2	2,5	2,49	6,9	90,3	2,8	2,39	14,7	83,7	1,5	2,34	4,1	55,2	2,5	85,0	21,7
Santa Terezinha	9,3	88,5	1,0	2,40	19,7	79,2	1,0	2,45	24,6	74,1	1,3	2,27	3,6	59,5	2,3	77,0	24,0
Santa Terezinha Norte	2,3	94,8	3,0	2,51	9,0	86,9	4,1	2,28	14,2	84,8	1,0	2,33	3,7	44,8	3,1	81,0	23,3
Imara	2,3	94,8	2,9	2,45	17,8	80,2	1,7	2,46	18,0	81,0	1,0	2,29	6,9	36,4	3,7	50,0	23,5

Tabela 6. Sedimentologia de Osório

Balneários	Dunas frontais				Praia subaérea				Face da praia				Alt. Duna (m)	Larg. PS	Dec. PS %	%CV	AZ graus
	%AM	%AF	% AMF	TMGφ	%AM	%AF	% AMF	TMGφ	%AM	%AF	% AMF	TMGφ					
Atlantida Sul	0,5	95,4	4,1	2,5	6,9	88,8	4,3	2,49	23,8	75,5	0,7	2,23	4,4	32,2	3,3	48,5	23,2
Mariápolis	2,8	93,3	3,8	2,47	5,9	92,0	2,1	2,43	12,6	85,7	1,7	2,35	4,3	55,0	3,3	57,1	22,9

Tabela 7. Sedimentologia de Xangri-lá

Balneários	Dunas frontais				Praia subaérea				Face da praia				Alt. Duna (m)	Larg. PS	Dec. PS %	%CV	AZ graus
	%AM	%AF	% AMF	TMGφ	%AM	%AF	% AMF	TMGφ	%AM	%AF	% AMF	TMGφ					

Balneários	%AM	%AF	% AMF	TMGφ	%AM	%AF	% AMF	TMGφ	%AM	%AF	% AMF	TMGφ	Alt. Duna (m)	Larg. PS	Dec. PS %	%CV	AZ graus
Xangri-Lá	5,7	90,3	3,9	2,49	6,3	88,9	4,8	2,50	20,8	77,8	1,4	2,25	4,5	44,8	3,6	59,3	25,1
CCI	6,7	90,0	3,3	2,47	14,5	83,9	1,6	2,34	28,3	67,7	0,8	2,17	3,6	42,3	3,2	72,0	20,9
Enara	2,3	94,3	3,4	2,53	8,8	88,9	2,3	2,38	22,1	76,5	1,3	2,27	3,5	42,1	3,2	88,0	27,8
Atlântida	8,2	88,9	2,9	2,42	4,8	92,0	3,2	2,48	23,6	75,4	1,0	2,24	4,0	57,9	3,2	50,0	24,4

Nota: CCI é a abreviatura de Loteamento Companhia Comercial de Imóveis.

Tabela 8. Sedimentologia de Capão da Canoa e Terra de Areia.

Balneários	Dunas frontais				Praia subaérea				Face da praia				Alt. Duna (m)	Larg. PS	Dec. PS %	%CV	AZ graus
	%AM	%AF	% AMF	TMGφ	%AM	%AF	% AMF	TMGφ	%AM	%AF	% AMF	TMGφ					
Navegantes	9,0	86,6	4,4	2,45	10,4	87,5	2,0	2,37	10,6	86,3	3,0	2,40	3,8	53,5	3,1	73,8	25,0
Centro	4,4	92,8	2,8	2,43	7,8	90,5	1,7	2,39	10,0	88,6	1,4	2,36	4,2	56,0	3,0	78,0	24,8
Zona Nova	6,9	89,4	3,6	2,46	7,0	88,0	4,9	2,51	15,4	81,1	3,5	2,37	3,8	42,6	4,0	56,4	26,2
Araçá	3,1	92,0	4,8	2,50	4,3	92,8	2,8	2,47	15,6	80,5	4,0	2,37	3,5	43,3	3,2	62,7	26,1
Arco Íris	11,5	86,3	2,2	2,39	7,4	90,0	2,6	2,44	12,3	81,2	6,5	2,45	3,3	42,4	3,5	55,7	26,7
Guarani	7,3	90,3	2,4	2,44	5,9	90,9	3,2	2,48	15,1	81,8	3,1	2,36	3,3	46,8	3,9	56,3	26,2
Zona Norte	4,9	92,2	2,8	2,48	6,3	90,0	3,7	2,48	10,1	83,3	6,6	2,48	3,7	50,0	3,6	71,0	26,6
Jardim Beira Mar	11,9	86,3	1,8	2,37	20,9	76,4	2,7	2,32	15,9	80,4	3,7	2,37	3,4	53,6	3,5	84,0	26,8
Praia do Barco	6,9	92,0	1,1	2,40	2,8	90,1	7,1	2,59	13,6	78,3	8,1	2,47	4,1	50,9	3,3	86,1	26,4
Capão Novo	11,8	86,1	2,1	2,37	4,6	90,3	5,2	2,54	8,8	81,9	9,3	2,52	3,8	45,8	3,8	71,0	27,5
Arroio Teixeira	1,7	95,0	3,3	2,52	4,5	92,5	3,0	2,49	8,4	89,8	1,8	2,35	3,9	51,6	3,5	61,2	28,8
Conceição	3,4	94,2	2,3	2,45	14,4	83,5	2,1	2,35	10,5	87,2	2,3	2,39	3,5	133,8	1,5	48,4	24,9
Arroio Teixeira Gleba B	28,6	69,4	2,0	2,23	9,2	87,5	3,2	2,40	13,7	79,9	6,3	2,44	3,7	60,9	3,3	76,1	28,9
Curumim	3,4	93,7	2,9	2,51	5,5	91,0	3,5	2,48	21,7	72,0	6,3	2,35	3,7	55,9	3,1	65,2	28,2
Terra de Areia	4,4	92,8	2,7	2,46	12,9	84,0	3,1	2,39	11,8	83,4	4,9	2,44	3,6	53,2	3,2	43,0	30,2

Tabela 9. Sedimentologia de Arroio do Sal.

Balneários	Dunas frontais				Praia subaérea				Face da praia				Alt. Duna (m)	Larg. PS	Dec. PS %	%CV	AZ graus
	%AM	%AF	% AMF	TMGφ	%AM	%AF	% AMF	TMGφ	%AM	%AF	% AMF	TMGφ					
Arroio do Sal 1	7,2	90,9	1,8	2,40	5,0	91,1	3,8	2,50	20,9	75,9	3,2	2,27	3,9	65,1	3,2	36,8	31,8
Arroio do Sal 2	5,4	88,8	5,7	2,57	4,4	90,8	4,9	2,54	19,6	77,1	3,3	2,33	3,4	66,6	3,1	44,2	31,7
Arroio do Sal 3	4,7	91,9	3,4	2,50	8,9	87,2	4,0	2,43	4,3	89,6	6,1	2,53	3,4	59,2	2,9	30,9	33,0
Arroio do Sal 4	6,3	89,5	4,3	2,49	3,6	88,3	8,1	2,59	19,7	75,3	4,9	2,35	3,5	56,0	3,5	64,9	33,0
Arroio do Sal 5	10,0	88,1	1,9	2,35	3,4	90,8	5,8	2,56	15,1	81,9	3,1	2,32	3,3	50,9	3,0	69,3	33,5
Arroio do Sal 6	5,5	90,7	3,8	2,48	1,6	91,2	7,2	2,61	6,9	86,4	6,7	2,51	2,9	58,1	3,4	66,0	31,5
Arroio do Sal 7	6,0	90,9	3,1	2,45	5,1	90,2	4,7	2,52	34,5	62,9	2,5	2,21	3,7	52,6	3,5	61,4	33,7
Arroio do Sal 8	1,3	92,2	6,5	2,59	2,5	92,7	4,8	2,52	12,8	83,5	3,7	2,39	3,7	55,3	3,7	44,0	34,4

Nota: Arroio do Sal possui muitos balneários e, para fins de simplificação, o município foi dividido em 8 segmentos de 2 km de comprimento.

Tabela 10. Sedimentologia de Torres.

Balneários	Dunas frontais				Praia subaérea				Face da praia				Alt. Duna (m)	Larg. PS	Dec. PS %	%CV	AZ graus
	%AM	%AF	% AMF	TMGφ	%AM	%AF	% AMF	TMGφ	%AM	%AF	% AMF	TMGφ					
Paraíso	8,2	88,8	3,0	2,42	9,5	87,3	3,2	2,41	11,4	85,7	2,6	2,38	3,3	49,1	3,1	78,8	35,2
Real	3,9	91,5	4,6	2,52	3,0	93,0	4,0	2,48	16,9	79,0	4,0	2,38	3,8	50,6	3,0	56,8	35,0

Estrela do Mar	9,3	89,3	1,3	2,34	2,4	87,8	9,8	2,63	11,4	83,2	5,4	2,41	3,5	45,3	4,2	54,8	35,4
Santa Helena	5,3	89,5	5,2	2,51	2,6	91,4	6,0	2,58	10,1	85,5	4,4	2,42	3,4	41,0	4,4	59,5	35,8
Webber	6,0	90,1	3,9	2,50	3,7	93,4	2,9	2,48	1,5	93,1	5,4	2,57	3,8	51,7	3,5	72,3	35,6
Recreio	6,9	91,5	1,6	2,40	4,8	90,8	4,5	2,50	17,6	79,3	3,1	2,33	3,8	53,1	3,4	79,5	35,0
Petrópolis	6,1	90,3	3,6	2,45	8,7	89,3	2,0	2,40	12,2	83,1	4,6	2,39	3,7	51,1	3,5	78,1	33,9
Yara	3,8	92,4	3,8	2,48	6,6	89,0	4,4	2,49	17,8	79,7	2,4	2,33	3,8	47,5	3,9	64,2	35,1
Gaúcha Anexo	4,6	93,8	1,6	2,40	7,8	88,8	3,3	2,41	5,7	87,7	6,0	2,50	4,0	43,3	4,2	66,0	33,0
Gaúcha	16,9	81,5	1,5	2,32	4,5	92,3	3,3	2,49	18,4	77,2	4,3	2,35	3,7	69,2	2,8	92,4	37,1
Casqueiro	4,6	93,6	1,8	2,41	10,8	86,4	2,8	2,41	27,5	69,0	3,5	2,27	3,7	65,3	3,0	96,5	35,3
Tupynambá	7,6	90,2	2,3	2,41	3,3	93,4	3,3	2,45	17,8	78,9	3,2	2,34	3,4	61,7	3,2	96,4	32,3
Praia Riviera	1,6	93,7	4,7	2,56	5,7	89,9	4,3	2,49	23,3	74,6	2,1	2,26	3,5	71,9	2,8	85,3	37,5
Condomínio Ocean Side	5,1	92,0	2,8	2,42	3,6	91,2	5,1	2,54	17,4	79,8	2,7	2,35	3,7	48,2	4,0	71,3	34,5
Lagoa do Jardim	5,5	92,4	2,0	2,40	8,6	88,8	2,5	2,42	7,8	85,9	6,3	2,49	3,2	70,3	2,8	98,1	39,9
Itapeva Sul	4,3	91,9	3,8	2,46	3,2	91,8	5,0	2,55	16,4	79,6	3,9	2,36	3,3	67,3	2,9	99,2	28,6
Torres Tur	4,2	92,8	3,0	2,45	31,1	66,8	2,0	2,21	20,5	74,2	5,3	2,36	3,2	59,2	3,3	83,2	33,6
Itapeva III Etapa	7,0	88,9	4,1	2,47	4,2	90,8	5,0	2,54	22,8	72,6	4,5	2,32	3,8	61,0	3,2	60,3	34,5
Itapeva	7,4	89,9	2,8	2,44	5,8	88,7	5,5	2,50	15,3	81,0	3,7	2,37	3,6	56,1	3,2	97,4	36,6
Parque Estadual de Itapeva	2,8	94,0	3,3	2,47	3,2	90,0	6,8	2,56	15,4	81,7	2,9	2,35	4,1	50,2	3,5	67,7	36,8
Parque Nacional da Guarita	13,8	84,7	1,5	2,32	13,7	84,2	2,1	2,35	23,4	75,2	1,3	2,25	4,8	38,6	4,9	-	69,8
Praia da Cal	22,6	76,0	1,4	2,26	7,0	89,8	3,2	2,42	12,9	84,7	2,5	2,36	3,1	32,3	4,4	-	26,8
Prainha	8,3	88,8	2,8	2,39	3,5	91,3	5,2	2,54	7,2	87,4	5,3	2,48	1,8	35,2	4,5	-	35,7
Praia Grande	4,5	90,5	4,9	2,51	1,8	91,8	6,4	2,57	34,2	64,7	1,1	2,17	4,1	61,2	3,5	63,2	32,9

Nota: Os %CV dos balneários Parque Nacional da Guarita, Praia da Cal e Prainha não foram determinados devido a imprecisão do método classificação de imagens utilizado por Vianna e Calliari (2017, no prelo) em diferenciar rochas de vegetação.

Nos balneários da região há predominância de areias finas quartzosas bem a muito bem classificadas e unimodais. As assimetrias variam de simétricas a bem simétricas e a curtose mesocúrtica é predominantemente. Minerais pesados ocorrem na maioria das amostras, com maiores concentrações nos sedimentos da face da praia. Os tamanhos médios dos grãos são de 2,44 ϕ (dunas frontais), 2,45 ϕ (praia subaérea) e 2,36 ϕ (face da praia). Os percentuais médios são: Dunas frontais (6,9% - %AM, 90,1% - %AF, 3,0% - AMF); praia subaérea (8,0% - %AM, 88,3 % - %AF, 3,7% - %AMF); face da praia (15,6% - %AM, 80,8% - %AF, 3,4% - %AMF).

A análise gráfica do %AM de cada ambiente possibilitou que os balneários fossem distribuídos nos seguintes grupos (TABELA 11).

Tabela 11. Grupos de balneários criados pelos %AM dos ambientes estudados.

Balneários	Eq. Numérico	Grupos Dunas Frontais			Grupos Praia Subaérea				Grupos Face da Praia					
		G1	G2	G3	G1	G2	G3	G4	G1	G2	G3	G4	G5	G6
Dunas Altas	1	X			X							X		
Santa Rita	2		X		X				X					
Frade	3		X				X							X
Rei do Peixe	4		X				X			X				
Centro (Pioneiros)	5	X				X				X				
Campo Dunas	6	X			X						X			
Magistério 1	7		X		X									X

Magistério 2	8		X			X							X	
Pinhal Sede 1	9			X			X							X
Pinhal Sede 2	10			X			X							X
Pinhal Sede 3	11		X				X				X			
Pinhal Sede 4	12	X					X				X			
Costa do Sol	13		X			X			X					
Zona A	14		X			X						X		
Centro (C)	15	X				X				X				
Nazaré	16	X					X							X
Salinas	17	X			X						X			
Campo Dunas (C)	18		X		X					X				
Campo Dunas (T)	19			X	X									X
Tiarajú	20	X				X			X					
Jardim do Éden	21	X			X				X					
Jardim Atlântico	22		X		X				X					
Oásis Sul	23	X			X							X		
Nova Tramandaí Plano B	24		X				X					X		
Nova Tramandaí Plano A	25	X			X				X					
Tramandaí Sul	26	X			X					X				
Zona Nova Extensão Sul	27		X				X		X					
Zona Nova Sul	28		X			X				X				
Zona Nova (T)	29	X				X				X				
Centro	30		X		X				X					
Barra	31		X		X					X				
Balneário Imbé	32		X		X									X
Morada Do Sol	33	X		X	X								X	
Ecademar	34		X		X					X				
Presidente	35			X	X							X		
Riviera	36	X					X			X				
Ipiranga	37		X				X				X			
Nordeste	38		X					X			X			
Mariluz	39		X				X							X
Mariluz Plano B	40	X					X				X			
Mariluz Plano C	41	X			X								X	
Harmonia	42		X				X							X
Mariluz Norte	43	X				X					X			
Albatroz	44			X				X		X				
Marisul	45	X				X					X			
Santa Terezinha	46		X				X						X	
Santa Terezinha Norte	47	X				X					X			
Imara	48	X					X					X		
Atlantida Sul	49	X				X							X	
Mariápolis	50	X				X					X			
Xangri-Lá	51		X			X							X	
CCI	52		X				X							X
Enara	53	X				X							X	
Atlântida	54		X		X								X	
Navegantes	55		X				X				X			
Centro (CC)	56	X				X					X			
Zona Nova (CC)	57		X			X						X		
Araçá	58	X			X							X		
Arco Íris	59			X		X					X			
Guarani	60		X			X						X		
Zona Norte	61	X				X					X			

Jardim Beira Mar	62			X			X					X		
Praia Do Barco	63		X		X						X			
Capão Novo	64			X	X					X				
Arroio Teixeira	65	X			X					X				
Conceição	66	X					X				X			
Arroio Teixeira Gleba B	67			X		X					X			
Curumim	68	X				X								X
Terra de Areia	69	X					X				X			
Arroio do Sal 1	70		X			X								X
Arroio do Sal 2	71		X		X							X		
Arroio do Sal 3	72	X				X			X					
Arroio do Sal 4	73		X		X							X		
Arroio do Sal 5	74		X		X							X		
Arroio do Sal 6	75		X		X					X				
Arroio do Sal 7	76		X			X								X
Arroio do Sal 8	77	X			X						X			
Paraíso	78		X			X					X			
Real	79	X			X							X		
Estrela do Mar	80		X		X						X			
Santa Helena	81		X		X						X			
Webber	82		X		X				X					
Recreio	83		X		X							X		
Petrópolis	84		X			X					X			
Yara	85	X				X						X		
Gaúcha Anexo	86	X				X				X				
Gaúcha	87				X							X		
Casqueiro	88	X				X								X
Tupynambá	89		X		X							X		
Praia Riviera	90	X				X								X
Condomínio Ocean Side	91		X		X							X		
Lagoa Do Jardim	92		X			X				X				
Itapeva Sul	93	X			X							X		
Torres Tur	94	X						X						X
Itapeva III Etapa	95		X		X									X
Itapeva	96		X			X						X		
Parque Estadual De Itapeva	97	X			X							X		
Parque Nacional da Guarita	98			X			X							X
Praia da Cal	99			X		X					X			
Praíinha	100		X		X					X				
Praia Grande	101	X			X									X

Nota: G1 (grupo 1), G2 (grupo 2), G3 (grupo 3), G4 (grupo 4), G5 (grupo 5), G6 (grupo 6), C (Cidreira), T (Tramandaí), CC (Capão da Canoa).

Nas figuras 3, 4 e 5 são apresentados os gráficos com os %AM dos três ambientes. Os gráficos dos demais percentuais e tamanhos médios dos grãos podem ser visualizados nas figuras 6, 7 e 8.

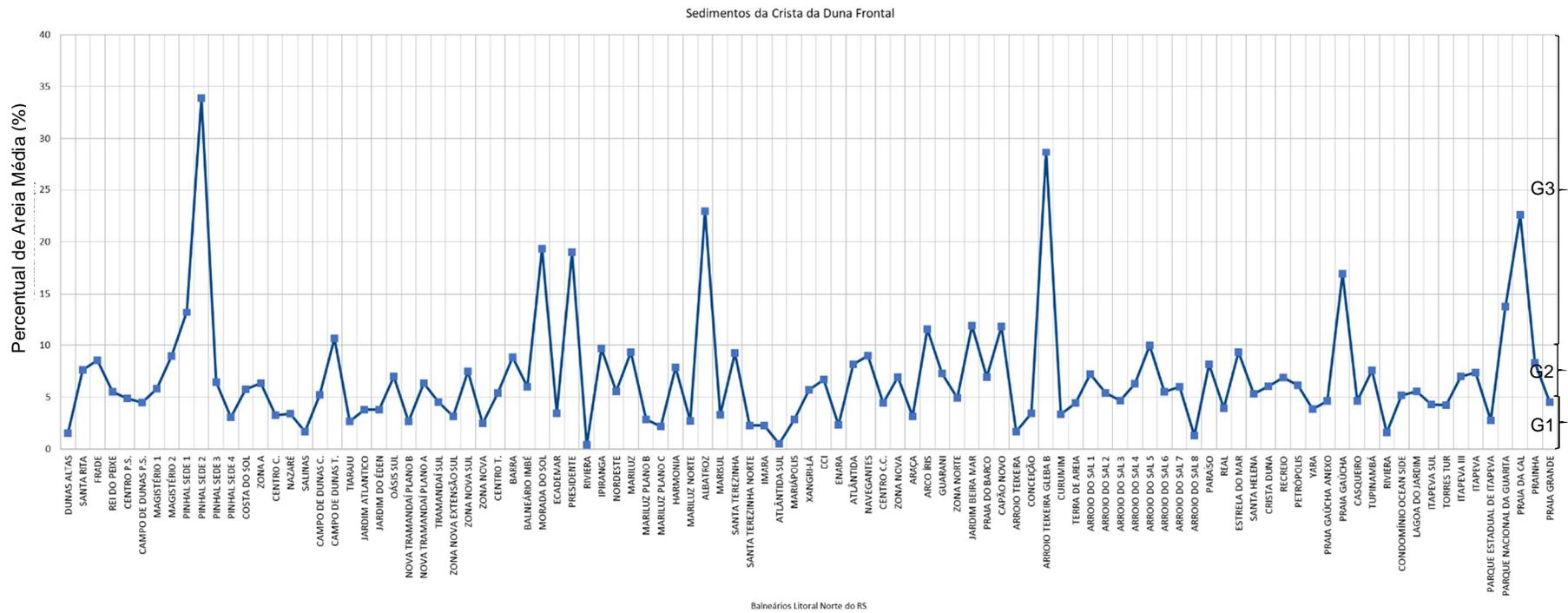


Figura 3. %AM das amostras coletadas nas dunas frontais, onde G1 (grupo 1), G2 (grupo 2) e G3 (grupo 3).

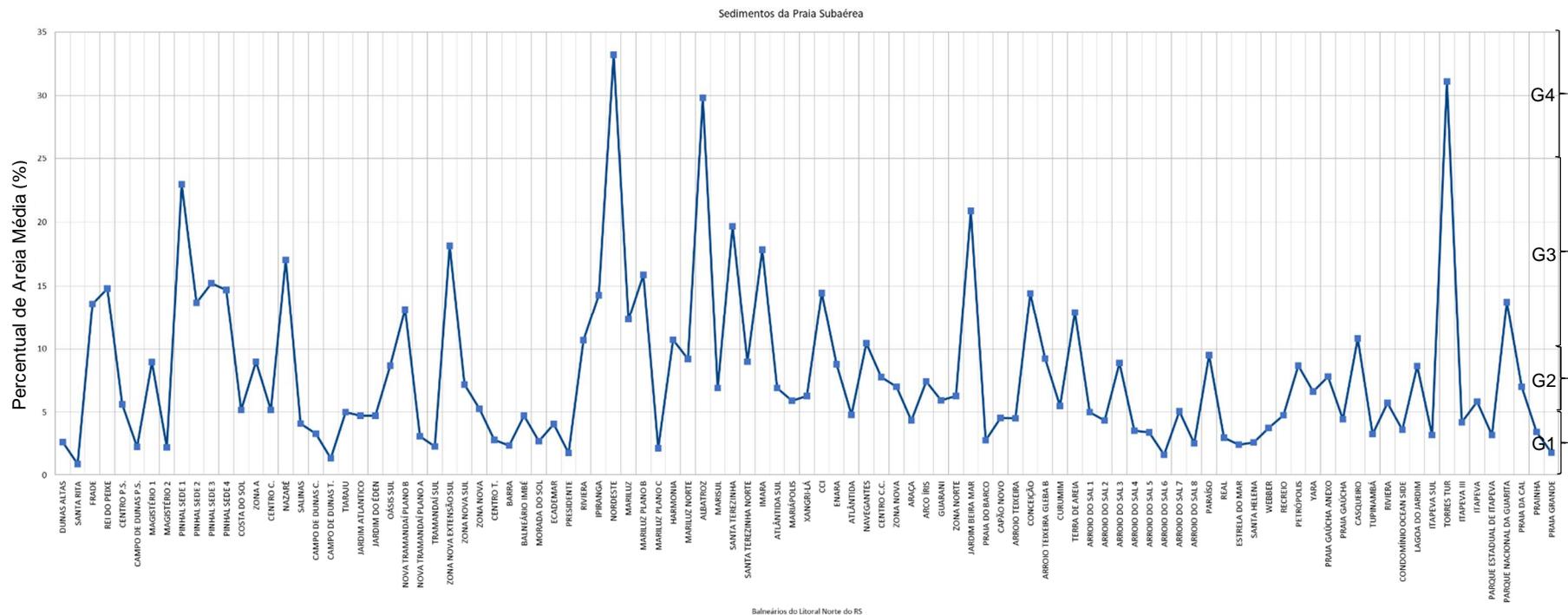


Figura 4. %AM das amostras coletadas nas praias subaéreas, onde G1 (grupo 1), G2 (grupo 2), G3 (grupo 3) e G4 (grupo 4).

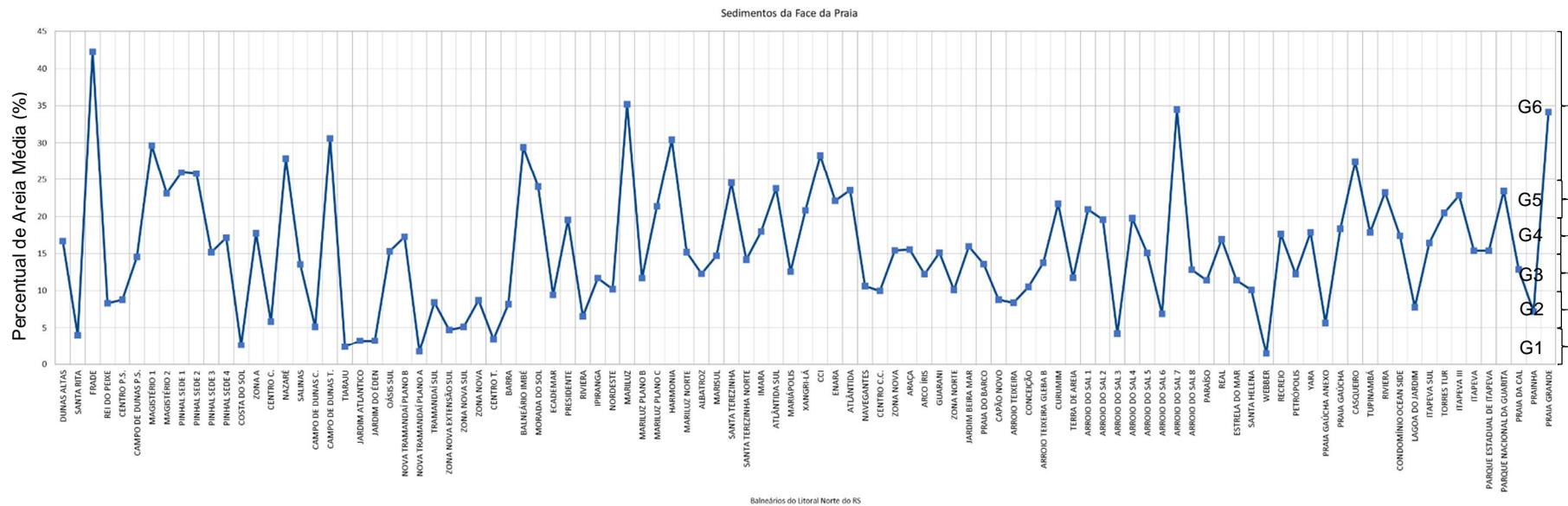


Figura 5. %AM das amostras coletadas nas faces das praias, onde G1 (grupo 1), G2 (grupo 2), G3 (grupo 3), G4 (grupo 4), G5 (grupo 5) e G6 (grupo 6).

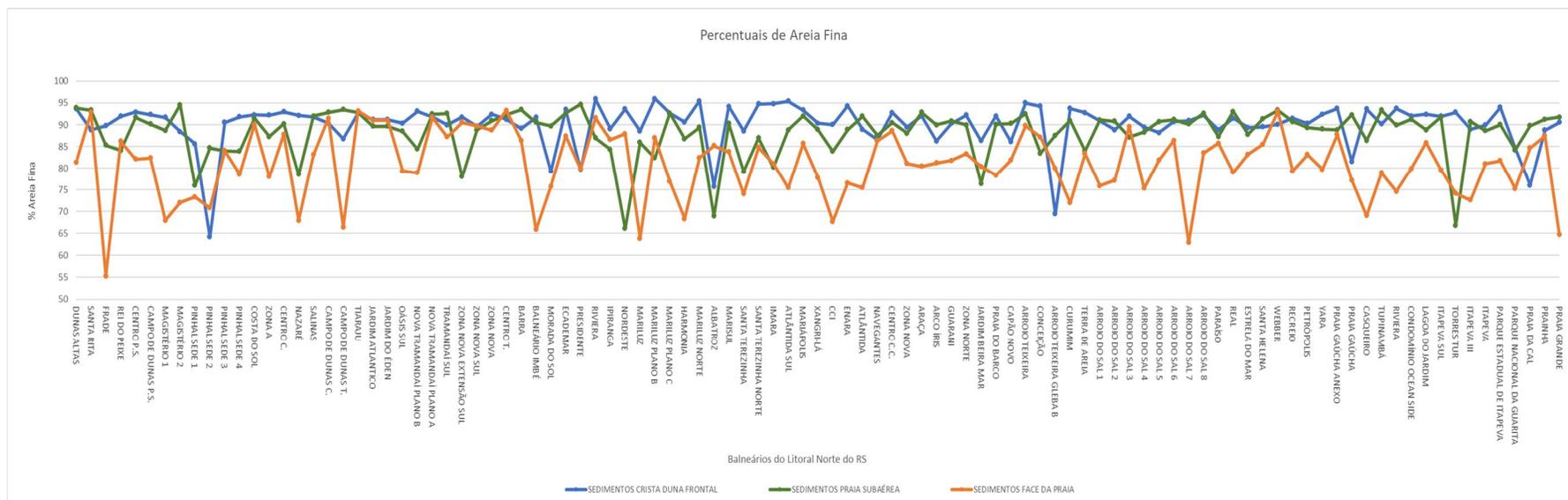


Figura 6. %AF dos três ambientes estudados.

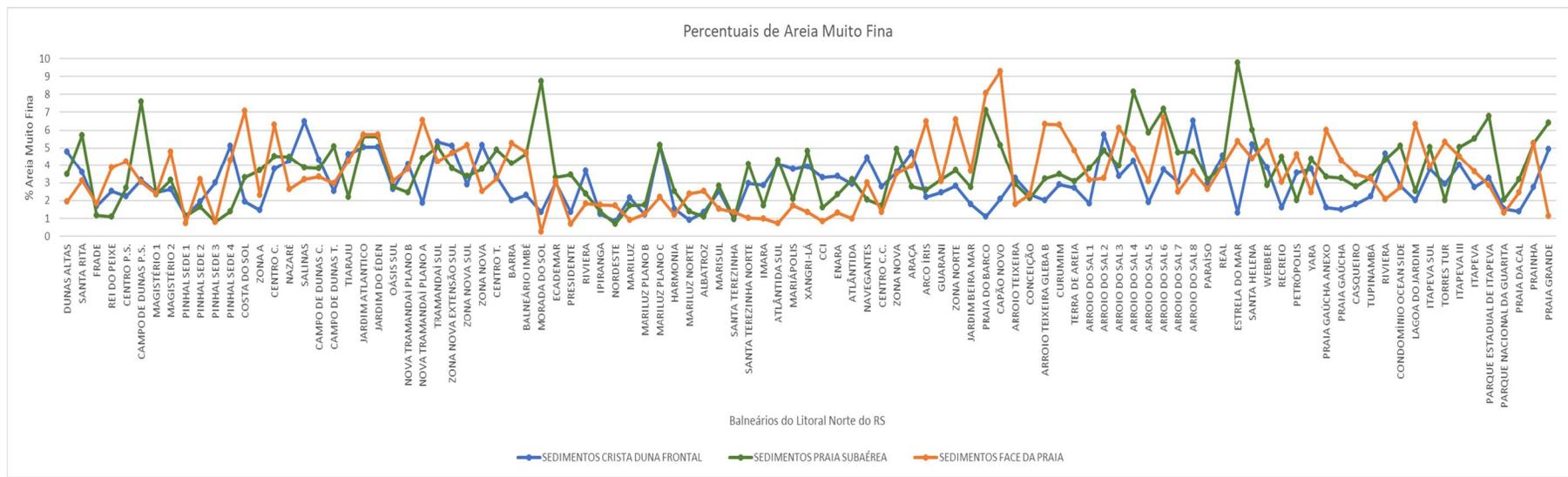


Figura 7. %AMF dos três ambientes estudados.

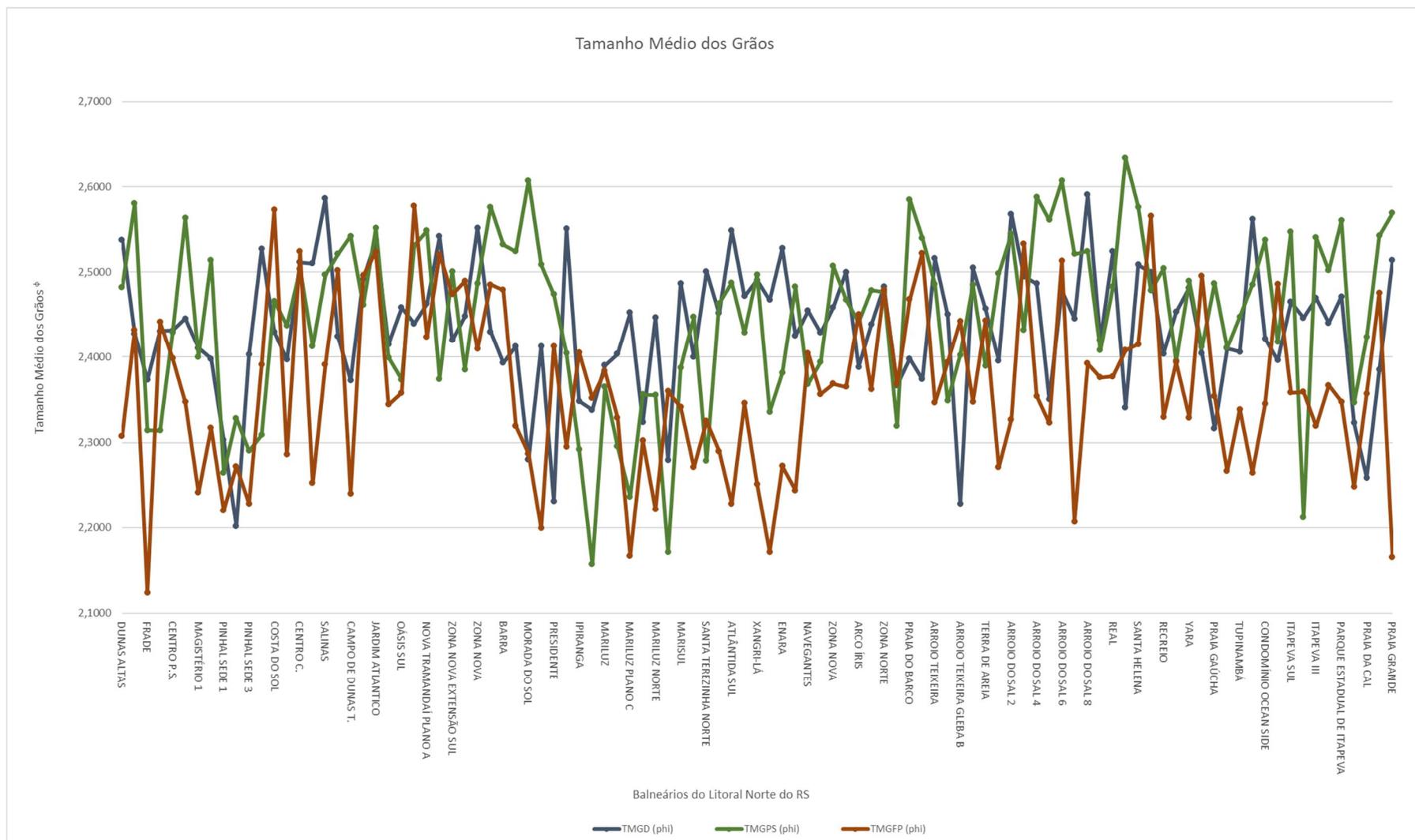


Figura 8. TMG dos três ambientes estudados, onde tamanho médio dos grãos das dunas – TMGD, tamanho médio do grão da praia subaérea – TMGPS e tamanho médio dos grãos da face da praia – TMGFP.

Na tabela 12 são apresentados os autovalores obtidos pelas PCA realizadas nos três ambientes.

Tabela 12. Componentes principais (PC), autovalores, porcentagem da variância explicada e proporção acumulada (%) pelos componentes.

	PC	Autovalor	% Variação	% Variação acumulado
PCA Dunas frontais	1	3,16	45,2	45,2
	2	1,5	21,4	66,6
	3	0,968	13,8	80,4
	4	0,8	11,4	91,8
	5	0,493	7,0	98,9
PCA Praia subaérea	1	3,3	55,0	55,0
	2	1,46	24,3	79,2
	3	0,591	9,9	89,1
	4	0,498	8,3	97,4
	5	0,149	2,5	99,9
PCA Face da praia	1	3,04	76,1	76,1
	2	0,792	19,8	95,9
	3	0,152	3,8	99,6
	4	1,47E-2	0,4	100,0

Segundo Jolliffe (1972) os componentes que apresentam autovalores inferiores a 0,7 podem ser desconsiderados. Desse modo, os 4 primeiros componentes principais (TABELA 12) que explicaram 91,8% da variabilidade dos dados, devem ser considerados para as dunas frontais. Para a praia subaérea e face da praia, os dois primeiros componentes principais são os mais importantes e explicaram 79,2% (praia subaérea) e 96% (face da praia) da variabilidade dos dados. Para estudos futuros na região, apenas essas variáveis devem ser utilizadas.

Na tabela 13 os autovalores são apresentados e representam a contribuição das variáveis para a formação de cada componente principal.

Tabela 13. Coeficientes de ponderação das variáveis estudadas em cada ambiente.

Ambiente	Variáveis	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
PCA	%AFD	-0,484	0,042	-0,174	-0,496	0,216
	%AMD	0,544	-0,003	0,021	0,244	-0,112
Dunas frontais	TMGD	-0,534	-0,121	0,111	0,144	-0,052
	%AMFD	-0,398	-0,160	0,339	0,617	-0,247
	Altura dunas	-0,048	0,649	0,337	-0,280	-0,619
	%CV	-0,145	0,288	-0,841	0,322	-0,291
	Azimuth	0,050	-0,674	-0,146	-0,335	-0,640
PCA Praia subaérea	%AMPS	-0,534	-0,085	-0,191	-0,151	0,259
	%AFPS	0,478	0,131	0,459	0,427	-0,114
	%AMFPS	0,463	-0,040	-0,465	-0,507	-0,488
	TMGPS	0,513	-0,006	-0,182	-0,158	0,824
	Largura	-0,040	0,699	-0,565	0,437	-0,011

	Declividade	0,084	-0,697	-0,428	0,567	-0,044
PCA Face da praia	%AMFP	0,551	-0,270	-0,240	0,752	
	%AFFP	-0,503	0,518	0,264	0,639	
	%AMFFP	-0,395	-0,791	0,444	0,147	
	TMGFP	-0,535	-0,182	-0,822	0,065	

Abreviaturas: AMD - areia média das dunas, AFD - areia fina das dunas, AMFD – areia muito fina das dunas, TMGD – tamanho médio dos grãos das dunas, AMPS – areia média da praia subaérea, AFPD – areia fina da praia subaérea, AMFPS areia muito fina da praia subaérea, TMGPS – tamanho médio dos grãos da praia subaérea, AMFP – areia média da face da praia, AFFP – areia fina da face da praia, AMFFP – areia muito fina da face da praia, TMGFP – tamanho médio dos grãos da face da praia.

Na tabela 13 foi apresentada a contribuição das variáveis para a construção dos componentes principais. Nas dunas frontais, as variáveis mais importantes no CP1 são %AM e TMGφ, para os demais componentes são Azimute e altura das dunas (CP2), %CV e % AFD (CP3) e %AMF e %AF (CP4). Na praia subaérea, as variáveis mais importantes foram %AM e %AF (CP1) e largura e declividade (CP2). Nos dois principais componentes principais da face da praia, as variáveis mais relevantes para suas formações são: %AM e %AF (CP1), %AMF e %AF (CP2).

Biplots foram produzidos para cada ambiente entre os componentes principais considerados (FIGURAS 9, 10, 11 e 12) e permitem a visualização da correlação entre as variáveis e a contribuição das mesmas para a formação dos grupos.

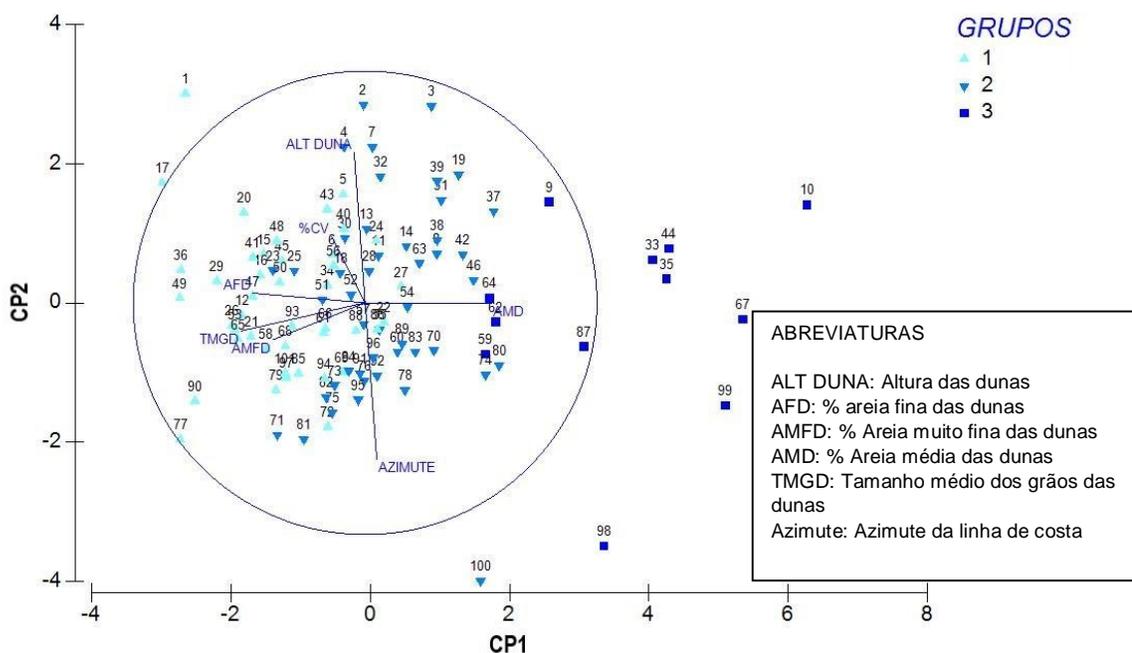


Figura 9. Biplot CP1 versus CP2 sobre as variáveis das dunas frontais.

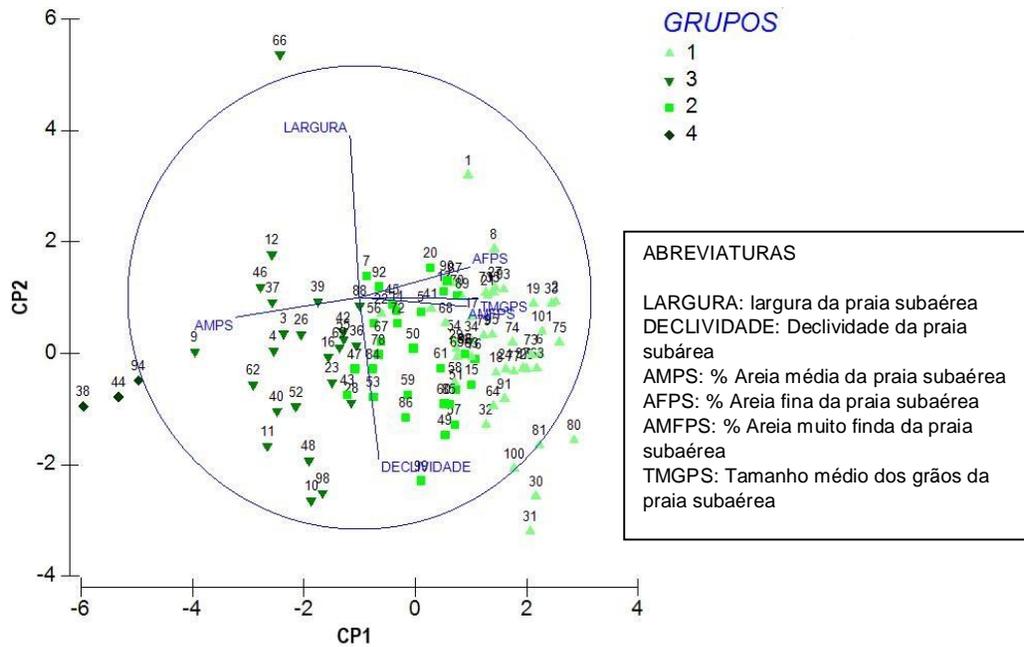


Figura 10. Biplot CP1 versus CP2 sobre as variáveis da praia subaérea.

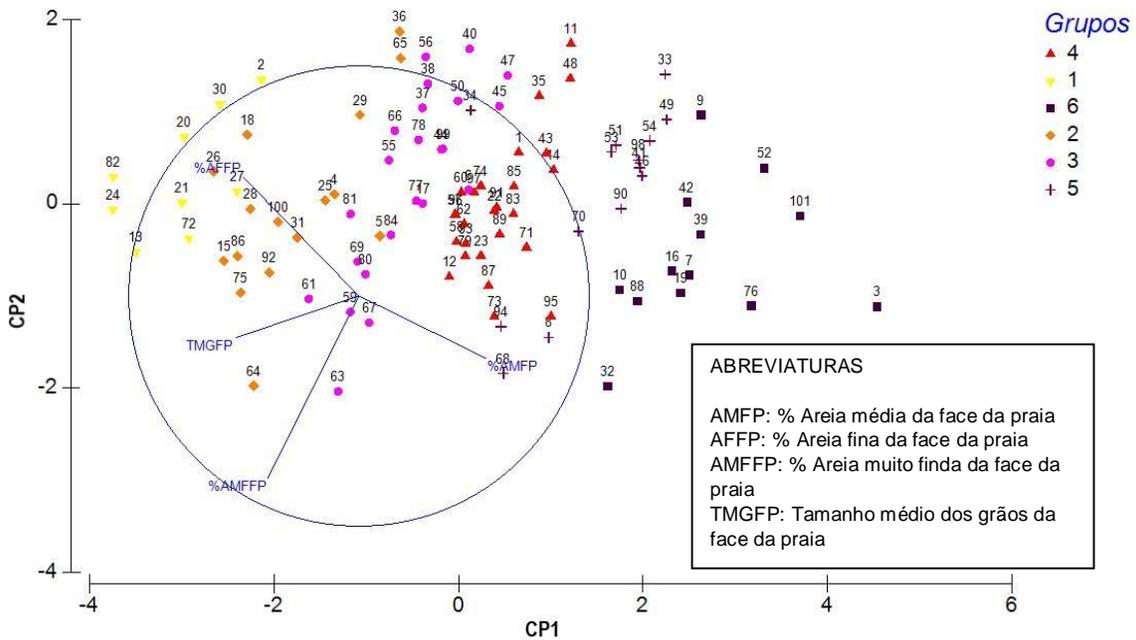


Figura 11. Biplot CP1 versus CP2 sobre as variáveis da face da praia.

Os cossenos dos ângulos formados entre os eixos (vetores) nos biplots indicam as correlações entre as variáveis (TORRES-SALINAS et al., 2013). Na figura 9 é possível visualizar que não há correlação entre os parâmetros morfométricos e sedimentológicos nas dunas frontais. As correlações existem entre altura das dunas frontais e azimuth da linha de costa (-0,39) e entre o %AMD e demais variáveis sedimentológicas (-0,97 - %AFD,

-0,49 - %AMFD, 0,86 – TMGD). As variáveis %AFD e %AMFD são fortemente correlacionadas com o TMGD (0,74 e 0,77). O comprimento dos vetores corresponde, aproximadamente, ao desvio padrão das variáveis (TORRES-SALINAS et al., 2013). Para as dunas frontais, as variáveis com maior desvio padrão são: Azimute da linha de costa (7,59°) e %AMD (5,49%).

Na figura 9 é possível subdividir e refinar os agrupamentos prévios, a fim de melhor explicar as variações encontradas nas dunas frontais. Primeiramente, alguns balneários foram redistribuídos nos grupos. Esse ajuste foi necessário, visto que alguns balneários de agrupamentos prévios se distribuíram dentro dos demais agrupamentos. Os grupos 1 e 2 foram divididos em quatro subgrupos (FIGURA 12). Ao grupo 3 foi adicionado o balneário Prainha.

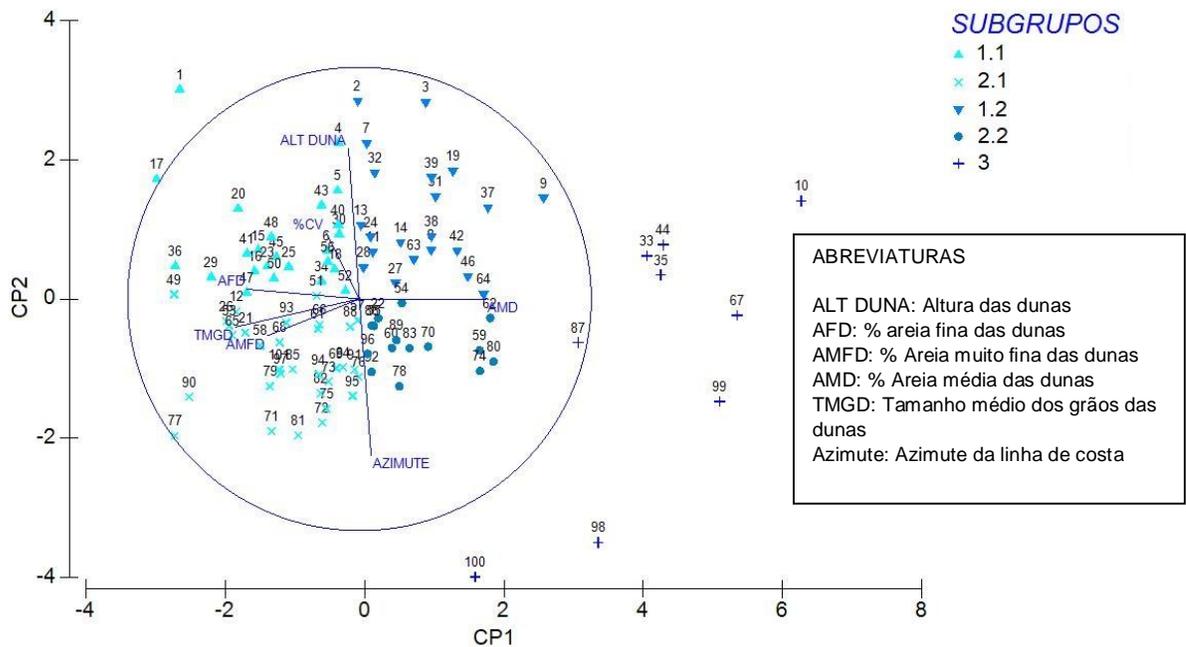


Figura 12. Subgrupos criados a partir da PCA e agrupamentos prévios, onde 1.1 (subgrupo 1 do grupo 1), (2.1 subgrupo 2 do grupo 1), (1.2 subgrupo 1 do grupo 2), (2.2 subgrupo 2 do grupo 2), (3) grupo 3 refinado.

A distribuição dos subgrupos é apresentada na figura 13, tais são formados pelos seguintes balneários:

Subgrupo 1.1: Dunas Altas, Rei do Peixe, Centro (Pioneiros), Campo Dunas (Palmares do Sul), Centro (Cidreira), Nazaré, Salinas, Campo Dunas (Cidreira), Tiarajú, Oásis Sul, Nova Tramandaí plano A, Zona Nova (Tramandaí), Centro (Tramandaí),

Ecademar, Riviera, Mariluz Plano B, Mariluz Plano C, Mariluz Norte, Marisul, Santa Terezinha Norte, Imara, Mariápolis, CCI e Centro (Capão da Canoa).

Subgrupo 2.1: Pinhal Sede 4, Jardim do Éden, Tramandaí Sul, Atlantida Sul, Xangri-lá, Enara, Zona Nova (Capão da Canoa), Araçá, Zona Norte (Capão da Canoa), Arroio Teixeira, Conceição, Curumim, Terra de Areia, Arroio do Sal 2, Arroio do Sal 3, Arroio do Sal 4, Arroio do Sal 6, Arroio do Sal 7, Arroio do Sal 8, Real, Santa Helena, Webber, Petrópolis, Yara, Casqueiro, Praia Riviera, Condomínio Ocean Side, Itapeva Sul, Torres Tur, Itapeva III Etapa, Parque Estadual de Itapeva e Praia Grande.

Subgrupo 1.2: Santa Rita, Frade, Magistério 1, Magistério 2, Pinhal Sede 1, Pinhal Sede 3, Costa do Sol, Zona A, Campo Dunas (Tramandaí), Nova Tramandaí Plano B, Zona Nova Extensão Sul, Zona Nova Sul, Barra, Balneário Imbé, Ipiranga, Nordeste, Harmonia, Mariluz, Santa Terezinha, Praia do Barco e Capão Novo.

Subgrupo 2.2: Jardim Atlântico, Atlântida, Navegantes, Arco Íris, Guarani, Jardim Beira Mar, Arroio do Sal 1, Arroio do Sal 5, Paraíso, Estrela do Mar, Recreio, Gaúcha Anexo, Tupynambá, Lagoa do Jardim e Itapeva.

Grupo 3 refinado: Pinhal Sede 2, Morada do Sol, Presidente, Albatroz, Arroio Teixeira Gleba B, Gaúcha, Parque Nacional da Guarita, Praia da Cal e Prainha.

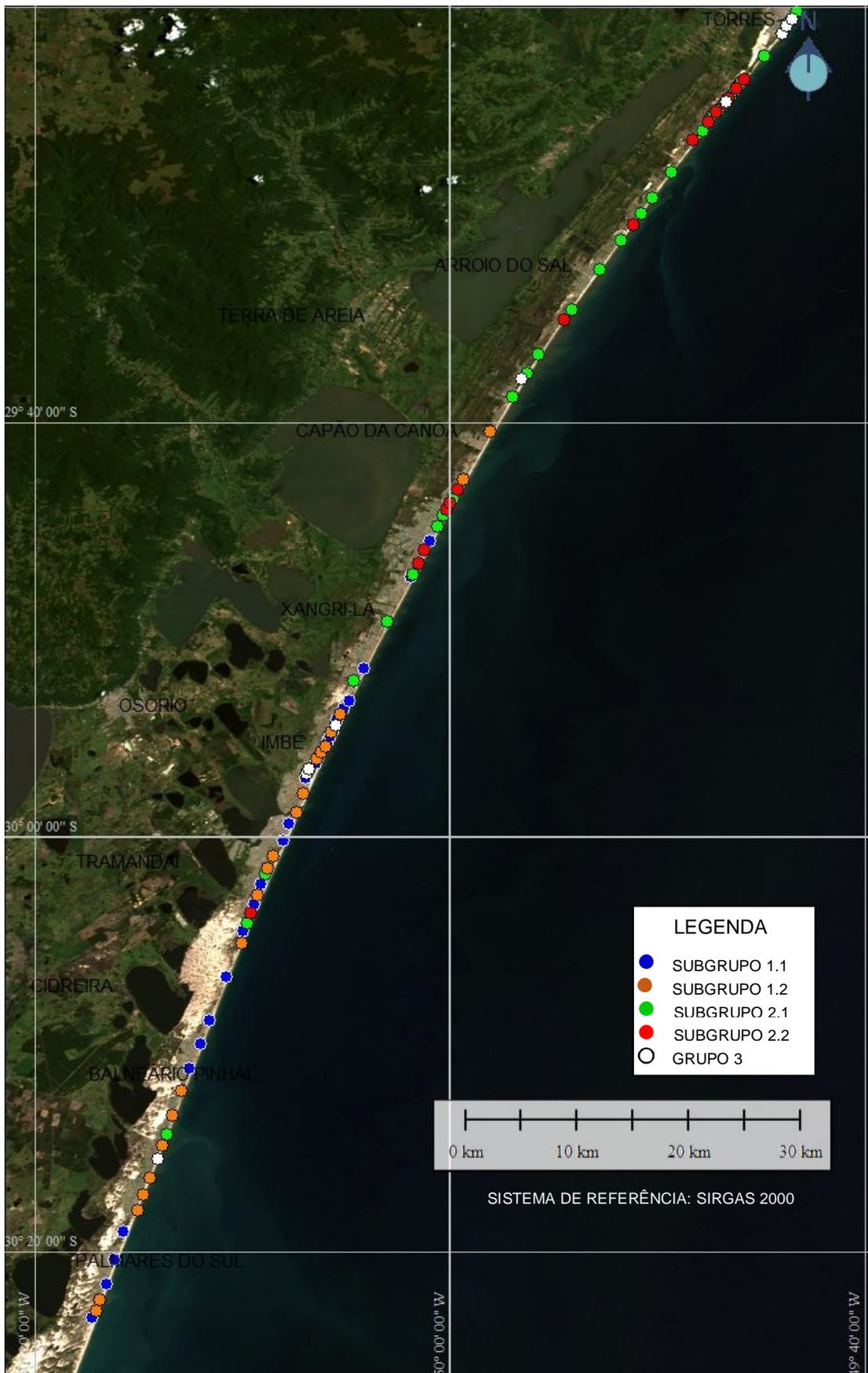


Figura 13. Grupos e subgrupos criados para as dunas frontais.

O subgrupo 1.1 é formado por balneários nos quais as variáveis mais importantes para a sua formação foram: Altura das dunas frontais, %AFD e %CV. Nesse subgrupo, os balneários possuem baixos %AMD e altos %AFD, que variaram entre 0,4% (%AMD) e 95,9% (%AFD) no balneário Riviera, a 6,7% (%AMD) e 90,0% (%AFD) em CCI. A altura média das dunas frontais varia entre 5,6 m (Rei do Peixe) e 3,6 m (CCI). No subgrupo ocorrem balneários com altos %AFD, dunas frontais de grande altura e pequenos azimutes de linha de costa, balneários Salinas e Dunas Altas onde, nesse último, as dunas frontais chegam a 7,7 m (FIGURA 14).

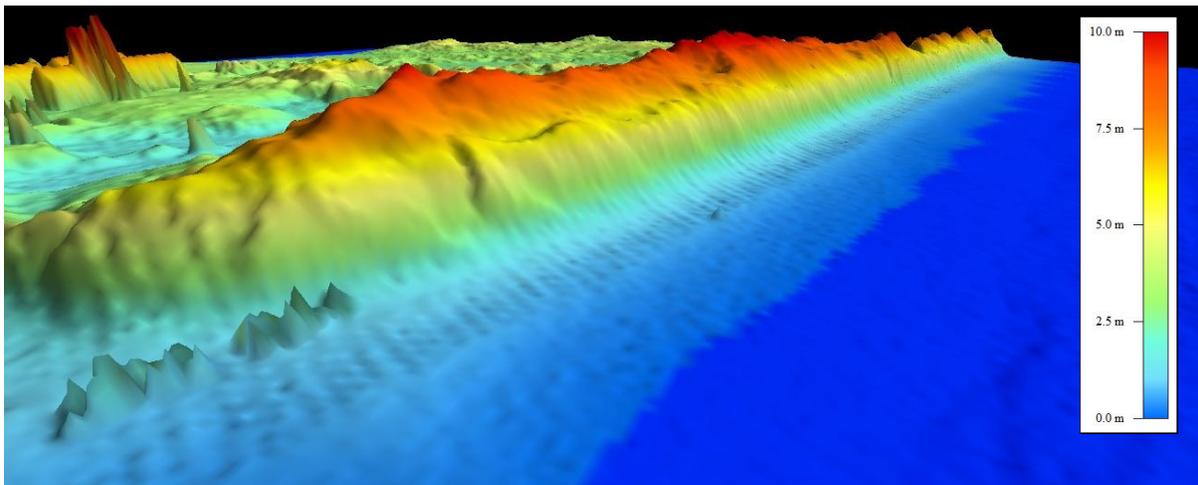


Figura 14. Dunas frontais do balneário Dunas Altas, subgrupo 1.1.

O subgrupo 2.1 é formado por balneários com %AFD semelhantes ao subgrupo 1.1, porém com maiores TMGD, %AMFD e azimuth da linha de costa. No subgrupo ocorrem balneários com azimutes da linha de costa entre 23,5° (Imara) a 34,4 (Arroio do Sal 8), (FIGURA 15). As dunas frontais têm altura média menor, quando comparadas ao do subgrupo 1.1. Os %AMFD e TMGD podem chegar a 6,5 % e 2,59 φ em Arroio do Sal 8.

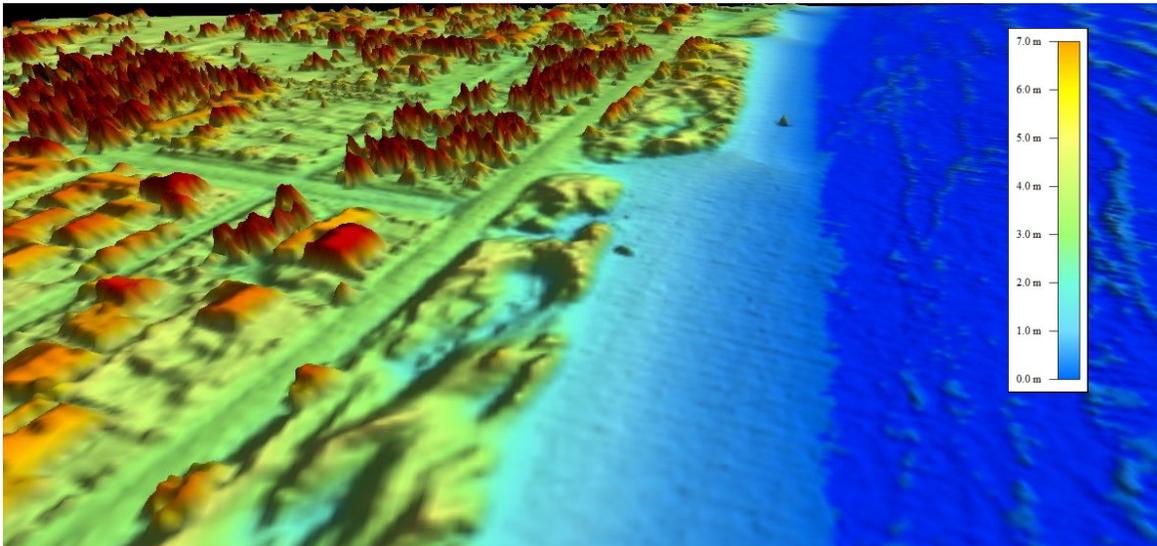


Figura 15. Dunas frontais do balneário Imara, subgrupo 2.1.

O subgrupo 1.2 possui os balneários com maiores alturas médias das dunas frontais (balneários Santa Rita – 6,8 m, Frade - 6,0 m, Rei do Peixe - 5,6 m, Magistério 1 – 6,5 m e Balneário Imbé 6,9 m), essas alturas só são superadas por Dunas Altas. Esses balneários possuem %AMD entre 5,5% a 8,5%. Nesse subgrupo, os balneários possuem grandes %AMD, um percentual de 13,2 % foi registrado em Pinhal Sede 1 (FIGURA 16). Os azimutes de linha de costa possuem valores semelhantes ao subgrupo 1.1.

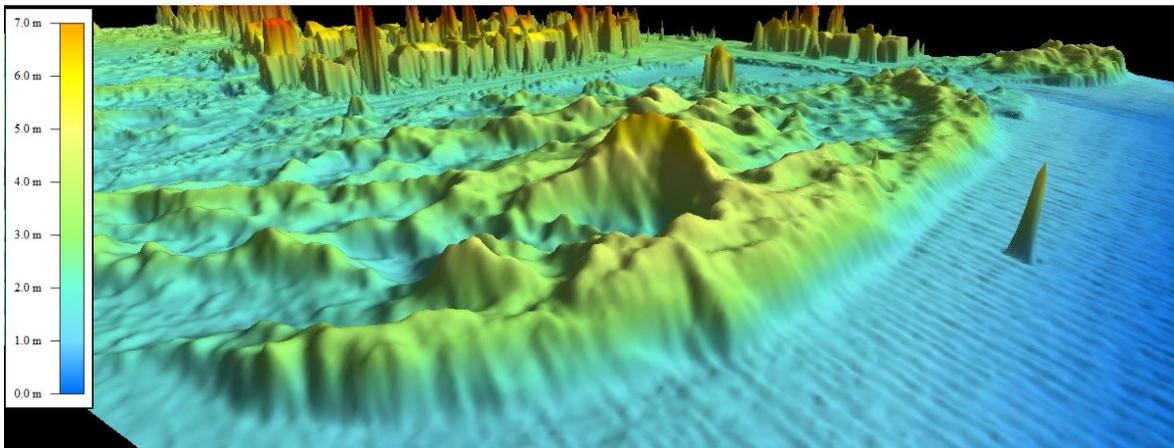


Figura 16. Dunas frontais de Pinhal Sede 1, subgrupo 1.2.

Balneários com grandes azimutes de linha de costa, dunas frontais de pequena altura e altos %AMD ocorrem no subgrupo 2.2. Os %AMD chegam a 10% em Arroio do Sal 5, já o azimute de linha de costa máximo é igual a 35,2° (Paraíso), (FIGURA 17).

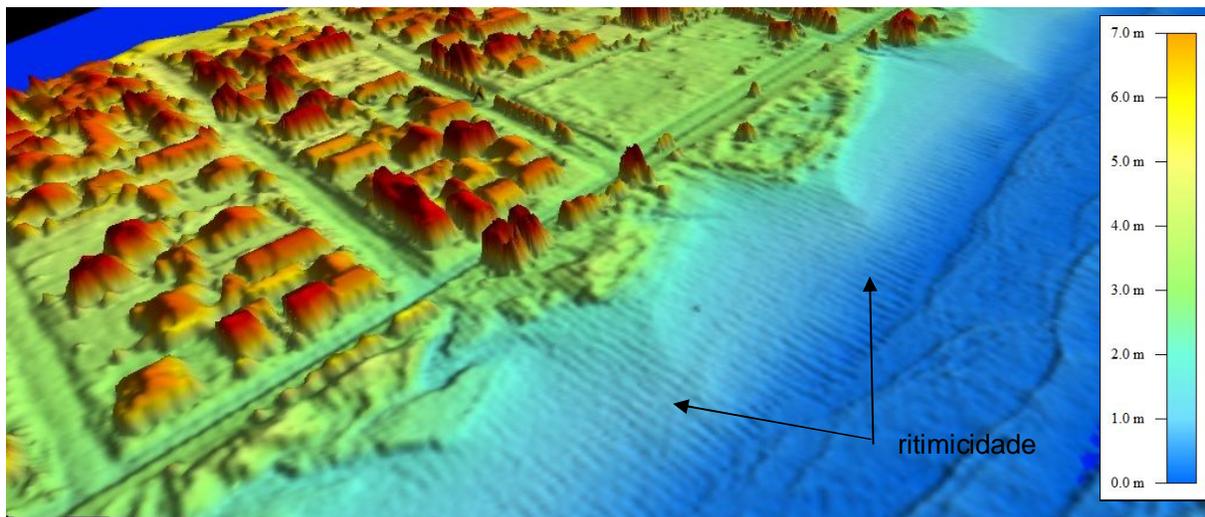


Figura 17. Dunas frontais do balneário Paraíso, subgrupo 2.2, atentar para as ritimicidades.

O grupo 3 possui o maior %AMD, essa variável também é a mais importante para a formação desse grupo. O maior percentual foi encontrado em Pinhal Sede 2 (33,9%). A esse grupo pertence o Parque Nacional da Guarita, balneário com maior azimute da linha de costa, 69,8%. Os balneários desse grupo Ecademar, Presidente e Albatroz em Imbé (FIGURA 18) possuem características ambientais semelhantes, como o %AMD que varia entre 19% e 22,9%.

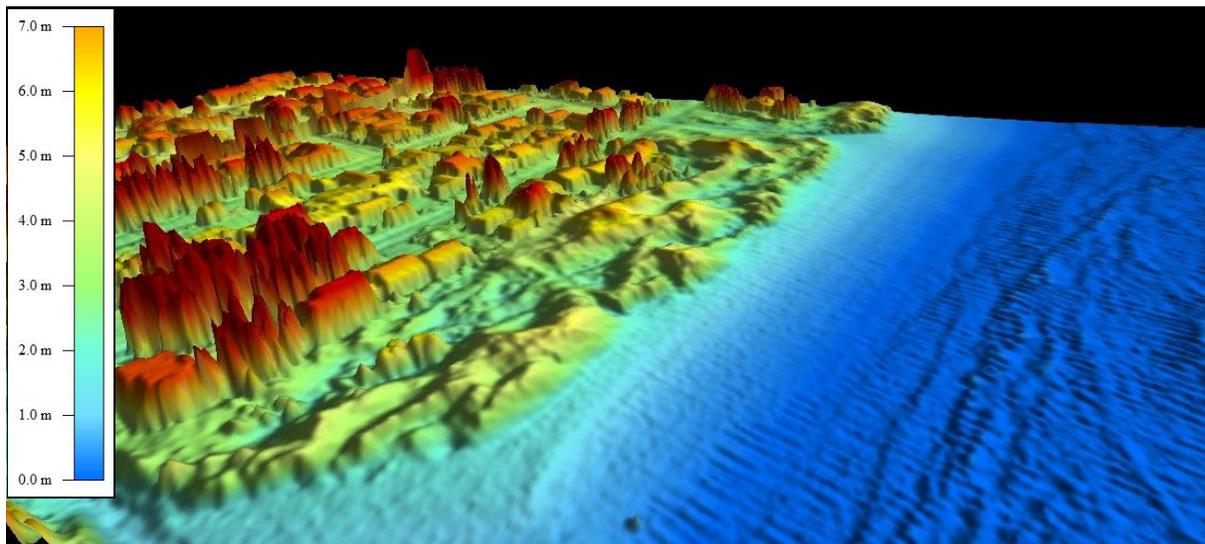


Figura 18. Dunas frontais do balneário Albatroz, grupo 3 (dunas frontais).

O PCA realizado para as praias subaéreas (FIGURA 10 e 19) sinaliza a baixa correlação entre sedimentologia e morfometria desse ambiente. A distribuição dos

balneários abaixo dos vetores sedimentológicos sinaliza que os mesmos possuem larguras e declividades de praias subáreas semelhantes. Existe correlação entre largura e declividade da praia subaérea (-0,40). Dentre as variáveis sedimentológicas, foram verificadas fortes correlações entre %AMPS e %AFPS (-0,97), %AMPS e TMGPS (-0,79) e entre %AMPS e %AMFPS (-0,64). Forte correlação ocorre, também, entre as variáveis TMGPS e %AMFPS (0,79). Os maiores desvios padrão ocorrem nas variáveis declividade (0,79%) e largura da praia subaérea (13,52 m).

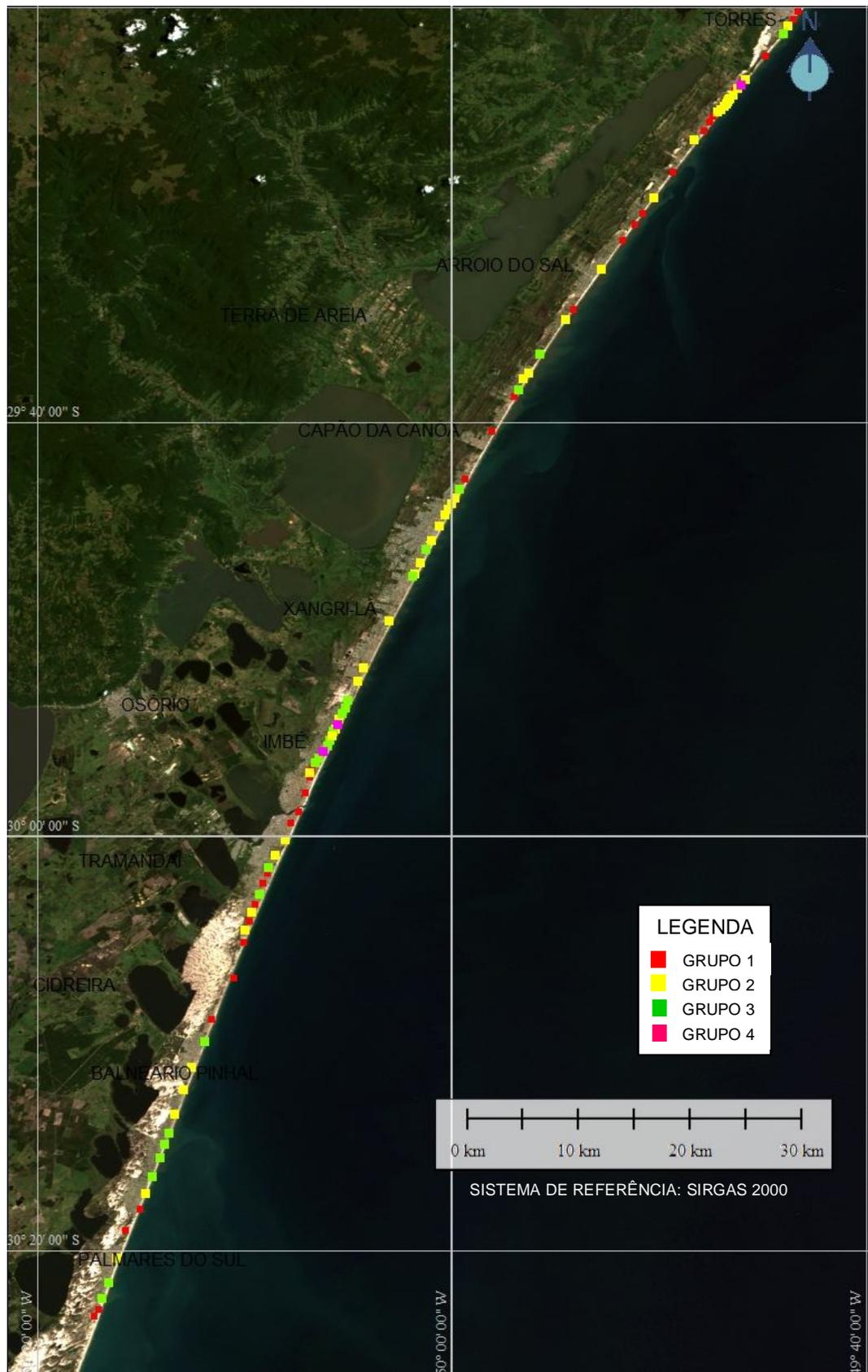


Figura 19. Distribuição dos grupos de balneários da praia subaérea ao longo da área de estudo.

Os balneários com características sedimentológicas mais extremas na praia subaérea pertencem ao grupo 4, balneários Nordeste, Albatroz e Torres Tur (Figura 20). No grupo o %AMPS chega a 33,2% (Nordeste), já o %AFPS desse balneário é de 66,1%.

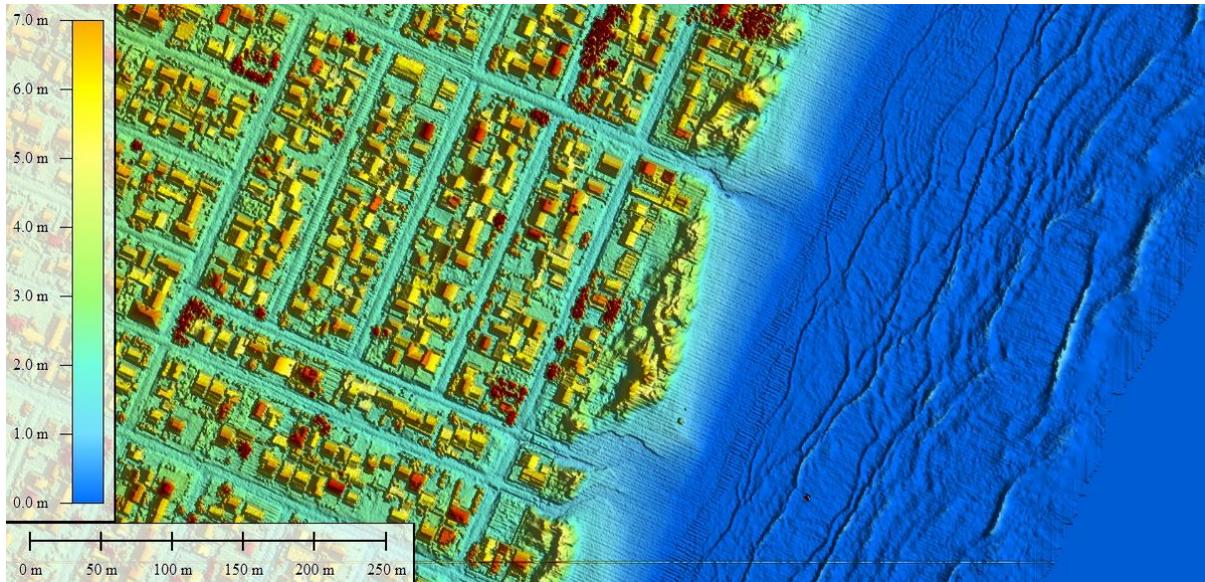


Figura 20. Balneário Nordeste, grupo 4 (dunas frontais).

O grupo 3 (FIGURA 10) possui o balneário com maior largura (133 m) e menor declividade (1,5%) de praia subaérea, balneário Conceição (FIGURA 21). Esse balneário possui %AMPS 14,4% e %AFPS 83,5%. O %AMPS do grupo varia entre 22,9% (Pinhal Sede 1) a 10,8% (Casqueiro), já a declividade máxima chega a 5,2 % em Pinhal Sede 2. Um agrupamento de balneários nesse grupo sinaliza que Nazaré, Riviera, Harmonia, Navegantes e Terra de Areia possuem características sedimentológicas e morfométricas muito semelhantes na praia subaérea. Na figura 10 é possível visualizar que os balneários 43 (Mariluz) e 47 (Santa Terezinha Norte) estão situados nos agrupamentos do grupo 3 pois, apesar do %AMPS ser condizente ao grupo 2, os mesmos possuem as demais características ambientais próximas ao grupo 3.

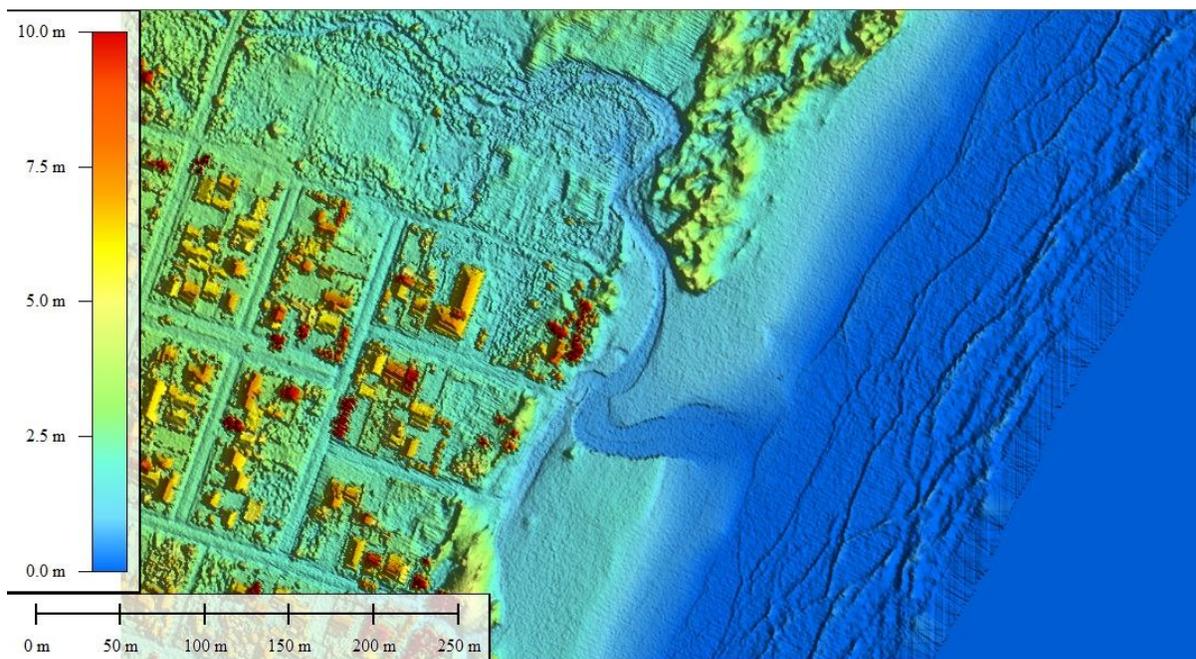


Figura 21. Balneário Conceição, grupo 3 (praia subaérea).

Situado no limiar onde os vetores mais relevantes para a formação dos grupos passam a ser o %AFPS, %AMFPS e TMGPS, o grupo 2 possui balneários com declividades de larguras de praias subaéreas que variam de 3,0% e 74,6 m (Tiarajú) a 4,4% e 32,3 m (Praia da Cal). Os percentuais e TMGPS variam entre 88,9% (%AFPS), 2,3% (AMFPS) e 2,38 ϕ em Enara a 93,4% (%AFPS), 3,3% (%AMFPS) e 2,45 ϕ em Tupynambá. Ao grupo 2 foram adicionados os seguintes balneários que, previamente, foram integrados ao grupo 3, tais são: Jardim Atlântico (22), Zona Nova Tramandaí (29), Morada do Sol (34), Mariluz Plano C (41), Atlântida (54), Araçá (58), curumim (68), Recreio (83), Gaúcha (87) e Tupynambá (89), (FIGURA 22). A adição desses balneários nesse grupo se deu por suas qualidades ambientais, muito próximas ao do grupo 2.

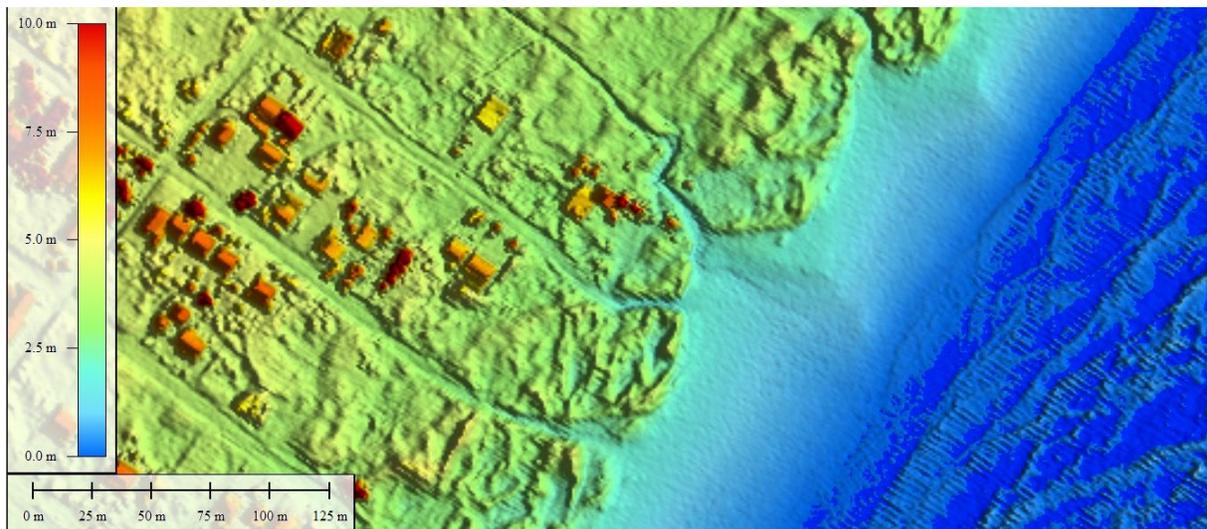


Figura 22. Balneário Tupynambá, grupo 2 (praia subaérea).

A maior diversidade morfológica encontrada nas praias subaéreas ocorre no grupo 1. Os balneários desse grupo possuem declividade e largura da praia subaérea com valores entre 1,0% e 61,9 m (Dunas Altas) a 7,0% e 42,6 m (Barra). Em Dunas Altas (FIGURA 23) ocorre o maior %AFPS registrado nesse ambiente (93,9%). Nesse grupo ocorre o balneário com maior %AMFPS (9,8%) e menor TMGPS (2,63 ϕ), balneário Estrela do Mar.

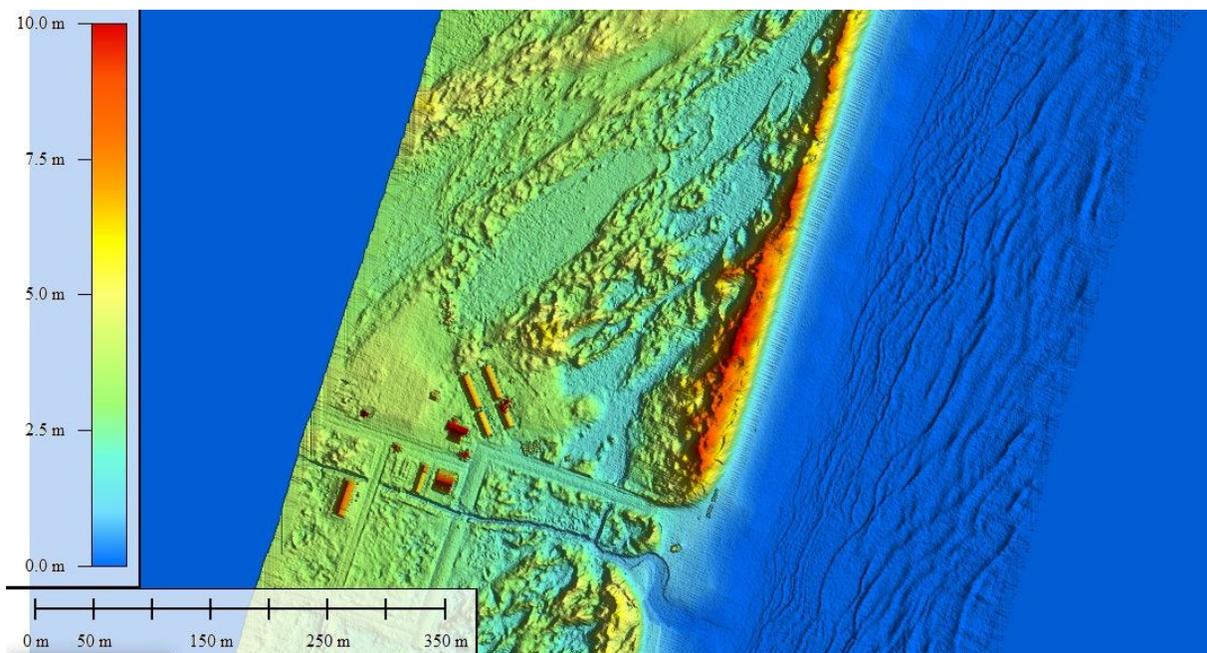


Figura 23. Balneário Dunas Altas, grupo 1 (praia subaérea).

A partir da PCA efetuada com os dados da face da praia, os seis agrupamentos prévios foram confirmados (FIGURA 11 e 24). Nesse ambiente ocorrem correlações entre o %AFFP e %AMFP (-0,97) e entre TMGFP e %AMFFP (0,72), os maiores desvios padrões encontrados são %AFFP (7,70%) e %AMFFP (1,87%). A distribuição dos grupos ao longo da área de estudo é apresentada na figura 24.

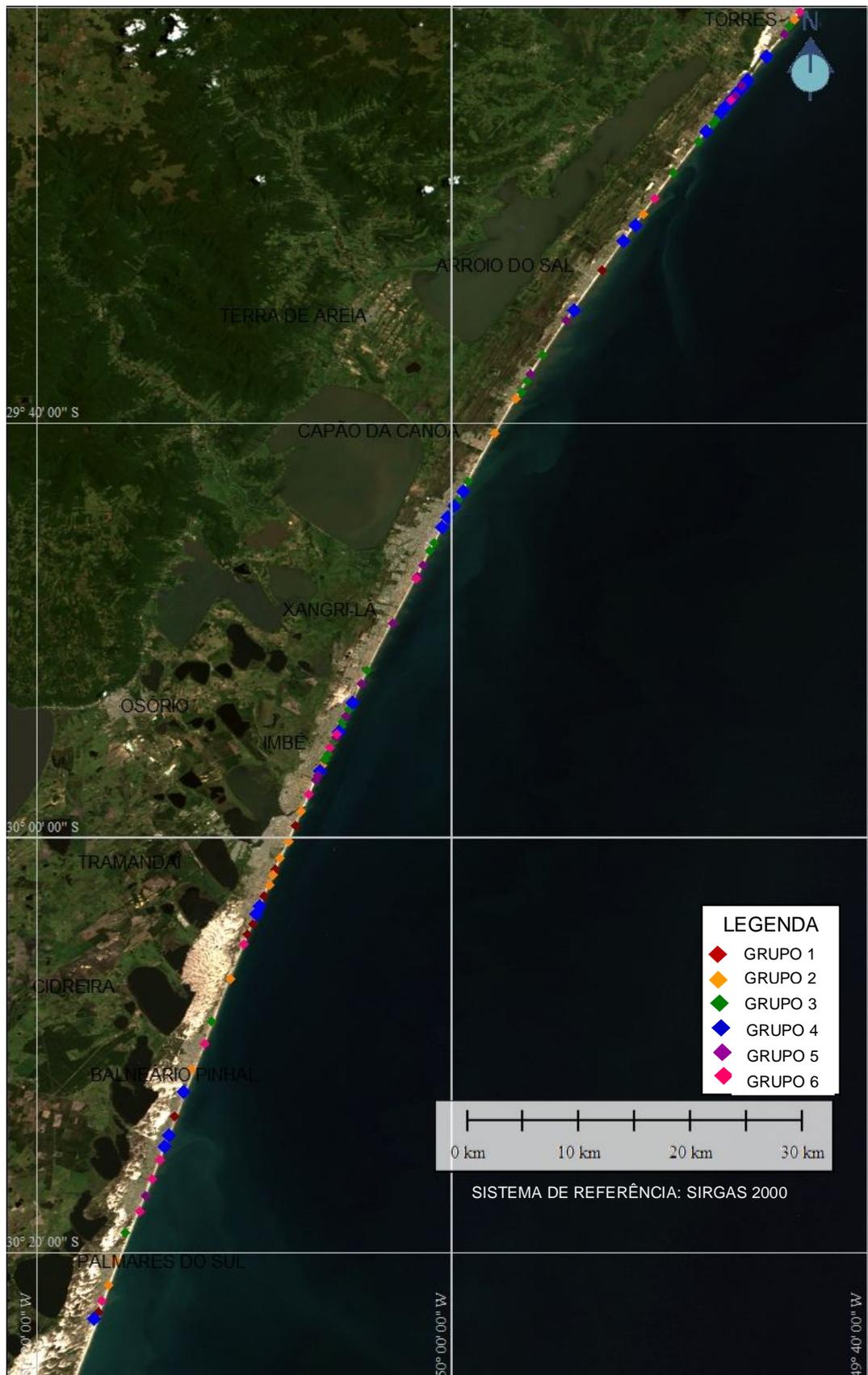


Figura 24. Grupos da face da praia distribuídos ao longo da área de estudo.

O primeiro grupo (FIGURA 24) é formado por balneários com maiores %AFFP e menores TMGFP. No balneário Nova Tramandaí plano B ocorre o menor TMGFP (2,58 ϕ). A maior variação sedimentológica desse grupo foi verificada no %AMFFP 3,1% (Santa Rita) a 7,1% (Costa do sol). No grupo 1 o %AFFP varia entre 93,2% (Tiarajú) a 90,3% (Zona Nova extensão Sul).

O grupo 2 é o agrupamento com maior variação no %AMFFP da região. Os percentuais oscilaram entre 1,8% (Riviera) a 8,1% (Praia do Barco). Ao primeiro agrupamento da face da praia foram adicionados os balneários campo de dunas de Cidreira (18) e Tramandaí Sul (26). A partir do segundo grupo na face da praia, o %AFFP deixa de ser uma variável relevante para a formação dos agrupamentos. O grupo 2 possui o balneário com maior %AMFFP 9,3% (Capão Novo), e os %AMFP oscilaram entre 5,9% (Zona Nova Sul) a 8,5 % (Nova Tramandaí plano A). Esse último balneário, do ponto de vista sedimentológico na face da praia, é muito semelhante ao balneário Rei do Peixe.

Os balneários Riviera (36) e Arroio Teixeira (65) possuem %AMFP e %AFFP próximos aos balneários do grupo 3 e, devido a essas características, passaram a integrar esse grupo. Grandes variações no %AMFFP ocorrem no grupo 3, variação entre 1,8% (Riviera) a 8,1% (Praia do Barco). As variações no %AMFP nesse grupo são: 10,1% (Zona Norte) a 14,2% (Santa Terezinha Norte). Ao agrupamento foi adicionado balneário Pioneiros.

No grupo 4 os %AMFFP passam a ser inferiores a 4,3% (Gaúcha), chegando a valores extremamente baixos como em Pinhal Sede 3 (0,8%). Ao grupo 4 foi adicionado o Campo de dunas de Palmares do Sul, visto que possui atributos sedimentológicos da face da praia semelhantes ao balneário Guarani.

Os balneários do grupo 5 possuem %AMFFP muito semelhantes ao grupo 3, porém com %AMFP superiores, variando entre 20,5% (Torres Tur) a 23,8% (Atlântida Sul). Nesse grupo foram adicionados os balneários Arroio do Sal 4 e Itapeva III etapa, visto que possuem %AMFP, %AFFP e %AMFFP muito semelhantes aos balneários Torres Tur e Magistério 2.

Os maiores %AMFP ocorreram nos balneários pertencentes ao grupo 6, com valores oscilando entre 42,2% (Frade) e 29,4% (Balneário Imbé). Em Frade ocorre o maior %AMFP e TMGFP (2,12 ϕ) registrado em todas as amostras coletadas. Valores elevados de %AMFFP ocorrem no balneário Imbé (4,8%).

4. DISCUSSÃO

A região de estudo está inserida na barreira IV, formada por sedimentos quartzosos de granulometria fina a muito fina com elevadas concentrações de minerais pesados em alguns locais (MARTINS, 1967). A natureza unimodal dos sedimentos é típica de praias dominadas por ondas e evidenciam suas origens praias.

Os sedimentos da área de estudo são bem selecionados, pois são trabalhados em nível de alta energia por um período de tempo que permite ao agente transportador eleger grãos hidrodinamicamente, apresentando distribuição próxima a curva de Gauss (TABAJARA; MARTINS, 2006). A distribuição granulométrica é muito homogênea na região (WESCHENFELDER et al., 1997). Nos balneários ocorrem pequenas variações nos TMG, e estão relacionadas a entrada no ambiente praias de sedimento terrígenos (areia muito fina) e de bioclastos, que alteram a granulometria. (MARTINS, 2006).

O valor do diâmetro médio dos sedimentos praias citado por autores pretéritos variam entre 2,00 ϕ a 2,50 ϕ (NICOLODI et al., 2002) e 2,20 ϕ a 2,40 ϕ (MARTINS, 1967). Os valores de TMG semelhantes encontrados nesse trabalho e em anteriores é devido a proveniência do material sedimentar e a dinâmica que governa o ambiente, essas propriedades foram herdadas de ciclos sedimentares anteriores pelos mecanismos de transporte e deposição controlados durante o Quaternário (MARTINS, 2006).

As dunas frontais apresentaram os menores diâmetros médios do estudo. O desenvolvimento de dunas frontais está relacionado a disponibilidade de areia fina na praia subaérea. O transporte para a duna é controlado pela composição do material da praia, o qual é uma mistura de partículas grossas, pobremente selecionadas de origem carbonática, com areias finas quartzosas bem selecionadas, enriquecidas com pequena fração de minerais pesados (NORDSTROM; PSUTY; CARTER, 1990).

Devido a maior seleção de sedimentos do agente vento, o maior %AF e menor %AM ocorre nas dunas frontais. Sedimentos finos são facilmente transportados pelos processos eólicos de saltação, suspensão. Os ventos vão selecionando os mais finos, mais sensíveis ao transporte, deixando os mais grossos para trás, o tamanho dos sedimentos vai diminuindo em direção ao continente devido a mudança do agente transportador, hidrodinâmico para o eólico, esse último mais eficiente (TABAJARA; MARTINS, 2006). As maiores partículas geralmente são localizadas em áreas de alta energia, com diminuição do tamanho em direção ao continente (KOMAR, 1998).

No estudo foram registrados altos %AM nas dunas frontais de Pinhal Sede 2, Capão Novo, Arroio Teixeira gleba B e Praia da Cal. Essas concentrações nas dunas se devem a presença de vegetação, concentração de minerais pesados, bioturbação, bioclastos e pelo transporte dos sedimentos mais finos pelo escoamento superficial durante chuvas intensas

(ABUODHA, 2003). Devido ao intenso grau de urbanização dos balneários Pinhal Sede 2 e Praia da Cal, os sedimentos dunares podem sofrer contaminações, em Pinhal Sede 2 foi observado, no momento da coleta, entulhos de construção civil descartados nas dunas frontais.

Os maiores %AM, e menores %AF, ocorrem na face da praia, visto que as areias ainda não foram selecionadas por meios eólicos. Nesse ambiente, os sedimentos estão sujeitos aos processos aquosos promovidos pela ação das ondas. O fluxo bidirecional, *swash* e *backwash*, é responsável pela primeira seleção dos sedimentos analisados. As variações encontradas nos percentuais estão relacionadas à deriva litorânea, presença de sangradouros, presença de minerais pesados e fragmentos de conchas. Os sedimentos com maiores quantidades de minerais pesados foram coletados na face da praia. A concentração de minerais pesados é maior em praias com maior energia de onda e baixo suprimento de areia (ABUODHA, 2003). Os picos de areia média observados nas dunas frontais (FIGURA 3) podem ser explicados pela herança geológica local na forma de depósitos de areia média e grossa por contribuição da plataforma interna, o que pode indicar canais fluviais antigos.

Nos balneários Santa Rita, Morada do Sol, Tiarajú, Jardim Atlântico, Jardim do Éden, Arco Íris, Guarani, Praia do Barco, Capão Novo, Arroio do Sal 1, 2, 4 a 7, Recreio, Gaúcha, Tupynambá, Itapeva Sul, Itapeva III etapa, Itapeva e Praia Grande a tendência descrita acima não se verifica e os menores %AM foram registrados na praia subaérea. Alterações na granulometria e percentuais estão relacionadas a presença de sangradouros, que transportam sedimentos dunares para a praia subaérea e face da praia. Os maiores percentuais registrados na praia subaérea podem ser devido aos locais de coleta, próximos a antigos leitos de sangradouros.

Grandes concentrações de minerais pesados na praia subaérea (FIGURA 25) podem aumentar os percentuais de areias finas. Afloramentos foram registrados nos campos de dunas de Cidreira e Tramandaí. Grandes concentrações podem estar associadas a sangradouros e podem alterar a sedimentologia das praias subaéreas, como em Nova Tramandaí plano A. Esses sangradouros podem transportar grandes quantidades de minerais pesados em direção a face da praia (FIGURA 26 e 27).



Figura 25. Grandes concentrações de minerais pesados na praia subaérea do campo de dunas de Tramandaí.



Figura 26. Minerais pesados transportados em direção a face da praia em Arroio Teixeira.



Figura 27. Minerais pesados em sangradouro (Arroio Teixeira).

Próximo a desembocadura da Laguna de Tramandaí, entre os balneários Centro e Presidente, há uma maior concentração de areias finas na praia subaérea. O rio atua como agente transportador de sedimentos continentais, provenientes da barreira IV, bem como selecionados pelos ventos. Os sedimentos, ao chegarem no oceano, retornam à face da praia pelas ondas e dela para a praia subaérea pelos processos eólicos. Entre Tramandaí e Imbé, os menores %AM na praia subaérea podem estar relacionados ao vento oeste, segundo mais frequente nessa região (TOMAZELLI, 1993). Esse vento pode transportar sedimentos continentais em direção a linha de costa. Nos balneários Real e Santa Helena, as coletas na praia subaérea se deram na crista de pequenas ritmicidades, típicas de estágios morfodinâmicos intermediárias, o que pode explicar os menores %AF na praia subaérea.

O PCA realizado para as dunas frontais confirmou que as variáveis mais importantes para a formação dos CP e grupos foram: %AMD e TMGD (CP1), azimute e altura das dunas frontais (CP2). Para a formação de grupos, as variáveis dunares mais importantes são %AM e azimute da linha de costa (VIANNA; CALLIARI, 2015). Na área de estudo, a morfometria dunar não é influenciada pelos parâmetros sedimentológicos, sendo mais importante para a formação das dunas frontais o azimute da linha de costa. Isso se deve a uniformidade encontrada nos parâmetros sedimentológicos da área de estudo. A baixa correlação entre parâmetros sedimentológicos e altura das dunas frontais pode ser justificada, também, pelo intenso grau de urbanização da área de estudo, no qual a morfometria das dunas foi

modificada pelo pisoteio, adição de espécies exóticas para fixação e remoção, em décadas passadas, dos sistemas dunares para construções e extração de areia.

Nos seguintes balneários preservados, Dunas Altas, campo de dunas (Tramandaí), Arroio do Sal 8 e Parque Nacional da Guarita, as variáveis sedimentológicas foram importantes para a formação das dunas frontais. Dunas Altas e campo de dunas de Tramandaí possuem dunas frontais de grande altura, baixos %AMD e pequeno azimute da linha de costa. Altos %AF favorecem o transporte eólico para a duna frontal e propiciam a formação de dunas frontais altas. Pequenos azimutes favorecem o transporte sedimentar, realizado pelo vento nordeste, em direção às dunas. Em Arroio do Sal 8, os parâmetros sedimentológicos são semelhantes a Dunas Altas e campo de dunas de Tramandaí, porém a altura das dunas frontais é menor devido ao maior azimute. No Parque Estadual de Itapeva, a morfologia sofre influência da sedimentologia, nesse caso há grandes quantidades de areias médias nas dunas frontais que, associadas a uma linha de costa de maior azimute, resulta em pequeno transporte eólico em direção ao continente.

O PCA realizado com parâmetros dunares sinalizou a influência das variáveis na formação dos subgrupos. Os subgrupos 1.1 e 1.2 são formados pelos balneários com menores azimutes de linha de costa e dunas frontais de maiores alturas, porém os mesmos diferem sedimentologicamente, sendo o 1.1 dominado por areias com maiores %AFD e %AMFD. Já o 1.2 é constituído por sedimentos com maiores %AMD. Ambos subgrupos possuem balneários que se distribuem até Capão da Canoa. No subgrupo 2.1 há dunas com sedimentos de granulometria fina, porém com maior azimute da linha de costa. Nesse subgrupo, em menor quantidade, existem balneários com azimutes favoráveis a entrada do vento nordeste, porém com dunas frontais de pequena altura. O subgrupo 2.2 é constituído por balneários com grandes azimutes e dunas formadas por sedimentos de maior granulometria. Essas duas características não são favoráveis a formação dunar, visto que sedimentos com maiores %AMD são mais difíceis de serem transportados pelos ventos, principalmente em azimutes que desfavorecem sua entrada.

As variações sedimentológicas encontradas nas dunas frontais se devem, principalmente, a presença de bioclastos, minerais pesados e bioturbações. Variações na velocidade dos ventos podem ocasionar alterações na granulometria das dunas, ventos de tempestades, transportam sedimentos maiores, aumentando os %AMD (ARENS, BOXEL E ABUODHA, 2002). Nos balneários de Imbé (Morada do Sol, Presidente e Albatroz) os grandes %AMD estão relacionados ao dia da coleta, realizada durante maré meteorológica. Pino e Jaramillo (1992) observaram sedimentos mais grossos em praias da costa do Chile após tempestades.

O PCA realizado para a praia subaérea demonstrou que as variáveis mais importantes para a formação dos CP são TMGPS e %AMPS (CP1), largura e declividade da praia subaérea (CP2). A largura média da praia subaérea é uma variável importante para a formação de grupos (VIANNA; CALLIARI, 2015). O posicionamento dos grupos de balneários abaixo do eixo %AMPS - %AFPS (FIGURA 10) sinaliza a grande semelhança das variáveis morfométricas nos balneários.

Os grupos 1 e 2 são formados pelos balneários com sedimentos mais finos na praia subaérea. Dunas Altas novamente está inserido no grupo com maiores percentuais de sedimentos finos e muito finos. A maior largura e menor declividade da praia subaérea desse balneário está relacionado às grandes quantidades de areias finas encontradas nesse ambiente.

À esquerda do eixo largura – declividade (FIGURA 10), os balneários passam a ser dominados por areias médias, ou seja, os sedimentos são formados por %AMPS superiores a 10%. No grupo 3 ocorrem balneários com grandes %AMPS, pequena largura e declividade da praia subaérea (10 - Imara, 48 - Pinhal Sede 2 e 98 - Parque Nacional da Guarita). Nesses balneários, a maior declividade e menor largura da praia subaérea estão relacionadas aos maiores %AMPS.

Ao grupo 3 pertence o balneário com maior largura de praia subaérea registrada, balneário Conceição (66). Esse valor é devido a um sangradouro que percorre toda a extensão do balneário e destruiu as dunas frontais. O cordão remanescente situa-se desalinhado e recuado em relação aos vizinhos. No grupo 4 ocorrem os dois maiores %AMPS (balneários Nordeste e Albatroz), esses altos percentuais são explicados pelo período de amostragem, após um período de tempestades, responsável por alterar a granulometria da praia subaérea.

Na face da praia, o *swash* remove os sedimentos finos e deposita os mais grossos (KOMAR, 1997). Nesse ambiente, o PCA sinaliza que há um gradiente sedimentológico, ou seja, ocorre um aumento no tamanho médio dos grãos da esquerda para a direita no eixo CP1 (FIGURA 11). O TMGFP é influenciado pela fonte de sedimentos, transporte, ambiente de deposição e seu nível e energia (STANICA; UNGUREANU, 2010). Eventos locais, como tempestades, alteram momentaneamente a energia do ambiente praiar e, conseqüentemente, o tamanho do grão na face da praia (KOMAR, 1997). O aumento da energia de onda durante uma tempestade consegue remover grãos maiores e, conseqüentemente, a granulometria da amostra coletada será maior.

As maiores quantidades de sedimentos mais finos nesse ambiente registrados nos grupos 1 e 2 indicam que são formados em balneários com tendências dissipativas e

acrescivas. Sedimentos mais finos ocorrem em praias mais acrescivas (PINO; JARAMILLO, 1992).

O grupo 1 (face da praia) é formado majoritariamente por balneários de Tramandaí, exceto pela região preservada do município. O maior %AFFP encontrado nesses balneários pode estar relacionado à deriva litorânea, que transporta sedimentos dos trechos preservados (campo de dunas ao sul), para os balneários ao norte. O mesmo ocorre em Santa Rita, balneário adjacente à Dunas Altas. Nessa região há uma inflexão na linha de costa que promove a convergência da deriva litorânea e contribui para o crescimento da ante praia (TOLDO et al. 2006). A deriva litorânea pode promover a retirada de sedimentos de um setor da praia e transportar para um setor vizinho (STANICA; UNGUREANU, 2010). Sedimentos mais grossos na face da praia podem indicar que somente a fração fina foi transportada pela deriva litorânea (ABUODHA, 2003). Percebe-se um aumento dos %AMFP próximo a desembocadura do Rio Tramandaí (Balneário Imbé) e Mampituba (Praia Grande), esses maiores percentuais estão relacionados ao fluxo desses rios que transportam os finos.

5. CONCLUSÕES

No litoral norte do RS há predominância de areias finas bem a muito bem classificadas em todos os ambientes praias. A partir da análise gráfica foi possível diferenciar os ambientes estudados, visto que há um aumento nos %AF e redução nos %AM e TMG ϕ a partir da face da praia em direção às dunas frontais. A análise gráfica dos %AM, associada ao PCA, possibilitou separar os balneários em grupos de acordo com suas características sedimentológicas. Nos biplots há gradientes resultantes, principalmente, das variações nos %AM e %AF dos ambientes estudados. Os grupos formados são de grande importância para trabalhos futuros como, por exemplo, estudos sobre morfodinâmica praial, recuperação de dunas frontais, engordamentos de praias, índices de sensibilidade ambiental para derrames de óleos e estudos sobre transporte sedimentar eólico.

A análise PCA demonstrou que, na área de estudo, a morfometria das dunas frontais não é explicada pela sedimentologia. O não relacionamento é explicado pela grande uniformidade sedimentológica encontrada na região e pelo intenso grau de urbanização dos balneários. A altura das dunas frontais em diversos balneários não corresponde a que atingiria em um ambiente preservado. As variações observadas nas alturas das dunas frontais, %CV, largura e declividade da praia subaérea decorrem de outras variáveis como, por exemplo, a orientação da linha de costa em relação ao vento predominante. Em alguns

balneários preservados, como Dunas Altas, a morfometria está relacionada às variáveis sedimentológicas.

O número de sangradouros, presença de minerais pesados e bioclastos, bioturbações, processos antrópicos e ventos podem explicar as variações sedimentológicas observadas nos grupos formados. Essas variações podem estar relacionadas, também, ao transporte de sedimentos pela deriva litorânea e a processos meteorológicos atuantes nas regiões costeiras, como tempestades responsáveis por ventos extremos e pela elevação no nível do mar.

6. REFERÊNCIAS

ABUODHA, J. O. Z. Grain size distribution and composition of modern dune and beach sediments, Malindi Bay coast, Kenya. **Journal of African Earth Sciences**, [s.l.], v. 36, n. 1-2, p.41-54, jan. 2003. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0899-5362\(03\)00016-2](http://dx.doi.org/10.1016/s0899-5362(03)00016-2).

ANDRIOTTI, J. L. S. Análise de componentes principais: fundamentos de uma técnica de análise de dados multivariada aplicável a dados geológicos. **Acta Geológica Leopoldensia**, São Leopoldo, v. 20, n. 44, p.27-50, 1997.

ARENS, S. M.; VAN BOXEL, J. H.; ABUODHA, J. O. Z. Changes in grain size of sand in transport over a foredune. **Earth Surface Processes and Landforms**, [s.l.], v. 27, n. 11, p.1163-1175, 2002. Wiley-Blackwell. <http://dx.doi.org/10.1002/esp.418>.

BITTENCOURT, A.; BOAS, G.; FARIAS, F. VARIAÇÕES DIRECIONAIS NOS PARÂMETROS GRANULOMÉTRICOS: UM INDICADOR APROPRIADO PARA O SENTIDO DA DERIVA LITORÂNEA. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, p.100-106, mar. 1992.

BLOTT, S. J.; PYE, K. GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. **Earth Surface Processes and Landforms**, [s.l.], v. 26, n. 11, p.1237-1248, 28 set. 2001. Wiley-Blackwell. <http://dx.doi.org/10.1002/esp.261>.

CALLIARI, L. J. Sedimentação marinha. In: CASTELO, J. P.; KRUG, L.C. **Introdução às ciências do mar**. Pelotas: Textos, 2015. p. 74-111.

CLARKE, K.R., GORLEY, R.N. *PRIMER v6: User Manual/Tutorial*. Plymouth: PRIMER-E, 2006, 192 p.

DAVIDSON-ARNOTT, R. **Introduction to Coastal Processes and Geomorphology**. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. 442 p.

DAVIS, R. A. **Depositional Systems**. 2. ed. New Jersey: Prentice Hall College, 1992. 604 p.

FOLK, R. L.; WARD, W. C. Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**, Tulsa, v. 27, n. 1, p.3-26, mar. 1957.

HUGGETT, Richard John. **Fundamentals of Geomorphology**. Oxford: Routledge, 2007. 458 p.

HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; OLIVEIRA JUNIOR, G. J. Análise de Componentes Principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. **Engineering and Science**, Cuiabá, v. 1, n. 5, p.83-90, 2015.

JOLLIFFE, I.T. Discarding Variables in a Principal Component Analysis. I: Artificial Data. **Applied Statistics**, [s.l.], v. 21, n. 2, p.160-173, 1972. JSTOR. <http://dx.doi.org/10.2307/2346488>.

KOMAR, P. D. **Beach Processes and Sedimentation**. London: Prentice Hall, 1997. 544 p.

MARTINS, L. R. Aspectos deposicionais e texturais dos sedimentos praias e eólicos da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. *Publicação Especial da Escola de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul*, 13: 1-102, 1967.

MARTINS, L. R. Relações texturais das areias da zona costeira do Rio Grande do Sul. **Gravel**, Porto Alegre, n. 4, p.63-72, dez. 2006.

NICOLODI, J. L.; SIEGLE, E. ; RECHDEN FILHO, R. C. ; CORREA, I. C. S. . Análise sedimentológica do pós-praia no Rio Grande do Sul. In: Martins, L.R.; Toldo Jr., E.E.;

Dillenburg, S.R. (Org.). Erosão Costeira: Causas, análise de risco e sua relação com a gênese de depósitos minerais. Porto Alegre: UFRGS, 2002, v. 1, p. 3-.

NORDSTROM, K.; PSUTY, N.; CARTER, B. **Coastal dunes form and process**. Chichester: John Wiley & Sons, 1990.

OLIVEIRA, U. R. et al. Setorização morfossedimentar das praias arenosas da ilha de santa catarina (sc) utilizando técnicas de estatística multivariada. **Gravel**, Porto Alegre, p.1-11, dez. 2012.

OSBORNE, J. W. Notes on the use of data transformations. **Practical Assessment, Research & Evaluation**, v. 8, n. 6, p.1-7, may 2002. Disponível em: <<http://pareonline.net/getvn.asp?v=8&n=6>>. Acesso em: 19 jul. 2017.

PINO, M.; JARAMILLO, E. Morphology, Texture and Mineralogical Composition of Sandy Beaches in the South of Chile. **Journal of Coastal Research**, [s.l.], p.593-602, jan. 1992.

SHORT, A. D.; HESP, P. A. Wave, beach and dune interactions in southeastern Australia. **Marine Geology**, [s.l.], v. 48, n. 3-4, p.259-284, ago. 1982. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0025-3227\(82\)90100-1](http://dx.doi.org/10.1016/0025-3227(82)90100-1).

STANICA, A.; UNGUREANU, V. G. Understanding coastal morphology and sedimentology. In: DOMINIK, J et al. **Curriculum in Natural Environmental Science**. v. 88. Genève: Terre & Environnement, 2010. p. 105-111.

TABAJARA, L. L.; MARTINS L. R. Classificação textural de sedimentos praias e a relação com processos morfogenéticos eólicos e marinhos. **Gravel**, Porto Alegre, n. 4, p.99-107, dez. 2006.

TOLDO Jr, E. E. et al. O Controle da Deriva Litorânea no Desenvolvimento do Campo de Dunas e da Antepraia no Litoral Médio do Rio Grande do Sul. **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, v. 2, n. 33, p.35-42, jul. 2006.

TOMAZELLI, L. J. O Regime dos Ventos e a Taxa de Migração das Dunas Eólicas Costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas**, Porto Alegre, v. 20, n. 1, p.18-26, jan. 1993.

TOMAZELLI L. J.; VILLWOCK J. A. O cenozóico costeiro do rio grande do sul. In: Holz, M; De Ros, L F. **Geologia do rio grande do sul**. Porto Alegre: UFRGS, 2000. p. 175-406.

TORRES-SALINAS, D. et al. On the use of biplot analysis for multivariate bibliometric and scientific indicators. **Journal of The American Society for Information Science And Technology**, [s.l.], v. 64, n. 7, p.1-27, 23 maio 2013. Wiley-Blackwell. <http://dx.doi.org/10.1002/asi.22837>.

VIANNA, H. D.; CALLIARI, L. J. Variabilidade do sistema praia-dunas frontais para o litoral norte do Rio Grande do Sul (Palmares do Sul a Torres, Brasil) com o auxílio do Light Detection and Ranging – LIDAR. **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, v. 2, n. 42, p.141-158, Mai-ago. 2015.

VIANNA, H. D.; CALLIARI, L. J. Cobertura vegetal nas dunas frontais do litoral norte do Rio Grande Do Sul, Brasil. Rio Grande, 2017. No prelo.

VISHER, Glenn S. Grain Size Distributions and Depositional Processes. **Sepm Journal Of Sedimentary Research**, [s.l.], v. 39, p.1074-1106, 1969. Society for Sedimentary Geology. <http://dx.doi.org/10.1306/74d71d9d-2b21-11d7-8648000102c1865d>.

WARTON, D. I.; HUI, F. K. C. The arcsine is asinine: the analysis of proportions in ecology. **Ecology**, Washington, v. 92, n. 1, p.3-11, jan. 2011.

WENTWORTH, C. K. A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. **The Journal of Geology**, Chicago, v. 30, n. 5, p.377-392, jul. 1922.

WESCHENFELDER, J. et al. Caracterização Morfológica das praias oceânicas entre Imbé e Arroio do Sal, RS. **Notas Técnicas**, Porto Alegre, v. 9 p.35-48, 1997.

CAPÍTULO 3

Avaliação dos impactos promovidos pela maré meteorológica de 2016 e mapeamento de áreas suscetíveis no litoral norte do Rio Grande do Sul – Brasil

VIANNA, Humberto Dias

CALLIARI, Lauro Julio

hvianna@furg.br

Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Física Química e Geológica-IO-FURG

RESUMO: Suscetibilidade à inundação refere-se à predisposição física que um ambiente costeiro tem em sofrer danos por eventos de marés meteorológicas. Tais eventos são elevações no nível médio do mar acima da maré astronômica. Modelos digitais de superfície de alta resolução planialtimétrica são uma boa base para a construção de mapas de inundação. Esse trabalho teve por objetivo avaliar as causas e impactos da maré meteorológica ocorrida na costa do Rio Grande do Sul, em 28 de outubro de 2016, e mapear as áreas suscetíveis a danos promovidos por eventos desse tipo no litoral norte desse estado. Nesse trabalho, dados de vento de estações meteorológicas do INMET e de ondas do GOOS-BRASIL foram utilizados. Complementando, o nível do Rio Tramandaí também foi empregado. O mapeamento das áreas suscetíveis foi realizado, primeiramente, identificando-se as altitudes inundadas, registradas em fotos e vídeos do evento, em modelos digitais de superfície produzidos com dados laser scanning. Tais altitudes foram utilizadas para o mapeamento das áreas inundadas com o pacote Simulate Water Level Rise/Flooding do software Global Mapper V.15. Perdas sedimentares foram estimada para os balneários Dunas Altas (Palmares do Sul) e Zona A (Cidreira). Para tal, fotos aéreas levantadas com veículo aéreo não tripulado foram empregadas. O evento teve duração superior a 48 horas, com início no dia 27/10/2016 com a estabilização dos ventos na direção oeste sudoeste. No mesmo dia, ocorreu alteração na direção das ondas, com estabilização na direção oeste noroeste. Os ventos atingiram velocidades médias máximas de 42 km/h em Tramandaí e 30 km/h em Torres. As rajadas chegaram a 93 km/h em Tramandaí e 64 km/h em Torres. A altura significativa das ondas atingiu 9,5 m, já a máxima a 14,8 m. O nível do rio Tramandaí chegou a 11,25 m. O volume erodido foi de 0,54 m³/m em Dunas Altas e 3,54 m³/m na Zona A. Altitudes médias de 2,30 m foram inundadas e as águas ultrapassaram 200 m além das dunas frontais. O mapeamento demonstrou que os balneários adjacentes às desembocaduras e mal urbanizados são os mais suscetíveis a inundações.

Palavras Chave: Inundação, LIDAR, ressacas costeiras.

1. INTRODUÇÃO

Suscetibilidade à inundação versa ao impacto que um ambiente costeiro sofre durante a entrada de água marinha por um evento meteorológico (MUSSI, 2011). Suscetibilidade consiste na predisposi o física da infraestrutura e meio ambiente de serem afetados por um fen meno perigoso devido   falta de resistência e predisposi o dos mesmos a sofrerem danos (CARDONA et al., 2012).   relacionado às condi oes físicas do meio. Nas regiões costeiras, a a o de tempestades e ondas favorecem a sobre eleva o do nível do mar acima da maré prevista, ocasionando inunda o e erosão, esses fen menos podem ser denominados de Mares Meteorológicas (MM).

MM consistem em oscila es do nível do mar não astron micas (MELO FILHO, 2017). Ocorrem pela contribui o de diversos fen menos como empilhamento de água junto   zona costeira pela a o de ventos fortes paralelos   costa, baixa pressão ocasionada por centro de mesmo nome que aumenta o nível do oceano, aumento da altura da arrebenta o, que resulta na eleva o do nível do mar na zona de surf interna, e fatores adicionais como dura o do vento, presença de ciclones, potencializado ou não pela velocidade de seu deslocamento, trajetória e distância da costa (MACHADO et al., 2010).

As MM atingem centenas de quil metros, há correla o entre locais que sofrem erosão e a trajetória de tempestades extratropicais. Na  rea de estudo, eleva es no nível do mar ocorrem pela atua o de eventos resultantes da a o de ventos que tem orienta o SW-NW ocasionando empilhamento de água na costa (PARISE, et al., 2009). Existe um padrão de propaga o das MM de sul para norte na costa sul americana, de modo que os eventos que ocorrem na costa do RS estão correlacionados aos da costa sul Argentina, a velocidade de propaga o das MM entre Mar del Plata e Rio Grande   próxima a 927 km/dia (MELO FILHO, 2017).

MM representam o principal risco geológico em áreas costeiras e estão associados com significativas perdas materiais, de flora, fauna e, até mesmo, humanas. A a o das mesmas intensifica a capacidade erosiva das ondas, ocasionando severos danos   costa (CALLIARI; SILVA, 1998). Eleva es superiores a 1,5 m já foram observadas (SARAIVA et al., 2003). A a o erosiva das MM   potencializada pelo pico da preamar de sizígia. Esses eventos estão fortemente relacionados com ciclones extratropicais de alta intensidade, que geram empilhamento de água na costa e podem alterar o perfil de praia do máximo perfil acrescivo para completamente erosivo no período de poucos dias e, até mesmo, horas (MACHADO et al., 2010). Durante tempestades, a altura das ondas pode exceder 2,5 m (GUIMARÃES; FARINA; TOLDO JUNIOR, 2014).

MM ocasionam erosão nas dunas frontais e colapso em edificações próximas à linha d'água. Os impactos das MM são potencializados com a remoção das dunas frontais, proteção natural dos sistemas costeiros, e por sangradouros não naturais que possibilitam a entrada das águas além do perfil ativo da praia (DUTRA, 2008).

As condições meteorológicas e oceanográficas da MM ocorrida em 04/09/2006 foram analisadas por Oliveira (2008) assim como as consequências sobre o ambiente natural e antrópico no município de Tramandaí. Neste evento, o impacto das ondas atingiu o calçadão à beira mar, dunas frontais e deixou o Rio Tramandaí inacessível. O evento teve duração média de 63 horas, provocou erosão praial severa nas dunas, estreitamento do perfil praial e danos estruturais em edificações. Análises visuais e de fotografias indicaram que a altura das ondas na costa durante atingiu três metros, as dunas foram fortemente erodidas e os danos materiais foram significativos nas áreas mais urbanizadas, onde colapsaram pela ação das ondas muros de contenção, calçadão, equipamentos urbanos e quiosques (OLIVEIRA, 2008).

Esse trabalho teve por objetivo avaliar as causas e os impactos da MM ocorrida na costa do RS em 28 de outubro de 2016 e mapear as áreas suscetíveis a danos promovidos por eventos semelhantes ao longo do litoral norte do RS.

2. METODOLOGIA

Informações do evento ocorrido em 28/10/2016 foram levantadas. Dados meteorológicos, rajadas máximas, direção e velocidade médias dos ventos, foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para duas estações meteorológicas automáticas situadas nos municípios de Tramandaí (Estação A834) e Torres (Estação A808), ambas instaladas a menos de 300 m da linha d'água.

Os dados oceanográficos, validados pela Marinha do Brasil, utilizados são provenientes do Programa Nacional de Boias (PNBOIA), boia Rio Grande (B127065) fundeada a, aproximadamente, 150 km da costa, nas coordenadas $-30,30^{\circ}$ (latitude) e $-35,28^{\circ}$ (longitude). As horas registradas pelas estações e bóia estão em UTC, ou seja, hora mundial – Greenwich e, para conversão a hora de Brasília é necessário descontar 3 horas.

O nível do Rio Tramandaí, monitorado durante o evento, foi fornecido pela Secretaria de Portos e Hidrovias do RS (SPH-RS) e foram medidos por linígrafo instalado na Estação Hidrológica de Imbé. Dados pluviométricos não foram utilizados devido aos baixos volumes precipitados no período estudado.

Fotografias e vídeos tomados durante o evento foram utilizadas para a delimitação dos limites alagados no Google Earth. A utilização de fotos para avaliar os impactos de tempestades em zonas costeiras foi aplicada por Dutra (2008). Tais limites foram inseridos em modelos digitais de superfície (MDS), produzidos por Vianna e Calliari (2015) com dados laser scanning (LIDAR), para a determinação da altitude inundada (AI) durante o evento. A nuvem de pontos LIDAR foi levantada em julho de 2010 para a produção dos MDS, referenciados ao sistema SIRGAS 2000 e ao marégrafo de Imbituba (IBGE), com 50 cm de resolução espacial e 15 cm de altimétrica, (VIANNA; CALLIARI, 2015). A utilização de modelos digitais para mapear áreas suscetíveis a inundações foi amplamente discutida por (WEBSTER et al., 2004).

A AI, quando sobreposta em modelos digitais de terreno, indicam as áreas potencialmente vulneráveis a inundações, as menores altitudes são as mais vulneráveis a elevações do nível do mar (ZAMBRONI; CALLIARI; NICOLODI, 2016). A AI, referenciada ao marégrafo de Imbituba (IBGE), foi adicionada aos MDS de todos os balneários da área de estudo para o mapeamento das áreas suscetíveis a inundações. O pacote Simulate Water Level Rise/Flooding do software Global Mapper V.15 foi utilizado para o mapeamento. Como a AI não foi obtida para todos os balneários devido a inexistência de registros, as determinadas foram extrapoladas aos balneários vizinhos.

Mapas de inundação permitem identificar e quantificar as áreas de risco e demonstram o papel das dunas frontais como barreira natural de proteção a MM (RAJI et al., 2011). Modelos digitais, produzidos com LIDAR, possibilitam a construção de mapas realísticos das regiões inundada, visto que o LIDAR produz uma grande densidade de pontos sobre área de estudo, com precisão requerida para mapear áreas suscetíveis a inundações, provocadas por elevações do nível do mar superiores inferiores a 1 m (WEBSTER et al., 2004).

O volume de sedimentos dunares perdidos no evento foi avaliado em dois balneários: Dunas Altas, trecho preservado, e Zona A, trecho degradado. Fotos aéreas, tomadas no dia 13 de janeiro de 2017 com veículo aéreo não tripulado (vant), foram utilizadas para a demarcação da escarpa erosiva. A delimitação da base da duna frontal foi feita no MDS. O vant Dji Phantom 3 professional foi empregado no aerolevanteamento, as imagens produzidas possuem 4000 por 3000 pixels com 72 pixels por polegada. O volume de sedimentos erodidos foi estimado nos MDS entre a escarpa e base da duna frontal no software Global Mapper V.15 (FIGURA 1).

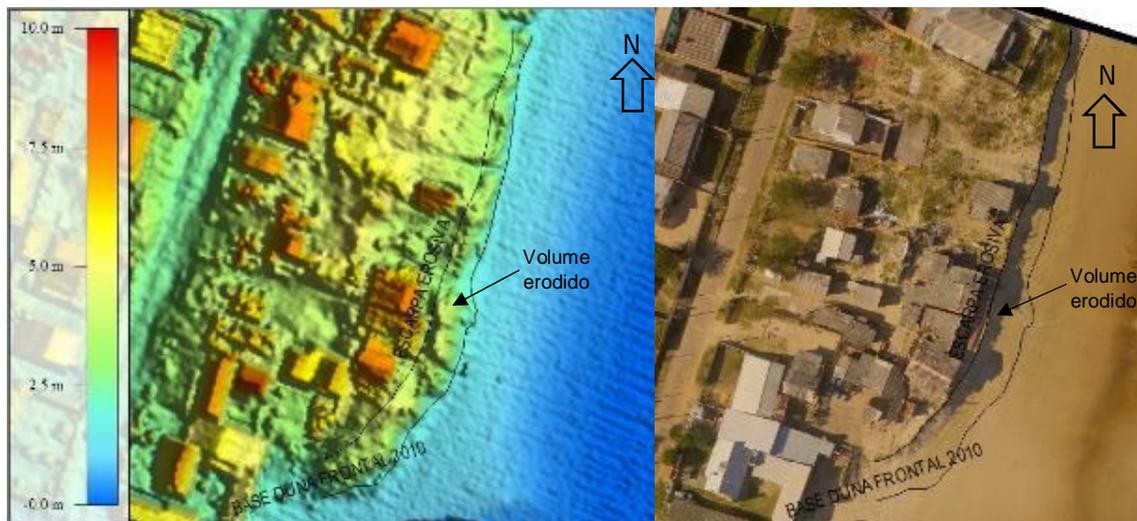


Figura 1. Base da duna frontal e escarpa erosiva demarcada no MDS (esquerda) e foto aérea (direita).

3. RESULTADOS

As direções dos ventos registradas em Tramandaí (FIGURA 2) indicam que o evento teve início com a mudança da direção às 23:00 hs (UTC) de 26/10/2016 em Tramandaí para a direção Norte – Noroeste (NNW) e posterior estabilização na direção Oeste - Sudoeste (WSW) às 3:00 hs (UTC) de 27/10/2016. Essa direção de manteve-se até às 12:00 hs (UTC) de 29/10/2016, com o vento Nordeste (NE) retornando às 5:00 hs (UTC) de 30/10/2016.

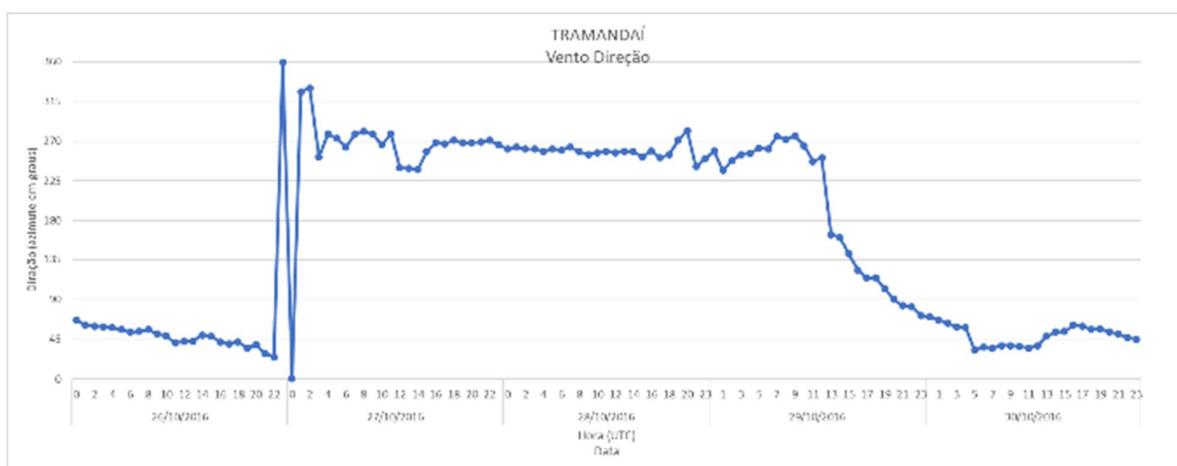


Figura 2. Direções dos ventos registrados na estação A 834 – Tramandaí.

Assim como em Tramandaí, a estação situada em Torres (FIGURA 3) registrou alteração na direção dos ventos para a Sul (S) às 4:00 hs (UTC) de 27/10/2016. A partir dessa hora, ocorreram variações nas direções, que se estabilizaram às 16:00 hs (UTC) de 27/10/2016 na direção WSW. Essa direção manteve-se até às 6:00 hs de 29/10/2016 com a mudança para a direção NNW que se manteve até às 11:00 hs (UTC) do mesmo dia. A partir dessa hora, houve mudança da direção e a estabilização ocorreu às 21:00 hs (UTC) de 29/10/2016 nas direções Norte (N) e posteriormente Leste (L).

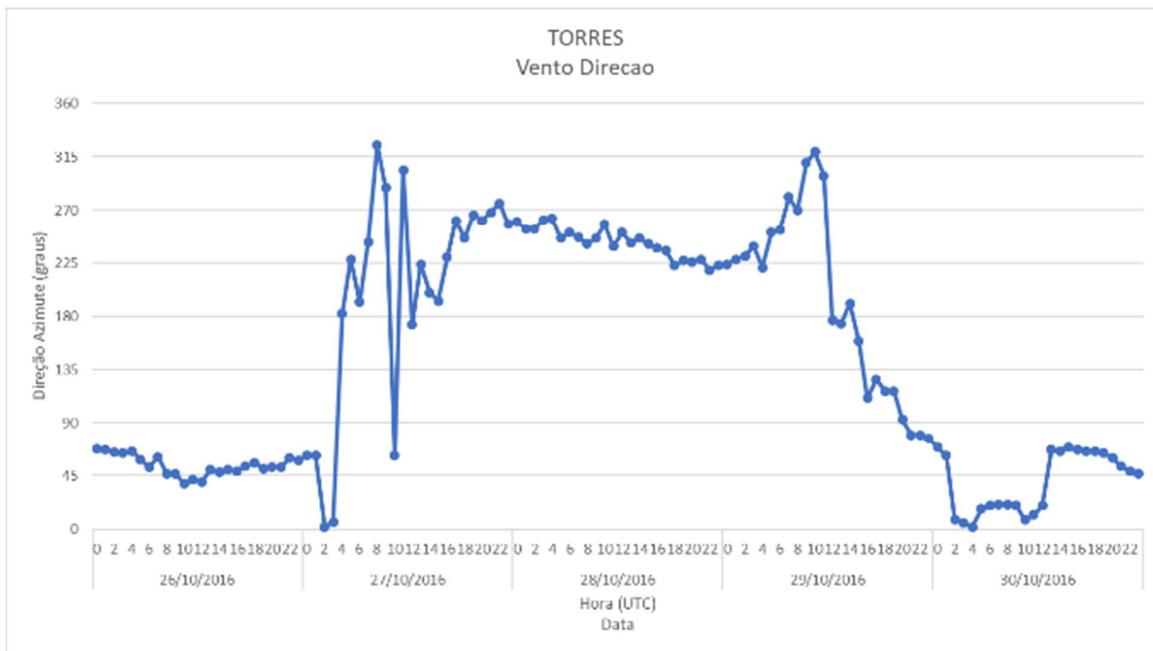


Figura 3. Direções dos ventos registrados na estação A 808 – Torres.

As velocidades máximas registradas a partir da mudança na direção dos ventos em ambas estações ocorreram em 27/10/2016 às 18:00 hs (UTC) em Tramandaí (FIGURA 4) e às 23:00 hs do mesmo dia (UTC) em Torres (FIGURA 5). Na primeira estação, a velocidade média máxima chegou a 42 km/h, já na segunda a 30 km/h. Velocidades superiores a 15 km/h ocorreram até às 18:00 hs (UTC) em Tramandaí e às 22:00 hs em Torres do dia 28/10/2016.



Figura 4. Velocidades médias dos ventos registrados na estação A 834 – Tramandaí.

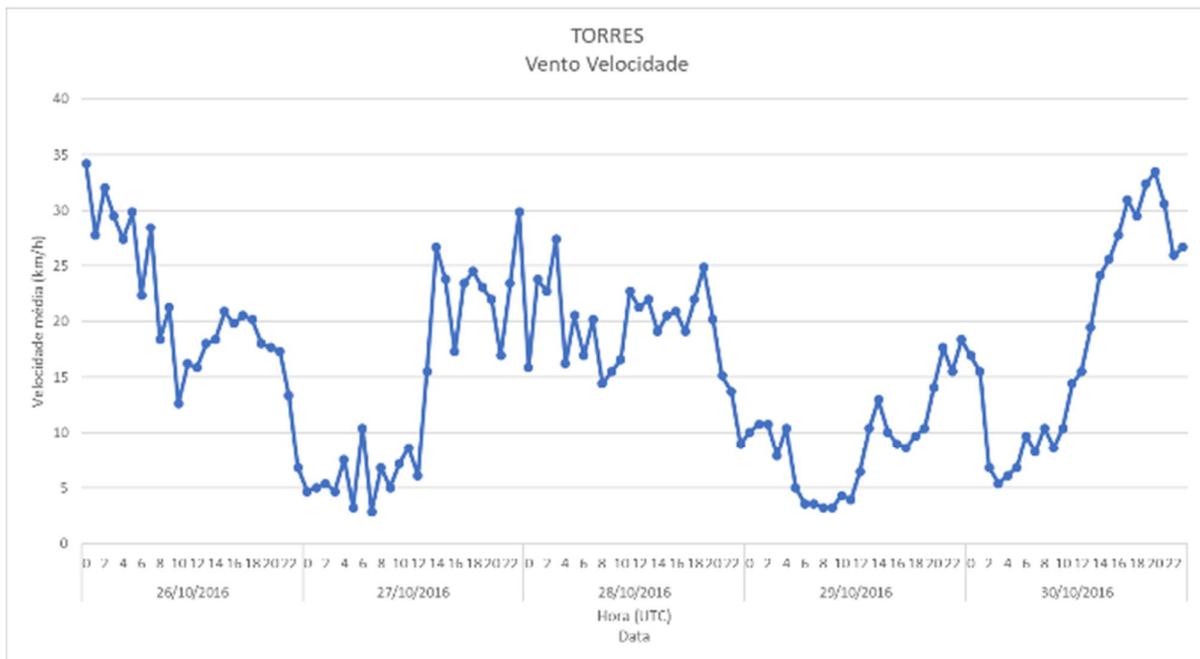


Figura 5. Velocidades médias dos ventos registrados na estação A 808 – Torres.

As velocidades máximas das rajadas foram de 93 km/h às 17:00 hs (UTC) em Tramandaí (FIGURA 6) e de 64 km/h às 20:00 hs (UTC) em Torres (FIGURA 7) do dia 27/10/2016. Rajadas superiores aos 15 km/h ocorreram até às 3:00 hs (UTC) de 29/10/2016 em Tramandaí e até às 6:00 hs (UTC) de 29/10/2016 em Torres.

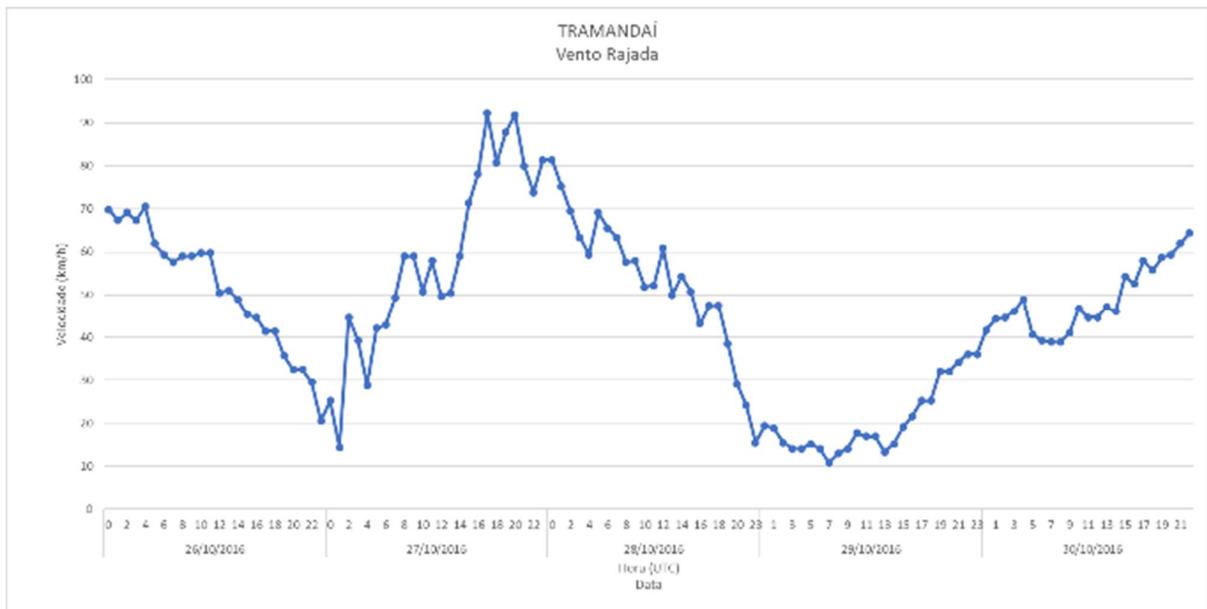


Figura 6. Velocidades das rajadas registradas na estação A 834 – Tramandaí.



Figura 7. Velocidade das rajadas registradas na estação A 808 – Torres.

As ondas incidentes na costa do RS (FIGURA 8) tiveram suas direções alteradas de N e L para NNW às 8:00 hs (UTC) de 27/10/2016. Posteriormente, a direção oscilou entre Oeste Noroeste (WNW) e Sul até às 2:00 hs (UTC) de 29/10/2016. A partir desse horário, a direção manteve-se entre S e Sudeste (SE) até às 13:00 hs de 30/10/2016.

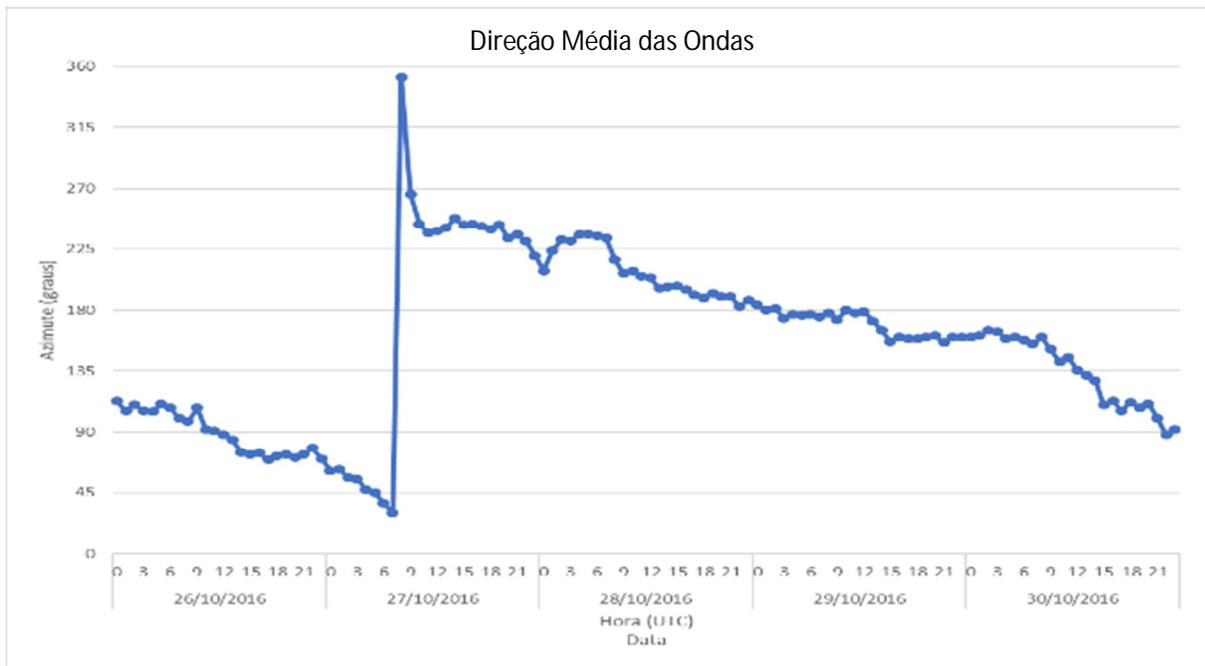


Figura 8. Direções médias das ondas registradas na boia 69153 – PNBOIA.

A altura significativa das ondas (FIGURA 9) teve seu aumento iniciado às 7:00 hs (UTC) de 27/10/2016, atingindo a altura significativa máxima de 9,5 m às 9:00 hs (UTC) de 28/10/2016. Outros picos de altura foram registrados no mesmo dia às 12:00 hs (UTC), 9,3 m, 18:00 hs (UTC), 8,8 m, 23:00 hs (UTC), 7,9 m e à 0:00 hs (UTC) de 29/10/2016, 7,8 m. A altura significativa só atingiu valores inferiores a 4,00 m às 19:00 hs (UTC) de 29/10/2016.

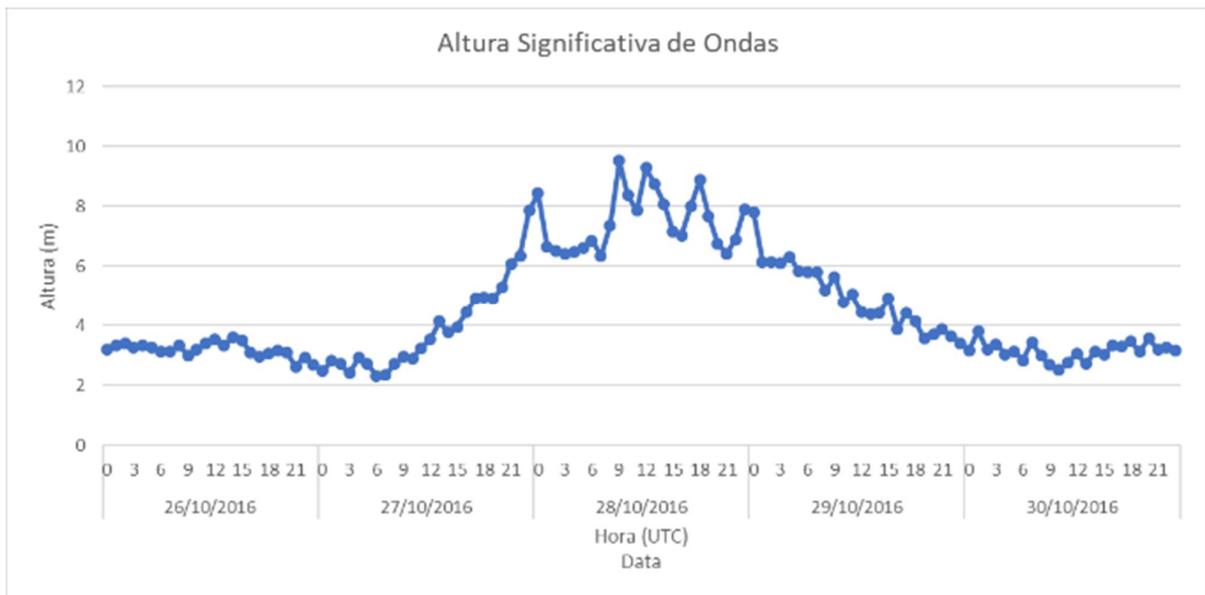


Figura 9. Alturas significativas das ondas registradas na boia 69153 – PNBOIA.

Na figura 10 observa-se uma tendência no aumento das alturas máximas das ondas, esse aumento teve início às 8:00 hs (UTC) de 27/10/2016. A altura máxima registrada, 14,8 m, ocorreu às 13:00 hs (UTC) de 28/10/2016. Picos de alturas máximas foram registrados no mesmo dia às 23:00 hs (UTC), 13,8 m e às 7:00 hs (UTC), 12,4 m, do dia 29/10/2016. O retorno das alturas máximas à tendência média aconteceu às 19:00 (UTC) de 29/10/2016.

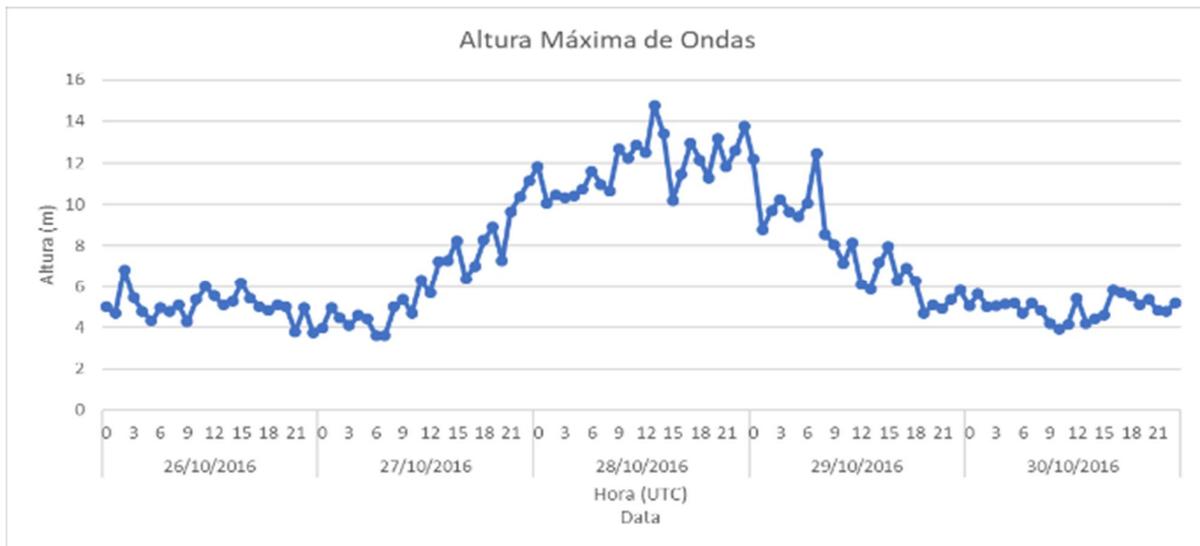


Figura 10. Alturas máximas das ondas registradas na boia 69153 – PNBOIA.

Os períodos (FIGURA 11) registrados tiveram um aumento a partir das 18:00 hs (UTC) de 27/10/2016 estabilizando-se às 8:00 hs de 28/10/2016 entre 14,3 s e 15,4 s. O período máximo (16,7 s) foi observado às 21:00 hs (UTC) do dia 28/10/2016. Diferente dos demais parâmetros descritos, os períodos mantiveram-se elevados, superiores a 12 s, além do dia 30/10/2016.



Figura 11. Períodos de picos registrados na boia 69153 – PNBOIA.

A queda na pressão atmosférica registrada pela bóia Rio Grande (FIGURA 12) teve início às 8:00 hs (UTC) de 26/10/2016 atingindo um mínimo, 995,25 milibar às 18:00 hs (UTC) de 27/10/2016. O aumento na pressão ocorreu no mesmo dia às 20:00 hs (UTC), chegando ao valor máximo, 1026,12 às 14:00 hs de 29/10/2016. A pressão retornou ao valor médio ao final do dia 30/10/2016.

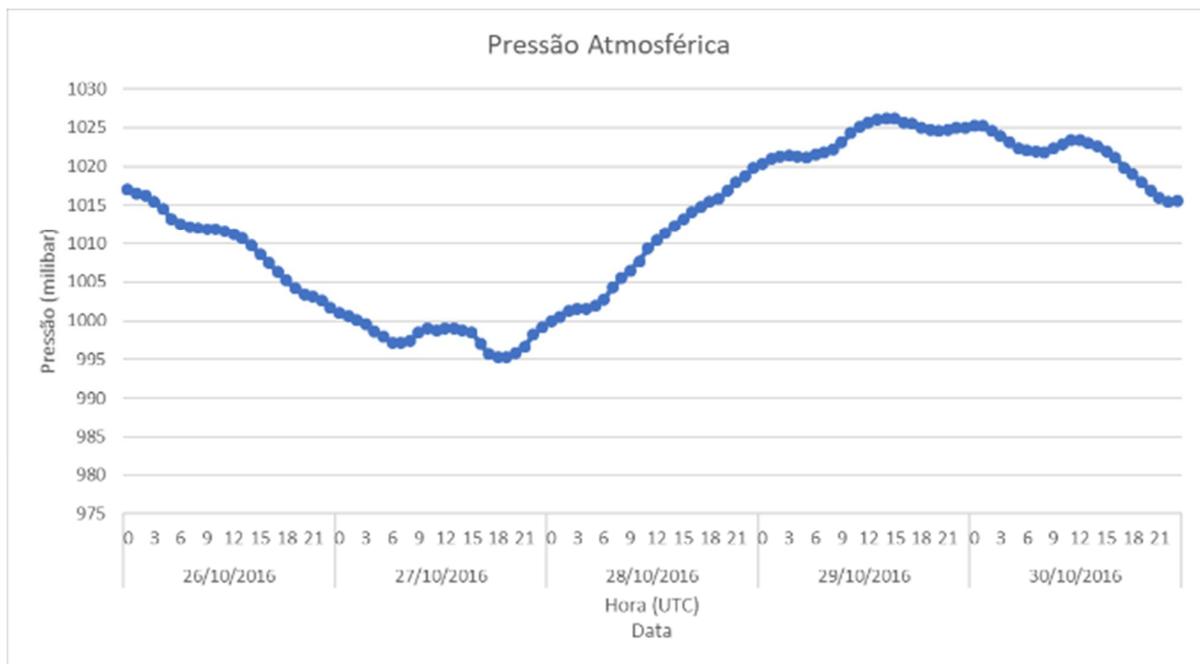


Figura 12. Pressões atmosférica registradas na boia 69153 – PNBOIA.

A desembocadura da Laguna de Tramandaí teve seu nível monitorado através de linígrafo (FIGURA 13). A elevação teve início às 8:00 hs (hora de Brasília) de 27/10/2016, chegando ao nível máximo (1,13 m) às 9:00 hs (hora de Brasília) de 28/10/2016. Esse nível manteve-se até às 13:00 hs (hora de Brasília) do mesmo dia, onde a queda teve início, chegando ao nível médio somente às 4:00 hs (hora de Brasília) de 30/10/2016.

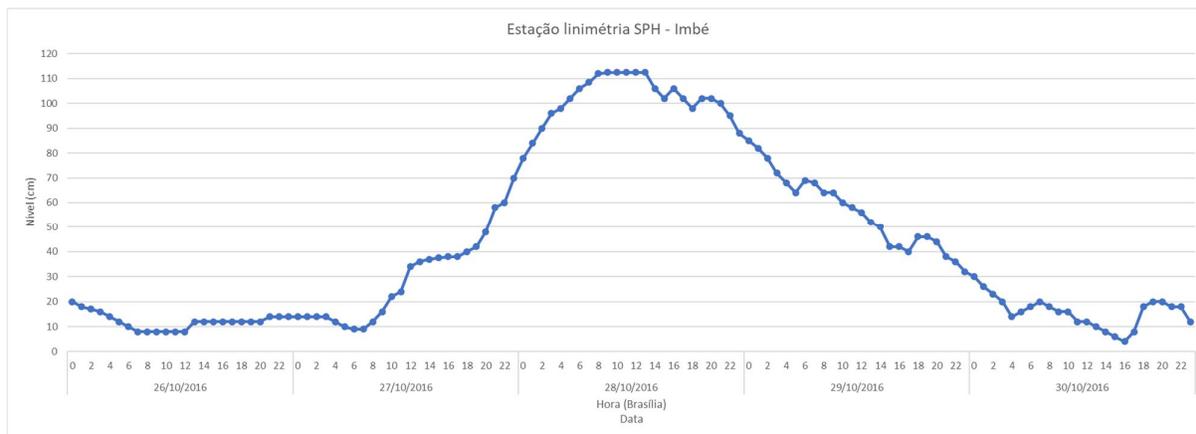


Figura 13. Nível do Rio Tramandaí registrado pela estação linimétrica da SPH em Imbé.

Na tabela 1 são descritos os arquivos, fotos e vídeos, utilizados para a delimitação das áreas inundadas no dia 28 de outubro de 2016.

Tabela 1. Locais inundados em 28 de outubro de 2016.

Município e Balneário	Coordenadas do ponto de máxima inundação	Imagem
Palmares do Sul Centro (Pioneiros)	Lat: -30°20'17" Long: -50°16'01" Al: 2,10 m	<p>Fonte: Backes (2016).</p>

<p>Cidreira Centro</p>	<p>Lat: -30°10'55" Long: -50°12'19" Al: 2,15 m</p>	 <p>Fonte: Litoralmania (2016).</p>
<p>Tramandaí Centro</p>	<p>Lat: -29°59'27" Long: -50°07'32" Al: 2,00 m</p>	 <p>Fonte: O Sul (2016).</p>
<p>Imbé Balneário Imbé</p>	<p>Lat: -29°58'42" Long: -50°07'32" Al: 0,95 m</p>	 <p>Fonte: Superintendência dos Portos e Hidrovias (2016).</p>

<p>Imbé Balneário Imbé</p>	<p>Lat: -29°58'40" Long: -50°07'29" Al: 0,70 m</p>	 <p>Fonte: Superintendência dos Portos e Hidrovias (2016).</p>
<p>Imbé Balneário Imbé</p>	<p>Lat: -29°58'42" Long: -50°07'31" Al: 0,60 m OBS: Fotografia tomada na Estação Hidrológica de Imbé (SPH). Na estação há um marco geodésico na Al. O mesmo está submerso, a Al corresponde a altitude ortométrica do marco.</p>	 <p>Fonte: Superintendência dos Portos e Hidrovias (2016).</p>
<p>Imbé Balneário Imbé</p>	<p>Lat: -29°58'25" Long: -50°07'05" Al: 2,40 m</p>	 <p>Fonte: Machado (2016).</p>

<p>Imbé Balneário Imbé</p>	<p>Lat: -29°58'05" Long: -50°06'57" Al: 2,00 m</p>	 <p>Fonte: Souza (2016).</p>
<p>Imbé Nordeste</p>	<p>Lat: -29°55'55" Long: -50°06'03" Al: 1,80 m</p>	 <p>Fonte: Saraiva (2016).</p>
<p>Imbé Nordeste</p>	<p>Lat: -29°55'48" Long: -50°05'59" Al: 1,95 m</p>	 <p>Fonte: Denoviski 11 (2016)</p>

<p>Osório Mariápolis</p>	<p>Lat: -29°52'13" Long: -50°04'11" Al: 2,45 m</p>	 <p>Fonte: Machado (2016)</p>
<p>Xangri-lá</p>	<p>Lat: -29°47'44" Long: -50°01'54" Al: 2,50 m</p>	 <p>Fonte: Canal Net TV (2016).</p>
<p>Xangri-lá Atlântida</p>	<p>Lat: -29°47'07" Long: -50°01'31" Al: 2,10 m</p>	 <p>Fonte: Machado (2016).</p>

<p>Xangri-lá Atlântida</p>	<p>Lat: -29°46'50" Long: -50°01'26" Al: 2,30 m</p>	 <p>Fonte: Campos (2016).</p>
<p>Capão da Canoa Centro</p>	<p>Lat: -29°45'41" Long: -50°00'47" Al: 2,00 m</p>	 <p>Fonte: De Couto (2016)</p>
<p>Capão da Canoa Centro</p>	<p>Lat: -29°45'28" Long: -50°00'41" Al: 2,00 m</p>	 <p>Fonte: Souza 1 (2016)</p>

<p>Capão da Canoa Centro</p>	<p>Lat: -29°45'26" Long: -50°00'41" Al: 2,00 m</p>	 <p>Albenasantista (2016).</p>
<p>Arroio do Sal Centro</p>	<p>Lat: -29°33'03" Long: -49°53'10" Al: 2,15 m</p>	 <p>Zuse (2016).</p>
<p>Torres Praia da Cal</p>	<p>Lat: -29°20'52" Long: -49°43'48" Al: 2,9 m</p>	 <p>Fonte: Canal Net TV 1 (2016).</p>

<p>Torres Prainha</p>	<p>Lat: -29°20'38" Long: -49°43'36" Al: 5,25 m</p>	 <p>Fonte: Sanson (2016).</p>
<p>Torres Prainha</p>	<p>Lat: -29°20'27" Long: -49°43'26" Al: 4,20 m</p>	 <p>Fonte: Liege Soares (2016).</p>
<p>Torres Praia Grande</p>	<p>Lat: -29°20'07" Long: -49°43'18" Al: 3,70 m</p>	 <p>Fonte: Liege Soares (2016).</p>

Os volumes de sedimentos erodidos das dunas frontais em Palmares do Sul e Cidreira (TABELA 2) foram obtidos para trechos de Dunas Altas (571,29 m) e Zona A (802,77 m), (FIGURA 14 a 17). Nas figuras são apresentadas as bases das dunas frontais antes e as escarpas erosivas após o evento.

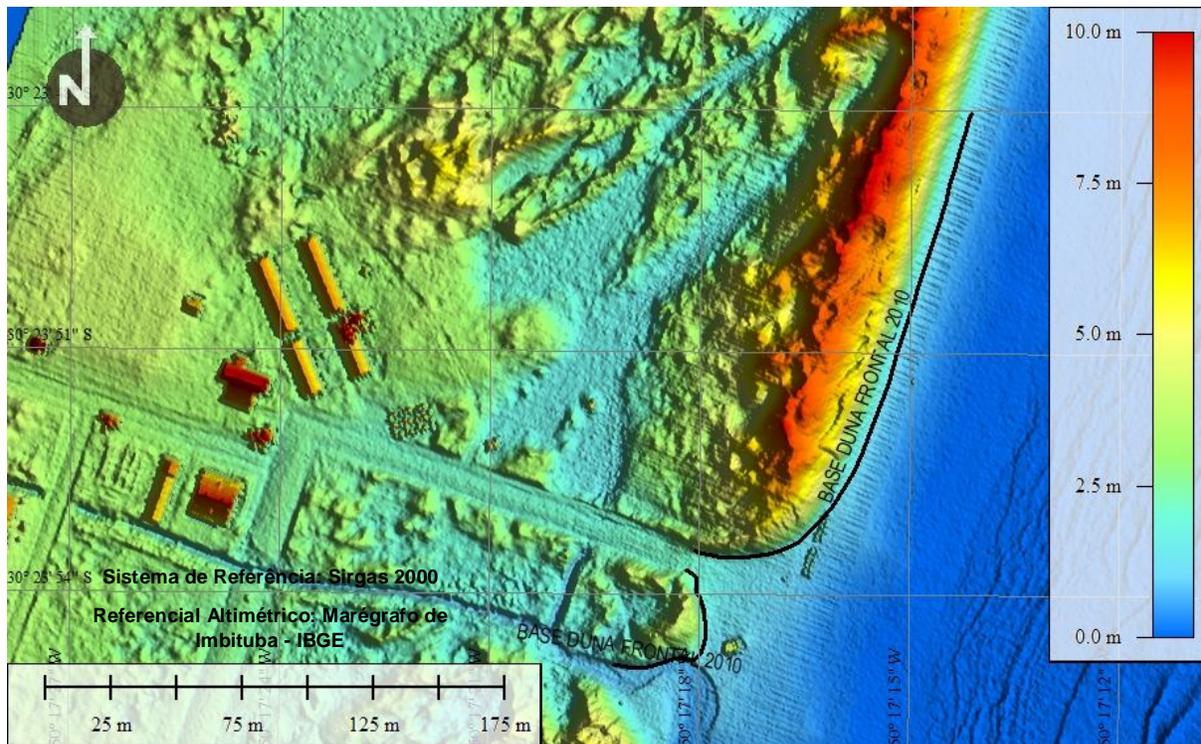


Figura 14. Base da duna frontal (Dunas Altas – Palmares do Sul) demarcada no MDS.

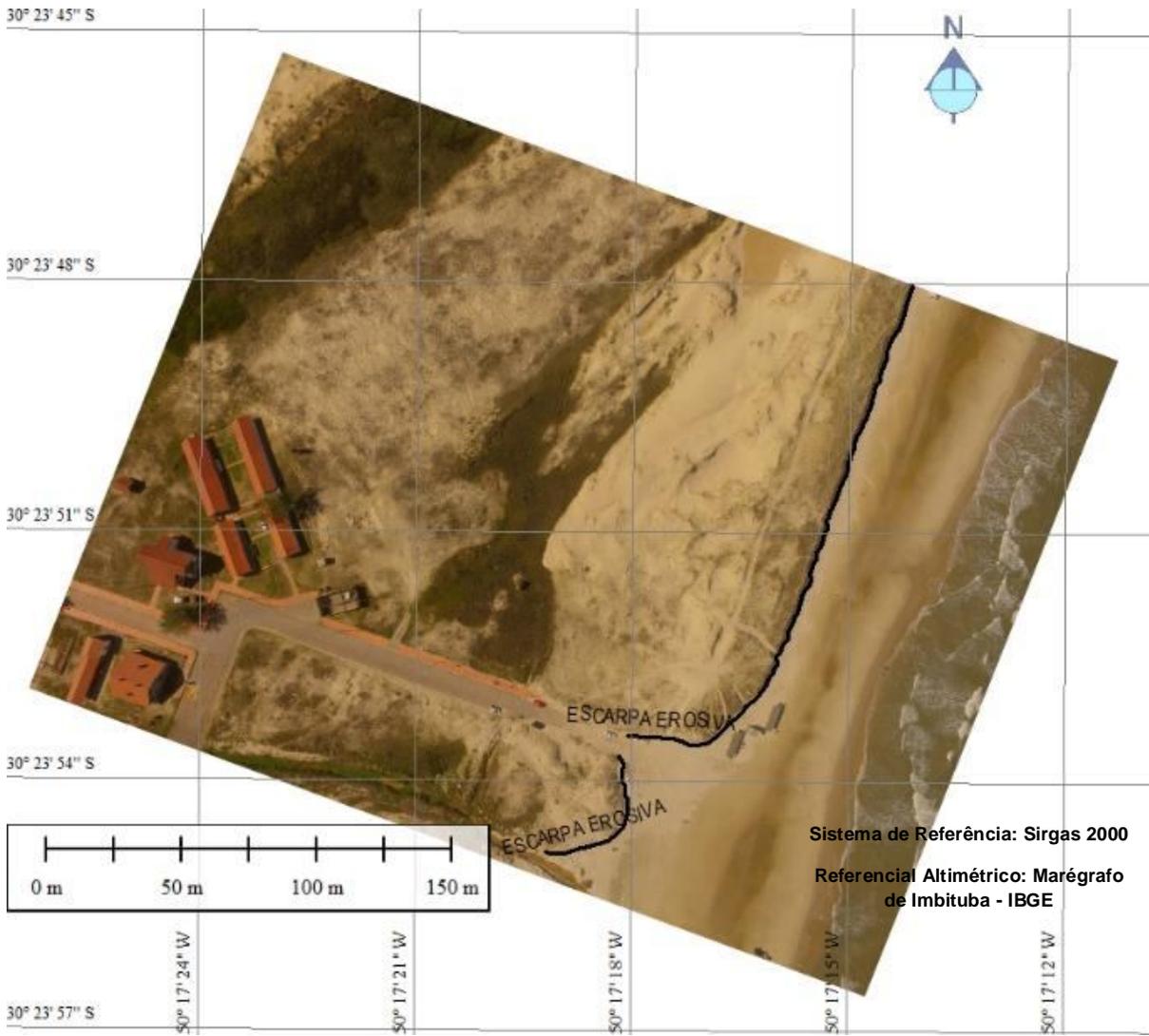


Figura 15. Escarpa erosiva (Dunas Altas – Palmares do Sul) demarcada em foto aérea.

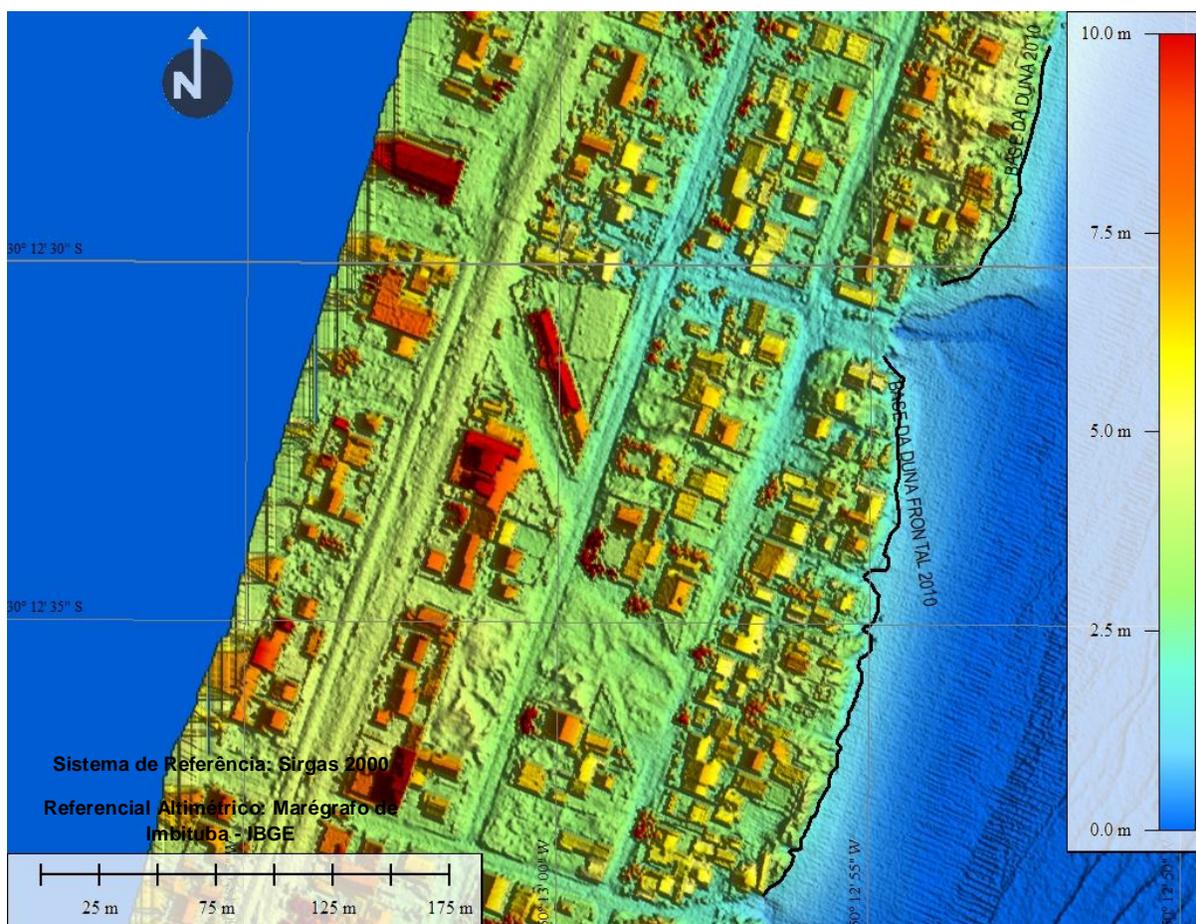


Figura 16. Base da duna frontal (Zona A – Cidreira) demarcada no MDS.



Figura 17. Escarpa erosiva (Zona A – Cidreira) demarcada em foto aérea.

Tabela 2. Volumes erodidos nos balneários Dunas Altas e Zona A.

Município Balneário	Volume erodido (m ³)	Volume erodido por m (m ³ /m)
Palmares do Sul Dunas Altas	423,39	0,74
Cidreira Zona A	2.841,98	3,54

Nas figuras 18 a 42 são apresentadas imagens hipsométricas com as áreas inundadas dos balneários mais impactados durante o evento. Dunas Altas (FIGURA 18) é um balneário preservado e pouco suscetível, o mesmo é apresentado com a finalidade de comparação aos demais.

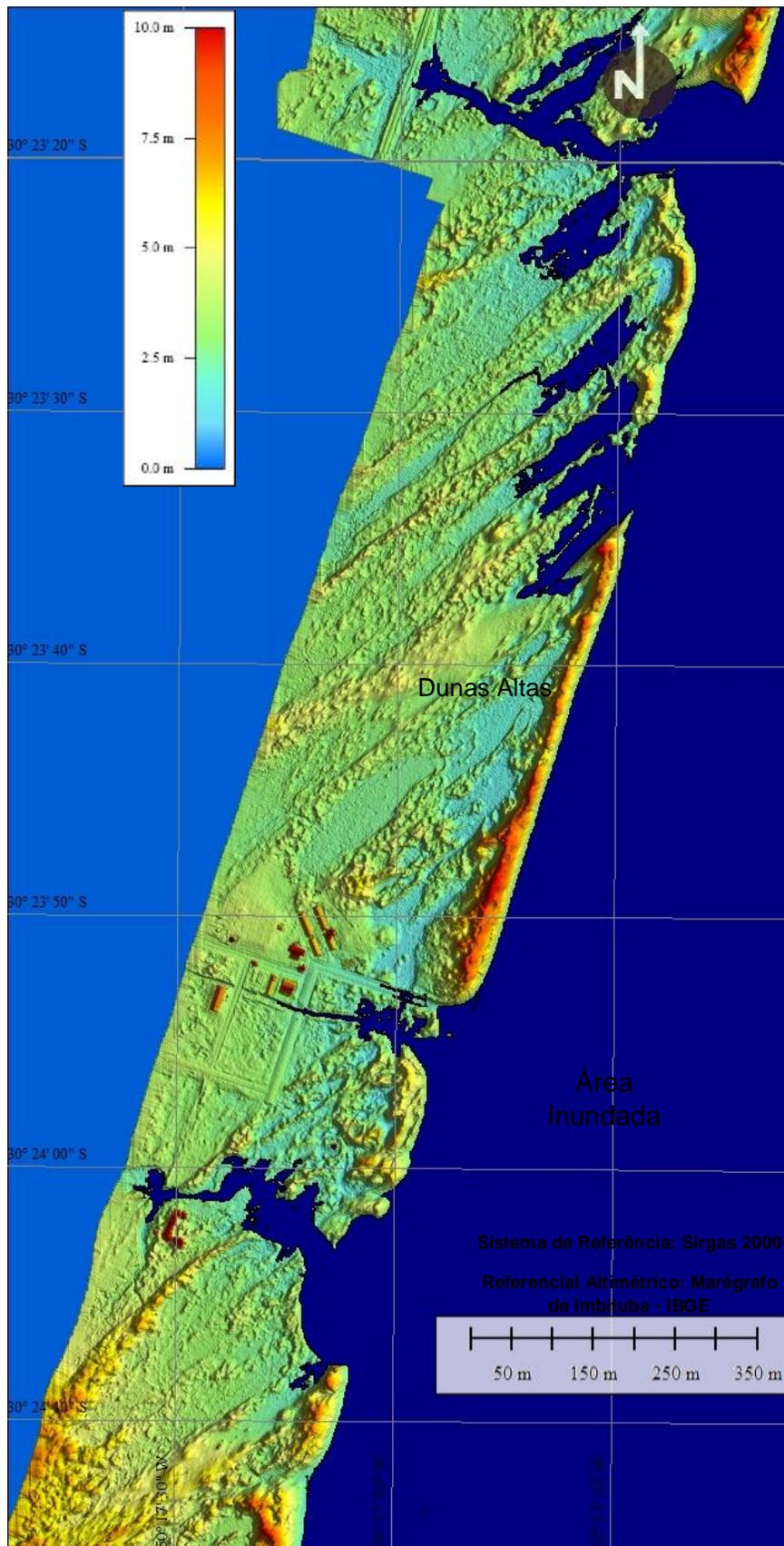


Figura 18. Imagem hipsométrica e área inundada no balneário Dunas Altas (Palmares do Sul).

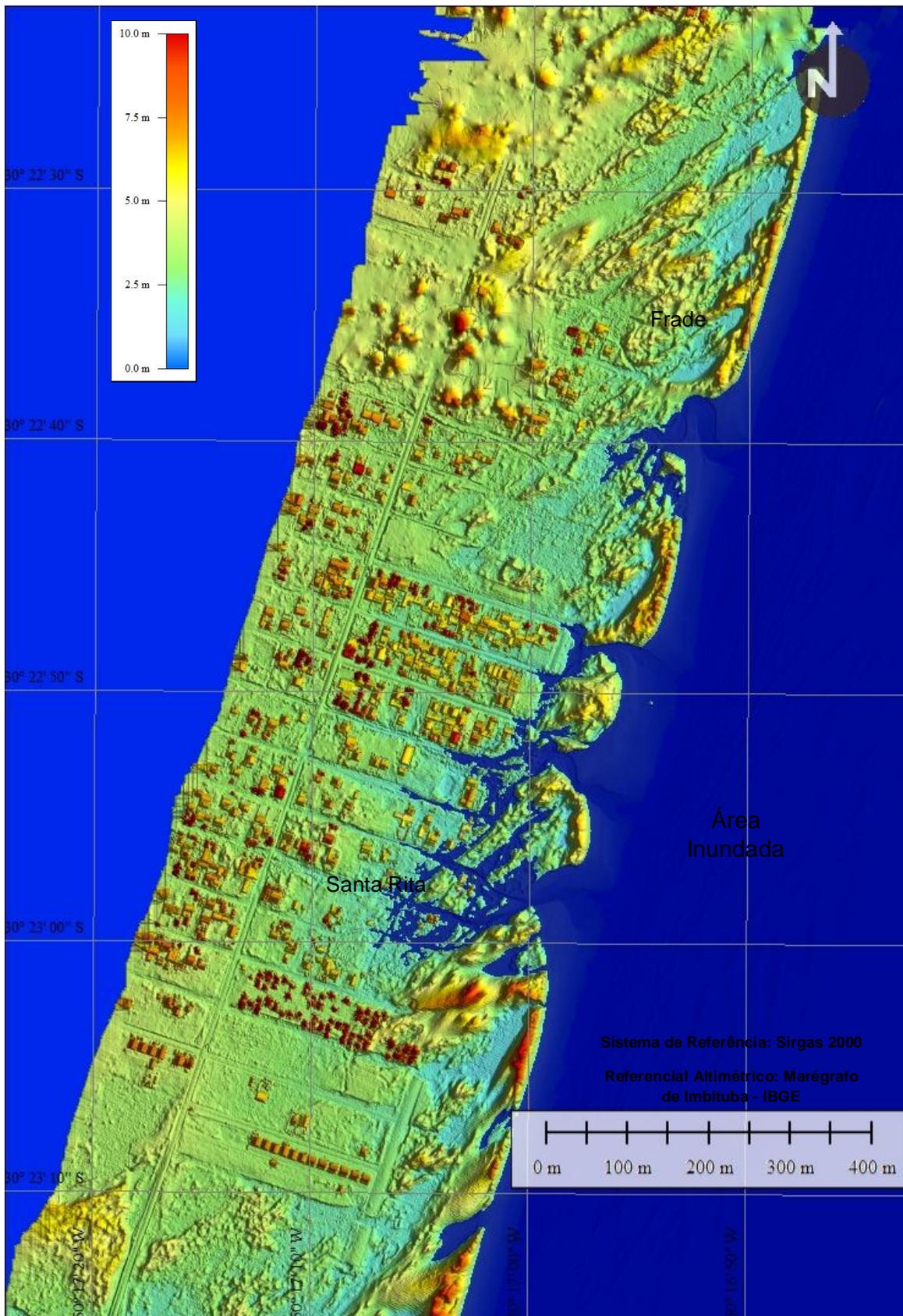


Figura 19. Imagem hipsométrica e área inundada nos balneários Santa Rita e Frade (Palmares do Sul).

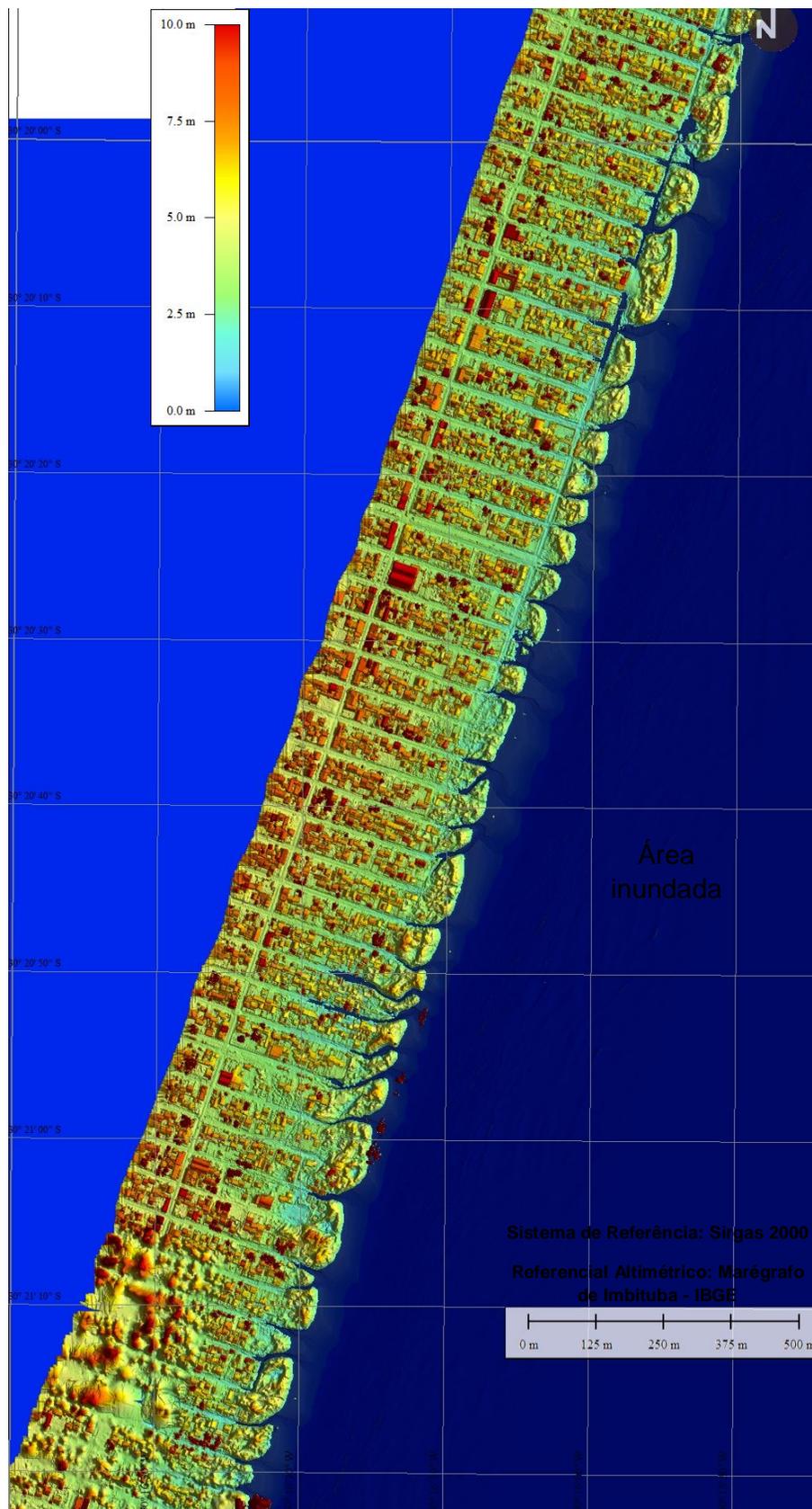


Figura 20. Imagem hipsométrica e área inundada do balneário Centro de Palmares do Sul.

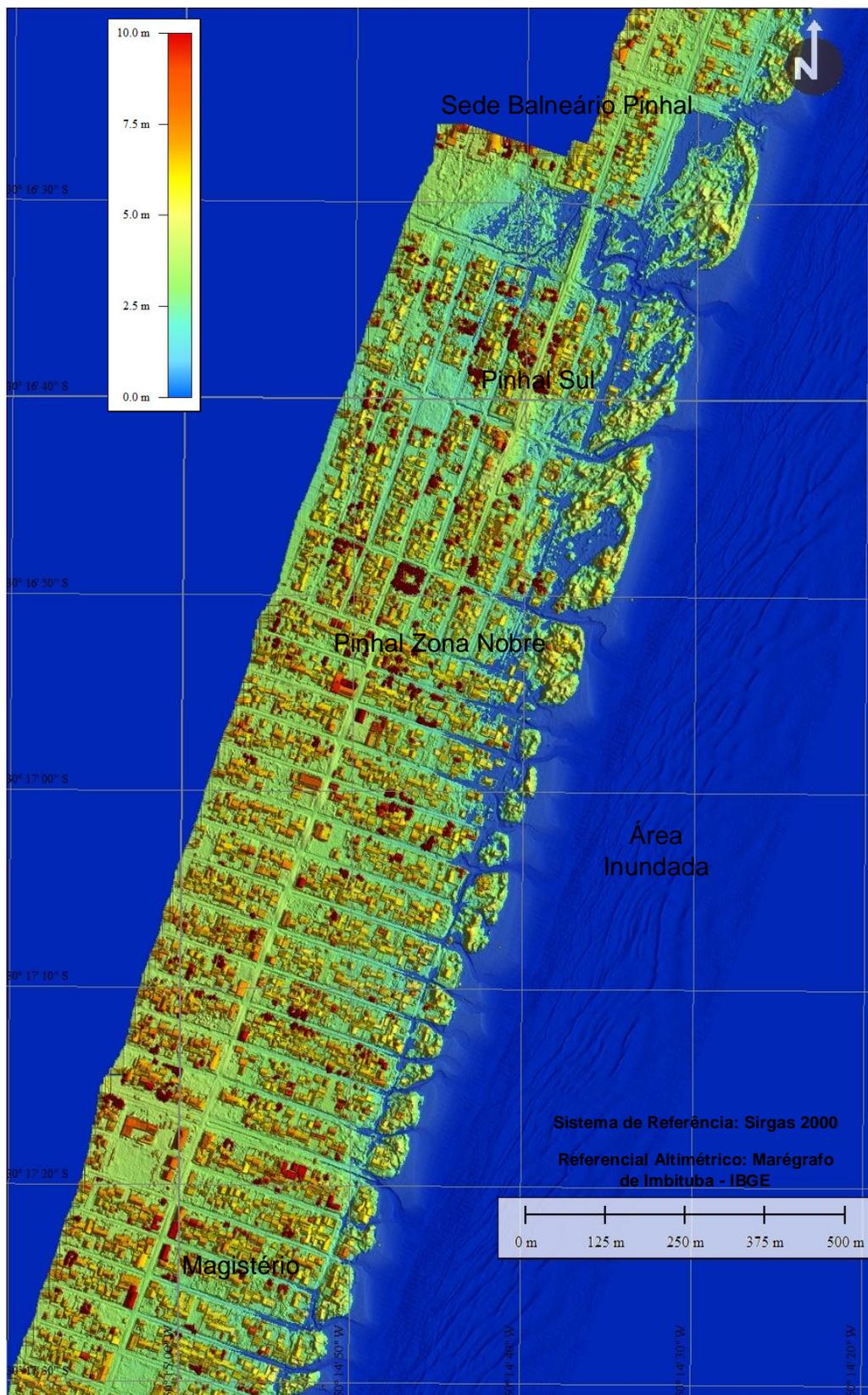


Figura 21. Imagem hipsométrica e área inundada dos balneários Magistério, Pinhal Zona Nobre e Sede Balneário Pinhal.

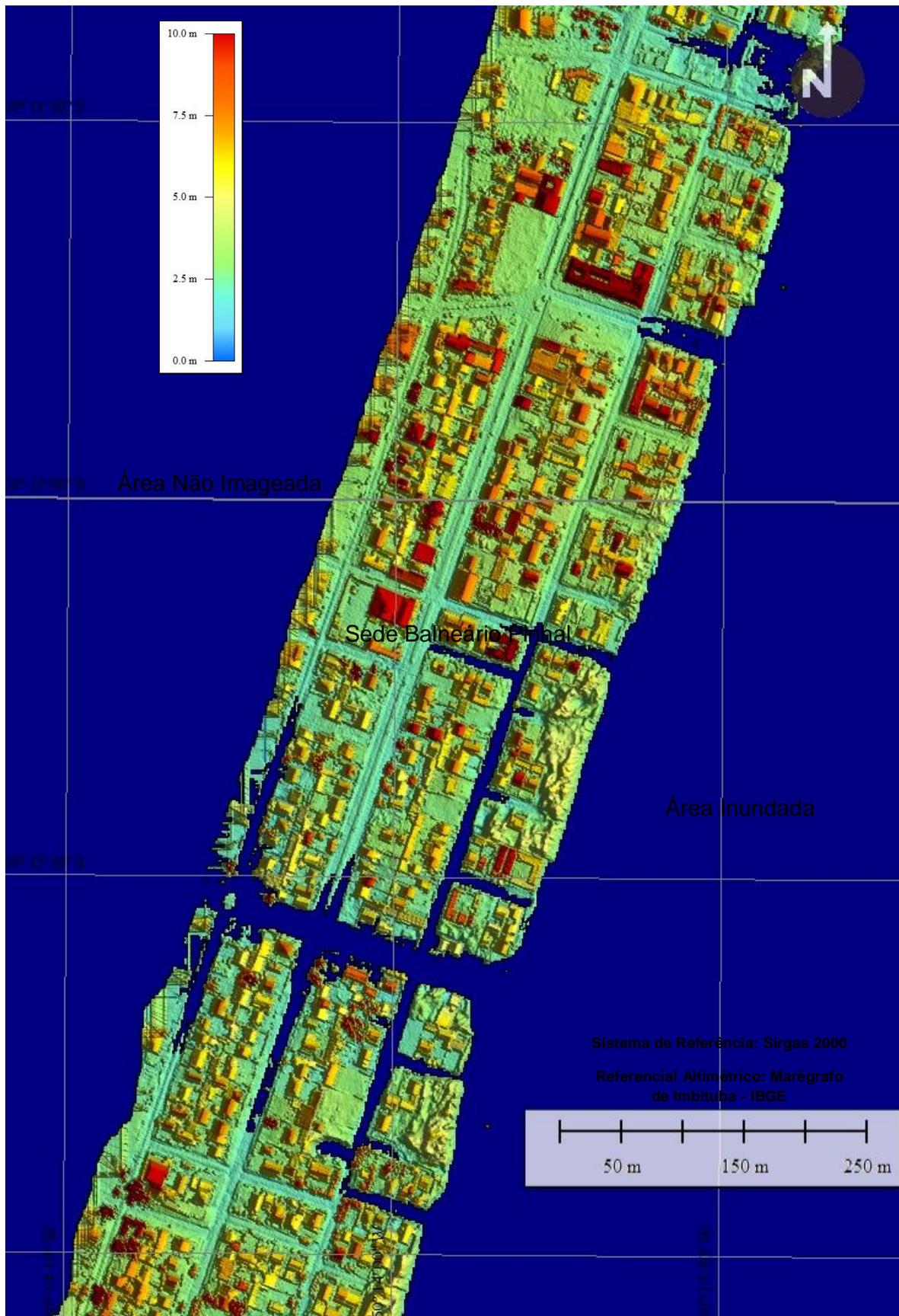


Figura 22. Imagem hipsométrica e área inundada do balneário Sede Balneário Pinhal.

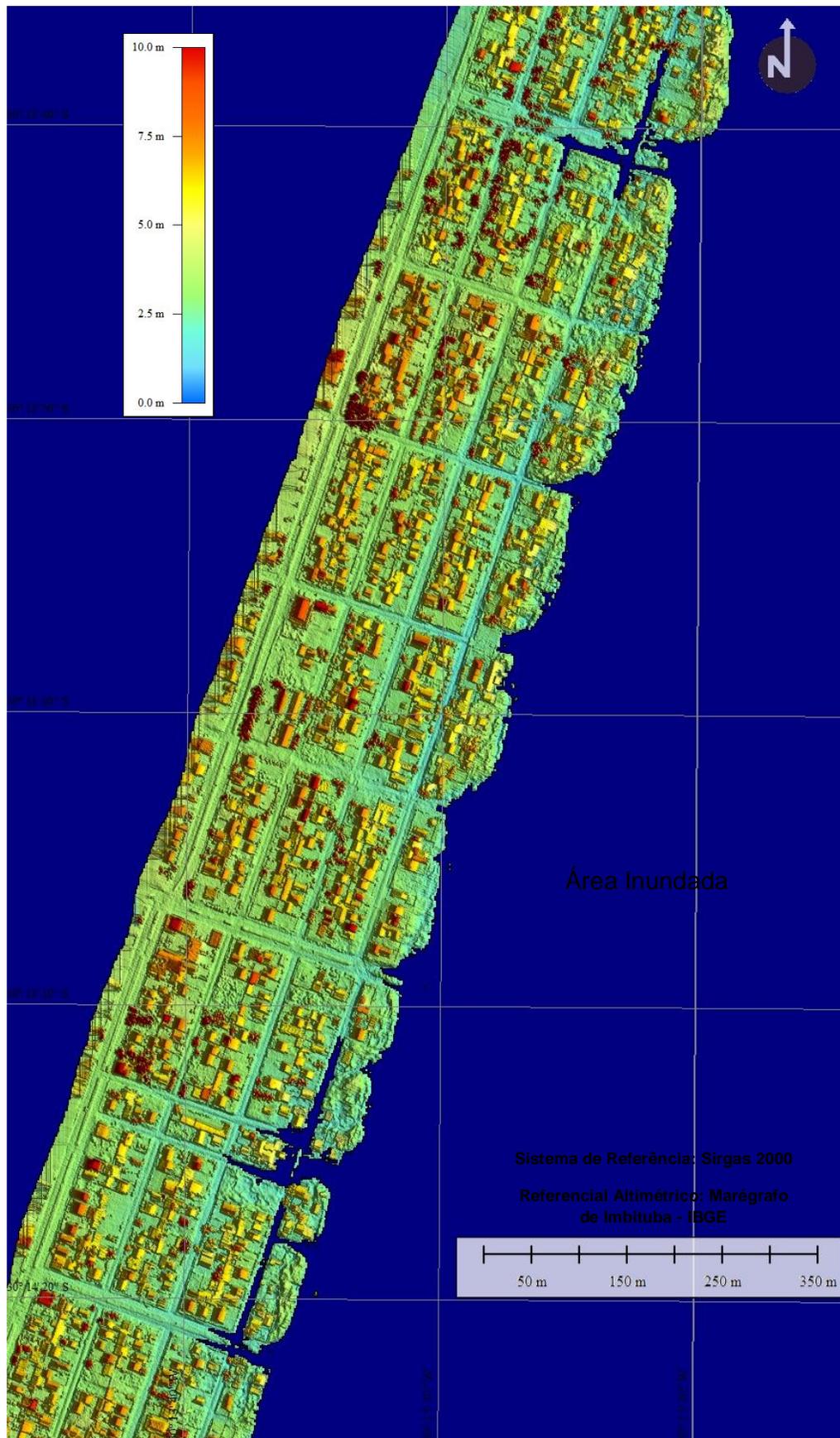


Figura 23. Imagem hipsométrica e área inundada do balneário Sede Balneário Pinhal.

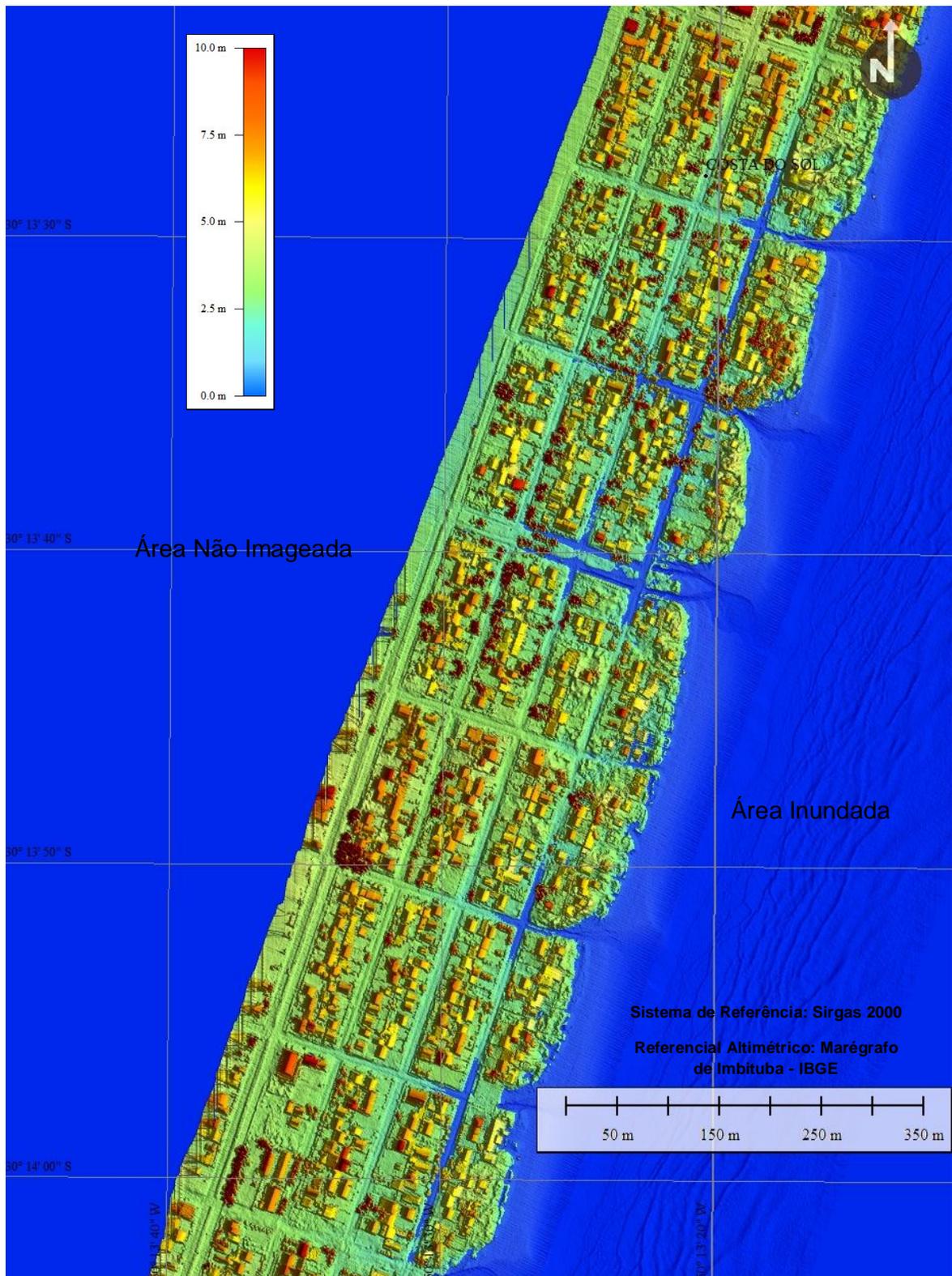


Figura 24. Imagem hipsométrica e área inundada do balneário Costa do Sol (Cidreira).

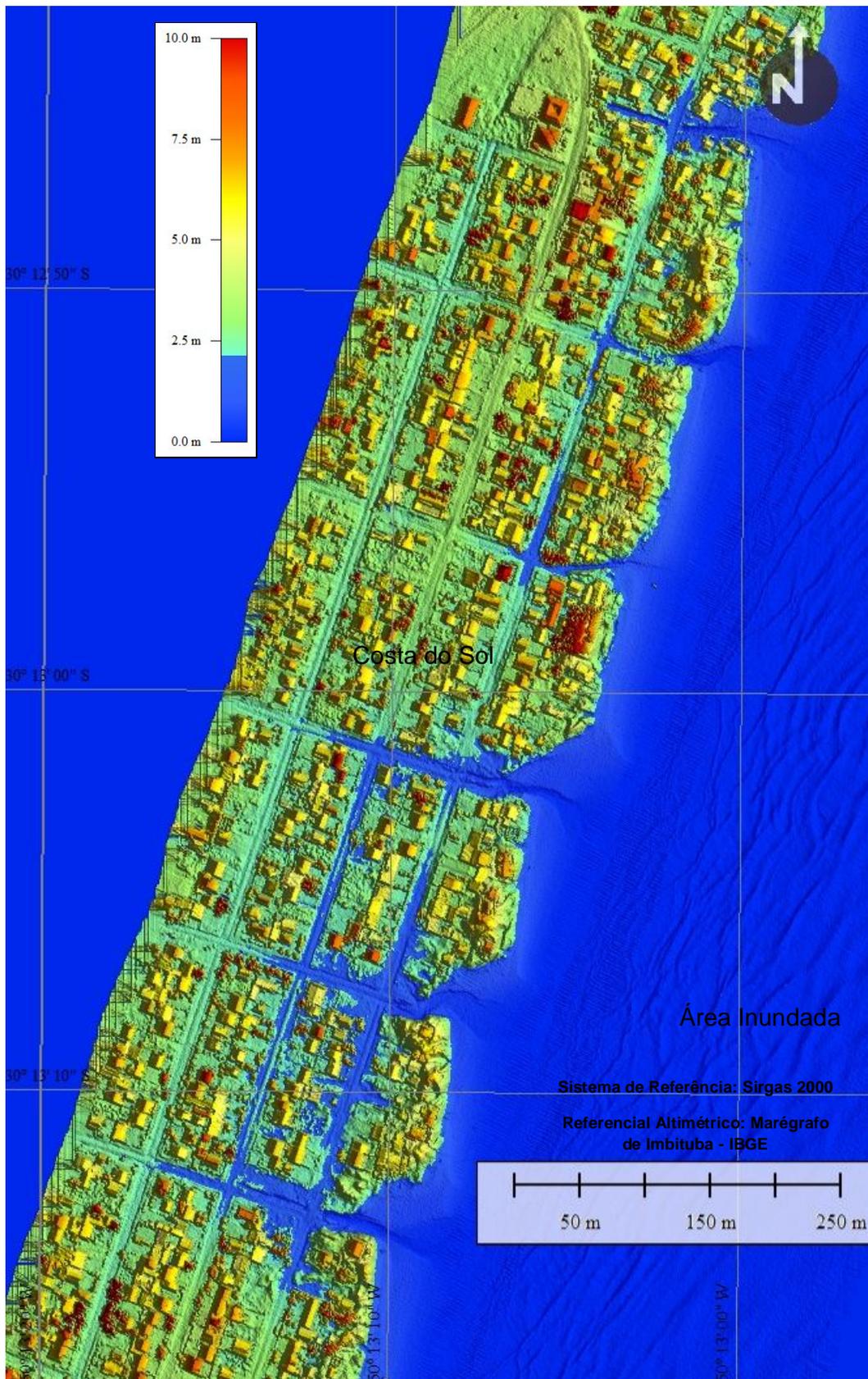


Figura 25. Imagem hipsométrica e área inundada do balneário Costa do Sol (Cidreira).

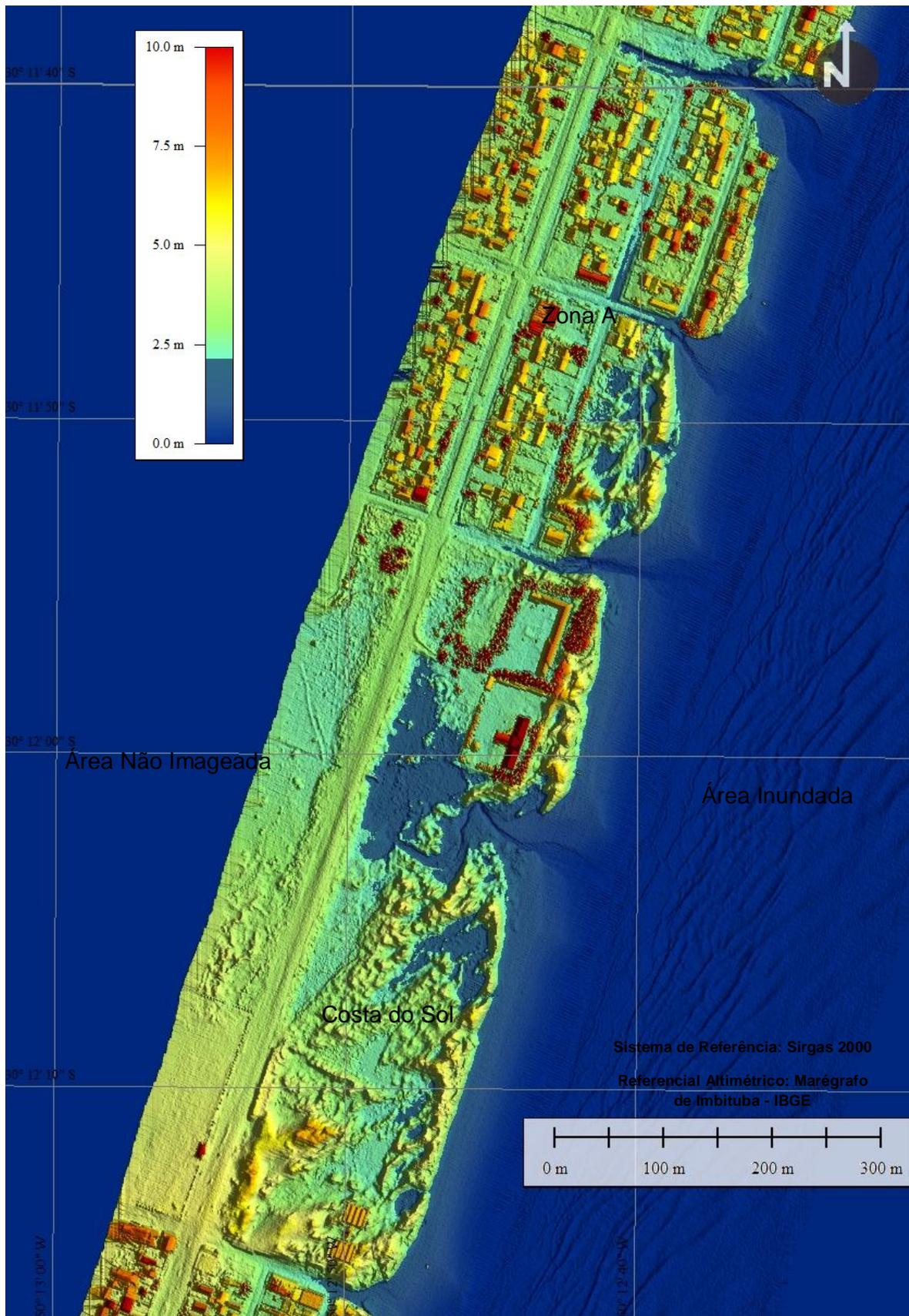


Figura 26. Imagem hipsométrica e área inundada dos balneários Costa do Sol e Zona A (Cidreira).

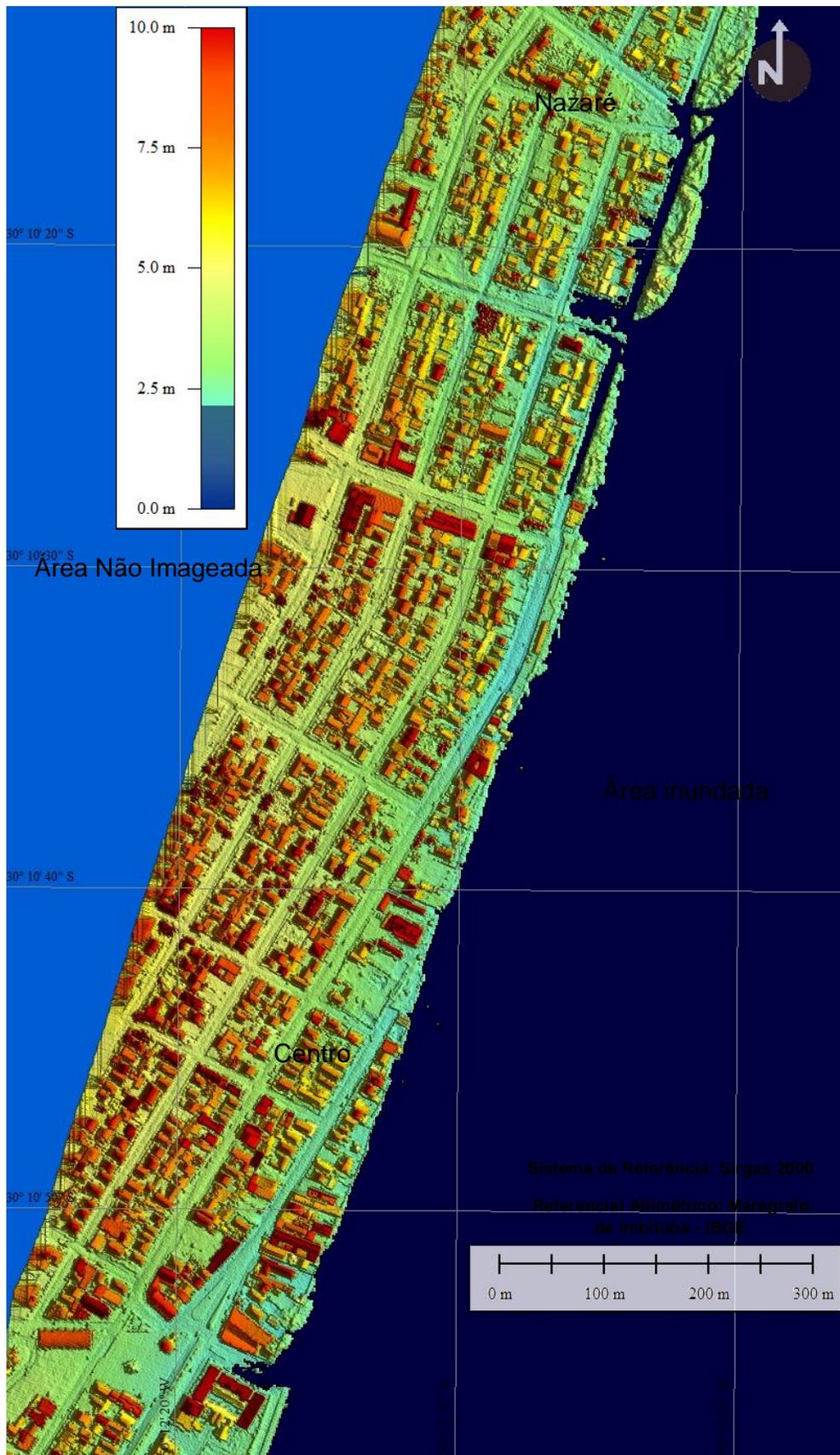


Figura 27. Imagem hipsométrica e área inundada dos balneários Centro e Nazaré (Cidreira).

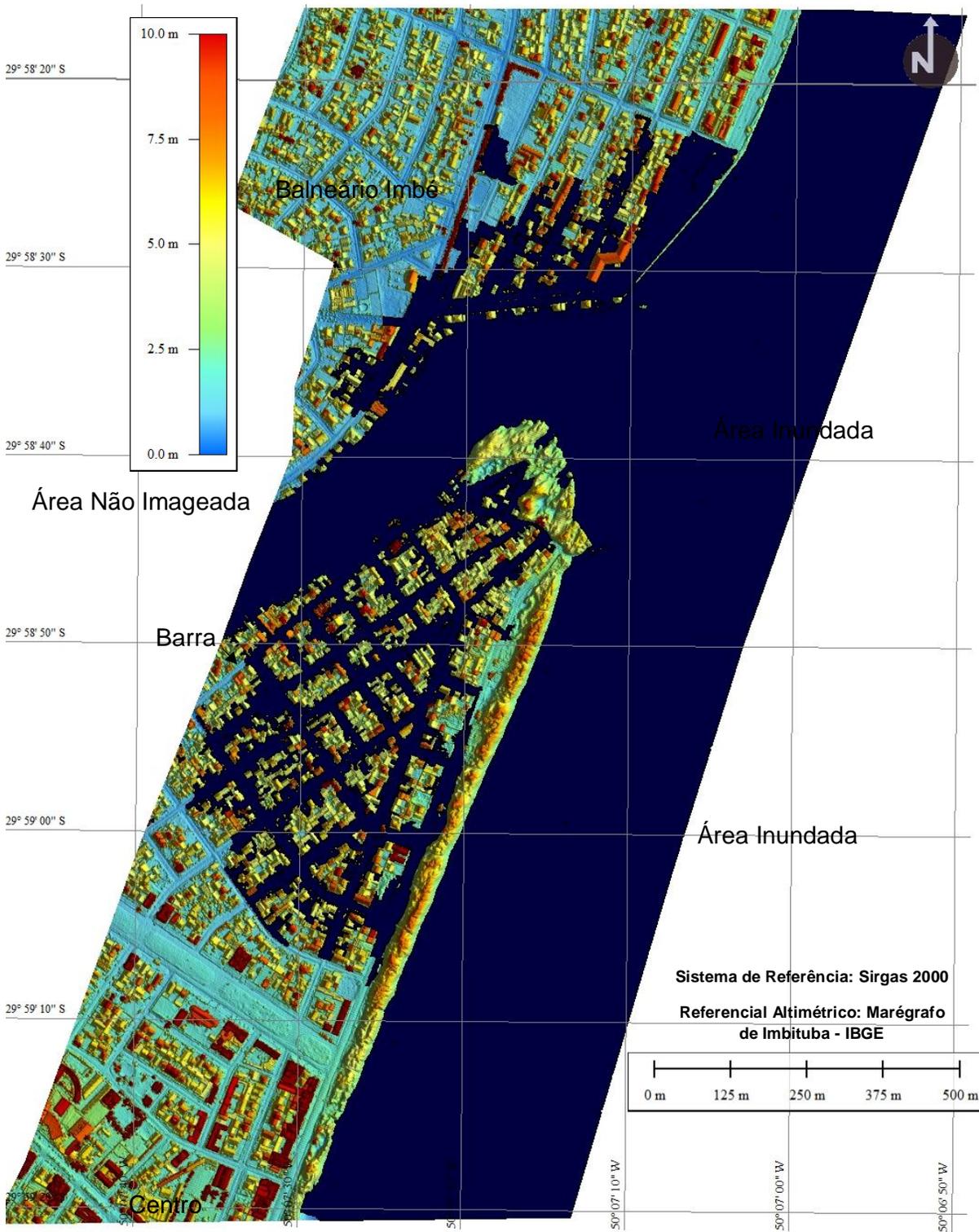


Figura 28. Imagem hipsométrica e área inundada dos balneários Barra (Tramandaí) e Balneário Imbé.

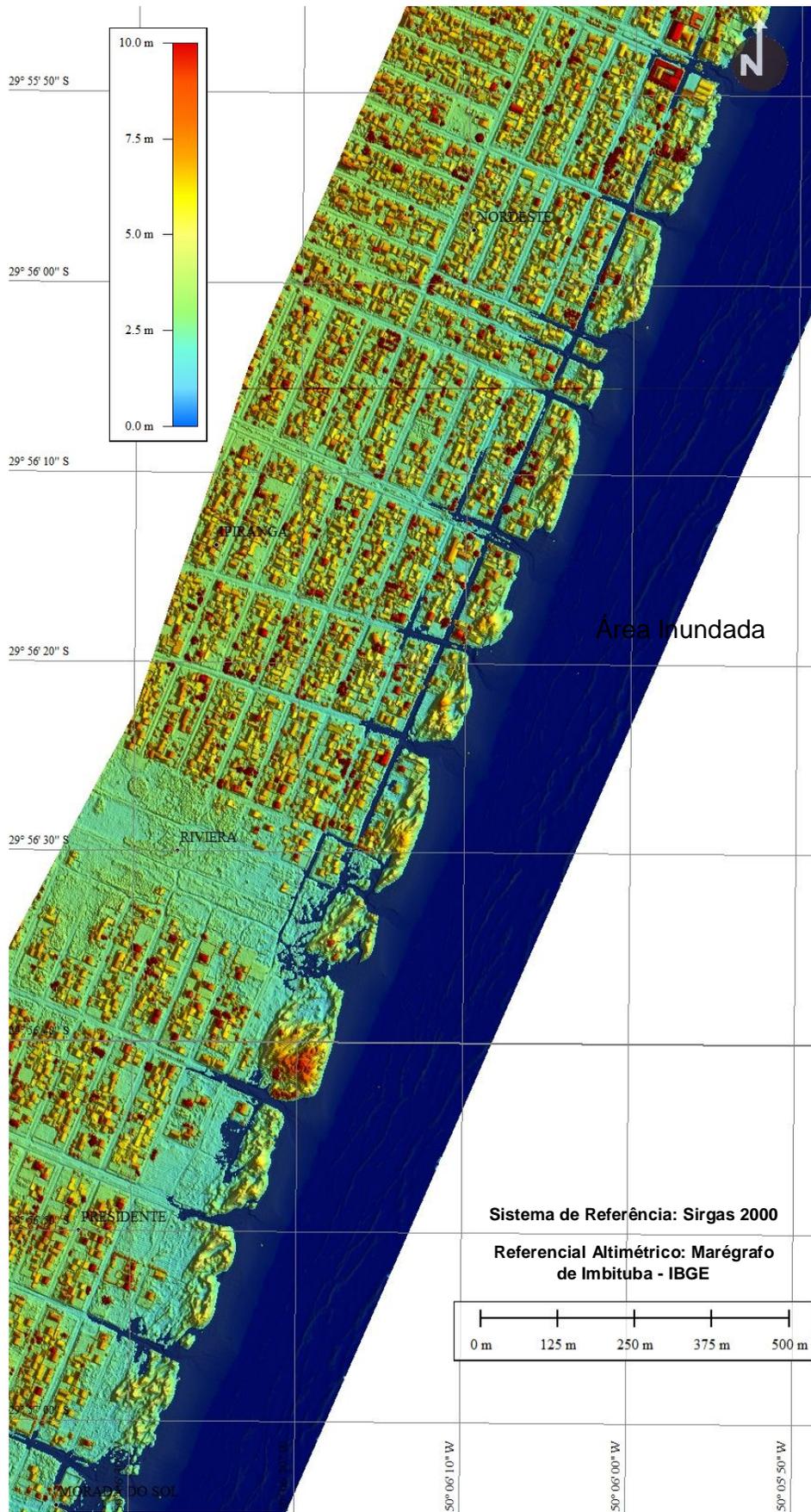


Figura 29. Imagem hipsométrica e área inundada entre Morada do Sol e Nordeste.

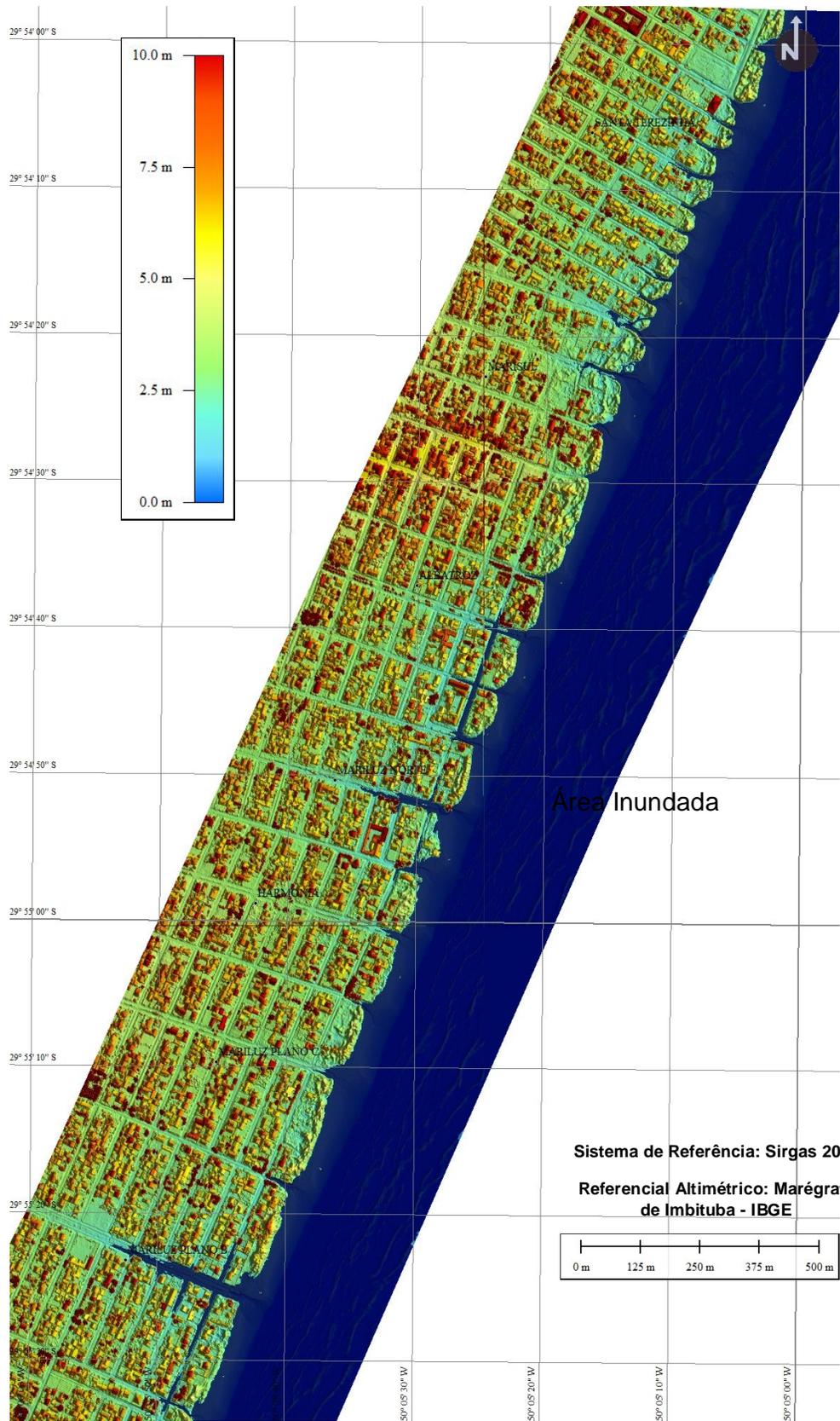


Figura 30. Imagem hipsométrica e área inundada entre Mariluz Plano B e Santa Terezinha.

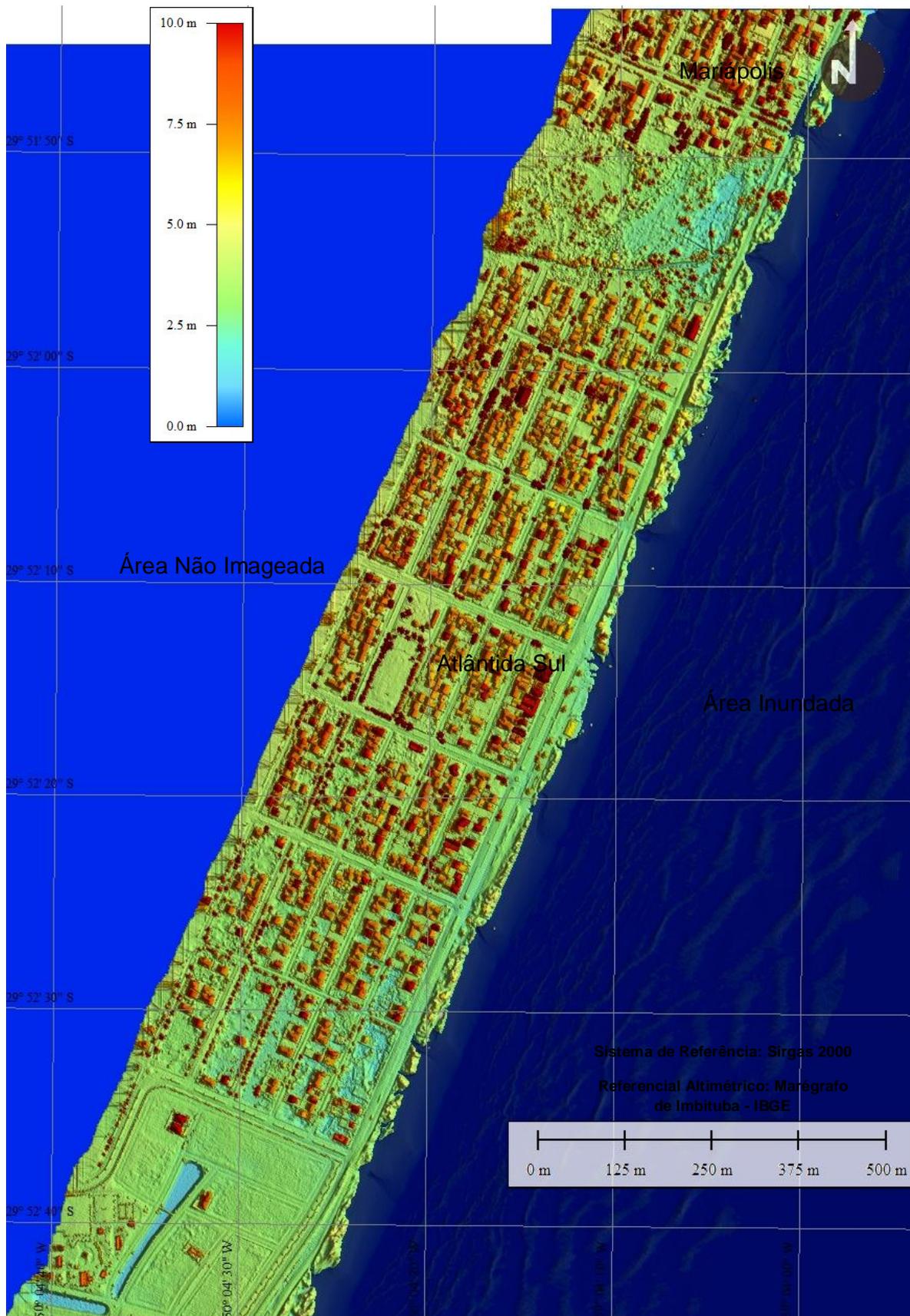


Figura 31. Imagem hipsométrica e área inundada entre Atlântida Sul e Mariópolis (Osório).

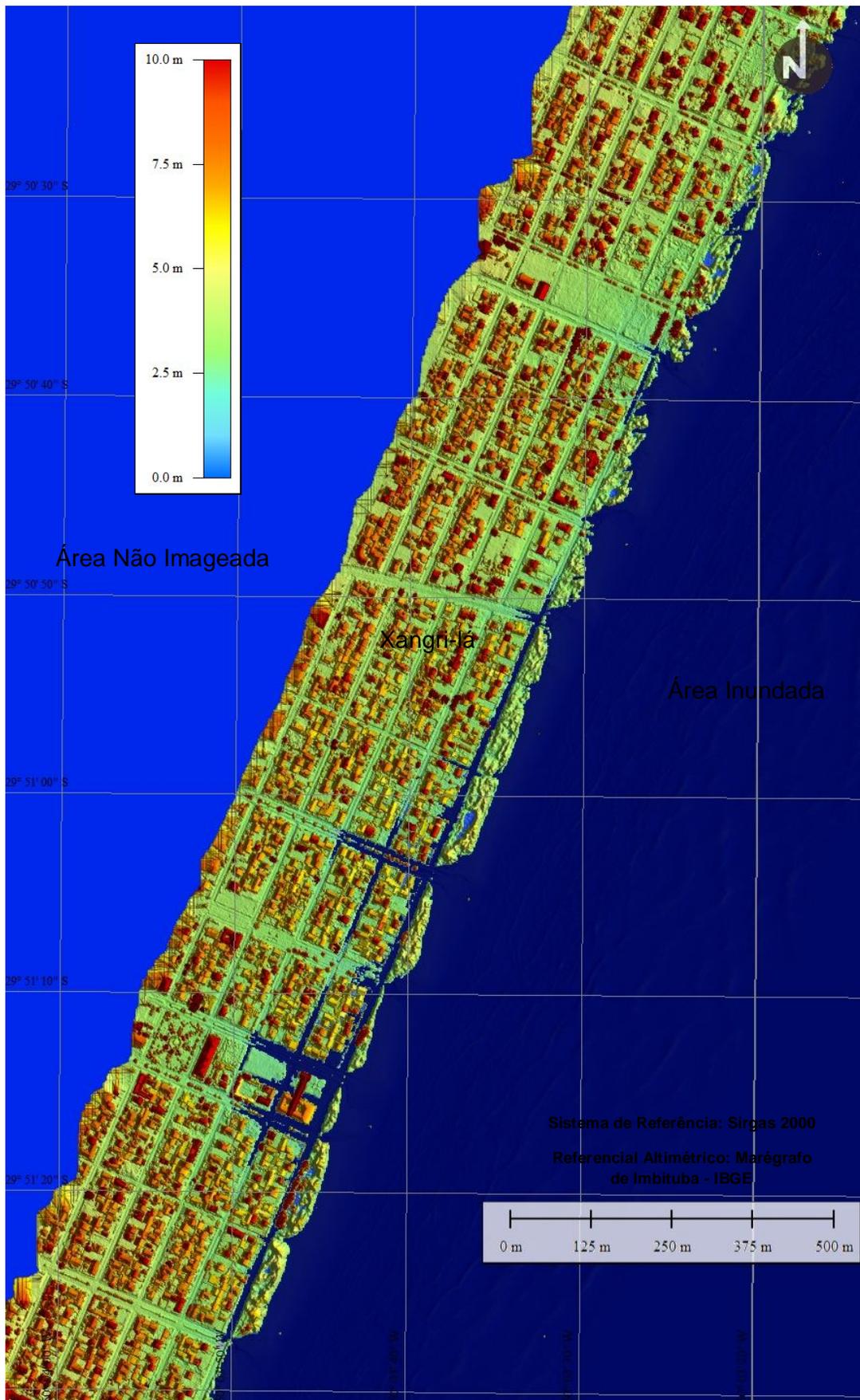


Figura 32. Imagem hipsométrica e área inundada em Xangri-lá.

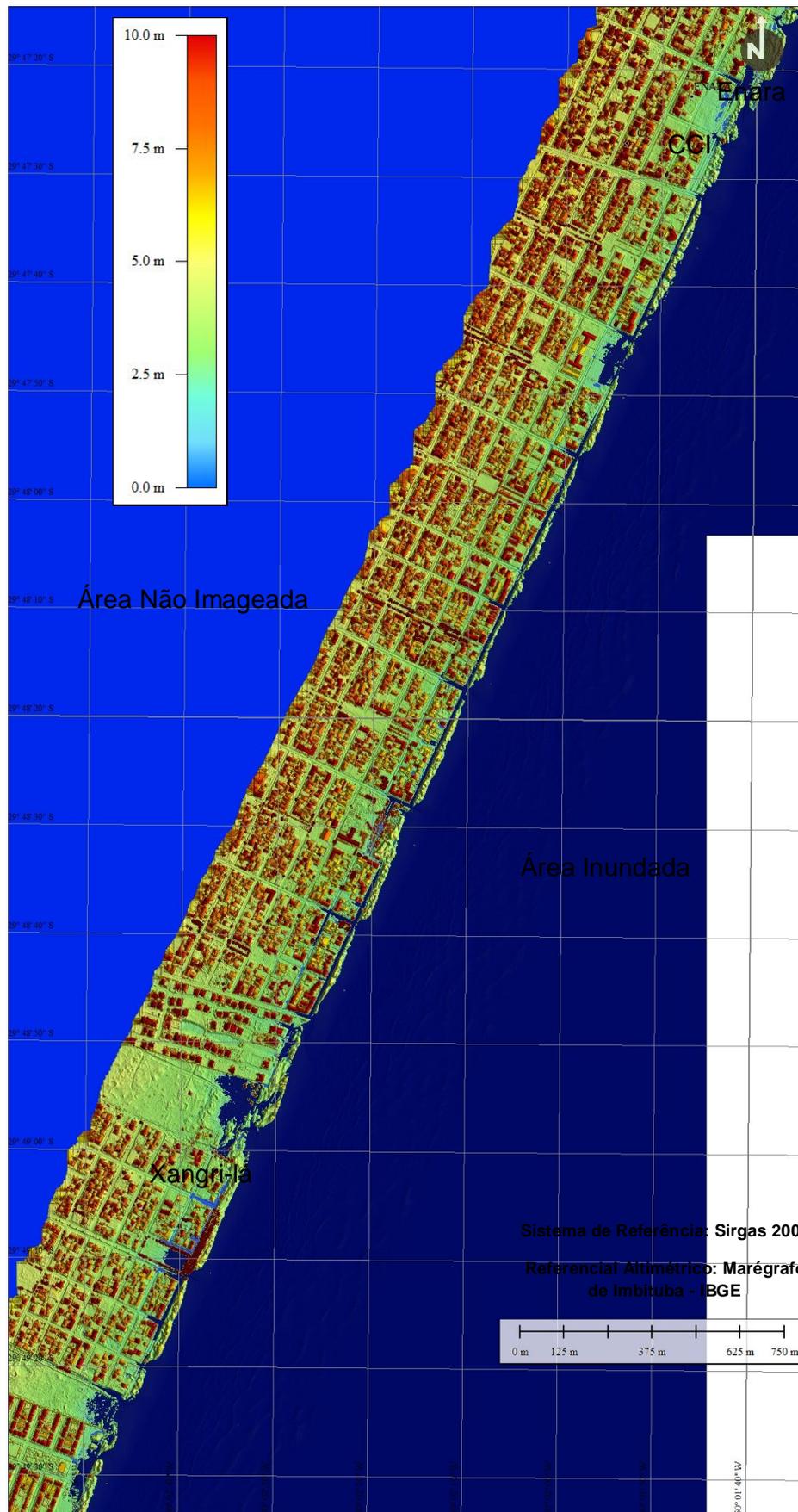


Figura 33. Imagem hipsométrica e área inundada entre Xangri-lá e Enara.

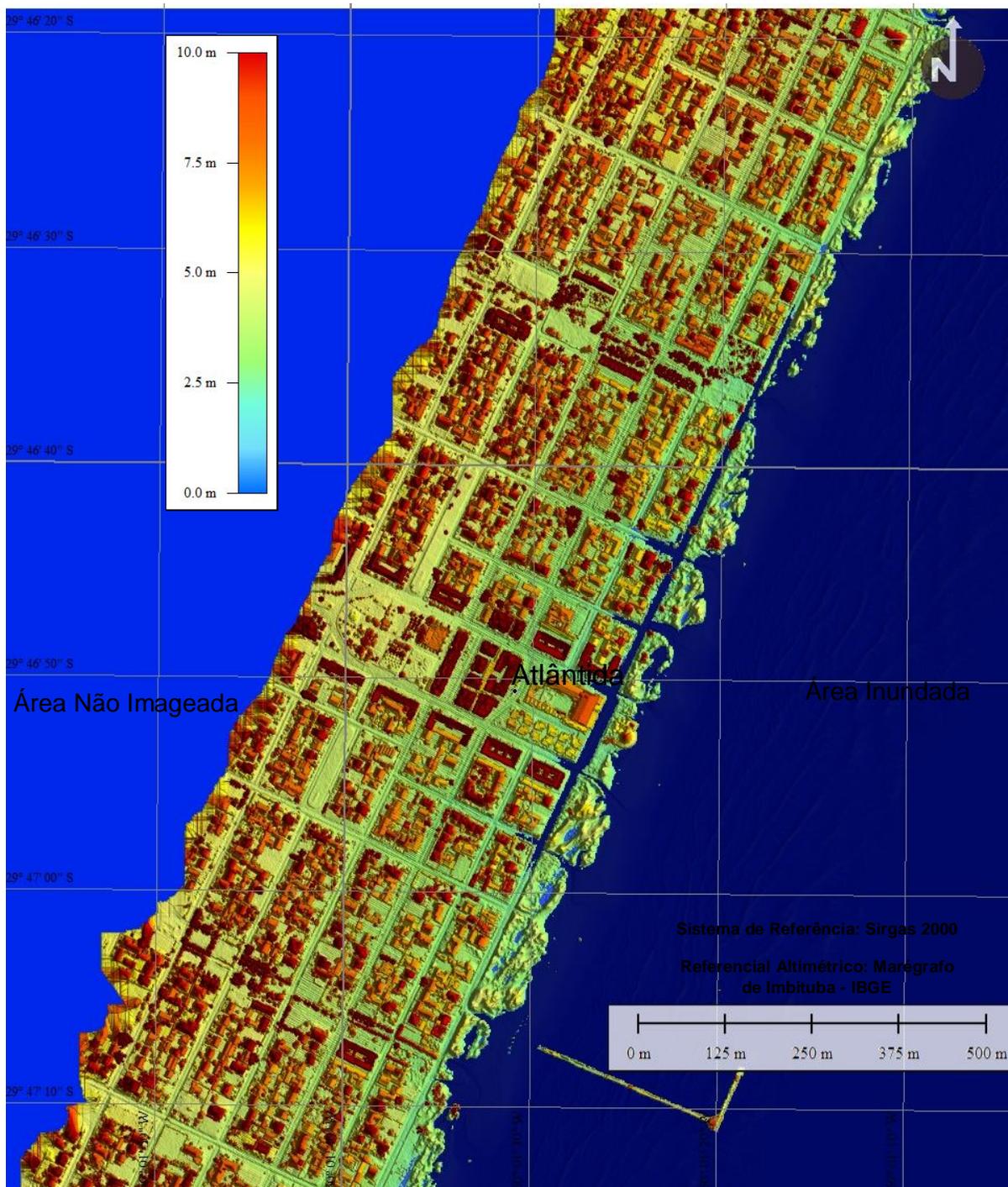


Figura 34. Imagem hipsométrica e área inundada do balneário Atlântida (Xangri-lá).

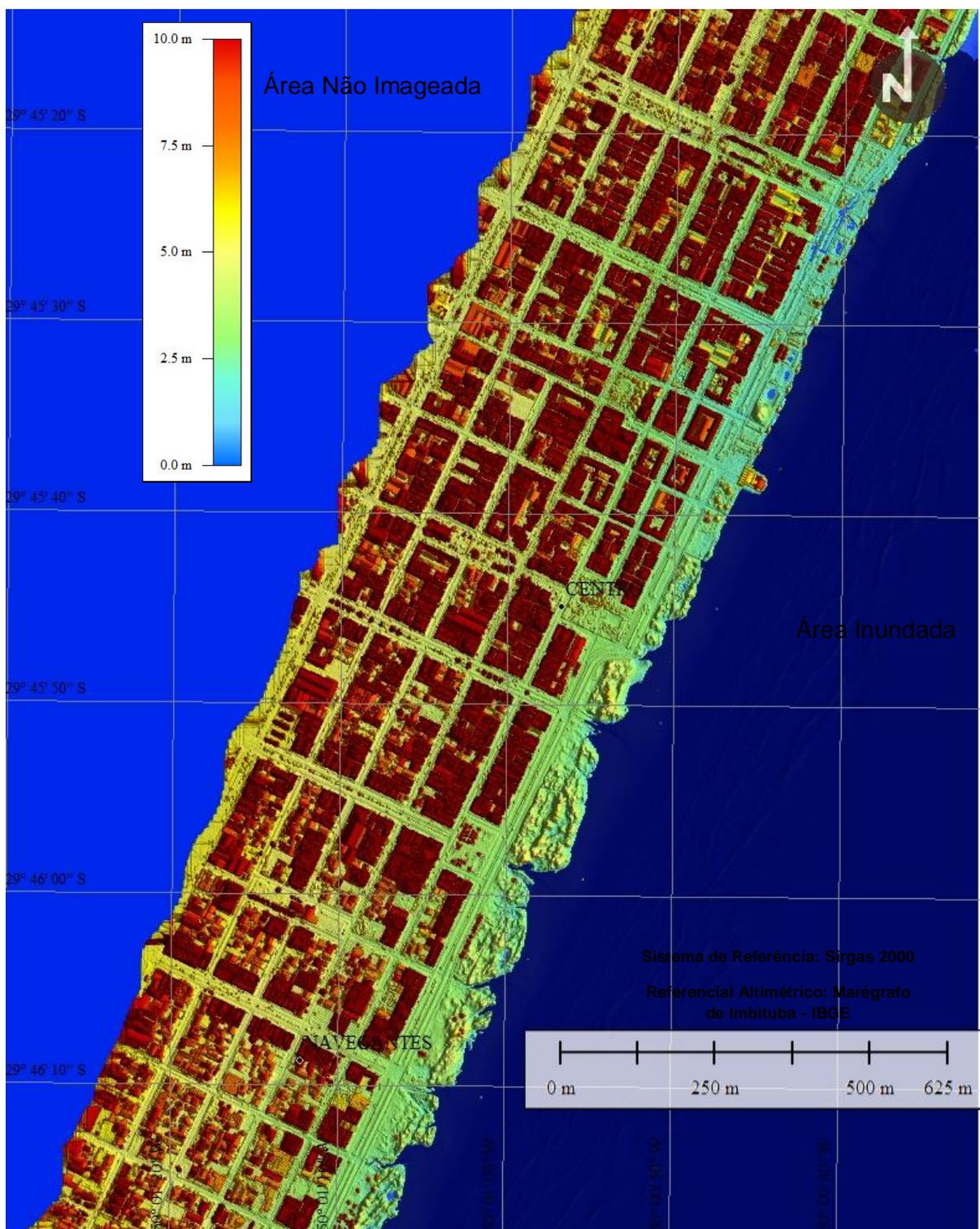


Figura 35. Imagem hipsométrica e área inundada entre os balneários Navegantes e Centro (Capão da Canoa).

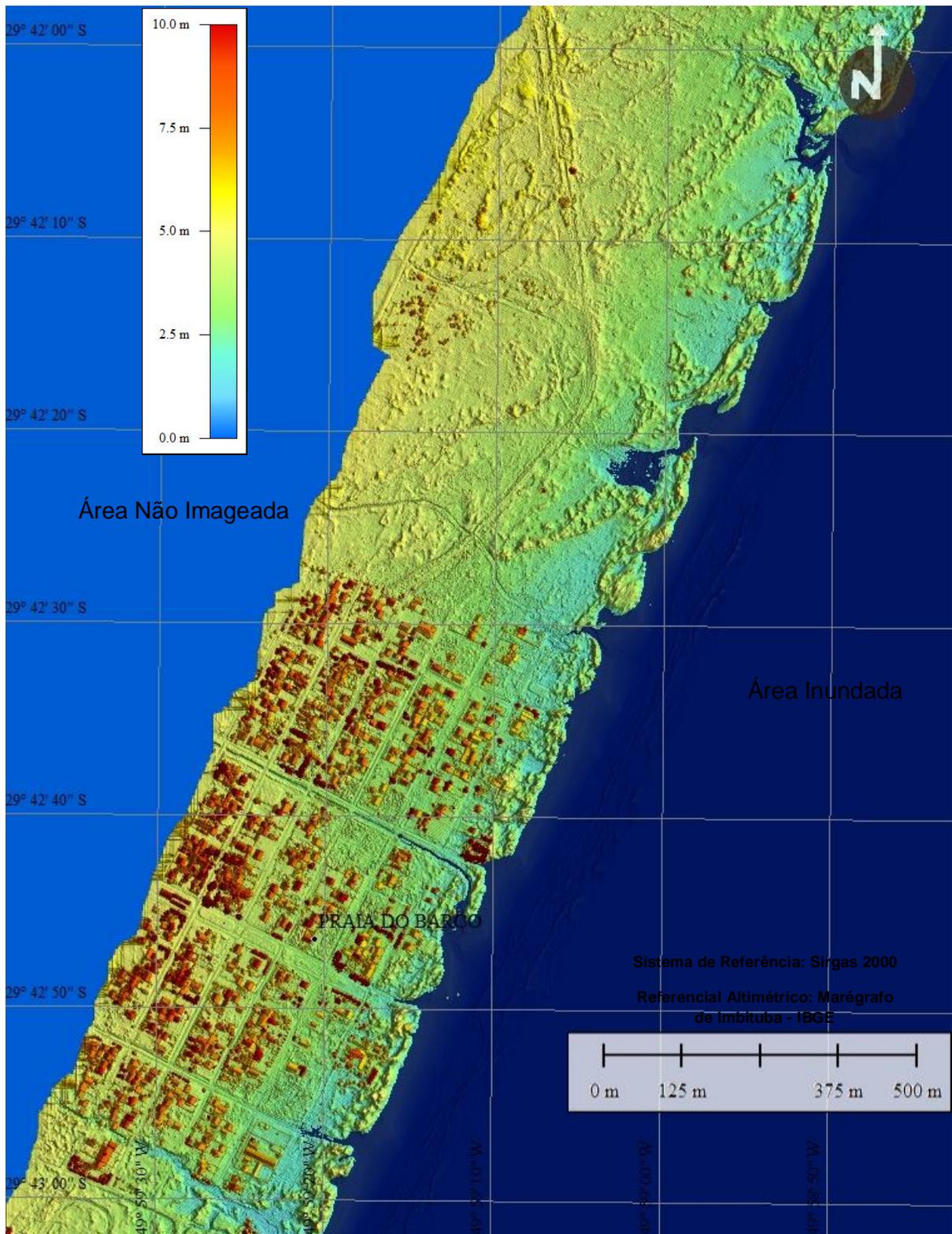


Figura 36. Imagem hipsométrica e área inundada do balneário Praia do Barco (Capão da Canoa).

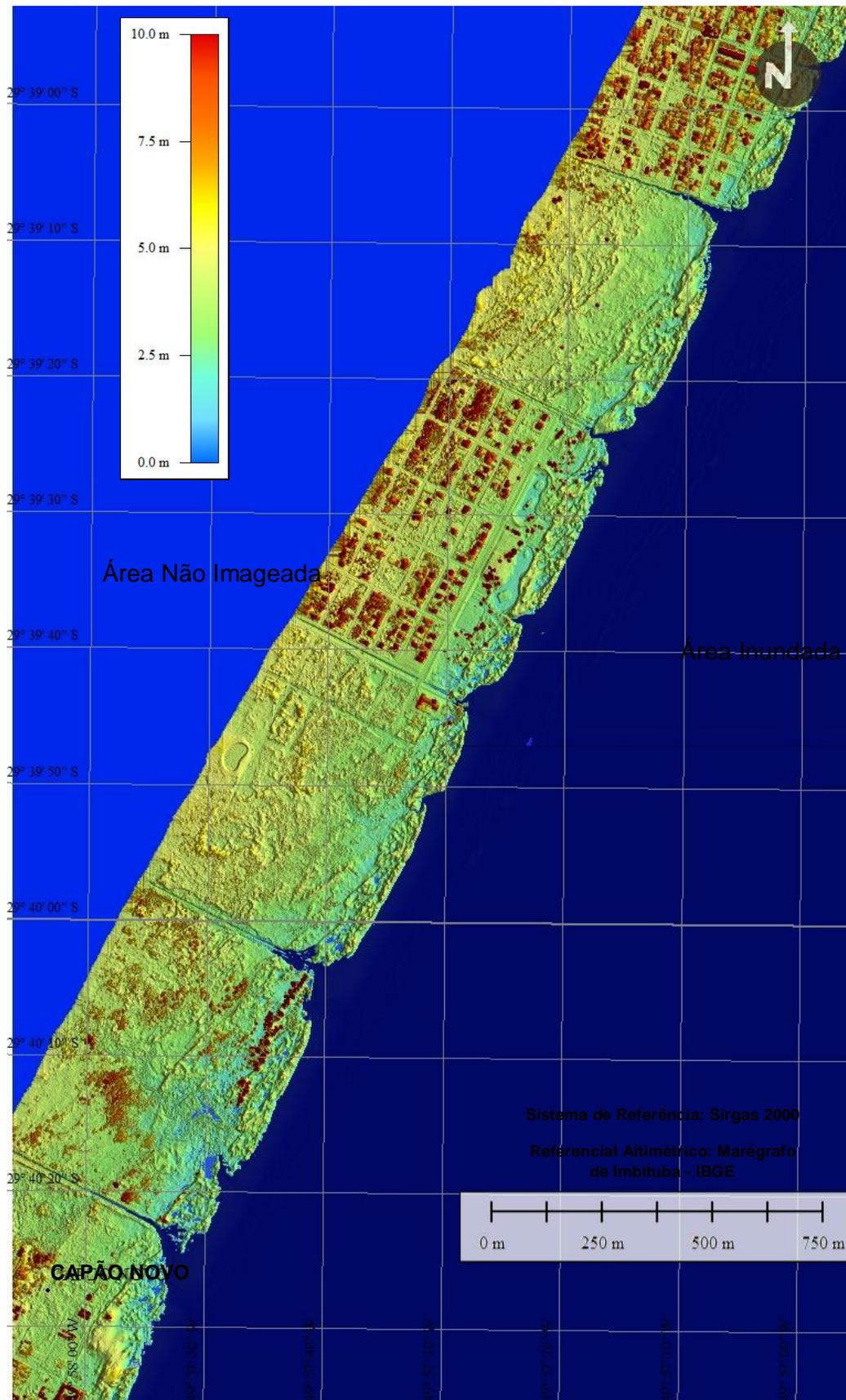


Figura 37. Imagem hipsométrica e área inundada do balneário Capão Novo (Capão da Canoa).

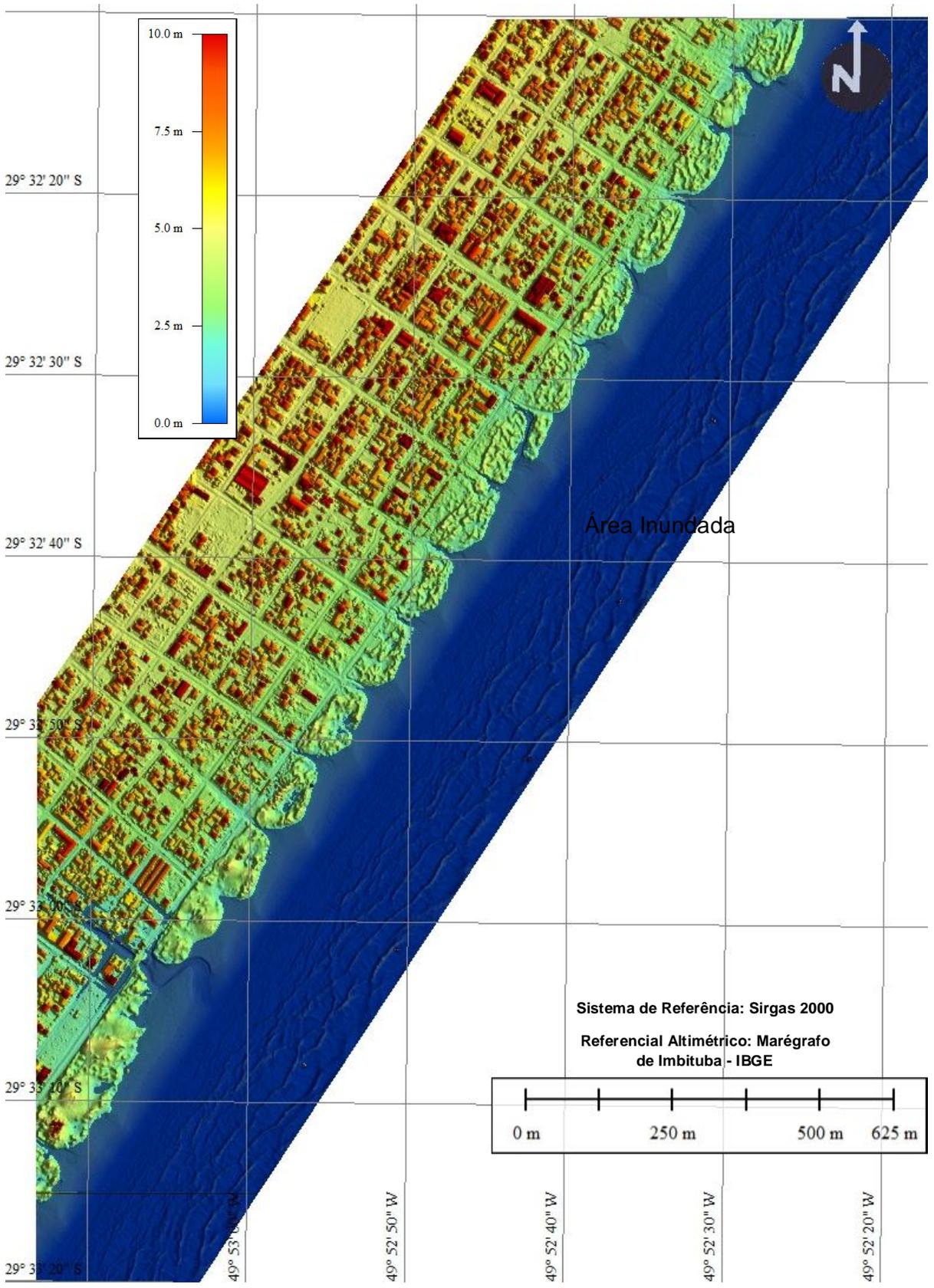


Figura 38. Imagem hipsométrica e área inundada de Arroio do Sal.

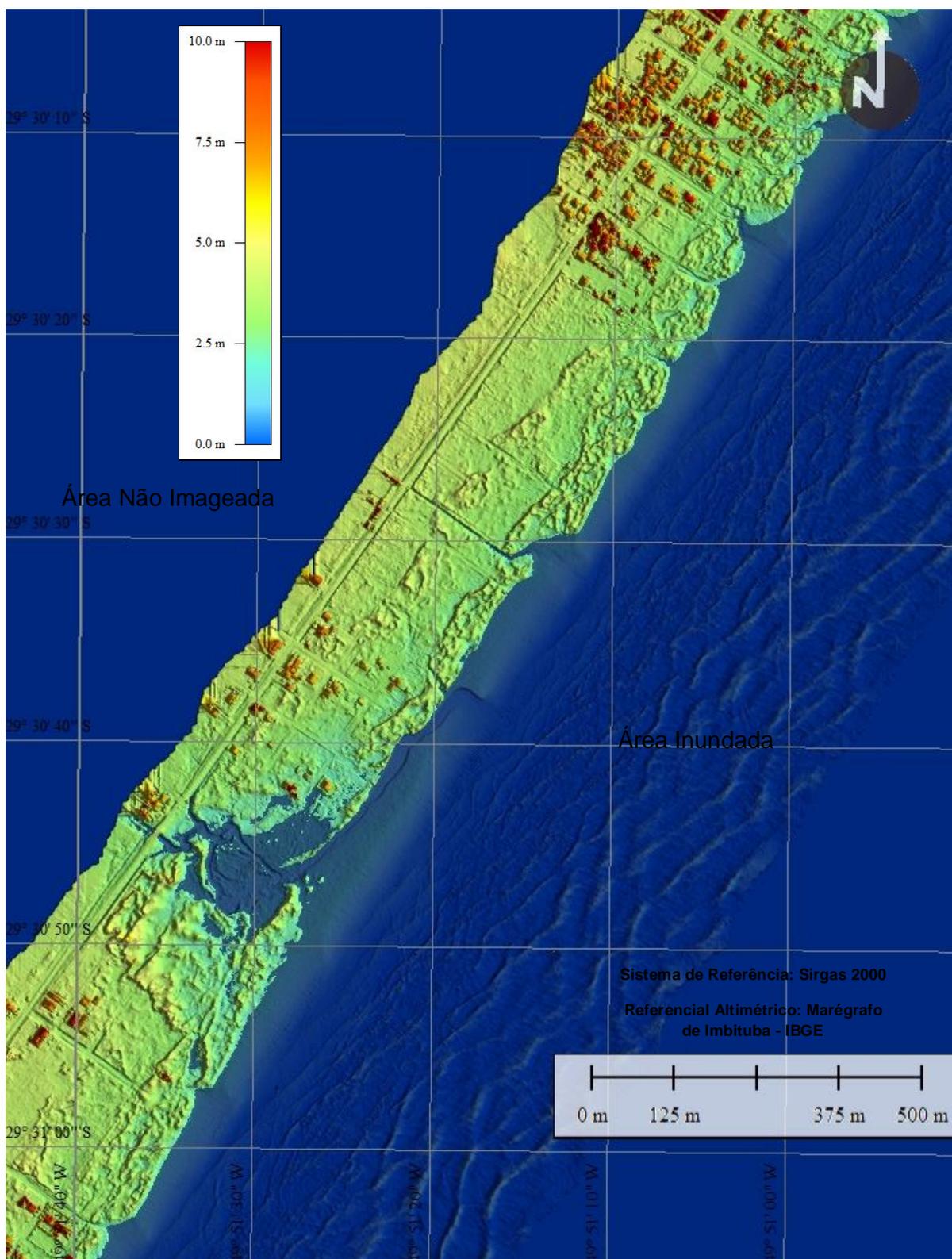


Figura 39. Imagem hipsométrica e área inundada ao norte de Arroio do Sal.

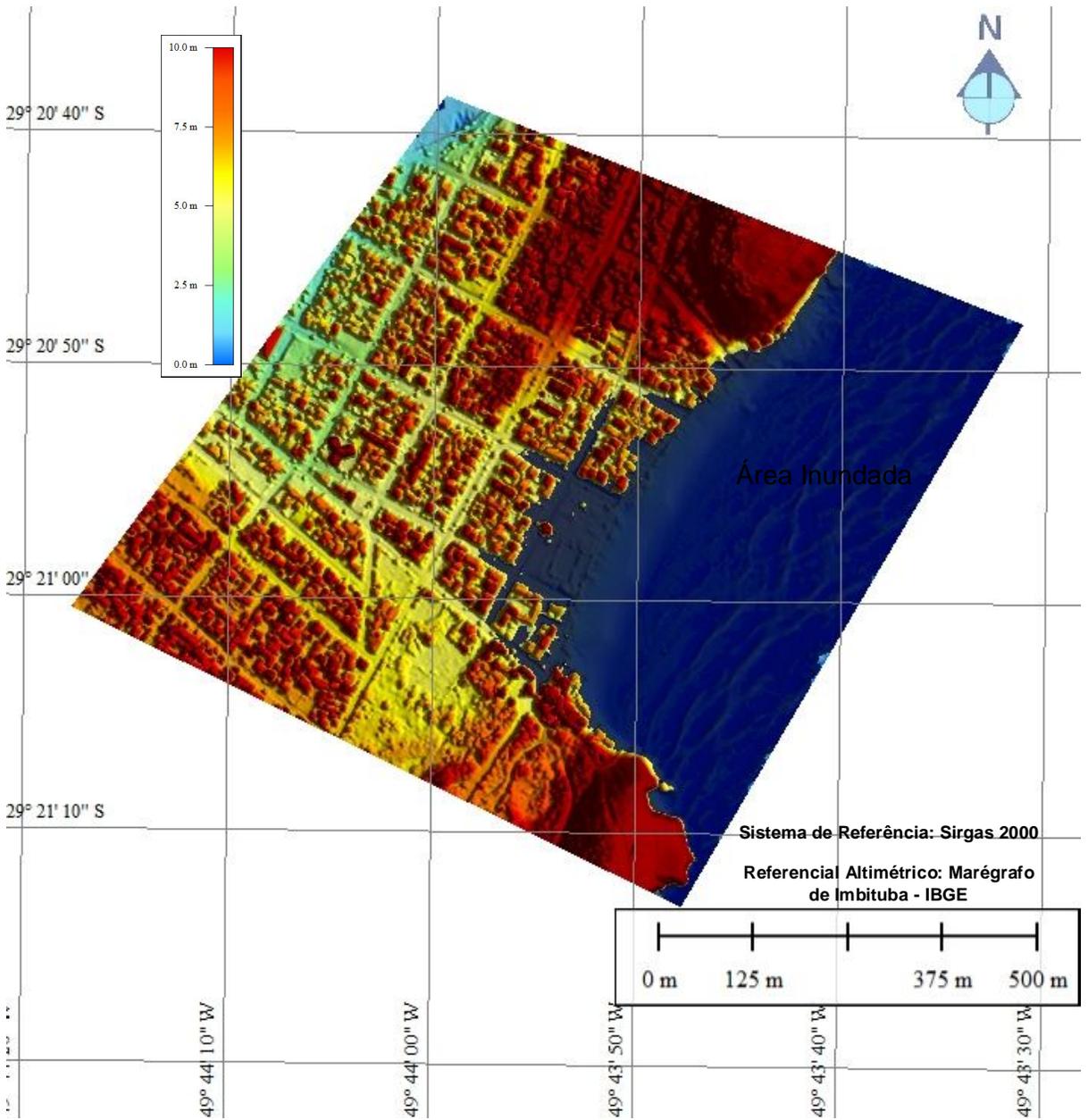


Figura 40. Imagem hipsométrica e área inundada na Praia da Cal (Torres).

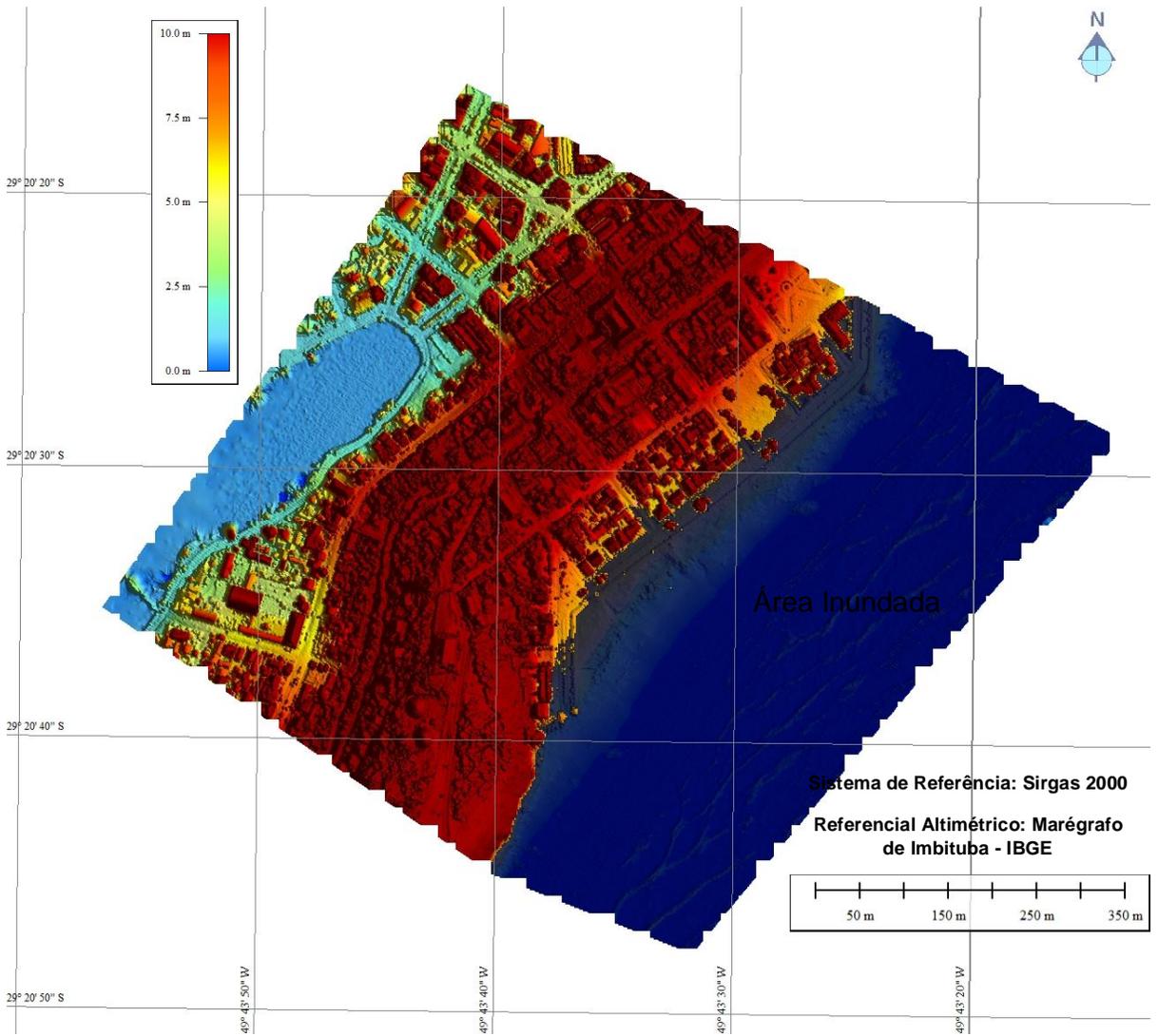


Figura 41. Imagem hipsométrica e área inundada na Prainha (Torres).

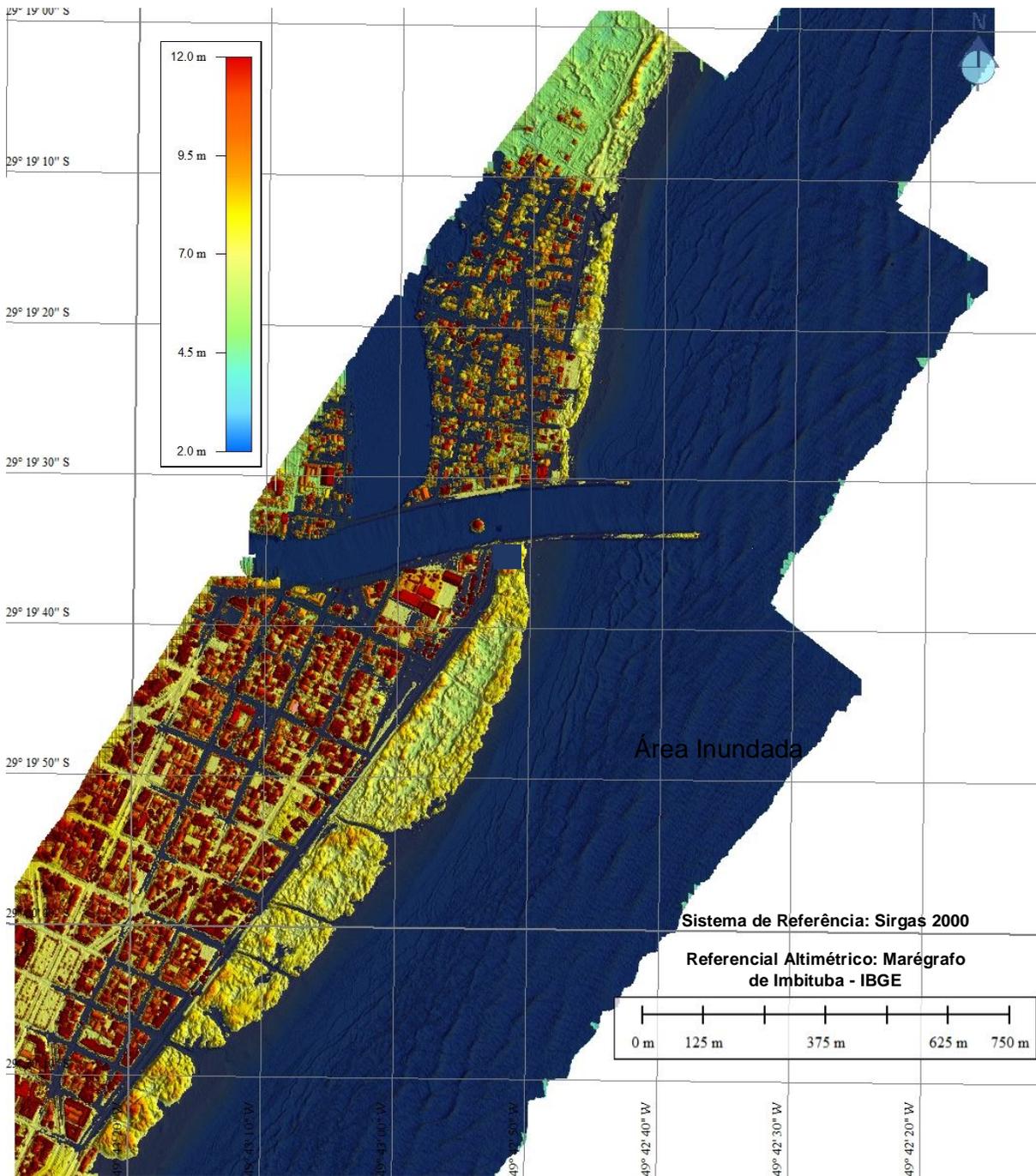


Figura 42. Imagem hipsométrica e área inundada na Praia Grande (Torres).

4. DISCUSSÃO

A ação de ventos no mar gera ondas superficiais de gravidade e induz a tensão de arraste, que é transmitida ao interior do fluido pela viscosidade e turbulência do escoamento, promovendo uma transferência de momentum da atmosfera para o oceano, que põe as águas em movimento (MELO FILHO, 2017).

A partir da análise gráfica das figuras 2 a 13, visualiza-se o ápice do evento no dia 28/10/2016. Nas figuras 2 e 3 percebe-se que o evento teve início registrado no dia 27/10/2016 às 3:00 hs (UTC) pela estação meteorológicas em Tramandaí e às 4:00 hs (UTC) do mesmo dia em Torres, com a estabilização do vento na direção WSW, direção essa que se manteve até às 12:00 hs (UTC) em Tramandaí e 6:00 hs (UTC) de 29/10/2016 em Torres. Essa direção favorece o empilhamento de água na costa do RS devido ao transporte de Ekman. No hemisfério sul, ventos paralelos à costa induzem um transporte de água em direção ao continente situado à esquerda. Como a costa é impermeável, a água vai se acumulando, ocasionando sobre elevação no nível do mar, ou seja, uma MM positiva (MELLO FILHO, 2017).

MM positivas estão relacionadas a ciclones no oceano Atlântico sobre a plataforma continental, os mesmos movem-se em direção a costa e podem permanecer na região por dias, gerando ondas e ventos de alta intensidade (MAIA; CALLIARI; NICOLODI, 2016).

A alteração na direção do vento incidente foi acompanhada pelo aumento nas velocidades médias registradas por ambas estações a partir do dia 27/10/2016 às 18:00 hs (UTC) em Tramandaí e às 23:00 hs (UTC) em Torres, aumento que se estendeu por 24 hs. As rajadas também tiveram acréscimos em suas velocidades a partir do 27/10/2016 às 17:00 hs (UTC) em Tramandaí e às 20:00 hs (TC) em Torres, chegando a 93 km/h. Fortes rajadas ocorreram até às 6:00 hs (UTC) de 29/10/2016.

A incidência de ventos com maior velocidade média e fortes rajadas na direção WSW por si só promovem condições para a sobre elevação do nível médio do mar. Porém o evento foi potencializado pela elevação na altura média das ondas em águas profundas, esse aumento teve início às 7:00 hs (UTC) de 27/10/2016 estendendo-se até às 19:00 hs de 29/10/2016. Nesse intervalo de dois dias ocorreu, também, acréscimo nas alturas máximas registradas pela bóia Rio Grande, que atingiu 9,5 m no pico do evento (28/10/2016). A partir do dia 27/10/2016 houve incremento aproximado de 8 s no período médio das ondas, chegando ao máximo de 15,4 s no auge do evento.

A redução na pressão atmosférica a partir das 8:00 hs (UTC) de 26/10/2016 atingiu o valor mínimo de 995,25 milibar. Segundo a teoria do barômetro inverso (BENAVENTE, 2006) a queda de 1 milibar na pressão atmosférica corresponde a uma elevação de 1 cm no nível médio do mar. Durante o evento ocorreu uma queda máxima de 31 milibares, promovendo uma subida no nível médio do oceano de 31 cm.

O aumento no nível da desembocadura da Laguna de Tramandaí teve início no dia 27/10/2016 às 8:00 hs (Brasília), essa elevação ocorreu pela entrada de águas oceânicas na desembocadura do mesmo. O evento provocou uma elevação superior a 1 m acima do

nível médio, elevação que ocasionou grandes inundações nos balneários Barra (Tramandaí) e Balneário Imbé. Na Tabela 1 foram apresentadas imagens de ruas adjacentes ao rio impactadas e na figura 28 apresenta-se a extensão dos impactos nos balneários.

Barra e Balneário Imbé (FIGURA 28) situam-se na região mais suscetível a inundações promovida por elevação do nível do mar na área de estudo. Por não possuir dunas frontais, em Balneário Imbé a água se dispersa sobre o calçadão e invadindo e inundando ruas (GUIMARÃES et al., 2015). Na Barra as inundações estenderam-se por 1 km ao sul da desembocadura da Laguna de Tramandaí, inundando as 6 primeiras quadras do balneário. Em Balneário Imbé, as inundações chegaram a 250 m ao norte da desembocadura, alagando as 5 primeiras quadras do balneário. Essa região está situada na menor altitude da área de estudo, sendo suscetível a inundações por águas oceânicas durante MM e por continentais em precipitações extremas. Próximo a desembocadura, dentro do estuário, as áreas de baixas altitudes não protegidas por dunas frontais foram indicadas por Guimarães et al. (2015) como sendo muito vulneráveis.

De acordo com a Tabela 1 foram inundadas áreas com altitude média abaixo de 2,30 m. Elevações superiores a 2,00 m são suficientes para deixar a praia subaérea submersa. Efeito semelhante foi observado por Maia, Calliari e Nicolodi (2016) no balneário Hermenegildo, na costa sul do RS, e por Guimarães et al. (2015) em Tramandaí e Imbé.

Pelas fotos tomadas durante o evento, percebe-se que as águas acessam os balneários através de sangradouros criados pela drenagem urbana de ruas perpendiculares às dunas frontais. Sangradouros possibilitaram que as águas ultrapassem, em diversos balneários, a segunda quadra. Em Tramandaí, Capão da Canoa e Imbé as mureta e calçadões conferiram certo grau de proteção aos balneários, porém, em Imbé, o calçadão foi parcialmente destruído (FIGURA 43).



Figura 43. Calçadão e mureta de contenção parcialmente destruídos em Balneário Imbé.

As dunas frontais conferiram uma boa proteção a costa durante o evento, barrando a intrusão de águas oceânicas em direção ao continente, havendo apenas perdas sedimentares e formações de escarpas erosivas, como verificado no trecho imageado em Dunas Altas (FIGURA 15) onde mensurou-se perdas de $423,39 \text{ m}^3$ ($0,74 \text{ m}^3/\text{m}$). Ao sul desse balneário formaram-se escarpas erosivas com mais de $4,00$ (FIGURA 44).



Figura 44. Escarpa erosiva em Dunas Altas.

Nos balneários com dunas frontais preservadas, a perda volumétrica foi menor quando comparada a balneários que tiveram suas dunas frontais subtraídas, como Zona A onde as perdas sedimentares chegaram a 2841,98 m³ (3,54 m³/m). A fim de comparação, um caminhão caçamba transporta entre 10 a 12 m³ de areia (WEB-RESOL, 2017). Dessa forma ocorreu em Dunas Altas uma perda aproximada de 35 caminhões, já em Zona A a perda aproximada foi de 236 caminhões. Nos balneários Costa do Sol e Zona A, ambos em Cidreira, observou-se colapso na primeira linha de edificações (FIGURA 17). Edificações de baixo padrão foram as mais impactadas (FIGURA 45 e 46).



Figura 45. Danos em edificações de baixo padrão em Zona A.



Figura 46. Edificações colapsadas em Zona A (Cidreira).

A simulação do evento possibilitou a visualização das áreas suscetíveis em todos os balneários da região de estudo. Essas informações podem ter aplicação no planejamento e gerenciamento do uso da terra nas áreas costeiras (RAJI, et al. 2011). Em Dunas Altas (FIGURA 18) vislumbra-se a boa proteção conferida pelas dunas frontais durante o evento, as mesmas evitam a entrada das águas no balneário. O acesso de águas oceânicas se dá pelos sangradouros nos extremos da imagem e chegaram a mais de 200 m além da base da duna frontal. Assim como as dunas frontais, as regiões interdunas (FIGURA 18 e 19) servem como área de amortecimento durante MM, infiltrando as águas e desacelerando o fluxo em direção ao continente.

No Centro de Palmares do Sul (FIGURA 20), as inundações foram provocadas pela entrada das águas pelos sangradouros, há 1 sangradouro a cada 100 m. Ao norte da imagem, houve inundação na avenida adjacente às dunas frontais e o alagamento chegou a 200 m além das dunas frontais. O mesmo cenário, promovido pelo grande número de sangradouros, foi observado em Magistério e Pinhal Sede (FIGURAS 21 a 23) com inundação atingindo a primeira quadra e estendendo-se por mais de 250 m das dunas frontais em Balneário Pinhal. Regiões interdunares conferiram uma boa proteção em Pinhal Sul (FIGURA 21). Inundações estendem-se até a terceira quadra em Balneário Pinhal Sede (FIGURA 22).

Edificações ocupando as áreas das antigas dunas frontais são frequentes a partir de Magistério, estendendo-se até o Centro de Cidreira. Nessa extensão observou-se impactos sobre edificações, que são mais intensos a partir de Costa do Sol (FIGURA 24). Nesse balneário, as inundações chegam a segunda quadra. Próximo ao Terminal Turístico de Cidreira (FIGURA 26) ocorreu entrada de água através de sangradouro e a inundação chegou próximo à Avenida Mostardeiro. Nesse ponto houve boa proteção fornecida pela região interdunar. O calçadão do Centro de Cidreira (FIGURA 23) forneceu uma boa proteção durante o evento, a intrusão de águas oceânicas se deu ao norte próximo de Nazaré, com a inundação chegando novamente próximo à Avenida Mostardeiro.

O trecho entre Morada do Sol e Santa Terezinha (FIGURAS 29 e 30) é suscetível a inundações pela sequência de sangradouros, quase 1 sangradouro a cada 100 m, o que possibilita inundações além da segunda quadra. Em Presidente (FIGURA 29) o recuo das edificações, próximo a 125 m, confere certa proteção as mesmas visto que as regiões interdunas desaceleram o avanço das águas.

Xangri-lá teve até a terceira quadra inundada (avanço superior a 150 m além das dunas frontais). Impactos semelhantes repetiram-se por toda a extensão do município, com inundações estendendo-se por 1 km ao longo da Avenida Beira Mar em Xangri-lá (FIGURA 32) e 500 m em Atlântida (FIGURA 34). Entre Capão da Canoa e Arroio do Sal (FIGURAS 35 a 39) houve impactos de pequena extensão, devido a melhor urbanização e preservação das dunas frontais. Em Capão da Canoa, a canalização de sangradouros evitou inundações na avenida Beira Mar entre os Navegantes e Centro.

As regiões interdunares existentes conferiram boa proteção nos balneários Praia do Barco e Capão Novo (FIGURAS 36 e 37). No Centro de Arroio do Sal (FIGURA 38) houve apenas um ponto impactado, com as águas atingindo a segunda quadra, 100 m a partir das dunas frontais. No trecho preservado do Arroio do Sal (FIGURA 39) houve entrada de água a partir de um grande sangradouro, porém a água foi infiltrada pela região interdunar.

Na Praia da Cal (FIGURA 40) e Prainha (FIGURA 41) ocorreram grandes impactos devido a pequena largura da praia subaérea e conseqüente menor espaço para dissipação da energia das ondas. Nesses balneários, as inundações atingiram a primeira quadra e, na Prainha, ocorreu inundações em toda extensão da Avenida Beira Mar. Grandes impactos foram verificados na Praia Grande, nesse balneário o aumento no nível do Rio Mampituba, assim como em Tramandaí, provocou grandes inundações no balneário, que se estenderam por 1,5 km ao sul do rio. O acesso de águas a partir de caminhos entre as dunas também contribuiu para a inundação das ruas paralelas às dunas frontais.

5. CONCLUSÕES

O evento teve início no dia 27/10/2016 com a alteração e estabilização da direção do vento na orientação WSW e com o aumento na altura significativa das ondas registrada ainda em águas profundas. Rajadas de alta velocidade somaram-se ao cenário de MM aumentando a área inundada. No evento, altitudes acima de 2,00 m foram impactadas, sinalizando que mesmo áreas elevadas são suscetíveis, desde que próximas ao perfil ativo da praia.

A entrada de águas oceânicas nas desembocaduras dos rios Tramandaí e Mampituba promoveram grandes inundações nos balneários adjacentes devido ao aumento em seu nível, que chegou a 1,13 m em Tramandaí. O fato da área de estudo ser amplamente habitada possibilitou que diversos registros em fotos e vídeos fossem realizados das áreas impactadas no evento. Tais registros foram de grande utilidade para a demarcação das áreas inundadas nos MDS. A disponibilidade de dados cartográficos de alta resolução planialtimétrica é primordial para a demarcação das áreas suscetíveis e para a reconstrução dos impactos provocados pelas MM em áreas costeiras.

O pacote Simulate Water Level Rise/Flooding foi de grande utilidade para a reconstrução e mapeamento dos pontos inundados pela MM. As simulações evidenciaram a proteção conferida pelas dunas frontais. As regiões interdunares conferem uma boa proteção também a costa, visto que desacelera o avanço das águas pelo atrito com a vegetação e pela infiltração. A preservação dessas áreas, conjuntamente com as dunas frontais, são importantes medidas preventivas para a redução dos efeitos das MM.

O aumento dos impactos devido a entrada de água por sangradouros também ficou evidente no estudo. No litoral norte do RS ocorrem muitos sangradouros formados pela ação antrópica a partir da drenagem urbana de ruas e por caminhos sobre as dunas. Os mesmos permitem que as águas ingressem além de 200 m da base a sotavento das dunas frontais em diversos balneários. A remoção desses sangradouros e reconstrução das dunas frontais consiste em uma medida importante para prevenção de inundações costeiras.

O aumento da área impermeabilizada também é responsável por elevar os impactos nos balneários durante MM, visto que ocasionam o aumento no escoamento superficial e, conseqüentemente aceleram processos erosivos. Quando ocorrem precipitações extremas, a impermeabilização diminui o tempo de concentração e potencializa a ação erosiva dos sangradouros.

Balneários mal urbanizados sobre o perfil ativo da praia (Zona A e Costa do Sol) são de grande suscetibilidade. O colapso das edificações em eventos de MM dessa magnitude

é inevitável nesses balneários. As imagens geradas podem ser de grande utilidade para os gestores no planejamento de medidas para minimizar danos durante MM.

6. REFERÊNCIAS

ALBENESANTISTA. **Dia seguinte da ressaca em Capão da Canoa 29/10/16.** <<https://www.youtube.com/watch?v=mYFqispZkOs>>. Acesso em: 14 nov. 2017.

BACKES, Logan. **Ressaca vídeo 1 Praia do Quintão 28 de Outubro de 2016.** 2016. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=XKdgTddq1ZY>>. Acesso em: 14 nov. 2017.

BENAVENTE, J. et al. Coastal flooding hazard related to storms and coastal evolution in Valdelagrana spit (Cadiz Bay Natural Park, SW Spain). **Continental Shelf Research**, [s.l.], v. 26, n. 9, p.1061-1076, jun. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.csr.2005.12.015>.

CALLIARI, L. J.; SILVA, R. P. Erosion processes associated to storm surge and washout along the south brazilian coastline. **Journal of Coastal Research**, v. 26, n.SI, p. 1-7, 1998.

CAMPOS, Jonas. **Água invadiu avenida Beira-Mar na praia de Atlântida, em Xangri-la.** 2016. 1 fotografia.

CANAL NET TV. **Ciclone em Xangri-lá (RS), Ressaca do mar, agua invade as ruas e quadras.** <https://www.youtube.com/watch?v=m99ak4EPO_k>. Acesso em: 14 nov. 2017.

CANAL NET TV 1. **Ciclone em Torres (RS), Ressaca historica do mar, imagens nunca vistas.** < https://www.youtube.com/watch?v=_BfMalZlvwo>. Acesso em: 14 nov. 2017.

CARDONA, O.D. et al. Determinants of risk: exposure and vulnerability. In: FIELD, C. B. et al. **Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation.** Cambridge: Cambridge University Press, 2012. p. 65-108.

DE COUTO, Mario Fernando Garcez. **Capão da Canoa/RS hoje às 11:00hs.** <<https://www.youtube.com/watch?v=A9tv6J-6We0>>. Acesso em: 14 nov. 2017.

<<https://www.youtube.com/watch?v=LfIXNaJnBwA>>. Acesso em: 14 nov. 2017.

DUTRA, Flávia Regina Lacerda Suassuna. **MARÉS METEOROLÓGICAS E OS EPISÓDIOS DE EROSÃO COSTEIRA SEVERA NO LITORAL DE SALVADOR/BA**. 2008. 166 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2008.

GOOS-BRASIL. **PROGRAMA NACIONAL DE BOIAS**. 2017. Disponível em: <<http://www.goosbrasil.org/pnboia/>>. Acesso em: 14 out. 2017.

GUIMARÃES, P. V.; FARINA, L.; TOLDO JUNIOR, E. E.. Analysis of extreme wave events on the southern coast of Brazil. **Natural Hazards And Earth System Science**, [s.l.], v. 14, n. 12, p.3195-3205, 3 dez. 2014. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-14-3195-2014>.

GUIMARÃES, Pedro Veras et al. Numerical simulation of extreme wave runup during storm events in Tramandaí Beach, Rio Grande do Sul, Brazil. **Coastal Engineering**, [s.l.], v. 95, p.171-180, jan. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.coastaleng.2014.10.008>.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Estações Automáticas**. 2017. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesautomaticas>>. Acesso em: 14 out. 2017.

LITORALMANIA. **Prefeitura recolhe animais mortos após ressaca do mar em Cidreira**. 2016. Disponível em: <<http://www.litoralmania.com.br/ciclone-prefeitura-recolhe-animais-mortos-apos-ressaca-em-cidreira/>>. Acesso em: 14 out. 2017.

MACHADO, Arthur A. et al. Historical assessment of extreme coastal sea state conditions in southern Brazil and their relation to erosion episodes. **Pan-american Journal of Aquatic Sciences**, v. 2, n. 5, p.277-286, out. 2010.

MACHADO, Juarez. **[Mar invade orla e ruas no litoral norte gaúcho - GES]**. 2016. 3 fotografias.

MAIA, Natan Zambroni; CALLIARI, Lauro Julio; NICOLODI, João Luiz. Analytical model of sea level elevation during a storm: Support for coastal flood risk assessment associated with cyclone passage. **Continental Shelf Research**, [s.l.], v. 124, p.23-34, ago. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.csr.2016.04.012>.

MELO FILHO, Eloi. **MARÉ METEOROLÓGICA NA COSTA BRASILEIRA**. 2017. 328 f. Tese Professor Titular, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2017.

MUSSI, Carolina Schmanech. **AVALIAÇÃO DA SENSIBILIDADE AMBIENTAL COSTEIRA E DE RISCO À ELEVAÇÃO MÉDIA DOS OCEANOS E INCIDÊNCIA DE ONDAS DE TEMPESTADE: UM ESTUDO DE CASO PARA ILHA DE SANTA CATARINA, SC**. 2011. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2011.

OLIVEIRA, Matias Pacheco de. **Análise dos Parâmetros Meteorológicos e Oceanográficos de um Evento de MM Ocorrido em Tramandaí**. 2008. 59 f. TCC (Graduação) - Curso de Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

O SUL. **Maior ressaca em quase 20 anos provoca ondas de até 5 metros no Litoral Norte gaúcho**. 2016. Disponível em: <<http://www.osul.com.br/maior-ressaca-em-quase-20-anos-provoca-ondas-de-ate-5-metros-no-litoral-norte-gaucha/>>. Acesso em: 14 out. 2017.

PARISE, Cláudia Klose; CALLIARI, Lauro Júlio; KRUSCHE, Nisia. Extreme storm surges in the south of Brazil: atmospheric conditions and shore erosion. **Brazilian Journal of Oceanography**, [s.l.], v. 57, n. 3, p.175-188, set. 2009. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1679-87592009000300002>.

RAJI, O. et al. The use of LIDAR data for mapping coastal flooding hazard related to storms in Cádiz Bay (SW Spain). **Journal of Coastal Research**, [s.l.], n. 64, p.1881-1885, 2011.

SANSON, Alexis. **A força da água chegou a "engolir" parte da grama da Prainha**. 2016. 1 fotografia.

SARAIVA, Ingrid Strassburger. **Ressaca em Mariluz**. <https://www.youtube.com/watch?v=_6w_glzgO2A>. Acesso em: 14 nov. 2017.

SARAIVA, Jaci M. B.; BEDRAN, Carolina; CARNEIRO, Cristiane. Monitoring of Storm Surges on Cassino Beach, RS, Brazil. **Journal Of Coastal Research**, v. [s.i.], n. 35, p.323-331, spring 2003.

SOARES, Liege. **[Imagens da ressaca em Torres]**. 2016. 2 fotografias.

SOUZA, Alina. **Água do mar invadiu os quiosques na beira da praia**. 2016. 1 fotografia.

SOUZA 1, Alina. **[Ondas chegam ao calçadão em Capão da Canoa]**. 2016. 1 fotografia.

SUPERINTENDÊNCIA DE PORTOS E HIDROVIAS. **[Inundações em Balneário Imbé]**. 2016. 3 fotografias.

VIANNA, H. D.; CALLIARI, L. J. Variabilidade do sistema praia-dunas frontais para o litoral norte do Rio Grande do Sul (Palmares do Sul a Torres, Brasil) com o auxílio do Light Detection and Ranging – LIDAR. **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, v. 2, n. 42, p.141-158, Mai-ago. 2015.

Web-Resol. **Caminhão Basculante de 10/12 m³**. 2017. Disponível em: http://www.web-resol.org/site/especificacoes_tecnicas2.php?id=27. Acesso em 14 out. 2017.

WEBSTER, Tim L. et al. Using topographic LIDAR to map flood risk from storm-surge events for Charlottetown, Prince Edward Island, Canada. **Canadian Journal Of Remote Sensing**, [s.i.], v. 30, n. 1, p.64-76, 2004.

ZUSE, Milton. **"O MAR EM ARROIO DO SAL-RS,INUNDA..VER"**. <<https://www.youtube.com/watch?v=hv89LCxZmP4>>. Acesso em: 14 nov. 2017.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudos ecológicos de dunas frontais podem ser efetuados de forma rápida e precisa com a metodologia proposta no capítulo 1, desde que existam modelos digitais de terreno ou superfície disponíveis. A popularização de veículos aéreos não tripulados permite a produção multi temporal de tais produtos.

Na região de estudo, as dunas frontais são bem vegetada e variam entre os estágios morfológicos II e IV de Hesp (1988). O estágio 3 é o mais frequente, indicando que as dunas frontais da região se encontram em estágios erosivos moderados. O percentual de cobertura vegetal não é uma variável determinante para a diferenciação morfológica das dunas frontais na área de estudo. A morfologia encontrada nem sempre corresponde ao descrito por Hesp (1988) para o percentual de cobertura vegetal medido. Isso pode ser explicado pelo intenso grau de urbanização do litoral norte do Rio Grande do Sul, que resulta em feições erosivas antrópicas e naturais.

No litoral norte do Rio Grande do Sul há predominância de areias finas bem a muito bem classificadas em todos ambientes praias. A região apresenta grande uniformidade sedimentológica, com percentuais e tamanho dos grãos semelhantes. O capítulo 2 demonstrou que há aumento nos percentuais de areias finas e redução nos de areias médias da face da praia para as dunas frontais. As análises gráfica e estatística possibilitaram separar os balneários em grupos de acordo com suas propriedades sedimentológicas e morfológicas.

A baixa correlação encontrada entre sedimentologia e morfologia é explicada pelas grandes modificações sofridas pelos balneários devido a urbanização, na qual, por exemplo, a altura das dunas frontais e percentuais de cobertura vegetal não correspondem aos valores que teriam caso o ambiente estivesse preservado. Dunas Altas, balneário preservado, tal correlação se confirma, no mesmo ocorrem dunas frontais de grande altura e altos percentuais de areias finas.

O número de sangradouros, presença de minerais pesados, bioclastos, bioturbações, processos antrópicos, material fonte e ventos explicam as variações sedimentológicas observadas nos grupos formados. Essas variações também são devido ao transporte de sedimentos pela deriva litorânea e por processos meteorológicos atuantes (marés meteorológicas).

Marés meteorológicas são frequentes na área de estudo, no dia 28/10/2016 um evento desse tipo inundou áreas situadas em altitudes inferiores a 2,30 m. Esse evento iniciou um dia antes e teve duração superior a 48 horas. Pelos dados analisados, o evento

começou com estabilização do vento na direção oeste-sudoeste e com o aumento da altura significativa das ondas em águas profundas. Em Tramandaí, a estação meteorológica registrou rajadas de 93 km/h, já a boia Rio Grande registrou, em águas profundas, ondas de 14,8 m de altura.

A disponibilidade de uma base cartográfica de alta resolução planialtimétrica possibilitou identificar precisamente as altitudes inundadas no evento. As altitudes inseridas nessa base permitiram identificar os balneários mais suscetíveis a marés meteorológicas e demarcar as áreas de risco. O mapeamento sinalizou que áreas distantes a mais de 200 m das dunas frontais podem ser atingidas. Isso é possível devido ao acesso proporcionado pelos sangradouros às águas oceânicas.

Balneários mal urbanizados, como Zona A (Cidreira), são muito suscetíveis a marés meteorológicas, pois é inevitável o colapso de edificações nesses eventos. O uso de veículo aéreo não tripulado possibilitou demarcar as escarpas erosivas após o evento nesse balneário, essa medida é necessária para o cálculo do volume sedimentar erodido, que chegou a 3,54 m³/m. A preservação e reconstituição das dunas frontais constituem a principal medida preventiva a ser adotada para redução de áreas de risco.

Os estudos demonstraram que modelos digitais de superfície, produzidos com laser scanning – LIDAR, são uma valiosa ferramenta para estudos costeiros de geomorfologia e de suscetibilidade a inundação por marés meteorológicas.