



www.ugb.org.br
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 20, nº 2 (2019)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v20i2.1473>



DIVERSIDADE MORFOLÓGICA DAS DUNAS FRONTAIS NO LITORAL NORTE DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL

MORPHOLOGICAL DIVERSITY OF THE FRONTAL DUNES ON THE NORTH COAST OF RIO GRANDE DO SUL, BRAZIL

Humberto Dias Vianna

Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande
Av. Itália Km 8. Rio Grande, Rio Grande do Sul. Cep: 96203-900. Brasil
ORCID: orcid.org/0000-0003-2651-6382
E-mail: humbertodvianna@gmail.com

Lauro Julio Calliari

Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande
Av. Itália Km 8. Rio Grande, Rio Grande do Sul. Cep: 96203-900. Brasil
ORCID: orcid.org/0000-0002-5503-8300
E-mail: lcalliari@log.furg.br

Informações sobre o Artigo

Recebido (Received):
27/06/2018
Aceito (Accepted):
22/12/2018

Palavras-chave:

Praias Arenosas; Geomorfologia Costeira; Sedimentologia Praia.

Keywords:

Sandy Beaches; Coastal Geomorphology; Beach Sedimentology.

Resumo:

A formação do sistema praia-duna está relacionada a morfodinâmica praial, sedimentologia e orientação do vento predominante em relação à linha de costa. Esse trabalho teve o objetivo de identificar as variáveis morfológicas e sedimentológicas responsáveis pela diversidade do sistema praia-duna frontal no litoral norte do Rio Grande do Sul (RS) e descrever a morfologia das dunas frontais. Variáveis morfológicas como a altura das dunas frontais, azimute da linha de costa, largura e declividade da praia subaérea foram obtidas das referências. O percentual de cobertura vegetal das dunas frontais foi obtido com o uso de modelos digitais de superfície, produzidos com *laser scanning* (LIDAR), e imagens de satélite de alta resolução, classificadas pela técnica de máxima verossimilhança. Coletas de sedimentos superficiais foram efetuadas nas dunas frontais e praia subaérea para determinar os percentuais de areias médias. As variáveis morfológicas e sedimentológicas foram analisadas pelas técnicas estatísticas *clustering* e componentes principais. O percentual de cobertura vegetal médio das dunas frontais é de 65,2%. Nos balneários da região há predominância de areias finas quartzosas bem a muito bem classificadas. O percentual de areia média é de 6,9% (dunas frontais) e 7,1% (praia subaérea). Três grupos de balneários foram gerados nas análises estatísticas. O grupo 1 possui o menor percentual de areia média na praia subaérea (4,3%), dunas frontais de menor altura (3,5 m), menor percentual de cobertura vegetal (52,2%) e maior azimute médio da linha de costa (32,8°). As dunas frontais são de estágios erosivos avançados, possuem pequena altura e baixa cobertura vegetal. O grupo 2 apresenta o maior percentual de areia

média nas dunas (8,3%), menor largura média da praia subaérea (48,0 m) e dunas frontais de 4,1 m de altura média. O grupo 3 detém o mais elevado percentual de areia média da praia subaérea (7,6%), maior percentual de cobertura vegetal das dunas frontais (73,4%), mais extensa praia subaérea e dunas frontais com 3,9m de altura média. O mesmo grupo apresenta o menor percentual de areia média nas dunas (5,6%) e menor azimute médio da linha de costa (25,1°). As dunas frontais dos grupos 2 e 3 estão em estágios erosivos moderados, a topografia *hummocky* é frequente, devido a ação de *blowouts* e sangradouros que seccionam as dunas frontais. A análise de componentes principais demonstrou que não há correlação entre as variáveis morfológicas e sedimentológicas. As únicas variáveis correlacionadas negativamente são altura das dunas frontais e azimute de linha de costa. Na região estudada, a orientação da linha de costa favorece o transporte sedimentar, pois permite que o vento predominante incida em um ângulo próximo a 45° na costa. Alguns trechos estudados não se agruparam, pois possuem características únicas como: dunas frontais de maior altura e mais bem vegetadas, azimute da linha de costa próximo a 40°, e altos percentuais de areias médias nos ambientes estudados.

Abstract:

The formation of beach-dune system is related to beach morphodynamics, sedimentology and the predominant wind direction in relation to the coastline. This work had the objective of identifying the morphological variables and sedimentological responsible for the diversity of beach-front dune system on the North coast of Rio Grande do Sul (RS) and describe the morphology of foredunes. Morphological variables like height of foredunes, azimuth of coast line, width and slope subaerial beach were obtained from references. The percentage of vegetation covered by foredunes was obtained through digital surface models, produced with laser scanning-handling, and high resolution satellite images, classified by maximum likelihood technique. Surface sediment samples were made in foredunes and subaerial beach to determine the percentages of medium sand. Morphological and sedimentological variables were analyzed by statistical techniques, and clustering key components. The percentage of vegetation cover middle of foredunes is 65.2%. In the locker room of the region there is a predominance of silica sands well very well classified. The percentage of sand average is 6.9% (foredunes) and 7.1% (subaerial Beach). Three groups of spas were generated in the statistical analyses. The Group 1 has the lowest percentage of medium sand on the beach (4.3%), subaerial foredunes of lesser height (3.5 m), smaller percentage of vegetation cover (52.2%) and largest azimuth of the coastline (32.8°). The foredunes are erosive stages, have little time and low vegetation cover. The Group 2 presents the greatest percentage of sand dune average (8.3%), lower average width of subaerial beach (48.0 m) and foredunes of 4.1 m of average height. The 3 Group holds the highest percentage of sand beach average (7.6%) subaerial, higher percentage of vegetation cover of foredunes (73.4%), more extensive subaerial beach and foredunes with 3.9 m average height. The same group presents the lowest percentage of sand dune average (5.6%) and lower azimuth of the coastline (25.1°). The foredunes of groups 2 and 3 are in stages of erosion, hummock topography moderates often, due to the action of sangradouros and blowouts that slice up the foredunes. The principal components analysis showed that there is no correlation between morphological variables and sedimentológicas. The only negatively correlated variables are height of foredunes and azimuth of coastline. In the region studied, the coastline encourages the sedimentary transport, allowing the prevailing breeze cover at an angle near 45° on the coast. Some excerpts studied not grouped, therefore they possess unique features like: foredunes of greater height and most vegetated, azimuth coastline near 40°, and high percentages of medium sands studied environments.

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). No sistema praial existe uma gradação decrescente no tamanho do grão definida por processos de espraiamento, fluxo, refluxo e vento, identificada desde face da praia em direção às dunas (VISHER, 1969).

Dunas frontais são definidas como cristas dunares paralelas à costa, formadas no topo da praia pela 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 morfologia do sistema praia-duna frontal 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). Além dos fatores já citados, o suprimento de areia, a frequência de processos erosivos provocados por ondas ou ventos, o percentual de cobertura vegetal e as respectivas espécies ocorrentes também são responsáveis pelas diferentes morfologias dunares (SILVA *et al.*, 2008). O crescimento vertical e horizontal das dunas depende da interação entre suprimento de sedimento, campo de vento e crescimento da vegetação, que parece responder positivamente à deposição (CARTER, 1988).

A cobertura vegetal exerce um importante papel para o desenvolvimento morfológico e estabilização das dunas frontais (HESP, 2002). 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).

A densidade de cobertura vegetal é mais importante que o tipo de vegetação para a formação das dunas frontais, 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). 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).

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). Hesp (1988) criou um sistema para classificação morfológica das dunas frontais de acordo com o % CV. Nesse sistema, cinco estágios morfoecológicos evolucionários foram definidos. No primeiro estágio, a morfologia dunar varia de topografias contínuas, *fore-*

dune ridges, bem vegetadas (%CV - 90%-100%). No estágio 2 as dunas frontais assemelham-se ao estágio 1, diferindo pelo menor %CV (90%-75%), e pela presença de depressões não vegetadas.

No estágio intermediário 3, a topografia é do tipo *hummocky* e *blowouts* ocorrem, o %CV varia entre 45% e 75%. O estágio 4 é caracterizado por dunas frontais intercaladas por *blowouts*, lençóis de areia, montículos e depressões parcialmente vegetadas, o %CV oscila entre 20% e 40%. No último estágio, as dunas frontais correspondem a pequenas elevações remanescentes, *blowouts* de grande escala e %CV entre 5 e 20% (estágio 5).

Objetiva-se no presente trabalho identificar as variáveis morfológicas e sedimentológicas responsáveis pela diversidade do sistema praia-duna frontal no litoral norte do Rio Grande do Sul (RS) e descrever a morfologia das dunas frontais de acordo com a classificação de Hesp (1988).

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" O, (FIGURA 1). É limitada ao sul pelo município de Palmares do Sul e ao norte por Torres. A linha de costa é retilinizada, com 126,5 km de extensão, com orientação sudoeste nordeste. Como o litoral norte do RS possui balneários com diferentes comprimentos de linha de costa, os mesmos foram reunidos em trechos (FIGURA 1), com faixas de praias de comprimento médio igual a 5 km. Tal procedimento foi efetuado para se eliminar essas discrepâncias e simplificar as análises.

A região está situada na planície costeira do RS, desenvolvida no Quaternário. Nesse período houve o acréscimo lateral de quatro sistemas deposicionais do tipo laguna barreira (TOMAZELLI; VILLWOCK, 2000). A área de estudo situa-se na Barreira IV, sua formação teve início há 5 ka quando o nível do mar variou entre 2 m e 5 m acima do atual, dando início a formação de uma barreira formada por sedimentos eólicos e praias (ANGULO; LESSA; SOUZA, 2006).

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).

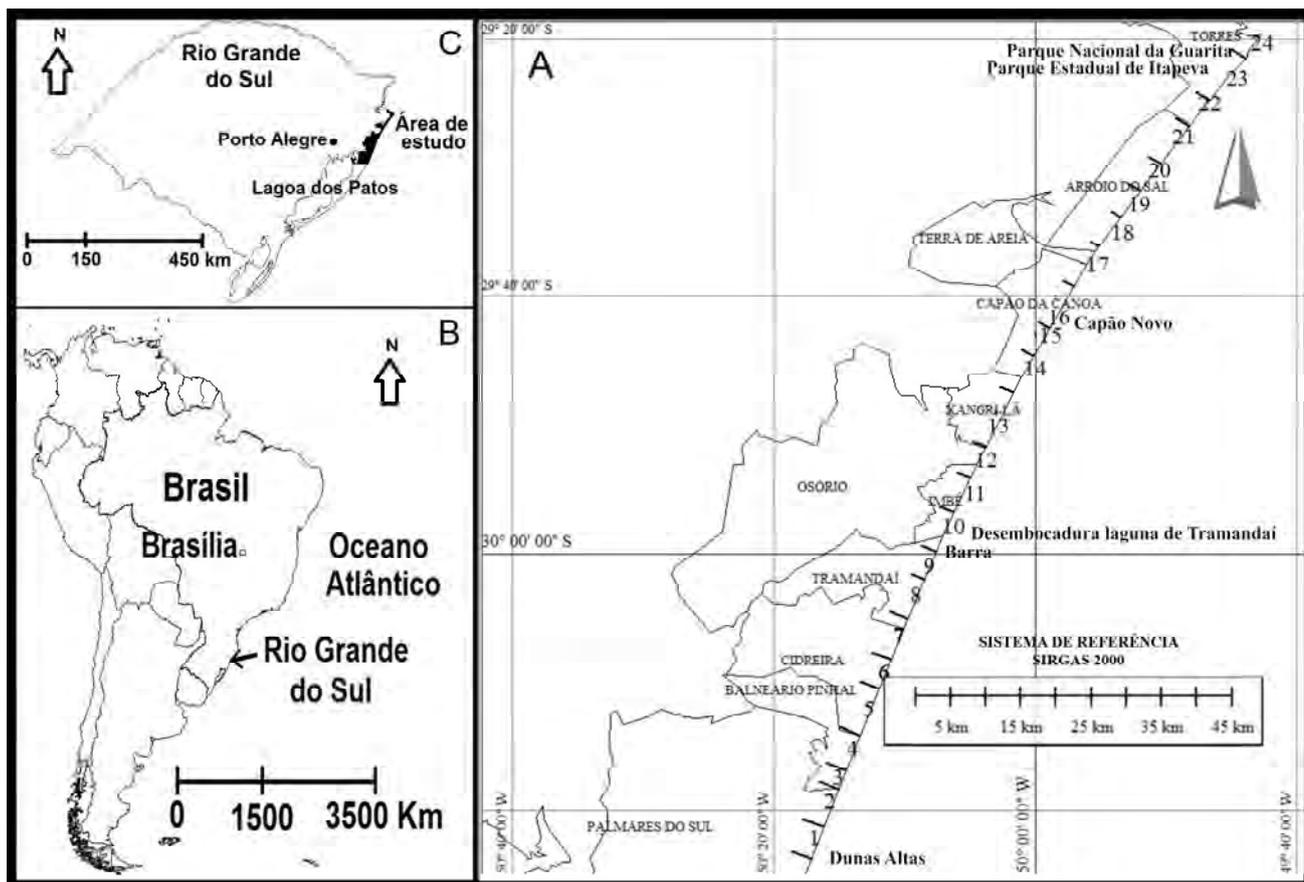


Figura 1- Posição do RS na América do Sul (A), área de estudo localizada no estado do RS (B) e dividida em trechos (C).

A plataforma continental possui de 150 km a 200 km de extensão, profundidades de 100 a 140 m, a antepraia é formada por depósitos arenosos, com limites externos nas profundidades de 10 m e 15 m (ALMEIDA *et al.*, 2006). Os balneários da região possuem características morfodinâmicas intermediárias a dissipativas (PEREIRA *et al.*, 2010).

A região é 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 têm tamanho médio de 0,2 mm (NICOLODI *et al.*, 2002, GRUBER, 2002). O cordão de dunas é constituído por areias finas quartzosas (MARTINS, 1967), interrompido por sangradouros em diversos pontos. A altura das dunas frontais diminui de sul para norte (CALLIARI *et al.*, 2005). No balneário Dunas Altas (Palmares do Sul) ocorrem as maiores dunas frontais da região, com altura média próxima a

8 m (VIANNA; CALLIARI, 2015).

Rastros lineares, rupturas de deflação (*blowouts*), *nebkas* e dunas parabólicas são frequentes, principalmente nas áreas onde o campo de dunas frontais 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).

A maré astronômica é semidiurna, com valores de amplitude máximos na ordem de 0,32 m (TOLDO Jr *et al.*, 2006). O regime ondulatório corresponde a ondas e vagas, a maior concentração de vagas tem direção E (leste), (STRAUCH *et al.*, 2009). A altura significativa de ondas no verão varia entre 1,5 m e 3,0 m em Tramandaí nas direções ENE (leste-nordeste) e S (sul), no outono, as alturas significativas chegam a 4,0 m entre as mesmas direções (STRAUCH *et al.*, 2009). Marés meteorológicas provocam um aumento de até 1,2 m acima da maré astronômica (ALMEIDA; ROSAURO, TOLDO Jr, 1997).

O clima da região é subtropical pouco úmido, a temperatura média anual varia entre 20°C e 23°C, precipita entre 1.400 a 1.700 mm/ano (ROSSATO, 2011). O vento predominante provém da direção nordeste (NE). A maior frequência percentual de NE ocorre no mês de dezembro em Imbé (53,2%), e novembro em Torres (62,7%).

As espécies vegetais encontradas, em maior frequência, nas dunas frontais são: *Panicum racemosum*, *Spartina ciliata*, *Senecio crassiflorus* e *Hydrocotyle bonariensis*. (SEELIGER *et al.*, 1998). *Panicum racemosum* ocasiona maior deposição de areia e pode ser encontrada nas dunas frontais, sendo chamada de construtora das dunas (SEELIGER; CORDAZZO; BARCELLOS, 2004). *Spartina ciliata* é característica de regiões com menor aporte eólico e forma dunas frontais de topografias mais complexas. Além das espécies citadas, *Blutaparon portulacoides* é uma vegetação pioneira que habita as dunas embrionárias, a mesma intercepta o fluxo de areia transportado pelos ventos, sendo responsável pela formação das dunas incipientes (SEELIGER; CORDAZZO; BARCELLOS, 2004).

Métodos

Parâmetros morfológicos do sistema praia-duna frontal (altura das dunas frontais, azimute da linha de costa, largura e declividade da praia subaérea) foram obtidos de modelos digitais de superfície (MDS), produzidos com dados *laser scanning* (LIDAR), e obtidos de Vianna e Calliari (2015). Os MDS possuem resolução de 0,5 m (espacial), 0,15 m (altimétrica) e correspondem a um modelo topográfico real do litoral norte do RS (VIANNA; CALLIARI, 2015).

A altura das dunas frontais corresponde a altitude orientada ao referencial altimétrico oficial brasileiro (Marégrafo de Imbituba – IBGE). O azimute consiste no ângulo formado pela linha de costa dos balneários em relação ao norte. A largura da praia subaérea foi determinada a partir de perfis, espaçados por 250 m, traçados sobre os MDS perpendicularmente entre a linha d'água até a base da duna frontal (VIANNA; CALLIARI, 2015). Valores médios dessas variáveis foram determinados para os trechos delimitados.

Variáveis adicionais como o percentual de cobertura vegetal das dunas frontais foram obtidas com a demarcação dos polígonos das dunas frontais nos

MDS. Imagens de sensores orbitais de alta resolução, provenientes do *World Imagery*, foram empregadas para a demarcação das áreas vegetadas. O *World Imagery* fornece composições coloridas de imagens de satélite sub métricas da *Digital Globe*, com resolução espacial de 1 m ou superior de diversas partes do mundo (ESRI, 2017). Adotou-se um tamanho de pixel padrão de 2 m. As cenas utilizadas correspondem aos anos de 2010 e 2011 e foram georreferenciadas. As imagens foram recortadas, preservando-se apenas as áreas das dunas. Esse processo teve a finalidade de diminuir o esforço computacional no processo de classificação.

Melhorias no contraste das imagens foram efetuadas com a utilização de um filtro linear. 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).

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, posteriormente foi calculado o %CV médio para cada trecho na qual a área de estudo foi dividida.

Variáveis sedimentológicas, percentual de areia média da duna (%AMD) e da praia subaérea (%AMPS) foram determinadas para cada balneário e, posteriormente, médias foram calculadas para cada trecho estudado. O percentual de areia média é a variável sedimentológica com maior variação na área de estudo, o que justificou sua utilização no trabalho. Para tal, 202 amostras de sedimentos superficiais foram coletadas entre fevereiro de 2013 e abril de 2016. O material amostrado tinha peso médio de 40 gramas e foi retirado dos primeiros 10 cm abaixo da superfície. O ponto de coleta foi georreferenciado com GNSS. As amostras foram lavadas e secas em estufa (temperatura inferior a 40°C) e peneiradas em um conjunto de peneiras de -2 a 4 ϕ , com variação de $\frac{1}{4}$ de ϕ (FOLK; WARD, 1957). O processamento manteve os fragmentos de carbonatos biodetríticos e minerais pesados nas amostras, a exemplo de Oliveira *et al.* (2012). As planilhas de laboratório foram analisadas no *software* GRADISTAT (BLOTT; PYE, 2001), onde se determinou o %AMD e %AMPS.

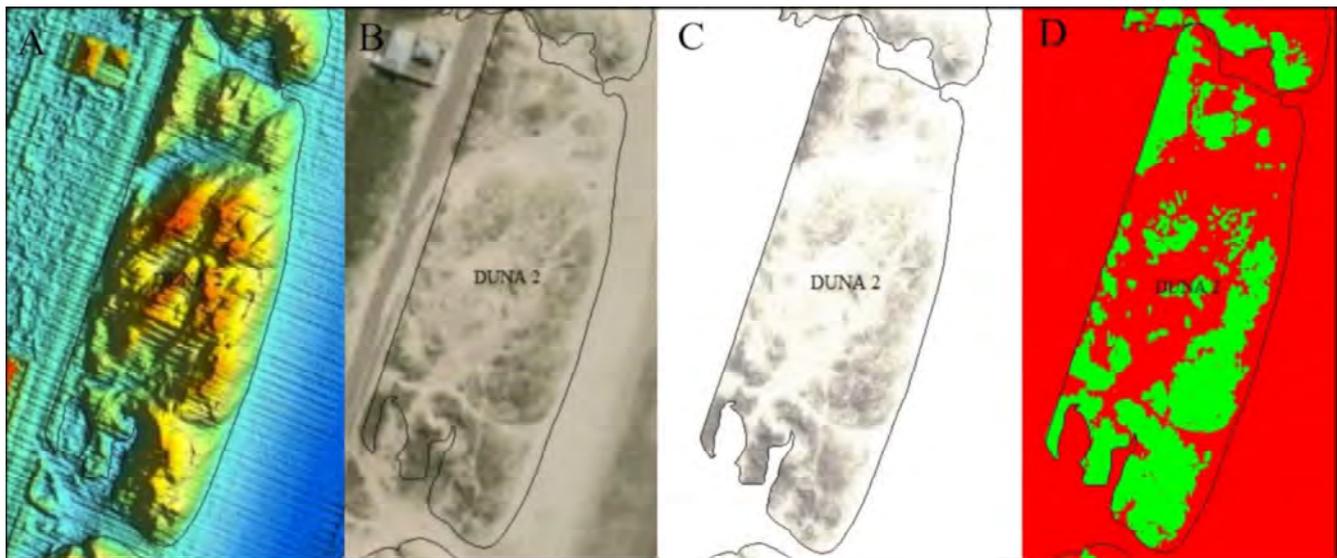


Figura 2- Processo de classificação supervisionada, duna frontal demarcada no MDS (A), composição colorida (B), imagem editada com melhorias no contraste (C), imagem classificada (D).

Os valores das variáveis citadas foram organizados em tabela para as análises estatísticas. Técnicas multivariadas de agrupamento (*Cluster*) e Análise de Componentes Principais (PCA) foram realizadas no software Primer versão 5.2.4 (CLARKE; GORLEY, 2006). A técnica *Cluster* cria um dendrograma, onde é possível definir os agrupamentos (CLARKE; GORLEY, 2006).

A análise de componentes principais (PCA) 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).

Para que os resultados das análises estatísticas sejam coerentes, os dados não normais passaram pelo processo de normalização, ou seja, transformar o conjunto amostral em uma distribuição gaussiana. A transformação raiz arco seno, é apropriada para dados em proporções, e foi realizada nas variáveis %AMD, %AMPS e %CV. A transformação é procedimento pa-

drão para a análise de dados proporcionais em ecologia (WARTON; HUI, 2011). A transformação raiz quadrada foi realizada nas variáveis morfológicas (altura da duna frontal, azimute da linha de costa e largura da praia subaérea). É a transformação mais comum para a normalização de dados e consiste na raiz quadrada do valor amostrado (OSBORNE, 2010).

Os agrupamentos prévios determinados pela técnica *Cluster* foram associados a diferentes cores no PCA, de modo a se identificar nos *biplosts* 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.

A caracterização da morfologia das dunas frontais foi realizada a partir da análise visual dos MDS, imagens provenientes do *World Imagery* e fotografias tomadas em campo. As dunas frontais foram descritas de acordo com a classificação proposta por Hesp (1988).

Resultados e Discussão

As 202 amostras coletadas mostram que nos balneários predominam areias finas quartzosas bem a muito bem classificadas. As assimetrias são simétricas e a curtose mesocúrtica é predominantemente. Minerais pesados ocorrem na maioria das amostras. O tamanho médio do grão (TMG) é: 2,44 ϕ (dunas frontais) e 2,45 ϕ (praia subaérea).

A distribuição granulométrica é muito homogênea na região (WESCHENFELDER *et al.*, 1997). Nos balneários ocorrem pequenas variações no tamanho médio dos grãos, e estão relacionadas a entrada no ambiente praial de sedimentos continentais (areia muito fina) e de biodebritos, que alteram a granulometria. (MARTINS, 2006).

Os valores de TMG semelhantes encontrados nesse trabalho e em anteriores por Nicolodi *et al.* (2002) e Martins (1967) ocorrem devido à 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).

Maiores percentuais de areias médias ocorrem na praia subaérea (FIGURA 3). Esse comportamento não ocorre nos trechos 2, 3, 7, 10, 16, 18, 20, 22 e 24. As linhas de tendência indicam um aumento no %AMD e redução no %AMPS de sul para norte. Os %AMD variam entre 14,1% (Trecho 4) a 2,0% no trecho 12. Já os %AMPS oscilam entre 16,6% (trecho 4) e 2,3% (trecho 7). Os valores médios são: 6,9% (%AMD) e 7,1% (AMPS). Picos com altos percentuais de areias médias foram observados nos seguintes trechos:

4, 10, 16 e 24 (dunas frontais) e 4, 6 e 11 (praia subaérea).

Devido a maior seleção de sedimentos do agente vento, o maior %AF e menor %AM ocorre nas dunas frontais. Sedimentos arenosos 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 à mudança do agente transportador, hidrodinâmico para o eólico (TABAJARA; MARTINS, 2006). As maiores partículas geralmente são localizadas em áreas de alta energia, com diminuição do tamanho em direção ao continente (KOMAR, 1998).

A altura média das dunas frontais e azimute da linha de costa (FIGURA 4) são variáveis correlacionadas negativamente, no gráfico observa-se a redução na altura das dunas com o aumento do azimute da linha de costa. As dunas frontais de maior altura média (6,5 m), e o menor azimute ocorrem no trecho 1. As dunas frontais de menor altura (3,1 m) encontram-se no trecho 20 e o maior azimute (41,3°) foi medido no 24. Os valores médios são: 4,2 m (altura das dunas frontais) e 25,8° (azimute da linha de costa).

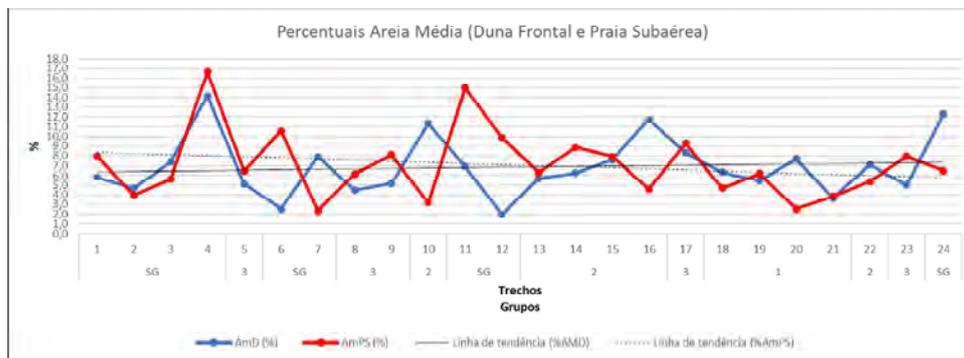


Figura 3 - Variáveis sedimentológicas (percentuais de areias médias) nos trechos estudados.

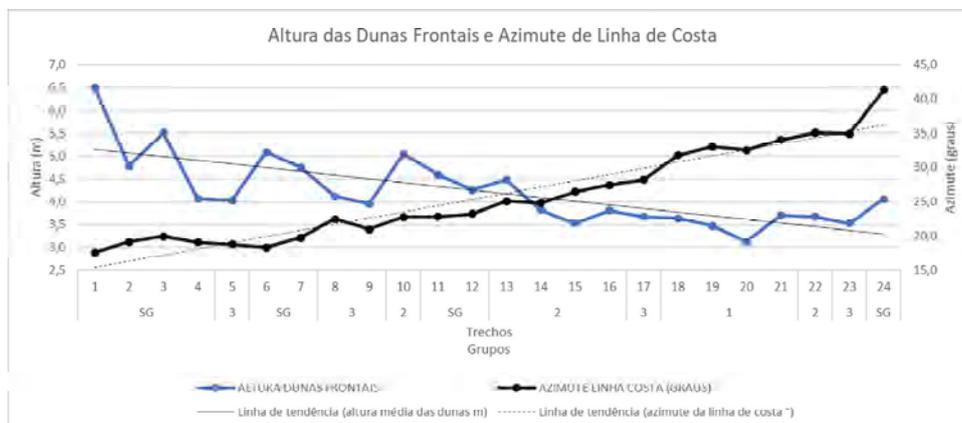


Figura 4 - Altura média das dunas frontais e azimute da linha de costa nos trechos estudados.

O %CV apresenta uma tendência de redução de sul a norte (FIGURA 5). O %CV médio é igual a 65,2%. Os maiores %CV ocorrem nos trechos 1 (83,4%) e 23 (85,5%), os menores nos 3 (48,0%), 10 (47,2%) e 18 (40,5%).

A largura da praia subaérea diminui de sul para norte (FIGURA 6), a largura média é de 57,3 m. Larguras superiores a 60 m ocorrem nos trechos 3, 5 a 9, 17, 18 e 23. O maior valor (72,7 m) foi registrado no trecho 3. A menor largura (41,8 m) ocorre no trecho 24. Entre os trechos 12

e 16 (FIGURA 6) ocorrem larguras inferiores a 50 m.

A análise *Cluster* (FIGURA 7) possibilitou a formação de três grupos prévios abaixo da linha de corte. A distância euclidiana utilizada para o corte foi 2,3 unidades. Os grupos são formados pelos trechos: 18, 19, 20 e 21 (grupo 1), 10, 13, 14, 15, 16 e 22 (grupo 2), 5, 8, 9, 17 e 23 (grupo 3), 2, 3 e 7 (grupo 4). Os trechos 1, 4, 6, 11, 12 e 24 não formaram agrupamentos abaixo da linha de corte, ou seja, apresentam características ambientais que os diferenciam.

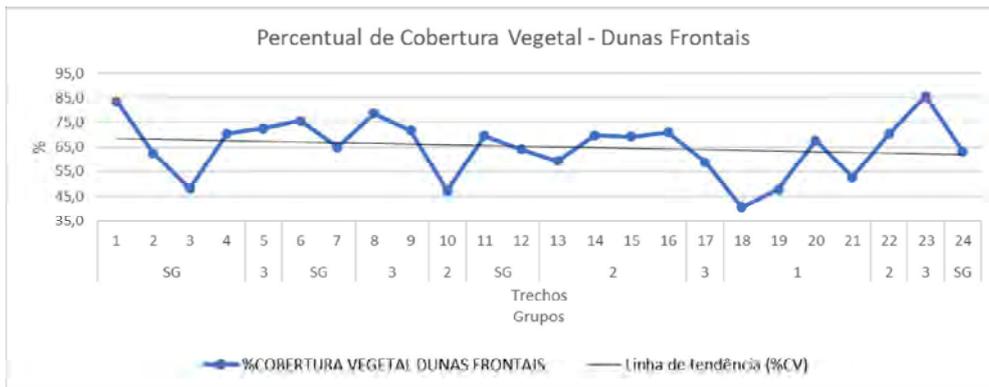


Figura 5 - %CV dos trechos estudados.



Figura 6 - Largura média da praia subaérea nos trechos estudados.

Análise CLUSTER

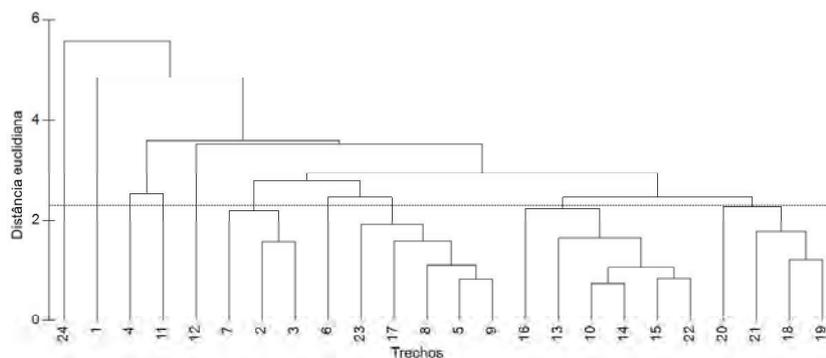


Figura 7 - Dendrograma gerado na análise Cluster.

Os autovalores da análise PCA demonstraram que os dois primeiros componentes principais explicam 62,0% da variabilidade total dos dados. Para a formação do primeiro componente principal, as variáveis que mais contribuíram foram azimute da linha de costa e altura das dunas frontais. Para o segundo componente, as variáveis mais importantes são: %AMPS e largura da praia subaérea.

A PCA (FIGURA 8) produziu um *biplot* que possibilita a visualização das correlações entre variáveis e suas contribuições para a formação dos grupos. Os cossenos dos ângulos formados entre os eixos no *biplot* indicam as correlações entre as variáveis e seus

comprimentos o desvio padrão (TORRES-SALINAS *et al.*, 2013). Na figura 4 visualiza-se a correlação entre azimute da linha de costa e altura das dunas frontais (-0,7). Os maiores desvios padrão são do %AMPS (3,5%) e largura média da praia subaérea (9,5 m).

A PCA confirmou os grupos prévios formados na *Cluster*. O não agrupamentos dos trechos 2, 3 e 7 no *biplot* (FIGURA 8) indica que o grupo 4, formado na *Cluster*, não é verdadeiro. Os trechos 1, 4, 6, 11, 12 e 24 distribuíram-se ao longo do *biplot* e, assim como na análise anterior, foi confirmado que possuem características ambientais únicas.

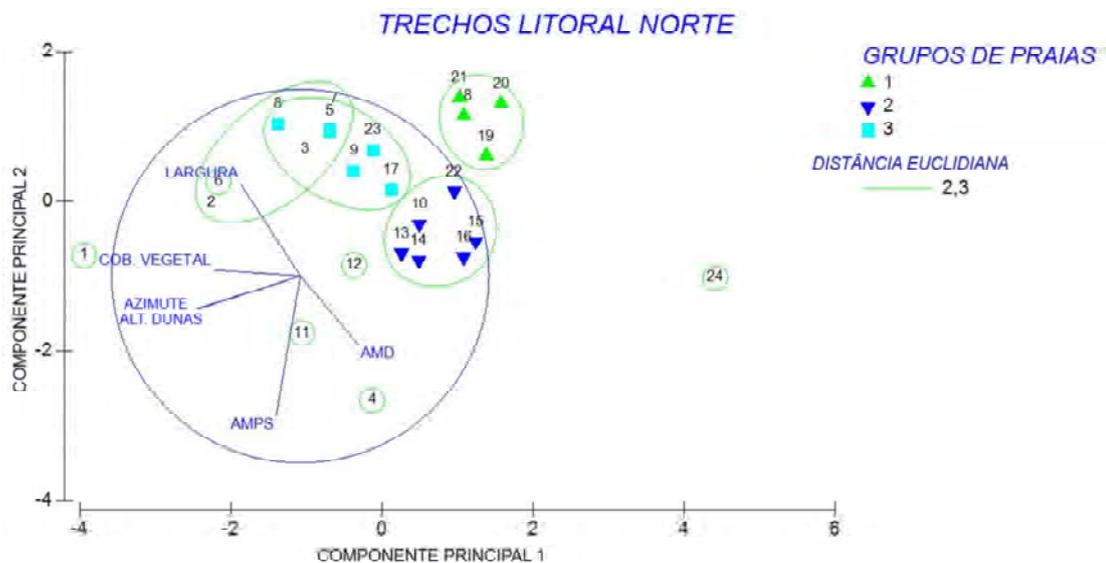


Figura 8 - *Biplot* produzido na análise PCA, onde LARGURA (largura da praia subaérea), COB. VEGETAL (%CV), AZIMUTE (azimute da linha de costa), ALT. DUNAS (altura das dunas frontais), AMPS (%AMPS) E AMD (%AMD). Os círculos verdes correspondem a linha de corte da análise CLUSTER.

A distribuição dos grupos em relação as variáveis no *biplot* indicam a influência das mesmas em sua formação, por exemplo, o posicionamento do grupo 1 em sentido oposto ao eixo %AMPS sinaliza que esse grupo possui o menor %AMPS (4,3%). Esse mesmo grupo possui as dunas frontais de menor altura média (3,5 m), menor %CV médio (52,2%) e maior azimute médio da linha de costa (32,8°).

O grupo 2 possui o maior %AMD (8,3%) e menor largura média da praia subaérea (48,0 m). Já o grupo 3 detém os mais elevados %AMPS (7,6%), %CV médio (73,4%) e mais extensa largura média da praia subaérea. O mesmo grupo apresenta os menores %AMD (5,6%) e menor azimute médio da linha de costa (25,1°).

Os trechos 1, 4 e 24 possuem características extremas. O 1 possui a maior altura média das dunas frontais (6,5 m) associada ao menor azimute da linha de costa (17,6°). No 4 ocorrem os maiores %AMD (14,1%) e %AMPS (16,6%). O posicionamento deslocado no *biplot* do 24 é devido a diversos valores extremos observados no trecho, como o maior azimute da linha de costa (41,3°), menor largura da praia subaérea (41,8 m) e elevado %AMD (12,3%), que superam o encontrado na praia subaérea.

Os trechos 3 e 7 no *biplot* possuem características que os aproximam do grupo 3, como largura da praia subaérea, %AMD e %AMPS. A não inclusão desses trechos no grupo se deve pelo não agrupamento dos mesmos na análise *Cluster*. Ambos os trechos possuem variáveis

extremas como a maior largura da praia subaérea (72,7 m – trecho 3) e menor %AMPS (2,3% - trecho 7).

Os trechos 2 e 6 possuem em comum o azimute da linha de costa e altura das dunas frontais. A posição do trecho 11, próxima ao eixo %AMPS, indica que essa variável o diferencia, no trecho ocorre um dos maiores %AMPS (15%). O trecho 12 possui parâmetros morfológicos semelhantes ao grupo 2, exceto pela pequena largura da praia subaérea (42,1 m).

O grupo 1 é formado somente pelos balneários

de Arroio do Sal (FIGURA 9). Esse município possui dunas frontais de pequena altura e com pouca cobertura vegetal. A pequena altura das dunas é devido ao maior azimute da linha de costa. No litoral norte do estado, azimutes da linha de costa com ângulo superior a 45° não são favoráveis ao transporte sedimentar, pois o vento predominante, NE, transporta os sedimentos paralelamente à linha de costa, formando dunas de pequena altura e pouco vegetadas. Devido ao azimute da linha de costa, não há migração das dunas em direção ao continente (VIANNA; CALLIARI, 2015).

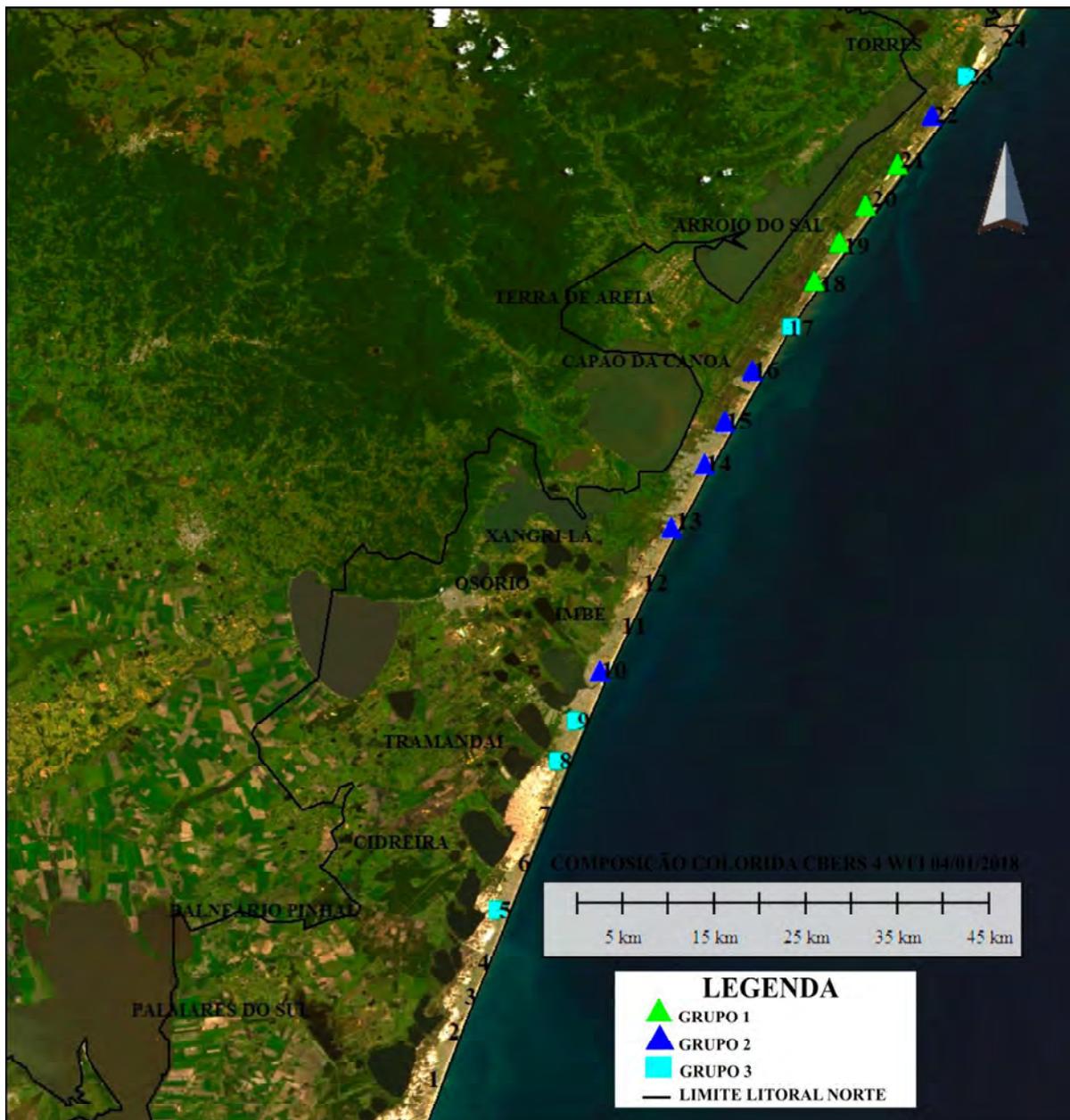


Figura 9 - Distribuição dos grupos de trechos na área de estudo.

Pela orientação da linha de costa do grupo 1, existem dunas frontais de estágio 4, segundo a classificação de Hesp (1988), no trecho 18. A maior frequência de dunas frontais de estágio 4 e lençóis eólicos no grupo 1, pode ser explicada pelo baixo %CV. Dunas pouco vegetadas tem o processo de erosão eólica potencializado (HESP, 2002). A ação de tempestades no grupo propicia estágios dunares erosivos, pois após eventos extremos, os sedimentos removidos pelas ondas não são recuperados pelos processos eólicos, transformando

parte dos campos de dunas frontais em lençóis arenosos.

No grupo ocorrem pequenas dunas com crista contínua e *nebkas*, intercaladas por pequenos lençóis de areia e regiões interdunares (FIGURA 10). *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). No trecho 20, pequenas dunas parabólicas não vegetadas coexistem com pequenos cordões lineares de estágio 3.



Figura 10 - Nebkas encontradas no trecho 20, no topo das dunas visualiza-se Spartina ciliata.

As *nebkas* encontradas no grupo 1 foram formadas sobre *Spartina ciliata*. A maior presença de *Spartina ciliata* no grupo 1 evidencia o baixo aporte eólico, pois a espécie é pouco tolerante a grandes aportes. Dunas colonizadas por *Spartina ciliata* são suscetíveis a erosão eólica e podem evoluir para estágios erosivos avançados, visto que a planta cresce na forma de tufo e não possui raiz do tipo rizoma ou estolão (CORDAZZO, 2009). A areia ao redor da planta é removida deixando-a em um pequeno pedestal arenoso (HESP, 1988).

O menor potencial de deriva de vento (PDV) ao norte da área de estudo, também é responsável pela formação de pequenas dunas (VIANNA; CALLIARI, 2015). O pequeno PDV na área de estudo foi medido na estação meteorológica de Torres (MARTINHO; HESP; DILLENBURG, 2010). Torres é um município limite aos balneários do grupo 1, e os menores %AMPS encontrados no grupo 1 podem ser atribuídos ao baixo potencial de deriva de vento, que é incapaz de transportar os sedimentos finos para as dunas, mantendo grandes quantidades na praia subaérea.

O grupo 2 é formado pelo balneário Barra (Traman-

daí) e por pertencentes a Xangri-lá e Capão da Canoa, exceto trecho 17. O grupo também é constituído pelos balneários situados ao sul de Imbé e Torres. A PCA demonstrou nesse grupo que balneários com largura da praia subaérea inferior a 50 m possuem maiores %AMD. Praias subaéreas de pequena largura possuem pouco espaço para a dissipação das ondas de tempestades e permitem que as mesmas cheguem as dunas frontais com maior energia e, conseqüentemente, removendo maiores quantidades de sedimentos finos e elevando os %AMD.

Em tempestades, sedimentos mais grossos, por saltação, atingem alturas mais elevadas nas dunas frontais que grãos menores, o que pode explicar os maiores %AMD (SHARP, 1964). Variações na velocidade do vento provocam pequenas desacelerações nas areias de maior granulometria, fazendo com que consigam chegar na crista das dunas (ARENS; VAN BOXEL; ABUODHA, 2002).

Em sua maioria, a morfologia das dunas frontais no grupo corresponde ao estágio 3 do tipo *hummocky*. Cristas contínuas e moderadamente vegetadas ocorrem próximo a desembocadura da Laguna de Tramandaí (trecho 10), (FI-

GURA 11). Entre os trechos 13 e 16, as dunas são do estágio 4 seccionadas por seqüências de *blowouts* calha e bacia.

O uso recreativo e trânsito de pessoas sobre as dunas frontais reduzem o %CV das dunas e iniciam a formação de *blowouts*, que desencadeiam processos erosivos eólicos. No estágio 3, *blowouts* são característicos e criam cordões dunares com crista descontínua (*hummocky*), (HESP, 1988). Algumas erosões localizadas são agravadas pela erosão eólica com conseqüente formação

de *blowouts* (SHORT; HESP, 1982).

No trecho 16 (Capão Novo) pequenas dunas parabólicas e rastros lineares existem na retaguarda das dunas frontais. Ao sul de Torres (trecho 22), as dunas frontais variam morfologicamente, desde cordões contínuos de pequena largura e pouco vegetados até dunas estágio 4 (FIGURA 12). A morfologia comum no trecho é de pequenos cordões embrionários e estabelecidos bem vegetados, intercalados por pequenas áreas deflacionadas.

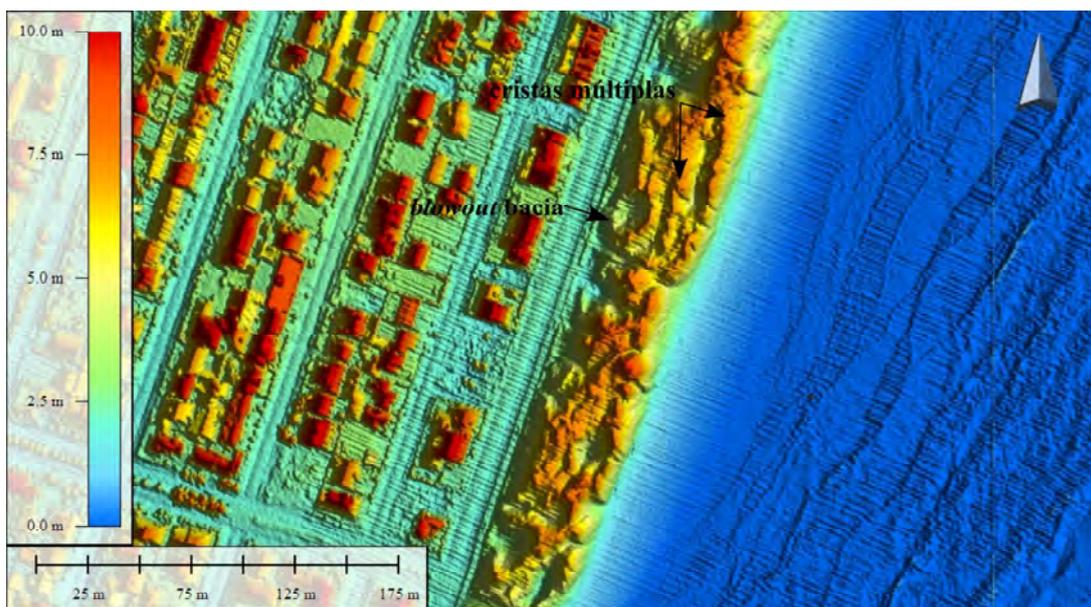


Figura 11 - Morfologia *hummocky* (estágio 3) das dunas frontais do trecho 10, na imagem são demonstradas outras feições morfológicas como *blowout* e cristas múltiplas.

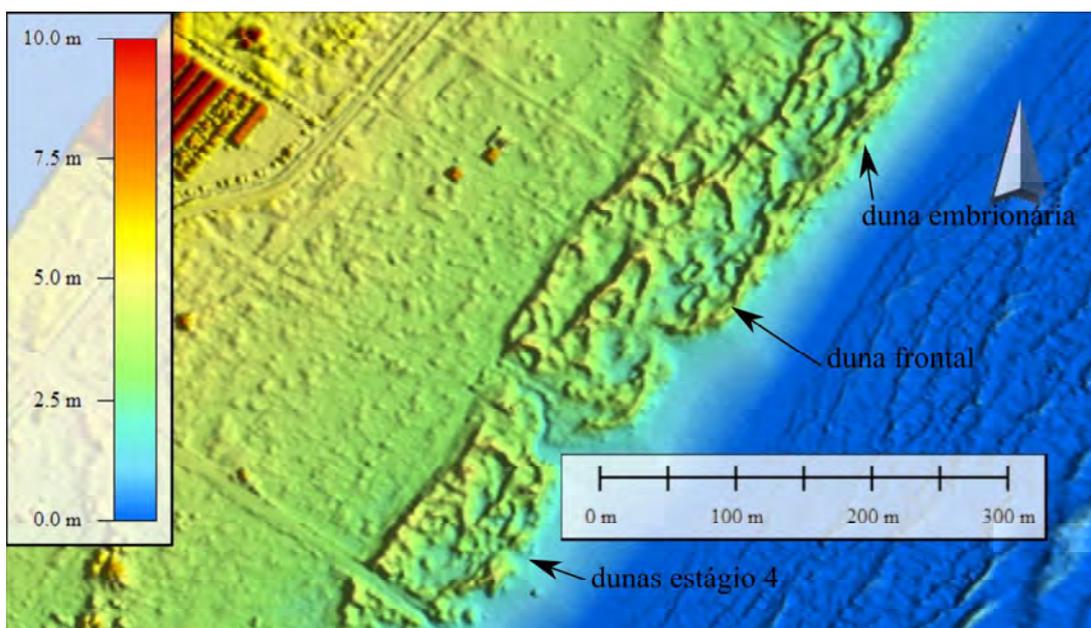


Figura 12 - Diversidade dunar no trecho 22, formada por cordões estabelecidos, embrionários e dunas de estágios erosivos avançados (estágio 4).

O grupo 3 é formado por alguns balneários dos municípios de Cidreira (balneários ao norte), Tramandaí (todos exceto Barra), Capão da Canoa (balneários ao norte) e Torres (balneários centrais). Devido a maior largura média da praia subaérea e menor azimute da linha de costa, o grupo 3 possui as dunas frontais mais bem vegetadas e com menor %AMD. Na região, azimutes inferiores a 45° favorecem o transporte sedimentar em direção ao continente. No grupo 3, o ângulo de incidência nas dunas frontais do vento predominante (NE) é próximo a 70° . Ângulos entre 60° - 70° promovem o máximo transporte de areia em direção às dunas (DAVIDSON-ARNOTT, 2010).

O ângulo do vento NE favorável ao transporte remove grandes quantidades de sedimentos finos da praia subaérea, o que explica o maior %AMPS do grupo. Dunas com maiores %CV encontradas no grupo 3 retêm maiores quantidades de sedimentos finos. O maior aporte sedimentar desse grupo estimula o desenvolvimento da vegetação dunar, constituída em sua maioria por *Panicum racemosum*.

Ao grupo 3 pertencem todos os balneários urbanizados de Cidreira. Nesse ponto, as dunas frontais foram removidas ou degradadas pela urbanização sem critérios em décadas passadas. São formadas por fragmentos bem vegetados do cordão original seccionados por sangradouros (FIGURA 13).

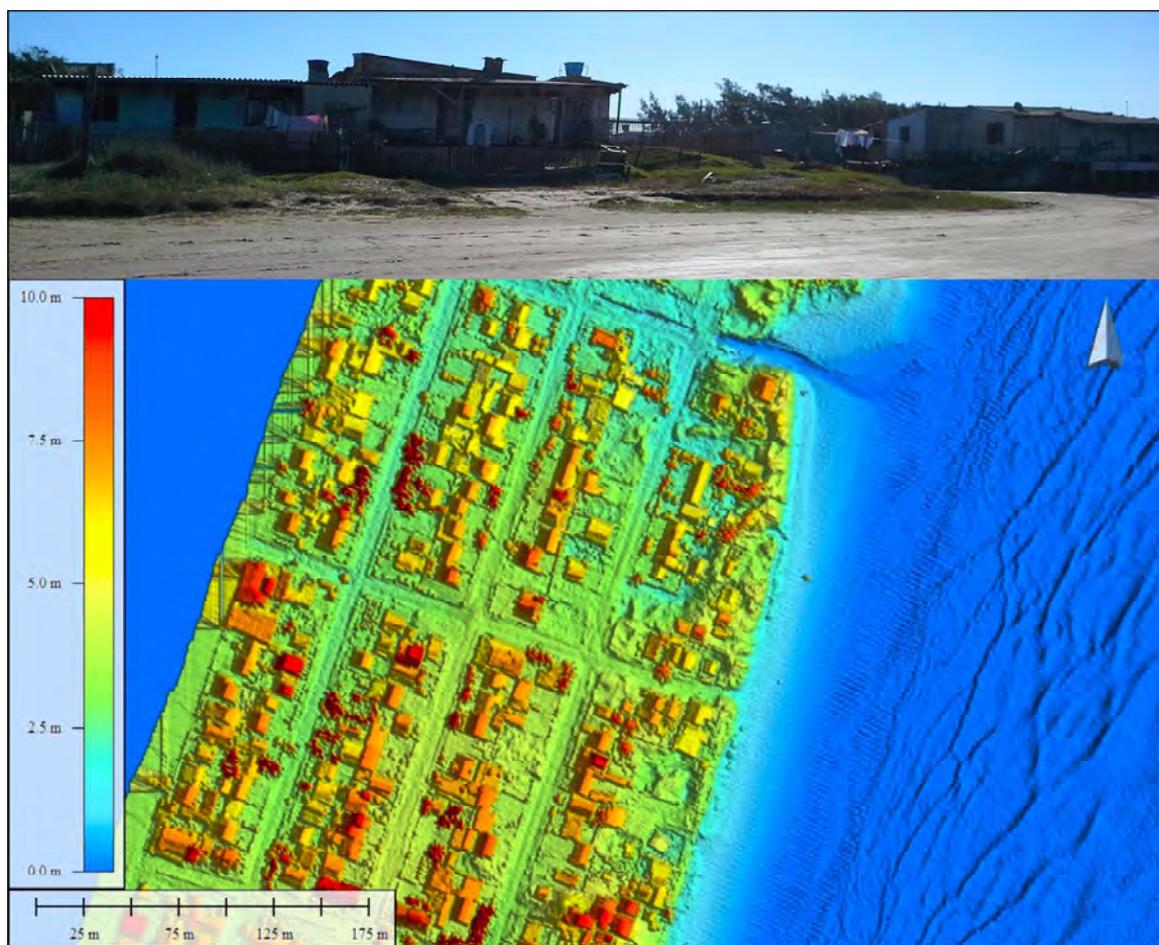


Figura 13 - Fragmentos bem vegetados da duna frontal (superior), duna remanescente seccionadas por sangradouro (inferior).

Nos trechos de Tramandaí, Capão da Canoa e Terra de Areia pertencentes ao grupo 3, as dunas frontais são do estágio 3 com cristas contínuas e bem vegetadas (FIGURA 14). *Blowouts* do tipo bacia e rastros lineares estão presentes. Balneários com

grandes ocupações urbanas em Tramandaí e Capão da Canoa possuem dunas frontais do estágio 4. Em Tramandaí, montículos pouco vegetados e cordões contínuos e bem vegetados intercalam-se com topografias *hummocky*.

Em Torres, os trechos do grupo 3 são formados por pequenos cordões dunares contínuos e bem vegetados (estágio 2). No Parque Estadual de Itapeva, as dunas frontais são preservadas, de pequena altura e com boa cobertura vegetal. Ao norte do parque, dunas bem vegetadas a barlavento e pequenos cordões lineares bem vegetados coexistem.

O posicionamento do trecho 1 próximo aos eixos do %CV, altura média das dunas frontais e azimute da linha de costa indicam que essas variáveis são as que mais influem para a diferenciação do trecho. O trecho

possui características únicas na região de estudo, Dunas Altas, limite sul do trecho, possui um cordão de dunas frontais de estágio 2, são cordões lineares largos (chegando a 85 metros), bem vegetados e com cristas contínuas (FIGURA 15).

As dunas frontais do trecho 1 possuem a topografia menos complexa da região, a face a barlavento é menos inclinada mais bem vegetada que a sotavento. Atrás das dunas frontais ocorrem rastros lineares e dunas parabólicas, que migram no sentido sudoeste sobre a área deflacionada (FIGURA 15).



Figura 14 - Dunas estágio 3 no trecho 9, seguidas por cordões bem vegetados.

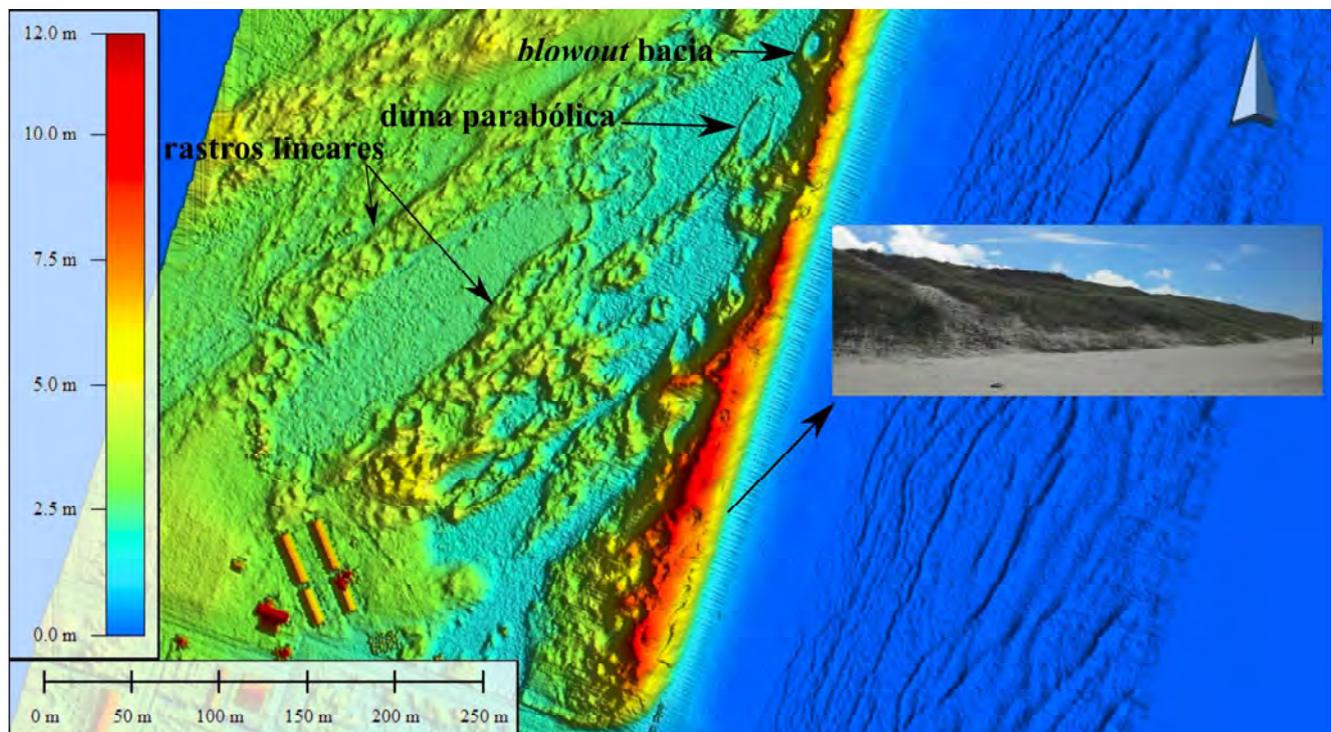


Figura 15 - Morfologia do trecho 1, duna frontal com topografia pouco complexa (estágio 2) e %CV superior a 80 % (detalhe).

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 pelo vento NE. 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). Essas formações são indícios de costas pouco vegetadas e são consequências de ventos oblíquos (HESP; MARTINEZ, 2008). Pequenas dunas parabólicas podem ocorrer em praias de média a baixa energia (SHORT; HESP, 1982).

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 Jr *et al.*, 2006).

Baixos percentuais de areias médias nos ambientes estudados diferenciam os trechos 2, 3, 6, 7 e 12. Dentre esses trechos, o menor percentual registrado ocorre na praia subaérea do trecho 12 (2,0%). O trecho 7 possui o mais baixo %AMPS (2,3%) registrado. Dentre os trechos não agrupados, o 3 possui um baixo %CV (48%) e o 12 a segunda menor largura média da praia subaérea (42,1 m).

As dunas frontais desses trechos não agrupados são constantemente interrompidas por sangradouros. Constituem-se de volumes únicos bem vegetados e com crista contínua (FIGURA 16). Ocorrem *blowouts* do tipo bacia e áreas deflacionadas mal vegetadas, evidenciando processos erosivos eólicos. Topografias *hummocky* (estágio 3) são frequentes e, em alguns pontos, pela presença de sangradouros, as dunas adquirem formas elípticas bem vegetadas, esse formato é mais proeminente na direção do vento predominante (FIGURA 16).

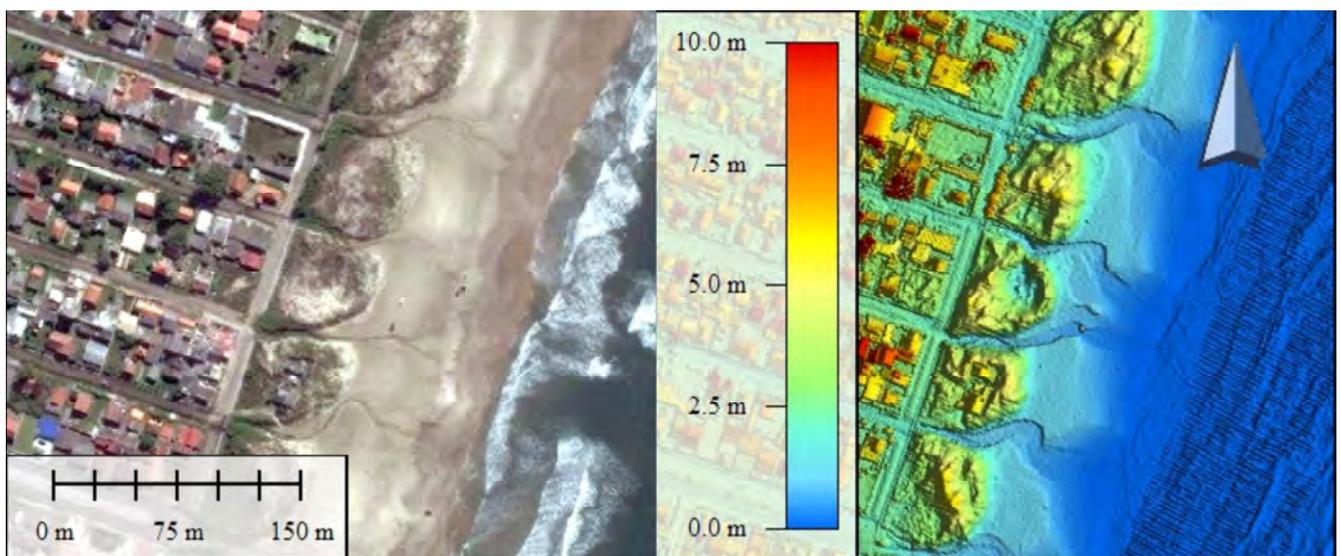


Figura 16. Dunas frontais com formato elíptico e segmentadas por sangradouros no trecho 3.

Em Pinhal (trecho 3) ocorrem dunas de estágio 4 e depósitos remanescentes das antigas dunas frontais (estágio 5), essas formações estão presentes nos pontos com maior densidade de edificações. A erosão promovida pela urbanização no trecho 3 foi ampliada pelas ondas de tempestades e pelos fortes ventos incidentes. Dunas instáveis são iniciadas por ondas em tempestades que provocam erosão lateralmente contínua. As escarpas

e aberturas nas dunas criadas nesses eventos iniciam a erosão eólica, ocasionando a perda de grandes volumes e migração dos sedimentos para o continente (SHORT; HESP, 1982). O trecho 6 é constituído pelos últimos balneários urbanizados de Cidreira, as dunas são do estágio 3 e são pouco impactadas pela urbanização.

Balneários preservados existem nos trechos 2 (divisa Palmares do Sul - Balneário Pinhal) e 7 (divisa

Cidreira – Tramandaí). Nessas áreas, as dunas frontais correspondem ao estágio 3, são bem vegetadas com cristas contínuas, *blowouts* do tipo calha e bacia ocorrem em alguns pontos. No trecho 7 existem dunas de estágio 2 (FIGURA 17). No trecho 12, as dunas

frontais são morfologicamente semelhantes aos balneários urbanizados dos trechos 2 e 3. Essa morfologia modifica-se na divisa entre Imbé e Osório pela presença de um pequeno cordão reconstruído, contínuo e moderadamente vegetado.

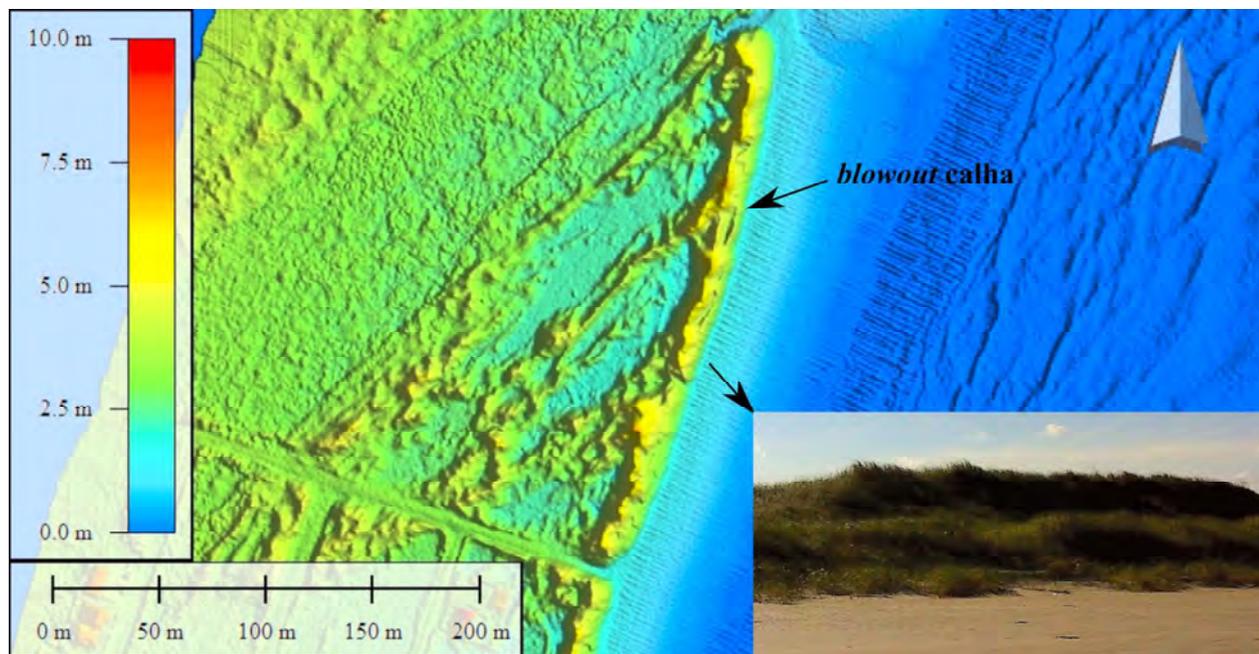


Figura 17. Duna frontal de estágio 2 no trecho 7 e *blowout calha*, em detalhe a grande cobertura vegetal.

Os trechos 4 e 11 não foram agrupados pelos altos percentuais de areias médias encontrados nas praias subaéreas (trecho 4 e 11) e dunas frontais (trecho 4). Valores extremos para a área de estudo foram registrados no trecho 4, 16,6% na praia subaérea e 14,1% nas dunas frontais. As dunas frontais do trecho 4 são constantemente interrompidas por sangradouros e foram degradadas pela urbanização, inexistindo em alguns pontos. As existentes, entre os sangradouros, são formadas por volumes únicos bem vegetados. Pequenos montículos bem vegetados (estágio 4 e 5) e depósitos remanescentes das antigas dunas frontais, estão presentes nas áreas mais urbanizadas.

Em diversos pontos do trecho 4 feições erosivas são frequentes, como *blowouts* e escarpas erosivas ocasionadas pela ação conjunta da erosão hídrica dos sangradouros e eólica do vento NE. Os sangradouros alteram a morfologia, antes linear das dunas, para formas elípticas. Os sangra-

douros criam escarpas erosivas nas dunas e não permitem a recomposição vegetal da mesma pelo contínuo processo erosivo. Na região de estudo, podem ocorrer 14 sangradouros por quilômetro nos trechos mais urbanizados (FIGUEIREDO; CALLIARI, 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 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).

As dunas frontais do trecho 11 (FIGURA 18) são formadas por volumes remanescentes e pouco vegetados seguidas por bacias de deflação. Nos trechos mais degradados, as dunas frontais foram removidas, restando pequenos fragmentos pouco vegetados.

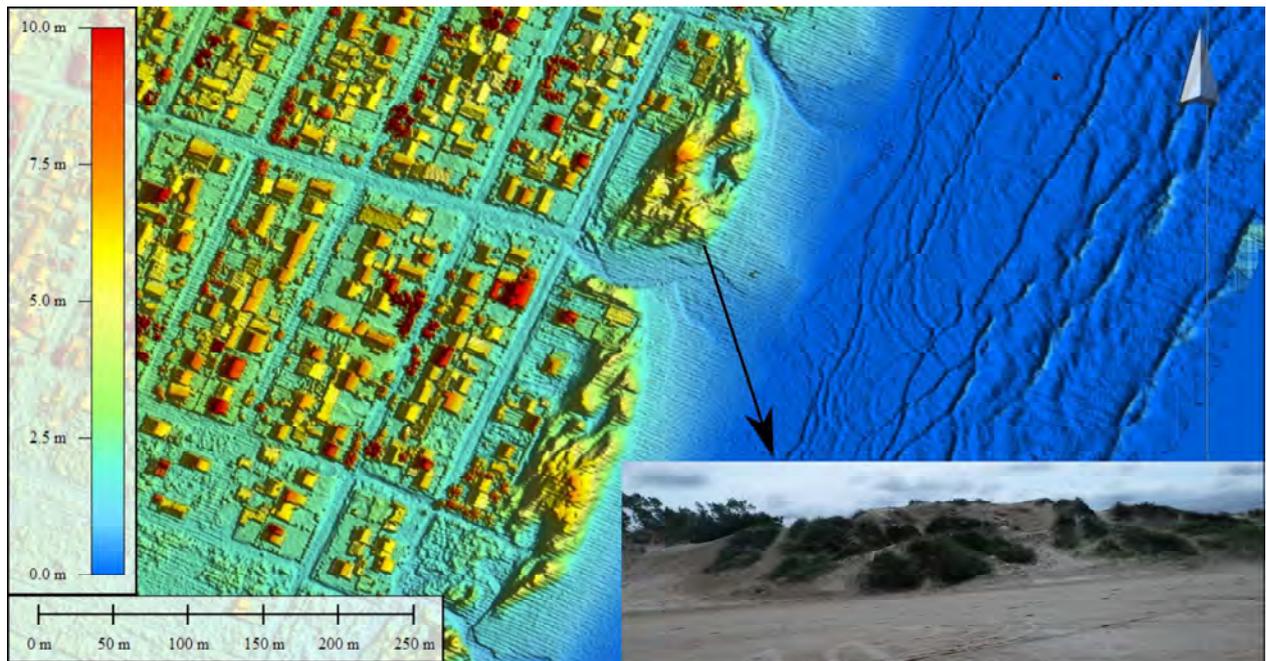


Figura 18 - Dunas frontais do trecho 11 em moderado processo erosivo, no destaque fragmentos vegetados não erodidos.

O posicionamento isolado do trecho 24 no *biplot* é devido a sua morfologia extrema, como grande azimute da linha de costa, alto %AMD e baixo %CV. Ao trecho pertence o Parque Nacional da Guarita, que possui o maior azimute da linha de costa da área de estudo ($69,8^\circ$), (VIANNA; CALLIARI, 2015). Esse balneário, assim como a Praia da Cal e Prainha, não possui duna frontal, somente pequenas dunas embrionárias que não tiveram os %CV mensurados.

No trecho 24 existem dunas frontais no balneário Praia Grande (FIGURA 19), situado no limite norte da área de estudo. As dunas frontais são caracterizadas pela topografia do tipo *hummocky* (estágio 3). A crista dunar é irregular e, em alguns pontos, múltiplas cristas existem. Grandes falésias ocorrem no Parque Nacional da Guarita (FIGURA 15), estendendo-se até a Praia da Cal. Essas formações rochosas isolam o Parque Nacional da Guarita, resultando em uma orientação de linha de costa única em todo o litoral gaúcho.

Dunas *hummocky* (estágio 3) existem em quase todos os trechos estudados e 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).

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 (KEIJSERS; GROOT; RIKSEN, 2015).

A erosão por ondas durante tempestades cria dunas frontais de topografia complexa na área de estudo. 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).

A morfologia das dunas frontais também está relacionada a vegetação. Na região ocorrem, em maior frequência, *Panicum racemosum* e *Spartina ciliata*, a primeira mais frequente ao sul da área de estudo (CALLIARI *et al.*, 2005). Conforme observações de

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. *Spartina ciliata* distribuiu-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.

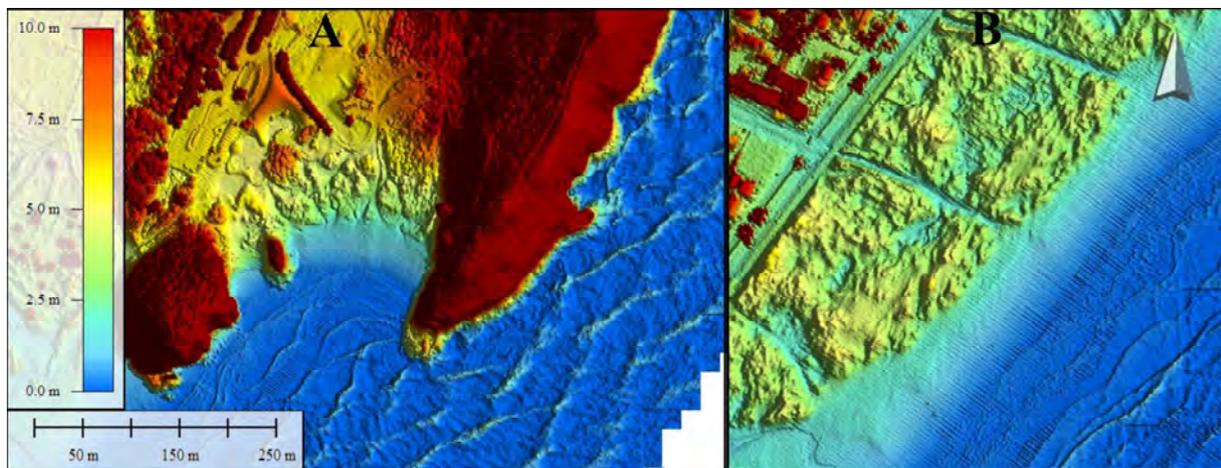


Figura 19 - Falésias no trecho 24 (A) e dunas frontais do balneário Praia Grande (B).

Conclusões

Os %AMD e %AMPS apresentaram pequenas variações na área de estudo. Isso se deve ao material fonte, proveniente da Barreira IV, na qual todos os trechos estão situados. As variações encontradas podem ser atribuídas a entrada de sedimentos continentais, via sangradouros, a maior ou menor presença de cascalhos biodetríticos e minerais pesados. Areias médias também podem vir da plataforma interna, provenientes de antigos canais fluviais afogados.

As variáveis sedimentológicas estudadas não são responsáveis pelas diferenças morfológicas observadas no sistema praia-duna frontal. As análises estatísticas demonstraram que não há correlação entre a sedimentologia e morfologia da área de estudo, isso pode ser explicado pela pequena diversidade encontrada nos %AMD e %AMPS.

As variações encontradas na morfologia do sistema praia-duna frontal ocorrem devido a orientação da linha de costa em relação ao vento NE. O azimute de linha de costa é a única variável responsável pela diversidade encontrada no sistema praia-duna frontal. Devido ao intenso grau de urbanização, diversos trechos da área de estudo possuem a morfologia dunar modificada, o que pode explicar o não relacionamento entre as variáveis sedimentológicas e morfológicas.

As análises estatísticas são adequadas para dividir trechos de extensas linhas de costas em grupos e

identificar segmentos com sedimentologia e morfologia diferenciada. Os grupos formados representam as variações morfológicas e sedimentológicas presentes na área de estudo como, por exemplo, a diferença no azimute da linha de costa, maior no grupo 1 e menor no 3. O não agrupamento de alguns trechos é devido a características únicas identificadas nos mesmos, como o maior %CV e altura das dunas frontais no trecho 1 e o maior azimute da linha de costa no trecho 24. Devido a essas características, esses dois trechos podem ser considerados extremos.

Exceto pelo grupo 1, que possui dunas frontais de menor altura e em estágios erosivos mais avançados (*nebkas* e lençóis eólicos, estágio 4), os demais grupos e trechos não agrupados possuem dunas frontais de semelhantes estágios morfológicos. As *nebkas* encontradas no grupo 1 são formadas pela maior frequência de *Spartina ciliata* nos balneários do grupo. A morfologia dunar *hummocky* presentes no grupo 2 é favorecida pelo uso recreativo das dunas e também pela pequena largura da praia subaérea dos balneários do grupo. No grupo 3 dunas *hummocky* são comuns, assim como fragmentos remanescentes das dunas originais, visto que diversas dunas desse grupo foram degradadas.

Dunas *hummocky* e *blowouts*, frequentes na área de estudo, são comuns no estágio morfológico 3. O %CV médio na região, próximo a 65%, corresponde a cobertura vegetal encontrada nesse estágio intermediário. O estágio 3 é o mais comum na área de estudo.

evidenciando que as dunas frontais da região encontram-se em estágios erosivos moderados. Essa morfologia dunar sinaliza que as praias da área de estudo são de estágios morfodinâmicos intermediários a dissipativos, corroborando assim achados anteriores sobre a morfodinâmica das praias do RS.

Referências Bibliográficas

- AHMADY-BIRGANI, H.; MCQUEEN, K. G.; MOEINADDINI, M.; NASERI, H. 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>.
- 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.
- ALMEIDA, L.E.S.B.; ROSAURO, N.M.L.; TOLDO JR., E.E. Análise Preliminar das Marés na Barra do Rio Tramandaí. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 12., 1997, Vitoria. Anais... . Vitória: ABRH, 1997. p. 560 - 566.
- 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.
- 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>.
- 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).
- 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>.
- 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.; PEREIRA, P. S.; DE OLIVEIRA, A. O.; FIGUEIREDO, S. A. Variabilidade das dunas frontais no litoral norte e médio do Rio Grande do Sul/Brasil. **Gravel**, Porto Alegre, p.15-30, nov. 2005.
- 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.
- CLARKE, K. R.; GORLEY, R. N. PRIMER v6: User Manual/ Tutorial. Plymouth: PRIMER-E, 2006, 192 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.
- DAVIS, R. A. **Depositional Systems**. 2. ed. New Jersey: Prentice Hall College, 1992. 604 p.
- DAVIDSON-ARNOTT, R. **Introduction to Coastal Processes and Geomorphology**. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. 442 p.
- DURÁN, 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.
- 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.
- 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.
- 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. 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. 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>.
- 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.
- KEIJSERS, J. G. S.; GROOT, A. V.; 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>.
- KOMAR, P. D. **Beach Processes and Sedimentation**. Second ed. London: Prentice Hall, 1998. 544 p.
- LORENZ, R. D.; ZIMBELMAN, J. R. **Dune Worlds: How Windblown Sand Shapes Planetary Landscapes**. London: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014. 308 p.
- 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.
- MARTINS, L. R. Relações texturais das areias da zona costeira do Rio Grande do Sul. **Gravel**, Porto Alegre, v. 4, n.1, 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, 3 p.
- OLIVEIRA, U. R.; PARIZOTTO, B. A. D. M.; Horn Filho, N. O.; BONETTI FILHO, J. Setorização morfossedimentar das praias arenosas da ilha de Santa Catarina (SC) utilizando técnicas de análise estatística multivariada. **Gravel**, Porto Alegre, v. 10, n. 1, 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, mai 2002. Disponível em: <<http://pareonline.net/getvn.asp?v=8&n=6>>. Acesso em: 19 jul. 2017.
- 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>.
- 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.
- 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: Ecoscientia, 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.
- SHARP, R. P. Wind-Driven Sand in Coachella Valley, California. **Geological Society of America Bulletin**, [s.l.], v. 75, n. 9, p.785-804, 1964. Geological Society of America. [http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606\(1964\)75\[785:wsicvc\]2.0.co;2](http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606(1964)75[785:wsicvc]2.0.co;2).
- 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.; HESP, P. A.; PEIXOTO, J.; DILLENBURG, S. R. Fore-dune 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.; CUCHIARA, D. C.; TOLDO Jr., E. E.; ALMEIDA, L. E. S. B. 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>.

- 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.; ALMEIDA, L. E. S. B.; NICOLODI, J. L.; MARTINS, L. R. 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.; 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.; GARCÍA, N. R.; JIMÉNEZ-CONTRERAS, E.; HERRERA, F.; LÓPEZ-CÓZAR, E. D. 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.
- VISHER, G. 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.
- WESCHENFELDER, J.; AYUP-ZOUAIN, R. N.; ZOMER, S. L. C.; SOUTO, R. P. **Caracterização Morfológica das praias oceânicas entre Imbé e Arroio do Sal, RS**. Notas Técnicas, Porto Alegre, v. 9 p.35-48, 1997.