



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

**VARIAÇÃO SAZONAL, GRANULOMÉTRICA E  
MORFOLÓGICA LONGITUDINAL DO SISTEMA PRAIA-  
DUNA NO LITORAL NORTE DO RIO GRANDE DO SUL,  
BRASIL**

Vinicius Cantarelli Terres

Porto Alegre, julho de 2018.

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

**VARIAÇÃO SAZONAL, GRANULOMÉTRICA E MORFOLÓGICA  
LONGITUDINAL DO SISTEMA PRAIA-DUNA NO LITORAL NORTE  
DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL**

VINICIUS CANTARELLI TERRES

ORIENTADOR – Prof. Dr. Sérgio Dillenburg

BANCA EXAMINADORA

Prof Dr. - Jair Weschenfelder - Instituto de Geociências/UFRGS

Profª Dra. - Maria Luiza Correa da Camara Rosa - Instituto de Geociências/UFRGS

Prof Dr. - Lauro Júlio Calliari - Núcleo de Oceanografia Geológica/FURG

Dissertação de Mestrado apresentado como  
requisito parcial para a obtenção do título de  
Mestre em Geociências.

Porto Alegre, julho de 2018.

## FICHA CATALOGRÁFICA

### CIP - Catalogação na Publicação

Terres, Vinícius Cantarelli  
VARIÇÃO SAZONAL, GRANULOMÉTRICA E MORFOLÓGICA  
LONGITUDINAL DO SISTEMA PRAIA-DUNA NO LITORAL NORTE  
DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL / Vinícius Cantarelli  
Terres. -- 2018.  
80 f.  
Orientador: Sérgio Dillenburg.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências,  
Programa de Pós-Graduação em Geociências, Porto  
Alegre, BR-RS, 2018.

1. Sedimentos. 2. Barreira holocênica. 3. Sistema  
Praia-Duna. 4. Litoral Norte. I. Dillenburg, Sérgio,  
orient. II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os  
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente ao meu orientador, Prof. Dr. Sérgio Rebello Dillenburg, por ter se prontificado a assumir a orientação, pelo incentivo e apoio, bem como pelos conhecimentos transmitidos durante o desenvolvimento desta dissertação.

À Susanne, minha esposa, pelo constante apoio e por sempre acreditar em meus sonhos.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), ao Instituto de Geociências e ao Programa de Pós Graduação (PPGEO) pelo acolhimento e pela infraestrutura que possibilitou a realização deste trabalho, em especial aos professores e ao corpo técnico de profissionais da instituição.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de mestrado e pelo suporte financeiro.

Obrigado a todos!

## RESUMO

A área de estudo do presente trabalho é parte integrante da barreira holocênica do estado do Rio Grande do Sul. Apresenta seus limites entre o balneário de Itapeva (município de Torres) ao norte e, ao sul, o balneário de Dunas Altas (município de Palmares do Sul). Este trabalho teve por objetivo obter novas informações referentes às variações sazonais (inverno e verão) morfológicas e sedimentológicas (granulometria e morfoscopia) do sistema praia-duna frontal no Litoral Norte do Rio Grande do Sul, Brasil. Para isso, foram coletadas e analisadas por difração a laser (granulometria) 26 amostras de sedimentos das dunas frontais (face marinha) e 26 da praia (nos limites instantâneos da zona de espraiamento), bem como as suas características morfológicas através de medição, observação e descrição em campo. Os resultados obtidos demonstraram nítida relação sedimentológica entre a praia e a duna frontal quando observados na mesma estação. No ambiente praial, os sedimentos foram caracterizados como areia fina com tendência granocrescente para o norte, bem selecionados, aproximadamente simétricos e mesocúrticos no verão, com tendência a leptocúrticos no inverno. Nas dunas frontais os sedimentos foram classificados como areia fina, com tendência granocrescente para o norte no inverno e um sutil decréscimo no verão, bem selecionados a muito bem selecionados e aproximadamente simétricos, mesocúrticos com tendência leptocúrticos nas duas estações. No inverno, a praia apresentou areias com maior valor de diâmetro médio em relação ao verão, da mesma forma que as a dunas frontais. Quanto à morfoscopia (verão/inverno), os grãos foram classificados como angulosos com média esfericidade. Com relação à análise das variáveis morfológicas, a largura da praia e a pista de vento não apresentaram relação com a altura das dunas frontais. As mesmas tendem a um decréscimo de sul para norte. As maiores alturas de dunas foram encontradas ao sul, onde há maior velocidade dos ventos e em função da orientação da linha de costa que determina uma incidência com maior valor angular do vento dominante proveniente de nordeste.

**Palavras-chave.** Planície Costeira do RS, litoral norte, geologia, praia-duna frontal, sedimentologia, morfoscopia, difração laser.

## ABSTRACT

The study area of this work corresponds to the beach-foredune system of the Holocene barrier of the Rio Grande do Sul state. It presents its boundaries between Itapeva (Torres municipality) to the north and Dunas Altas (Palmares do Sul municipality) to the south. The objective of this work was to obtain new information regarding seasonal (winter and summer) morphological and sedimentological variations (granulometry and morphoscopy) of the beach-foredune system in the northern coast of Rio Grande do Sul, Brazil. For this, 26 samples of sediments of the foredunes (marine face) and 26 of the beach (at the instantaneous limits of the swash zone) were collected and analyzed by laser diffraction (granulometry), as well as their morphological characteristics through the measurement, observation and field description. The results obtained showed a clear sedimentological relationship between the beach and the foredune when considered the same season. At the beach the sediments were characterized as fine sand with a tendency to a northward increase on grain size. These sands are well selected, approximately symmetrical and mesocurtic in the summer, with tendency to leptocurtic in the winter. In the foredunes the sediments were classified as fine sand, with a tendency to a northward increase on grain size in the winter, and a subtle decrease in the summer. These sands are well selected to very well selected and approximately symmetrical, mesocurtic with a leptocurtic tendency in the two seasons. In winter the beach and the foredune presented sands with a higher value of average diameter in relation to the summer. In regard of morphoscopy (summer/winter), the grains were classified as angular with moderate sphericity. Regarding the analysis of the morphological variables, the width of the beach and the wind fetch were not related to the height of the foredunes. They tend to decrease from south to north. The highest heights of dunes were found to the south, where there is higher wind velocity, due to the orientation of the coastline that determines a higher angular value of incidence of the dominant wind coming from the northeast.

**Keywords** Coastal Plain of Rio Grande do Sul, north coast, beach-dune system, seasonal variation, sediments.

## SUMÁRIO

Estrutura da dissertação .....	9
1. INTRODUÇÃO .....	10
1.1. Objetivos.....	13
2. PLANÍCIE COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL (PCRS).....	15
2.1. Características gerais.....	15
2.2. Geologia e geomorfologia.....	16
2.3. Litoral norte.....	18
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	21
3.1. Praias arenosas.....	21
3.2. Dunas frontais.....	23
3.2.1 Dunas frontais incipientes.....	25
3.2.2 Dunas frontais estabilizadas.....	25
3.3. Ventos e ondas.....	26
3.4. Sistema Praia-Duna.....	28
REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO.....	31
4. ARTIGO.....	33

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1** - Perfil esquemático transversal aos sistemas deposicionais da Planície Costeira do Rio Grande do Sul na latitude de Porto Alegre. As barreiras são correlacionadas aos últimos maiores picos da curva isotópica de oxigênio (modificado de Tomazelli & Villwock, 2000).

**Figura 2** – Área de estudo, Litoral Norte da PCRS.

**Figura 3** - Subdivisões do sistema praial, modificado de Short (1999) por Toldo Jr. (2010).

**Figura 4** - Duna frontal incipiente, Litoral Norte da PCRS.

**Figura 5** - Duna frontal estabilizada, Litoral Norte da PCRS.

**Figura 6** - Estágios morfo-ecológicos, onde 1 corresponde a dunas frontais bem vegetadas e estáveis progredindo até 5, altamente erosiva (Modificado de Hesp, 2000).

**Figura 7** - Troca sedientar entre o sistema praial-duna frontal (modificado de Psuty, 1992).

**Figura 8** - Dinâmica do sistema praia-duna frontal (modificado de Hesp, 2000).

## **ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

Esta dissertação compreende um capítulo introdutório onde são apresentadas noções gerais sobre o tema, bem como os objetivos do trabalho. O segundo capítulo trata da área de estudo e suas características. No terceiro capítulo é feita a fundamentação teórica, onde são apresentados os conceitos pertinentes ao assunto abordado neste trabalho. No quarto e último capítulo é apresentada a carta de submissão e o artigo científico submetido a periódico, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Geociências.

# **CAPÍTULO 1**

## 1. INTRODUÇÃO

As zonas costeiras podem ser definidas como faixas de terra, de largura variável, que se estendem da linha de praia (*shoreline*), até seu limite, encontrado nas primeiras alterações significativas fisiográficas em direção ao interior do continente (SUGUIO, 1992). São constituídas por diversos elementos morfo-sedimentares, interdependentes através de processos aerodinâmicos, sedimentares, morfológicos e ecológicos. São espaços delimitados pela interface entre os três principais sistemas naturais na superfície terrestre: a atmosfera, os oceanos e os continentes.

Os processos que operam nesses três sistemas e suas interações (geológicas, geomórficas, meteorológicas, biológicas, químicas e físicas) são responsáveis pela formação dos mais variados ambientes costeiros, tornando-os extremamente complexos, dinâmicos, tanto em escala geológica de tempo, quanto em mudanças significativas em períodos de dias, meses ou anos, vindo a serem de grande interesse como objeto de estudo e pesquisa nas academias de geociências e outras áreas do conhecimento.

Para Hoefel, (1998), praias arenosas oceânicas são corpos de sedimentos arenosos não coesivos e inconsolidados depositados na zona costeira. Elas ocorrem em todas as regiões do mundo, desde que haja disponibilidade e interação de elementos como o vento, a água e a areia, que resultam em processos hidrodinâmicos e deposicionais complexos (SHORT; 1999; BROWN; MCLACHLAN, 1990).

O sistema praias é dividido em uma porção subaérea, que se estende do limite da zona de swash até seu limite superior ou interno, distinguido pela variação fisiográfica, geralmente, por dunas frontais. A outra porção, subaquática, tem como limite inferior ou externo, o início da zona de arrebentação até a base orbital das ondas (WRIGHT; SHORT, 1983).

As dunas frontais são responsáveis pela manutenção da morfologia costeira, atuando como barreiras (CORDAZZO, 2009) e como estoque de sedimentos para as ondas (GIANNINI, 2007). Elas dependem de alguns fatores para seu desenvolvimento e evolução, como aporte de sedimentos, grau de cobertura da vegetação, taxa de aporte eólico, frequência e magnitude de ataques pelas ondas ou

erosão pelo vento, escarpamento da duna, tipo de praia, zona de surfe, estabilidade da praia e a ação antrópica (HESP, 2000).

A compreensão e influência mútua entre esses ambientes, a princípio, distintos, foram interpretados culminando num modelo conceitual de interação entre praia e duna frontal proposto por Hesp, (1982 *apud* HESP; SMYTH, 2016) em ambientes de micro-marés no leste e sul da Austrália.

Quanto à análise sedimentológica, McLaren (1981) e McLaren e Bowles (1985) propuseram a utilização de três diferentes parâmetros texturais: a média, o desvio padrão e a assimetria, ao perceberem que nos ambientes fontes e deposicionais os grãos de menor diâmetro possuem maior probabilidade de serem transportados do que grãos maiores, e que somente a distribuição do tamanho médio dos grãos não seria suficiente para interpretar com segurança estatística esses ambientes.

Na Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS) estudos desenvolvidos por Villwock (1984), Villwock *et al.* (1986), Villwock e Tomazelli (1995), identificaram e descreveram dois tipos de sistemas deposicionais responsáveis pela sua formação: o Sistema de Leques Aluviais e o Sistema do tipo Laguna-Barreira.

O sistema Laguna-Barreira é descrito do mais antigo para o mais recente, sendo eles, o sistema Laguna-Barreira I, II, III (Pleistoceno) e IV (Holoceno), onde cada um representa uma fase de máxima transgressão marinha (VILLWOCK; TOMAZELLI, 1995; TOMAZELLI; VILLWOCK, 1996, DILLENBURG *et al.*, 2003).

A atual PCRS (Sistema Laguna-Barreira IV) se estende da desembocadura do Arroio Chuí, ao sul, até Torres, ao norte, é representada por uma ampla planície costeira com cerca de 620 km de extensão e até 100 km de largura, com suaves projeções e embaiamentos, apresentando orientação geral NE-SO, localizando-se em uma região costeira aberta.

Em sua porção norte, área de estudo do presente trabalho (Dunas Altas a Itapeva), as praias apresentam uma baixa declividade, com valores médios entre 2-4°, e estágios morfodinâmicos variando entre dissipativos e intermediários, sendo dominadas por ondas junto à costa que alcançam a altura média de 1,50m e pelas correntes de retorno por elas geradas. A maré astronômica caracteriza-se como semidiurna de micromaré (0,50m), e a deriva litorânea no sentido NE, podendo ocorrer em ambos os sentidos da linha de costa (TOMAZELI, 1992; MARTINHO *et al.*, 2009; MOTA, 1967; MARTINS 1967; ALVAREZ *et al.*, 1981).

Essas praias são constituídas predominantemente por sedimentos siliciclásticos, areias finas quartzosas (2-3 $\phi$ ), maduras e com baixa porcentagem de matéria orgânica, e sedimento carbonático, ocorrendo, também, concentrações de minerais pesados de origem continental (MARTINS, 1967; ALVAREZ *et al.*, 1981; TOMAZELLI; VILLWOCK, 1992; CALLIARI; KLEIN, 1992; TOLDO *et al.*, 1993; VILLWOCK; TOMAZELLI, 1995; WESCHENFELDER, 1996).

As dunas frontais e os campos de dunas representam as maiores expressões morfológicas, apresentando dunas frontais entre bem desenvolvidas a inexistentes, com variação morfoecológica (TOMAZELLI; VILLWOCK, 1992; TOLDO JR. *et al.*, 1993; WESCHENFELDER *et al.*, 1997).

## **1.1 OBJETIVOS**

Esta dissertação tem como objetivo buscar novas informações referentes às variações sazonais (inverno e verão), granulométricas e morfoscópicas morfológicas do sistema praia-duna frontal no Litoral Norte do Rio Grande do Sul, Brasil, abrangendo uma área de aproximadamente 130 km, do balneário de Dunas Altas (município de Palmares do Sul), ao sul, até Itapeva (município de Torres), ao norte. Assim, busca-se estabelecer de forma quantitativa a morfologia, a distribuição granulométrica e textural das partículas sedimentares, de forma a caracterizar, classificar e correlacionar sedimentos de ambientes deposicionais distintos, por meio de tratamento estatístico, bem como interpretar dados morfológicos e suas relações com os resultados granulométricos.

## **CAPÍTULO 2**

## 2 PLANÍCIE COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL (PCRS)

### 2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA PCRS

A Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS) abrange uma área de 33.000 km<sup>2</sup>, é caracterizada por uma ampla faixa costeira com cerca de 620 km, com orientação NE-SO entre os paralelos 29° e 43° de latitude sul, sendo delimitada ao sul pela desembocadura do Arroio Chuí e ao norte pelo promontório de Torres. Sua área pode ser subdividida em Litoral Sul, Litoral Médio e Litoral Norte, sendo esta última a área de estudo deste trabalho. A PCRS está submetida à influência do anticiclone do Atlântico e o anticiclone móvel polar, dois amplos centros de ação meteorológica que condicionam o clima em todo sul do continente. O clima da região é caracterizado como mesotérmico, superúmido, sem estação seca, com temperatura média anual de 17,5°C e média pluviométrica anual de 1300 mm no litoral (Delaney, 1965; Vieira, *et al.*, 1988; Nimer, 1989;).

Ela apresenta uma linha de costa com uma pequena sinuosidade, com suaves embaixamentos e projeções, apresentando uma sucessão de cordões litorâneos denominados por barreiras em sua porção interior (VILLWOCK *et al.*, 1986). Suas praias ao longo da costa gaúcha são expostas, com declive suave (2-4°) e dominadas por ondas e correntes por elas geradas. Estão submetidas a um regime de micromaré semidiurno (0,50m), onde as principais oscilações do nível do mar são condicionadas por períodos de tempestade (TOMAZELLI; VILLWOCK, 1992). Apresentam características morfodinâmicas variando entre perfis praias intermediários e dissipativos. São constituídas predominantemente por sedimentos siliciclásticos, areias finas quartzosas (2-3φ), maduras e com baixa porcentagem de matéria orgânica, e sedimento carbonático, ocorrendo, também, concentrações de minerais pesados de origem continental (MARTINS, 1967; ALVAREZ *et al.*, 1981; TOMAZELLI; VILLWOCK, 1992; CALLIARI; KLEIN, 1992; TOLDO *et al.* 1993; VILLWOCK; TOMAZELLI, 1995; WESCHENFELDER, 1996).

A PCRS consiste em depósitos Quaternários inconsolidados, bem-preservedos e sob a influência de processos ainda atuantes, porém, não recebendo contribuições de areias modernas, visto que toda carga transportada pelos rios é retida nos corpos lagunares adjacentes como, por exemplo, a Laguna dos Patos e a Lagoa Mirim, que

se estendem por aproximadamente um terço da Planície Costeira do estado (TOMAZELLI; VILLWOCK, 1992; TOLDO; DILLENBURG, 2002).

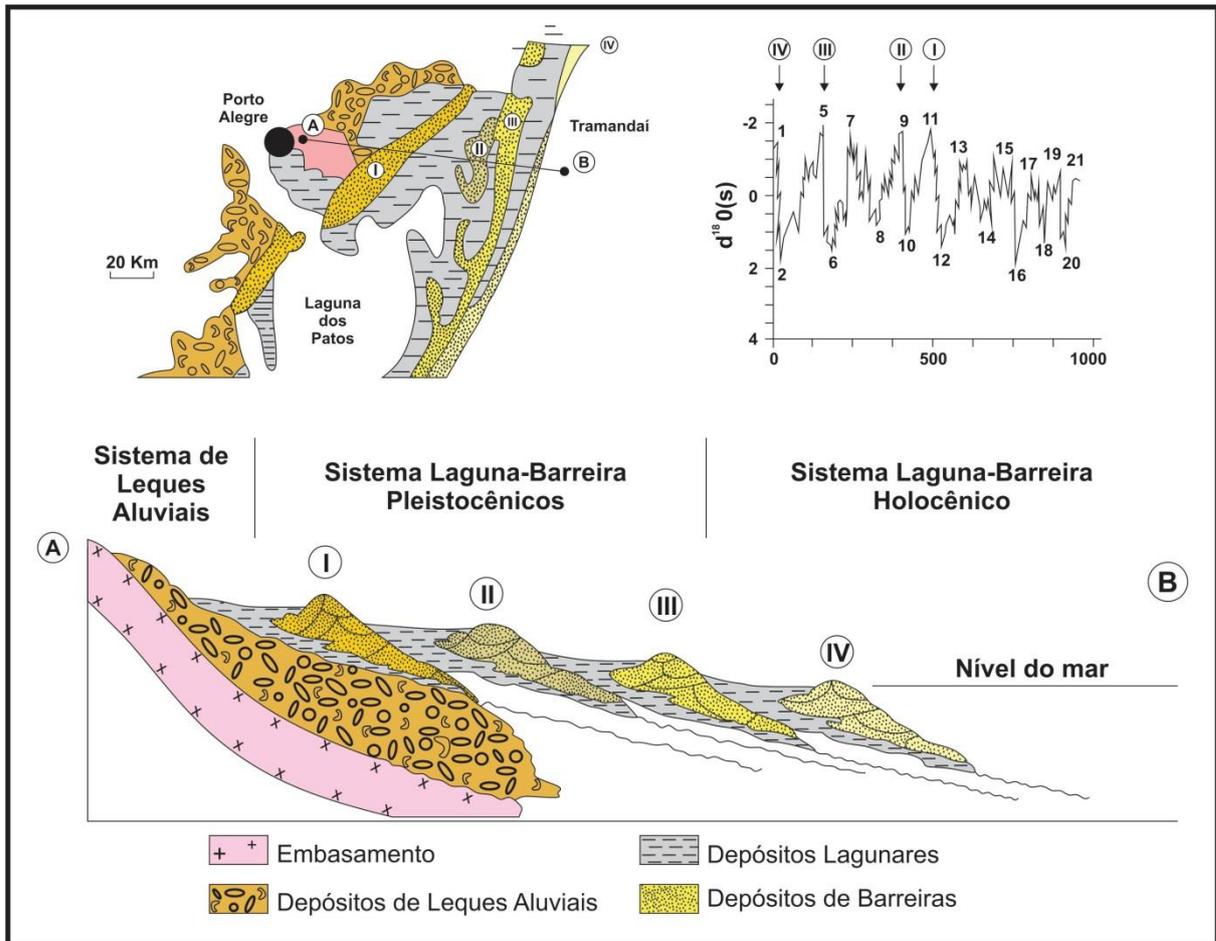
Inúmeros trabalhos de cunho geológico foram realizados nas últimas décadas ao longo da PCRS, dentre eles se destaca o trabalho de Delaney (1965), com a primeira descrição geológica e geomorfológica da região. Posteriormente, Martins (1967) em seus estudos sedimentológicos praias e eólicos, assim como Villwock (1972, 1977), Tomazelli (1977, 1990), Calliari (1980), Gonçalves (1989), Toldo Jr. (1989, 1994), Tabajara (1994), Dillenburg (1994), Weschenfelder (1996), entre outros, tornando a PCRS umas das planícies em que mais se tem estudos relacionados à sua origem e estruturação.

## **2.2 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DA PCRS**

A Planície Costeira do Rio Grande do Sul remonta sua gênese a partir do final da Era Mesozoica (Cretáceo Superior), onde movimentos tectônicos relacionados à fragmentação do continente gondwânico e a abertura do oceano Atlântico propiciaram a formação e a estruturação da Bacia de Pelotas. Caracterizada como uma bacia sedimentar do tipo marginal aberta, a Bacia de Pelotas está localizada no extremo sul da margem continental brasileira, tem sua porção superficial constituída por pacotes sedimentares e recoberta por sedimentos atuais, palimpsésticos e relíquias (GONÇALVES *et al.*, 1979; VILLWOCK; TOMAZELLI, 1995).

Ao longo do cenozoico (do Neógeno ao Quaternário) os sedimentos da porção superior da bacia foram depositados e retrabalhados por sucessivos ciclos transgressivos e regressivos do nível do mar, por sua vez, controlados por ciclos glaciais e interglaciais ocorridos durante o Pleistoceno, caracterizando, assim, a atual PCRS como a porção emersa da Bacia de Pelotas (RIBEIRO *et al.* 2009; BUCHMAN, 2009).

Estudos desenvolvidos por Villwock (1984), Villwock *et al.*(1986), Villwock; Tomazelli (1995) na PCRS identificaram e descreveram dois tipos de sistemas deposicionais: o Sistema de Leques Aluviais e o Sistema do tipo Laguna-Barreira (**Fig. 1**)



**Figura 1.** Perfil esquemático transversal aos sistemas deposicionais da Planície Costeira do Rio Grande do Sul na latitude de Porto Alegre. As barreiras são correlacionadas aos últimos maiores picos da curva isotópica de oxigênio (modificado de Tomazelli & Villwock, 2000).

O primeiro sistema deposicional é encontrado na porção mais interna da planície costeira adjacente aos ambientes de encosta das terras altas, composto por depósitos resultantes de processos gravitacionais. Com base nas características composicionais, texturais e estruturais das fácies geradas por esse sistema, puderam ser diferenciados em três subsistemas: leques alimentados pelo escudo pré-cambriano, leques alimentados pelo planalto e leques alimentados pela Barreira I.

O segundo sistema (Laguna-Barreira) é constituído por quatro estágios deposicionais de barreiras desenvolvidas lateralmente e coalescentes, relacionados diretamente a eventos de transgressão e regressão marinha ocorridos ao longo do Quaternário, resultando, assim, em um sistema múltiplo de barreiras. Os sistemas são descritos do mais antigo para o mais recente, sendo eles, o sistema Laguna-Barreira I, II, III (Pleistoceno) e IV (Holoceno), onde cada um representa uma fase de

máxima transgressão marinha, relacionada a um estágio interglacial apresentando, respectivamente, idades de 400ka, 325ka, 123ka e 6ka, (TOMAZELLI; VILLWOCK, 1995, 1996; DILLENBURG *et al.*, 2003).

O Sistema Laguna-Barreira IV, local de estudo do presente trabalho, desenvolveu-se como consequência da última grande transgressão pós-glacial, correspondendo ao estágio isotópico de oxigênio 1, com nível do mar mais alto posicionado aproximadamente 2m acima do nível atual (DILLENBURG *et al.*, 2017).

A Barreira IV apresentou um comportamento evolutivo não uniforme durante o Holoceno Médio e Tardio, com setores em retrogradação e setores em progradação, sendo possível perceber quatro subtipos morfoestratigráficos coexistindo, a Barreira Regressiva/Progradante, (Ex: trecho Tramandaí a Torres); Barreira Estacionária/Agradacional, (Ex: Albardão); Barreira Transgressiva/Retrogradante, (EX: trecho Mostardas a Estreito); e Barreira acoplada à terra principal - *mainland beach barrier* - (Ex: Chuí) (DILLENBURG *et al.*, 2000, 2004a, 2009).

### **2.3 LITORAL NORTE DA PCRS**

A PCRS pode ser dividida em três setores: Litoral Sul, Litoral Médio e Litoral Norte, segundo a Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM). O Litoral Norte, área de estudo do presente trabalho (Fig.2), é caracterizado geologicamente pela Barreira Holocênica IV, ocupando sua porção Regressiva/Progradante (Torres a Tramandaí) e uma pequena porção da Barreira Estacionária/Agradacional (Tramandaí a Dunas Altas). Apresenta seus limites entre o balneário de Itapeva (Torres) ao norte, tendo a escarpa da Serra Geral a sua adjacência e uma planície costeira estreita, e, em direção sul, o balneário de Dunas Altas, onde a planície costeira tende a apresentar considerável largura.

Sua linha de costa tende a um suave embaimento sendo caracterizada por uma relativa homogeneidade e continuidade lateral, interrompida somente pelo inlet de Tramandaí e por eventuais sangradouros. Suas praias apresentam uma baixa declividade, com valores médios entre 2-4°, e estágios morfodinâmicos variando entre dissipativos e intermediários, sendo dominadas por ondas junto à costa que alcançam a altura média de 1,50m e pelas correntes de retorno por elas geradas. A maré astronômica caracteriza-se como semidiurna de micromaré (0,50m), e a deriva

litorânea no sentido NE, podendo ocorrer em ambos os sentidos da linha de costa (MARTINHO 2009; MOTA, 1967; MARTINS 1967; ALVAREZ *et al.*, 1981).

O clima da região é do tipo subtropical, com temperatura média anual de 17,5°C e média pluviométrica anual de 1300 mm no litoral (Delaney, 1965). O regime dos ventos se caracteriza como de alta energia, variando ao longo do litoral norte. Na região de Torres, limite norte da área de estudo, os ventos mais frequentes são os de Nordeste (NE) e Sul (S), apresentando os menores valores de velocidade potencial e de deriva resultante (PDR). Essa região está adjacente às escarpas da Serra Geral, a qual se torna uma barreira topográfica, fazendo com que a umidade se torne maior e o potencial de deriva (PD) eólica menor. Em Imbé, mais ao sul, predominam os ventos de NE, com as maiores velocidades e produzindo um potencial de deriva de NE para o sudoeste (SO) (MARTINHO *et al.*, 2010).

Suas praias são constituídas por areias quartzosas finas e bem selecionadas, as dunas frontais e os campos de dunas representam as maiores expressões morfológicas, apresentando dunas frontais entre bem desenvolvidas a inexistentes, e variação morfo-ecológica (TOMAZELLI; VILLWOCK, 1992; TOLDO JR. *et al.*, 1993; WESCHENFELDER *et al.*, 1997; CALLIARI *et al.*, 2005).

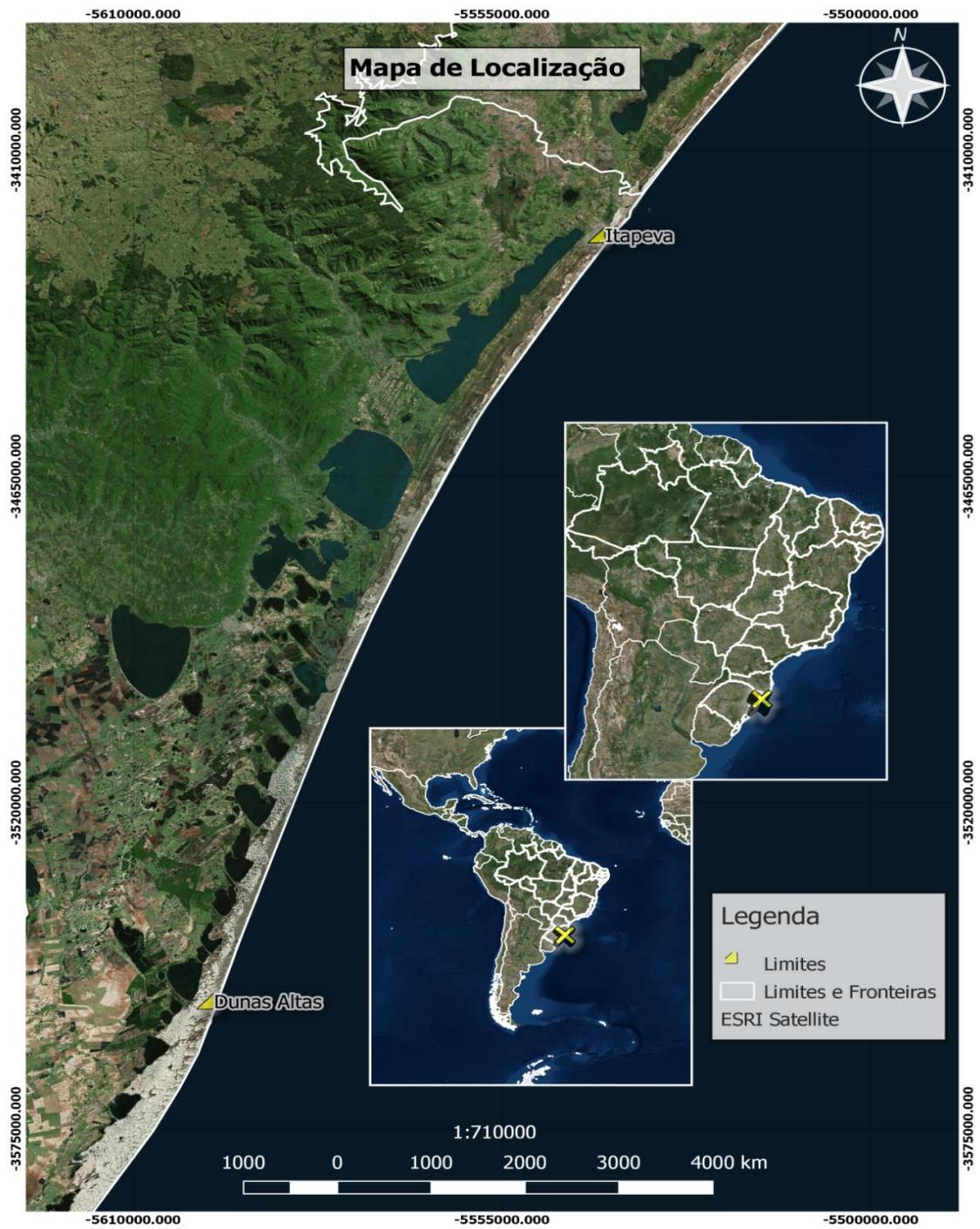


Figura 2. Área de estudo, Litoral Norte da PCRS.

## **CAPÍTULO 3**

### **3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **3.1 PRAIAS ARENOSAS**

Praias arenosas são ambientes costeiros que ocorrem em todo o mundo e podem apresentar diferentes configurações. Entre os fatores que determinam o tipo de praia estão a proximidade de promontórios, o regime de ondas, as características dos sedimentos, a interação com rios e estuários, e os fenômenos meteorológicos. Podem se apresentar com formas descontínuas, como praias de bolso ou uma baía, ou podem ser contínuas e abertas, se estendendo por longas distâncias (WICANDER; MONROE, 2009).

As praias arenosas representam um dos elementos morfológicos mais sensíveis às forçantes costeiras, principalmente no que diz respeito à ação das ondas, induzindo alterações morfodinâmicas através do deslocamento do estoque sedimentar (SHORT, 1999). Apresentam como principal característica uma carga sedimentar arenosa inconsolidada estendendo-se em direção à praia submersa, com variações granulométricas e de seleção, fornecendo importantes informações sobre os processos atuantes (MIOT DA SILVA, 2002). O tamanho e a constituição dos grãos que formam as praias exercem um importante papel no comportamento e na variação da declividade das praias arenosas, onde grãos finos tendem a gerar um perfil suave, enquanto que grãos grossos geram perfis mais íngremes (KOMAR, 1976).

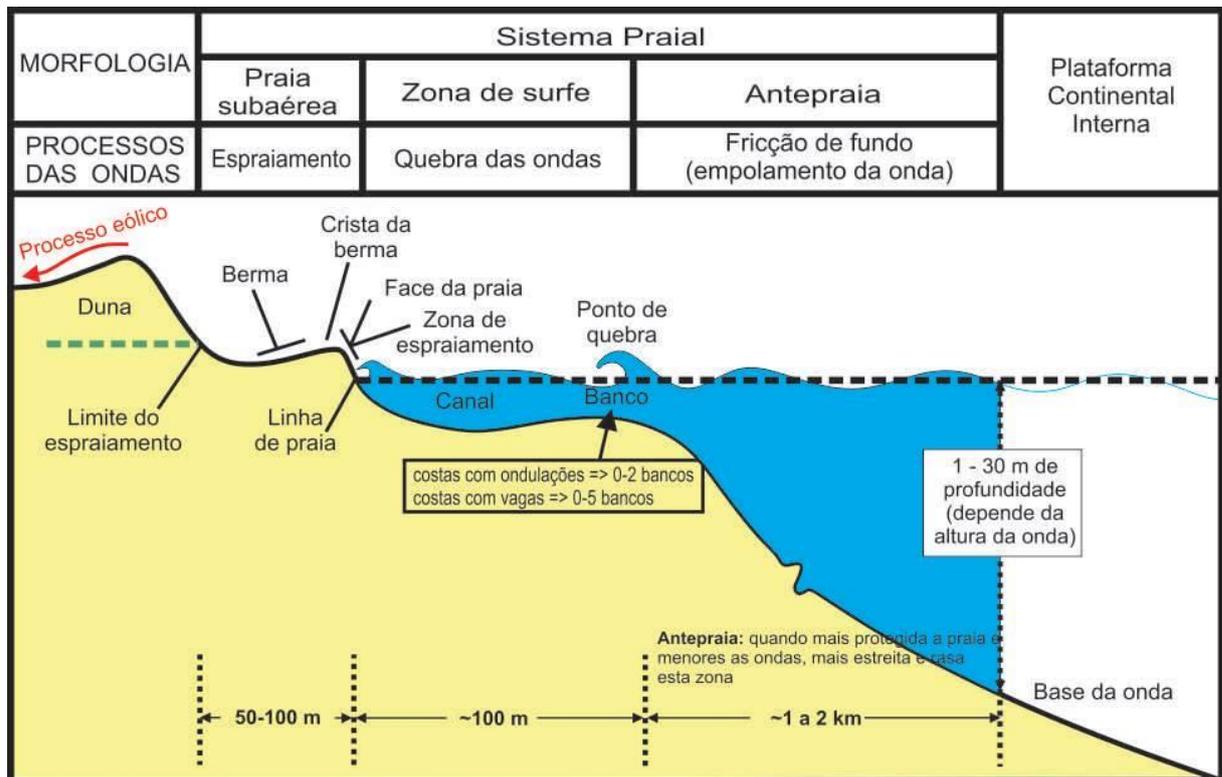
A importância de se compreender, com relativa precisão, o modo e a intensidade com que se dão as trocas sedimentares em praias arenosas, torna-se de grande importância para o entendimento acerca da problemática costeira, visto que são ambientes que apresentam constantes alterações morfológicas, resultantes das variações de energia incidente de ondas associados aos desequilíbrios no suprimento sedimentar (SHORT, 1999; KLEIN, 2004).

Por definição geológica, de forma geral, as praias arenosas são conceituadas como ambientes sedimentares costeiros de composição variada, formados mais comumente por material arenoso e condicionados pela interação dos sistemas de ondas incidentes sobre a costa (KING, 1959). Segundo Komar (1976), elas são compreendidas como uma acumulação de sedimentos inconsolidados de tamanhos

diversos que se estende em direção à costa, do nível médio de maré baixa até as primeiras alterações fisiográfica.

Para Short (1999), as praias arenosas resultam da interação das ondas com os sedimentos disponíveis, sendo as suas características gerais definidas pelas condições de maré, altura e período de onda e pelo tamanho dos grãos. Da mesma forma, Hoefel (1998) as define como sistemas transicionais altamente dinâmicos e sensíveis, que sofrem alterações de acordo com as mudanças de energia local em função dos processos eólicos, biológicos e hidráulicos.

Os ambientes praias são interpretados como um sistema compartimentado, subdividido com base na diferenciação dos ambientes e seus processos através de um perfil bidimensional (**Fig. 3**).



**Figura 3.** Subdivisões do sistema praias, modificado de Short (1999) por Toldo Jr. (2010).

Não havendo uma padronização na nomenclatura internacional e brasileira para esses ambientes, subambientes e respectivos processos genéticos, são melhor adaptadas com base na Escola Australiana de Geomorfologia Costeira (SHORT, 1979; WRIGHT *et al.*, 1979, 1982; WRIGHT; SHORT, 1984; WRIGHT; SHORT; GREEN, 1985) e utilizada em muitos estudos morfodinâmicos no Brasil (MUEHE,

1995; BENTES; FERNANDEZ; RIBEIRO, 1997; CALLIARI; KLEIN 1993, 1995; PINHEIRO, 2000; ALBUQUERQUE, 2008; PEREIRA, 2008; entre outros).

Assim, é possível perceber que a zona submersa é considerada como parte integrante do ambiente praiial, em função de sua contribuição na troca sedimentar e morfológica da praia, possuindo importância para a compreensão no que diz respeito ao caráter não coesivo dos sedimentos e à dominância dos fatores aerodinâmicos presentes nestes sistemas costeiros arenosos.

### **3.2 DUNAS FRONTAIS**

As dunas frontais (*foredunes*) são estruturas geológicas recentes com sedimentos inconsolidados que se desenvolvem contiguamente às praias arenosas. Sua origem se dá em função do transporte eólico de sedimentos, que se deslocam da porção subárea da praia em direção ao interior do continente. Estabelecem-se na região de pós-praia por deposição de areias aprisionadas no interior da vegetação, apresentando a forma de cordões paralelos à linha de costa. Sua ocorrência está diretamente relacionada ao suprimento de areia e ao regime dos ventos (CARTER *et al.*, 1990; HESP, 1999; BAUER; DAVIDSON-ARNOTT, 2003).

As dunas frontais desempenham um papel importante na manutenção e integridade da morfologia da costa, constituindo-se numa linha de defesa do continente contra a incidência de ondas, ondas de tempestades (*storm surge*) e, também, como estoque de sedimentos para as ondas (porção submersa) (CORDAZZO; SEELIGER, 1995; LARSON *et al.*, 2004; GIANNINI 2007).

Desenvolvem-se em ambientes em que o suprimento de sedimentos seja disponível, onde a largura e o tamanho de pista efetiva de vento (*fetch*) se tornam fatores importantes para determinar o volume de areia depositado no *backshore* e nas dunas frontais (DAVIDSON-ARNOTT, 1988; BAUER; DAVIDSON-ARNOTT, 2003).

O desenvolvimento e a evolução das dunas frontais dependem de fatores como aporte de sedimentos, grau de cobertura da vegetação, taxa de aporte eólico, frequência e magnitude de ataques pelas ondas ou erosão pelo vento, escarpamento da duna, tipo de praia, zona de surfe, estabilidade da praia e a ação antrópica (HESP, 2000).

O potencial de suprimento de sedimento tende a aumentar tornando as dunas frontais altas e largas nos sistemas de alta energia de onda. Em sistemas de moderada energia, o suprimento de sedimento tende a ser menor e com isso diminui o tamanho da duna frontal. Nos de baixa energia de onda, o potencial de transporte de sedimento é muito baixo e as dunas frontais formadas são pequenas (SHORT; HESP, 1982).

O sistema de dunas frontais representa a integração de um conjunto de processos geomorfológicos e respostas sedimentares sobre determinados períodos de tempo, sendo para Shermann (1995), ambientes extremamente dinâmicos que reagem a mudanças ambientais em diversas escalas de tempo e de espaço.

Na literatura, diversos autores tentaram estabelecer nomenclaturas, bem como conceitos de dunas frontais. A formação, evolução e dinâmica geomorfológica das dunas frontais são descritas por Hesp (1999, 2000, 2002, 2003), o qual as distingue em dunas incipientes e dunas estabilizadas, conforme o aumento gradativo da altura, da complexidade morfológica e da diversidade de cobertura vegetal.

### **3.2.1 Dunas frontais incipientes**

Também denominadas de dunas embrionárias, caracterizam-se por uma estrutura eólica pequena e efêmera, e possuem sua formação por deposição de areia dentro de aglomerados de vegetação (Fig. 4). Seu desenvolvimento morfológico depende, primeiramente, de fatores como densidade, distribuição, altura e cobertura vegetal, velocidade do vento e taxas de transporte de areia. A ocorrência de inundações, processos erosivos gerados por ondas de tempestade, incidência e direção do vento, são de grande importância na determinação da evolução da duna subsequente (estabilizada). Ainda, as dunas frontais incipientes, desde que haja condições bastante específicas, podem ser subdivididas quanto à sua morfologia em terraços, cordões (*ridges*) e rampas.



**Figura 4.** Duna frontal incipiente, Litoral Norte da PCRS.

### **3.2.2 Dunas frontais estabilizadas**

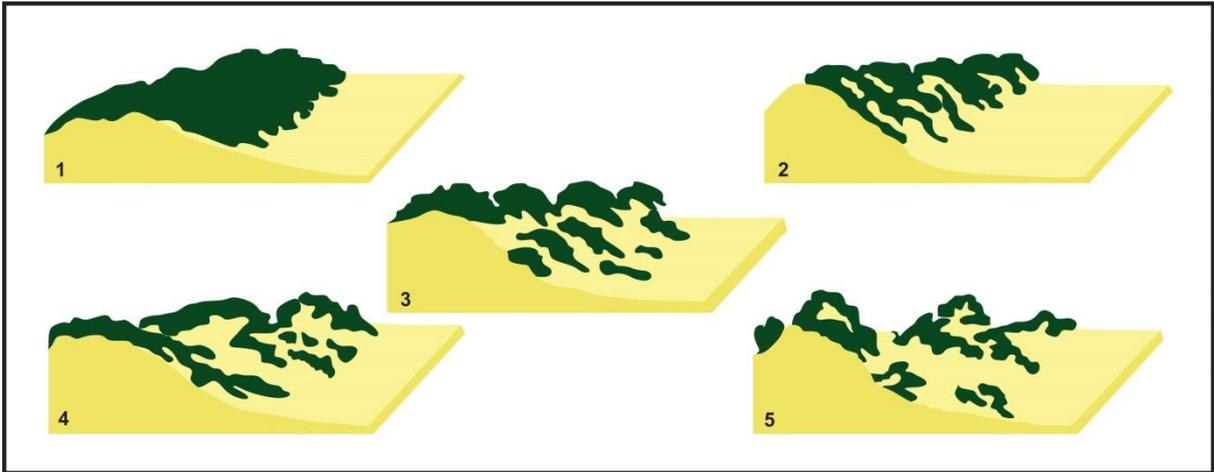
As dunas frontais estabilizadas desenvolvem-se a partir de dunas incipientes e podem ser delas distinguidas por terem maior complexidade de forma, altura e largura, associada ao crescimento de vegetação secundária, visto que a vegetação exerce um controle em relação a elas, as quais são classificadas com base nas variações morfológicas e ecológicas (HESP, 1988) (Fig. 5). Quando as dunas frontais sofrem acreção, a sua vegetação tende a se expandir, aumentando sua largura. Por sua vez, quando as mesmas sofrem erosão, a vegetação torna-se limitada, ocorrendo escarpas na duna frontal.



**Figura 5.** Duna frontal estabilizada, Litoral Norte da PCRS.

Segundo Hesp (2002), o desenvolvimento e a evolução das dunas frontais estabelecidas se devem à combinação de inúmeros fatores como o suprimento de areia, o grau de cobertura vegetal, as espécies vegetais presentes, as taxas de acreção e erosão eólica, a frequência e magnitude das ondas e ventos, a ocorrência e magnitude da erosão por tempestades, escarpamento das dunas e processo de cobrimento das dunas pelo mar (*overwash*), o estágio praiial a médio-longo termo, nível da água do estuário, lago, mar, e o impacto antrópico.

As dunas frontais também podem ser classificadas com base em um modelo evolutivo proposto por Hesp (1988), onde são reconhecidos cinco estágios morfoecológicos, onde o primeiro apresenta-se com dunas de topografia simples, lateralmente contínuas e bem vegetadas, que progridem em uma sequência evolutiva altamente erosiva até alcançar o estágio 5, no qual grande parte das dunas frontais estão removidas, permanecendo apenas montículos, remanescentes e segmentos dos cordões (Fig. 6).



**Figura 6.** Estágios morfo-ecológicos, onde 1 corresponde a dunas frontais bem vegetadas e estáveis progredindo até 5, altamente erosiva (Modificado de Hesp, 2000).

### 3.3 VENTOS E ONDAS

As variáveis aerodinâmicas caracterizam-se como a força motriz por trás dos processos costeiros, a compreensão das ondas e o conhecimento das condições eólicas em zonas costeiras, torna-se de fundamental importância (Morais, 1996). Dentre as variáveis controladoras dos processos costeiros, o clima constitui uma das mais importantes no que diz respeito à variação no regime dos ventos (MORAIS *et al.*, 2006).

Os ventos se originam pela diferença de gradiente de pressão atmosférica, de zonas de maior para as de menor pressão, assim, gerando o deslocamento do ar, que por sua vez é influenciado pelo movimento de rotação da Terra, força centrífuga, topografia e atrito com a superfície terrestre (TUBELIS; NASCIMENTO, 1984).

Em síntese, é uma massa de ar em movimento que se dirige numa determinada direção, transportando temperatura, humidade e sedimentos modificando o modelo e o delineamento das feições costeiras, determinando a variabilidade dos tipos de praia (PINHEIRO, 2000).

Constitui-se como o principal meio de transporte nos ambientes deposicionais eólicos, ao alcançar velocidades suficientes para a movimentação das partículas sedimentares, o vento transfere areias da praia subaérea através de três formas: suspensão, saltação e tração (US. ARMY CORPS OF ENGINEERS, 1984), onde a quantidade de material por eles carregada dependerá da intensidade, do tamanho das partículas e dos obstáculos, caracterizando-se, dessa forma, como um agente de alta competência no transporte de sedimentos (PRESS *et al.*, 2006).

Segundo Hesp *et al.* (2005) os processos eólicos desempenham um papel significativo na morfodinâmica e no balanço sedimentar da maioria dos sistemas arenosos costeiros. Além de estabelecerem um papel fundamental no que diz respeito à acumulação de material nas praias arenosas e nas dunas frontais, os ventos são uma importante contribuição no transporte sedimentar quando associado aos fluxos hidrodinâmicos (MORAIS *et al.*,2006).

Além de atuarem como o principal agente de troca de sedimentos arenosos na porção subaérea, entre a praia e as dunas costeiras, os ventos são responsáveis pela geração de ondas nos oceanos, de forma que assumem sua importância na morfogênese litorânea, conforme aponta Christofolleti (1980). Com isso, a interação entre os ventos, as ondas, as correntes e as marés, principais agentes da variação morfológica costeira, resulta em processos de movimentação e transferência de material sedimentar.

A maior parte da energia transferida na superfície do mar resulta em ondas geradas pelos ventos em regiões de mar aberto, as quais estão sujeitas à sua velocidade, duração e extensão de pista (*fetch*). As ondas são compreendidas como as manifestações de uma força agindo sobre um fluido na tentativa de deformá-lo contra a ação da gravidade e à tensão superficial. As incidentes de mar afora representam a principal entrada de energia para os sistemas praias, os quais dependem, por sua vez, da variabilidade do clima de ondas (DEAN; DALRYMPLE, 1991; WRIGTH; SHORT, 1984).

O clima de ondas apresenta-se como a principal variável indutora dos processos costeiros de curto e médio prazo, tornando-se responsável pelo transporte sedimentar, gerando correntes costeiras que variam no sentido longitudinal, desenvolvidas por trens de ondas (*swell*), e no sentido transversal à linha de costa, formadas pelas correntes de retorno (*inglês*) (MUEHE, 1998; KOMAR, 1991; SUGUIO, 2003). Assim, o clima de ondas desempenha seu papel como agente modelador, influenciando as feições costeiras, fazendo com que elas variem morfológicamente em diferentes escalas de tempo e espaço (HOLTHUIJSEN, 2007).

As praias podem ser classificadas como de alta ou baixa energia, em função da movimentação sedimentar, onde a interação entre ventos, ondas, correntes e declividade do fundo determina a quantidade de sedimentos deslocados para as praias e a formação da rampa dunária (HESP, 2000; SUGUIO, 2003).

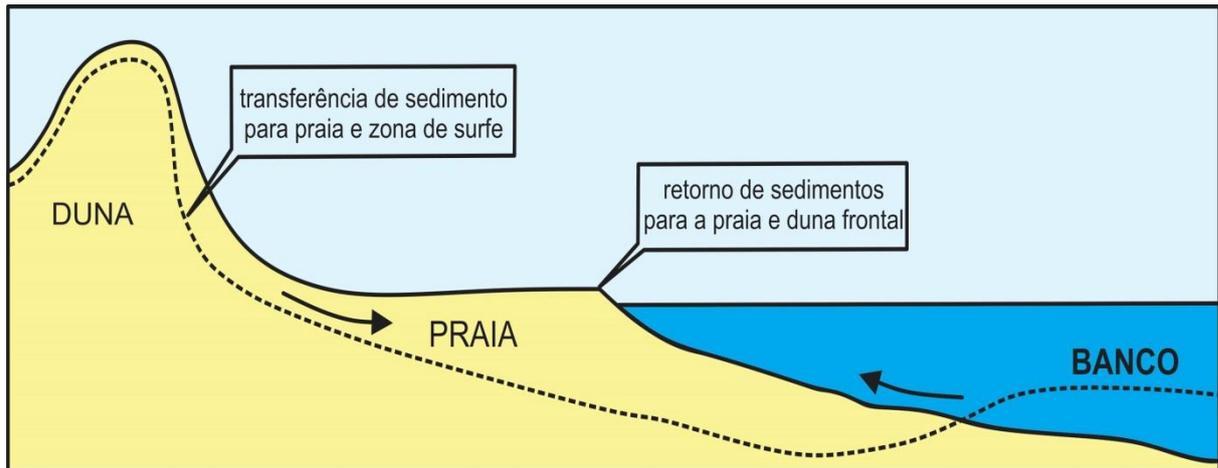
Ambientes praias com alta energia de onda tendem a deslocar grandes volumes de sedimentos em direção ao mar sob a forma de bancos longitudinais à praia. Com o decréscimo dos níveis de energia, os sedimentos tendem a ser transportados novamente à praia, fazendo com que os bancos migrem em direção à costa, integrando-se ao sistema praial. Com base nos agentes eólico e hidrodinâmico, as praias arenosas apresentam características típicas resultantes de uma série de interações complexas entre o ambiente subaéreo e o submerso.

Como ressaltado por Silva (2006), o conhecimento dos padrões de propagação das ondas é de fundamental importância, já que as variações morfológicas ocorridas na praia em função das mudanças de energia das ondas são um produto de um intenso e dinâmico deslocamento de sedimentos, gerando processos erosivos e deposicionais, e, assim, uma constante troca de material entre a parte emersa e submersa da praia.

### **3.4 SISTEMA PRAIA-DUNA**

A praia é composta por ambientes que se diferenciam em função de seus agentes de transporte, predominando na porção submersa o agente hidráulico e, na subaérea, o eólico, sendo esse último o responsável pelo transporte de sedimentos para desenvolvimento das dunas incipientes e frontais. A dinâmica de sedimentos entre a praia, o pós-praia e as dunas frontais varia de acordo com a energia e as mudanças sazonais do vento, as amplitudes de maré, o aporte de sedimentos e o tipo morfodinâmico de praia (DAVIDSON-ARNOTT; LAW, 1996; HESP, 1999).

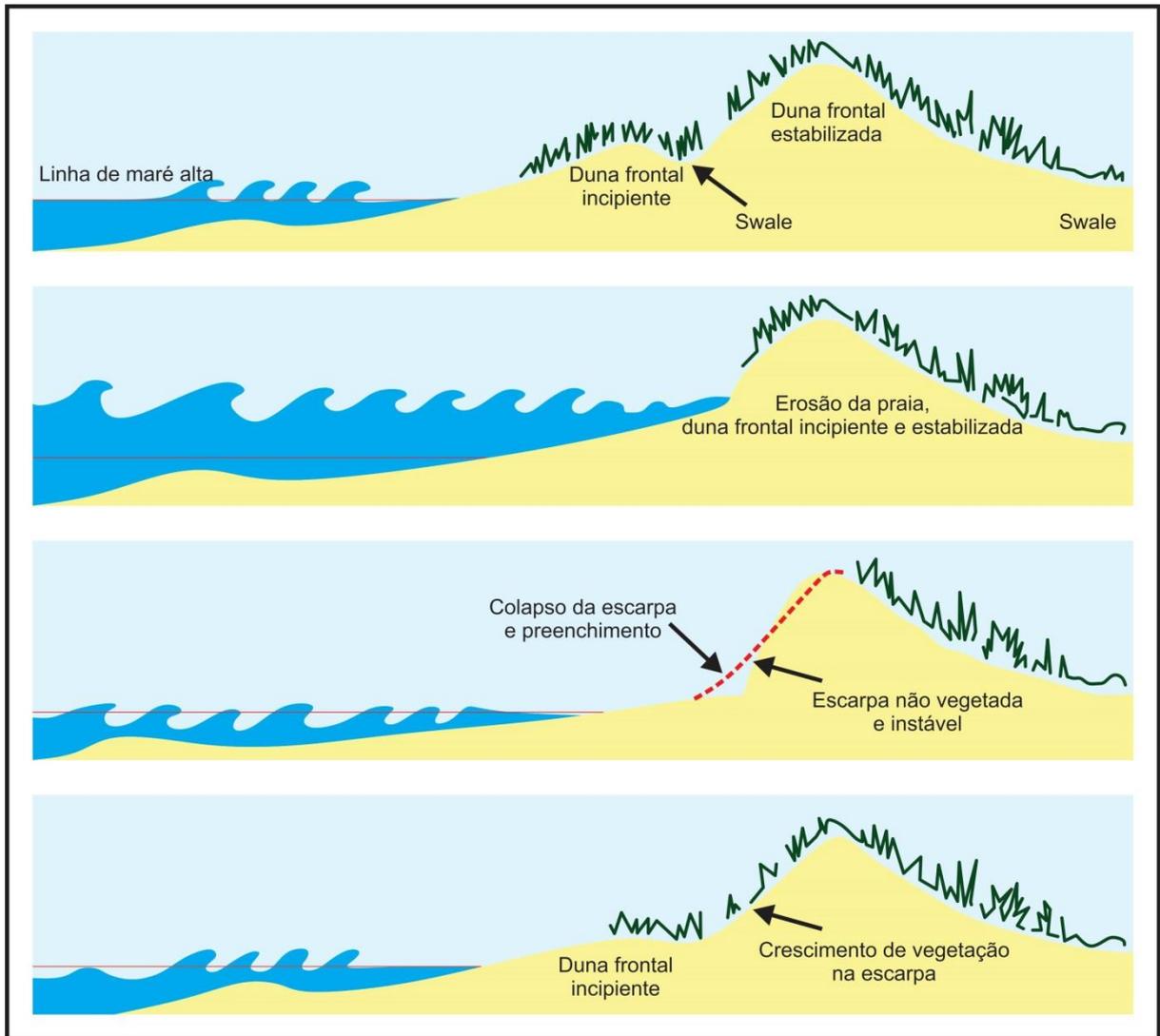
O primeiro modelo conceitual de interação entre praia e duna frontal foi proposto por Hesp (1982 *apud* HESP; SMYTH, 2016) em ambientes de micro-marés no leste e no sul da Austrália. A compreensão e influência mútua entre esses processos, a princípio, distintos, também foram analisadas por outros autores, como Short e Hesp (1982), Short (1988), Psuty (1988, 1992), e Law e Davidson-Arnott (1990). Posteriormente, Sherman e Bauer (1993), corroboraram com a ideia ao afirmarem que esses sistemas apresentam relações e dependências, tendo a zona praial, governada por ondas e correntes, e o sistema eólico, regido pelos ventos, estabelecendo um sistema intrínseco (Fig. 7).



**Figura 7.** Troca sedientar entre o sistema praial-duna frontal (modificado de Psuty, 1992).

O processo de transporte eólico em ambientes costeiros da praia para as dunas frontais é controlado por diversos fatores, como a magnitude e frequência de transporte do vento, a influência da direção do vento, suprimento de sedimento, tipo e densidade da vegetação e a umidade do ar (HESP, 2005).

A dinâmica do sistema praia-duna ocorre durante períodos de baixa energia de onda, onde a estabilização da duna frontal se dá e o desenvolvimento de uma duna incipiente é favorecido. Durante eventos de tempestades a duna incipiente geralmente é destruída, ocorrendo escarpamento da duna frontal e deslocamento de sedimentos em direção ao mar. Logo o período de calmaria é retomado e gradualmente os sedimentos voltam a ser transportados em direção à praia, em função do transporte eólico, reestruturando a escarpa da duna frontal e novamente uma duna incipiente volta a se estabelecer (HESP, 2000) (Fig.8).



**Figura 8.** Dinâmica do sistema praia-duna frontal (modificado de Hesp, 2000).

A ação das ondas no ecarpamento das dunas frontais em eventos de tempestade assume grande importância, fazendo com que os sedimentos retornem em direção à costa (NICKLING; DAVIDSON-ARNOTT, 1990).

Percebe-se que esse processo apresenta um sistema de retroalimentação, onde se destaca a relação entre as ondas, a forma da praia e o transporte eólico, regulando as perdas da praia e estabelecendo um balanço sedimentar entre o ambiente praiado e as dunas frontais.

## REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

- ALBUQUERQUE, M.G. 2008. **Morfodinâmica da praia do Futuro, Fortaleza- CE.** Curso de Pós-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica, Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande. Dissertação de Mestrado, 147p.
- ALVAREZ, J.A., GRÊ, J. & TOLDO Jr., E.E. 1981. **Estudos da praia a nordeste do molhe de Rio Grande, Rio Grande do Sul.** Pesquisas 14: p. 131-147.
- BAUER, B.O. & Davidson-Arnott, R.G.D. 2003. **A general framework for modelling sediment supply to coastal dunes including wind angle, beach geometry and fetch effects.** Geomorphology 49, 89–108.
- BENTES, A.M.L.; FERNANDEZ, G.B. & RIBEIRO, A.Y. 1997. **Estudo da morfodinâmica de praias compreendidas entre Saquarema e Macaé, RJ.** Oecologia Brasiliensis, Rio de Janeiro, 3: 229-243.
- BROWN, A.C. & MCLACHLAN, A. 1990. **Ecology of Sandy Shores.** Amsterdam, Elsevier, 327p.
- BUCHMANN, F.S; LOPES, R.P; CARON, F. **Iconofósseis (paleotocas e crotovinas) atribuídos a mamíferos extintos no Sudeste e Sul do Brasil.** Revista Brasileira de Paleontologia, v. 12, n. 3, p. 247-256, 2009.
- CALLIARI, L.J. 1980. **Aspectos geológicos e ambientais da região estuarial da Lagoa dos Patos.** Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado. 190 p.
- CALLIARI, L.J. & KLEIN, A.H.F. 1993. **Características morfodinâmicos e sedimentológicas das praias oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS.** Pesquisas, 20(1), 48-56.
- CALLIARI, L.J. & KLEIN A.H.F. 1995. **Variabilidade das praias oceânicas entre Cassino e Chuí, RS.** Boletim do Instituto Oceanográfico, São Paulo.
- CALLIARI, L.J., PEREIRA, P.S., OLIVEIRA, A.O. & FIGUEIREDO, S.A. 2005. **Variabilidade das Dunas Frontais no Litoral Norte e Médio do Rio Grande do Sul, Brasil.** Gravel, 3:15–30.
- CARTER, R. W. G., NORDSTROM, K. F. & PSUTY, N. P. 1990. The study of coastal dunes. In: Nordstrom, K. F., Psuty, N. P. & Carter, R. W. G. **Coastal dunes – Form and Process.** Chichester: J. Wiley. Cap. 1, p. 1 - 16.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1980, 2a. ed. 188p.

CORDAZZO, C.V. 2009. **O efeito de *Panicum racemosum* X *Spartina ciliata* na formação das dunas costeiras frontais no extremo sul do Brasil.** GRAVEL 7 (1): 13-17 Porto Alegre.

CORDAZZO, C.V. & SEELIGER, U. 1995. **Guia ilustrado da vegetação costeira no extremo sul do Brasil.** Rio Grande: editora da FURG. 275p.

DAVIDSON-ARNOTT, R.G.D. 1988. **Temporal and spatial controls on beach-dune interaction, Long Point, Lake Erie.** In: Psuty NP (ed) Journal of Coastal Research Special Issue, v. 3. C.E.R.F. Florida, pp 131-136.

DAVIDSON-ARNOTT, R.G.D. & LAW, M.D. 1996. **Measurement and prediction of long-term sediment supply to coastal foredunes.** J. Coast. Res. 12, 654–663

DEAN, R.G. & DALRYMPLE, R.A. 1991. **Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists.** Advanced Series on Ocean Engineering, 2.

DELANEY, P.J.V. 1962. **Considerações sobre a fisiografia e a geologia da Planície Costeira do Rio Grande do Sul.** Escola de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Avulso no. 2, p. 07-31

DELANEY, P.J.V. 1965. **Fisiografia e geologia da superfície da Planície Costeira do Rio Grande do Sul.** Publicação Especial da Escola de Geologia. 6 UFRGS: 1-195. Porto Alegre. Brasil. 1965.

DILLENBURG, S.R. 1994. **A Laguna de Tramandaí: Evolução Geológica e Aplicação do Método Geocronológico da Termoluminescência na Datação de Depósitos Sedimentares Lagunares.** Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado. 142 p.

DILLENBURG, S.R., TOMAZELLI, L.J. & CLEROT, L.C.P. 2003. **Gradients of wave energy as the main factor controlling the evolution of the coast of Rio Grande do Sul in southern Brazil during the Late Holocene.** Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Symposium on Coastal Engineering and Science of Coastal Sediment Process. New York, NY: American Society of Civil Engineers, v.1, CD, 2003.

DILLENBURG, S.R., ROY, P.S., COWELL, P.J. & TOMAZELLI, L.J. 2000. **Influence of antecedent topography on coastal evolution as tested by the Shoreface Translation Barrier Model (STM).** Journal of Coastal Research, 16(1):71-81.

DILLENBURG, S.R., TOMAZELLI, L.J. & BARBOZA, E.G. 2004a. **Barrier evolution and placer formation at Bujuru southern Brazil.** Marine Geology, 203: 43-56.

DILLENBURG, S.R., BARBOZA, E.G., TOMAZELLI, L.J., HESP, P.A., CLEROT, L.C.P. & ZOUAIN, R.N.A. 2009. The Holocene Coastal Barriers of Rio Grande do Sul. In: SERGIO REBELLO DILLENBURG & PATRICK ALAN HESP (eds). **Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil.** Berlin/Heidelberg: Springer, p.53-91.

DILLENBURG *et al.* 2017. **O comportamento do nível do mar no rio grande do sul nos últimos 6 ka.** XVI Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário At: Bertioga-SP, v. 3.

GIANNINI, P.C.F. 2007. **Sistemas deposicionais eólicos no quaternário costeiro do Brasil.** Instituto Geociências, Universidade de São Paulo. Tese de Doutorado. 439p.

GONÇALVES, R.A. 1989. **Mapeamento geológico e geomorfológico das Folhas de São Lourenço e Boqueirão.** Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado. 112 p.

HESP, P. A. 1988. **Morphology, Dynamics and Internal Stratification of some established foredunes in southeast Australia.** *Sedimentary Geology*. 55: 17-41.

HESP, P.A. The backshore and beyond, in: A.D. Short (ed). **Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics.** J. Wiley and Sons, 1999, p. 145-170.

HESP, P.A. 2000. **Coastal sand dunes.** Form and Function. CDNV Technical Bulletin No. 4. Massey University, 28 pp.

HESP, P.A. 2002. **Foredune and blow-outs: incitiation and dynamics.** *Geomorphology* 48:245-268, 2002

HESP, P.A. 2003. **El Nino wind sand dune dynamics, west coast NorthIsland, NZ.** Proceedings of the Canadian Coastal Conference 2003. Queens University, Donald Gordon Center, Kingston, ON, Canada. Canadian Coastal Science and Engineering Association.

HESP, P.A., DILLENBURG, S.R., BARBOZA, E.G., TOMAZELLI, L.J., AYUP-ZOUAIN, R.N., ESTEVES, L.S., GRUBER, N.L.S., TOLDO JR, E.E., TABAJARA, L.L. & CLEROT, L.C.P., 2005. **Beach Ridges, Foredunes or Transgressive Dunefields? Definitions and Initiation, and an examination of the Itapeva to Tramandaí Barrier System.** *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 7(3),493–508.

HESP, P.A. & SMYTH, T.A.G. 2016. **Surfzone-Beach-Dune interactions: Flow and Sediment Transport across the Intertidal Beach and Backshore.** *Journal of Sedimentary Petrology*, Special Issue No.75, 2016..

HOEFEL, F.G. 1998. **Morfodinâmica de praias bibliográfica.** Editora da Univali. Itajaí. 92p.

HOLTHUIJSEN, LEO H. 2007. **Waves in Oceanic and Coastal Waters.** Cambridge University Press, Cambridge, 387 pp.

KING, C.A.M. 1959. **Beaches and Coasts.** Arnold, New York, 403 pp.

- KLEIN, A.H.F. 2004. **Morphodynamics of Headland Bay Beaches**. 2004. Tese (Doutorado) – Universidade do Algarve, Faro, Portugal. 450p.
- KOMAR, P.D. 1991. **Handbook of Coastal Processes and Erosion** (4th edition). CRC Press. 297p.
- KOMAR P.D. 1976. **Beach Processes and Sedimentation**. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 429 p.
- LARSON, M., ERIKSON, L., HANSON, H. 2004. **An analytical model to predict dune erosion due to wave impact**. *Coast. Eng.* 51, 675–696.
- LAW, M & DAVIDSON-ARNOTT R. 1990. **Seasonal controls on aeolian processes on the beach and foredune**. In: Canadian Coastal Conference on Coastal Sand Dunes. p. 49–68.
- MARTINHO, C.T., DILLENBURG, S.R. & HESP, P.A. 2009. **Wave energy and longshore transport gradients controlling barrier evolution in Rio Grande do Sul, Brazil**. *J. Coastal Research* 25 (2): 285- 293.
- MARTINHO, C.T., HESP, P.A. & S.R. DILLENBURG, 2010. **Morphological and temporal variations of transgressive dunefields of the northern and mid-littoral Rio Grande do Sul coast, Southern Brazil**. *Geomorphology*, v.117, p.14-32.
- MARTINS, L.R. 1967. **Aspectos texturais e deposicionais dos sedimentos praias e eólicos da planície costeira do Rio Grande do Sul**. Publicação Especial. Escola de Geologia/UFRGS, 13, 102 p.
- MCLAREN, P. 1981. **An interpretation of trends in grain-size measurements**. *J. Sed. Petrol.*, 51, 611–624.
- MCLAREN, P. & BOWLES, D. 1985. **The effects of sediment transport on grain-size distributions**. *J. Sed. Petrol.*, 55, 457–470.
- MCLAREN, P. 1981. **An interpretation of trends in grain size measures**. *Journal of Sedimentary Petrology*, 51(2):611-624.
- MCLAREN P. & BOWLES D. 1985. **The effects of sediment transport on grain-size distributions**. *Journal of Sedimentary Petrology*, 55(4):457-470.
- MIOT DA SILVA, G. 2002. **Efeito do estado de equilíbrio em planta na sedimentologia de praias desenvolvidas entre promontórios**. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado em Geociências. Porto Alegre, 134p.
- MORAIS, J. O. DE. 1996. **Processos e Impactos Ambientais em Zonas Costeiras**. *Revista de Geologia da UFC, Fortaleza-CE*, v.9, p 191-242, 1996.

MORAIS, J.O, FREIRE, G.S., PINHEIRO, L.S., SOUZA, M.J.N., CARVALHO, A.M. & PESSOA, P.R.S. 2006. In: **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. (Org.) MUEHE, D.; Ministério do Meio Ambiente (MMA). 1ed. Rio de Janeiro, v.1, 132-134p

MOTTA, V.F. **Estudo em modelo reduzido da regulamentação da embocadura lagunar de Tramandaí (Rio Grande do Sul)**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS, Porto Alegre. 1967. Inédito.

MUEHE, D. 1995. Geomorfologia Costeira. In Guerra, A.J.T. & Cunha, S.B (Orgs.). 1995. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Editora Bertand Brasil.

NICKLING, W.G. & DAVIDSON-ARNOTT, R.G.D., 1990. **Aeolian sediment transport on beaches and coastal dunes**. Proc. Symposium on Coastal Sand Dunes. NRC, Ottawa, pp. 1–35.

NIMER, E. 1989. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro, IBGE-DERNA, 421p.

PEREIRA, T.G. 2008. **Geomorfologia e Morfodinâmica Costeira na Planície entre os Municípios de Cabo Frio e Arraial do Cabo, RJ**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Fluminense. Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geofísica Marinha. Rio de Janeiro, 2008.

PINHEIRO, L.S. 2000. **Compatibilização dos Processos Morfodinâmicos e Hidrodinâmicos com o uso e ocupação da praia da Caponga-Cascavel-CE**. Universidade Estadual do Ceará, Dissertação de Mestrado. Fortaleza, 164p.

PRESS, F. *et al.* **Para entender a Terra**. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

PSUTY, N.P. 1988. Sediment budget and dune/beach interaction. *Journal of Coastal Research* 3(special issue): 1–4. SHORT, A.D. 1999. Wave-dominated beaches. In: SHORT, A.D. (ed.). **Handbook of beach and shoreface morphodynamics**. Chichester, John Wiley & Sons, p. 173-203.

PSUTY, N.P. 1992. Spatial variation in coastal foredune development. In: Carter, R.W.G., Curtis, T.G.F., Sheehy-Skeffington, M.J. (Eds.), **Coastal Dunes: Geomorphology, Ecology, and Management for Conservation**. Balkema, Rotterdam, pp. 3–13

SHERMAN, D.J. 1995. **Problems of scale in the modeling and interpretation of coastal dunes**. *Marine Geology*, n. 124, p. 339-349, 1995.

SHERMAN, D.. & BAUER, B.O. 1993. **Coastal geomorphology through the looking glass**. *Geomorphology*. 7: 225-249.

SHORT, A.D. 1979. **Three dimensional beach stage model**. *Journal of Geology* (87): p. 553-571.

SHORT, A.D., 1988a. **Holocene coastal dune formation in Southern Australia: a case study.** In: Hesp, P., Fryberger, S.G. (Eds.), Special Issue: Eolian Sediments. Sedimentary Geology, vol. 55 (1/2), pp. 121–142

SHORT, A.D., 1999. **Hand book of Beach and Shoreface and Morphodynamics.** Editora John Wiley& Sons Ltd., New York, 392p.

SHORT, A.D. & HESP, P.A. 1982. **Waves beach and dune interactions in southeastern Australia.** Marine Geology, 48(1): 259-284.

SHORT, A.D. & WRIGHT, L.D. 1983. **Physical variability of sandy beaches.** In McLachlan, A. and Erasmus, T. (Eds.) Sandy Beaches as Ecosystems. Junk, The Hague: 133-144.

SUGUIO, K. 1992. **Dicionário de geologia marinha.** São Paulo. A. Queiroz. Biblioteca de ciências naturais. 366p.

SUGUIO, K. 2003. **Geologia sedimentar.** 1. ed. São Paulo: Edgar Blüncher, 2003.

TABAJARA, L.L.C.A. 1994. **Aspectos hidrodinâmicos e sedimentológicos do sistema lagunar-estuarino de Tramandaí, RS.** Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre, 199 p.

TOLDO JR., E.E. 1989. **Os efeitos do transporte sedimentar na distribuição dos tamanhos de grão e morfodinâmica da Lagoa dos Patos.** Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre, 143 p.

TOLDO JR., E.E. 1994. **Sedimentação, predição do padrão de ondas e dinâmica sedimentar da antepraia e zona de surfe do sistema lagunar da Lagoa dos Patos.** Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado. Porto Alegre, 183 p.

TOLDO JR., E.E., DILLENBURG, S.R., ALMEIDA, L.E.S.B., TABAJARA, L.L., MARTINS, R.R. & CUNHA, O.B.P. 1993. **Parâmetros morfodinâmicos da Praia de Imbé-RS.** Pesquisas, 20 (1): p. 27-32.

TOLDO JR, E.E. & DILLENBURG, S.R. 2002. **Swash bar migration at the inlet of the Lagoa dos Patos Lagoon, Brazil.** Journal of Coastal Research. West Palm Beach, FL, USA. ICS. 489-492.

TOMAZELLI, L.J. 1977. **Minerais pesados da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul.** Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre, 65 p.

TOMAZELLI, L.J. 1990. **Contribuição ao estudo dos sistemas deposicionais holocênicos do nordeste da Província Costeira do Rio Grande do Sul - Com**

**ênfase no sistema eólico.** Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado. Porto Alegre. 270p.

TOMAZELLI, L.J. & VILLWOCK, J.A. 1992. **Considerações sobre o ambiente praiial e a deriva litorânea ao longo do litoral Norte do Rio Grande do Sul.** Pesquisas, 19 (1): p. 3- 12

TOMAZELLI, L.J. & VILLWOCK, J.A. 1996. **Quaternary geological evolution of RS Coastal Plain, Southern Brazil.** Anais da Academia Brasileira de Ciências, 68, 373-382.

TUBELIS, A. & NASCIMENTO, F.C.L. do. 1984. **Meteorologia descritiva. Fundamentos e aplicações brasileiras.** São Paulo: Nobel, 374p.

U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS 1984. **Shore Protection Manual. Army Engineer Waterways Experiment Station,** Vicksburg, MS. 2v, p. 37-53.

VIEIRA, E. F.; RANGEL, S.R.S., 1988. **Planície Costeira do Rio Grande do Sul: geografia física, vegetação e dinâmica sócio-demográfica.** Porto Alegre: Ed. Sagra, 256 p.

VILLWOCK, J.A. 1972. **Contribuição à geologia do holoceno da província costeira do Rio Grande do Sul.** Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado em Geociências. Porto Alegre, 113p.

VILLWOCK, J. A. 1977. **Aspectos da sedimentação da região nordeste da lagoa dos Patos.** Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado em Geociências. Porto Alegre. 189p.

VILLWOCK, J.A. 1984. Geology of the Coastal Province of Rio Grande do Sul, Southern Brazil. A synthesis. Pesquisas, Porto Alegre, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, v. 16, p. 5-49.

VILLWOCK, J.A. et al. 1986. **Geology of the Rio Grande do Sul Coastal Province. Quaternary of South America and Antarctic Peninsula,** v. 4, p. 79-97. 1986.

VILLWOCK, J.A., TOMAZELLI, L.J., LOSS, E.L., DEHNHARDT, E.A., HORN F<sup>o</sup>, N.O., BACHI, F.A. & DENHARDT, B.A. 1986. **Geology of the Rio Grande do Sul Coastal Province.** In: RABASSA, J. (ed.). Quaternary of South America and Antarctic Peninsula. A.A. Balkema, Rotterdam: v. 4, p. 79-97.

VILLWOCK, J.A. & TOMAZELLI, L.J. 1995. **Geologia Costeira do Rio Grande do Sul.** Notas Técnicas, nº. 8: 1-45.

WESCHENFELDER, J. 1996. **Variabilidade Morfodinâmica das Praias Oceânicas entre Imbé e Arroio do Sal, Estado do Rio Grande do Sul, Brasil.** Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre, 132 p.

WESCHENFELDER, J., AYUP-ZOUAIN, R.N., ZOMER, S.L.C. & SOUTO, R.P. 1997. **Caracterização morfológica das praias oceânicas entre Imbé e Arroio do Sal, RS.** Notas Técnicas, 10: p. 35-48.

WICANDER, R. & MONROE, J.S. Revisão Técnica: Maurício Antônio Carneiro. **Fundamentos de Geologia.** Ed. CENCAGE, Learning, São Paulo. 508p. 2009

WRIGHT, L.D. & THOM, B. 1977. **Coastal depositional landforms: a morphodynamic approach.** Progress in Physical Geography. 1, 412 – 459.

WRIGHT, L.D. & SHORT, A.D. 1983. **Morphodynamics of beaches and surf zones in Australia.**

WRIGHT, L.D. & SHORT, A.D. 1984. **Morphodynamics variability of high energy surf zones and beaches: a synthesis.** Marine Geology, 56: 93-118

WRIGHT, L.D., SHORT, A.D. & GREEN, M.O. 1985. **Short term changes in morphodynamic state of beaches and surf zones.** An empirical predictive model. Marine Geology, 53. 89-103.

WRIGHT, L.D., CHAPPELL, J., THOM, B., BRADSHAW, M. & COWELL, P. 1979. **Morphodynamics of reflective and dissipative beach and inshore systems, South Australia.** Marine Geology. 32:105- 140. Amsterdam. Holland. 1979.

WRIGHT, L.D., SHORT, A.D. & NIELSEN, P. 1982. **Morphodynamics of high energy beaches and surf zones: a brief synthesis.** Coastal studies Unit Tech. Rept. Nº 82/5, 64p. Sydney. Australia. 1982.

## **CAPÍTULO 4**

# VARIAÇÃO SAZONAL, GRANULOMÉTRICA E MORFOLÓGICA LONGITUDINAL DO SISTEMA PRAIA-DUNA NO LITORAL NORTE DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL

## SEASONAL, GRANULOMETRIC AND MORPHOLOGICAL VARIATION OF THE LONGITUDINAL SYSTEM OF THE BEACH- DUNE SYSTEM ON THE NORTHERN COAST OF RIO GRANDE DO SUL, BRAZIL

Vinicius Cantarelli TERRES<sup>1</sup> & Sérgio DILLENBURG<sup>2</sup>

<sup>(1)</sup> Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9.500, CEP 91.540-000, Porto Alegre, Brasil. E-mail: [viniciusterres@hotmail.com](mailto:viniciusterres@hotmail.com).

<sup>(2)</sup> Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9.500, CEP 91.540-000, Porto Alegre, Brasil. E-mail: [sergio.dillenburg@ufrgs.br](mailto:sergio.dillenburg@ufrgs.br).

**Resumo.** A análise dos principais agentes responsáveis pela variação morfológica, sedimentológica e morfoscópica dos ambientes costeiros, e de suas variações sazonais (inverno e verão), torna-se de fundamental importância para a compreensão do sistema praia-duna. Este trabalho tem como objetivo buscar novas informações referentes às variações morfológicas, granulométricas e morfoscópicas do sistema praia-duna frontal e suas variações sazonais (inverno e verão) no Litoral Norte do RS. Foram analisadas 26 amostras sedimentares de praia e duna frontal em cada estação por difração a laser. Altura de duna frontal, presença de dunas incipientes e largura de praia subaérea, foram analisadas em campo; dados de ventos e ondas foram obtidos mediante revisão bibliográfica; pista de vento e azimutes foram calculados. As análises granulométricas e morfoscópicas foram realizadas em laboratório. Nas duas estações, a praia apresentou sedimentos classificados como areia fina, bem selecionados, aproximadamente simétricos e mesocúrticos, com pequeno percentual leptocúrtico no inverno. As dunas frontais apresentaram sedimentos da classe areia fina, bem selecionados a muito bem selecionados, aproximadamente simétricos e mesocúrticos a leptocúrticos, em ambas as estações. Morfoscopicamente os grãos foram caracterizados como angulosos com média esfericidade nas duas estações. A variável morfológica mais significativa em relação ao desenvolvimento das dunas frontais foi o ângulo de costa em relação ao vento predominante NE que possui maior velocidade ao sul.

**Palavras-chave.** Planície Costeira do Rio Grande do Sul, litoral norte, sistema praia-duna, variação sazonal, sedimentos.

**Abstract.** The analysis of the main agents responsible for the morphological, sedimentological and morphoscopic variation of the coastal environments, and their seasonal variations (winter and summer), is of fundamental importance for the understanding of the beach-dune system. This work aims to find new information regarding the morphological, granulometric and morphoscopic variations of the beach-foredune system and its seasonal variations (winter and summer) in the northern coast of

Rio Grande do Sul. Twenty-six sedimentary samples of the beach and foredunes were analyzed in each season by a particle analyzer using laser diffraction. Height of foredunes, presence of incipient dunes and subaerial beach width were analyzed in the field; data from winds and waves were obtained from the literature review; wind track and azimuths were calculated. The granulometric and morphoscopic analyzes were performed in the laboratory. In the two seasons the beach presented sediments classified as fine sand, well selected, approximately symmetrical and mesocurtic, with a small leptocurtic trend in the winter. The foredunes presented sediments classified as fine sand, well selected to very well selected, approximately symmetrical and mesocurtic to leptocurtic in both seasons. Morphoscopically the grains were characterized as angular with a medium sphericity in the two seasons. The most significant morphological variable in relation to the development of the foredunes was the coastal line angle in relation to the prevailing NE wind, which has greater speed to the south.

**Keywords.** Coastal Plain of Rio Grande do Sul, north coast, beach-dune system, seasonal variation, sediments.

## 1 Introdução

Praias arenosas oceânicas são corpos de sedimentos arenosos não coesivos e inconsolidados depositados na zona costeira (Hoefel, 1998). Elas ocorrem em todas as regiões do mundo, desde que haja disponibilidade e interação de elementos como o vento, a água e a areia, que resultam em processos hidrodinâmicos e deposicionais complexos (Short; 1999; Brown; Mclachlan, 1990). O desenvolvimento das praias arenosas, a construção geomorfológica da linha da costa e os processos de erosão e deposição são diretamente influenciados pela dinâmica costeira, o que mantém esses ambientes em constante alteração. As zonas costeiras são áreas extremamente ativas, apresentando constantes mudanças em respostas às forças naturais e às atividades antrópicas.

Muehe (1998) aponta os condicionantes geológicos, geomorfológicos e oceanográficos como as variáveis responsáveis pela compartimentação dos litorais. A granulometria e o tipo de sedimento a ser transportado estão relacionados ao ambiente praias, esse definido por Short (1999) como dinâmico e diretamente relacionado à disponibilidade de sedimentos e à ação das ondas. Segundo Short e Wright (1983), as praias podem ser classificadas em dois estados extremos, dissipativos e refletivos, e quatro intermediários, em função de sua morfodinâmica, a qual é definida como o ajuste mútuo entre a topografia e a dinâmica dos fluídos envolvidos no transporte de sedimentos (Wright & Thom, 1977).

De acordo com a energia de onda, nos sistemas de alta energia, o potencial de suprimento de sedimentos tende a aumentar, tornando as dunas frontais altas e largas. Já em sistemas de moderada energia de onda, o suprimento de sedimento tende a ser menor, reduzindo o tamanho da duna frontal. Nos de baixa energia de onda, o potencial de transporte

de sedimento é muito baixo e as dunas frontais formadas são pequenas (Short & Hesp, 1982).

Segundo Hesp (2000), a quantidade de sedimentos deslocados para as praias e para a formação da rampa dunária é determinada pela interação entre ondas, correntes e declividade do fundo. Após o retrabalhamento hidrodinâmico dos sedimentos, os ventos constituem-se como o principal meio de transporte nos ambientes deposicionais eólicos, e a quantidade de material por ele carregado dependerá da intensidade, do tamanho das partículas e dos obstáculos, assim, caracterizando-se como um agente de alta competência de transporte de sedimentos (Press *et al.*, 2006). Martins (1967) observa que, transversalmente à costa, em função da mudança do agente transportador hidrodinâmico para o eólico, a granulometria tende a diminuir em direção ao continente.

A largura da praia e o tamanho de pista efetiva de vento (*fetch*) se tornam fatores importantes para determinar o volume de areia depositado no *backshore* e nas dunas frontais (Davidson-Arnott, 1988; Bauer & Davidson-Arnott, 2003). O desenvolvimento e a evolução das dunas frontais dependem de alguns fatores, como aporte de sedimentos, grau de cobertura da vegetação, taxa de aporte eólico, frequência e magnitude de ataques pelas ondas ou erosão pelo vento, escarpamento da duna, tipo de praia, zona de surfe, estabilidade da praia e a ação antrópica (Hesp, 2000).

Segundo Hesp (1999), as dunas frontais se desenvolvem no pós-praia superior por deposição de areias eólicas no interior da vegetação, ocupando a zona de interação com a praia, sendo distinguidas em dunas incipientes e dunas frontais estabilizadas. O sistema de dunas frontais representa a integração de um conjunto de processos geomorfológicos e respostas sedimentares sobre determinados períodos de tempo, sendo para Sherman (1995), ambientes extremamente dinâmicos que reagem a mudanças ambientais em diversas escalas de tempo e de espaço.

O primeiro modelo conceitual de interação entre praia e duna frontal foi proposto por Hesp, (1982 apud Hesp & Smyth, 2016) em ambientes de micro-marés no leste e sul da Austrália. A compreensão e influência mútua entre esses processos, a princípio, distintos, também foram analisadas por outros autores, como Short e Hesp (1982); Short (1988); Psuty, (1988, 1992), Law e Davidson-Arnott, (1990), Davidson-Arnott e Law (1996). Posteriormente, Sherman e Bauer (1993), corroboraram com a ideia ao afirmarem que esses sistemas apresentam relações e dependências, onde a zona praial, governada por ondas e correntes, e o sistema eólico, regido pelos ventos, estabelecem um sistema intrínseco. Segundo Carter (1986) e Carter e Wilson (1990) para o desenvolvimento das dunas frontais

torna-se fundamental a disponibilidade de material sedimentar subaéreo bem como sua composição.

McLaren (1981) e McLaren e Bowles (1985) constataram em seus estudos que nos ambientes fontes e deposicionais os grãos de menor diâmetro possuem maior probabilidade de serem transportados do que grãos maiores, e que somente a distribuição do tamanho médio dos grãos não seria suficiente para interpretar com segurança estatística esses ambientes. Assim, propuseram a utilização de três diferentes parâmetros texturais: a média, o desvio padrão e a assimetria. De acordo com Martins (2003), esses três parâmetros são os mais importantes na análise sedimentar, sendo influenciados pela dinâmica de transporte e deposição. Além disso, essas variáveis estatísticas seguem tendências que tornam possível a identificação da direção de transporte, deposição seletiva e total de sedimentos. Com isso, a análise das tendências dos parâmetros granulométricos pode ser usada para determinar prováveis relações entre ambientes geneticamente correlacionáveis, os processos que operam em seus subambientes e a direção de transporte dos sedimentos.

Na Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS), foram realizados trabalhos observando o papel do transporte sedimentar no desenvolvimento das dunas costeiras, na largura da antepraia e na evolução da barreira costeira holocênica (Lima et al., 2001; Tabajara, 2003; Toldo Jr., *et al.*, 2004; Dillenburg *et al.*, 2000, 2004; Calliari *et al.*, 2005; Martinho *et al.*, 2010). E mais recentemente, uma caracterização morfológica e granulométrica do sistema praia-duna frontal ao longo do Litoral Norte do RS apresentada por Vianna e Calliari (2013, 2016). Todavia, nenhum trabalho aborda a variabilidade temporal dessas propriedades. Embora haja uma correspondência entre as áreas de estudo do presente trabalho e o de Vianna e Calliari (2013, 2016), diferenças importantes de caráter metodológico (sazonalidade, método de análise granulométrica e tratamento estatístico dos resultados), permitem tornar os trabalhos complementares um ao outro.

O presente trabalho tem como objetivo buscar novas informações referentes às e variações morfológicas, granulométricas e morfoscópicas do sistema praia-duna frontal, no que diz respeito aos últimos eventos ocorridos na escala de dias a semanas e suas variações sazonais (inverno e verão) no Litoral Norte do RS, abrangendo uma área de aproximadamente 130 km, do balneário de Dunas Altas (município de Palmares do Sul), ao sul, até Itapeva (município de Torres), ao norte (Fig. 1). Assim, busca-se estabelecer de forma quantitativa a morfologia, a distribuição granulométrica e textural das partículas sedimentares, de forma a caracterizar, classificar e correlacionar sedimentos de ambientes deposicionais distintos, por

meio de tratamento estatístico, bem como interpretar dados morfológicos e suas relações com os resultados granulométricos.

## **2 Área, materiais e métodos**

### *2.1 Localização e aspectos gerais da área*

A PCRS possui sua origem relacionada a depósitos de Leques Aluviais e a quatro sistemas do tipo Laguna-Barreira (I, II, III e IV) desenvolvidos em resposta aos máximos transgressivos marinhos (Villwock et al., 1986). A atual faixa costeira da PCRS faz parte do Sistema Depositional Laguna-Barreira IV (Holoceno, ~ 7 ka), sendo o sistema deposicional mais recente (Villwock, 1984; Villwock *et al.*, 1986; Tomazelli & Villwock, 1991; Tomazelli, 1993, 1994).

O Sistema Laguna-Barreira IV, desenvolveu-se como consequência da última grande transgressão pós-glacial, correspondendo ao estágio isotópico de oxigênio 1, com nível do mar mais alto posicionado aproximadamente 2m acima do nível atual (Dillenburg *et al.*, 2017). A Barreira IV apresentou um comportamento evolutivo não uniforme durante o Holoceno Médio e Tardio, com setores em retrogradação e setores em progradação, sendo possível perceber quatro subtipos morfoestratigráficos coexistindo: Barreira Regressiva/Progradante, (Ex: trecho Tramandaí a Torres); Barreira Estacionária/Agradacional, (Ex: Albardão); Barreira Transgressiva/Retrogradante, (EX: trecho Mostardas a Estreito) e Barreira acoplada à terra principal (mainland beach barrier), (Ex: Chuí) (Dillenburg *et al.*, 2000, 2004a, 2009).

A PCRS consiste em depósitos quaternários inconsolidados, onde toda carga transportada pelos rios pela bacia de drenagem, ao sudeste do estado, é retida nas lagunas e outros ambientes costeiros, não recebendo aportes de suprimento sedimentar moderno (Tomazelli & Villwock 1992, Toldo & Dillenburg, 2002). A barreira IV aprisiona os sistemas lagunares Patos e Mirim entre outros corpos, sendo interrompida, de norte para o sul, pelo rio Mampituba, o inlet da laguna de Tramandaí, a desembocadura da laguna dos Patos e o arroio Chuí.

A atual faixa costeira da PCRS (Sistema Laguna-Barreira IV) se estende da desembocadura do Arroio Chuí, ao sul, até Torres, ao norte, é representada por uma ampla planície costeira com cerca de 620 km de extensão e até 100 km de largura, retilínea, com

suaves projeções e embaiamentos, apresentando orientação geral NE-SO, localizando-se em uma região costeira aberta.

De acordo com as propostas morfodinâmicas descritas na literatura (Wright & Short, 1984), a região é caracterizada por praias com estágios variando de intermediárias a dissipativas, com ondas dominantes junto à costa alcançando a altura média de 1,5m. Ao longo da linha de costa são observadas variações no ângulo de ataque e no gradiente de altura de ondas (Mota 1967; Lima *et al.* 2001; Martinho *et al.* 2009; Dillenburg *et al.*, 2009). Os eventos de maior energia de onda na região são originados pelas tempestades provenientes do quadrante SE, sendo comum no inverno a geração de ondas acima de 3,5 m de altura (Toldo Jr. *et al.*, 1993; Calliari *et al.* 1998). Trata-se de uma região de micromaré, com amplitude média de 0,50m e marés semi-diurnas (Tomazelli & Villwock, 1992).

O regime dos ventos se caracteriza como de alta energia, variando ao longo da costa. O vento dominante deriva de NE com maior atividade nos meses de primavera e verão, sendo possível verificar a migração das dunas no sentido SO, já o vento secundário de O-SO, apresenta maior eficácia nos meses de inverno, (Tomazelli & Villwock, 1992; Tomazelli, 1993; Weschenfelder, 1996; Martinho *et al.* 2010; Dillenburg *et al.*, 2009).

Segundo a Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM), a PCRS pode ser dividida em três setores: Litoral Sul, Litoral Médio e Litoral Norte. A área de estudo do presente trabalho compreende o Litoral Norte da PCRS, com seus limites entre o balneário de Itapeva, ao norte, tendo a escarpa da Serra Geral a sua adjacência e uma planície costeira estreita, e o balneário de Dunas Altas, em direção sul, onde a planície costeira tende a apresentar considerável largura e as maiores dunas frontais da região. Suas praias são constituídas por areias quartzosas finas e bem selecionadas, e apresentam classificação morfodinâmica variando de intermediárias a dissipativas. Sua linha de costa tende a um suave embaiamento, é caracterizada por uma relativa homogeneidade e continuidade lateral, onde as dunas frontais e os campos de dunas representam as maiores expressões morfológicas, apresentando dunas frontais entre bem desenvolvidas a inexistentes. (Weschenfelder *et al.*, 1997; Tomazelli & Villwock, 1992; Calliari *et al.*, 2005).

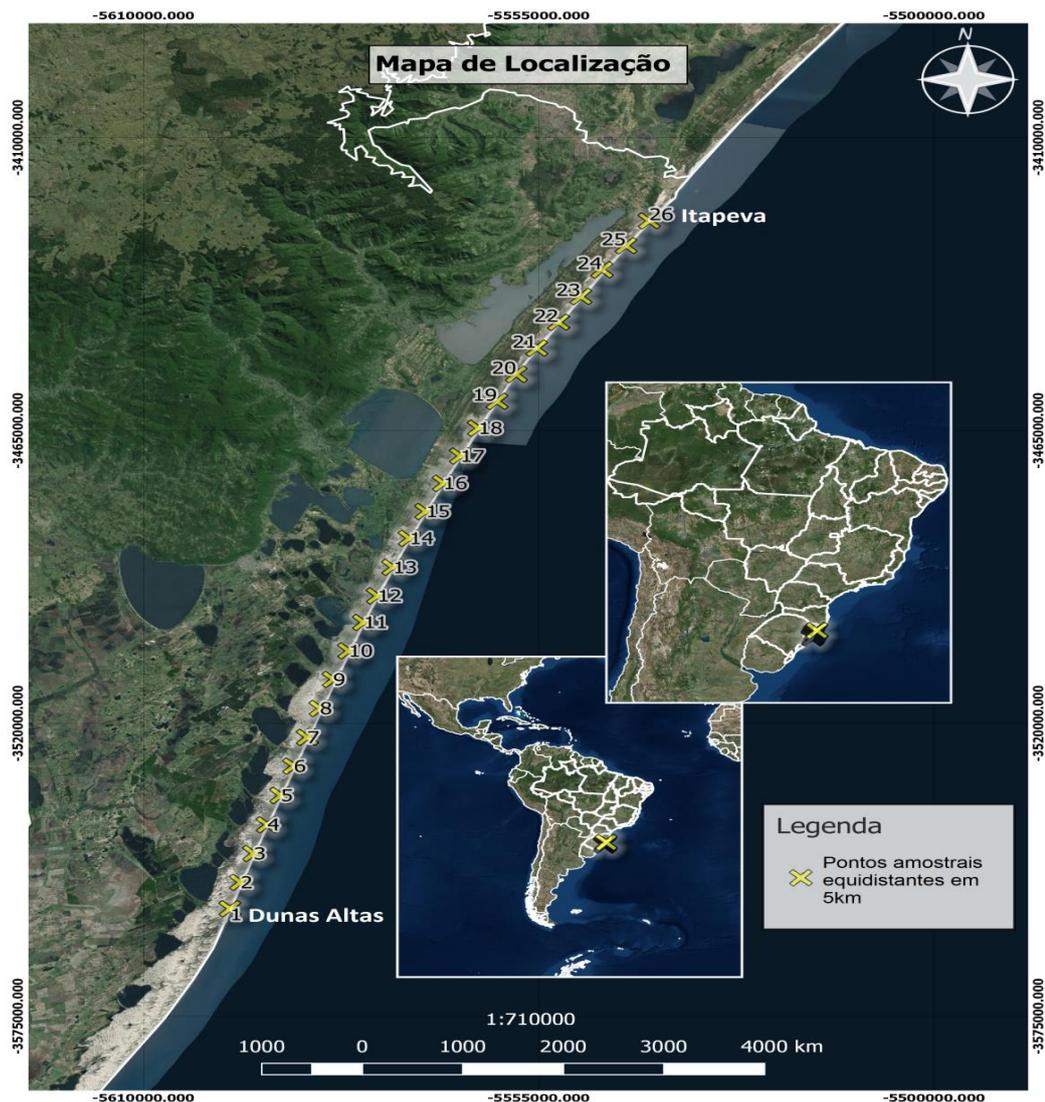


Figura 1. Área de estudo situada no Litoral norte do Rio Grande do Sul. Os pontos de 1 a 26 correspondem aos locais de coleta de sedimentos e medições morfológicas equidistantes em 5 km.

*Figure 1. Study area located in the north coast of Rio Grande do Sul. The points from 1 to 26 correspond to the sites of sediment collection and morphological measurements equidistant in 5 km.*

## 2.2 Materiais e métodos

Em campo, no sentido sul para norte, ao longo da área de estudo, e a cada 5 km, foram efetuadas duas campanhas (inverno e verão), nas quais foram realizados os seguintes procedimentos: coleta de sedimentos na face marinha das dunas frontais e limite instantâneo do swash da praia, medição de características morfológicas como altura das dunas frontais e

largura de praia subaérea, e observação e descrição de escarpas nas dunas frontais, dunas frontais incipientes quando presentes e presença das principais espécies fixadoras de sedimentos.

As coletas de sedimentos ocorreram no inverno de 2016 e no verão de 2017, tendo sido coletado um total de 26 lâminas milimétricas superficiais no ambiente praiial (limite instantâneo do swash) e mais 26 lâminas no primeiro 1/3 de altura das dunas frontais, em sua face marinha, a contar da sua base. As coletas tiveram a intenção de amostrar registros dos últimos eventos (dias e semanas) ocorridos nesses ambientes, compatíveis com situações de inverno e verão. Em laboratório, as amostras foram submetidas aos procedimentos de lavagem com água destilada, para retirada do sal e secagem em estufa. Em seguida, as mesmas, com objetivo de avaliar o material carbonático, foram separadas 3 amostras praiiais nas duas estações para esse fim, sendo pesadas e dissolvidas suas frações carbonáticas em ácido clorídrico 30% repesadas e calculado seu percentual; por fim, foram lavadas 5 vezes com água destilada para remoção completa do ácido. Quanto às características morfoscópias, os sedimentos foram classificados segundo o arredondamento, esfericidade e textura superficial, através da contagem de cem grãos em cada amostra sob lupa binocular e comparação visual entre grão e cartas de esfericidade e arredondamento.

Devido à facilidade e confiabilidade no procedimento metodológico e por proporcionar a automação e uniformidade dos resultados, as análises granulométricas dos sedimentos foram realizadas por difração a laser, através de um analisador de distribuição de tamanho de partículas HORIBA LA-950. Posteriormente, o software SYSGRAN® - Sistemas de Análises Granulométricas (Camargo, 2006) foi utilizado para converter os dados de micrometros ( $\mu\text{m}$ ) para a escala de Phi ( $\phi$ ) e calcular parâmetros granulométricos para cada amostra. Sendo calculada a média aritmética ( $M_z$ ), mediana ( $M_d$ ), grau de selecionamento ou desvio padrão ( $\sigma$ ), assimetria ( $S_{ki}$ ) e curtose ( $K_g$ ) e suas classificações verbais. O software R Team, ambiente virtual estatístico, foi utilizado na análise dos dados granulométricos. Por fim, os dados granulométricos foram trabalhados no software ArcGIS® 9.3.1, com a finalidade de se confeccionar mapas temáticos para expressar os dados de forma espacial.

As características morfológicas, como a altura das dunas frontais, foram estimadas de forma pontual e indireta, nas duas estações, através de fotografias com escala de referência. Em função do método utilizado, a altura das dunas frontais e sua variabilidade longitudinal foram comparadas com os dados do *Light Detection and Ranging* – LIDAR, de Vianna e Calliari (2013).

A largura da praia subaérea, considerada como o limite da base da duna frontal e limite da zona de swash, foi medida através do uso de trena. A orientação da linha de costa foi medida com auxílio de imagens georreferenciadas Geoeye, no software QGIS® 2.18 utilizando a ferramenta Ângulo. Com base nesses dados, os valores de pista de vento (*fetch*) foram obtidos através de cálculo trigonométrico. A análise dos ventos da região foi realizada com base nos trabalhos de Martinho (2008) e Martinho et. al. (2010) e os dados de ondas retirados de Martinho *et al.* (2009) e Dillenburg *et al.* (2005) e os dados de deriva litorânea disponibilizados pelos projetos SimCosta e Rede Ondas.

### **3 Resultados**

#### *3.1 Análises dos parâmetros estatísticos granulométricos*

Como referido anteriormente, o transporte de sedimentos e seus processos deposicionais podem ser expressos através da análise de distribuição granulométrica. No que se refere à variação longitudinal granulométrica na área de estudo, a tendência dos valores estatísticos mais frequentes ao longo da costa norte da PCRS foram:

##### *3.1.1 Diâmetro Médio ( $M_z$ )*

A média ou diâmetro médio ( $M_z$ ) consiste no tamanho médio das partículas de areia e está relacionado à energia do agente de transporte e à distribuição espacial da fonte de alimentação do sedimento (Folk & Ward, 1957). Os resultados referentes às amostras coletadas no ambiente praias da área de estudo apresentaram valores médios de diâmetro médio de  $2.384\phi$  no verão e  $2.348\phi$  no inverno, com predomínio de sedimentos classificados como areias finas (Fig. 2). Nas dunas frontais, os resultados referentes às amostras coletadas indicaram predomínio de grãos com diâmetro médio com valores de  $2.552\phi$  no verão e  $2.591\phi$  no inverno, com amostras classificadas como areias finas (Fig. 3).

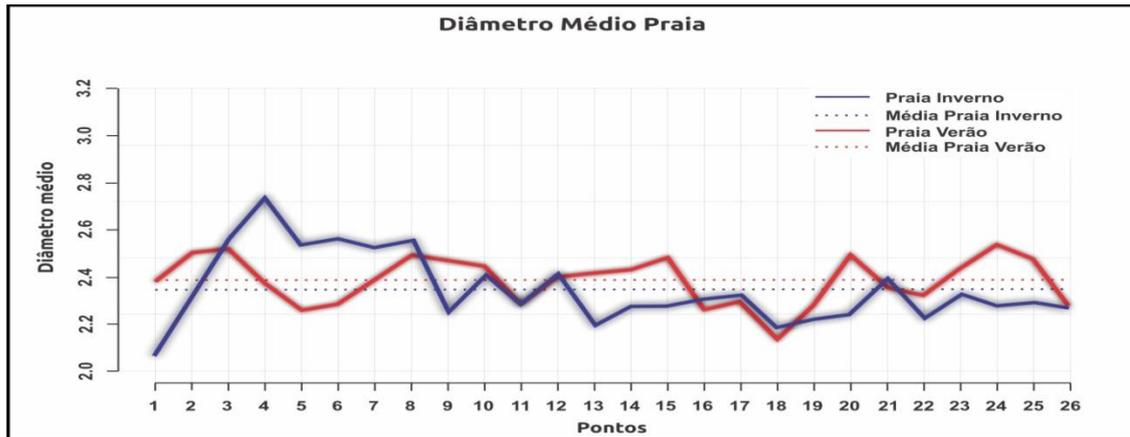


Figura 2. Diâmetro médio do grão (Mz) (Praia inverno X Praia verão)

Figure 2. Average grain diameter (Mz) (Beach winter x Beach Summer)

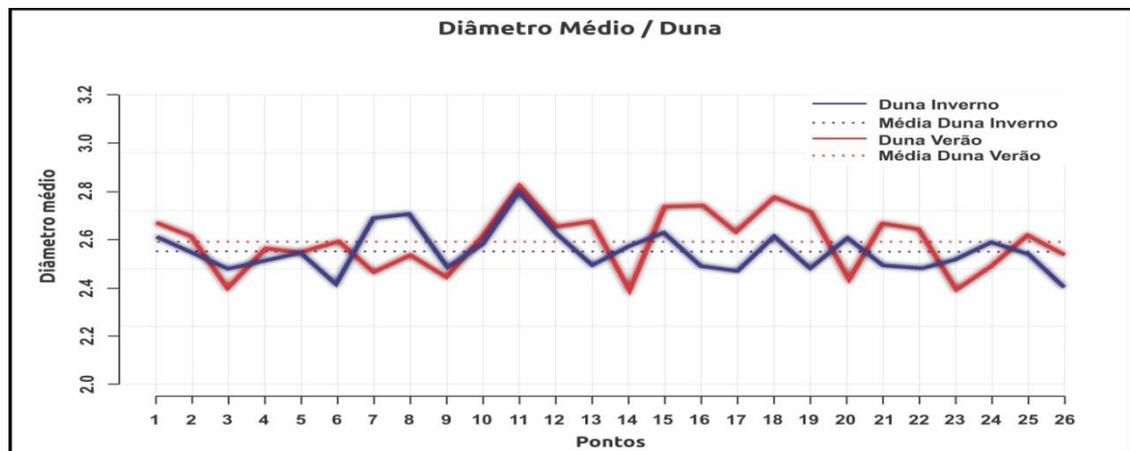


Figura 3. Diâmetro médio do grão (Mz) (Duna inverno X Duna verão)

Figure 3. Average grain diameter (Mz) (Dune winter X Dune Summer)

### 3.1.2 Grau de seleção (Dp)

O selecionamento ou grau de seleção (Desvio padrão - Dp) é a medida de dispersão da amostra, ou seja, o desvio padrão ( $\sigma$ ) da distribuição de tamanho. Ele revela a maior ou menor dispersão da curva de distribuição. Na praia, a média do total de pontos referentes ao grau de seleção apresentou valores com sutil diferença, tendo  $0.398\sigma$  durante o verão e  $0.395\sigma$  no inverno, indicando nas duas estações grãos bem selecionados (Fig. 4). Nas dunas frontais, o total dos pontos apresentaram valores de grau de seleção durante o verão com  $0.350\sigma$ , apresentando 53,85% de grãos bem selecionados e 46,15% de grãos muito bem selecionados, enquanto que no inverno a média do grau de seleção foi de  $0.378\sigma$ , apresentando 88,46% de grãos bem selecionados e 11,54% de grãos muito bem selecionados. (Fig. 5).

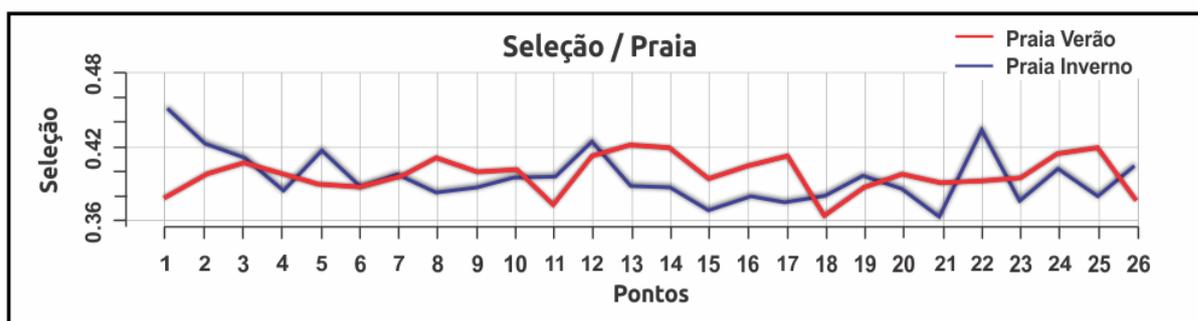


Figura 4. Grau de Seleção (Dp) (Praia inverno X Praia verão)

Figure 4. Sorting (Standard deviation) (Beach winter X Beach summer)

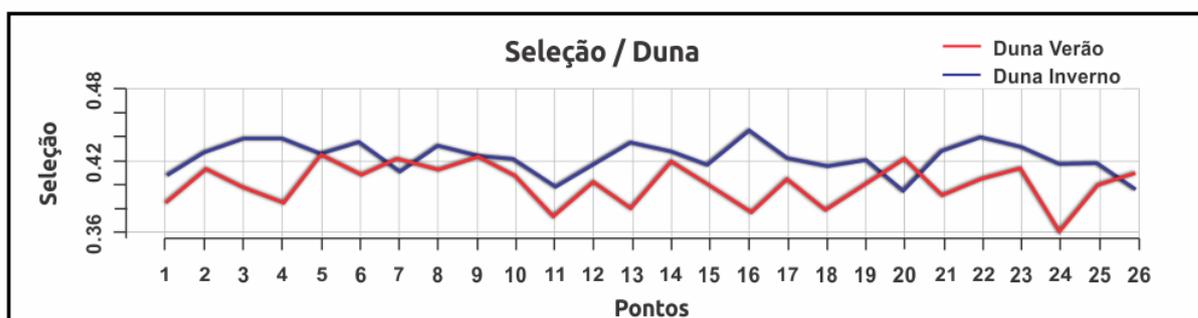


Figura 5. Grau de Seleção (Dp) (Duna inverno X Duna verão)

Figure 5. Sorting (Standard deviation) (Dune winter X Dune summer)

### 3.1.3 Assimetria (Sk)

A assimetria (Sk) é o grau de desvio de uma curva no sentido horizontal, podendo esse desvio ser positivo, com grãos finos, ou negativo, apresentando grãos grossos e, ainda, possuir valor zero para amostras simétricas, ou seja, o predomínio da fração mais grossa ou mais fina em relação ao diâmetro médio do sedimento. Na praia, as curvas de distribuição granulométrica dos sedimentos apresentaram valores médios de 0.066 e 0.055, respectivamente, no verão e no inverno, com total das amostras classificadas como aproximadamente simétricas. Nas dunas frontais, os valores médios de assimetria foram caracterizados no verão pelo valor de 0.038 e de 0.036 no inverno, com amostras classificadas como aproximadamente simétricas. (Fig. 6 e 7).

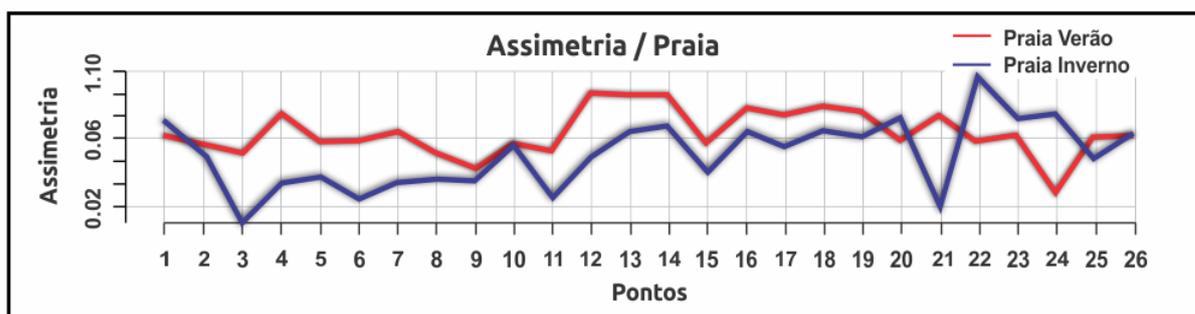


Figura 6. Assimetria (Sk) (Praia inverno X Praia verão).

Figure 6. Skewness (Sk) (Beach winter X Beach summer)

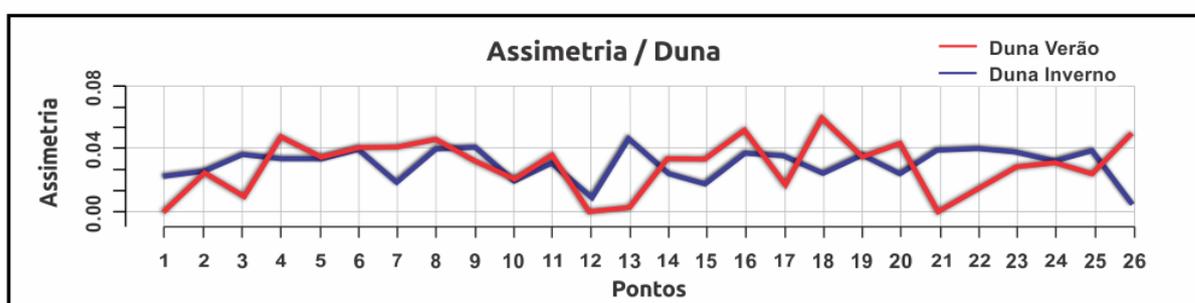


Figura 7. Assimetria (Sk) (Duna inverno X Praia verão).

Figure 7. Skewness (Sk) (Dune winter X Dune summer)

### 3.1.4 Curtose (Kg)

A curtose consiste no grau de achatamento de uma curva em relação à curva representativa de uma distribuição normal. A distribuição da curtose pode ser classificada como: platicúrtica (achatada), mesocúrtica (normal) ou leptocúrtica (alongada). A variação longitudinal da curtose na praia apresentou no verão o valor de 1.053, com totalidade das amostras classificadas como curvas mesocúrticas. Para o inverno, foi obtido o valor de 1.066, tendo 92,30% das amostras classificadas como mesocúrticas e 7,70% como leptocúrtica. Nas dunas frontais, os valores médios para o verão foram de 1.056, com uma curva de distribuição classificada com 92,30% mesocúrticas e 7,70% leptocúrticas e no inverno 1.073, com 88,46% de curvas mesocúrticas e 11,54% leptocúrticas. (Fig. 8 e 9).

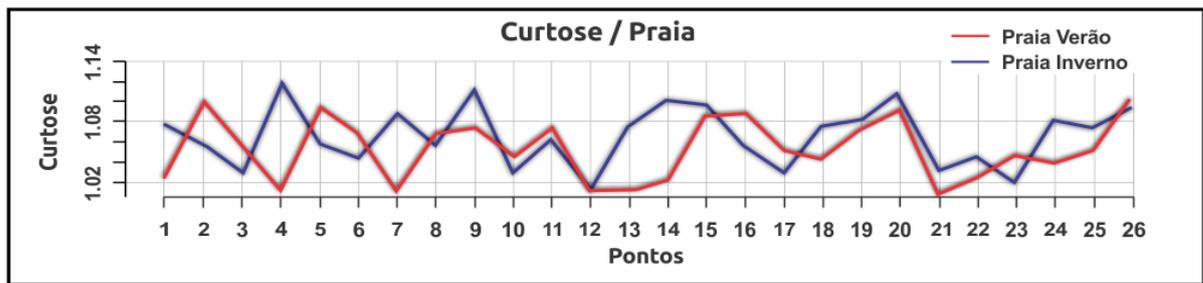


Figura 8. Curtose (Kg) (Praia inverno X Praia verão).

Figure 8. Kurtosis (Kg) (Beach winter X Beach summer).

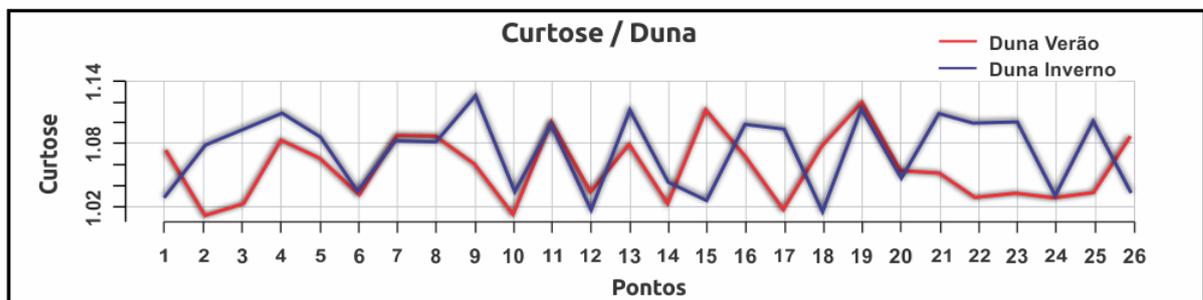


Figura 9. Curtose (Kg) (Duna inverno X Duna verão).

Figure 9. Kurtosis (Kg) (Dune winter X Dune summer).

### 3.2 Variabilidade sazonal praia - duna frontal

Ao relacionar os dois ambientes deposicionais na mesma estação é possível perceber a tendência de aumento e redução, bem como, uma grande homogeneidade granulométrica em seus resultados estatísticos, exceto por algumas discordâncias pontuais (Fig. 10 e 11) (Tab.1). No inverno o ponto 1 (Dunas Altas), ao sul, apresenta o maior valor de diâmetro médio de grão no ambiente praiial, com  $2,069\phi$ , contudo, uma queda brusca é percebida, atingindo seu menor valor no ponto 4 (Pinhal do Sul), com  $2,741\phi$ , em seguida a tendência longitudinal granulométrica demonstra aumento do diâmetro médio em sentido norte. Nas dunas frontais a menor medida ocorre no ponto 11 (Tramandaí), com  $2,802\phi$ , desse momento em diante a granulometria tende a um aumento em sentido norte, alcançando o valor de  $2,398\phi$  no ponto 26 (Itapeva).

No verão, o ponto 18 (Arroio Teixeira) apresenta o maior valor de diâmetro médio na praia, com  $2,137\phi$ , e rumo ao norte, no ponto 24 (Arroio Seco), é encontrado o menor valor, com  $2,535\phi$ . O comportamento longitudinal do ambiente praiial tende a oscilações em torno da média, apresentando um sutil aumento em direção ao norte. Nas dunas frontais o ponto 11

(Tramandaí) tem a menor medida de tamanho médio de grão, com 2,823φ e, no ponto 14 (Miriápolis), o maior valor, com 2,390φ; após, a tendência granulométrica apresenta uma sutil redução em direção ao norte. Um ponto a se destacar é que, tanto no inverno quanto no verão, a granulometria na duna frontal referente ao ponto 11 (próximo à desembocadura da laguna de Tramandaí), tende a apresentar o menor valor de diâmetro médio.

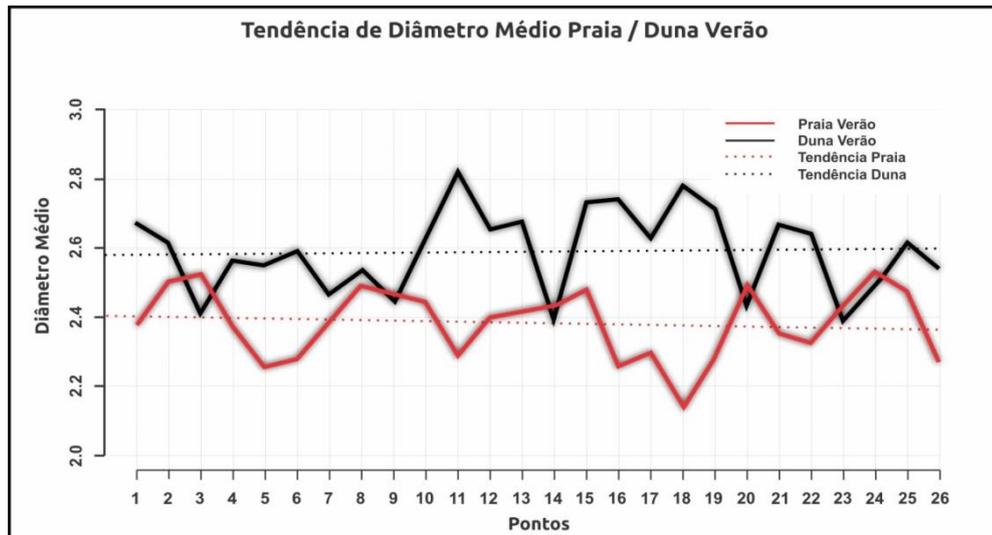


Figura 10. Diâmetro do grão médio de duna e praia verão X Tendência longitudinal.  
 Figure 10. Mean grain diameter of dune and summer beach X Longitudinal trend.

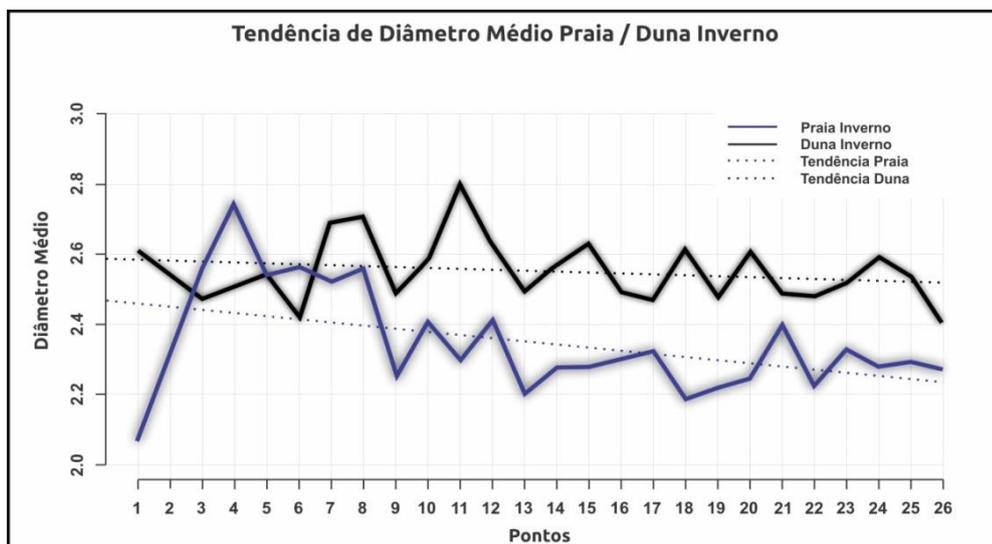


Figura 11. Diâmetro do grão médio de duna e praia inverno X Tendência longitudinal.  
 Figure 11. Mean grain diameter of dune and winter beach X Longitudinal trend.

A diferença entre as médias pareadas de praia e duna frontal em relação ao inverno e ao verão foi calculada sendo construído um intervalo de confiança (Tab. 2). Com isso foi

possível ter 99% de certeza de que, durante as duas estações, os sedimentos não diferem estatisticamente, ou seja, possuem uma homogeneidade quanto à classe granulométrica. Quando o mesmo procedimento foi aplicado para praia e duna na mesma estação, os valores de intervalo de confiança diferiram estatisticamente em 99%, assim, os valores da média do diâmetro médio dos grãos de areia das dunas são menores que a média do diâmetro médio dos grãos de areia das praias. A média do diâmetro médio dos grãos de areia na duna foi 0.204  $\phi$  abaixo da média do diâmetro médio dos grãos de areia da praia durante o inverno; no verão, a média do diâmetro médio dos sedimentos na duna frontal foi 0.207 $\phi$ , abaixo da média do diâmetro médio dos grãos de areia da praia. Por fim, a eliminação da fração carbonática das 3 amostras indicou uma presença máxima de 2% nos sedimentos do sistema praia-duna frontal.

Tabela 1. Síntese dos resultados estatísticos de diâmetro médio (Mz), Grau de seleção (Dp), Assimetria (Ski) e curtose (Kg).

*Table 1. Synthesis of the statistical results of mean diameter (Mz), Degree of selection (Dp), Skewness (Ski) and Kurtosis (Kg).*

Variável	Média	Desvio Padrão	Intervalo de confiança (95%)
Praia inverno (Mz)	2.348	0.1518	[2.286, 2.409]
Duna inverno (Mz)	2.552	0.0924	[2.514, 2.589]
Praia verão (Mz)	2.384	0.1032	[2.342, 2.425]
Duna verão (Mz)	2.591	0.1225	[2.541, 2.640]
Praia inverno (Dp)	0.395	0.0208	[0.386, 0.403]
Duna inverno (Dp)	0.378	0.0168	[0.371, 0.384]
Praia verão (Dp)	0.398	0.0149	[0.391, 0.403]
Duna verão (Dp)	0.350	0.0214	[0.341, 0.358]
Praia inverno (Ski)	0.055	0.0188	[0.047, 0.062]
Duna inverno (Ski)	0.038	0.0111	[0.033, 0.042]
Praia verão (Ski)	0.066	0.0129	[0.061, 0.071]
Duna verão (Ski)	0.036	0.0179	[0.029, 0.043]
Praia inverno (Kg)	1.066	0.0301	[1.054, 1.078]
Duna inverno (Kg)	1.073	0.0362	[1.057, 1.087]
Praia verão (Kg)	1.053	0.0312	[1.040, 1.065]

Tabela 2. Intervalos de confiança com margem de erro de 1% para a diferença de médias das amostras pareadas.

*Table 2. Confidence intervals with a 1% margin of error for the mean difference of paired samples.*

<b>Contraste</b>	<b>Intervalo de confiança</b>
Diâmetro médio/Praia (Inverno x Verão)	[-0.0593,0.1317]
Diâmetro médio/Duna (Inverno x Verão)	[-0.0369,0.1146]
Diâmetro médio/Inverno (Praia x Duna)	[0.1062,0.3017]
Diâmetro médio/Verão (Praia x Duna)	[0.0979,0.3153]

### *3.3 Características morfoscópicas de grãos do sistema praia - duna frontal*

A morfoscopia caracteriza o formato dos grãos quanto ao seu grau de esfericidade, arredondamento e textura. Para Souza (1990), grãos de quartzo fornecem informações sobre a natureza da fonte, o grau de retrabalhamento e de maturidade dos sedimentos, os mecanismos de transporte, contribuindo assim, na análise acerca dos ambientes fontes e deposicionais.

O arredondamento de uma partícula refere-se à suavidade de suas bordas e cantos, fornecendo informações relativas aos processos de transporte, caracterizando o grau de maturidade, a intensidade de transporte e a distância de área fonte (Suguio, 1973; Dias, 2004). No ambiente praial de inverno foram obtidos os valores de 72,54% de grãos angulosos, 23,31% sub-arredondados e 4,15% arredondados e nas dunas frontais a porcentagem de 69,2% de grãos angulosos, 24,3% sub-arredondados e 6,5% arredondados. No verão, no ambiente praial foi obtida 71,32% de grãos angulosos, 24,58% sub-arredondados e 4,01% arredondados. Nas dunas frontais foi obtida a média de 68,80% de grãos angulosos, 24,0% sub-arredondados e 7,2% arredondados.

Quanto à esfericidade, assinalada pelo grau em que o grão se aproxima de uma esfera perfeita, apresentando características quanto ao selecionamento granulométrico das partículas, segundo Suguio (1973) e Davis e Fitzgerald (2004). No ambiente praial de inverno foi encontrado o percentual de 75,61% de grãos com média esfericidade, 20,58% boa esfericidade e 3,81% com muito boa esfericidade. Nas dunas frontais foi obtido 70,11% de grãos com média esfericidade, 23,35% boa esfericidade e 6,54% com muito boa esfericidade.

No verão, no ambiente praial, 75,34% de grãos com média esfericidade, 21,34% boa esfericidade e 3,32% com muito boa esfericidade. As dunas frontais apresentaram 70,02% de grãos com média esfericidade, 22,74% boa esfericidade 7,24% com muito boa esfericidade.

### *3.4 Características morfológicas do sistema praia - duna frontal*

O litoral norte, assim como toda a PCRS, é classificado como uma costa francamente dominada pela ação das ondas provenientes de S-SE e correntes por elas geradas. Ondas de menor altura ocorrem nos suaves embaiamentos da costa (área de estudo), já em porções com suaves projeções costeiras, elas tendem ao aumento de sua altura. A região apresenta uma deriva litorânea resultante de SO para NE, podendo ocorrer de forma inversa NE-SO. A maré astronômica é semidiurna, com altura média de 0,50m (micromaré), podendo alcançar de 1,20 em eventos de maré meteorológica ou ressaca (Tomazeli 1992; Toldo *et al.*, 2006; Dillenburg *et al.* 2005; Almeida *et al.*, 1997). Os valores de altura média de ondas atuantes na porção norte da PCRS, para os respectivos pontos de coleta Martinho *et al.* (2009) e Dillenburg *et al.* (2005) apresentaram os valores médios de 1,46m, com tendência ao decréscimo de altura em direção ao norte, atingindo seu menor valor com 1,35m na região do balneário de Xangri-lá, porção central da área de estudo.

A largura da praia subaérea correspondente ao pós-praia apresentou uma largura média de 50,74m, no inverno, tendo sua maior medida com 71,70m, no ponto 9 (Jardim do Éden) e menor medida com 34,50m no ponto 24 (Arroio Seco). No verão, ficou nítida a tendência de aumento da praia subaérea em direção norte, apresentando o valor médio de 82,38m, com valor mínimo de 37,00m no ponto 1 (Dunas Altas), e alcançando seu máximo no ponto 25 (Praia Real), com 93,00m.

Segundo os trabalhos de Martinho (2008) e Martinho *et al.* (2010), os ventos apresentam variações ao longo da costa do litoral norte, ocorrendo aumento no sentido Sul. Na região de Torres, limite norte da área de estudo, os ventos mais frequentes são os de Nordeste (NE) e Sul (S), apresentando os menores valores de velocidade potencial e de deriva resultante (PDR). Essa região está adjacente às escarpas da Serra Geral, a qual se torna uma barreira topográfica, fazendo com que a umidade se torne maior e o potencial de deriva (PD) eólica menor. Em Imbé, predominam os ventos de NE, com as maiores velocidades e produzindo um potencial de deriva de NE para o sudoeste (SO).

Quanto ao azimute da linha de costa, a extensão da área de estudo apresentou uma leve tendência ao embaiamento, assim, modificando o ângulo da linha de costa em relação ao norte e com tendência de aumento no mesmo sentido. Quanto à orientação da linha de costa em relação ao vento predominante (NE-45°), essa apresentou um aumento de ângulo em direção ao sul, tendo seu maior valor no ponto 5 (Pinhal) com 30,20° e menor no ponto 25 (Praia Real) com 9°. No que se refere ao tamanho de pista de vento (*fecht*), nas duas estações ocorreu aumento em direção ao norte, apresentado no inverno a menor pista no ponto 6 (Cidreira), com 84,78m, e maior pista com 332,66m no ponto 22 (Arroio do Sal). Durante o

verão o menor valor é encontrado no ponto 1 (Dunas Altas), com 75,14m, e maior valor no ponto 25 (Praia Real), com 594,50m.

As dunas frontais incipientes, estágio inicial de desenvolvimento de dunas frontais estabilizadas, apresentaram alterações nas duas estações, com vida efêmera, variando entre presente e ausente, com espécies vegetais como *Blutaparon portulacoides* e *Spartina Ciliata* (Fig.12 e 13). No verão as dunas incipientes apresentaram maior expressão quando comparadas com o inverno.



Figura 12. Duna incipiente com presença de *Blutaparon portulacoides*, ao fundo, Spartina Ciliata, litoral norte do RS.

*Figure 12. Incipient dune with presence of Blutaparon portulacoides, in the background, Spartina Ciliata, north coast of RS.*



Fig. 13. Ausência de duna incipiente no inverno litoral norte do RS.

*Fig. 13. Absence of incipient dune in winter northern coast of RS.*

As dunas frontais da área investigada caracterizam-se por um cordão arenoso que se estende de maneira levemente sinuosa e paralela à linha de costa, constituído por areias finas e quartzosas, variando entre bem selecionadas a muito bem selecionadas. As dunas frontais apresentaram variação ao longo da área de estudo no que diz respeito à sua morfoecologia, altura, largura e presença de comunidades vegetais características, como *Panicum racemosum*, *Senecio crassiflorus* e *Spartina Ciliata*, além de presença de escarpas nas duas estações, as quais ocorrem com maior expressão no inverno (Fig.14). As dunas frontais têm sua lateralidade interrompida na área de estudo pelo inlet de Tramandaí e por sangradouros permanentes e efêmeros, com uma marcante presença de impacto antrópico (Fig.15). A altura das dunas frontais para a área de estudo apresentaram um valor médio de 2,1m no inverno e 2,00m no verão, devido à sua amostragem de forma pontual. Em função do método utilizado, a altura das dunas frontais estimadas neste trabalho foi comparada com a obtida por Vianna & Calliari (2013), os quais utilizaram o método LIDAR, constatando-se que em ambos os trabalhos houve uma tendência ao decréscimo de altura em direção norte (Tab.3).



Figura 14. Escarpas de inverno, litoral norte, RS.

*Figure 14. Winter scarpment, northern coast, RS.*



Figura 15. Impacto antrópico nas dunas frontais, litoral norte, RS.

*Figure 15. Anthropogenic impact of the foredunes, northern coast, RS.*

Tabela 3. Relação dos valores amostrados entre inverno (I) e verão (V) para o litoral norte da PCRS.

*Table 3. Beach/dune morphological measurements during winter and summer for the north littoral of RS.*

	Altura Ondas I/V	Largura Praia I	Largura Praia V	Azimute da Linha de costa	Linha de Costa x Vento NE	Pista de Vento/I	Pista de Vento/V	Altura Duna/I	Altura Duna/V	Altura Duna*
(Sul)										
Ponto 1	1,60m	44,00m	37,00m	15,50º	29,50º	89,35m	75,14m	4,50m	5,00m	5,92m
Ponto 2	1,60m	45,45m	55,00m	17,50º	27,50º	98,43m	119,11m	4,80m	4,00m	5,92m
Ponto 3	1,60m	52,50m	61,50m	19,54º	25,46º	122,13m	143,06m	3,00m	2,50m	5,92m
Ponto 4	1,60m	55,60m	55,50m	16,93º	28,07º	118,16m	117,95m	3,00m	2,00m	4,55m
Ponto 5	1,48m	58,00m	61,00m	14,80º	30,20º	115,30m	121,27m	1,80m	1,50m	4,55m
Ponto 6	1,48m	36,90m	54,00m	19,20º	25,80º	84,78m	124,07m	2,00m	1,50m	4,35m
Ponto 7	1,48m	45,05m	61,00m	16,44º	28,56º	94,23m	127,59m	3,00m	2,00m	4,35m
Ponto 8	1,48m	47,00m	71,50m	18,55º	26,45º	105,52m	160,52m	1,60m	1,70m	4,35m
Ponto 9	1,53m	71,70m	67,00m	19,03º	25,97º	163,74m	153,00m	1,50m	1,60m	4,35m
Ponto 10	1,53m	51,80m	69,00m	18,04º	26,96º	114,26m	152,19m	2,50m	2,00m	4,35m
Ponto 11	1,53m	48,00m	39,00m	21,60º	23,40º	120,86m	98,20m	4,50m	4,00m	4,35m
Ponto 12	1,53m	61,60m	63,00m	18,22º	26,78º	136,72m	139,82m	4,00m	3,00m	4,57m
Ponto 13	1,39m	57,80m	69,00m	20,55º	24,45º	139,65m	166,71m	4,50m	4,50m	4,57m
Ponto 14	1,39m	50,00m	66,00m	19,71º	25,29º	117,04m	154,49m	3,00m	2,50m	4,35m
Ponto 15	1,39m	56,70m	78,00m	25,10º	19,90º	166,58m	229,16m	3,50m	2,00m	4,35m
Ponto 16	1,21m	38,00m	72,50m	23,59º	21,41º	104,10m	198,61m	3,00m	2,00m	3,09m
Ponto 17	1,21m	54,00m	85,00m	23,48º	21,52º	147,21m	231,72m	0,80m	1,10m	3,09m

Ponto 18	1,21m	51,70m	70,00m	25,90º	19,10º	158,00m	213,92m	1,70m	1,60m	3,67m
Ponto 19	1,21m	47,00m	80,00m	28,38º	16,62º	164,32m	279,70m	1,60m	1,00m	3,67m
Ponto 20	1,21m	36,00m	88,00m	29,77º	15,23º	137,04m	334,99m	0,80m	1,50m	3,56m
Ponto 21	1,21m	61,00m	64,00m	32,03º	12,90º	271,79m	285,15m	1,00m	1,30m	3,45m
Ponto 22	1,26m	70,30m	84,00m	32,80º	12,20º	332,66m	397,49m	1,50m	1,00m	3,45m
Ponto 23	1,26m	60,80m	80,00m	32,26º	12,70º	275,70m	362,77m	1,50m	1,00m	3,45m
Ponto 24	1,26m	34,50m	83,00m	32,40º	12,60º	158,15m	380,48m	1,00m	0,60m	3,45m
Ponto 25	1,25m	34,80m	93,00m	36,00º	9,00º	222,46m	594,50m	0,70m	0,80m	3,09m
Ponto 26	1,25m	48,10m	90,00m	34,25º	10,70º	257,88m	482,51m	0,60m	0,50m	3,09m

(Norte)

(\*) Média das alturas de dunas frontais de Vianna & Calliari (2013), para os pontos de coleta considerados para inverno e verão.

#### 4 Discussão dos resultados

Como visto o estudo granulométrico de sedimentos, em síntese, é caracterizado por um conjunto de parâmetros estatísticos que representam a distribuição granulométrica, tais como diâmetro médio, grau de seleção (desvio padrão), assimetria e curtose. Esses parâmetros apresentam resultados relacionados aos processos sedimentares atuantes, áreas fontes e depósitos de sedimentos, variações de energia do meio e o tipo de agente de transporte (Folk & Ward, 1957; Tanner, 1995). No ambiente praiial, no que se refere à variação longitudinal sazonal do diâmetro médio dos grãos, ao longo do litoral norte da PCRS e nas duas estações (inverno e verão), a tendência mais regular foi encontrada na classe granulométrica areia fina, conforme exposto por Martins (1967), Nicolodi *et al.* (2002) e Vianna e Calliari (2016) ao estudarem a região.

Essa variação granulométrica apresenta uma leve tendência granocrescente (dentro da fração areia fina) de sul para norte durante o verão, enquanto que no inverno esse aumento torna-se um pouco mais evidente. Os resultados indicaram um maior valor do tamanho médio na praia de inverno, provavelmente em função das tempestades de inverno e eventos episódicos que remobilizam sedimentos subaquáticos de maior granulometria e menor grau de seleção para a zona praiial. A pequena diferença de valores entre as estações pode ser um reflexo da ausência de aporte de sedimentos modernos com diferentes texturas e diâmetro na costa e/ou indicar um alto grau de homogeneidade dos sedimentos, resultado dos sucessivos ciclos sedimentares ocorridos durante o Quaternário (sedimentos policíclicos), já descritos por Martins (1967).

Nas dunas frontais o diâmetro médio no verão apresentou uma leve redução em direção ao norte, enquanto que, no inverno, aumentou de forma progressiva. Os resultados indicaram o maior valor médio de grãos no inverno, com  $2.552\phi$ , e  $2.591\phi$  no verão, com suas

areias classificadas em sua totalidade como areias finas. O aumento granulométrico longitudinal das praias no inverno é refletido nas dunas frontais, demonstrando sua relação genética. Com isso, foi possível perceber que o vento se torna o responsável pela transferência de grãos menores, apresentando uma redução no tamanho médio em direção ao continente em função da mudança do agente transportador hidrodinâmico para o eólico, como verificado por Martins (1967). Assim, o ambiente praiial, composto por grãos quartzosos de maior diâmetro médio e menor grau de seleção, torna-se fonte subaérea de material para a duna frontal, compondo parcialmente sua granulometria, já que os grãos de menor diâmetro e melhor selecionamento ocorrem em função do agente eólico, corroborando, dessa forma, com as ideias de Carter, (1986) e Tabajara *et al.* (2004). No verão é possível perceber uma relação entre praia e duna não perceptível no inverno, onde a praia apresenta tendência de aumento de diâmetro do grão para o norte, enquanto que na duna frontal há uma sutil redução, porém, ambos os ambientes se mantêm dentro da classe granulométrica de areia fina.

Nos trabalhos de Martins (1967), Alvarez *et al.* (1983) e Tomazelli e Villwock (1992), os sedimentos praiiais arenosos do litoral norte da PCRS apresentaram 95% de composição quartzosa, classificados entre areia muito fina e areia média, e sedimentos eólicos com areia fina a muito fina, e grande homogeneidade ao longo da costa. O trabalho realizado entre Imbé e Arroio do Sal por Weschenfelder (1996) apresentou sedimentos praiiais e de dunas frontais com a mesma classe granulométrica aqui determinada, divergindo apenas com relação às características morfoscópias de arredondamento dos grãos.

Vianna e Calliari (2016), ao analisarem as variações granulométricas de face da praia, praia subaérea e duna frontal da região, também reconheceram a predominância de areias finas e unimodais no ambiente praiial e eólico, com tamanho médio de  $2,42\phi$  para esses ambientes, apresentando uma sutil diferença com relação ao resultado deste trabalho, no qual, em função do método de análise granulométrica por analisador de partículas – e não por peneiramento, como no trabalho dos referidos autores –, e devido à influência sazonal nas análises, os valores variaram entre  $2.384\phi$  a  $2.348\phi$  na praia e  $2.591\phi$  a  $2.552\phi$  nas dunas frontais.

Tabajara e Martins (2006), apresentaram valores de  $2,50\phi$  a  $2,53\phi$  nas dunas frontais da praia de Tramandaí. Neste estudo, ao calcular a média dos pontos correspondentes à área do balneário, os valores médios ficaram muito próximos daqueles, apresentado  $2,802\phi$  (inverno) a  $2,823\phi$  (verão). Na mesma região, os gráficos de diâmetro médio indicam no ponto 11, que a duna frontal tende à redução de diâmetro de grão, apresentando os menores valores granulométricos nas duas estações.

O grau de selecionamento ou desvio padrão representa o grau de seleção dos sedimentos que, em geral, aumenta no sentido do transporte, devido ao decréscimo da energia do agente envolvido tendo como consequência a redução da granulometria. A zona de espraiamento apresenta uma dinâmica em duas direções (swash e backwash), remobilizando sedimentos para praia aérea e subaérea. Logo, os sedimentos praias sofrem sua primeira seleção em função desse fluxo bidirecional, como apontado por Tabajara e Martins (2006), logo, sendo selecionados novamente pela ação do vento e transportados para as dunas.

Os resultados do grau de seleção na praia, nas duas estações, apresentaram tendência de aumento em direção norte, indo ao encontro dos resultados encontrados por Weschenfelder (1996), entre as praias de Imbé e Arroio do Sal, Pivel, (1997) na região de Torres, Tabajara (2003), nos balneários de Atlântida Sul e Miriápolis, e Tabajara e Martins (2006) em Tramandaí, nos quais foi constatado um alto grau de seleção na praia desses balneários. Os valores médios encontrados no presente trabalho foram de 0.398 no verão e 0.395 no inverno, tendo a totalidade dos sedimentos classificados como grãos bem selecionados, conforme proposto por Martins (1967). Algo a se ressaltar é o aumento dos valores de diâmetro médio e de grau de selecionamento no mesmo sentido, já que é de se esperar que quanto maior a seleção menor seja o diâmetro.

Nas dunas frontais, o total dos pontos amostrados apresentaram valores de grau de seleção com 0.350 no verão e 0.378 no inverno. Os sedimentos das dunas frontais, no verão, apresentaram 53,85% de grãos bem selecionados e 46,15% de grãos muito bem selecionados. No inverno, 88,46% de grãos bem selecionados e 11,54% de grãos muito bem selecionados, conforme classificado por Martins (2003). Percebe-se que a porcentagem de grãos muito bem selecionados nas dunas tende a reduzir no inverno, ocorrendo o aumento do percentual de grãos bem selecionados, provavelmente em função das mudanças climáticas sazonais. Durante o período de inverno, ondas de tempestades e marés meteorológicas favorecem uma maior remobilização de sedimentos mais grossos e menos selecionados para a porção subaérea da praia e, conseqüentemente, em função de sua relação genética sedimentar com a praia, as dunas tendem a apresentar o mesmo comportamento.

Tabajara e Martins (2006) destacam a importância da incidência do vento predominante (nordeste - 45°) no que diz respeito ao maior grau de seleção e ao menor tamanho de grão. Os resultados mostram a melhor capacidade de seleção do agente eólico, apesar da anterior seleção hidrodinâmica das ondas, como já apontado por Fox *et al.* (1966) e Self (1977) ao afirmarem que as dunas tendem a apresentar sedimentos mais homogêneos,

refletindo a ação predominantemente eólica, enquanto que a praia tende a apresentar sedimentos mais grossos e menos selecionados no estirâncio.

O parâmetro assimetria ( $Sk$ ) representa a tendência de concentração de determinado diâmetro de grão, a qual é expressa em forma de curva, podendo tender para grãos mais finos, com sentido positivo, ou grãos mais grossos, com sentido negativo, descrevendo se a curva é ou não simétrica. No ambiente praias as curvas de distribuição granulométrica dos sedimentos foram caracterizadas no verão com 0.066 e 0.055 no inverno, apresentando uma tendência dos valores de moda, média e mediana praticamente iguais, resultando em sedimentos classificados, tanto na praia quanto nas dunas frontais e nas duas estações, como aproximadamente simétricos.

A totalidade das amostras coletadas na área de estudo não apresentou relação com o proposto por Friedman (1961) ao estudar as características de sedimentos de dunas, praias e rios, e com Duane (1964) em seus estudos sedimentológicos na Carolina do Norte, bem como Martins (1965), Alvarez *et al.* (1981) e Tomazelli (1992) na PCRS, os quais demonstraram que as assimetrias dos sedimentos praias, em geral, possuem tendências negativas. Algo a se ressaltar na análise granulométrica neste trabalho foi a retirada dos carbonatos antes do seu cômputo, o que pode levar a valores de assimetria aproximadamente simétrica ou positiva. Tabajara (2003) e Tabajara & Martins (2006), ao estudarem parâmetros texturais de sedimentos no balneário de Atlântida obtiveram valores de acordo com os resultados praias aqui determinados, apresentando grãos aproximadamente simétricos, porém, diferindo nas dunas frontais, onde a assimetria se torna negativa.

Para Pivel, (1997), o ambiente praias na região de Torres é caracterizado por uma assimetria tendendo para valores positivos (grãos finos), da mesma forma que Gruber *et al.*, (1992) ao estudar as relações texturais dos sedimentos no balneário de Capão da Canoa, apresentando apenas uma exceção para o valor negativo em função de um canal pluvial retirando areia fina e muito fina. Para a área de estudo, a assimetria na praia durante o verão é maior e tende a se manter no valor médio, reduzindo seu valor de forma brusca somente ao norte no ponto 24 (Arroio Seco). Durante o inverno a tendência é de aumento em direção ao norte, apresentando um decaimento abrupto no ponto 21 (Arroio do Sal) e logo se recuperando e atingindo seu maior valor. Hails (1967), observando ambientes sedimentares em New South Wales, Austrália, destacou o terceiro momento estatístico (assimetria) como o melhor parâmetro para distinguir ambientes praias e dunas, fato não observado no presente trabalho e, para alguns autores, controverso.

A variação longitudinal da curtose na praia apresentou no verão o valor de 1.053, para o inverno, foi obtido o valor de 1.066. Nas dunas frontais, os valores médios para o verão foram de 1.056 e no inverno 1.073, apresentando mínima diferença entre as estações. No verão, todas as amostras de sedimentos apresentaram curvas mesocúrticas e, no inverno, em sua maioria, como mesocúrticas com pequena tendência a leptocúrtica. Tabajara (2003), nas praias de Atlântida Sul e Mariápolis, encontrou valores de duna variando entre mesocúrtica e platicúrtica e Martins, (1965), curvas leptocúrticas. Para esses autores, os sedimentos eólicos de dunas frontais apresentam curvas mesocúrticas, corroborando com os resultados aqui apresentados. Tanner (1995), ao estudar praias ao redor do mundo, destaca o quarto momento estatístico como sensível à energia das ondas, sendo inversamente proporcional a ela, da mesma forma que valores platicúrticos (curtose baixa) indicam alta energia e valores leptocúrticos (alta curtose) indicam baixa energia. Tal entendimento deve ser considerado, já que as praias da PCRS são dissipativas e de alta energia, no entanto, o significado geológico da curtose ainda é pouco conclusivo nas interpretações sedimentológicas costeiras.

No que se refere à morfoscopia, a descrição da forma do grão, expressa pela esfericidade e arredondamento, apresentou resultados morfométricos tanto no ambiente praias como nas dunas frontais nas duas estações grãos angulosos e com média esfericidade.

Para Briggs (1977), os sedimentos praias tendem a apresentar uma grande quantidade de grãos de quartzo com maior arredondamento, geralmente subarredondados. Weschenfelder (1996) destaca grãos bem arredondados para as praias de Imbé e Arroio do Sal. Contudo, neste trabalho, o arredondamento dos grãos na praia e na duna frontal no inverno e verão apresentou a maior porcentagem de grãos angulosos.

Quanto às características morfológicas do sistema praia-duna frontal, o Litoral Norte é caracterizado por praias dominadas por ondas e correntes por elas induzidas, apresentando um regime de micromaré e uma variação do estado morfodinâmico entre dissipativo e intermediário. As ondas incidentes na região de estudo são provenientes das direções NE com predominância SE, apresentando altura média de 1,46m com tendência a redução em direção ao norte, estando relacionada aos processos de refração e dissipação de energia por atrito com o fundo, onde, conforme Dillenburg *et al.* (2000; 2005), a variabilidade longitudinal das alturas de ondas está relacionada aos tipos de barreiras holocênicas, onde setores ligeiramente côncavos e progradantes (Torres a Tramandaí), tendem a apresentar baixa energia de ondas, principalmente na porção central da concavidade, e, no momento que a costa torna-se suavemente convexa e retrogradante, há maior altura de ondas.

As ondas da região de estudo alcançaram seu menor valor (1,35m) no ponto 16 (Xangri-lá), onde ocorre a redução progressiva de alturas das dunas frontais em sentido norte. Conforme observado por Short (1988), as ondas exercem um controle substancial no aporte de sedimento e na estabilidade das dunas frontais. Martinho *et al.* (2009) destaca a redução de energia das ondas e as taxas de transporte longitudinal de sedimento no Litoral Norte. Em resposta ao domínio da ondulação proveniente de SE, a deriva litorânea resultante é na direção NE, porém, como constatado por Motta (1967), ela ocorre em ambos os sentidos da linha de costa, gerando também deriva para SE, fato esse, ocorrido durante as campanhas realizadas neste trabalho, onde, no inverno, sua direção apresentou variação no dia anterior (PROJETO REDE ONDAS; PROJETO SIMCOSTA) vindo a retomar sua direção resultante ao longo do dia de campo. No verão, a variação de direção ocorreu ao longo do dia de coleta.

Neste estudo, a largura da praia subaérea apresentou tendência de aumento em direção ao norte no verão, onde sua menor largura é encontrada no ponto 1 (Dunas Altas), com 37,00m – apresentando divergência com relação ao trabalho de Vianna e Calliari (2013), no qual, para a mesma região, denominada grupo 1, foi obtida a maior largura média de praia subaérea (56,92m), possivelmente em razão do método de medição e a influência sazonal –, e maior largura no ponto 25 (Praia Real), com 93,00m. No inverno, o maior valor de largura de praia se deu no ponto 9 (Tramandaí), com 71,70m, ponto que corresponde ao Grupo 4 de Vianna e Calliari (2013), cujo valor se aproxima do valor médio obtido por esses autores (69,25m); e o menor valor ocorreu no ponto 24 (Arroio Seco), com 34,50m.

É importante ressaltar a relação entre a largura de praia e a altura de duna frontal, pois as dunas frontais ocorrem em sua maior expressão ao sul, na região de Dunas Altas, local onde ocorreram os menores valores de largura de praia. Ao relacionar a altura das dunas frontais com a largura da praia através do coeficiente de correlação de Pearson, não foi encontrada correlação representativa, ou padrão que relacione largura praia/altura duna frontal, vindo a corroborar com o proposto por Calliari *et al.* (2005) ao estudarem as praias do litoral médio e norte.

Conforme Martinho *et al.* (2010) ao longo da área de estudo os ventos apresentam variações com tendência de redução no sentido norte. Segundo Tomazelli (1993), o vento dominante na costa do RS é o NE e, embora sople ao longo de todo o ano, é mais ativo nos meses de primavera e verão. O vento de O-SO é secundário, sendo mais eficaz nos meses de inverno. Puhl (2017), comparando os registros de Torres e Tramandaí, destaca também que o vento mais frequente é de NE, ocorrendo em 12,14% do tempo em Torres e 24,02% em

Tramandaí. Com isso percebe-se que, mesmo tendo uma largura de praia propícia para o transporte de sedimentos, os ventos da porção norte da área de estudo (Torres) apresentam sua menor expressão. Também não favorece o maior desenvolvimento das dunas frontais a presença da escarpa da Serra Geral, que se torna uma barreira, favorecendo o aumento da umidade na região de Torres (Puhl, 2017) e a consequente redução da mobilidade dos sedimentos praias. Na região de Tramandaí, a escarpa inflete para o interior do continente e os ventos atuam de forma mais significativa (maiores velocidades), apresentando no local dunas frontais expressivas, apesar de uma largura de praia menor em relação a Torres. Para que os sedimentos possam ser transportados pelo agente eólico na formação das dunas frontais, além de material disponível, da largura da praia, energia, direção e constância dos ventos, é necessário uma pista de vento (*fetch*). Para a região, o aumento da pista de vento ocorre em direção norte nas duas estações, da mesma forma que a largura. Nota-se que onde ocorre a maior largura de praia e pista de vento também ocorre as menores dunas frontais e, onde ocorrem as menores larguras e pistas de vento, as dunas frontais tendem a ser mais expressivas.

O litoral norte da PCRS apresenta um suave embaiamento, fazendo com que o azimute da linha de costa em relação ao norte evidencie uma redução em direção ao sul. O azimute da linha de costa quando calculado em relação ao NE (45°), ângulo de incidência dos ventos da região, apresenta um aumento em direção ao sul, fato esse que vem a demonstrar a importância dessa variável no desenvolvimento mais expressivo das dunas frontais, que ocorrem de forma gradual, a partir da porção central até o sul da área de estudo (Dunas Altas), local onde o transporte eólico tende a se tornar oblíquo em direção às dunas frontais, como proposto por Calliari *et al.* (2005).

As dunas frontais incipientes são o processo inicial de desenvolvimento das dunas frontais estabilizadas, onde a vegetação torna-se obstáculo, alterando o curso de vento e favorecendo a deposição dos sedimentos. Na área de estudo, caracterizam-se por pequenas elevações de areia (<0,40cm), com vida efêmera, apresentando espécies características como *Blutaparon portulacoides*, que após as ressacas, brotam novamente tornando-se o primeiro obstáculo no transporte de sedimentos e *Spartina Ciliata* (capim das dunas) já evidenciadas por Cordazzo e Seelinger (1988). As dunas incipientes apresentaram presença marcante durante o verão, conforme também constatado por Tabajara (2004), e uma redução significativa, e até mesmo ausência, durante o inverno, em função de ressacas, corroborando com Cordazzo *et al.* (2006) onde os processos de erosão pelas ondas são observados com

maior frequência durante o outono e o inverno, pois ao erodirem a praia, as ondas também erodem a duna incipiente até a formação de escarpas na duna frontal estabilizada.

As dunas frontais ao longo da área de estudo caracterizam-se por depósitos arenosos, variando de bem desenvolvidos a inexistentes, constituídos por areias quartzosas de granulometria fina, e bem selecionadas, estando em concordância com Martins (2003); Calliari *et al.* (2005) e Vianna e Calliari (2016). Apresentam geometria de cristas, são levemente sinuosas e paralelas à costa, com redução de altura em direção ao norte, da mesma forma que observado por Vianna e Calliari (2013), ocorrendo variações de altura durante as estações; no verão a maior altura foi encontrada no ponto 1 (Dunas Altas) com 5,00m e no inverno no ponto 2 (Rei do Peixe) com altura de 4,80m, apresentando escarpas erosivas, como já constatado por Calliari *et al.* (2005), as quais ocorreram nas duas estações, porém, mais expressivamente no inverno. O desenvolvimento e evolução de dunas frontais dependem de uma série de fatores, incluindo o grau de cobertura vegetal e das espécies de plantas presentes (Hesp, 2000). Calliari *et al.* (2005) classificaram as dunas da região norte da PCRS como estágio 2, conforme modelo proposto por Hesp (1988). A composição vegetal observada em campo se destacou pela presença das espécies *Panicum racemosum* e *Senecio crassiflorus* características do ambiente vindo a contribuir para o equilíbrio ecológico e a estabilidade dinâmica do cordão de dunas Frontais.

## **5 Conclusões**

Os resultados obtidos no estudo do sistema praia-duna frontal do litoral norte da PCRS demonstraram nítida relação sedimentológica entre a praia e a duna frontal quando observados na mesma estação. No ambiente praiial os sedimentos foram caracterizados no intervalo granulométrico de areia fina com tendência granocrescente para o norte nas duas estações. Nas dunas frontais os valores foram de areia fina, com tendência granocrescente para o norte no inverno e um sutil decréscimo no verão. Os valores de diâmetro médio dos grãos na praia foram maiores que os das dunas frontais. No inverno, a praia apresentou maior valor de diâmetro médio em relação ao verão, da mesma forma que as dunas frontais. Verificou-se a eficiência do agente de transporte eólico em selecionar grãos de menor granulometria e maior grau de selecionamento, apresentando sedimentos bem selecionados na praia e bem selecionados a muito bem selecionados nas dunas frontais durante as duas estações. No verão houve melhor grau de seleção nas dunas frontais em relação ao inverno. Cabe destacar que o diâmetro médio e o grau de seleção dos grãos tendem a aumentar na mesma direção (norte).

Um possível fator que pode ter contribuído para essa situação foi a deriva litorânea que ocorreu no sentido contrário durante as campanhas, sendo questionável o tempo necessário de deriva litorânea inversa para que ocorra uma assinatura praial diferente do padrão. A assimetria, tanto no ambiente praial quanto no eólico, nas duas estações, foi classificada como aproximadamente simétrica para ambos os ambientes do sistema praia-duna, demonstrando a tendência da região ao predomínio de grãos finos. A curtose apresentou sedimentos praias mesocúrticos no verão e mesocúrticos com tendência a leptocúrticos no inverno. Quanto à análise granulométrica, o método de difração a laser mostrou resultados em conformidade com aqueles baseados no método tradicional de peneiramento e posterior pesagem das frações sedimentares. Da análise morfoscópica dos grãos praias e eólicos, nas duas estações, verificaram-se maiores percentuais de arredondamento e esfericidade na classe angulosa e média esfericidade. Quanto às variáveis morfológicas nas duas estações, a altura das dunas frontais tendeu ao decréscimo no sentido norte, local onde as ondas apresentaram os menores valores de altura. No inverno, as dunas tendem a reduzir sua altura e a apresentar maiores escarpas quando comparadas com o verão. As dunas incipientes estão presentes com maior expressão no verão, enquanto no inverno tendem a apresentar escarpas ou a desaparecer. Os ventos predominantes de NE apresentam tendência de aumento da sua velocidade na direção sul da área de estudo, contribuindo com o desenvolvimento das dunas frontais no local. Durante o verão, as maiores medidas de largura de praia e pista de vento ocorrem na porção norte, local onde se dão as menores expressões de dunas frontais, demonstrando que somente a relação desses fatores não é suficiente para a caracterização e desenvolvimento das dunas frontais na região. Com isso, percebe-se que o aumento da velocidade do vento no setor sul da região do estudo e a orientação da linha de costa, que apresenta um maior valor angular com o vento dominante de nordeste (NE 45°) no sul dessa região, são os condicionantes que demonstraram relação no que diz respeito à variabilidade longitudinal das dunas frontais, corroborando com o proposto por Calliari *et al.* (2005).

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro. Este trabalho é parte do Trabalho de Conclusão de Curso de Pós-graduação em Geologia Marinha do primeiro autor, desenvolvido no Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

## Referências bibliográficas

- Almeida, L.E.S.B., Rosauero, N.M.L. & Toldo Jr., E.E. 1997. Análise Preliminar das Marés na Barra do Rio Tramandaí, RS. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 12, Vitória. *Anais...*, Vitória, ABRH, v.1, p. 560- 566.
- Alvarez, J.A., Grê, J.C.R. & Toldo Jr., E.E. 1981. Estudos da praia a nordeste do molhe de Rio Grande, Rio Grande do Sul. *Pesquisas* 14: p. 131-147.
- Alvarez, J.A., Grê, J.C.R. & Toldo Jr., E.E. 1983. Estudos oceanográficos e sedimentológicos preliminares da praia de Tramandaí, RS. *Pesquisas*, 15: p. 66-85.
- Bauer, B.O. & Davidson-Arnott, R.G.D. 2003. A general framework for modelling sediment supply to coastal dunes including wind angle, beach geometry and fetch effects. *Geomorphology* 49, 89–108.
- Briggs, D. 1977. *Sediments*. Fakenham, Norfolk: Fakenham Press limited, 1977. 192pp
- Brown, A.C. & Mclachlan, A. 1990. *Ecology of Sandy Shores*. Amsterdam, Elsevier, 327p.
- Calliari, L.R., Pereira, P.S., de Oliveira, A.O. & Figueiredo, S.A. 2005. Variabilidade das Dunas Frontais no Litoral Norte e Médio do Rio Grande do Sul, Brasil. *Gravel*, (3):15-30.
- Calliari L.J., Tozzi H.A.M. & Klein A.H.F. 1998. Beach morphology and coastline erosion associated with storm surges in southern Brazil – Rio Grande to Chuí, RS. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 70(2): 231-247.
- Camargo, M.G., 2006. Sysgran: um sistema de código aberto para análises granulométricas do sedimento. *Revista Brasileira de Geociências*, v.36(2), p.371-378.
- Carter, R.W.G. 1986. The morphodynamic of beach ridge formation: Magilligan, Northern Ireland. *Marine Geology*, 73: p. 192-214.
- Carter, R.W.G. & Wilson, P. 1990. The geomorphological, ecological and pedological development of coastal foredunes at Magilligan Point, Northern Ireland. *In: K.F. Nordstrom, N.P. Psuty and R.W.G. Carter, Editors, Coastal Dunes: Form and Process*, Wiley, London , 1990, p. 129-157.
- Cordazzo, C.V., Paiva, J.B. & Seeliger, U. 2006. Guia Ilustrado Plantas das plantas das Dunas da Costa Sudoeste Atlântica. *Manuais de Campo # 8*, USEB, Pelotas, 107p.
- Corelazzo E.V. & Seeliger, U. 1988. Phenological and biogeographical aspects of coastal dune plant communities in southern Brazil. *Vegetatio* 75: 169-173.
- Davidson-Arnott, R.G.D. 1988. Temporal and spatial controls on beach-dune interaction, Long Point, Lake Erie. *In: Psuty NP (ed) Journal of Coastal Research Special Issue*, v. 3. C.E.R.F. Florida, p.131-136.
- Davidson-Arnott, R.G.D. & Law, M.D., 1996. Measurement and prediction of long-term sediment supply to coastal foredunes. *J. Coast. Res.* 12, 654–663.

- Davis R.A. Jr, & Fitzgerald D.M. 2004. *Beaches and coasts*. Blackwell, Malden, MA, p.419.
- Dillenburg *et al.* 2017. O comportamento do nível do mar no rio grande do sul nos últimos 6 ka. XVI Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário At: Bertioiga-SP, v. 3.
- Dillenburg S.R., Martinho C.T., Tomazelli L.J., Dorneles L., Silva D.B. 2005. Gradientes de altura de ondas ao longo da costa do Rio Grande do Sul. *Abstracts of the 10<sup>o</sup> Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário*. CD-ROM extended abstract n 84, p.6.
- Dillenburg, S. R., Barboza, E. G., Tomazelli, L.J., Hesp, P.A., Clerot, L.C.P. & Zouain, R.N.A. 2009. The Holocene Coastal Barriers of Rio Grande do Sul. In: SERGIO REBELLO DILLENBURG & PATRICK ALAN HESP (eds). *Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil*. Berlin/Heidelberg: Springer, p.53-91.
- Dillenburg, S.R., Barboza, E.G., Tomazelli, L.J., Hesp, P.A., Clerot, L.C.P., Zouain, R.N.A. 2009. The Holocene Coastal Barriers of Rio Grande do Sul. In: SERGIO REBELLO DILLENBURG & PATRICK ALAN HESP (eds). *Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil*. Berlin/Heidelberg: Springer, p.53-91.
- Dillenburg, S.R., Esteves, L.S. & Tomazelli, L.J. 2004. A critical evolution of coastal erosion in Rio Grande do Sul, southern Brazil. *Annals of the Brazilian Academy of Science*, v.76, p.611-623.
- Dillenburg, S.R., Roy, P.S., Cowell, P.J. & Tomazelli, L.J. 2000. Influence of antecedent topography on coastal evolution as tested by the shoreface translation-barrier model (STM). *Journal of Coastal Research*, v.16, p.71-81.
- Dillenburg, S.R., Tomazelli, L.J. & Barboza, E.G. 2004a. Barrier evolution and placer formation at Bujuru southern Brazil. *Marine Geology*, 203: 43-56.
- Duane, D. 1964. Significance of skewness in recent sediments, Western Pamlico Sound, North Carolina. *Journal of Sedimentary Petrology*, v.34(4):864-874. Tulsa. USA.
- Folk, R.L & Ward, W.C. 1957. Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27:3-27.
- Fox, W.T., Ladd, J.W. & Martin, M. K. 1966. A profile of the four moment measures perpendicular to a shore line, South Haven, Michigan. *Journal of Sedimentary Petrology*, 36(4): 1126- 1130.
- Friedman, G.M. 1967. Dynamic processes and statistical parameters compared for size frequency distribution of beach and river sands. *Journal of Sedimentary Petrology*, 37(2): 327-354.
- Gruber, N.L.S. *et al.* 1992. Relação textural dos sedimentos praias, com os processos morfodinâmicos no município de Capão da Canoa/RS. In: Anais... XVI Encontro Nacional de Geógrafos. Porto Alegre-RS, 2010, ISBN 978-85-99907-02-3.

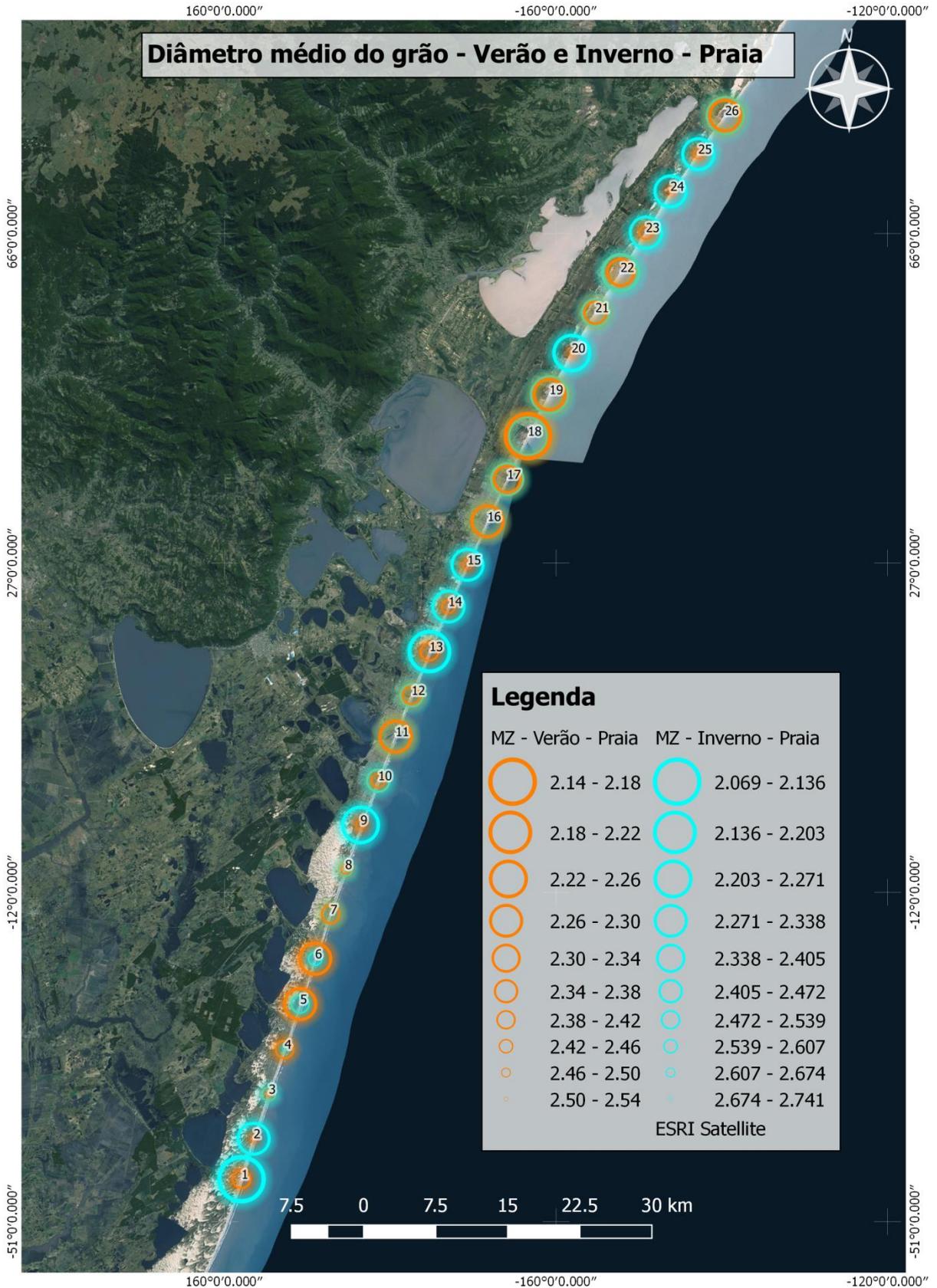
- Hails, J.R. 1967. Significance of statistical parameters for distinguishing sedimentary environments in New South Wales, Australia. *Journal of Sedimentary Petrology*, v.37(4):1059-1070. Tulsa. USA.
- Hesp, P.A. 1988. Morphology, Dynamics and Internal Stratification of some established foredunes in southeast Australia. *Sedimentary Geology*. 55: 17-41.
- Hesp, P.A. 2000. Coastal sand dunes. Form and Function. *CDNV Technical Bulletin No. 4*. Massey University, 28 pp.
- Hesp, P.A. The backshore and beyond. *In: A.D. Short (ed). Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*. J. Wiley and Sons, 1999, p. 145-170.
- Hesp, P.A. & Smyth, T.A.G. 2016, Surfzone-Beach-Dune interactions: Flow and Sediment Transport across the Intertidal Beach and Backshore. *Journal of Sedimentary Petrology*, Special Issue No.75, 2016.
- Hoefel, F.G. 1998. *Morfodinâmica de praias bibliográfica*. Editora da Univali. Itajaí. 92p.
- Law, M., & Davidson-Arnott R.G.D. 1990. Seasonal controls on aeolian processes on the beach and foredune. *In: Canadian Coastal Conference on Coastal Sand Dunes*. p. 49-68.
- Lima, S.F.; Almeida, L.E.S.B. & Toldo Jr., E.E. 2001. Estimate of longshore sediments transport from waves data to the Rio Grande do Sul coast. *Pesquisas*, 28 (2): 99-107.
- Martinho, C.T. 2008. *Morfodinâmica e evolução de campos de dunas transgressivos quaternários do litoral do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, 239p. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Martinho, C.T., Dillenburg, S.R. & Hesp, P.A. 2009. Wave energy and longshore sediment transport gradients controlling barrier evolution in Rio Grande do Sul, Brazil. *Journal of Coastal Research*, 25 (2), 285- 293.
- Martinho, C.T., Hesp, P.A. & Dillenburg, S.R. 2010. Morphological and temporal variations of transgressive dunefields of the northern and mid-littoral Rio Grande do Sul coast, Southern Brazil. *Geomorphology*, v.117, p.14-32.
- Martins, L.R. 1965. Significance of skewness and kurtosis in environmental interpretation. *Journal of Sedimentary Petrology*, v.35, p.768-770, 1965.
- Martins, L.R. 1967. *Aspectos texturais e deposicionais dos sedimentos praias e eólicos da planície costeira do Rio Grande do Sul*. Publicação Especial. Escola de Geologia/UFRGS, 13, 102 p.
- Martins, L.R. 2003. Recent Sediments and Grain size analysis. *Gravel*, Porto Alegre, 2003. (1): 90-105.
- Martins, L.R., 2003, Recent Sediments and Grain-Size Analysis. *Gravel*, CECO, Instituto de Geociências, UFRGS, 1: 90-105.
- Mclaren, P. & Bowles, D. 1985. The effects of sediment transport on grain-size distributions. *J. Sed. Petrol.*, 55, 457-470.

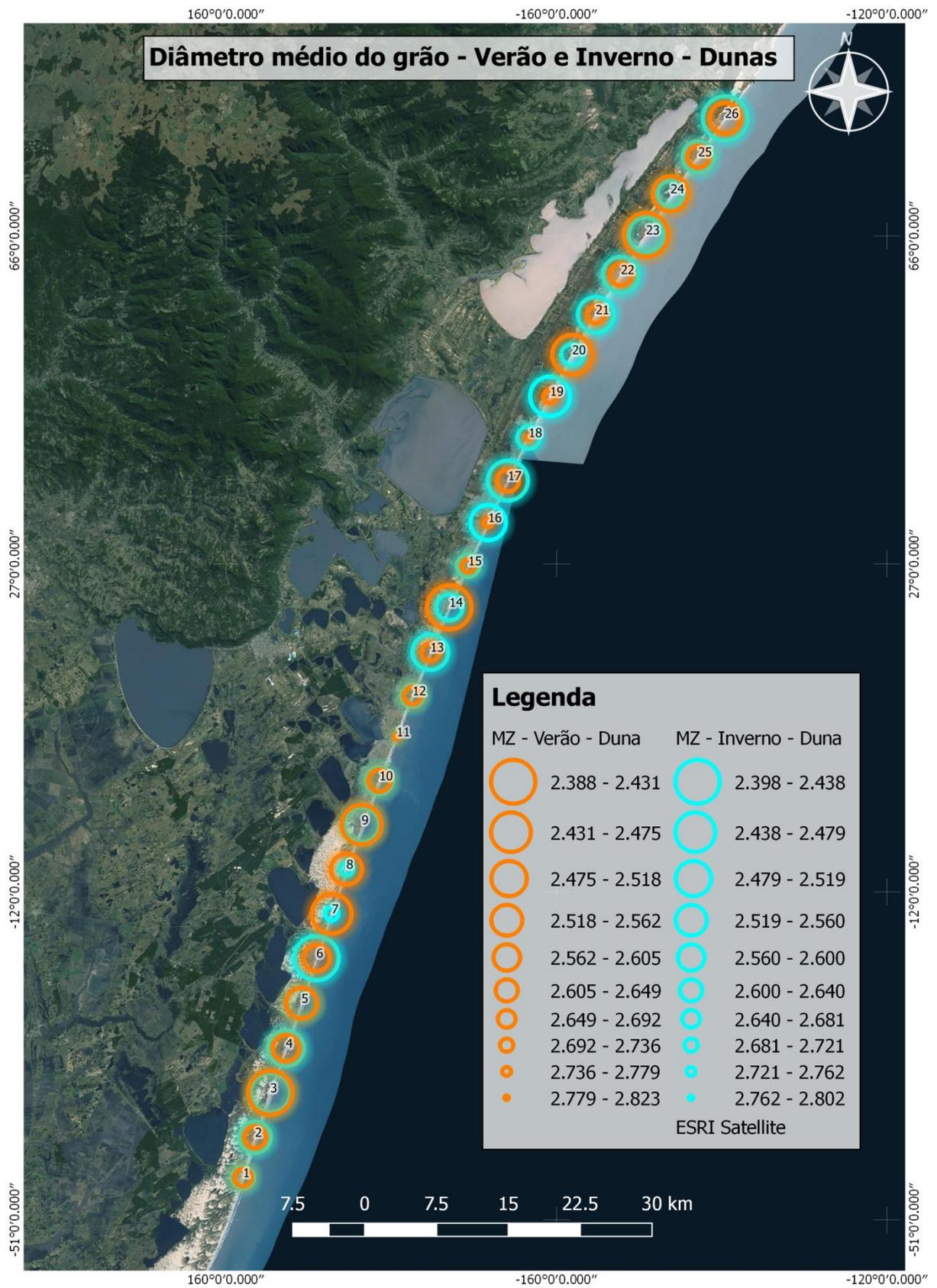
- Mclaren, P. 1981. An interpretation of trends in grain-size measurements. *J. Sed. Petrol.*, 51, 611–624.
- Motta, V.F. 1967. *Estudo em modelo reduzido da regulamentação da embocadura lagunar de Tramandaí (Rio Grande do Sul)*. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. (Inédito).
- Mühe, D. 1998. O litoral brasileiro e sua compartimentação. In: Cunha, S.B. & Guerra, A.J.T., (eds.). *Geomorfologia do Brasil*. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil S.A., p. 273-349.
- Nicolodi, J. L., Siegle, E. & Rechden Filho, R.C. 2002. *Análise sedimentológica do pós-praia no Rio Grande do Sul. Projeto Erosao Costeira: Causas, análise de risco e sua relação com a gênese de depósito*. Porto Alegre, CD-ROM.
- Pivel, M.A.G. 1997. *Caracterização morfodinâmica e sedimentológica das praias de Torres (RS)*. Rio Grande, 72p. Monografia de Graduação, Departamento de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande.
- Press, F. *et al. Para entender a Terra*. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- Projeto Rede Ondas. 2018. *Rede de Monitoramento de Ondas em Águas rasas. Programa de Observação Global dos Oceanos (GOOS)*. Comissão Oceanográfica Intergovernamental – UNESCO. Universidade Federal de Rio Grande – FURG. Disponível em: <<http://redeondas.furg.br/pt/>>. Acesso em 15 mai.2018
- Projeto SimCosta. 2013. *Sistema de Monitoramento da Costa Brasileira*. Disponível em: <<http://www.simcosta.furg.br>>. Acesso em 15 mai.2018.
- Psuty NP. 1988. Sediment budget and dune/beach interaction. *Journal of Coastal Research* 3(special issue): 1–4. SHORT, A.D. 1999. Wave-dominated beaches. In: Short, A.D. (ed.). *Handbook of beach and shoreface morphodynamics*. Chichester, John Wiley & Sons, p. 173-203.
- Psuty, N.P., 1992. Spatial variation in coastal foredune development. In: Carter, R.W.G., Curtis, T.G.F., Sheehy-Skeffington, M.J. (Eds.), *Coastal Dunes: Geomorphology, Ecology, and Management for Conservation*. Balkema, Rotterdam, pp. 3–13.
- Puhl, N.P. 2017. *O campo de dunas transgressivo da barreira costeira holocênica no Litoral Norte do Rio Grande do Sul: possíveis controles do seu desenvolvimento*. Porto Alegre, 63p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Self, R.P. 1977. Longshore variation in beach sands Nautla area, Veracruz, Mexico. *Journal of Sedimentary Petrology*, 47(4): 1437-1443.
- Sherman, D.J. & Bauer, B.O. 1993. Coastal geomorphology through the looking glass. *Geomorphology*. 7: 225-249.
- Sherman, D.J. 1995. Problems of scale in the modeling and interpretation of coastal dunes. *Marine Geology*, n. 124, p. 339-349, 1995.

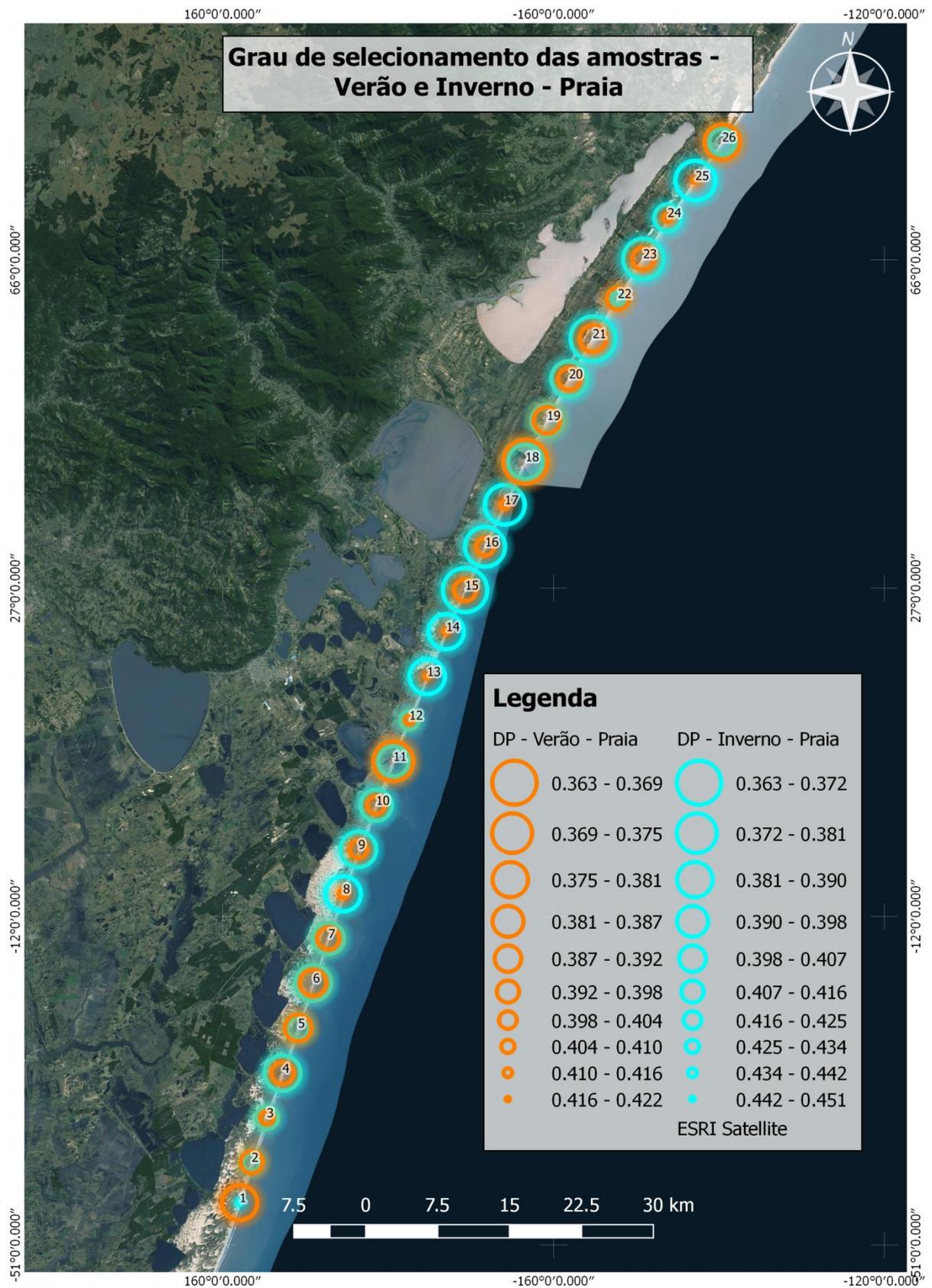
- Short, A.D. & Hesp, P.A. 1982, Waves beach and dune interactions in southeastern Australia. *Marine Geology*, 48(1): 259-284.
- Short, A.D. & Wright, L.D., 1983. Physical variability of sandy beaches. In: McLachlan, A. & Erasmus, T. (Eds.) *Sandy Beaches as Ecosystems*. Junk, The Hague: 133-144.
- Short, A.D. 1988a. Holocene coastal dune formation in Southern Australia: a case study. In: Hesp, P., Fryberger, S.G. (Eds.), Special Issue: Eolian Sediments. *Sedimentary Geology*, vol. 55 (1/2), pp. 121-142.
- Short, A.D. 1999. *Hand book of Beach and Shoreface and Morphodynamics*. Editora John Wiley & Sons Ltd., New York, 392p.
- Short, A.D. 1988b. Wave, beach, foredune, and mobile dune interactions in the Southern Australia. *J. Coast. Res.* SI.3, 05-09
- Suguio, K. 1973. *Introdução à sedimentologia*. São Paulo. Ed. Edgard Blucher. EDUSP, 317 p.
- Tabajara, L.L.C.A. 2003. *Interações onda-praia-duna e manejo das dunas das praias de Atlântida Sul e Mariápolis – R.* Porto Alegre, 216 p. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Tabajara, L.L. & Martins, L.R. 2006. Classificação Textural de Sedimentos Praiais e a Relação com os Processos Morfogenéticos Eólicos e Marinheiros. *Revista Gravel*, vol. 4: p. 99-107.
- Tabajara, L.L., Almeida, L.E.S.B. & Fonseca, V.P. 2004. Seasonal variations and controlling factors of aelion transport at Atlântida Sul beach, Rio Grande do Sul, Brazil. In: *Anais... VIII International Coastal Symposium, Itapema-SC, 2004*, JCR-SI 39.
- Tabajara, 2004, in Portz, L.C. 2008. *Contribuição para o estudo do Manejo das Dunas. Caso das Praias de Osório e Xangrilá, litoral norte do rio Grande do Sul*. Porto Alegre IGEO/UFRGS. 128p.
- Tanner, W.F. 1995. Environmental clastic granulometry. Florida Geological Survey, *Special Publication* N° 40. 142 p.
- Toldo Jr, E.E. & Dillenburg, S.R. 2002. Swash bar migration at the inlet of the Lagoa dos Patos Lagoon, Brazil. *Journal of Coastal Research*. West Palm Beach, FL, USA. ICS. 489-492.
- Toldo Jr., E.E., Dillenburg, S., Almeida, L.E.S.B., Tabajara, L.L., Martins, R.R. & Cunha, L.O.B.P. 1993. Parâmetros Morfodinâmicos da Praia de Imbé, RS. *Revista Pesquisas* 20(1): 27-32.
- Toldo Jr., E.E., Nicolodi, J.L., Almeida, L.E.S.B. & Corrêa, I.C.S., 2004. Coastal Dunes and Shoreface Width as a Function of Longshore Transport. *Journal of Coastal Research*. Itajaí, SC, Special Issue, 39.
- Toldo, E. E., Almeida, L.E.S.B., Nicolodi, J., Absalonsen, L. & Gruber, N.L.S. 2006. O Controle da Deriva Litorânea no Desenvolvimento do Campo de Dunas e da

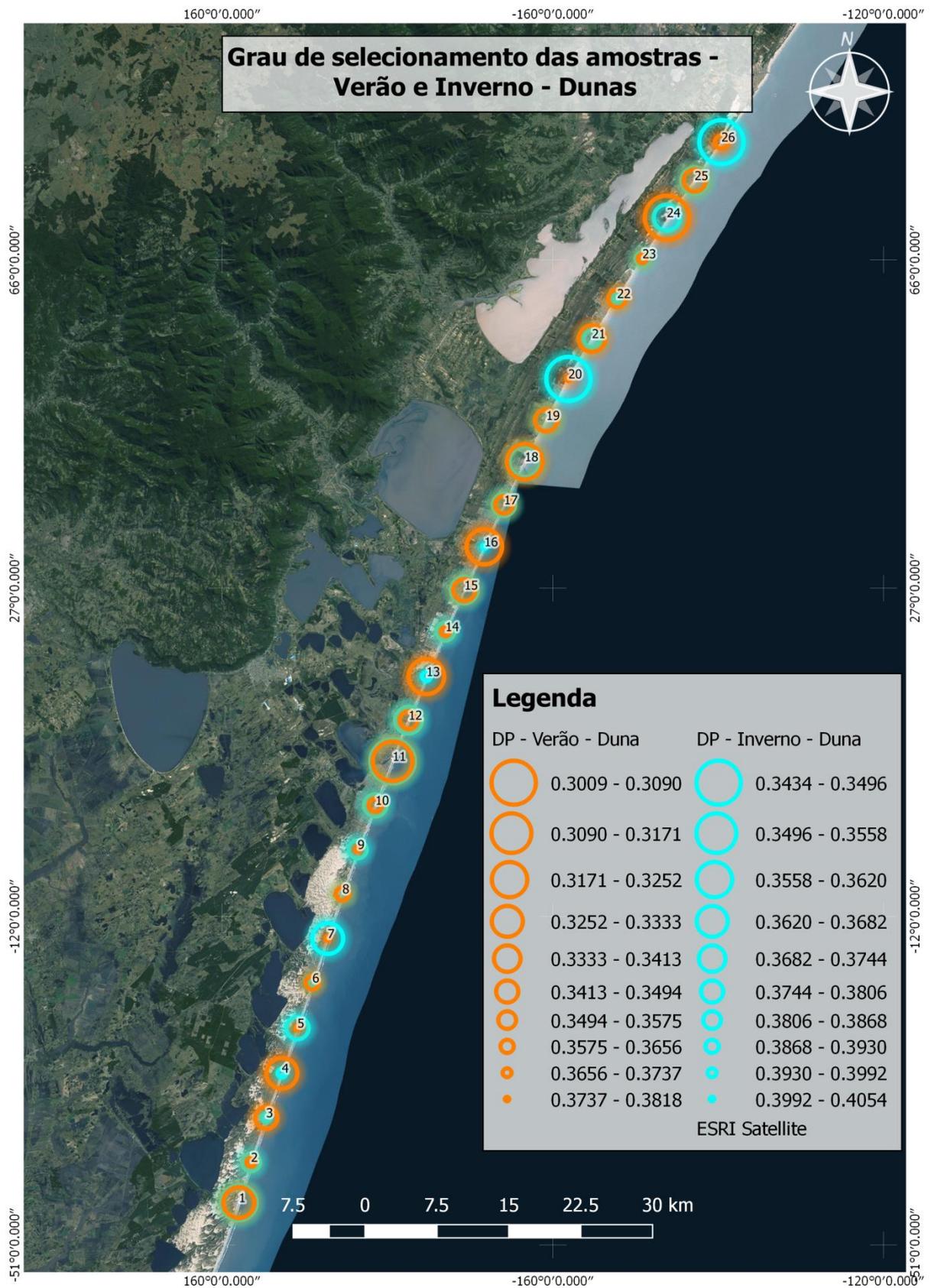
- Antepraia no Litoral Médio do Rio Grande do Sul. *In: Pesquisas em Geociências*, 33, 35-42.
- Tomazelli, L.J. & VILLWOCK, J.A. 1992. Considerações sobre o ambiente praial e a deriva litorânea de sedimentos ao longo do litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas* 19(1): 3- 12.
- Tomazelli, L.J. & Villwock, J.A. 1992. Considerações sobre o ambiente praial e a deriva litorânea de sedimentos ao longo do litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas* 19(1): 3- 12.
- Tomazelli, L.J. 1992. O regime dos ventos e a taxa de migração das dunas eólicas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas* 20(1): 18-26
- Tomazelli, L. J. & Villwock, J.A. 1991. Geologia do Sistema Lagunar Holocênico do Litoral Norte do Rio Grande do Sul, Brasil. *In: Pesquisas*, 13-24.
- Tomazelli, L.J. 1993. O regime dos ventos e a taxa de migração das dunas eólicas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas* 20 (1): p. 18-26.
- Tomazelli, L.J. 1994. Morfologia, organização e evolução do campo eólico costeiro do litoral norte do Rio Grande do Sul. *Pesquisas*, 21(1): 64-71.
- Vianna, H.D. & Calliari, L.J. 2013. 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*, 42(2):141-158.
- Vianna, H.D. & Calliari, L.J. 2016. Variabilidade granulométrica do sistema praia dunas ao longo do litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Mundi engenharia, Tecnologia e Gestão*. Curitiba, PR, v.2, n.1,29, jan./jun., 2017.
- Villwock, J.A. *et al.* 1986. Geology of the Rio Grande do Sul Coastal Province. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, v. 4, p. 79-97.
- Villwock, J.A. 1984. Geology of the Coastal Province of Rio Grande do Sul, Southern Brazil. A synthesis. *Pesquisas*, Porto Alegre, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, v. 16, p. 5-49.
- Weschenfelder, J. 1996. *Variabilidade Morfodinâmica das Praias Oceânicas entre Imbé e Arroio do Sal, Estado do Rio Grande do Sul, Brasil*. Porto Alegre, 132 p. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Weschenfelder, J., Ayup-Zouain, R.N., Zomer, S.L.C. & Souto, R.P. 1997. Caracterização Morfológica das Praias Oceânicas entre Imbé e Arroio do Sal, RS. *Notas Técnicas*, 10: 35-48.
- Wright, L.D. & Short, A.D. 1984. Morphodynamic variability of surf zone and beaches: A synthesis. *Marine Geology*, 56: 93-118.
- Wright, L.D. & Thom, B.G. 1977. Coastal depositional landforms: a morphodynamic approach. *Progress in Physical Geography*, 1: p. 412-459.

# Anexos









⊕ Novo | ▾   ↶ Responder | ▾   🗑 Excluir   📁 Arquivar   Lixo eletrônico | ▾   Limpar   ⋮

## [Pesq Geoc] Agradecimento pela Submissão

P Pesquisas em Geociências - Comissão Editorial <pesqgeoc@ufrgs.br>  
Ontem, 03:25  
Você ▾

Vinicius Cantarelli Terres,

Agradecemos a submissão do seu manuscrito "VARIAÇÃO SAZONAL, GRANULOMÉTRICA E MORFOLÓGICA LONGITUDINAL DO SISTEMA PRAIA-DUNA NO LITORAL NORTE DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL" para Pesquisas em Geociências. Através da interface de administração do sistema, utilizado para a submissão, será possível acompanhar o progresso do documento dentro do processo editorial, bastando logar no sistema localizado em:

<b>ANEXO I</b>	
Título da Dissertação/Tese:	
<b>“VARIAÇÃO SAZONAL, GRANULOMÉTRICA E MORFOLÓGICA LONGITUDINAL DO SISTEMA PRAIA-DUNA NO LITORAL NORTE DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL”</b>	
Área de Concentração: Geologia Marinha	
Autor: <b>Vinicius Cantarelli Terres</b>	
Orientador: Prof. Dr. Sérgio Rebello Dillenburg	
Examinador: Prof. Dr. Jair Weschenfelder	
Data: 30/07/2018	
Conceito: <b>B (BOM)</b>	
PARECER:	
<p>A Dissertação de Mestrado do aluno <i>Vinicius Cantarelli Terres</i> é estruturada de forma integrada com um artigo científico; o artigo tem o mesmo título da dissertação e foi submetido à revista Pesquisas em Geociências. A <i>estrutura geral</i> da monografia é satisfatória, mas apresenta algumas deficiências destacadas como: falta de numeração de páginas, apesar de apresentar sumário com paginação dos tópicos; palavras estrangeiras indiferenciadas das do vernáculo; mapas com informações cartográficas insuficientes e pouco nítidos. No <i>capítulo 1</i>, de introdução, o texto de caracterização geológica da planície costeira do RS (PCRS) poderia ser deslocado ao capítulo 2, onde se trata de maneira mais detalhada dos aspectos geológicos, geomorfológicos e evolutivos da PCRS. No <i>capítulo 2</i>, primeiro parágrafo, o promontório de Torres é dito como o limite norte da PCRS - o correto seria o rio Mampituba; ainda, o mesmo parágrafo mescla características fisiográficas com climatológicas - sugestão seria tratar esses tópicos separados na caracterização da área de estudo e, ainda, unir os fragmentos de texto que tratam de tópicos similares; no final do segundo parágrafo se repete frase do capítulo 1; a figura 2, de localização da área de estudo, carece de toponímia e detalhes fisiográficos importantes ao tema proposto. O <i>capítulo 3</i> apresenta uma fundamentação teórica satisfatória ao estudo, com a caracterização de ambientes morfológicos costeiros; as <i>referências bibliográficas</i> poderiam constituir um capítulo próprio. O <i>capítulo 4</i> é o artigo mencionado, com os capítulos tradicionais; sugere-se incluir uma tabela com a posição geográfica dos pontos levantados (1 a 26), data dos levantamentos, parâmetros morfológicos praias (medidos), granulometria/parâmetros estatísticos, dados dinâmicos, etc.</p> <p><i>Geralmente</i> os estudos de variação morfológica e dinâmica dos setores morfológicos praias abrangem coletas de dados de alta frequência (mensal/bimensal) e por um longo período (anos), abrangendo períodos sazonais de alta, normal e baixa energia do sistema. Seria interessante mencionar se as duas coletas feitas (inverno/2016 e verão/2017) representariam períodos de normalidade das condições dinâmicas atuantes no sistema praias e poderiam ser consideradas como representativas de perfis praias típicos de inverno e verão; desta forma, os levantamentos representariam então a sazonalidade morfológica (verão / inverno) já apontada em diversos trabalhos para o litoral norte do RS.</p> <p>O <i>trabalho</i> é satisfatório e contribui ao conhecimento científico do litoral norte da PCRS, acrescentando novos dados e informações aos já existentes nessa temática e área de estudo.</p>	
Assinatura: 	Data: 30/07/2018
Ciente do Orientador:	
Ciente do Aluno:	

<b>ANEXO I</b>
<b>Título da Dissertação/Tese</b>
<b>“Variação Sazonal, granulométrica e morfológica longitudinal do sistema praia-duna no litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil”.</b>
<b>ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Geologia Marinha</b>
AUTOR: Vinicius Cantarelli Terres
Orientador: <b>Prof. Dr. Sérgio Rebello Dillenburg</b>
Examinador: <b>Prof. Dr. Lauro Júlio Calliari</b>
DATA: 08 / 8/ 2018
Conceito: Bom
<b>PARECER</b>
<p>A dissertação envolve a análise da sedimentologia e morfologia do sistema praia-duna frontal no litoral norte do RS em duas estações do ano (inverno e verão), mostrando que existe certa sazonalidade na resposta do estirâncio. Adicionalmente, mostra que as características das dunas são diretamente relacionadas as característica sedimentológicas da face da praia. Apesar de técnicas modernas terem sido empregadas na análise granulométrica (difração a laser) as mesmas consubstanciam as metodologias mais antigas (peneiramento). A grande homogeneidade granulométrica ao longo da costa, neste trecho restringe os métodos tradicionais de análise estatística (medidas de tendência central) usados, de evoluir muito na caracterização dos processos de diferenciação. Talvez, técnicas de análise fatorial usando toda a informação da amostra (todas as classes granulométricas) permitissem caracterizar diferenciações resultante de processos. Mesmo assim, variações sazonais e ambientais (estirâncio versus duna frontal) foram sutilmente identificadas. A tese está bem escrita e os problemas de ortografia quando existem são pontuais. As figuras e tabelas são apropriadas. A estrutura da tese facilita a leitura e entendimento da mesma, uma vez que estabelece uma sequencia lógica.</p>
<p><b>Fazemos aqui algumas observações mais detalhadas.</b></p> <p><b>Título:</b> Reflete bem a dissertação, entretanto sugerimos mudar a sequencia das palavras: Assim, nossa sugestão:  Variação granulométrica e morfológica <b>sazonal</b> do sistema praia-duna ao longo do litoral norte do Rio Grande do Sul. ou <b>ainda sem mudar a sequencia:</b>  Variação sazonal da granulométrica e morfologia ao longo do litoral norte do RS.</p> <p>Resumo: Está bem feito e reflete os resultados de forma sucinta.</p> <p>Sugerimos dizer porque existe sazonalidade, ou seja – areias com maior diâmetro médio tanto no estirâncio como nas dunas. A nossa interpretação é que essa variabilidade sazonal é definida pela maior energia das ondas no inverno (mais tempestades) que acabam por retirar os grãos mais finos imprimindo assim uma variação sazonal (voltamos a esse tópico mais adiante quando analisamos uma parte relacionada à interpretação dos resultados).</p> <p><b>Introdução.</b> O autor utiliza muitas vezes ao longo do texto “tipo de praia” sugerimos mudar para estágio ou estado da praia uma vez que adota o modelo morfodinâmico da escola australiana de geomorfologia costeira. Também é usado o termo “altura média” das ondas. Melhor seria e é o mais usado na nomenclatura- altura significativa <math>H_s</math> ou <math>H_{1/3}</math> uma vez que é o termo usado universalmente em oceanografia geológica/geologia marinha para caracterizar o clima de ondas de uma determinada região</p>

**Os objetivos** foram alcançados. Embora extenso está correto e engloba tudo o que foi feito.

As características gerais da Planície Costeira do RS onde o sistema se insere está bem descrita especialmente na sua geologia e geomorfologia. Bem sucinta e clara. Sugerimos verificar as anotações de Km<sup>2</sup> e outros pequenos detalhes.

Com relação ao item 2.3- Litoral norte da PCRS. —sentimos faltas da caracterização da ante-praia e plataforma interna (sua batimetria, largura da ante-praia versus largura da plataforma interna na isóbata de 30 m ou 40 m). Ou seja, é homogênea ao longo da área? Como varia? . Esses dados são importantes para discutir a variação lateral de altura de dunas que segundo alguns autores podem ser devido a depósitos arenosos mais expressivos em certos setores da ante-praia pode ser um fator adicional na altura do sistema de dunas na região de Dunas Altas. Também devido ao fato que o autor ressalta que todo o sistema é inter-relacionado---ante-praia-zona de surf-praia-dunas frontal (seria bom, inclusive para a publicação submetida que este aspecto fosse contemplado).

**Fundamentação teórica:** na segunda folha—acertar a concordância “primeiras alterações fisiográficas”. Nessa parte, gostaríamos de ter visto uma pequena revisão de aspectos relacionados à sedimentação de praias no aspecto transversal (em perfil do estirâncio até as dunas). Como podem se diferenciar etc.. Mas posteriormente vimos que o autor discutiu a luz de outros trabalhos tradicionais. Aqui o autor introduz o termo ondas de tempestades (na parte referente a Dunas Frontais) e coloca entre parênteses (storm surge). Na verdade o termo storm surge refere-se à maré meteorológica. Esse é o termo que deve ser usado “maré meteorológica positiva” que ocorre durante tempestades—quando o nível do mar aumenta devido a vários fatores---baixa pressão, ondas altas, largura da zona de surf, efeito de Coriolis, estresse do vento sobre a superfície da água etc. ---Sugerimos mudar ondas de tempestade para “maré meteorológica”.

#### **Capítulo 4—O trabalho**

Com relação **ao título** ---mesma observação no título que a feita anteriormente.

**No resumo**---sugerimos torná-lo menos metodológico e descrever os resultados de forma mais completa. Por exemplo, não vimos menção no resumo do trabalho à sazonalidade encontrada para o tamanho de grão.

As observações sobre altura significativa versus altura média também são pertinentes no trabalho. Gráficos: Figura 2 e Figura 3 - colocar no eixo vertical o phi – isso é válido para as outras figuras também.

Os resultados dos parâmetros estatísticos estão bem descritos.

Não conseguimos verificar na figura se o ponto 11 fica ao sul ou ao norte do inlet de Tramandaí/Imbé. Seria importante mencionar uma vez que existe forte ação antrópica (a prefeitura de Imbé retira os sedimentos acumulados por ação eólica e o coloca no estirâncio—prática bastante frequente em Imbé). Isso poderia prejudicar a interpretação no local.

4. Discussão dos resultados: citando o autor no segundo parágrafo: “ *Os resultados indicaram um maior valor do tamanho médio (em mm? ou seja, menor phi), provavelmente em função das tempestades de inverno e eventos episódicos que remobilizam sedimentos subaquáticos de maior granulometria e menor grau de seleção para a zona praial*”. Acreditamos que é o contrário---No inverno a granulometria do estirâncio e levemente mais grossa porque as tempestades levam mais facilmente os grãos mais finos para offshore (para os bancos). Nossas praias são caracterizadas por bancos lineares de areia fina e muito fina especialmente durante a passagem dos ciclones tropicais que induzem marés meteorológicas que chegam a erodir as dunas

frontais. O oposto ocorre no verão ou períodos onde predomina o swell que transporta areia de todas as granulometrias e até as mais grossas em direção à praia. A praia fica mais “intermediária” devido ao período longo do swell e sedimentos levemente mais grossos. Isso é notório em alguns setores do litoral médio (na região do Estreito). Isso este trabalho que estamos analisando mostra bem! Tanto o estirâncio como a duna frontal (com exceção de Dunas Altas) geralmente indicam areias levemente mais grossas no inverno. Já vimos menção em outros trabalhos (Shideler), G., por exemplo, na barreira arenosa da Carolina do Norte mostrava evidências que variações no nível de energia das ondas ao longo da costa deixavam as areias levemente mais grossas (explicava assim a variabilidade sazonal e ao longo da costa—determinados setores com maior energia de ondas causariam essa diferenciação). Dunas altas, talvez não apresente essas evidências porque a componente do vento NE rapidamente repõe as areias finas retiradas (uma ideia que teria que ser verificada claro!). Nossa sugestão é que o autor discuta mais esses tópicos. De uma forma geral a discussão está boa e bem fundamentada! Colocamos anteriormente a importância de colocar aspectos da plataforma interna relacionado à morfologia e transporte de sedimentos porque outros autores colocam com bastante propriedade que jatos costeiros poderiam produzir diferenciação nos depósitos arenosos em frente a Dunas Altas e poderiam assim também influir na anomalia de altura das dunas no local, além da obliquidade da costa em relação ao vento Nordeste predominante.

As conclusões são pertinentes e bem sintéticas.

Essas são as nossas considerações.

Porto Alegre, 09 de agosto de 2018.



Prof. Dr. Lauro Júlio Calliari

Ciente do aluno.

<b>ANEXO I</b>
Título da Dissertação/Tese:
<b>“VARIAÇÃO SAZONAL, GRANULOMÉTRICA E MORFOLÓGICA LONGITUDINAL DO SISTEMA PRAIA-DUNA NO LITORAL NORTE DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL”</b>
Área de Concentração: <b>GEOLOGIA MARINHA</b>
Autor: <b>VINICIUS CANTARELLI TERRES</b>
Orientador: <b>Prof. Dr. Sérgio Rebello Dillenburg</b>
Examinador: <b>Profa. Dra. Maria Luiza Correa da Camara Rosa</b>
Data: <b>17/09/2018</b>
Conceito: <b>C (REGULAR)</b>
PARECER:
<p>A Dissertação de Mestrado do aluno Vinícius Cantarelli Terres aborda as variações sedimentológicas presentes no ambiente praiado do litoral norte do RS, caracterizando a distribuição espacial e temporal de parâmetros granulométricos e morfológicos dos sedimentos, além de parâmetros morfológicos do sistema deposicional. Através de novos dados adquiridos em campo, em duas datas, foram obtidos resultados condizentes com o objetivo proposto.</p> <p>A estrutura da Dissertação segue as normas do Programa de Pós-Graduação em Geociências da UFRGS, contendo os itens necessários em sua composição. O título reflete o trabalho desenvolvido, mas necessita uma vírgula após “morfológica” para deixar claro que as variações sazonais observadas são relativas à granulometria e morfologia. O resumo descreve os principais resultados e indica a existência de correlações “nítidas”, mas não especifica qual, nem traz uma conclusão sobre o trabalho realizado. Com relação à formatação, as páginas não estão numeradas, o que dificulta sobremaneira a localização das questões apontadas no presente parecer. Em termos gerais, a redação de todo o trabalho, incluindo o artigo, deveria ser revisada.</p> <p>Os Capítulos I, II e III embora organizados, são extremamente superficiais e desatualizados. As referências são antigas, o texto não possui análise e as ideias atuais sobre a geologia da planície costeira do RS foram ignoradas. Além disso, diversas passagens não possuem citação, o que pode configurar plágio. Portanto, é essencial revisar as citações de todo o texto. Como exemplo, ver o primeiro parágrafo do item 2.2 e 2.3. Ainda, é necessário um mapa da área de estudo, com as localidades citadas no início do Capítulo 1. O mapa da figura 2, que aparece no Capítulo 2, está com as coordenadas erradas, o que se repete no mapa do artigo e nos anexos. A fonte da imagem e o sistema de coordenadas não estão indicados.</p> <p>No artigo submetido, a introdução é muito longa, com oito parágrafos de revisão teórica e conceitualização. Sugere-se contextualizar a área de estudo especificamente, as questões que motivaram o estudo, o problema abordado, hipóteses e objetivos. Sobre o objetivo, o autor cita que buscou novas informações sobre o sistema praia-duna frontal, em relação aos últimos eventos ocorridos na escala de dias e semanas, e suas variações sazonais. Que eventos estão sendo considerados? O que consideram os últimos, qual a data? Na forma que está escrito, parece que foram investigados os últimos eventos (mais de uma coleta por ponto) e suas variações sazonais (coleta em diversas estações).</p>

Faltou deixar claro o que foi feito. No capítulo 2 do artigo, as referências seguem desatualizadas; em detrimento de uma caracterização da área de estudo especificamente, há uma descrição genérica sobre a planície costeira do Rio Grande do Sul; a figura 1 está com problema nas coordenadas e a resolução é baixa. Com relação aos métodos, uma fotografia ilustrando a coleta auxiliaria no entendimento do que foi de fato analisado em cada ponto. No item de resultados, a análise morfooscópica poderia ter sido ilustrada. Neste item, há parágrafos fora de contexto, que retomam aspectos de contextualização, voltando ao que está descrito na introdução (exemplo: primeiro parágrafo do item 3.4). Na discussão dos resultados, quando não há mistura com a introdução, há com a discussão. Sugere-se separar o que é resultado obtido no trabalho da comparação com estudos anteriores. Sugere-se, também, que se indique a localização das fotografias. Com relação às discussões, faltou aprofundar a relação das causas e efeitos observados no registro. Por exemplo, ao descrever que foram encontrados grãos mais angulosos que em trabalhos anteriores, não há argumentação ou tentativa de estabelecer as possíveis causas. Desta forma, ao chegar às conclusões, não fica estabelecida qual a maior contribuição do estudo. Ao que parece, somente foram reafirmados resultados de trabalhos anteriores. Seria interessante deixar claro o que de igual, similar ou diferente foi encontrado e, a partir daí, aprofundar a discussão. Finalmente, os mapas que estão em anexo o poderiam fazer parte do corpo principal do trabalho, pois são a melhor maneira de ilustrar e auxiliar na discussão dos resultados.

Para finalizar, a leitura do manuscrito permitiu avaliar o desenvolvimento do trabalho, que possui os requisitos de uma Dissertação de Mestrado. Há um embasamento sobre o tema escolhido, os métodos utilizados são coerentes com os objetivos e as conclusões estão em sintonia com os resultados, ainda que tenha faltado uma discussão mais aprofundada. Os dados levantados e os resultados obtidos podem servir de base para futuros estudos.

Assinatura:

Data: 17/09/2018



Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno: