

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS



**FATORES QUE INFLUENCIAM NA EVOLUÇÃO DA BARREIRA  
HOLOCÊNICA DAS REGIÕES DE RIO GRANDE, TORRES/RS E  
ARARANGUÁ/SC**

PORTO ALEGRE

2015

**LUCAS MAGALHÃES CRIPPA**

**FATORES QUE INFLUENCIAM NA EVOLUÇÃO DA BARREIRA  
HOLOCÊNICA DAS REGIÕES DE RIO GRANDE, TORRES/RS E  
ARARANGUÁ/SC**

Trabalho de Conclusão de Curso de Geologia apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático em Geologia III, como requisito parcial para obtenção do grau de Geólogo, sob a orientação do Prof. Dr. Eduardo Guimarães Barboza e Prof. Dr. Sérgio Rebello Dillenburg

Orientadores: Prof. Dr. Eduardo Guimarães Barboza  
Prof. Dr. Sérgio Rebello Dillenburg

PORTO ALEGRE

2015

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso "**FATORES QUE INFLUENCIAM NA EVOLUÇÃO DA BARREIRA HOLOCÊNICA DAS REGIÕES DE RIO GRANDE, TORRES/RS E ARARANGUÁ/SC**", elaborado por "**LUCAS MAGALHÃES CRIPPA**", como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

**Comissão Examinadora:**

---

Prof. Dr. Carla Ennes Barros

---

Prof. Dr. Jair Weschenfelder

---

Prof. Dr. Ricardo Baitelli

*Aos meus pais,*

*Custódio Crippa e Hellen S. L. Magalhães Crippa*

*e ao meu irmão*

*Mateus Magalhães Crippa.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente à Deus por estar sempre no meu caminho iluminando e guiando às escolhas certas.

Aos meus pais Custódio e Hellen que fizeram o possível para que eu ingressasse em uma universidade de renome, como a UFRGS, sem eles seria uma tarefa impossível. Por terem me guiado até aqui passando os seus ensinamentos, que refletem em cada ação que tomo. Por muitas vezes que tomei o tempo deles com preocupações. Por toda confiança depositada em mim para que seguisse um caminho de sabedoria fora de casa. Por dedicarem suas vidas a trabalhar para nos dar uma vida melhor. E por todo amor e carinho. Amo vocês.

Ao meu irmão Mateus que sempre me apoiou em tudo que faço, sempre me incentivando. Que desde que nasceu me faz melhorar em tudo que faço buscando ser um exemplo melhor para ele. Mateus, depois que pedi você aos meus pais, sempre soube que teria esse baita parceiro ao meu lado. Fico muito feliz hoje por você ser mais que um irmão e sim um grande amigo. Te amo.

A todos meus amigos que entenderam minha ausência em determinados momentos da faculdade. Por me apoiar em tudo sempre que precisei.

Ao orientador Prof. Dr. Eduardo Guimarães Barboza, agradeço as cobranças, exigências, confiança, por acreditar em meu potencial e se dispor a me orientar. Hoje saio da faculdade com mais um grande amigo.

Ao orientador Prof. Dr. Sérgio Rabello Dillenburg por toda a ajuda e paciência prestada, sempre disposto a ensinar.

Aos meus colegas e amigos do curso que ajudaram a desenvolver o profissional que eu sou hoje.

A Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), ao Instituto de Geociências (IGEO) e ao Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica (CECO).

## RESUMO

A Planície Costeira da Bacia de Pelotas abrange aproximadamente 33.000 km<sup>2</sup>, chegando até 100 km de largura, é considerada a mais expressiva do país, preservando muito bem o registro geológico e geomorfológico do Quaternário. A praticamente retilínea linha de costa estende-se por cerca de 900 km, desde o Alto de Florianópolis, ao norte, até o Cabo Polônio no Uruguai, ao sul. A Geologia da costa se baseia em um amplo sistema de leques aluviais, nas porções mais internas, e no desenvolvimento de quatro sistemas deposicionais do tipo laguna/barreira que estão situados lateralmente aos depósitos de leques aluviais ao oeste. Ao observar os depósitos da última barreira instalada (holocênica), verifica-se uma diferenciação entre os cordões litorâneos de Rio Grande e Torres no Rio Grande do Sul e os de Araranguá em Santa Catarina. Deste modo, a problemática se baseia em porque se diferenciaram dentre eles, sendo que participam de um mesmo período evolutivo (de lento rebaixamento do nível do mar) e ambos apresentam desembocaduras de corpos aquáticos em suas linhas de costa. Assim geraram-se quatro hipóteses para tentar explicar este fato, dentre elas: o paleocontorno da linha de costa, gerando embaixamentos ou projeções; o aporte sedimentar, proporcionando um crescimento maior ou menor; a dinâmica dos canais, interferindo no registro dos depósitos; e a declividade da plataforma interna, a qual se instalaram, afetando nas dimensões das barreiras. Com isso, o objetivo desta monografia é comparar os cordões litorâneos das três regiões, através da análise de trabalhos já realizados, de cartas náuticas e do sensoriamento remoto. Os resultados obtidos mostraram que a diferenciação dos cordões litorâneos das três áreas não ocorre simplesmente por uma das hipóteses, mas sim por uma relação diferenciada entre elas. De forma isolada, a declividade da plataforma interna mostrou-se muito significativa na expressão das dimensões dos depósitos. O paleocontorno da linha de costa, juntamente com a deriva litorânea, exibiu-se capaz de definir o padrão de empilhamento dos estratos (na escala de tempo analisada). O aporte sedimentar resultante da deriva litorânea caracterizou-se como principal meio de chegada de sedimentos nas três regiões. E, por fim, a dinâmica dos canais apresentou-se intensa para as regiões de Torres e Araranguá.

**Palavras-Chave:** Planície Costeira, Geomorfologia, Evolução Costeira.

## **ABSTRACT**

The coastal plain of the Pelotas basin covers about 33.000 km<sup>2</sup>, reaching up to 100 km wide. It is considered the most expressive coastal plain of Brazil, preserving very well the geologic and geomorphologic record of the Quaternary. The very straight coastline extends for about 900 km, from Florianópolis High (north), to Polônio High in Uruguay (south). The coastal geology is based in a large system of alluvial fans, in the proximal portions, and in the development of four lagoon/barrier systems located laterally of the alluvial fans (west). To watch the deposits of last barrier installed (holocenic), differentiations are checked between Rio Grande/RS, Torres/RS and Araranguá/SC. That way, the problematic is based in reason of their differentiation, being that they participated of same evolutionary event (of slow abasement of relative sea level) and both of them show inlets of aquatic bodies in their coastline. This way, four hypotheses are generated to explain this fact, among them: the coastline paleo contour, generated embayments or projections; the sediments supply, providing a bigger or lower growth; the channel dynamics, interfering in deposits record; the slope of the inner shelf, which they installed, affecting of barrier size. With that, the objective of this monograph is to compare the three barriers, through of analysis of past paper, nautical charts and remote sensing. The results acquired showed the differentiations of barriers don't occur simply because of one hypothesis, but also because of a differentiated relation between both of them. The slope of inner shelf showed very significant in size deposits expression. The coastline paleo contour, together with littoral drift, exhibited able to define stacking pattern of stratum (in the time scale analysis). The sediment supply of the littoral drift resultant it was characterized as main way of arrival of sediments in the study areas. And, for finish, the channels dynamics showed very intense for regions of Torres and Araranguá.

**Keywords:** Rio Grande do Sul Coastal Plain, Santa Catarina Coastal Plain, Geomorphology, Coastal evolution

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Imagem do Google Earth®. Localização de Rio Grande. ....	13
Figura 2: Imagem do Google Earth®. Localização de Araranguá e Torres (cidade vizinha de Passo de Torres).....	14
Figura 3: Perfil esquemático transversal aos sistemas deposicionais da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (extraído de Tomazelli & Villwock, 2000). A barreira IV (holocênica) é identificada na área de estudo.....	19
Figura 4: Mapa Geológico do sul da Planície Costeira de Santa Catarina (extraído de Martin et al., 1988). Na imagem podemos observar os depósitos holocênicos a leste, e pleistocênicos a oeste da lagoa do Sombrio. ....	20
Figura 5: Regiões do espectro eletromagnético, caracterizada por diferentes comprimentos de onda e frequência. Foram delimitadas as faixas utilizadas pelos sensores ópticos, equipamentos de radar e georradar (extraído de Rosa, 2012). ....	26
Figura 6: Composição colorida (R4G3B2) do satélite Landsat 8 fusionada com a banda pancromática (8), associada com a batimetria da carta náutica da DHN (de Torres a Mostardas; escala 1:275.000) (extraído de Biancini, em preparação). Na imagem verificamos os dois parceis identificados por Biancini. ....	38
Figura 7: Desenho esquemático das barreiras regressivas holocênicas. (A) Barreira do Cassino com uma grande extensão lateral (cerca de três vezes maior). (B) Barreira de Passo de Torres com uma menor extensão lateral, no entanto com o dobro de inclinação da plataforma (extraído de Biancini, em preparação).....	39
Figura 8: Desenho esquemático das barreiras regressivas holocênicas. (A) Barreira de Araranguá com uma pequena extensão lateral (cerca de três vezes menor). (B) Barreira de Passo de Torres apresenta 25 % menos espaço de acomodação na	

vertical, refletindo numa maior largura de seus cordões litorâneos regressivos (extraído de Biancini, em preparação). .....40

Figura 9: Composição colorida (R4G3B2) do satélite Landsat 8 fusionada com a banda pancromática (8), associada com a batimetria da carta náutica da DHN (de Torres a Mostardas; escala 1:275.000) (extraído de Biancini, em preparação). Nesta figura podemos verificar um alto topográfico à frente de Torres, verificado pela projeção da LI de -10 m. ....41

Figura 10: Imagem do Google Earth® do delta do rio Jacuí. Grandes feições deltaicas são geradas antes mesmo de chegar a Lagoa dos Patos, conseqüentemente as grandes cargas sedimentares arenosas são depositadas no início do rio Guaíba....43

Figura 11: Imagem esquemática da linha de costa do Rio Grande do Sul com os volumes de sedimentos transportados pela deriva litorânea (extraído de Almeida et al. 2001). Na imagem é possível verificar a direção resultante do transporte de sedimentos (NE).....48

Figura 12: Imagem de satélite (ETM+sensor, Banda 2 -130° de inclinação) com localização da bacia costeira de Pelotas. Nesta é possível observar as projeções (projection) costeiras, entre suaves embaiamentos (embayments) e a deriva litorânea (littoral drift). As letras (A,B,C,D e E) indicam perfis de GPR realizados por (extraído de Barboza, 2011).....50

Figura 13: A) Perfil topográfico DGPS cruzando o eixo maior do paleocanal, evidenciando a superfície de inundação (floodplain). B) perfil de GPR adquirido na frequência de 200 MHz, mostrando o furo de sondagem. A radar fácies A (RFA) é caracterizada por depósitos gerados em ambiente marinho raso. Esse depósito é truncado por uma superfície erosiva, interpretado como a base do paleocanal. RFB representa a fase inicial do preenchimento por areias fluviais e o RFC representa o preenchimento final por areias eólicas (extraído de Biancini et al., 2014).....52

Figura 14: Figura ilustrativa mostrando o canal fluvial pretérito do Mampituba paralelo com a linha de costa, com orientação SO – NE. As conchas de *Donax* sp. que habitam o ambiente de antepraia (foreshore), foi carregado por toda a desembocadura (inlet), provavelmente com a influência de ondas de tempestade, e depositados na base do canal. Foram indicados ainda as feições dos cordões litorâneos cava (swale) e crista (crest) (extraído de Biancini et al., 2014).....53

Figura 15: Simulação de evolução da barreira em Araranguá em 1 ka (extraído de Barboza et al., 2014). .....54

Figura 16: Comparação de imagens de satélite do Google Earth<sup>®</sup>. A primeira de 2010 mostrando a desembocadura logo a NE da inflexão do canal ao SE. O segundo indicando o rompimento da barra formada, gerando uma nova desembocadura mais ao sul da de 2010.....58

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Tabela com os fatores modificadores de morfologia por região estudada, reunindo os principais resultados estabelecidos. ....	59
--	----

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
	1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	12
	1.2 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO .....	13
	1.3 TRABALHOS ANTERIORES.....	15
	1.4 JUSTIFICATIVA .....	15
	1.5 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA / HIPÓTESES .....	16
	1.6 OBJETIVOS E METAS.....	16
<b>2</b>	<b>GEOLOGIA E CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA ÁREA .....</b>	<b>18</b>
	2.1 CONTEXTO GEOLÓGICO .....	18
	2.2 HIDROGRAFIA .....	21
	2.3 CLIMA .....	22
	2.4 MARÉS, VENTOS, ONDULAÇÃO E CORRENTES.....	22
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>24</b>
	3.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA.....	24
	3.2 SENSORIAMENTO REMOTO.....	25
	3.2.1 <i>Aplicação</i> .....	30
	3.3 GEOPROCESSAMENTO .....	31
	3.3.1 <i>Aplicações</i> .....	33
	3.4 CARTAS NÁUTICAS .....	34
	3.4.1 <i>Aplicação</i> .....	35
<b>4</b>	<b>RESULTADOS DA COMPILAÇÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>36</b>
	4.1 DECLIVIDADE DA PLATAFORMA INTERNA .....	36
	4.2 APORTE SEDIMENTAR.....	42
	4.2.1 <i>Rio grande</i> .....	43
	4.2.2 <i>Torres</i> .....	45
	4.2.3 <i>Araranguá</i> .....	46
	4.3 PALEOCONTORNO DA LINHA DE COSTA.....	47
	4.4 DINÂMICA DOS CANAIS.....	51
<b>5</b>	<b>DISCUSSÕES.....</b>	<b>55</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>60</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>62</b>

## **1 INTRODUÇÃO**

### **1.1 Considerações Iniciais**

Os trabalhos de comparação dos sistemas laguna/barreira presentes dentro da Bacia de Pelotas são escassos. Portanto, o presente estudo contribui para um melhor entendimento dos fatores que influenciam na evolução das regiões. Para tanto, foram utilizados dados de Sensoriamento Remoto, de Geomorfologia, mapas geológicos pré-existentes e de Cartas Náuticas.

A Planície Costeira do Rio Grande do Sul é formada por depósitos que representam antigos sistemas deposicionais costeiros, os quais se encontram muito bem preservados em sua morfologia, definidos por Villwock & Tomazelli (1995) e Tomazelli & Villwock (2000). Esses depósitos podem ser correlacionados aos da Planície Costeira Sul de Santa Catarina (Diehl & Horn, 1996), por estarem inseridos na mesma bacia sedimentar (Bacia de Pelotas).

Partindo da premissa que as áreas em estudo vivem um mesmo momento geológico evolutivo, de regressão marinha (rebaixamento do Nível do Mar) vivida desde 7000 – 6000 A.P (Angulo *et al.*, 2006), e ambas apresentam desembocaduras de corpos aquosos. Assim, este estudo busca correlações dos aspectos geomorfológicos presentes nas regiões alvo, buscando definir a singularidade de cada uma, bem como suas semelhanças. Da mesma forma, expõe comparações dos depósitos sedimentares reconhecidos em subsuperfície com método geofísico do GPR já realizados por outros autores.

Além das observações em superfície e subsuperfície, foram identificadas as declividades da Plataforma Interna (submersa) adjacente. Esta observação foi concretizada através do estudo de trabalhos anteriores e da análise de Cartas Náuticas.

## 1.2 Localização e Vias de Acesso

A área de estudo está dividida em três diferentes localidades:

Rio Grande, ao sul do Estado Gaúcho, delimitada pelas coordenadas geográficas de 32°00' e 32°30' de latitude sul e de 51°57' e 52°30' de longitude oeste. As cartas topográficas que compõem esta área são: Rio Grande (Fig. 1), Arroio do Marisco, Farol Santa Rita e Ilha Torotama. Ao norte, o limite se faz pelo término da BR 101 após passar pela cidade de São José do Norte, e ao sul delimitado a leste da cidade de Taim. As principais vias que permitem a circulação na área são: BR 101 e BR 471;



Figura 1: Imagem de localização de Rio Grande. (Fonte: base cartográfica do ArcGIS®)

Torres (Fig. 2), no limite norte do estado de Rio Grande do Sul, definido pelas coordenadas geográficas de 29°19'30" de latitude sul e de 49°42'30" de longitude oeste. A área de estudo encontra-se totalmente compreendida na folha topográfica de Torres. Esta região se limita a norte pelo Rio Mampituba e ao sul pelo Parque da Guarita. O principal acesso é pela BR 101, através da Avenida Castelo Branco;

Já Araranguá (Fig. 2), ao sul do estado de Santa Catarina, é delimitado pelas coordenadas de 28°53'24" e 28°56'42" de latitude sul e de 49°17'42" e 49°23'06" de longitude oeste. Também totalmente compreendida em uma única carta, folha Araranguá. As vias de acesso mais importantes são: BR 101 e SC 447.

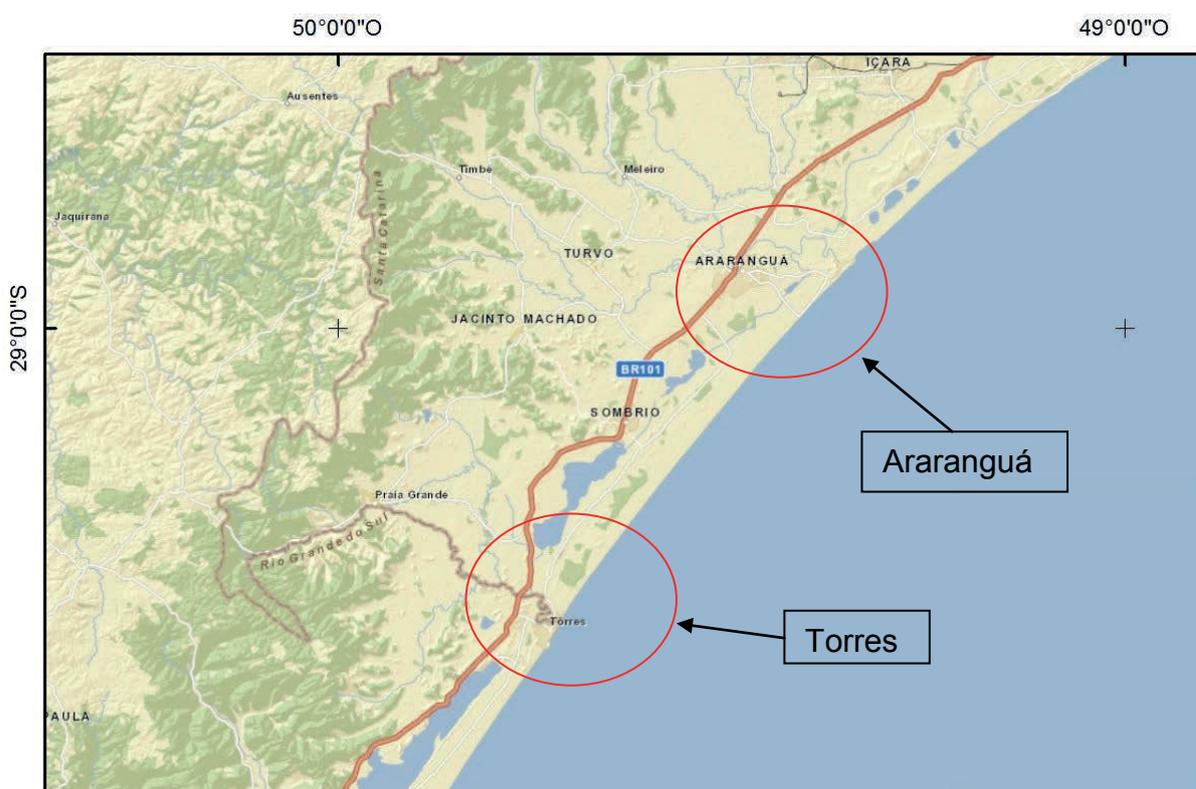


Figura 2: Imagem de localização de Araranguá e Torres (fonte: base cartográfica do ArcGIS®).

### 1.3 Trabalhos Anteriores

Dos estudos presentes na região de Rio Grande encontra-se, primeiramente, o trabalho de Clerot *et al.* (2003), o qual estabeleceram um modelo evolutivo para a barreira holocênica e realizaram uma caracterização da barreira como reservatório de fluidos.

Biancini, A. (em produção) também realizou estudos na área de Rio Grande, concomitantemente com Passo de Torres, Araranguá e Curumim. O autor analisou a declividade das plataformas adjacente dessas três regiões e caracterizou o substrato, ao qual a barreira holocênica se desenvolveu.

Biancini *et al.* (2014) analisou a influência do sistema fluvial do rio Mampituba nos depósitos regressivos da barreira holocênica, nas adjacências de Torres e Passo de Torres.

Barboza *et al.* (2014) realizou um estudo de reconhecimento da interface dos depósitos marinhos e fluviais e, através disso, simulou a evolução da barreira holocênica de Araranguá.

Almeida *et al.* (2001) estimou a capacidade de transporte de sedimentos, por meio de dados de ondas, para a costa do Rio Grande do Sul. O estudo resultou em um mapa com os volumes de transporte pela deriva litorânea.

### 1.4 Justificativa

Apesar do número expressivo de trabalhos publicados na região, a Planície Costeira do Rio Grande do Sul e a Planície Costeira de Santa Catarina, ainda suportam incalculáveis pesquisas. Com isso buscou-se novos conhecimentos sobre os fatores que influenciam evolução dos sistemas deposicionais associados aos cordões litorâneos regressivos, através do exercício comparativo.

## **1.5 Caracterização do Problema / Hipóteses**

Sabe-se que no litoral do Rio Grande do Sul há uma variação na linha de costa em relação aos processos evolutivos, sendo os principais padrões encontrados o prográdacional e o retrogradacional. As três regiões a serem estudadas apresentam características regressivas como semelhança, além de conterem desembocaduras presentes em seus litorais, porém em relação aos cordões litorâneos não se tem a mesma característica, diferenciando-se uma da outra em termos espaciais e geomorfológicos.

A grande questão que este estudo pretende esclarecer é por que os cordões litorâneos se diferenciaram, sendo que ambas as áreas apresentam como semelhança desembocaduras e comportamento da linha de costa regressivo. Desta maneira geraram-se quatro hipóteses para tentar explicar este fato. A primeira diz respeito ao paleocontorno da linha de costa, podendo gerar embaiamentos, proporcionando uma maior progradação dos cordões.

A próxima hipótese é relacionada com o aporte sedimentar que alimenta os litorais e proporciona um crescimento maior ou menor dos cordões litorâneos, podendo ajudar na diferenciação entre eles. Relacionado a esta, a terceira proposta seria a interação da dinâmica dos canais que desembocam nestas linhas de costa, refletindo de alguma maneira na gênese dos cordões.

A última hipótese se refere à declividade da plataforma, que tem influência na dinâmica sedimentar da costa, gerando padrões diferentes de depósitos praias. Afetando, desta maneira, as dimensões morfológicas, causando a diferenciação observada nas áreas de estudo.

## **1.6 Objetivos e Metas**

Este projeto teve como objetivo principal o aprimoramento do conhecimento evolutivo costeiro dos cordões litorâneos das regiões de Rio Grande, Torres e

Araranguá. O entendimento sobre a evolução costeira dos cordões dessas áreas será fundamental para que, posteriormente, possamos compará-las entre si.

Para tanto, buscou-se dados que caracterizam os cordões litorâneos, que definam o paleocontorno da linha de costa, que reconheçam a declividade da plataforma adjacente das áreas e de informações sobre as três desembocaduras presentes nos litorais em estudo. Estas informações foram obtidas principalmente pela análise de trabalhos anteriores, sensoriamento remoto e da investigação em cartas náuticas.

## **2 GEOLOGIA E CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA ÁREA**

### **2.1 Contexto Geológico**

As áreas de estudo estão inseridas em duas unidades geológicas mais importantes: o Embasamento e a Bacia de Pelotas. O primeiro é constituído pelo complexo cristalino pré-cambriano e pelas sequências sedimentares e vulcânicas, paleozoicas e mesozoicas, da Bacia do Paraná. Esta bacia sedimentar surgiu em eventos geotectônicos que, a partir do Cretáceo inferior, fragmentando o continente do Gondwana, conduziram a abertura do Atlântico Sul. Durante o Cretáceo e, principalmente, durante o Cenozoico, os sedimentos erodidos das terras altas adjacentes acumularam-se nesta bacia marginal, em sistemas deposicionais continentais, transicionais e marinhos (Tomazelli & Villwock, 2000).

Na Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS) foram identificados quatro sistemas deposicionais do tipo laguna/barreira (Villwock, 1984; Villwock *et al.*, 1986; Villwock & Tomazelli, 1995 *apud* Tomazelli & Villwock, 2000), que tiveram uma evolução a partir dos eventos de transgressão e regressão respondendo às variações do nível do mar durante o Quaternário. A origem de cada uma dessas barreiras (Fig. 3) está vinculada ao limite atingido por uma transgressão, sendo preservada após a regressão da linha de costa forçada por uma queda glácio-eustática do nível de mar.

Na região sul da Planície Costeira de Santa Catarina (PCSC) os depósitos quaternários são correlacionáveis aos sistemas deposicionais laguna/barreira III e IV, definidos para o Rio Grande do Sul (Diehl & Horn, 1996).

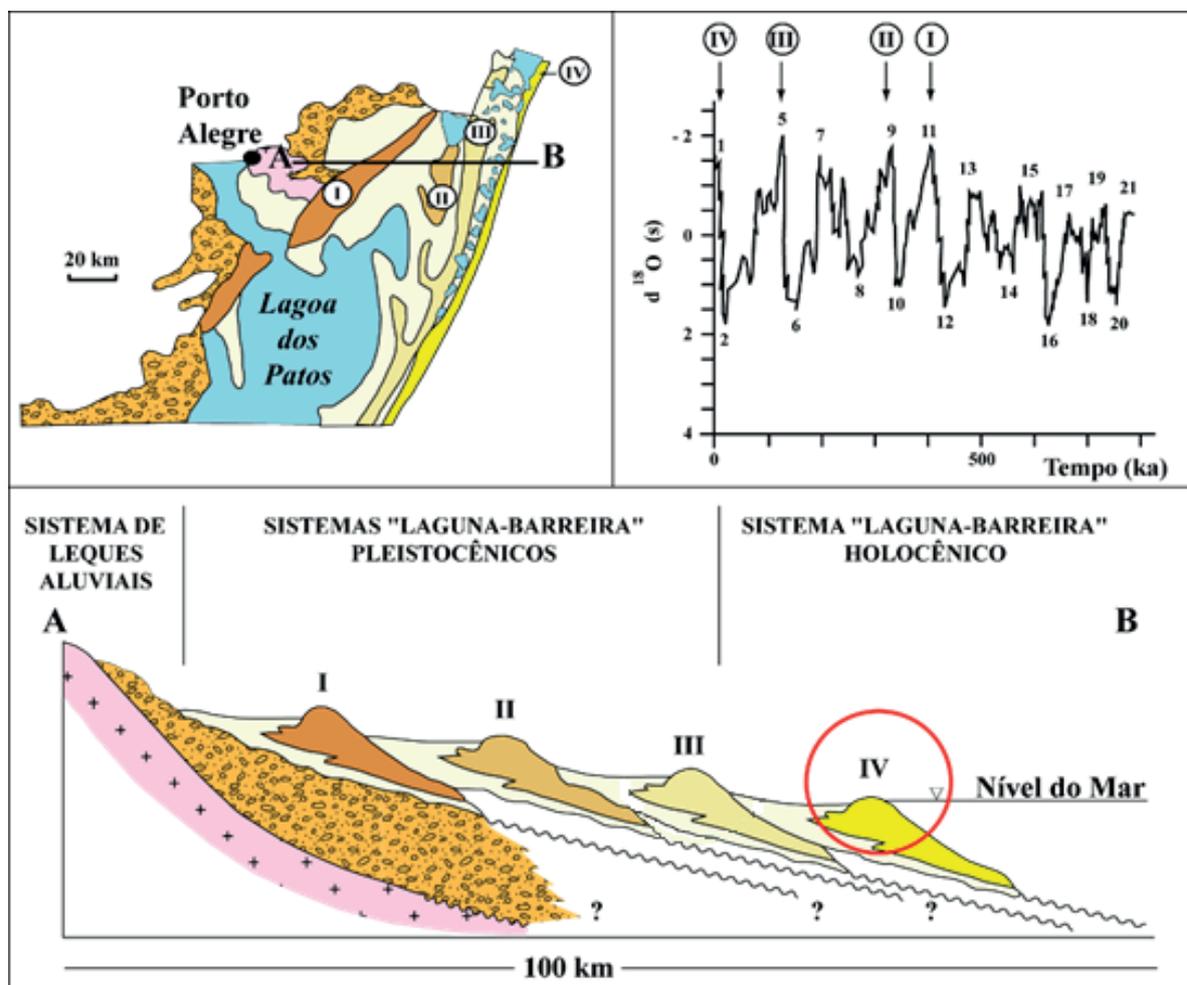


Figura 3: Perfil esquemático transversal aos sistemas deposicionais da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (modificada de Tomazelli & Villwock, 2000). A barreira IV (holocênica) é identificada na área de estudo.

Na Planície Costeira de Santa Catarina, Martin *et al.* (1988) utilizou a lagoa do Sombrio como referência na separação das barreiras, os depósitos holocênicos correspondentes a barreira IV encontram-se ao leste da lagoa, e os depósitos pleistocênicos ao oeste (Fig. 4). Nesta área é possível encontrar colinas de rochas da Bacia do Paraná isoladas entre os depósitos sedimentares do Quaternário.

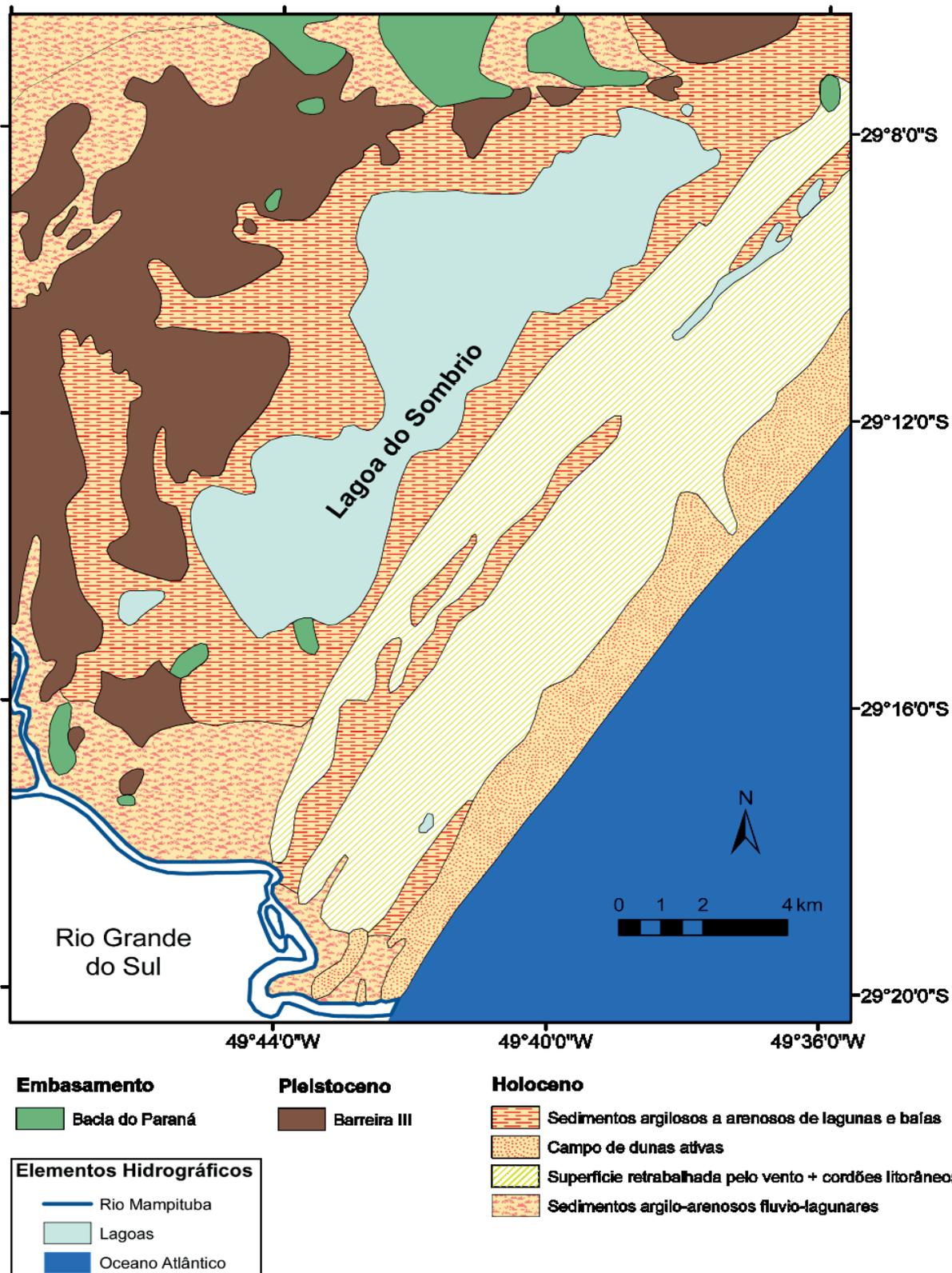


Figura 4: Mapa Geológico do sul da Planície Costeira de Santa Catarina (modificado de Martin *et al.*, 1988). Na imagem podemos observar os depósitos holocênicos a leste, e pleistocênicos a oeste da lagoa do Sombrio.

Os depósitos holocênicos são caracterizados principalmente por terraços lagunares, cordões litorâneos regressivos e por campo de dunas transgressivos. Outra observação importante é a ocorrência de afloramentos da Formação Botucatu (Bacia do Paraná) ao noroeste da região de Torres. Em tempos pretéritos, quando o nível do mar era mais alto, a ação das ondas nesses afloramentos causaram um desgaste originando grutas. O nível atingido é correlacionado com a formação da barreira III (Pleistoceno).

## **2.2 Hidrografia**

A Lagoa dos Patos é o principal corpo lagunar presente na região de Rio Grande, sendo este de maior extensão do estado de Rio Grande do Sul. Alimentado pelas águas do rio Guaíba, importante corpo fluvial que banha a região de Porto Alegre, a Lagoa dos Patos encontra o mar nas proximidades do município de Rio Grande.

Em Torres a Lagoa do Sombrio é o corpo lagunar mais expressivo, sendo reconhecido como a de maior extensão no estado de Santa Catarina. A Lagoa tem conexão com o mar através do rio Barrinha que se une ao rio Mampituba posteriormente. Nesta área é observado ainda um braço morto, oriundo da retificação do rio Mampituba com a construção dos molhes, localizado próximo da cidade de Passo de Torres.

O rio Araranguá é o principal rio nas proximidades da cidade de mesmo nome, que deságua no mar na região do Morro dos Conventos. Nesta área de estudo também encontra-se o Lago Azul, ao sul do município de Araranguá, e não apresenta conexões com outros corpos aquáticos.

## 2.3 Clima

O clima do estado do Rio Grande do Sul é úmido com temperaturas anuais de 18°C, apresentando temperaturas mais quentes no verão (média de 26°C) e temperaturas mais frias no inverno (média de 12°C). As precipitações são distribuídas uniformemente ao longo do ano, variando de 1000 a 1500 mm.

Já o clima da região sul catarinense, segundo Nimer (1979), é classificado como mesotérmico úmido e com umidade relativa do ar em média de 82,1%. Sua temperatura média anual fica em torno de 19,1°C, sendo que a média das máximas é de 24,6% e das mínimas de 14°C. As precipitações anuais são maiores para o litoral norte (1800 mm) e menores ao sul (1400 mm).

O Litoral sul brasileiro tem influência de dois poderosos centros de ação: o Anticiclone Semipermanente do Atlântico Sul (Anticiclone de Santa Helena) e o Anticiclone Migratório Polar (Nimer, 1977; Hasenack & Ferraro, 1989). O primeiro é um ativo centro de alta pressão formador de uma massa de ar tropical marítima de temperatura elevada, devido a intensa radiação solar, e de elevado grau de umidade, devido a intensa radiação marítima. Já o Anticiclone Migratório Polar Atlântico é responsável por uma porção das chuvas do litoral, controlada pela presença da Serra do Mar, das serras do leste Catarinense e da Serra Geral.

## 2.4 Marés, Ventos, Ondulação e Correntes

O setor costeiro do Rio Grande do Sul tem um regime de micromaré com marés semidiurnas apresentando um alcance de 0.5 m. Assim, o transporte e a deposição de sedimentos ao longo da costa é principalmente dominado pela ação das ondas. Já a costa de Santa Catarina apresenta uma amplitude média de maré inferior a 2 m, típico de regime de micromarés (Horn *et al.*, 2004). Mas a região de Araranguá, na porção sul do estado, as marés variam em torno do que é verificado no Rio Grande do Sul.

A proveniência das ondulações é pelos ventos de sudeste do cinturão subpolar do Atlântico Sul, e as correntes litorâneas proporcionam uma deriva resultante de nordeste. Os ventos predominantes são originados de nordeste, sudoeste e sudeste, responsáveis pela configuração das dunas pretéritas e atuais (Horn *et al.*, 2004).

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 Pesquisa Bibliográfica**

A pesquisa bibliográfica além de um passo inicial para a construção de um embasamento teórico para o projeto é um método que termina somente quando conclui o trabalho. Sendo de muita importância no trabalho científico uma vez que estará relacionado com todas as etapas do projeto.

A pesquisa bibliográfica tem como etapas a busca, seleção e armazenamento das informações. Esta pesquisa é realizada com a intenção de deixar o autor ciente de tudo o que já foi produzido, em termos de pesquisas, em cima da área alvo do seu trabalho.

Os dados bibliográficos analisados foram, entre outros: artigos, mestrados, teses de doutorados, mapas, livros e diagramas. A busca desses dados foi realizada principalmente por meio da internet, onde foram acessados sites de publicações de periódicos como o da CAPES, pesquisas no Google Acadêmico, visitas na biblioteca do Instituto de Geociências da UFRGS, além do repasse de artigos e livros por professores e colegas da faculdade.

### 3.2 Sensoriamento Remoto

O sensoriamento remoto é o conjunto de técnicas que possibilita a obtenção de imagens, dentre outros tipos de dados, da superfície terrestre através da captação e do registro da interação da radiação eletromagnética (REM) com a superfície, sendo refletida ou emitida. A aquisição desses dados é efetuada a partir de sensores distantes ou remotos, ou seja, sem o contato com a superfície terrestre e geralmente estão presentes em satélites e aviões.

A história do sensoriamento remoto iniciou-se com o surgimento da fotografia aérea e evoluiu exponencialmente até os dias de hoje, desta maneira a sua história pode ser dividida em dois períodos. O primeiro com o surgimento das fotografias aéreas de 1860 a 1960, e o segundo a partir de 1960 até os dias de hoje, com o surgimento de uma grande variedade de imagens de satélite. No início o propósito do sensoriamento remoto era outro, e tinha uma ligação forte com o uso militar. Durante a guerra civil americana (1862) o reconhecimento das tropas confederadas era feito através das fotografias aéreas. Em 1909, com o surgimento dos aviões, são tiradas as primeiras fotografias aéreas com o uso de aviões e na Primeira Guerra Mundial seu uso foi intensificado. Com a Segunda Guerra Mundial o sensoriamento teve grande evolução e na Guerra fria tornou-se um método refinado com a criação de sensores de alta resolução para fins de espionagem. E hoje com a liberação de inúmeros dados considerados segredo militar o sensoriamento remoto tornou-se uma ferramenta quase indispensável para o trabalho de reconhecimento morfológico e afins.

A REM é uma forma de energia que se propaga na forma de ondas eletromagnéticas com a velocidade da luz (300.000 km por segundo) e é medida em frequência em unidades de *hertz* (Hz). O sensoriamento remoto baseia numa medida de trocas de energia, sendo a interação da energia existente na onda eletromagnética, com comprimento de onda determinado, e a contida nas moléculas e átomos do objeto de estudo.

O conjunto de ondas REM podem ser ordenamento de acordo com seus comprimentos de onda ou frequência. Este ordenamento é denominado espectro

eletromagnético (Novo, 1989), na qual são definidas faixas de acordo com as características da radiação. Estas características estão relacionadas aos processos físicos ligados à sua origem e ao tipo de interação entre esta e os alvos, incluindo os processos que ocorrem na atmosfera. Este espectro (Fig. 5) compreende desde comprimentos de onda curtos, relacionados com altas frequências, até comprimentos de onda longos, que possuem baixas frequências.

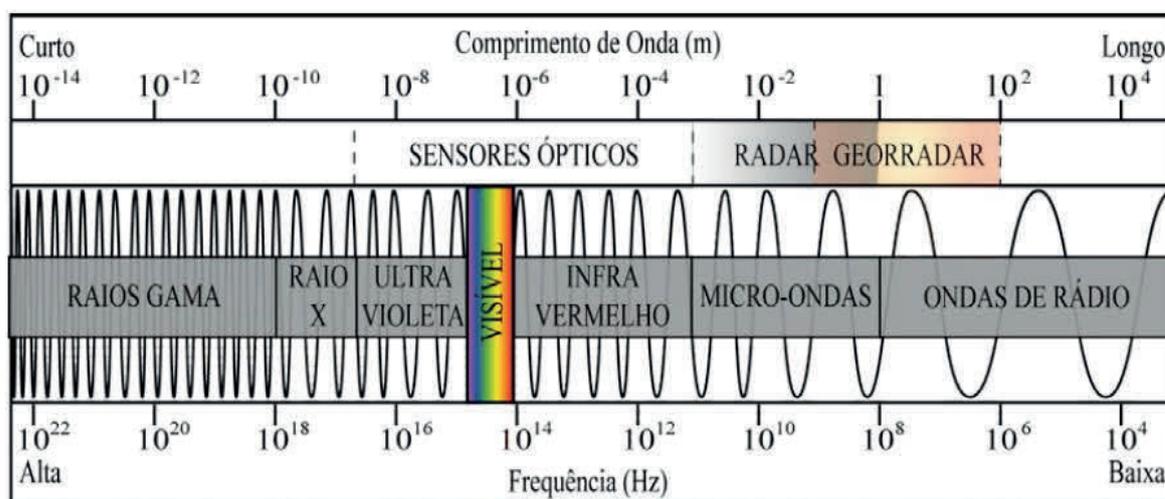


Figura 5: Regiões do espectro eletromagnético, caracterizada por diferentes comprimentos de onda e frequência. Foram delimitadas as faixas utilizadas pelos sensores ópticos, equipamentos de radar e georradar (extraído de Rosa, 2012).

As características das diferentes faixas do espectro definem a sua aplicação no sensoriamento remoto ou em outras áreas como, por exemplo, a radiação gama e os raios X na medicina. Para as aplicações no estudo da superfície terrestre é essencial que seja satisfeita a trajetória da REM partindo da sua fonte, encontrando os objetos de estudo, interagindo e sendo refletida pelos mesmos para que possa ser captada por um sensor. Os elementos presentes nesta trajetória representam as bases para que seja possível a geração de produtos passíveis de interpretação (Rosa, 2012).

Quanto à fonte, qualquer objeto com temperatura acima do zero absoluto emite REM. Contudo, para os estudos terrestres, algumas faixas do espectro são mais importantes. Isto se relaciona com a trajetória da REM para que possam ser gerados

produtos a partir da sua captação pelos sensores (Florenzano, 2007). Assim, as imagens e produtos são obtidos principalmente nas faixas do ultravioleta, visível e infravermelho próximo. Além da geração, o segundo pré-requisito para que a REM cumpra sua trajetória é que ela não seja bloqueada pela atmosfera. É por este motivo que as faixas do ultravioleta, do visível, do infravermelho (sensores ópticos) e das micro-ondas (radares), conhecidas como janelas atmosféricas, são as mais exploradas (Rosa, 2012).

No sensoriamento temos três termos que são de suma importância: reflectância, absorvância e transparência. Pela lei de conservação de energia, ao uma onda incidir em um material (alvo), parte dela é refletida por este material, parte dela será absorvida e outra parte pode ser transmitida se o objeto possuir transparência, sendo que a soma desses três componentes resultam em uma energia de igual intensidade da onda incidente. É através da interação dessa onda com o objeto alvo que distinguimos as cores dos mesmos. As cores que enxergamos de um determinado objeto é devido a uma maior reflexão da REM naquele comprimento de onda específico da cor e absorção e/ou transmissão dos outros comprimentos. Entretanto, os sensores que são responsáveis por gerar os produtos do sensoriamento remoto têm a capacidade de detecção além da radiação da faixa do visível, desta forma reconhecendo o comportamento espectral dos alvos, é possível obter muitas informações sobre os objetos de estudo.

Hoje em dia, o sensoriamento remoto tem um número expressivo de satélites em órbita capazes de oferecer imagens atendendo uma ampla demanda de usuários. Sendo aqueles que necessitam de alvos com tamanho e forma mais detalhados, há sensores capazes de detectar áreas unitárias inferiores a 1 m e com meios de visualização estereoscópica 3D, úteis, por exemplo, para levantamentos urbanos e cartografia digital. Para aqueles que buscam uma monitoração da evolução e de mudanças da paisagem podem buscar sensores com alta taxa de revisita à área. Do mesmo modo em que os interessados em determinar a composição ou constituição dos minerais ou rochas, devem procurar sensores com um maior número de bandas espectrais. Desta maneira, uma forma de melhor

abordar as potencialidades de um sensor é pelo dimensionamento de suas resoluções (Menezes, 2012).

São diversos os tipos de sensores existentes. De acordo com o nível de aquisição, os sensores podem ser terrestres, aéreos ou orbitais. De acordo com a fonte de energia os sensores podem ser ativos, quando atuam também como fonte, ou passivos, quando somente coletam a REM originada por uma fonte externa como o Sol. Com relação ao tipo do sistema, os sensores, podem ser imageadores, quando o produto gerado é na forma de imagem, ou não imageadores, quando são obtidos outros produtos como curvas relacionadas ao comportamento espectral dos alvos. Os sistemas imageadores podem ainda ser fotográficos, eletro-ópticos, entre outros.

Como este método trabalha com imagem, a resolução é um fator que não pode ser deixado de lado. No caso do sensoriamento remoto, o conceito de resolução é dividido em quatro tipos: espacial, espectral, radiométrica e temporal.

A resolução espacial está relacionada com o tamanho representado por cada *pixel* (*Picture Element*) no terreno. Em uma imagem com resolução espacial de 30 m, os *pixels* representam um espaço de 30 x 30 m, sendo possível distinguir feições com dimensões superiores a esta medida. Já uma imagem com resolução de 6 m, permite definir alvos menores, assim a sua resolução espacial é superior.

A resolução espectral refere-se ao número e a largura das bandas espectrais que o sensor pode reconhecer. Desta maneira, quanto maior for o número de bandas que o sensor possuir maior será sua sensibilidade. Uma alta resolução espectral é obtida quando as bandas de um sistema sensor são estreitas e/ou quando se utiliza um maior número de bandas espectrais. Se usarmos o sistema TM (*Thematic Mapper*) do *Landsat* como exemplo, ela opera em sete faixas espectrais do espectro eletromagnético, possuindo uma resolução espectral melhor que o sistema MMS. Do mesmo modo, as bandas do TM são mais estreitas que as do MMS.

A resolução radiométrica diz respeito a gama de valores que pode representar a intensidade da REM obtida para cada *pixel*. Ou seja, a intensidade da REM

registrada pelos sensores varia em dependência dos alvos presentes em cada segmento do espaço imageado. Esta intensidade é transformado em um valor, denominado reflectância, a qual será representada por uma variação na tonalidade de cada *pixel*, e essa variação de valores, representado por cores é a resolução radiométrica da imagem. Normalmente, esta resolução é de 8 bits, que significa 2 elevado a oitava potência. Isto significa que o sinal pode ser registrado digitalmente com 256 tonalidades possíveis, geralmente em escalas de cinza ou, no caso de composições coloridas, em tons de vermelho (R - *red*), verde (G - *Green*) ou azul (B - *Blue*).

Por último, a resolução temporal relaciona-se com o intervalo de tempo em que uma mesma área é levantada. A frequência com a qual é possível obter uma nova imagem de determinado local define a resolução temporal. Esta resolução por sua vez pode relacionar-se com a largura ou tamanho da faixa de imageamento. Normalmente, imagens que cobrem grandes áreas possuirão resoluções temporais maiores, por outro lado, a resolução espacial tende a ser menor.

O produto do sensoriamento remoto nem sempre se refere somente ao espectro óptico, representando a reflectância oriunda da parte refletida da REM pelos alvos. A informação correspondente de cada *pixel* pode também representar outras grandezas, como é o caso das altitudes nos Modelos Digitais de Elevação do Terreno (MDET). Como é o caso do projeto no qual foram obtidas, de forma indireta, as altitudes de aproximadamente 80% da superfície da Terra, esse projeto é o *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), um projeto internacional liderado pelas agências espaciais Norte Americanas (NG-IA e NASA).

A Missão Topográfica Radar Shuttle, compreendeu em uma missão espacial para imageamento digital terrestre entre as latitudes 56° S e 60° N, com o intuito de gerar uma base de cartas topográficas digitais de alta resolução.

Nesta missão, um ônibus espacial circundou e levantou a topografia do planeta utilizando um sistema de radar de abertura sintética em fevereiro do ano 2000. Esse levantamento teve como base o método da interferometria que é uma forma de obter altitudes através da estereoscopia gerada por dois sinais obtidos através de pontos

de observação distintos de uma mesma porção da superfície terrestre (Rabus *et al.*, 2003).

### 3.2.1 Aplicação

A aplicação do sensoriamento remoto neste projeto teve como propósito a caracterização dos cordões litorâneos holocênicos das regiões de estudo (Rio Grande, Torres e Araranguá) contidos na planície costeira sul brasileira. Da maneira que se buscou reconhecer onde os cordões se iniciavam (delimitando o paleocontorno da linha de costa), suas dimensões espaciais e feições geomorfológicas. A geomorfologia foi analisada através da construção de perfis topográficos realizados a partir de um modelo digital de terreno adquirido da SRTM.

As imagens de satélite foram adquiridas de forma gratuita no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) com o intuito de fazer uma comparação das imagens atuais com as antigas. O satélite ao qual foram escolhidas as imagens foi o Landsat-5 que possui um sensor eletrônico multiespectral TM, que por sua vez capta dados em sete bandas espectrais diferentes (três da região do visível e quatro da região do infravermelho). Além dessas características, o Landsat-5 adquiriu imagens desde 1984 até 2011.

A grande variedade de sistemas de sensores e o grande desenvolvimento que o sensoriamento remoto teve nas últimas décadas, leva a grande variedade de produtos, que terão características e conseqüentemente aplicações diferentes. Dentre os produtos utilizados foram selecionadas imagens do aplicativo Google Earth<sup>®</sup>, devido à alta resolução das imagens disponibilizadas por ele. As imagens são disponibilizadas no aplicativo na forma de mosaico de composições coloridas em cor verdadeira, ou seja, utilizando as bandas do espectro visível, assim o resultado obtido é muito semelhante a cor natural dos objetos. As imagens disponibilizadas pelo aplicativo Google Earth<sup>®</sup> são oriundas de aquisições em datas aleatórias por satélites e sensores diversos. Muitas possuem uma resolução espacial excelente, que possibilita a observação de feições de pequenas dimensões.

Mas a resolução espectral disponível é limitada e o posicionamento espacial das imagens nem sempre é acurado, sendo que deve ser tomado alguns cuidados quando da utilização dessas para posicionamento.

Sabendo que as imagens disponibilizadas pelo Google Earth<sup>®</sup> são de datas aleatórias é possível, em alguns casos, obter uma correlação temporal das feições morfológicas presentes em superfície. Informações estas que são de grande importância, uma vez que nos possibilitam um reconhecimento da dinâmica costeira por um período de tempo, assim podendo extrapolar essa informação para o futuro e/ou para o passado. Para manusear as imagens e realizar as comparações necessárias, foi utilizado o aplicativo ArcGIS<sup>®</sup> v10.2.

### **3.3 Geoprocessamento**

Com a evolução tecnológica associada a informática tornou possível armazenar, representar e manipular dados, em programas computadorizados, relacionados a distribuição geográfica de características terrestres. O conceito de geoprocessamento refere-se à utilização de técnicas matemáticas e computacionais que possibilitam, através do Sistema de Informações Geográficas (SIG), a realização de interpretações complexas e a integração de dados de diversas origens (Câmara & Davis, 2012).

Um SIG pode ser definido como um conjunto de procedimentos e ferramentas utilizados para coletar, armazenar, recuperar, transformar, modelar e visualizar dados georreferenciados, topologicamente estruturados associados ou não a um banco de dados alfanumérico (Burrough, 1986; Aronoff, 1989). Esses dados têm como característica principal o georreferenciamento, o qual é a capacidade de serem posicionados espacialmente.

A estrutura de um SIG condiz com o computador (*hardware*), os programas computacionais (*software*), os dados, os métodos e os recursos humanos. Os componentes de um SIG englobam a interface com o usuário, a entrada e integração de dados, as funções de processamento gráfico e de imagens, a

visualização e plotagem e, por fim, o armazenamento e recuperação de dados (Câmara & Queiroz, 2001).

Dentre as ferramentas que são disponibilizadas pelo geoprocessamento, estão as técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI). Estas técnicas por sua vez têm como utilidade a melhora do aspecto dos alvos de interesse para que assim possa ser feita a interpretação visual ou o preparo das imagens, incluindo procedimentos como classificação e interpretações automáticas. O PDI pode ser dividido em pré-processamento, realce e classificação (Queiroz, 2003).

O pré-processamento está relacionado com o procedimento inicial dos dados brutos, envolvendo calibração radiométrica da imagem, a correção de distorções geométricas e a remoção de ruídos. As distorções radiométricas estão relacionadas a variações na iluminação da cena, as condições atmosféricas no momento da aquisição, e geometria da aquisição e as características particulares das respostas dos instrumentos utilizados. O objetivo dessas correções é a obtenção de imagens com integridade radiométrica permitindo o estudo dos alvos a partir de variações na reflectância observada. Já as correções geométricas são executadas a fim de eliminar distorções e degradações oriundas do processo de aquisição. Estes defeitos são gerados pelo motivo de variações na altitude, atitude e velocidade da plataforma onde se encontra o sensor, à curvatura e a rotação da Terra. E, por fim, os ruídos são distúrbios encontrados nas imagens devido a limitações do registro, da digitalização do sinal ou do processo de gravação dos dados.

O realce tem como objetivo aumentar a distinção aparente entre as características estruturais presentes na cena, já que no olho humano não se é possível diferenciar pequenas variações espectrais. Assim podem ser realizadas mudanças no contraste, nas entidades espaciais e manipulações multi-imagens.

Já a classificação refere-se à separação por classes para as feições, agrupando os *pixels* e atribuindo uma interpretação ou significado. Este processo é feito quando se é reconhecido padrões espectrais, com características como a tonalidade ou cor, através de padrões espaciais, utilizando elementos como textura, dimensões, geometria, contexto e repetição; ou até mesmo por meio do

reconhecimento de padrões temporais, com a utilização de dados multi-temporais, observando mudanças espaciais e espectrais ao longo do tempo.

Independentemente dos processos utilizados, a interpretação realizada através das ferramentas do sensoriamento remoto e do geoprocessamento, sempre devem ser correlacionados e calibrados com a realidade (Rosa, 2012).

Dentre os Sistemas de Informações Geográficas atuais encontramos diversas variedades de características, compreendendo tipos de estruturas de dados, modelos de banco de dados, sistemas de análise entre outras que acabam por facilitar ainda mais o armazenamento, a representação e a manipulação desses dados. Mesmo tendo habilidades diferentes, há módulos presentes na maioria destes programas. Estes módulos são: Sistema de Aquisição e Conversão de Dados; Banco de Dados Espaciais e de Atributos; Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD); Sistema de Análise Geográfica; Sistema de Processamento Digital de Imagens; Sistema de Modelagem Digital de Elevação do Terreno (MDT); Sistema de Análise Estatística; Sistema de Apresentação Cartográfica.

### **3.3.1 Aplicações**

De início, antes de inserir os dados e imagens nos programas SIG, todas essas informações (mapas geológicos, cartas náuticas, imagens de satélite) foram organizadas em um banco de dados em SIG no sistema operacional Windows. Primeiramente foram analisadas as imagens de satélite a fim de reconhecer a morfologia das áreas de estudo. Essas análises iniciais já são capazes de dar um grande avanço no conhecimento regional, muitas vezes podendo inferir fases de evolução e classificação morfológica evolutiva sem mesmo os dados de subsuperfície.

Através do sistema de Processamento Digital de Imagens, as imagens de satélite foram comparadas e interpretadas em escala multi-temporal com o intuito de caracterizar as formas evolutivas dos cordões litorâneos, a dinâmica dos canais

presentes através do tempo e quando possível delimitar o “paleocontorno” da linha de costa. O programa utilizado foi o ArcGIS® v10.2, onde essas imagens foram georreferenciadas através do auxílio do aplicativo Google Earth® pelo motivo da ausência dos pontos de controle nas regiões de estudo. Logo após a etapa de georreferenciamento foram construídas linhas onde as feições citadas acima foram observadas.

Por meio dessas análises iniciais já foi reconhecido alguns padrões evolutivos na região de Araranguá onde se observa uma sequência de altos de baixos topográficos nas proximidades da desembocadura do rio Araranguá, significando que a barra de pontal hoje existente naquela região já esteve mais recuada para dentro do continente.

Todos os dados que continham imagens de satélite foram padronizados e a projeção cartográfica escolhida foi a *Universal Transversa de Mercator* (UTM), no fuso 22 sul, que corresponde a região de pesquisa. O sistema de referência geocêntrico *World Geodetic System-84* (WGS-84) foi o escolhido por corresponder ao sistema de referência das efemérides operacionais do sistema de posicionamento global (GPS) e por ser essencialmente idêntico ao SIRGAS2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas), uma vez que também é o sistema oficial adotado no Brasil.

### **3.4 Cartas Náuticas**

As cartas náuticas são documentos cartográficos que resultam de levantamentos de áreas oceânicas, mares, baías, rios, canais, lagos e lagoas, ou qualquer outra massa d’água navegável e que se destinam a servir de base à navegação. A projeção usada por essas cartas, geralmente, é a de Mercator e vem por representar os acidentes terrestres e submarinos, fornecendo informações sobre profundidades, perigos à navegação (bancos, obstáculos rochosos submersos, cascos soçobrados ou qualquer obstrução que venha dificultar a navegação), natureza do fundo marinho, fundeadouros ou áreas de fundeio, auxílios à navegação (faróis, faroletes, boias, balizas, luzes de alinhamento, radiofaróis, etc.), altitudes e

pontos notáveis aos navegantes, linha de costa das ilhas, elementos de marés, correntes e magnetismo e outras indicações necessárias à segurança da navegação.

A Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) se compromete a manter todas as Cartas Náuticas atualizadas, por meio do Centro de Hidrografia da Marinha, sendo na sua qualidade de Serviço Hidrográfico Brasileiro.

A Normativa utilizada para a construção das cartas náuticas corresponde às Especificações de Cartas Internacionais da Organização Hidrográfica Internacional (OHI). Essas Especificações foram aprovadas na XII Conferência Hidrográfica Internacional, em 1982 e agem como guia básico para a construção de todas as cartas náuticas pelos países membros da OHI.

### **3.4.1 Aplicação**

Nesta monografia, as Cartas Náuticas, serão utilizadas com a intenção de inferir as declividades da plataforma interna, através da relação das distâncias das Linhas Isobatimétricas (LI) da costa pela profundidade da LI das áreas de estudo.

As Cartas serão adquiridas pelo site do Centro de Hidrografia Marinha (CHM - <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-cartas-nauticas/cartas.html>), em formato Raster, e manuseadas por meio do programa ArcGIS® versão 10.2.2.

## **4 RESULTADOS DA COMPILAÇÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **4.1 Declividade da Plataforma Interna**

O estudo da declividade desta monografia foi realizado com base nos resultados obtidos por Biancini (em preparação) em sua Tese de Doutorado e através da análise de cartas náuticas quando necessárias.

A declividade da plataforma interna tem a capacidade de influenciar no espaço disponível para sedimentação, sendo que plataformas mais íngremes (alto gradiente) têm mais espaço de acomodação na vertical (espessura) que na horizontal (largura). Do mesmo modo que plataformas com inclinações mais baixas terão mais espaço de acomodamento na horizontal do que na vertical (Dillenburg, informação verbal) apresentando progradações com grandes extensões.

Na análise dos dados disponíveis sobre morfologia submersa (cartas batimétricas náuticas da Diretoria de Hidrografia e Navegação - DHN), Biancini ressaltou algumas particularidades, sendo elas:

- datas dos levantamentos reportam-se aos anos de 1954 a 1963, no entanto algumas cartas foram atualizadas. Estas atualizações referem-se somente a mudanças ou acréscimos, de novos faróis e áreas de proteção ambiental. A batimetria permanece inalterada;
- descrição dos instrumentos utilizados na obtenção dos dados não é especificada;

- de acordo com as informações obtidas junto ao Centro de Hidrografia da Marinha (CHN), a malha de pontos do levantamento batimétrico original, é mais densa do que a visualizada na carta náutica;
- infelizmente esta malha densa de pontos não é disponibilizada de forma gratuita;
- distâncias entre os pontos batimétricos observados na carta náutica variam em média, de 4 a 8 km;
- levantamentos batimétricos mais rasos que -20 m são praticamente inexistentes;
- delimitação das linhas isobatimétricas (LI), por vezes, apresenta reentrâncias e projeções que podem não ser verdadeiras, tendo em vista a distância entre os pontos amostrados e o tipo de interpolação utilizada (não especificada);
- muitos pontos batimétricos não foram interpolados, o que muitas vezes dificulta a visualização das LI;
- cartas náuticas com escalas de pouco detalhe (1:100.000, 1:275.000, 1:300.000 e 1:1000.000);
- existência de áreas que não foram amostradas (lacunas no levantamento).

Considerando estas particularidades, o exame dos dados foi realizado, por Biancini, de forma crítica e com ressalvas. Importante ressaltar que o para o cálculo da declividade do substrato (representado pela morfologia atual da plataforma interna), foram elaborados perfis transversais à linha de costa entre as cotas de +2 (máximo eustático holocênico) a -50 m. Se a análise fosse realizada na cota 0 (linha de costa) Biancini obteria inclinações elevadas, pois seria incluído altas declividades derivadas da antepraia.

O Autor começa analisando as LI mais profundas (entre -100 e -50 m), verificando um padrão paralelo entre elas e sem a presença de altos ou baixos topográficos de grande porte. Já ao analisar as LI mais próximas a costa (entre -30 e -20 m) reconheceu dois altos topográficos: parcel 1 e parcel 2 (Fig. 6). O parcel 1 com uma altitude de -20 m e um raio de 7 km, localizado entre as LI de -28 e -30. E o parcel 2 identificado entre as LI de -24 e -25, raio de 1,8 km e uma altitude de -20 m.

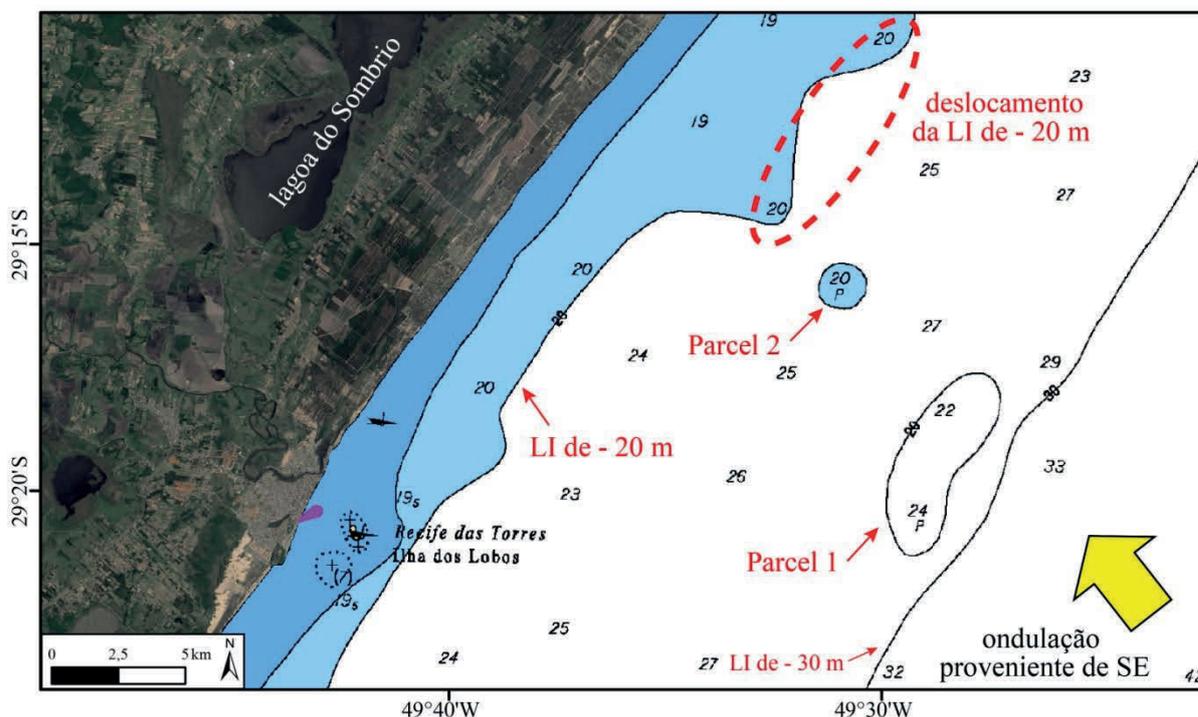


Figura 6: Composição colorida (R4G3B2) do satélite Landsat 8 fusionada com a banda pancromática (8), associada com a batimetria da carta náutica da DHN (de Torres a Mostardas; escala 1:275.000) (extraído de Biancini, em preparação). Na imagem verificamos os dois parcéis identificados por Biancini.

A partir disso, os perfis de comparação da declividade realizados por Biancini encontram-se abaixo:

A baixa declividade ( $0,03^\circ$ ) observada (Fig. 7) da plataforma interna em que se instalou a barreira holocênica da região de Rio Grande (Cassino). Cassino exibe uma das mais largas planícies regressivas do Brasil, com uma extensão de 14,5 km. Ao se comparar com as declividades da PI na região de Passos de Torres, a qual se encontra adjacente a Torres, foi verificado o dobro do gradiente de Rio Grande, com valores de  $0,06^\circ$  de declividade.

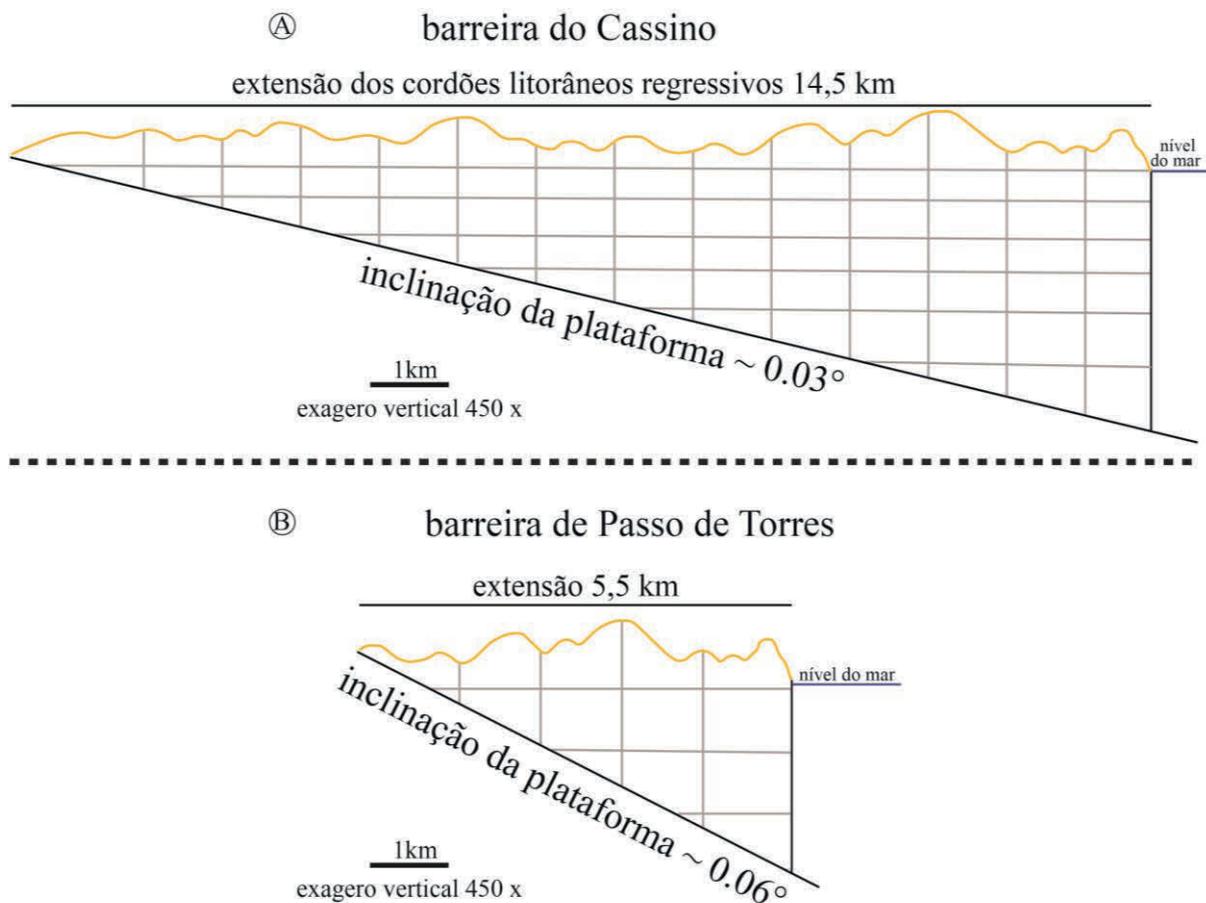
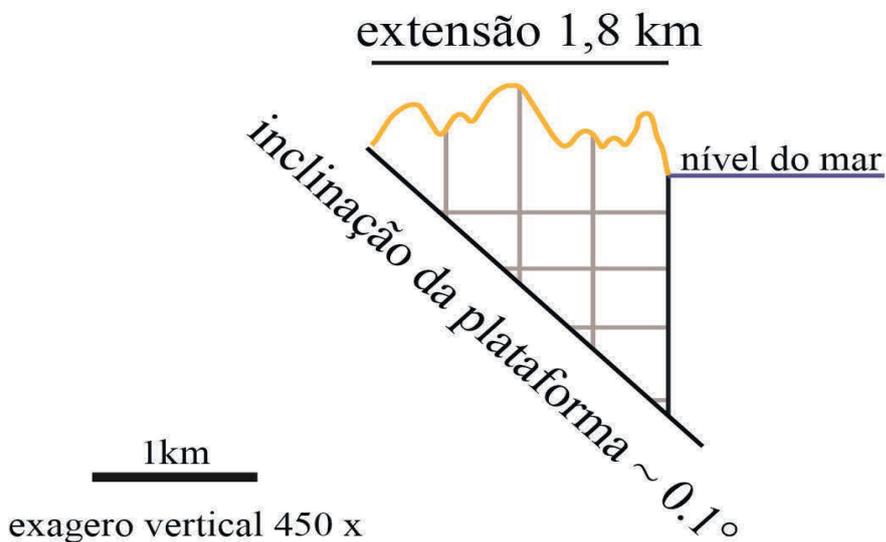


Figura 7: Desenho esquemático das barreiras regressivas holocênicas. (A) Barreira do Cassino com uma grande extensão lateral (cerca de três vezes maior). (B) Barreira de Passo de Torres com uma menor extensão lateral, no entanto com o dobro de inclinação da plataforma (extraído de Biancini, em preparação).

Os cordões litorâneos de Araranguá apresentam uma extensão de aproximadamente 1,8 km (Fig. 8), classificando-se como a de menor largura das áreas estudadas. Nesta barreira é verificada uma declividade maior, de  $0,1^\circ$ , do substrato em que se instalou, assim possuindo muito mais espaço de acomodação na vertical ( $\sim 25\%$ ).

Ⓐ barreira de Araranguá



Ⓑ barreira de Passo de Torres

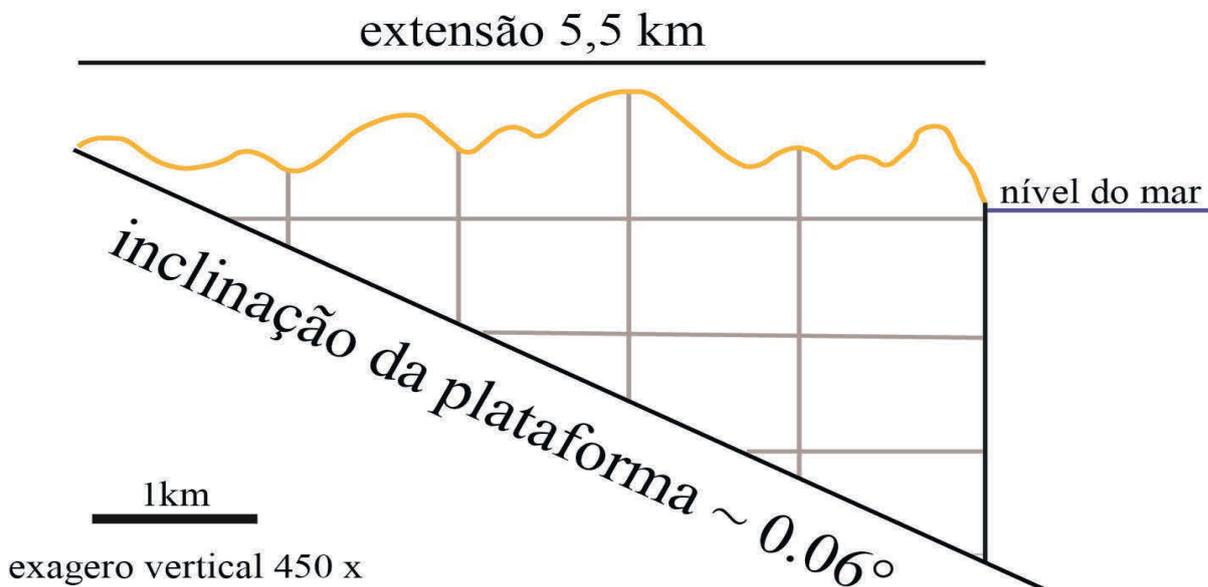


Figura 8: Desenho esquemático das barreiras regressivas holocênicas. (A) Barreira de Araranguá com uma pequena extensão lateral (cerca de três vezes menor). (B) Barreira de Passo de Torres apresenta 25 % menos espaço de acomodação na vertical, refletindo numa maior largura de seus cordões litorâneos regressivos (extraído de Biancini, em preparação).

Para a análise das declividades da região de Torres, foi correlacionado com as declividades apresentadas em Passo de Torres por Biancini pela alta proximidade entre elas. Isto se justifica uma vez que a distância da LI de -50 m, utilizadas para o cálculo da declividade, adjacente de Torres apresenta a mesma distância em relação à linha de costa presente em Passo de Torres, fazendo com que a média da declividade seja praticamente a mesma.

Importante ressaltar a presença de um alto topográfico submerso localizado a frente a frente de Torres (Fig. 9) que projeta a LI de -10 m, se aproximando da LI de -20 m. Apesar desta singularidade, a média da declividade calculada continua inalterada, pois tanto a LI de -20 m quanto a de -50 m (usada para o cálculo) encontram-se igualmente equidistantes da costa nas duas regiões (Passo de Torres e Torres).

Deste modo, para a região de Torres, a qual possui uma barreira holocênica de 5,5 km de extensão, foi verificada uma declividade de  $0.06^\circ$  do substrato.

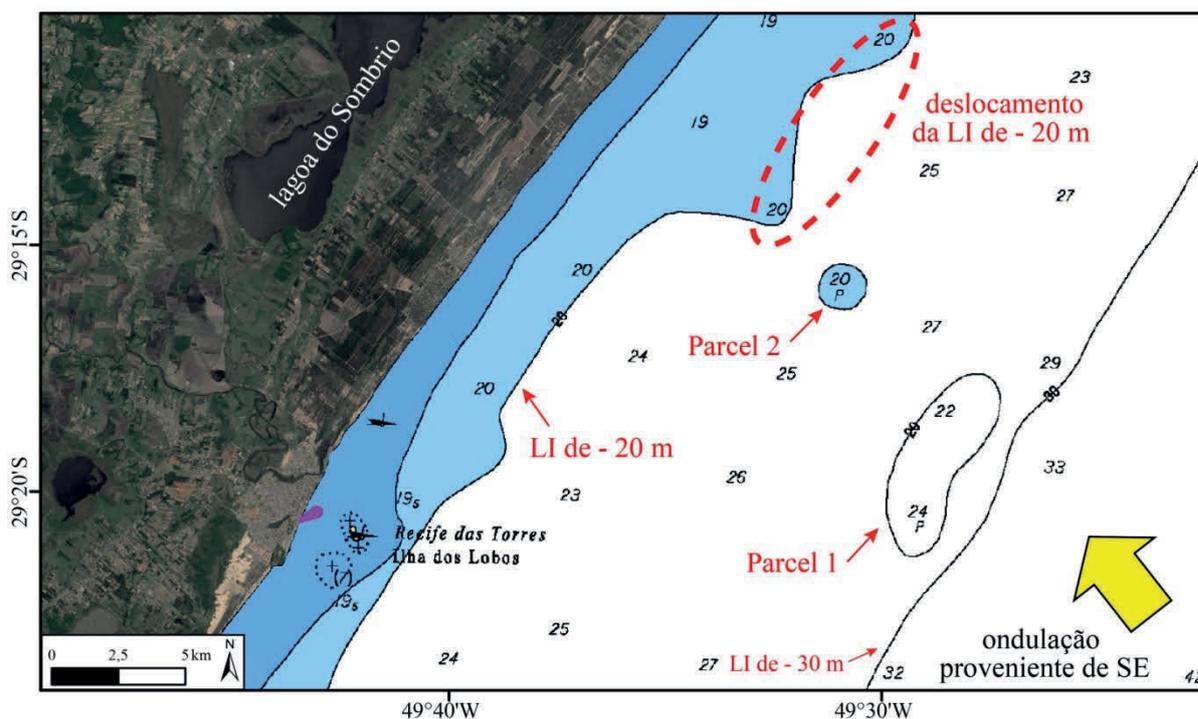


Figura 9: Composição colorida (R4G3B2) do satélite Landsat 8 fusionada com a banda pancromática (8), associada com a batimetria da carta náutica da DHN (de Torres a Mostardas; escala 1:275.000) (extraído de Biancini, em preparação). Nesta figura podemos verificar um alto topográfico à frente de Torres, verificado pela projeção da LI de -10 m.

## 4.2 Aporte Sedimentar

O estudo do aporte sedimentar pode ser realizado de duas maneiras distintas, sendo uma o modo quantitativa e outra qualitativa.

A investigação do aporte sedimentar de maneira quantitativa nos remete a contagem literalmente das vazões específicas de sedimentos que chegam na bacia. Maneira muito trabalhosa que reflete no baixo número de trabalhos publicados na área.

Alguns autores já se arriscaram neste tipo de estudo, como Almeida *et al.* (2001) que realizou uma estimativa do volume de sedimentos através do Método de Fluxo de Energia, o qual usa como base cada evento de onda registrado durante um período representativo. Chegando à conclusão que mais de 60% do litoral sul-rio-grandense compreende as maiores taxas de transporte (1.800.000 m<sup>3</sup>/ano), enquanto, o restante apresenta taxas com valores médios de 700.000 m<sup>3</sup>/ano. Importante salientar que esses transportes tinham como sentido predominante para norte.

Outra forma de análise do aporte sedimentar é observando os meios de transporte de sedimentos mais expressivos que ocorrem na área de estudo. Realizando um estudo comparativo e estabelecendo uma ordem de importância entre si. Desta maneira, eliminando o exercício de contagem, economizando tempo de trabalho sem perder qualidade de informação.

De acordo com Villwock & Tomazelli (1995), ocorrem três tipos de transporte de sedimentos na PCRS. O primeiro através dos rios (fluvial), o segundo por meio da remobilização dos sedimentos da plataforma interna (PI) pela ação das ondas no fundo marinho e o terceiro através das correntes litorâneas geradas a partir da incidência das ondas de forma oblíqua a linha de costa (deriva litorânea).

Os três tipos de transporte ocorrem em diferentes níveis (potência), de acordo com cada região. Considerando esta premissa, os mesmos foram abordados, separadamente, para cada área de estudo.

### 4.2.1 Rio grande

Quando analisamos o aporte sedimentar alimentador da praia do Cassino, logo se percebe que a proveniência por meio fluvial não se dá de maneira significativa. Isso ocorre porque nesta região tem-se a presença dois corpos aquáticos de grande proporção antes da desembocadura com o mar.

O rio Guaíba e a Lagoa dos Patos que se comportam, também, como bacias deposicionais, fazendo com que as grandes estruturas deltaicas (maior carga de sedimentos arenosos) sejam construídas no início do rio Guaíba (delta do rio Jacuí – Fig. 10) e ao longo da Lagoa dos Patos. Assim, retendo a porção mais representativa da carga sedimentar antes que encontre o mar, alimentando os depósitos costeiros.

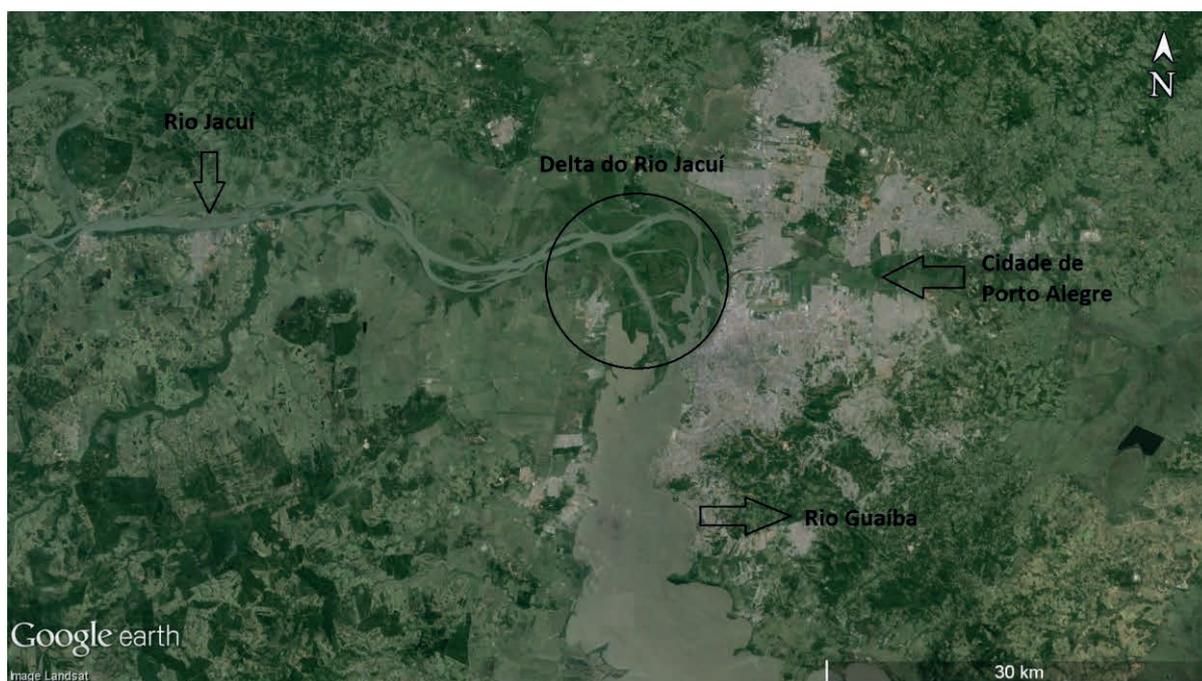


Figura 10: Imagem do Google Earth<sup>®</sup> do delta do rio Jacuí. Grandes feições deltaicas são geradas antes mesmo de chegar a Lagoa dos Patos, conseqüentemente as grandes cargas sedimentares arenosas são depositadas no início do rio Guaíba.

Importante lembrar que por não ser o transporte (de sedimentos) principal da área, não remete a sua não existência. Todos os sedimentos finos, não depositados,

continuam seu caminho para o mar até que não exista mais energia capaz de transportá-los.

Mais uma prova de que a carga sedimentar arenosa (principal material da construção de uma barreira regressiva) fica retida no interior do continente são as constatações de Angulo *et al.* (2006) que verificaram uma elevação máxima do nível de mar de  $2,1 \pm 1\text{m}$  acima do atual há 5,6 ka. E Dillenburg *et al.* (2004) que identificaram uma altitude máxima de aproximadamente 4 m acima do nível atual, no intervalo de tempo de 6.700 e 5.200 A.P.

À vista disso, no passado (após o ápice da última transgressão marinha), os rios presentes nesta região tinham suas desembocaduras mais recuadas ainda da linha de costa, provando que o maior volume sedimentar era contido pelos pretéritos rios.

Outra forma de transporte de sedimentar até a barreira holocênica é através da remobilização dos sedimentos presentes na Plataforma Interna, pelas ondas. A ação das ondas no fundo oceânico gera movimentos de “vai e vem” que tem uma resultante de sentido igual ao do caminho da onda, ou seja, para costa. Deste modo, reagrupando os sedimentos à linha de costa ajudando o processo de progradação.

Este processo, pouco estudado, existe, mas é realmente expressivo em plataformas em que é verificada baixa declividade até a LI de -20 m (onde é verificado o início da ação das ondas no substrato), as quais, desta forma, permitindo que a ação das ondas no fundo marinho seja mais prolongado, remobilizando quantidades mais significativas de sedimentos para a face praial.

Processo que se aplica muito bem à região do Cassino, por uma localidade onde são apresentadas baixas declividades da PI (abordado no item 4.1). Assim as ondas provenientes de SE, principais na PCRS, (Motta, 1967; Tomazelli & Villwock, 1992 *apoud* Tomazelli & Villwock, 2000) empurram os sedimentos em ângulo para esta região, contribuindo, em parte, para o acúmulo de sedimentos em Rio Grande.

E o terceiro meio de transporte, ao ver desta monografia, o principal mecanismo que traz sedimentos para a progradação da barreira holocênica em Rio Grande, está relacionado com a deriva litorânea (Tomazelli & Villwock, 2000).

Tomazelli & Villwock (2000) já alertavam sobre a importância da deriva litorânea na análise do aporte sedimentar. “As ondas e correntes associadas provocam o deslocamento das areias ao longo da linha de costa, um processo denominado de “deriva litorânea de sedimentos”. Esta transferência lateral de sedimentos, promovida basicamente pela atividade das ondas que incidem obliquamente à linha de costa, há muitos anos é reconhecida como um dos mais importantes fatores responsáveis pela configuração das praias. Ela deve, necessariamente, ser avaliada em qualquer estudo que se faça respeito do balanço sedimentar de um segmento praiar e suas correspondentes taxas de erosão/deposição.

As correntes existentes na antepraia são capazes de transportar grandes volumes de sedimentos ao longo da costa, levando-os de sul para norte, paralelamente a face praiar. Se a linha de costa da PCRS fosse totalmente homogênea, sem projeções ou embaiamentos em sua extensão, não haveria grandes mudanças nos volumes transportados da carga sedimentar. Mas o que realmente acontece é um pouco diferente.

A planície costeira sul brasileira, presente na Bacia de Pelotas, apresenta uma linha de costa praticamente retilínea, com projeções e embaiamentos suaves. Estas duas características são imprescindíveis para a análise da evolução da barreira holocênica.

O paleocontorno da linha de costa e suas singularidades, bem como a deposição ou erosão presentes associadas à deriva litorânea, serão discutidos no item 4.3.

#### **4.2.2 Torres**

Na região de Torres se localiza o rio Mampituba, marcador do limite norte do estado do Rio Grande do Sul e o limite sul do estado de Santa Catarina. Sua nascente, encontrada na borda dos depósitos vulcânicos do Serra Geral, ao oeste, inicia um curso d'água que percorre sobre os registros sedimentares do Quaternário,

passando desde os leques aluviais até a Barreira IV holocênica, onde encontra o mar.

Durante seu trajeto, o rio Mampituba apresenta um canal com baixos gradientes de inclinação. Isso ocorre devido a sua gênese estar vinculada ao açoreamento de antigos corpos lagunares (Dillenburg, informação verbal) Fato muito significativo para o aporte sedimentar, uma vez que a baixa declividade faz com que a energia de fluxo do rio seja muito menor em relação a gradientes maiores.

A baixa energia de fluxo do rio provoca uma incapacidade do mesmo em transportar tamanho de grãos maiores, fazendo com que grande parte de sua carga sedimentar arenosa seja depositada durante o seu percurso e não na desembocadura com o mar, onde alimentaria os depósitos costeiros. Dessa maneira, os sedimentos que chegam a costa não são significativos para o desenvolvimento da barreira holocênica.

Em Torres, o aporte sedimentar que chega através da remobilização de sedimentos da Plataforma Interna, já tem uma influência maior nos depósitos costeiros se comparado com o fluvial, uma vez que são verificadas declividades suaves até a LI de -20 m, onde se inicia a influência das ondas no fundo marinho. Assim, atuando por mais tempo e remobilizando mais sedimentos.

### **4.2.3 Araranguá**

Nesta área de estudo se encontra o rio Araranguá que da mesma forma do rio Mampituba, é originado através do açoreamento de antigos corpos lagunares, apresentando também baixas declividades de seu canal. Conseqüentemente, diminuindo o aporte sedimentar arenoso.

O volume de sedimentos proveniente da remobilização da PI na planície costeira desta região se expressa com menor intensidade, pois a declividade da PI tem valor mais alto (item 4.1). Com uma declividade mais alta, o tempo de interação

onda vs. fundo marinho é reduzido, refletindo na diminuição da carga sedimentar que chega a costa.

### 4.3 Paleocontorno da Linha de Costa

O paleocontorno da linha de costa é uma importante informação quando se estuda depósitos costeiros, uma vez que é capaz de gerar embaiamentos (espaço de acomodação) ou, da mesma maneira, projeções (superfícies erosivas).

A deposição ou erosão na linha de costa, através da deriva litorânea, acontece de acordo com as descontinuidades que ela apresenta, sendo embaiamentos ou projeções. Nas projeções da linha de costa ocorre a erosão, justamente por apresentar uma morfologia positiva (para o sentido da bacia), gerando um anteparo para a corrente litorânea, a qual é forçada a mudar de direção. Desta maneira, criando uma zona de intenso desgaste costeiro causado pela alta energia das ondas. Já nos embaiamentos o que ocorre é o contrário, o espaço gerado por ele reflete na descarga de sedimentos pela corrente litorânea, uma vez que ela não encontra anteparos, despejando sedimentos ao longo de seu trajeto.

As Características expostas acima foram evidenciadas por Almeida (2001) que constatou valores máximos atuais de transporte sedimentar da deriva litorânea entre Cassino e o Farol de Mostardas de 2.932.000 m<sup>3</sup>/ano e de 1.060.000 m<sup>3</sup>/ano entre Cidreira e Torres. Se analisarmos o contorno da linha de costa no primeiro intervalo, verificamos que se trata de uma região de morfologia positiva (projeção), a qual favorece a erosão. Este trecho corresponde também, as maiores taxas de erosão evidenciadas por Dillenburg *et al.* (2004). Nas outras áreas verificou-se uma diminuição significativa dos volumes transportados (mais da metade), onde são observadas reentrâncias (embaiamentos) na linha de costa. Os referidos volumes de transporte da deriva litorânea para a costa do Rio Grande do Sul evidenciado por Almeida (2001) encontram-se na figura 11.

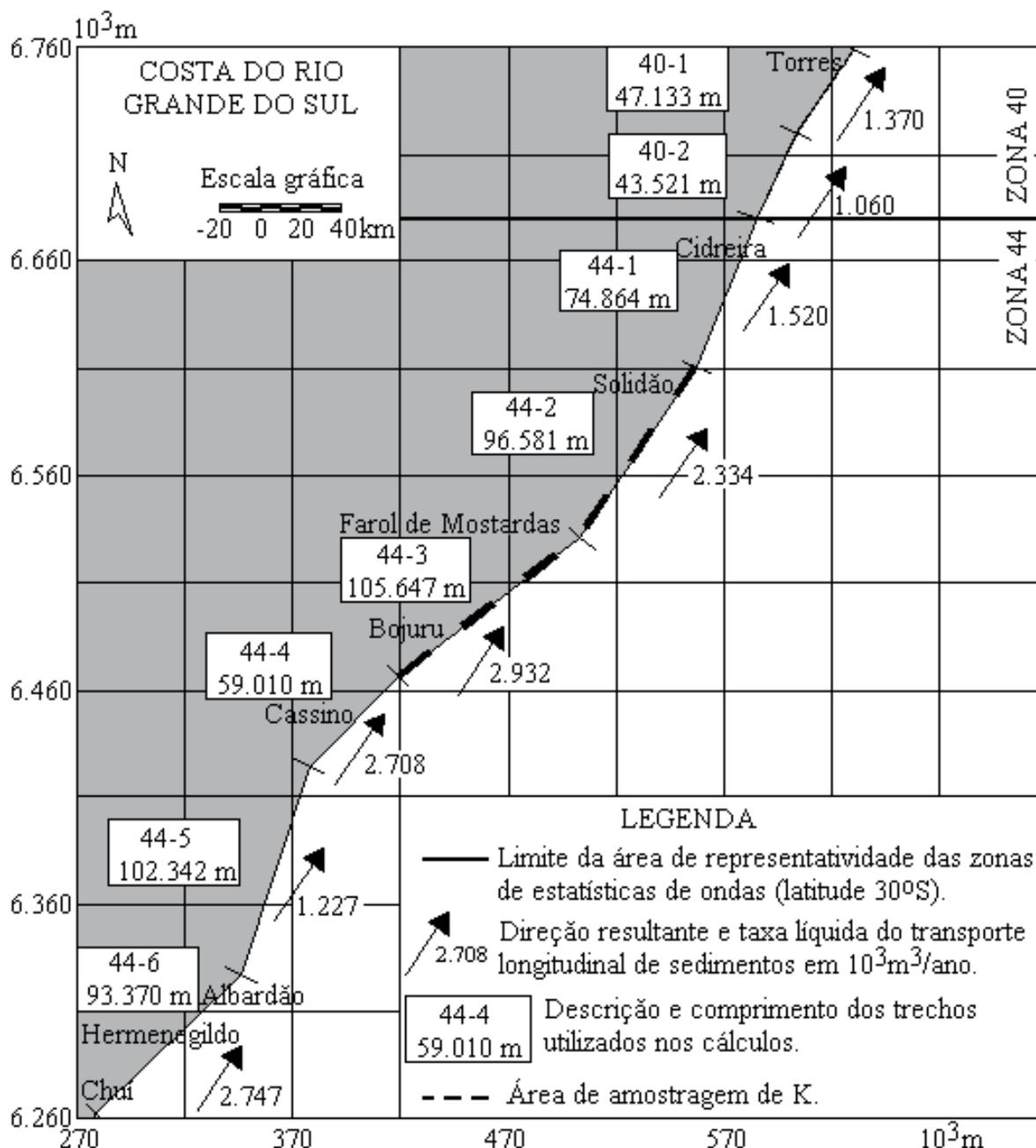


Figura 11: Imagem esquemática da linha de costa do Rio Grande do Sul com os volumes de sedimentos transportados pela deriva litorânea (extraído de Almeida *et al.* 2001). Na imagem é possível verificar a direção resultante do transporte de sedimentos (NE).

Na análise do mapa esquemática de Almeida *et al.* (2001) imagem podemos inferir aproximadamente quanto de volume sedimentar é deixado nos embaiamentos, através da subtração do volume sedimentar que chega ao embaiamento pelo que é diagnosticado dentro dele (valor relativamente inferior).

Assim chegamos a um resultado de 1.520.000 m<sup>3</sup>/ano para a região de Rio Grande (embaçamento sul) e 1.274.000 m<sup>3</sup>/ano para as proximidades de Torres (embaçamento norte).

O paleocontorno da linha de costa do Holoceno (11.700 A.P.) se comparada com a atual, percebe-se que não há grandes modificações nesse intervalo de tempo, a ponto de transformar o que eram projeções em embaçamentos ou embaçamentos em projeções. Assim esta monografia assume que as análises das descontinuidades do Holoceno podem ser realizadas através da linha de costa atual, tendo em vista que não será feito nenhum estudo mais complexo, e sim, somente uma verificação da existência de embaçamentos ou projeções.

Quando se observa a linha atual da costa da PCRS e sul da PCSC como um todo, é verificado uma grande projeção na região central e outro no limite sul da PCRS. Adjacente a projeção central são observados dois embaçamentos (Fig. 12).

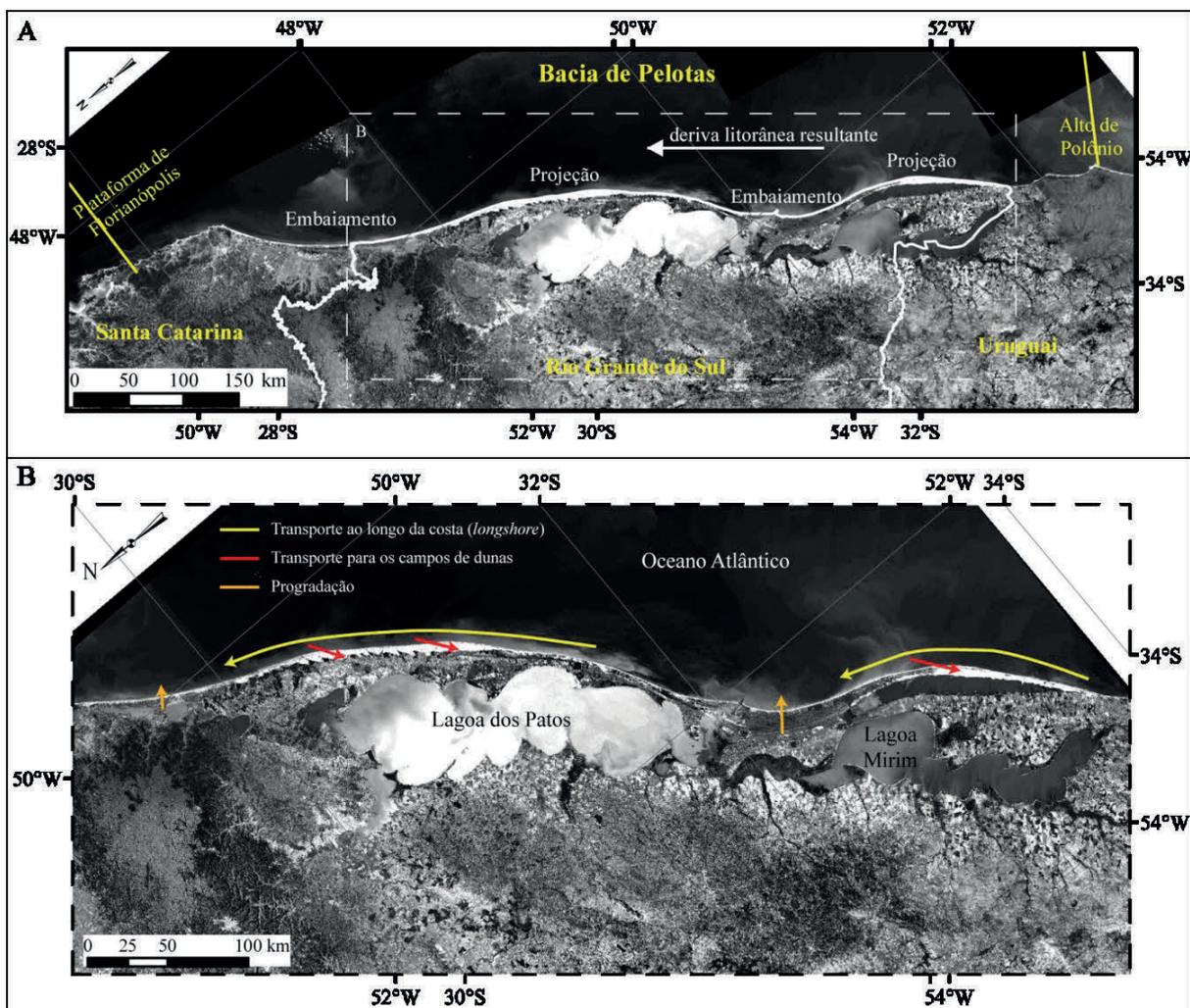


Figura 12: Imagem de satélite (ETM+sensor, Banda 2 -130° de inclinação) com localização da bacia costeira de Pelotas. Em A é possível observar as projeções costeiras, entre suaves embaixamentos e a deriva litorânea paralela a costa. Em B são indicadas as áreas em progradação, transporte dos sedimentos ao longo da costa e para os campos de dunas (extraído de Barboza, 2011).

Dillenburg *et al.* (2009) já separara em barreiras transgressivas entre Tramandaí e São José do Norte e regressivas de Tramandaí a Torres. As barreiras transgressivas delimitadas por Dillenburg coincidem exatamente com a projeção da linha de costa da PCRS, uma vez que a erosão é dominante nas projeções, os depósitos transgressivos são esperados. Já na região de Tramandaí a Torres tem-se um embaçamento, o qual esta monografia se referirá como embaçamento norte, que se prolonga até as proximidades de Jaguaruna/SC. Ao contrário das projeções, nos embaixamentos espera-se depósitos de características regressivas.

E ao sul de São Jose do Norte é observado um segundo embaiamento, ao qual será referido como embaiamento sul, que se estende até o início da Lagoa da Mangueira.

Desta forma, as três áreas de estudo estão inseridas em embaiamentos, os quais proporcionam um maior espaço de acomodamento e favorecendo a progradação das barreiras.

#### 4.4 Dinâmica dos Canais

Os estudos realizados com enfoque principal na influência do canal nos depósitos da barreira holocênica são bem escassos na PCRS. Os únicos trabalhos encontrados relacionados a uma das áreas de estudo foi realizado por Biancini *et al.* (2014) e Barboza *et al.* (2014).

O primeiro autor aborda “A influência do sistema fluvial na evolução da barreira regressiva Holocênica no sul do Brasil”, aplicado na região de Passo de Torres onde está presente o rio Mampituba. Biancini *et al.* (2014), através da fotointerpretação, furos de sondagem e perfis de GPR verificou que há uma interação do canal fluvial com os depósitos da barreira holocênica.

No perfil de GPR (Fig. 13) averiguou uma superfície erosiva entre os depósitos marinhos e fluviais. Esta superfície apresentou um truncamento de seus refletores com os do depósito marinho o que indica uma possível erosão dos depósitos da barreira.

Conchas do gênero *Donax sp.* foram observadas nas amostras do furo de sondagem. Este gênero é conhecido por habitar o ambiente marinho, mais precisamente na zona de intermaré (*foreshore*), e não é capaz de sobreviver em ambientes com água doce. Esta constatação indicou que o paleocanal teria uma conexão com o mar.

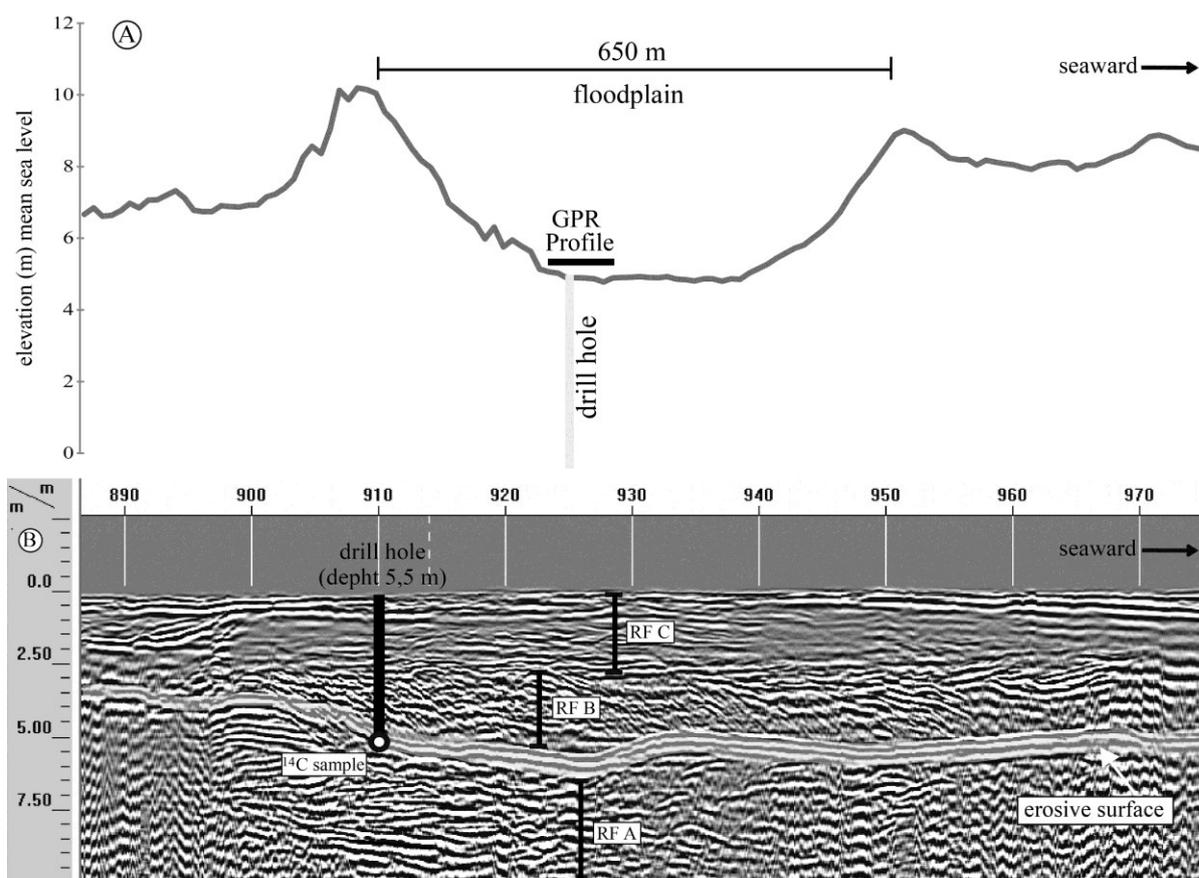


Figura 13: A) perfil topográfico DGPS cruzando o eixo maior do paleocanal, evidenciando a superfície de inundação (*floodplain*). B) perfil de GPR adquirido na frequência de 200 MHz, mostrando o furo de sondagem. A radar fácies A (RFA) é caracterizada por depósitos gerados em ambiente marinho raso. Esse depósito é truncado por uma superfície erosiva, interpretado como a base do paleocanal. RFB representa a fase inicial do preenchimento por areias fluviais e o RFC representa o preenchimento final por areias eólicas (extraído de Biancini *et al.*, 2014).

Biancini *et al.* (2014) aferiu que o paleocanal teve uma mudança de direção (Fig. 14), se apresentando de forma paralela a face da praia (SW - NE). A medida que a barreira holocênica progradava, a migração da desembocadura resultou na erosão desses depósitos. Podendo ter ocorrido por meio da alta precipitação mais a alta energia das ondas incidentes.

A datação das conchas, realizada pelo autor, verificou uma idade de 5,6 – 5,4 ka. Idades que estão relacionadas com o nível máximo do mar alcançado no último evento de transgressão marinha. De acordo com Angulo *et al.* (2006) o nível do mar

atingiu altitudes de  $2,1 \pm 1$  m mais alto que o atual em 5,6 ka AP, seguido de um lento rebaixamento.

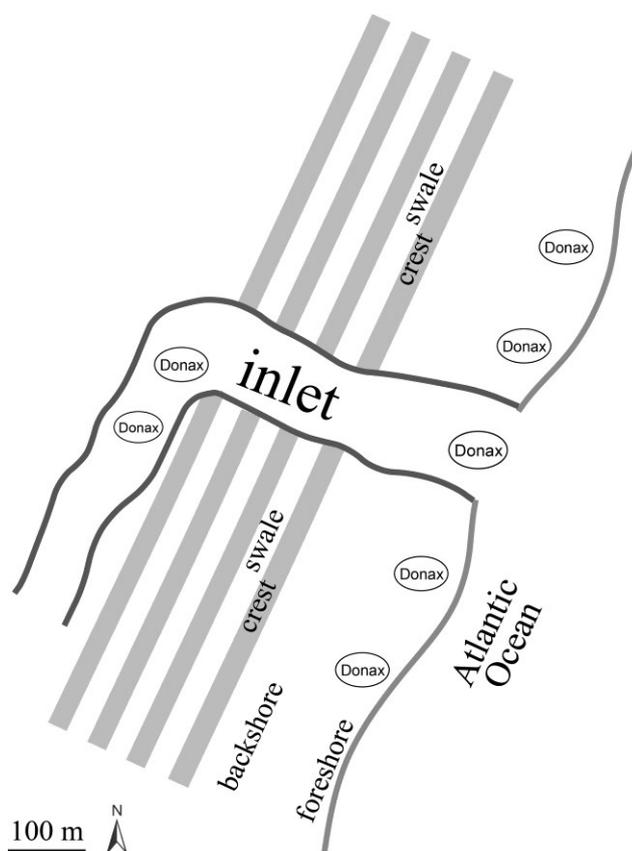


Figura 14: Figura ilustrativa mostrando o canal fluvial pretérito do Mampituba paralelo com a linha de costa, com orientação SO – NE. As conchas de *Donax* sp. que habitam o ambiente de antepraia (foreshore), foi carregado por toda a desembocadura (*inlet*), provavelmente com a influência de ondas de tempestade, e depositados na base do canal. Foram indicados ainda as feições dos cordões litorâneos cava (swale) e crista (crest) (extraído de Biancini *et al.*, 2014).

O autor, através do exercício da comparação, relaciona o paleocanal do rio Mampituba com o atual rio Araranguá que apresenta os mesmos padrões morfológicos. O rio Araranguá também foi usado como análogo para os paleocanais dos rios Mampituba e Madre por Barboza *et al.* (2014).

Barboza *et al.* (2014), por meio da extrapolação dos dados obtidos, simulou a progradação da barreira subsequente de Araranguá em 1 ka (Fig. 15) e a potencial preservação do registro de interdigitação entre os depósitos praias e fluviais.



Figura 15: Simulação de evolução da barreira em Araranguá em 1 ka (extraído de Barboza *et al.*, 2014).

De maneira geral, os canais que desaguam na PCRS tem uma forte influência nos depósitos da barreira holocênica, ao qual estão presentes. Tanto os rios Mampituba quanto Araranguá mostram-se como mecanismos erosivos e morfologia paralela a face praial.

Não foram encontrados trabalhos realizados na região de Rio Grande, com enfoque na relação do canal de desembocadura da Lagoa dos Patos com os depósitos de holocênicos de barreira.

## 5 DISCUSSÕES

A declividade da plataforma interna, de acordo com os trabalhos analisados, mostrou-se um fator determinante na morfologia da barreira, uma vez que interfere diretamente na relação de espaço de acomodação vertical *versus* espaço de acomodação horizontal.

Nas áreas de estudo foram verificados valores distintos de declividade que se mostraram diretamente correlacionáveis com sua extensão (largura) da barreira, apresentando valores maiores em Rio Grande (14 km), intermediários em Torres (5,5 km) e mais baixos em Araranguá (1,8 km), com respectivas inclinações de 0,03°, 0,06° e 0,1°.

Como esperado, nas localidades com maior extensão (largura) da barreira holocênica, foram exibidos os valores mais baixos de declividade. Como é o caso da área de Rio Grande, onde a plataforma interna em que se instalou a barreira IV proporcionou (através da baixa declividade) um maior espaço de acomodação na horizontal do que na vertical, fazendo com que os depósitos de cordões litorâneos avançassem em direção a bacia (oceano), gerando, então, uma progradação de 14 km.

Na região de Torres, que apresenta uma extensão intermediária da barreira, foi verificada uma declividade com mesma característica. Esta área apresentou uma plataforma interna com declividades duas vezes maior em relação à de Rio Grande, assim proporcionando um espaço de acomodação na vertical duas vezes maior que

o espaço de acomodação na horizontal que na primeira área, conferindo-lhe extensões menores da progradação (5,5 km).

Araranguá foi a localidade com as menores extensões verificadas que, por sua vez, inferiam uma maior declividade, e foi o que ocorreu. Com uma declividade da PI em torno de  $0,1^\circ$ , se correlacionada com Rio Grande, possibilitou a criação de aproximadamente o triplo de espaço de acomodação na vertical que na horizontal. Desta maneira sua progradação foi a menos expressiva das áreas estudadas, ficando em torno de 1,8 km.

O aporte sedimentar das três regiões apresentou semelhanças em alguns pontos e diferenças em outros. A semelhança está relacionada com a carga sedimentar provinda do transporte pela deriva litorânea, onde se exibiu como a mais influente nessas áreas. Fato que está profundamente relacionado com essas regiões estarem inseridas em embaiamentos da linha de costa, onde a energia das ondas é menor e conseqüentemente a deriva litorânea é mais fraca (menor energia de fluxo). Desta maneira, os sedimentos que se deslocam pela deriva do sul, chegam nesses embaiamentos e se depositam.

As outras formas de transporte de sedimentos até a linha de costa, remobilização da plataforma interna e sistemas fluviais, mostraram divergências.

A remobilização da plataforma interna por ondas gera um aporte de sedimentos (para a região costeira) mais significativo, quanto mais tempo durar a interação da onda com o fundo marinho. Este fato correlaciona-se diretamente com a declividade da plataforma interna que, ao exibir baixos valores, favorece a atuação das ondas por mais tempo, remobilizando mais sedimentos e sendo mais significativa para a evolução dos depósitos da barreira holocênica.

Deste modo, as áreas com maior influência do aporte sedimentar, através da remobilização de sedimentos remobilizados da PI são respectivamente: Rio Grande ( $0,03^\circ$  de declividade), Torres ( $0,06^\circ$  de declividade) e, por último, Araranguá ( $0,1^\circ$ ) sendo o menos favorecido em relação as duas primeiras.

Analisando a dinâmica dos canais presentes nas áreas de estudo foi observada grande semelhança de comportamento entre o rio Araranguá e o

Mampituba. Ambos se comportam como mecanismos erosivos dos depósitos da barreira holocênica.

A morfologia paralela em relação a face da praias apresentada pelos dois rios indica a importância da deriva litorânea nas desembocaduras presentes na PCRS. Uma vez instaladas na linha de costa, as desembocaduras são empurradas para o norte gerando uma barra adjacente, a qual cresce com mesmo sentido.

A migração da barra para o norte ocorre até que haja um rompimento da mesma. Este é causado provavelmente por motivos de alta precipitação - aumentando a energia de fluxo do rio - e/ou por ondas de tempestades - ultrapassando a altura da barra e causando erosão. Conseqüentemente é gerado um novo caminho que liga o canal com o mar, sobre a barra.

O rompimento da barra geralmente ocorre nas proximidades da inflexão do canal para o norte, onde ocorre uma concentração dos fatores expostos acima. Mas é importante ressaltar que nem sempre isso ocorre, como é observado em Araranguá (Fig. 16).



Figura 16: Comparação de imagens de satélite do Google Earth®. A primeira de 2010 mostrando a desembocadura logo a NE da inflexão do canal ao SE. O segundo indicando o rompimento da barra formada, gerando uma nova desembocadura mais ao sul da de 2010.

Com isso, os canais da área de estudo apresentam alta dinâmica sobre os depósitos da Barreira IV (holocênica), uma vez verificada a grande influência da deriva litorânea sobre esses canais.

A comparação das três áreas resultou em uma tabela comparativa (tabela 1), resumindo as informações e facilitando o exercício comparativo.

		<b>Rio Grande/RS</b>	<b>Torres/RS</b>	<b>Araranguá/SC</b>
<b>Declividade da Plataforma Interna</b>		Baixa	Média	Alta
<b>Paleocontorno da Linha de Costa</b>		Embaçamento	Embaçamento	Embaçamento
<b>Dinâmica dos Canais</b>		Baixa	Alta	Alta
<b>Aporte Sedimentar</b>	Fluvial	Baixo	Baixo	Baixo
	Remobilização da Plataforma Interna	Alta	Média	Baixa
	Deriva Litorânea	Alta	Alta	Alta

Tabela 1: Tabela com os fatores modificadores de morfologia por região estudada, reunindo os principais resultados estabelecidos.

## 6 CONCLUSÕES

A declividade da plataforma interna mostrou-se importante influência para os depósitos da barreira holocênica. Uma vez que está diretamente ligado as dimensões que este tipo de depósito apresenta.

O aporte sedimentar proveniente da deriva litorânea foi reconhecido como o mais importante para as áreas estudadas.

Os embaiamentos do paleocontorno da linha de costa, os quais são verificados na área de estudo, auxiliam na progradação da barreira holocênica.

Os canais presentes apresentam grande dinâmica no setor costeiro, deixando como registro superfícies erosivas, além do pacote sedimentar fluvial.

A compilação bibliográfica lucidou a relação dos fatores modificadores da barreira, permitindo assim um entendimento mais avançado do que acontece na planície costeira do Rio Grande do Sul no Holoceno.

O sensoriamento remoto mostrou-se muito útil para a visualização de modificações através do tempo, ajudando no reconhecimento da evolução costeira.

A deriva litorânea se apresentou como importante fator de modificação de linha costeira, dentro da escala de tempo estudada (Holoceno), através da erosão das projeções e deposição nos embaiamentos.

O estudo de comparação das áreas analisadas revelou o grande número de fatores responsáveis por modificar a morfologia dos depósitos de barreira. Não existindo um único, mas sim uma relação entre eles que em alguns casos (como o desta monografia) é reconhecido um mais importante (ou influenciador), de acordo com a característica que é analisada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, L. E. S. B., LIMA, S. F., & TOLDO JR, E. E. (2001). Estimativa da capacidade de transporte de sedimentos a partir de dados de ondas para a costa do Rio Grande do Sul. In **Resumos do 8º Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário** (pp. 59-60).
- ANGULO R.J.; LESSA G.C.; SOUZA M.C. 2006. A critical review of the mid – to late Holocene sea-level fluctuations on the eastern Brazilian coastline. **Quaternary Science Reviews** **25**: p. 486-506.
- ARONOFF, S. 1989. **Geographical Information Systems: a management perspective**. Ottawa, WDI Publications.
- BARBOZA, E.G., ROSA, M.L.C.C., HESP P.A., DILLENBURG, S.R., TOMAZELLI, L.J. AND AYUP-ZOUAIN, R.N., 2011. Evolution of the Holocene Coastal Barrier of Pelotas Basin (Southern Brazil) – a new approach with GPR data. **Journal of Coastal Research**, SI 64, 646-650.
- BARBOZA, E.G.; ROSA, M.L.C.C.; DILLENBURG, S.R.; BIANCINI DA SILVA, A., TOMAZELLI, L.J., 2014. **Stratigraphic analysis applied on the recognition of the interface between marine and fluvial depositional systems**. In: Green, A.N. and Cooper, J.A.G. (eds.), Proceedings 13th International Coastal Symposium (Durban, South Africa), Journal of Coastal Research, Special Issue No. 70, pp. 687-692, ISSN 0749-0208.
- BIANCINI, A., em produção. **Análise Geomorfológica e Estratigráfica de Barreiras Costeiras Regressivas Desenvolvidas Durante o Holocênio**. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre-RS. Tese de Doutorado.

- BIANCINI, A.; BARBOZA, E. G.; ROSA, M. L. C.; & DILLENBURG, S. R. (2014). Meandering fluvial system influencing the evolution of a Holocene regressive barrier in southern Brazil. **Journal of Coastal Research**, 205-210.
- BURROUGH, P. A. 1983. **Principles of Geographic Information Systems for land resources assessment**. Oxford, Oxford University Press.
- CÂMARA, G. & QUEIROZ, G.R. 2001. **Arquitetura de Sistemas de informações Geográfica**. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap3-arquitetura.pdf>. Acesso em 25/10/2014.
- CÂMARA, G., & DAVIS, C. (2012). Definições de Geoprocessamento; Conceitos básicos de um SIG. Câmara, Gilberto; Davis, Clodoveu; Monteiro, Antônio Miguel Vieira. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>. Acesso em, 24/09/2014.
- CLEROT, L. C. P., MEDEANIC, S., TORGAN, L. C., & DILLENBURG, S. R. (2003). Estudo da barreira IV na região do Cassino, Rio Grande, RS: evolução e caracterização como reservatório. **Salão de Iniciação Científica** (15: 2003: Porto Alegre). Livro de resumos. Porto Alegre: UFRGS, 2003.
- DIEHL, F.L. & HORN, Fº, N.O. 1996. Compartimentação geomorfológica da zona litorânea e planícies costeiras do Estado de Santa Catarina. **Notas técnicas 9**, Ceco, UFRGS. Porto Alegre, p. 39-50.
- DILLENBURG, S.R.; TOMAZELLI L.J. & BARBOZA E.G. 2004. Barrier evolution and placer formation at Bujuru southern Brazil. **Marine Geology**, Amsterdam, 203; 43-56.
- DILLENBURG, S. R., BARBOZA, E. G., TOMAZELLI, L. J., AYUP-ZOUAIN, R. N., HESP, P. A., & CLEROT, L. C. (2009). The Holocene Coastal Barriers of Rio Grande do Sul. In **Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil** (pp. 53-91). Springer Berlin Heidelberg.
- HASENACK, H. & FERRARO, L.W. 1989. Considerações sobre o clima na região de Tramandaí. **Pesquisas**, 22: 53-70
- <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/> visitado em 24/10/2014.
- MARTIN, L; SUGUIO, K.; FLEXOR, J.M.; AZEVEDO, A.E.G. 1988. **Mapa Geológico do Quaternário Costeiro dos Estados do Paraná e Santa Catarina**. Brasília,

DNPM, 40p. 2 mapas. Escala 1:200.000. Série Geológica (28), Seção Geológica Básica (18).

NIMER, E. 1977. Clima. In: IBGE – **Geografia do Brasil, Região Sul**. SERGRAF-IBGE, Rio de Janeiro, p. 35-79.

NIMER, E. 1979. **Climatologia**. 2ª Ed., IBGE, 422p.

NOVO, E.M. L. M. 1989. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo, Ed. Edgar Blucher. 308p.

NOVO, E. M. L. M. 2008. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. São Paulo, Ed. Edgar Blucher.

QUEIROZ, C.J. 2003. **Análise de transformações geométricas para o georreferenciamento de imagens do satélite CBERS-I**. Dissertação de Mestrado. UFRGS – CEPSRM, 2003.

ROSA, M.L.C.C., 2012. **Geomorfologia, estratigrafia de sequências e potencial de preservação dos sistemas laguna-barreira do Quaternário costeiro do Rio Grande do Sul**. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre-RS. Tese de Doutorado. 246p.

TOMAZELLI, L.J. & VILLWOCK, J.A. 2000. O Cenozóico no Rio Grande do Sul: Geologia da Planície Costeira. In: Holz, M. & De Ros, L.F. (Eds.), **Geologia do Rio Grande do Sul**. Edições CIGO/UFRGS, Porto Alegre, p.375-406.

VILLWOCK, J.A. & TOMAZELLI, L.J. 1995. Geologia costeira do Rio Grande do Sul. **Notas Técnicas 8**, CECO, UFRGS, Porto Alegre, 45p.