



**RETROGRADAÇÃO DO SISTEMA COSTEIRO DA PRAIA GRANDE, SC:  
SUBSÍDIOS PARA GESTÃO COSTEIRA INTEGRADA**

Porto Alegre, 2015

**GABRIEL ALEXANDRE BONFADA DE SOUZA**

**ESTRATIGRAFIA E EVOLUÇÃO DA PRAIA GRANDE, SC: SUBSÍDIOS PARA  
GESTÃO COSTEIRA INTEGRADA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático em Geologia III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Guimarães Barboza  
Coorientador: Prof. Dr. Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Porto Alegre, 2015

# UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

**Reitor:** Carlos Alexandre Netto

**Vice-Reitor:** Rui Vicente Oppermann

## INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**Diretor:** André Sampaio Mexias

**Vice-Diretor:** Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Souza, Gabriel Alexandre Bonfada de

Retrogradação do sistema costeiro da Praia Grande, SC: subsídios para gestão costeira integrada . / Gabriel Alexandre Bonfada de Souza. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2015.  
[47 f.] il.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso).- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Graduação em Geologia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2015.

Orientador(es):Eduardo Guimarães Barboza  
Coorientador(es):Nelson Luiz Sambaqui Gruber

1. Retrogradação 2. Georradar 3. Campo de dunas transgressivo 4. Gerenciamento costeiro integrado I. Título.

CDU 55

---

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Veleida Ana Blank

CRB 10/571

**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 “Estratigrafia e evolução da Praia Grande, SC: subsídios para gestão costeira integrada”, elaborado por Gabriel Alexandre Bonfada de Souza, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

***Comissão Examinadora:***

---

Carla E. de Barros

---

Jair Weschenfelder

---

Ricardo Baitelli

*“Emancipate yourself from mental slavery.  
None but ourselves can free our minds.  
Have no fear for atomic energy,  
Cause none of them can stop all the time. ”*

**Bob Marley**

## RESUMO

O presente trabalho disserta sobre a evolução da barreira holocênica na praia Grande, município de Laguna, litoral centro sul de Santa Catarina. Devido à ausência de aporte sedimentar fluvial para a alimentação do campo de dunas, entende-se que a área fonte dos sedimentos provenha da erosão dos sedimentos da linha de costa, ocasionando sua transgressão. Devido a isso, um padrão de empilhamento retrogradacional é esperado no registro estratigráfico em subsuperfície. Para corroborar essa hipótese, doze perfis geofísicos de subsuperfície (radargramas) foram levantados utilizando um Georradar (*Ground Penetrating Radar, GPR*). Das doze seções perfiladas, três se mostraram de boa qualidade, fornecendo perfis representativos da arquitetura deposicional primária. Por meio da interpretação destes radargramas, depósitos de margem lagunar puderam ser visualizados, na forma de refletores oblíquos de médio ângulo mergulhando no sentido do continente. Entende-se que sejam refletores formados pela deposição de areia provinda do transporte eólico da barreira adjacente diretamente no corpo lagunar. Um modelo evolutivo para os últimos episódios da evolução holocênica da área estudada foi proposto, em que a linha de costa era mais adiantada *offshore* e a lagoa possuía maior área. Os resultados permitiram evidenciar um padrão de empilhamento retrogradacional no registro estratigráfico em subsuperfície da área estudada, evidenciado pela visualização do sistema lagunar abaixo do atual sistema eólico. Assim, com este subsídio é possível prever o comportamento da linha de costa para a região, caracterizando um setor problemático com relação à erosão costeira. Uma vez identificado o problema, o estudo promove uma informação importante para os gestores costeiros.

**Palavras chave:** linha de costa, planície costeira de SC, georradar, retrogradação, campo de dunas transgressivo, gerenciamento costeiro integrado.

## **ABSTRACT**

The present study discusses the Praia Grande Holocene barrier evolution. Praia Grande is a beach located at the southern portion of the coast of the Santa Catarina State, Brazil. The sediment supply for the transgressive dune field, observed in the study area, is believed to be coming from the coastline sediments erosion, causing its transgression. Due to this process, a retrogradational stacking pattern is expected for the stratigraphic record in this area. To support the hypotheses, twelve underground geophysical profiles (radargrams) were acquired utilizing a Ground Penetrating Radar (GPR). Three radargrams showed satisfactory images of the primary depositional structures. By interpreting these radargrams, reflectors of the paleo lagoon filled with sands from the eolic system were seen. It is thought that the reflectors are formed by the adjacent barrier sands being brought by the Eolic system inside the paleo lagoon by its east margin. A model was proposed for the last episodes of the Holocene evolution. This model, far back in time, is represented by the Barrier/Eolic system outside the lagoon depression, seaward; the coastline was also more advanced seaward. With the time passing, the barrier invaded the lagoon margin causing the retrogradation of the system. Therefore, the results showed a retrogradational stacking pattern for the stratigraphic record, represented by the lagoon system below the present Eolic system. Thus, the coastline behavior can be predicted, and the prediction indicates that this sector has problems related to coastline erosion. This information will provide an important knowledge for the management of this coastal sector.

**Keywords:** Coastline, Santa Catarina coastal plain, retrogradation, transgressive dunefields.

## LISTA DE FIGURAS:

<b>Figura 1:</b> Área de estudo Acima- Imagem formada pela composição das bandas 4, 3 e 2 do satélite <i>Landsat 8</i> fusionada com o produto SRTM (Shuttle radar topography Mission) de elevação de terreno. Possui exagero vertical de 15 vezes.....	11
<b>Figura 02:</b> Área de estudo. Imagem do satélite <i>Landsat 8</i> . Composição cor real a esquerda e falsa cor a direita. Fonte: Internet, site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (United States Geological Survey, USGS) .....	17
<b>Figura 03:</b> Vista panorâmica do sistema Laguna-Barreira, na praia Grande, a partir do flanco norte do Cabo de Santa Marta. Fonte: Giannini (1993) .....	18
<b>Figura 04:</b> vista do sistema barra barreira a partir do flanco norte do cabo de Santa Marta. Laguna de Santa Marta ao fundo. Fonte: Foto da pesquisa (2015).....	18
<b>Figura 05:</b> Campo de dunas transversais, dunas barcanóides subordinadas. Pontal rochoso que divide as praias Grande, a Sul, e Galheta. Fonte: Dillenburg & Hesp (2009).....	19
<b>Figura 06:</b> Mapa Geológico da região entre Jaguaruna e Imbituba. Fonte: modificado de Giannini (1993).....	21
<b>Figura 07:</b> Aquisição de dados de Georradar com ponto individual de levantamento, mostrando os componentes e configuração de refletores em subsuperfície. Fonte: Modificado de Neal, 2004.....	25
<b>Figura 08:</b> os quatro tipos principais de aquisição de dados geofísicos de reflexão. T= transmissora, R= receptora. Extraído de Neal (2004) .....	27
<b>Figura 09:</b> espectro eletromagnético. Fonte: Mundogeo.com.....	28
<b>Figura 10:</b> Princípio de funcionamento do sensoriamento remoto: Interação Sol - Terra - Satélite. Fonte: Parqueaciencia.blogspot.com.....	28
<b>Figura 11:</b> Mapa de localização dos perfis levantados. Fonte: Banco de dados do software ArcGis®.....	31
<b>Figura 12:</b> Radargrama de número 12. Setas indicam padrão da direção de mergulho destes refletores.....	34



<b>Figura 13:</b> radargrama 12 com as fácies identificadas em evidência e alguns refletores em destaque.....	34
<b>Figura 14:</b> Seção geofísica de número 07. Setas em amarelo indicam padrão da direção de mergulho destes refletores.....	35
<b>Figura 15:</b> Radargrama 07 com as fácies identificadas em evidência e alguns refletores em evidência.....	35
<b>Figura 16:</b> Seção geofísica de número 04. Setas em amarelo indicam padrão da direção de mergulho destes refletores.....	36
<b>Figura 17:</b> Radargrama 07 com as fácies identificadas em evidência e alguns refletores em evidência.....	36
<b>Figura 18:</b> Carta imagem demonstrando a localização das feições arenosas depositadas sob influência lagunar. Fonte: Banco de dados do software ArcGis.....	39
<b>Figura 19</b> – Paleogeografia da Praia Grande. Há milhares de anos, a linha de costa era mais oceano afora. A margem lagunar leste se encontrava também mais próxima do oceano. Fonte: Banco de dados do software ArcGis.....	42

**LISTA DE QUADROS:**

**Quadro 01:** Radarfácies identificadas e descritas, definidas com base nas características propostas por Neal (2004).....32

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	10
1.1	PREMISSAS .....	10
1.2	HIPÓTESES.....	12
1.3	METAS E OBJETIVOS .....	12
2	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA ÁREA .....	16
2.1	CONTEXTO GEOLÓGICO .....	19
2.2	CLIMA .....	21
2.3	INFLUXO FLUVIAL .....	22
2.4	POTENCIAL DE DERIVA EÓLICA.....	22
2.5	MARÉS E ONDULAÇÃO .....	22
2.6	DERIVA LITORÂNEA.....	23
2.7	NÍVEL RELATIVO DO MAR (NRM) .....	23
3	MÉTODOS .....	24
3.1	PESQUISA BIBLIOGRÁFICA .....	24
3.2	GEORRADAR - GROUND PENETRATING RADAR (GPR).....	24
3.2.1	APLICAÇÃO:.....	27
3.3	SENSORIAMENTO REMOTO .....	27
3.3.1	APLICAÇÃO .....	28
3.4	SISTEMA GLOBAL DE POSICIONAMENTO .....	29
4	RESULTADOS.....	30
4.1	RADARGRAMAS .....	33
4.1.1	RADARGRAMA 12.....	33
4.1.2	RADARGRAMA 07 .....	34
4.1.3	RADARGRAMA 04 .....	35
5	DISCUSSÕES.....	37
5.1	REGISTRO ESTRATIGRÁFICO .....	38
5.2	SISTEMA LAGUNAR .....	38
5.3	SISTEMA EÓLICO .....	39
5.4	GERENCIAMENTO COSTEIRO INTEGRADO.....	40
5.5	MODELO EVOLUTIVO .....	41
6	CONCLUSÕES .....	43

## 1 INTRODUÇÃO

O Litoral de Santa Catarina tem características muito particulares. Villwock (1994) descreve seu setor costeiro como:

“Um conjunto de terras altas constituídas pelo embasamento cristalino granito gnáissico, cujas escarpas chegam até o mar constituindo promontórios rochosos, ornamentados por costões, que se alternam com reentrâncias, quase sempre tectonicamente controlados. Nelas, associadas ou não à desembocadura dos principais sistemas fluviais que chegam ao oceano, ocorrem pequenas planícies costeiras compostas por sistemas laguna/barreira, simples ou múltiplos, ou por sistemas de cordões litorâneos regressivos, pleistocênicos e holocênicos, ou somente holocênicos, parcialmente retrabalhados pelo vento. Algumas barreiras arenosas isolam áreas lagunares de pequeno porte onde, quase sempre, se desenvolvem manguezais.”

A área de estudo, representada pela Praia Grande (Figura 01), ao norte do Cabo de Santa Marta, município de Laguna, é uma praia majoritariamente dissipativa onde um campo de dunas ativo está presente entre um corpo lagunar e o oceano, representando um sistema Laguna Barreira clássico definido na literatura. É ancorada tanto a sul quanto a norte por promontórios rochosos do embasamento cristalino granítico gnáissico.

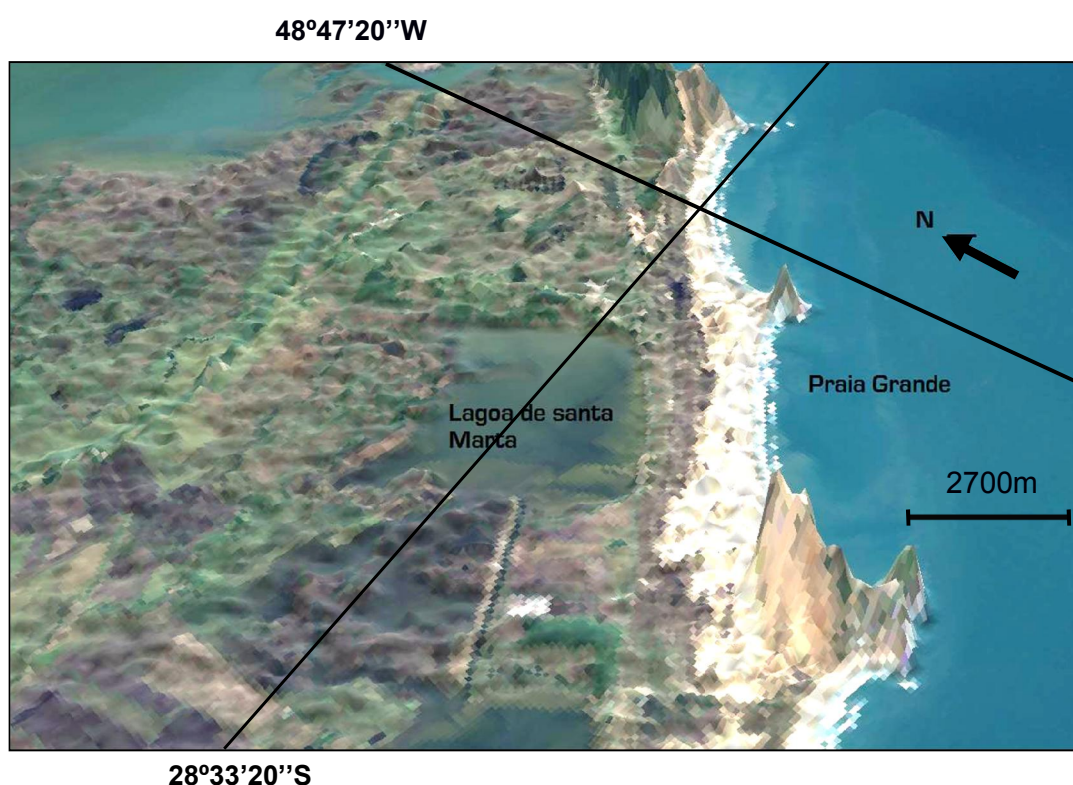
### 1.1 PREMISSAS

A área do presente estudo é carente de aporte sedimentar fluvial (Toldo et al. 2006, *apud* Motta, 2012; Giannini, 1993; Giannini *et al.* 2007). Sedimentos não

chegam às praias nem por deriva litorânea de praias adjacentes nem por rios, pois toda carga de tração do sistema de drenagem interior fica retida nas lagoas adjacentes (Giannini, 1998). Apesar do aporte sedimentar das terras altas ser inexistente, um proeminente campo eólico é observado na região do estudo.

A permanência da atuação dos fatores acima mencionados somados à presença de um campo de dunas de grande porte são indícios de transgressão da linha de costa e padrão de empilhamento retrogradacional (Barboza *et al.*, 2009; Barboza *et al.*, 2010; Barboza & Rosa, 2014; Silva *et al.*, 2010; Dillenburg *et al.*, 2004; Caron *et al.*, 2010).

A área de estudo apresenta uma depressão lagunar na retaguarda do campo de dunas. A erosão da linha de costa, com conseqüente transporte da zona de praia e ante praia para a depressão lagunar, além de gerar um padrão de empilhamento retrogradacional, é também o mecanismo responsável pela geração de camadas refletoras oblíquas mergulhando no sentido do continente, em perfis geofísicos de subsuperfície (Barboza *et al.*, 2011).



**Figura 1:** Área de estudo. Imagem formada pela composição das bandas 4, 3 e 2 do satélite *Landsat 8* fusionada com o produto SRTM (Shuttle radar topography Mission) de elevação de

terreno. Possui exagero vertical de 15 vezes. Fonte: Serviço geológico dos Estados Unidos da América (USGS).

## **1.2 HIPÓTESES**

Baseado nas premissas acima expostas e considerando as características fisiográficas da região, o presente estudo busca confirmar a hipótese de que o registro em subsuperfície apresenta padrão de empilhamento retrogradacional.

## **1.3 METAS E OBJETIVOS**

Observando a fisiografia da área de estudo, a meta é identificar no registro em subsuperfície as camadas depositadas na margem lagunar, que hoje se encontra colmatada pelo aporte de areias provindas do sistema eólico adjacente.

Para isso, o objetivo principal do trabalho é obter um imageamento de boa qualidade em subsuperfície.

## **1.4 JUSTIFICATIVA**

Em vários setores costeiros do litoral de Santa Catarina, do Rio Grande do Sul, e de outras partes do mundo, levantamentos geofísicos utilizando o Georradar vêm sendo executados. Dentre os objetivos desses levantamentos, está o de reconhecer o padrão de empilhamento dos setores costeiros.

Até então, na área de estudo, nenhum dado geofísico de subsuperfície havia sido adquirido; o padrão de empilhamento e o comportamento da linha de costa permaneciam incertos.

Decorrente disso ocorre o desejo do presente estudo em reconhecer o comportamento estratigráfico de subsuperfície, se progradacional ou retrogradacional, através de imagens de subsuperfície utilizando o Georradar.

Além da questão científica acima exposta, as conclusões que o presente estudo vai expor diz respeito à população. A maioria das regiões costeiras do litoral centro sul de Santa Catarina concentram um número expressivo de habitantes durante o ano todo, e no verão, essa população multiplica de tamanho. Estas regiões são

muito visadas por imobiliárias e principalmente construtoras, que buscam ampliar seus lucros, sem levar em consideração nenhum fator ambiental/natural.

A realização deste estudo permitiu prever o comportamento da linha de costa. Sendo, portanto, crucial para o gerenciamento costeiro integrado. Que contará com mais dados para embasar suas decisões.

Ao testar a hipótese para a área de estudo em questão, o presente estudo levou em consideração todos os fatores ambientais e naturais envolvidos, e regido pelo método científico, chegou aos resultados expostos. Por isso, o planejamento costeiro deve levar em consideração os resultados e conclusões alcançados por este estudo.

Portanto, é fundamental para planejamento ambiental a realização de estudos científicos para embasar suas decisões; e é com base nisso, que o presente estudo disponibiliza esta contribuição aos órgãos gestores.

## **1.5 TRABALHOS ANTERIORES**

Um dos primeiros estudos específicos sobre depósitos sedimentares quaternários na área de estudo foi empreendido por Guerra (1950 b). Nesse trabalho é apresentada em mapa a distribuição faciológica simplificada. Ainda neste estudo o autor apenas distingue áreas de “planície litorânea” e de “banhados”. É mencionada a existência de “invasão de afloramentos de granito pelas dunas”, fato esse observado nos dias de hoje na porção Sul da Praia Grande do Norte.

Um mapa mais detalhado da mesma área foi apresentado por Pimienta (1958), em que atribui a formação da planície litorânea à regressão que sucedeu a “Transgressão Flandriana” e supôs sua inteira cobertura por sedimentos de idade holocênica. Suposição por ele mesmo descartada; posteriormente reconheceu que parte significativa da areia holocênica deve ter provindo do retrabalhamento de sedimentos pleistocênicos preexistentes na plataforma continental ou na própria planície. De forma resumida, a concepção de Pimienta (1958) sobre a história sedimentar da área de estudo, pode ser, segundo o autor, enumerada em quatro fases evolutivas: uma primeira de transgressão marinha e três de “aluvionamento”. Na fase inicial a “Transgressão Flandriana” teria provocado a abrasão e inundação da planície até a base atual das zonas serranas de rochas pré-cambrianas. Em sequência ao primeiro estágio, o subsequente aluvionamento formou uma planície de “restingas” (cordões) isolando lagunas; na etapa seguinte, o delta do rio Tubarão progradou,

entulhando parte dos corpos lagunares; e, no último estágio, dunas eólicas avançaram através das planícies “deltaica” (ante barreira) e de “restingas”, criando a paisagem atual.

Entre o final da década de 1960 e o início da década de 1970, a região costeira de Imbituba à Jaguaruna e arredores foi objeto de trabalhos sistemáticos de cartografia geológica executados pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Esta bibliografia resumia o conhecimento cartográfico existente para a época sobre a área de estudo e se encontra compilado em publicações referentes a Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo (Mônaco *et al.* 1974, *apud* Giannini, 1993; Willig *et al.* 1974, *apud* Giannini, 1993). Estas publicações enfatizavam as potencialidades econômicas da planície litorânea, pouco contribuindo na separação de unidades faciológicas.

Sugio *et al.* (1986) e Martin *et al.* (1986) propuseram um novo esquema evolutivo, em que separam as unidades quaternárias em idades holocênica, pleistocênica e indiferenciada, e também descrevem as litologias (ou sedimentos inconsolidados), de modo que entre Jaguaruna e Imbituba reconhecem quatro unidades. Na área do presente estudo os autores descrevem como “areias marinhas litorâneas” superpostas por dunas ativas e estabilizadas.

Giannini (1993), reconheceu e descreveu, em superfície, quatro tipos de sistemas deposicionais que se formam em resposta a uma sucessão de eventos regressivos transgressivos do nível relativo do mar, são eles: barreira, planície costeira, lagunar e eólico.

Atualmente, estudos relacionados com a gênese dos sistemas costeiros têm empregado a utilização do Georradar em estudos de depósitos holocênicos (Lima, 2008; Barboza *et al.* 2009a, 2009b, 2010 e 2011; Silva, 2009 e 2011; Silva *et al.* 2010; Manzolli *et al.* 2010; Caron *et al.* 2010; Lima *et al.* 2011 e 2012; Dillenburg *et al.* 2011).

Atualmente tem se buscado o entendimento da evolução costeira através dos conceitos da Estratigrafia de Sequências (Tomazelli *et al.*, 2008, *apud*; Rosa, 2010, *apud* Rosa, 2012; Rosa *et al.*, 2011a e b, *apud* Rosa, 2012; Rosa *et al.*, no prelo, *apud* Rosa, 2012).

Os trabalhos de Barboza *et al.* (2010; 2011) demonstram, na planície costeira do Rio Grande do Sul, utilizando Georradar, que setores costeiros conhecidamente retrogradantes apresentam refletores mergulhando no sentido do continente.



Na região compreendida entre Laguna e Imbituba, Giannini *et al.* (2007), através de datações por termoluminescência e termoluminescência opticamente estimulada, distinguem duas sequências de depósitos eólicos, separados por uma inconformidade, sendo o depósito mais antigo correlacionado com a subida do nível do mar durante o último interglacial, e o mais jovem correlacionado com a subida do nível do mar após o último glacial, se estendendo até as dunas ativas de hoje. A correspondência entre os dois episódios de deposição eólica representadas por essas duas sequências se dá através de um modelo conceitual em que se associa a disponibilidade de sedimentos costeiros para transporte eólico com a variação relativa do nível do mar. Essa relação pode ser usada para integrar sistemas eólicos costeiros aos modelos da estratigrafia de sequências.

## 2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA ÁREA

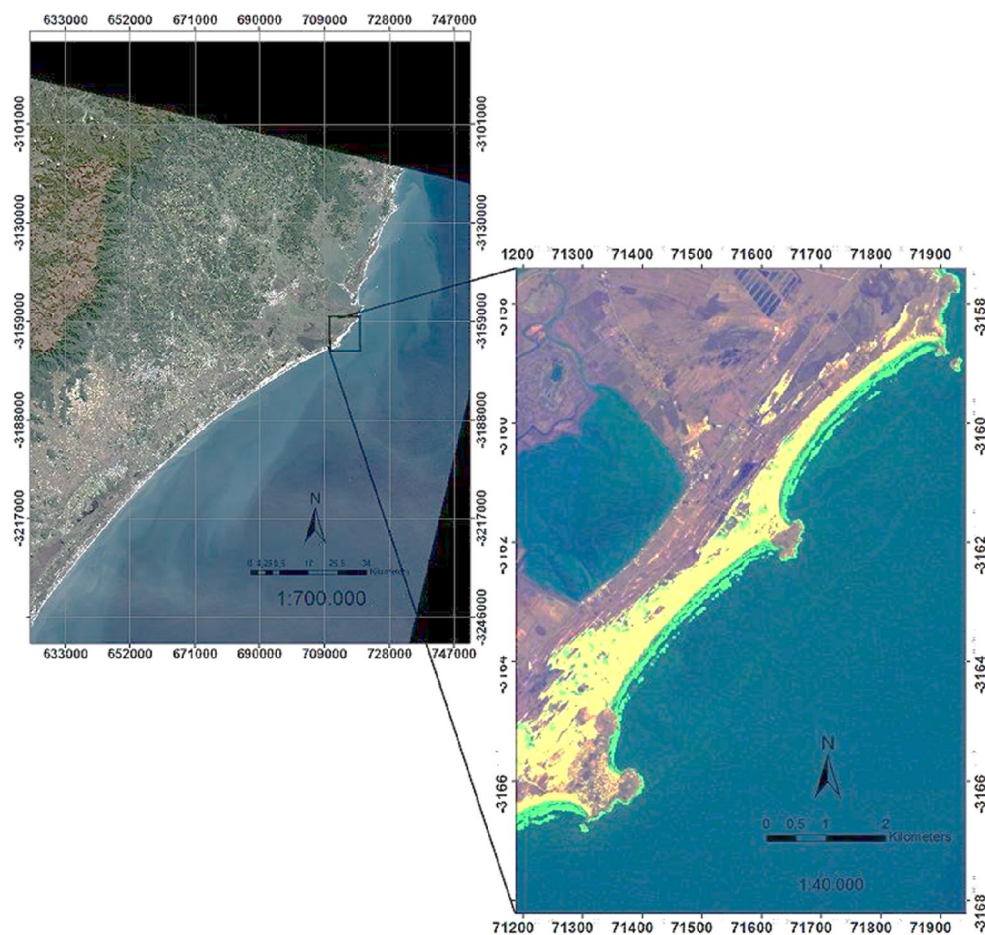
A área de estudo é composta pela Praia Grande do Norte, ou simplesmente Praia Grande/Laguna/SC. Possui em sua retaguarda o maior campo de dunas de Santa Catarina (Figura 02). Se localiza a pouco mais de 3 km ao norte do cabo de Santa Marta Pequeno.

A Praia Grande (Figura 03), de acordo com Giannini (1993), é predominantemente dissipativa na classificação de Wright *et al.* (1979), *apud* Giannini, 1993.

A Praia Grande (Figura 04) é composta por dunas transversais lineares, sendo caracterizada por abundância de areia e intenso desenvolvimento de dunas transversais, devido ao efeito de anteparo fixo exercido na extremidade sul pelo morro de Santa Marta Grande (Giannini, 1993).

De acordo com Fischer (1983), *apud* Giannini (1993), dunas barcanas têm sua ocorrência favorecida pela presença de áreas planas livres, com aporte moderado de areia. Estas condições foram alcançadas localmente na parte sul da praia da Galheta, praia adjacente à praia Grande, onde a menor disponibilidade de areia devido à deriva litorânea rumo norte e a desvegetação artificial promovida nos arredores de um núcleo de habitação permitiram a formação de um pequeno campo de barcanas (Giannini, 1993) (Figura 05).

O fluxo de água doce se dá somente a extremo sul da praia Grande do Norte, sendo representado por córregos de drenagem em pontas e costões cristalinos (Giannini, 1993).



**Figura 02** – Área de estudo. Fuso 22 S. Imagem do satélite Landsat 8. Composição cor real a esquerda e falsa cor a direita. Fonte: Internet, site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (*United States Geological Survey, USGS*).



**Figura 03-** Vista panorâmica do sistema Lagoa-Barreira, a partir do promontório rochoso Sul da Praia Grande. Fonte: Giannini (1993).



**Figura 04** – vista do sistema Lagoa Barreira, a partir do promontório rochoso Sul a que se ancora a Praia Grande. Lagoa de Santa Marta ao fundo. Fonte: acervo pessoal (2015).



**Figura 05** – Fotografia mostrando Campo de dunas transversais e dunas barcanóides subordinadas; Pontal rochoso que divide as praias Grande, ao topo da foto, e Galheta. Fonte: Dillenburg & Hesp (2009).

## 2.1 CONTEXTO GEOLÓGICO

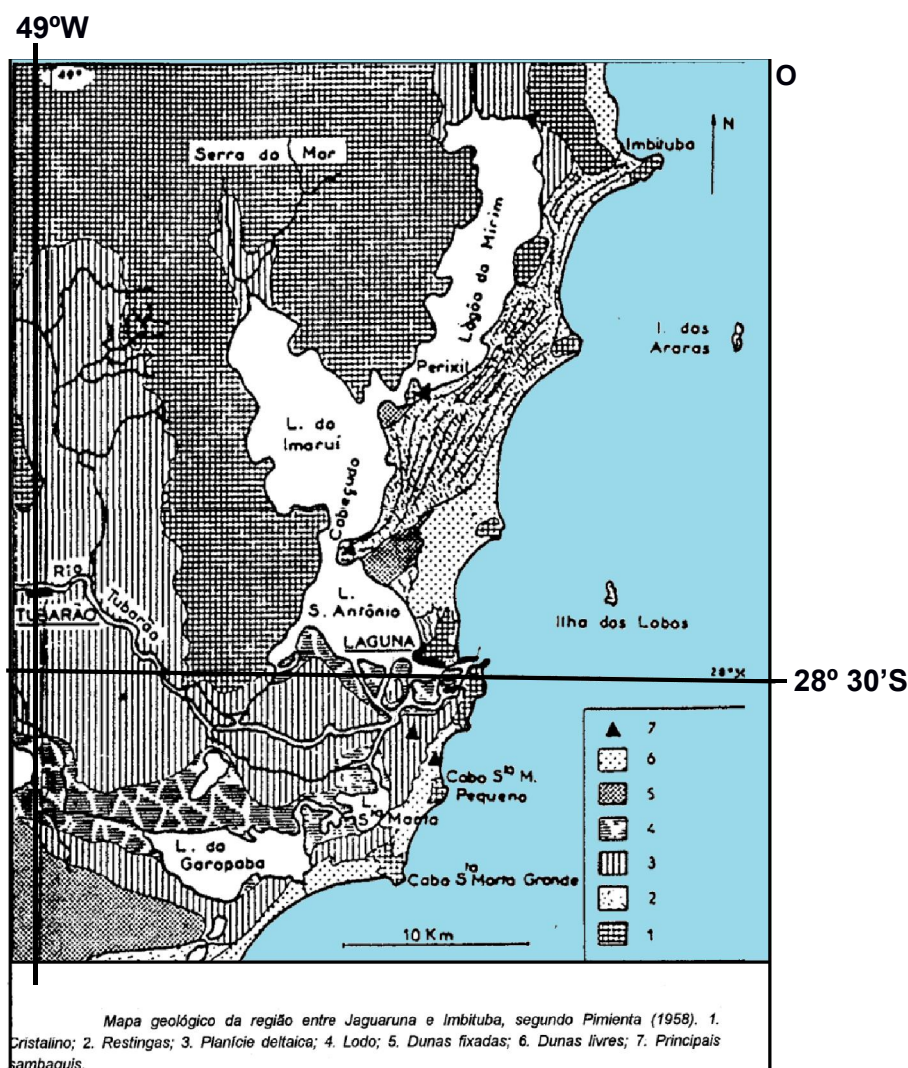
A planície Costeira de Santa Catarina corresponde a uma feição fisiográfica onde estão expostos os sedimentos da porção superficial da Bacia de Pelotas depositados desde o Terciário sob a influência de oscilações glacial-eustáticas do nível do mar e de variações climáticas acentuadas (Barboza *et al.* 2008).

O contexto regional (Figura 06) em que encontra se inserida a área de estudo é caracterizado pela justaposição de sistemas deposicionais costeiros: o lagunar, o sistema deposicional de barreira, o de planície de cordões (*strandplain*) e o eólico (Giannini, 2003, 2002; Giannini *et al.* (2007). Hesp *et al.*, (2009), *apud* Tanaka *et al.* (2009), caracterizam a região como formada por planícies de cordões (*strandplains*) e barreiras holocênicas, estas abrangendo lagunas e depósitos eólicos (dunas frontais e campos de dunas transgressivos). Tanaka *et al.* (2009) e Giannini *et al.* (2007),

propõem que existam lagunas formadas por afogamento de vales incisos sobre a planície costeira pleistocênica, caracterizando um sistema deposicional independente.

As rochas aflorantes do embasamento pré cenozoico da região centro sul de Santa Catarina incluem tochas do cinturão Dom Feliciano e da Bacia do Paraná (RadamBrasil-IBGE (1986), *apud* Dillenburg & Hesp (2009)). O Cinturão Dom Feliciano é um cinturão móvel do Ciclo de orogênias Brasileiro, que nesta área apresenta duas unidades principais: O Batólito Pelotas ao Sul e o cinturão de dobramento ao norte. O Batólito Pelotas é um cinturão multi intrusivo de idade Cambriana, com centenas de plutons sub alcalinos e rochas vulcânicas ácidas associadas. O cinturão de dobramento Tijucas é uma zona metamórfica de baixa pressão, e inclui napes do embasamento pré brasileiro, com plutonismo granítico associado (Fragoso César 1991, *apud* Dillenburg & Hesp (2009)).

A Bacia do Paraná é representada por unidades lito estratigráficas que datam desde o Permo-Carbonífero até Juro-Cretáceo. As intrusões intermediárias à básicas da Formação Serra Geral são expressivas entre Laguna e Florianópolis, como enxame de diques (Dillenburg & Hesp, 2009).



**Figura 06** – Mapa Geológico da região entre Jaguaruna e Imbituba. Fonte: modificado de Giannini (1993).

## 2.2 CLIMA

A costa Sul de Santa Catarina está situada dentro da zona subtropical sul. Possui um clima classificado como subtropical mesotérmico húmido, sem temporada seca, com um verão quente (Giannini *et al.* 2007). A humidade relativa do ar na região é em torno de 85% e a taxa de precipitação média anual varia entre 1400 mm (Laguna), com número de dias chuvosos variando de 110 a 120 dias (Orselli, 1986, *apud* Giannini *et al.*, 2007).

### 2.3 INFLUXO FLUVIAL

A região é drenada pelas bacias hidrográficas do rio Tubarão e Una Aratingauba, os quais alimentam as lagunas de retro barreira (Giannini *et.al.* 2007).

A desembocadura do rio Tubarão forma o maior delta lagunar ativo do Brasil.

### 2.4 POTENCIAL DE DERIVA EÓLICA

O potencial de deriva eólica (DP) foi calculado por Giannini (1993) usando a fórmula proposta por Lettau & Lettau (1975), *apud* Fryberger, (1979) e dados diários da estação meteorológica (Inemet) de Laguna, durante os anos de 1975 a 1984. A média anual de 484.2 unidades vetoriais, permitem inserir a estação na categoria de “alta energia eólica” de acordo com a classificação nominal de Fryberger (1970), *apud* Giannini (1993). Os ventos de S e SW são responsáveis por 53% da DP medida, enquanto os ventos do quadrante N e NE somam 41%. Apesar da DP mais baixa, os ventos nortenhos possuem maior efetividade no transporte sedimentar eólico porque coincidem preferencialmente com dias sem chuva (Giannini, 1993). As dunas transgressivas da região do presente estudo migraram predominantemente para o SW durante o Holoceno, conforme indicadores geomorfológicos, até o presente.

### 2.5 MARÉS E ONDULAÇÃO

Dois sistemas de ondas oceânicas operam na costa sul de Santa Catarina. O mais intenso, associado a atuação de massas de ar polar e frentes frias, é de S a SE. O segundo mais importante sistema de ondas é relacionado a *Trade Winds*, e chegam do E a NE. Na zona *offshore* de Florianópolis, situados a 120 km ao norte de Laguna, a média da altura das ondas variam de 1 a 1,5 m (Miot da Silva, 2006, *apud* Giannini *et al.* 2007).

De acordo com a tábua de mares do porto de Imbituba, a variação da média de maré astronômica é por volta de 0,6 m. Se a variação média relacionada a efeitos meteorológicos é adicionado a esse valor, a variação total, estimada com base em observações de campo, é pouco mais que 1,0 m (Giannini, 1993).



## 2.6 DERIVA LITORÂNEA

Em geral, a média de deriva litorânea ao longo do litoral na zona costeira entre laguna e Imbituba é dirigida a N a NE, conforme indicado por feições geomorfológicas, tamanho de grãos sedimentares e variações mineralógicas (Giannini, 1993, 2002; Martinho, 2004)

## 2.7 NÍVEL RELATIVO DO MAR (NRM)

O padrão de variação do Nível relativo do mar (NRM) dos últimos 120.000 anos, sugerido por dados coletados na costa e plataforma brasileira, segue a tendência glacio eustática global. Durante este período houve duas fases com nível do mar alto. A fase mais antiga correspondente ao interglacial Riss-Würm atingiu seu máximo NRM (cerca de 8 m acima do nível do mar atual) por volta de 120.000 anos AP (Martin *et al.*, 1988; Tomazelli & Dillenburg, 2007). Durante o último máximo glacial (LGM – *Last Glacial Maximum*), há aproximadamente 20 Ka, o NRM esteve cerca de 130 m abaixo do atual (Fairbanks, 1989; Corrêa, 1990 e 1995; Peltier & Fairbanks, 2006). Entre 7,7 e 6,9 Ka o nível do mar ultrapassou a cota atual, atingindo seu máximo há aproximadamente 6Ka (Martin *et al.*, 1979; Angulo & Lessa, 1997). Na costa centro-sul catarinense, Angulo *et al.*, (1999) determinaram que em 5.400 anos AP, o NRM esteve cerca de  $2,5 \pm 0,5$  m acima do nível atual. E desde então o NRM seguiu baixando até o nível atual.

### **3 MÉTODOS**

A seguir serão apresentados os métodos utilizados neste estudo, assim como uma descrição dos princípios que regem cada método.

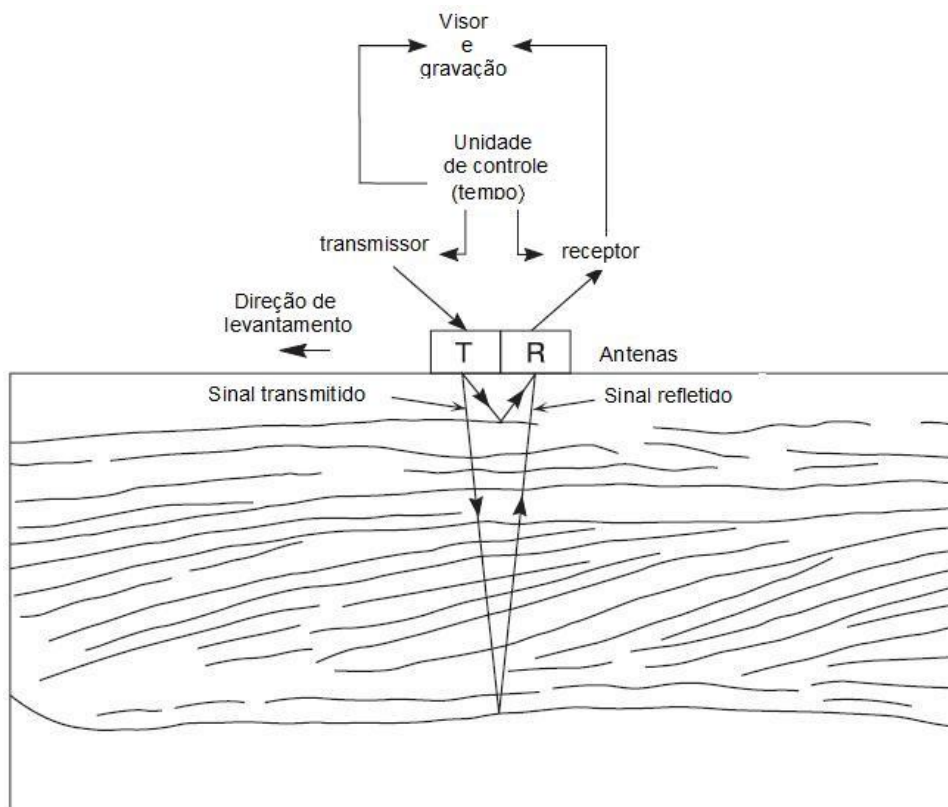
#### **3.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA**

A pesquisa bibliográfica corresponde à primeira etapa a ser iniciada e mantida ao longo de todo o estudo. Esta etapa consiste na busca de trabalhos acadêmicos, artigos, capítulos de livro, etc., em que os assuntos abordados estejam relacionados ao do presente estudo.

Após a análise dos trabalhos, identifica-se a linha de pesquisa seguida pela comunidade científica. E a partir disto é feita a adequação do estudo ao pensamento universal do meio científico, buscando assim dar continuidade e contribuir no desenvolvimento das linhas de pensamento e desenvolvimento.

#### **3.2 GEORRADAR - GROUND PENETRATING RADAR (GPR)**

O Georradar, ou como referido em inglês *Ground Penetrating Radar* (GPR), é uma técnica geofísica não invasiva que detecta descontinuidades elétricas na subsuperfície rasa (<50 m), permitindo assim o imageamento do subsolo. O equipamento funciona pela geração, transmissão, propagação, reflexão e recepção de pulsos discretos de energia eletromagnética de alta frequência (MHz) (Figura 07).



**Figura 07:** Aquisição de dados de Georradar com ponto individual de levantamento, mostrando os componentes e configuração de refletores em subsuperfície. Fonte: Modificado de Neal, 2004.

Um pulso curto de onda eletromagnética de alta frequência é transmitido ao solo gerando uma frente de onda que se propaga para baixo. Devido à mudança das propriedades elétricas de diferentes litologias em subsuperfície, mineralogia, ou ao caráter das interfaces sedimentares, parte da energia é refletida de volta a superfície (Davis & Annan, 1989). O tempo de atraso entre a onda transmitida e a refletida é uma função da velocidade de propagação da onda eletromagnética através do sedimento e a profundidade dos refletores em subsuperfície. A intensidade do sinal refletido é aproximadamente proporcional a diferença das constantes dielétricas na interface do sedimento (Davis & Annan 1989), sendo os melhores resultados obtidos em materiais mais resistivos como areias, conglomerados, calcários e turfas (Jol & Bristow, 2003).

Comercialmente disponível nos anos 80, somente na metade dos anos 90 que geólogos e sedimentólogos começaram a explorar a técnica de forma ampla. Vem sendo usado para reconstrução de ambientes deposicionais dos mais variados, tais

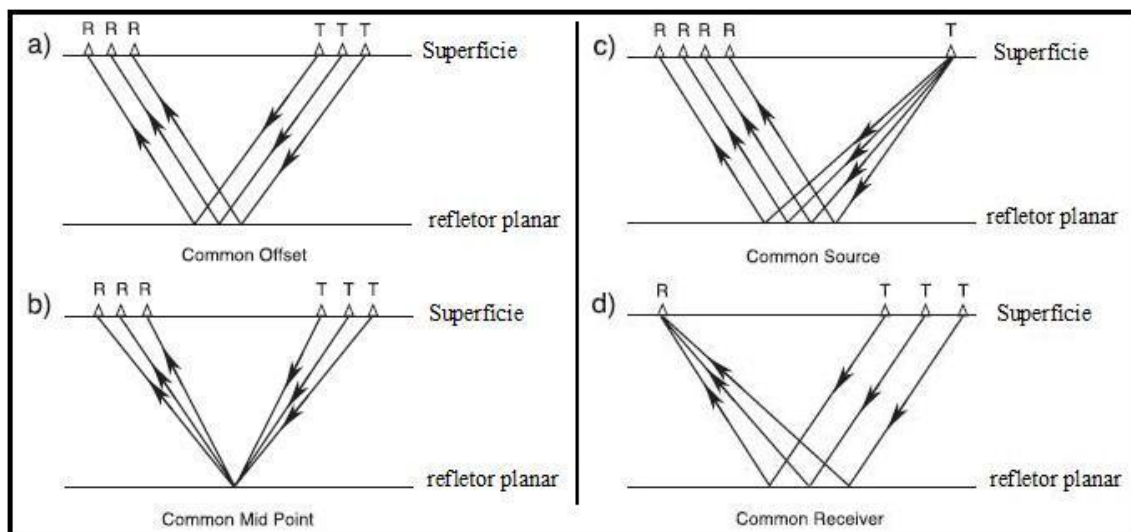
como ambiente fluvial, flúvio glacial, glacial, costeiro, eólico, delta, leque aluvial, dentre outros; auxilia na caracterização de aquíferos e auxilia no estudo de depósitos análogos de hidrocarbonetos.

Sísmica de reflexão e dados de Georradar são frequentemente análogos em termos de cinemática de propagação de ondas (Ursin, 1983; Carcione & Cavallini, 1995), reflexão e refração a descontinuidades de subsuperfície (McCann *et al.*, 1988, *apud* Neal, 2004; Fischer *et al.*, 1992, *apud* Neal, 2014). Consequentemente, as premissas gerais que regem processamento e interpretação de dados de sísmica de reflexão devem também serem aplicadas ao Georradar (Neal, 2004).

Na interpretação, de acordo com Neal (2004), a premissa básica é a de que na resolução da aquisição e depois de processamento apropriado, os perfis de reflexão vão conter informações precisas da estrutura deposicional primária de um corpo sedimentar e qualquer reflexão não geológica pode ser prontamente identificada e removida por processamento de dados, ou simplesmente descontando-os da interpretação. Esses fatores embora simples, são dependentes de uma ampla variação de outros fatores, tais como natureza do corpo sedimentar, regime de água subterrânea, tipo de terreno imediatamente abaixo da área pesquisada, e a experiência do pesquisador na apreciação desses fatores (Neal, 2004).

O trabalho com o Georradar pode ser dividido em três etapas: a aquisição, o processamento e a interpretação. A escolha da frequência da antena durante a aquisição é fundamental, pois se relaciona com o alcance vertical e com a resolução vertical do dado adquirido. Um aumento na resolução é geralmente acompanhado por uma diminuição no alcance em profundidade (Davis & Annan, 1989), ou seja, antenas de alta frequência geram dados mais detalhados, mas com menores penetrações.

Os métodos de levantamento de dados de geofísica de reflexão são classificados em quatro tipos principais, de acordo com Neal (2004): *Common offset* (CO ou perfil de reflexões), *common mid point* (CMP ou levantamento de velocidades), *Common source* e *Common receiver* (Figura 08).



**Figura 08:** os quatro tipos principais de aquisição de dados geofísicos de reflexão. T= transmissora, R= receptora. Extraído de Neal (2004).

### 3.2.1 APLICAÇÃO:

Para este estudo, a metodologia utilizada na aquisição e processamento dos dados foi a proposta por Barboza *et al.* (2014). Neste método as antenas emissora e refletora se deslocam simultaneamente e no mesmo sentido, posicionadas a uma distância constante (*fixed offset*). O equipamento usado foi o GSSI™ SIR-3000 system e dois tipos de antena foram usadas: a de 270 MHz e outra de 70 MHz. A constante dielétrica usada foi a da areia seca, 0,15 m/ns (Davis & Annan, 1989), confirmada por medição em areia seca em furos de sondagem em trabalhos anteriores (Barboza *et al.*, 2011). O sistema de Georradar foi conectado a um GPS – TRIMBLE® Pro-XRT, de precisão pós processados de centimétrica a milimétrica (ver sessão 2.3.1), e transportado junto ao operador do Georradar. Durante a campanha de levantamentos, filtros de ruído e técnicas de amplificação de sinal foram utilizados.

### 3.3 SENSORIAMENTO REMOTO

Sensoriamento Remoto pode ser entendido como um conjunto de atividades que permitem a obtenção de informações dos objetos que compõem a superfície terrestre sem a necessidade de contato direto com os mesmos.

Todos os corpos ao serem atingidos pela luz do sol, composta puramente de radiação eletromagnética (Figura 09), absorvem parte da radiação e refletem outra parte (Figura 10). Cada objeto interage de forma diferente com a energia eletromagnética provinda do Sol, refletindo determinado comprimento de onda, chamado de resposta espectral do alvo, que são captados pelos satélites remotos e que então formam as imagens multiespectrais. Essas imagens são o objeto do método de Sensoriamento remoto.

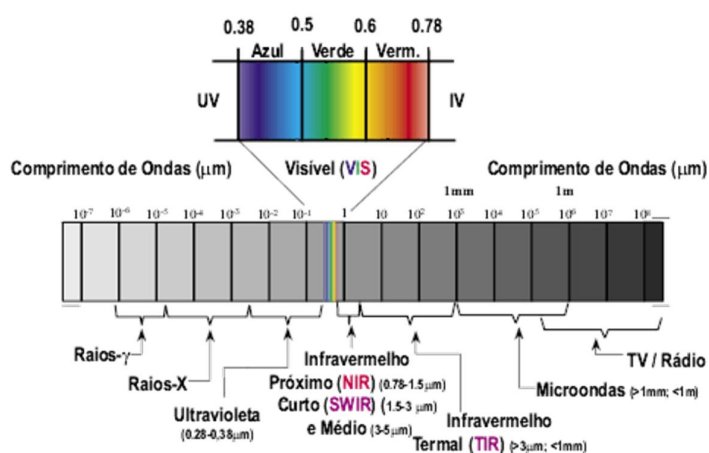


Figura 09: espectro eletromagnético. Fonte: Mundogeo.com

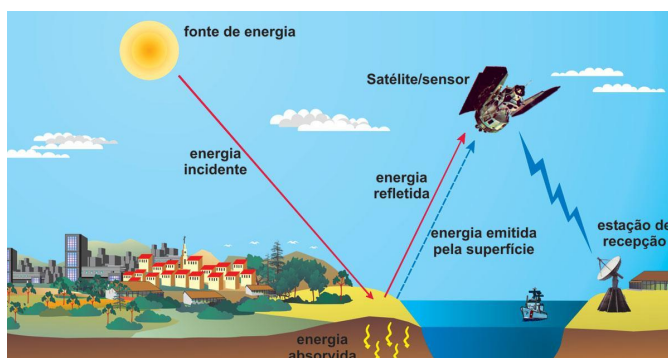


Figura 10: Princípio de funcionamento do sensoriamento remoto: Interação Sol - Terra - Satélite. Fonte: Parqueciencia.blogspot.com

### 3.3.1 APLICAÇÃO

Este conjunto de técnicas foi utilizado tanto antes dos levantamentos quanto depois dos levantamentos dos dados geofísicos, já em laboratório. Dentre os diversos produtos do sensoriamento remoto, este estudo utilizou imagens de satélite

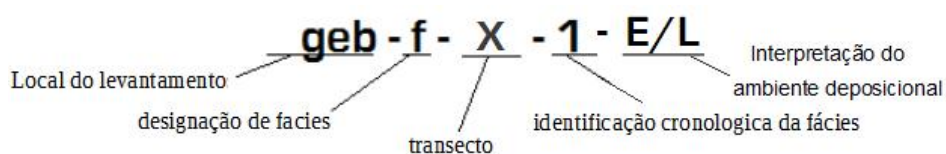
multiespectrais do *Landsat 8* e produtos digitais de elevação, em específico, o SRTM (*Shuttle radar topography mission*). As imagens de satélite foram utilizadas tanto para observar e identificar feições fisiográficas da área de estudo quanto como base cartográfica para a integração de dados de GNSS dos perfis geofísicos. Isso permitiu e facilitou a interpretação das imagens de subsuperfície através do posicionamento com precisão desses perfis. Um produto de elevação digital do terreno, o SRTM, foi utilizado, em conjunto com bandas espectrais específicas de imagens do satélite *Landsat 8*, para a elaboração de um modelo tridimensional de elevação do terreno, exposta na introdução.

### **3.4 SISTEMA GLOBAL DE POSICIONAMENTO**

O GNSS (*global navigation satellite system*) é um conjunto de sistemas de posicionamento por satélite composto pelo sistema NAVSTAR-GPS, o sistema russo (GLONASS), o sistema europeu (GALILEU) e o chinês (COMPASS); utilizam uma rede de 22 satélites, ou mais, que orbitam a Terra em seis planos orbitais (Rosa, 2012) a uma altitude média de 20.000 km. Os satélites enviam ondas de rádio aos receptores GPS que através de cálculos, fornecem a posição quase exata em relação ao elipsoide de referência.

## 4 RESULTADOS

Nos três perfis utilizados no estudo, foram diferenciadas duas radarfácies, presentes em cada um dos três, e atribuída uma interpretação genética. Uma terceira radarfácies foi identificada e aparece nos perfis 07 e 04, porém a esta radarfácies não foi atribuída interpretação genética, devidos às incertezas que a cercam. A nomenclatura para designação das fácies foi estabelecida de acordo com o que segue:

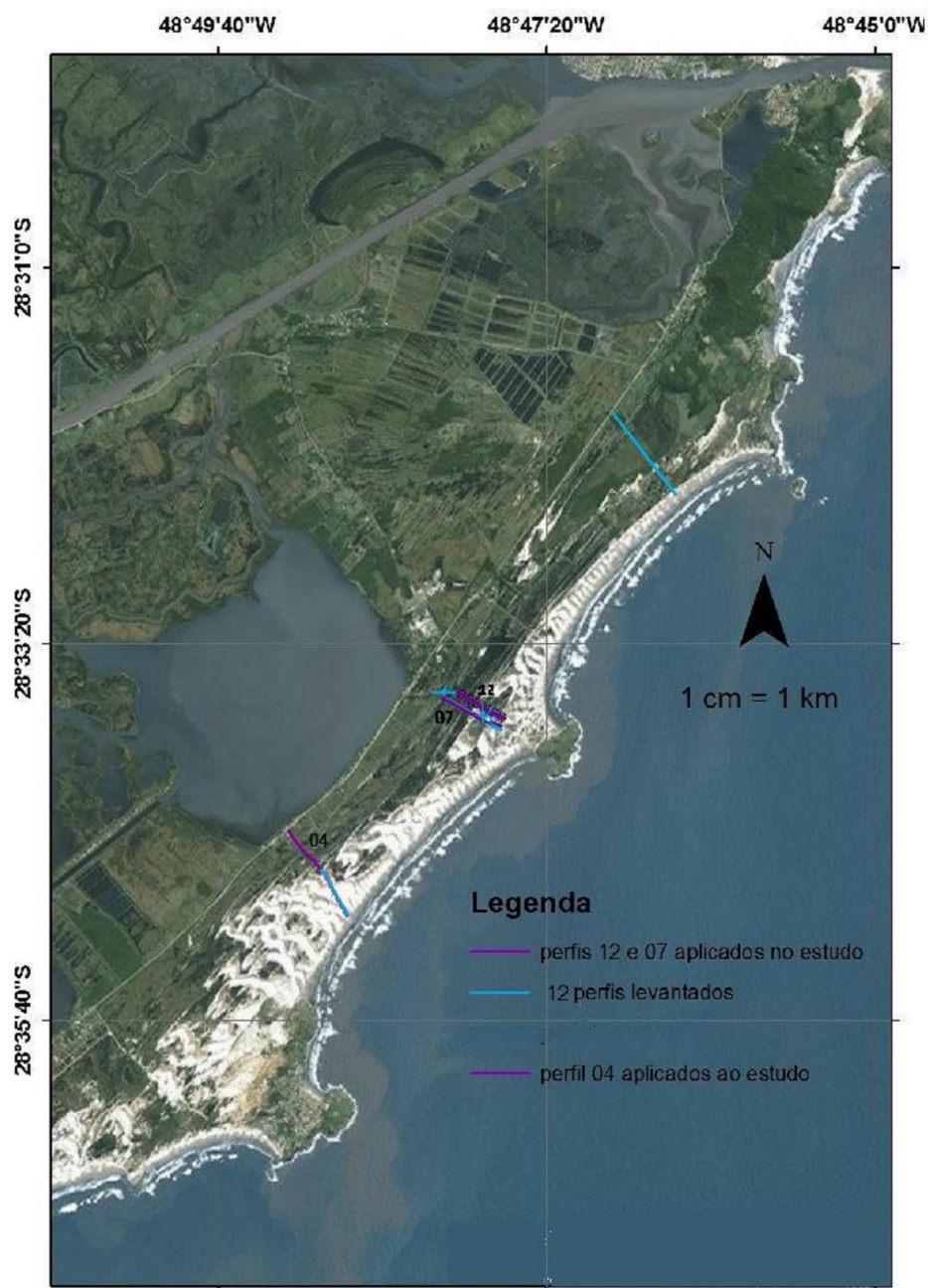


A primeira radarfácies identificada é representada por uma camada na porção superior dos perfis pouco espessa (2 m), chamada de geb-f-x-2-E; foi identificada como pertencente a processos eólicos de superfície.

Abaixo dessa, em contato, encontra-se a segunda radarfácies identificada, representada por um espesso pacote, variando de 10 a 15 m. Os refletores dessa radarfácies alcançam até 60 m de continuidade lateral. Foi chamada de geb-f-x-1L; foi identificada como sendo gerada por processos lagunares com aporte de sedimentos provindos da barreira adjacente pelo agente de transporte eólico e gravitacional. As configurações internas dessa fácies são variadas nos três radargramas, mas pelo propósito deste estudo, não foram diferenciadas, mas sim agrupadas em apenas uma.

A terceira radarfácies identificada é visualizada nos perfis 07 e 04, varia de 5 a 7 m de espessura e se estende ao longo de toda a seção. Foi chamada de geb-f-x-0. Não lhe foi atribuída interpretação genética, apenas sabe-se que, através de relações estratigráficas, é a mais antiga das três.

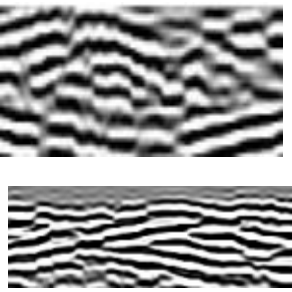
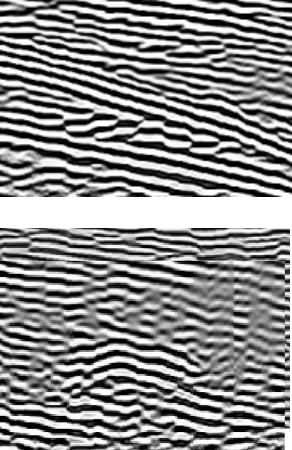


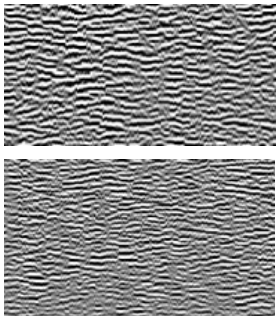


**Figura 11:** Mapa de localização dos perfis levantados.

Fonte: Banco de dados do software ArcGis®.

**Quadro 01:** Radarfácies identificadas e descritas, definidas com base nas características propostas por Neal (2004).

Radarfácies	Descrição	Imagens	Interpretação
Geb-f-x-1-E	<p><b>Forma:</b> sinuosa convexa. <b>Mergulho:</b> multidirecional de alto ângulo.</p> <p><b>Relação entre refletores:</b> paralelos, truncados e caóticos. <b>Continuidade:</b> contínuos. <b>Amplitude:</b> 1 a 1,5 m.</p> <p><b>Dimensões aproximadas:</b> 2 m de espessura ao longo de todo o perfil.</p>		Depósitos eólicos de superfície.
Geb-f-x-2-L	<p><b>Forma:</b> planar <b>Mergulho:</b> bidirecional a unidirecional com médio ângulo, predomínio de mergulho para o continente. <b>Relação entre refletores:</b> paralelos a subparalelos. <b>Continuidade:</b> contínuos. <b>Amplitude:</b> 4 a 7 m na porção mais espessa. <b>Dimensões aproximadas:</b> 5 m de espessura por 25 m de comprimento.</p>		Depósitos lagunares.

Radarfácies	descrição	Imagens	Interpretação
Geb-f-x-0	<p><b>Forma:</b> planar. <b>Mergulho:</b> bidirecional de baixo ângulo.</p> <p><b>Relação entre refletores:</b> paralelos a subparalelos, caóticos, truncados. <b>Continuidade:</b> contínuos. <b>Amplitude:</b> 4 a 7 m na porção mais espessa. <b>Dimensões aproximadas:</b> 5 a 7 m de espessura, e se estende com essa espessura por todo o perfil.</p>		Indiferenciada.

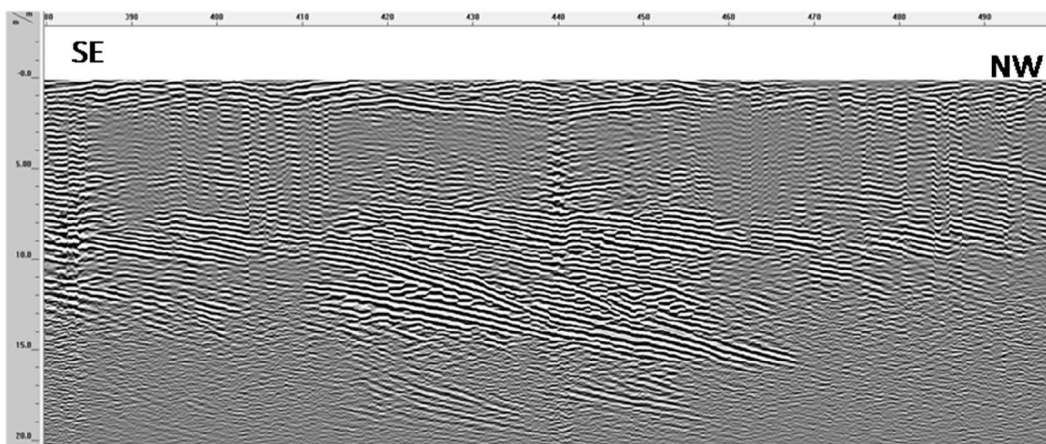
## 4.1 RADARGRAMAS

Nesta seção serão apresentados as porções representativas dos radargramas, não sendo apresentados na íntegra devido ao tamanho inviável de impressão. Foram selecionadas as feições mais diagnósticas ao propósito do estudo, o de comprovar a retrogradação do sistema.

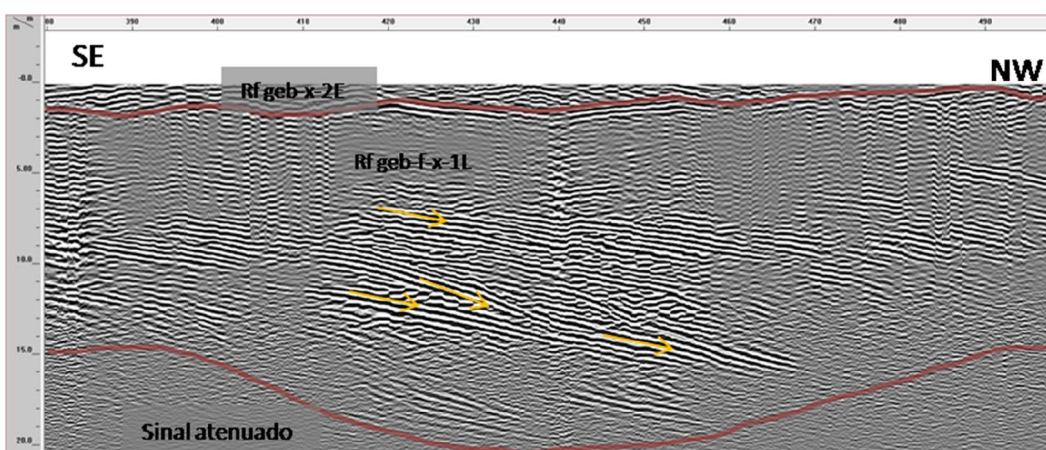
### 4.1.1 RADARGRAMA 12

O perfil de número 12 ([Figura 12](#) e [Figura 13](#)) possui orientação N55W, 550 m de comprimento e alcance de profundidade em torno de 15 m.

A melhor porção adquirida, e diagnóstica de retrogradação, foi encontrada na posição entre 110 e 160 m, alcançando a profundidade de 11 m, e são visíveis por até 50 m em continuidade lateral. Essa feição é constituída por refletores oblíquos mergulhando para o continente. Essas feições foram enquadradas na fácies geb-f-x-1E, e interpretados como uma progradação de depósitos lagunares da margem para o continente. Na porção basal dessa radarfácies, os refletores terminam em downlap com a radarfácies geb-f-x-0. Na porção superior do radargrama, a fácies geb-f-x-1E é visível e chega a 2 m de espessura, ao longo de todo perfil. É interpretada como fácies de depósitos eólicos recentes.



**Figura 12:** radargrama 12 processado sem interpretação.

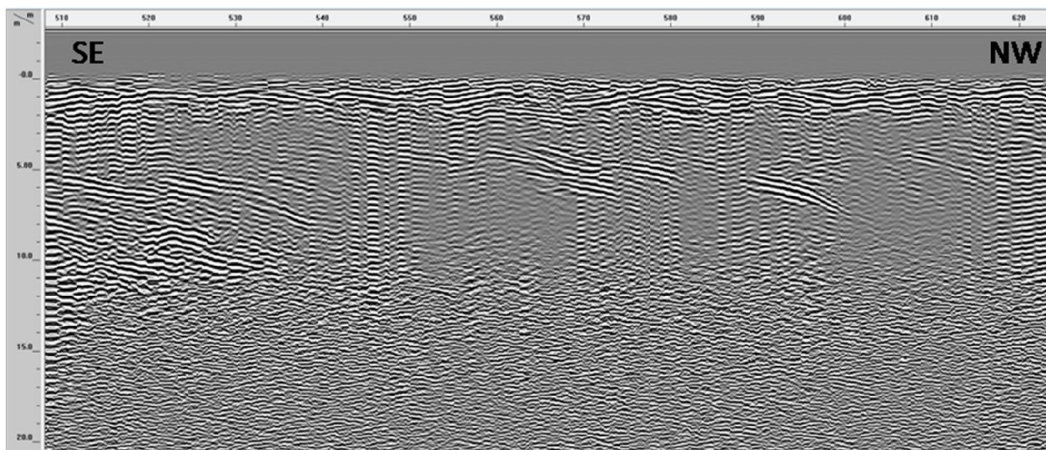


**Figura 13:** radargrama 12 processado com designação de radarfácies interpretadas. Setas indicam sentido preferencial de mergulho desses refletores.

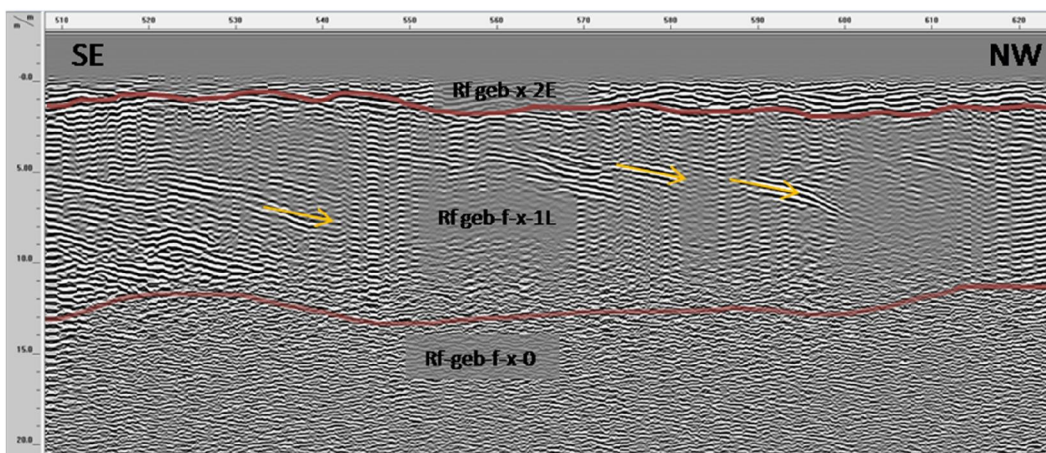
#### 4.1.2 RADARGRAMA 07

O radargrama de número 07 (Figura 14 e Figura 15) é paralelo ao de número 12. Apresentou as feições mais diagnósticas de retrogradação do sistema deposicional na mesma posição, em relação a linha de costa, que o radargrama de número 12. Nessa seção, refletores oblíquos com mergulhos médios no sentido do continente são visíveis e contínuos lateralmente por 10 a 20 m. Essa fácies foi identificada como geb-f-x-1L, e interpretada como sendo de origem lagunar. Não foi possível visualizar terminação de refletores. Na porção superior, uma camada pouco espessa é identificada, e definida como pertencente ao sistema eólico recente, e definida como fácies geb-f-x-2E.

Não se pode deixar de observar que na profundidade em torno dos 12 m acontece uma mudança no padrão dos refletores, passando para formas deposicionais menores, acompanhada de uma nítida diminuição na intensidade do sinal. Essa fácies foi diagnosticada e nomeada geb-f-x-0, porém sem interpretação genética, mas temporalmente anterior as demais.



**Figura 14:** radargrama 07 processado sem interpretação. Setas amarelo indicam padrão da direção de mergulho destes refletores.



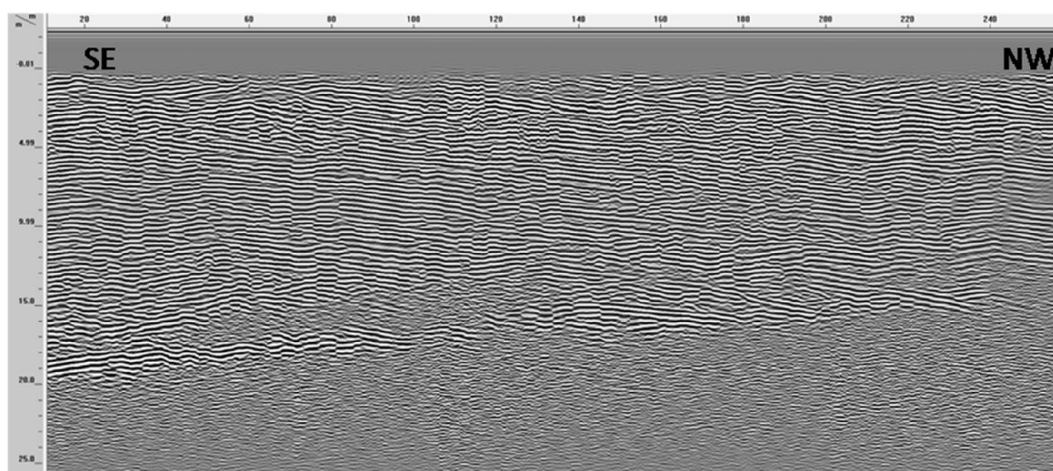
**Figura 15:** radargrama 07 processado com designação de radarfácies interpretadas. Setas indicam sentido de mergulho preferencial desses refletores.

#### 4.1.3 RADARGRAMA 04

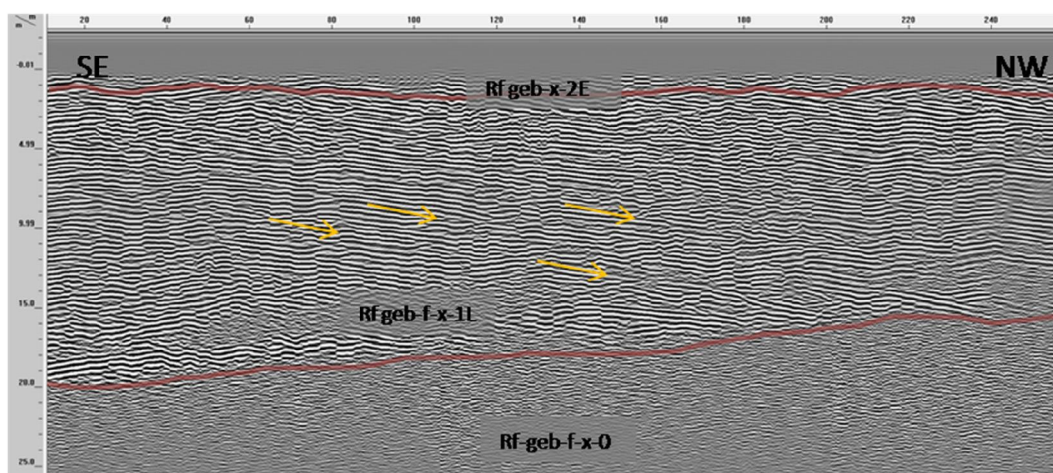
O radargrama de número 04 (Figura 16) foi adquirido 4 km ao SW do radargrama de número 07. Apresenta de forma mais significativa a fácies geb-f-x-1L

(Figura 17). Esse radargrama é um pouco diferenciado, apresentando um padrão bidirecional do mergulho de seus refletores, mas com predominância de mergulhos de médio ângulo no sentido do continente. Ainda assim, foi definida como pertencente ao domínio de deposição lagunar, e agrupada junto às demais feições como pertencentes à mesma radarfácies. Os refletores dessa radarfácies terminam em downlap com a fácies geb-f-x-0.

Na profundidade dos 20 m, a fácies geb-f-x-0 aparece, e define ao longo do perfil uma linha uniforme e ascendente, com baixa declividade.



**Figura 16:** radargrama 04 processado sem interpretação.



**Figura 17:** radargrama 04 processado com designação de radarfácies interpretadas. Setas indicam sentido de mergulho preferencial desses refletores.

## 5 DISCUSSÕES

O registro obtido através do Georradar é um dos principais diagnósticos atualmente empregados na caracterização do comportamento das barreiras holocênicas (Barboza *et al.* 2011).

Neste estudo, os setores em retrogradação foram diagnosticados por refletores oblíquos, muitas vezes sigmoidais, com variação na declividade desde baixo a alto ângulo (aproximadamente até 30 graus), inclinados no sentido do continente; os quais, de acordo com a literatura (Barboza *et al.* 2011; Dillenburg *et al.* 2011), representam depósitos associados ao sistema lagunar presente na retrobarreira, em que ocorre progradação de depósitos da margem lagunar para o continente gerando esses refletores mergulhando no sentido do continente.

Esses depósitos podem ser relacionados com praias existentes nas margens lagunares, com deltas, com as faces de deslizamento de dunas entrando diretamente no corpo lagunar ou como leques de sobre lavagem (Rosa, 2012). Estas são as feições características, encontradas na Praia Grande, da fase retrogradacional da barreira.

De acordo com estudos anteriores, observando as feições geomorfológicas e observando os fatores climáticos da área de estudo, é esperado que a linha de costa apresentasse erosão e assoreamento progressivo da margem lagunar por areias provindas do campo de dunas ativo. A visualização de refletores mergulhando no sentido do continente forneceu evidências de que a barreira arenosa se locomoveu por sobre a depressão lagunar, formando o padrão de empilhamento retrogradacional na área de estudo, na forma de depósitos arenosos colmatando a margem lagunar.

## 5.1 REGISTRO ESTRATIGRÁFICO

O registro estratigráfico de subsuperfície, conforme pôde ser visto nas imagens de subsuperfície deste estudo, é composto por uma unidade retrogradacional (transgressiva) holocênica, representada por depósitos arenosos provindos da barreira sobre um ambiente deposicional lagunar, ou seja, depósitos puramente lagunares na porção inferior, areias provindas do sistema eólico na porção superior (margem lagunar), sobrepostas por uma camada pouco espessa de depósitos eólicos recentes.

Abaixo dessa sequência, é possível observar, nos radargramas 04 e 07, uma radarfácies bastante contínua lateralmente, de espessura média e com características de refletância e padrão dos refletores bastante distinta das demais radarfácies identificadas.

Especula-se que essa radarfácies basal possa representar o embasamento pleistocênico depositado durante a subida do NRM durante o interglacial Riss-Würm (120 ka) e dissecado durante a grande queda do último máximo glacial (LGM – *Last Glacial Maximum*), há aproximadamente 20 ka.

A estimativa do tempo transcorrido desde o início da colmatação da laguna, por areias provindas do sistema eólico adjacente, até os dias hoje é de difícil avaliação devido à falta de elementos neste estudo, que possam expressar a variável tempo.

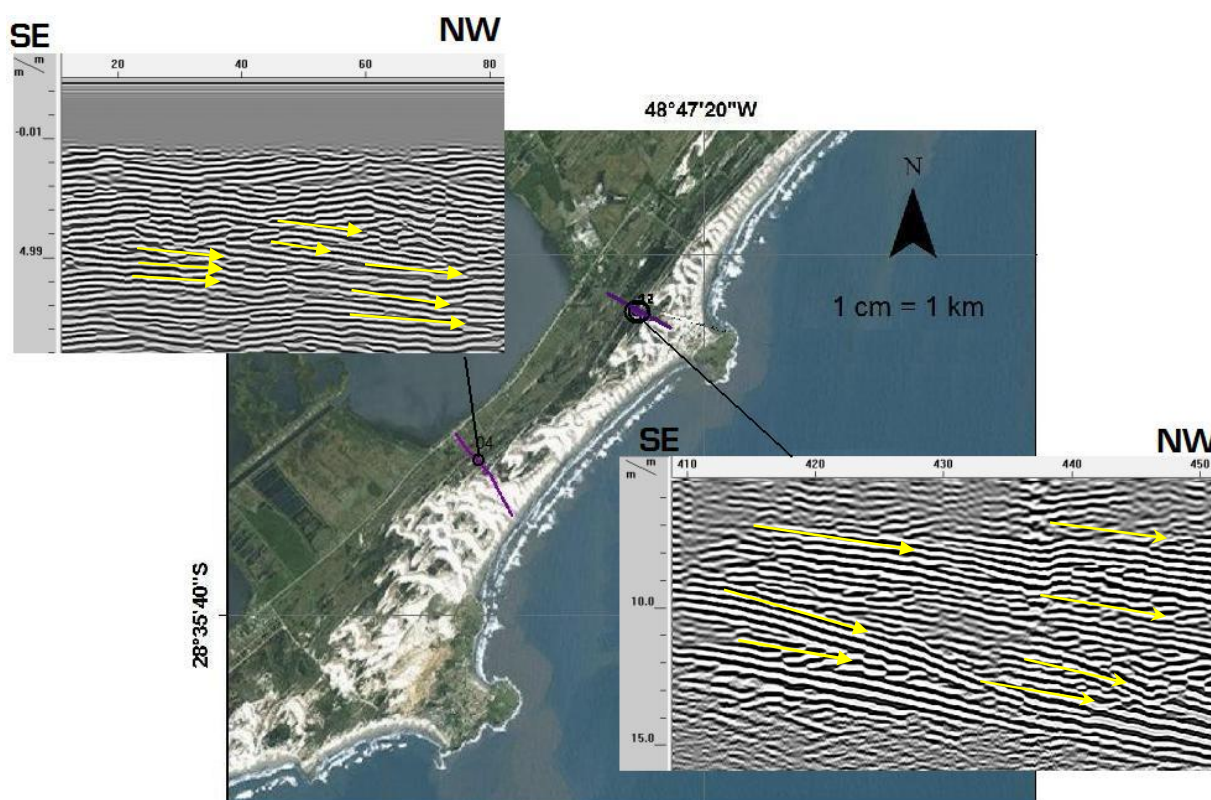
Para se estimar idades dos depósitos, futuros estudos devem buscar, através de um ou mais furos de sondagem do tipo *Standard Percussion Test* (SPT), sedimentos argilosos, mais facilmente encontrados em ambientes lagunares, na base dos refletores oblíquos mergulhando no sentido do continente, para datação pelo método do Carbono 14.

## 5.2 SISTEMA LAGUNAR

A visualização da depressão lagunar em subsuperfície preenchida por sedimentos arenosos nos permite constatar que o sistema lagunar possuía uma área



mais expandida ao leste (Figura 15), antes de ser assoreada pelas areias provindas do sistema eólico.



**Figura 18:** Carta imagem demonstrando a localização das feições arenosas depositadas sob influência lagunar. Fonte: Banco de dados do software ArcGis.

### 5.3 SISTEMA EÓLICO

Os resultados expostos neste estudo indicam a transgressão do sistema eólico, causando o assoreamento da laguna adjacente. Há milhares de anos, durante a subida do nível do mar, após a última era glacial há 18 ka, o sistema eólico, no que diz respeito à disponibilidade de sedimentos na zona de intermarés, pode ter começado a atuar (Giannini *et al.*, 2007).

Dessa forma, desde o início da subida do nível do mar depois da última glaciação, há 18 ka, a disponibilidade de sedimentos na zona de intermarés existia, porém não se pode comprovar a existência de ventos efetivos. Por isso não se pode ter certeza de quando, precisamente, o campo de dunas eólico começou a atuar. Angulo *et al.* (1999) chegaram ao resultado de que entre 5.916 e 5587 anos atrás, o

nível do mar começou lentamente a cair, de um máximo de  $2,1 \pm 1$  m acima do nível atual.

É esperado que essa condição de descida do nível do mar enfraqueça qualquer campo de dunas ativos, na forma de diminuição da disponibilidade de sedimentos na zona de intermarés (Giannini *et al.* 2007). Não foi o que ocorreu na Praia Grande, onde o campo de dunas segue ativo e movimentando um grande volume de areia (Giannini, 2003). Graças à soma de três fatores, ondas de tempestade, padrão dissipativo da praia e ventos favoráveis, o sistema eólico é mantido em plena atividade desde o início da lenta descida do NRM, há cerca de 5500 anos.

Pode-se afirmar que o vento favorável começou a atuar, pelo menos, junto com a descida lenta do nível do mar há mais ou menos 5500 anos. Pois, caso o vento ainda não atuasse nessa idade as fortes ondulações, sem a presença do agente eólico para carregar os sedimentos trazidos, deixariam registros de acumulação de sedimentos pela ação das ondas, o que não é observado no registro.

#### **5.4 GERENCIAMENTO COSTEIRO INTEGRADO**

O presente estudo verificou que a linha de costa se encontra em transgressão, representada pelo preenchimento da margem lagunar existente no passado e que hoje se encontra preenchida por areias provindas da erosão da paleo linha de costa. Se continuarem as mesmas condições de balanço de sedimentos negativo, forte ação das ondas e vento com potencial de deriva eólica eficiente, a linha de costa continuará a transgredir.

Essas constatações implicam em uma restrição ao uso e ocupação dessas áreas, que possuem uma dinâmica sedimentar muito ativa, de grande dinâmica, sujeitos as oscilações do nível relativo do mar e à episódios de tempestades.

De acordo com a dinâmica sedimentar, já conhecida desse setor costeiro, os órgãos gestores, no âmbito do gerenciamento costeiro integrado, devem se embasar nos diversos conhecimentos científicos e decidir da melhor forma qual o melhor uso a ser dado a este setor.

Não cabe a este estudo indicar que o setor costeiro em questão não deva ser ocupado de forma alguma, mas sim fornecer informações confiáveis que servirão de embasamento teórico científico para as decisões dos órgãos governamentais e legislativos.

A área do estudo ainda é relativamente intocada perante ao modelo de ocupação predatório e destrutivo que se observa em diversos setores costeiros de Santa Catarina; portanto, é obrigação dos responsáveis pela gestão costeira tomarem conhecimento das limitações ambientais, na forma de estudos científicos, de forma que não repitam os abomináveis erros cometidos em outros setores costeiros. Mais do que isso, roga-se que se respeite às fragilidades ambientais da área, evidenciado por diversos estudos científicos, incluindo a presente monografia.

## **5.5 MODELO EVOLUTIVO**

Baseado nos resultados deste estudo e nas discussões acima expostas, foi possível inferir a paleogeografia da área ([Figura 19](#)), conforme segue.

Há milhares de anos, a posição da linha de costa se encontrava mais mar adentro; a laguna, então existente, possuía maior área, com sua margem leste mais em direção ao oceano. Durante a subida do nível do mar após a última glaciação, uma condição de balanço negativo de sedimentos associado a um elevado fluxo de energia (energia das ondas e ângulo de incidência) veio a causar a erosão da linha de costa, disponibilizando areias para alimentar um sistema eólico de grande porte. Essa condição acarretou no progressivo avanço da barreira no sentido do continente, ou seja, sua retrogradação com consequente transgressão da linha de costa. A laguna então existente recebeu grande aporte de sedimentos arenosos e o campo eólico progressivamente migrou continente adentro, colmatando parte da laguna até a configuração atual.

ANTES DO PRESENTE



PRESENTE



**Figura 19** – Paleogeografia da Praia Grande. Há milhares de anos, a linha de costa era mais oceano afora. A margem lagunar leste se encontrava também mais próxima do oceano.

Fonte: Banco de dados do software ArcGis.

## 6 CONCLUSÕES

A caracterização do sistema laguna barreira na Praia Grande, através do método geofísico de alta resolução Georradar, permitiu evidenciar de forma satisfatória o comportamento retrogradacional do sistema deposicional Laguna Barreira. Imagens em subsuperfície das camadas sedimentares permitiram a interpretação de que as areias do sistema eólico foram depositadas em ambiente lagunar, caracterizando assim a retrogradação do sistema em questão.

O que se conclui sobre a Praia Grande no âmbito do gerenciamento costeiro integrado, é que a linha de costa se encontra em transgressão devido a não existência de aporte sedimentar que compense a erosão causada pelas ondas fortes que atingem a região. O que representa um fator de risco a futuros empreendimentos. Essa informação deve ser levada em conta pelos órgãos gestores, pois está embasada no método científico.

## REFERÊNCIAS

- ANGULO, R. J. & LESSA, G. C. 1997. **The Brazilian sea-level curves: a critical review with emphasis on the curves from Paranaguá and Cananéia regions.** *Marine Geology*, 140:141-166.
- ANGULO, R.J., GIANNINI, P.C.F., SUGUIO, K., PESSEDA, L.C.R., 1999. **Relative sea-level changes in the last 5500 years in southern Brazil (Laguna–Imbituba region, Santa Catarina State) based on vermitid 14C Ages.** *Mar. Geol.* 159, 323–339.
- BARBOZA, E. G., ROSA, M. L. C. C., TOMAZELLI, L. J. & DILLENBURG, S. R. 2009 a. **Interpretação de seções de georradar no estudo da evolução da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil.** In: XII Congresso da associação Brasileira de Estudos do Quaternário – ABEQUA, 2009, La Plata-Argentina. Resúmenes. La Plata, 2009. v. 1. **Resumo** 70.
- BARBOZA, E. G., DILLENBURG, S. R., ROSA, M. L. C. C., TOMAZELLI, L. J. & HESP, P. A. 2009 b. **Ground-penetrating radar profiles of two regressive barriers in southern Brazil.** *Journal of coastal research, Special Issue*, 56:579-583.
- BARBOZA, E. G. & ROSA, M. L. C. C. 2014. **Indicadores geológicos e geomorfológicos de setores em erosão na costa do Rio Grande do Sul.** In: Nuevas miradas a la problemática de los ambientes costeros. Ed. Montevideo: DIRAC - Facultad de Ciencias, 2014, v.1, p.83-98.
- BARBOZA, E. G., ROSA, M. L. C. C. & CARON, F. 2014. **Metodologia de Aquisição e Processamento em Dados de Georradar (GPR) nos Depósitos Quaternários da Porção Emersa da Bacia de Pelotas.** In: VI Simpósio Brasileiro de Geofísica, 2014, Porto Alegre - RS. Resumos Expandidos, v. 1. p. 1-6.
- BARBOZA, Eduardo Guimarães. **Terraços da margem leste da Laguna dos Patos, litoral médio do Rio Grande do Sul: estratigrafia e evolução holocênica.** 1999. 154 f. Dissertação (Mestrado em Geociências), Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade federal do Rio Grande do Sul, 1999.
- BARBOZA, E.G., ROSA, M. L. C., HESP, P. A., DILLENBURG, S. R., TOMAZELLI, L. J., ZOUAIN, A. **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 ICS 2011 (Proceedings) Poland ISSN 0749-0208.
- BARBOZA, E. G.; ROSA, M. L. C. C., DILLENBURG, S. R. & TOMAZELLI, L. J. 2010. **The Holocene coastal barrier of Rio Grande do Sul (Southern Brazil): na evaluation based on GPR data.** In: *The meeting of Americas. Foz do Iguaçu, 2010. Resumos.*
- BARBOZA, E. G., ROSA, M. L. C. C., HESP, P. A., DILLENBURG, S. R., TOMAZELLI, L. J. & AYUP-ZOUAIN. 2011. **Evolution of the holocene coastal barrier of Pelotas Basin (Southern Brazil) – A new approach with GPR data.** *Journal of Coastal Research, Special Issue*, 64:646-650.
- BITTENCOURT, Volney Júnior Borges de. **Geomorfologia e arquitetura deposicional de uma planície de cordões litorâneos lacustre, litoral norte do RS – Brasil. 2015. 76 f. Tese (mestrado em Geociências).** Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.
- CARCIONE, J.M., CAVALLINI, F., 1995. **On the acoustic-electromagnetic analogy. Wave Motion** 21, 149 – 162.
- CARON, F., LIMA, L. G., DILLENBURG, S. R., TOMAZELLI, L. J., BARBOZA, E. G., ANTIQUEIRA, M., ROSA, M. L. C. C, MANZOLLI, R. P. & SILVA, A. B. 2010. **Morphology, stratigraphy and factors controlling evolution of a transgressive barrier in Southern Brazil.** In: AGU, *The meeting of the Americas, Foz do Iguaçu. Abstracts.*

- CARON, Felipe. **Estratigrafia e evolução da barreira holocênica na região costeira de Santa Vitória do Palmar, planície costeira do Rio Grande do Sul, Brasil**. 2014. 172 p. 251f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Curso de pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.
- CORRÊA, I. C. S. 1990. **Analyse morphostructurale et evolution paleogeogrphique de la plata-forme continentale atlantique sud-bresilienne (Rio Grande do Sul – Brésil)**. Ph.D. thesis, Universite de Bordeaux I.
- CORRÊA, I. C. S. 1995. **Les variations du niveau de la mer durant les derniers 17.500 ans BP: l'exemple de la plate-forme continentale du Rio Grande do Sul-Brésil**. *Marine Geology*, 130: 163-178.
- DAVIS, J. L. & ANNAN, A. P. 1989. **Ground penetrating radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy**. *Geophysical Prospecting*. 37:531-551.
- 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., HESP, P. **Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil**. Berlin: Springer, 2009. 380 p.
- DILLENBURG, S. R., BARBOZA, E. G. & ROSA, M. L. C. C. 2011. **Ground penetrating radar (GPR) and Standard Penetration Test (SPT) records of a regressive barrier in southern Brazil**. *Journal of Coastal Research, Special Issue*, 64:651-655.
- FAIRBANKS, R. G. 1989. **A 17,000 year glacio-eustatic sea-level record: influence of glacial melting rates on the younger Dryas event and deep ocean circulation**. *Nature*, 342:637-642
- FILHO, N. O. H. F. **Setorização da província costeira de Santa Catarina em base aos aspectos geológicos, geomorfológicos e geográficos**. 2003. *Geosul*. Florianópolis, v.18,n.35,p.71-98, jan./jun., 2003.
- FRYBERGER, S.G., 1979. **Dune forms and wind regime**. In: McKee, E.D. (Ed.), *A Study of Global Sand Seas*. U.S., Geol. Survey, Profess. Papers, vol. 1052, pp. 83–134.
- GIANNINI, Paulo César Fonseca. **Sistemas deposicionais no quaternário costeiro entre Jaguaruna e Imbituba, SC**. 1993. 304 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.
- GIANNINI, P.C.F., 1998. **Associações de fácies eólicas ativas na costa centro-sul de Santa Catarina**. *An. Acad. Bras. Cienc.* 70 (3), 696.
- GIANNINI, P. C. F., SAWAKUCHI, A.O., MARTINHO, C.T., TATUMI, S.H. **Eolian depositional episodes controlled by Late Quaternary relative sea level changes on the Imbituba–Laguna coast (southern Brazil)**. *Marine Geology* 237 (2007) 143–168.
- GIANNINI, P.C.F., 2002. **Complexo lagunar centro-sul catarinense valioso patrimônio sedimentológico, arqueológico e histórico**. In: Schobbenhaus, C., Campos, D.A., Queiroz, E.T., Winge, M., Berbert-Born, M. (Eds.), *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. DNPM, Brasília, pp. 213–222.
- GUERRA, A. T. 1950b. **Contribuição ao estudo da geomorfologia e do Quaternário do litoral de Laguna (Santa Catarina)**. *Ver. Bras. Geog.*, 12 (4): 535-564.
- JOL, H.M., Bristow, C.S., 2003. **GPR in sediments: advice on data collection, basic processing and interpretation, a good practice guide**. In: Bristow, C.S., Jol, H.M. (Eds.), *Ground Penetrating Radar in Sediments*. *Geol. Soc. London Spec. Publ.* 211, 9 – 27

- LIMA, Leonardo Gonçalves. **Estratigrafia e evolução da barreira holocênica na praia do Hermenegildo**. 2008. 72 p. Dissertação (Mestrado em Geociências), Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.
- LIMA, L. G., DILLENBUURG, S. R., BARBOZA, E. G., ROSA, M. L. C. C., STEVAUX, R. S. & MORAIS, T.A. 2011. **Estratigrafia da zona de transição entre as fases transgressiva e regressiva de uma barreira costeira**. In: XIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Búzios. Resumos.
- LIMA, L. G., DILLENBURG, S. R., MEDEANIC, S., BARBOZA, E. G., ROSA, M. L. C. C., TOMAZELLI, L.J., DENHARDT, B. A. & CARON, F. 2012. **Sea-level rise and sediment budget controlling the evolution of a transgressive barrier in Southern Brazil**. *Journal of South American Earth Sciences*, doi: 10.1016/j.jsames.2012.07.002.
- MANZOLLI, Rogério Portantiollo., PORTZ, L. C., ROSA, M. L. C. C., BARBOZA, E. G. & TOMAZELLI, L. J. 2010. A utilização de GPR e Sensoriamento Remoto na identificação e determinação da taxa de acreção de beach ridges lagunares na margem oeste da laguna Lagoa dos Patos. In: IV Congresso Brasileiro de Oceanografia, Rio Grande, Resumos, 2010.
- MANZOLLI, R. P., **Geomorfologia do Complexo de Cordões Litorâneos Lagunares do Pontal da Feitoria – Margem Oeste-Sul da Laguna dos Patos**. 2011. 90 p. Dissertação (Mestrado em Geociências), Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- MARTIN, L., SUGUIO, K. & FLEXOR, L. M. 1979. **Le Quaternaire marin du littoral brésilien entre Cananéia (SP) et Barra de Guaratiba (RJ)**. In: International symposium of coastal evolution in the Quaternary, Proceedings, São Paulo, Brasil, p. 296-331.
- MARTIN, L., SUGUIO, K., FLEXOR, J. N. 1986. **Relative sea-level reconstruction during the last 7,000 years along the States of Paraná and Santa Catarina coastal plains: additional information derived from shell-middens**. In: International symposium on sea level changes and quaternary shorelines, São Paulo. *Quaternary South Am. Antarct. Peninsula*, 4(11): 219-236.
- MARTIN, L., SUGUIO, K., FLEXOR, J.N., 1988a. **Hauts niveaux marins pleistocenes du littoral brésilien**. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 68 (3), 231–239.
- MARTINHO, C.T., 2004. **Morfodinâmica e Sedimentologia de Campos de Dunas Transgressivos da Região de Jaguaruna–Imbituba, Santa Catarina**. Unpub. Master Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 108 pp.
- MOTTA, Lucas. **Balanco de sedimentos arenosos no litoral médio do Rio Grande do Sul**. 2011. 67 p. Monografia (Graduação) – Instituto de Geociências, Curso de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- NEAL, A. **Ground-penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems and progress**. In: *Earth-Science Reviews* 66, 2004. 261-330.
- PELTIER, W. R. & FAIRBANKS, R. G. 2006. **Global glacial ice volume and the Last Glacial Maximum duration from an extended Barbados sea level record**. *Quaternary Science Reviews*, doi: 10.1016/j.quascirev.2006.04.010.
- PIMIANTA, J. 1958. **A faixa Costeira Meridional de Santa Catarina**. Rio de Janeiro, DNPM/DGM. 104p. (Bol. 176).
- ROSA, Maria Luiza Câmara da. **Geomorfologia, Estratigrafia de sequencias e potencial de preservação dos sistemas Laguna-Barreira do quaternário costeiro do rio grande do sul**. 2012. 251 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.



- SILVA, Anderson Biancini. **Evolução da planície costeira entre Passo de Torres e Araranguá – SC.** 2009. 64 p. Monografia (Graduação) – Instituto de Geociências, Curso de Geologia, Curso de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.
- SILVA, Anderson Biancini. **Análise Estratigráfica da barreira transgressiva holocênica na região da Lagoa do Sombrio, SC.** 2011. 59 p. Dissertação (Mestrado em Geociências). Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- SILVA, A. B., BARBOZA, E. G., ROSA, M. L. C. C & FRACALLOSSI, F. G. **Caracterização dos depósitos sedimentares em subsuperfície do setor meridional da planície costeira do sul de Santa Catarina.** Gravel, 8:1-7.
- SUGUIO, K., MARTIN, L., FLEXOR, J. M., AZEVEDO, A. E. G. 1986. **The quaternary sedimentary deposits in the States of Paraná and Santa Catarina coastal plains.** In: International symposium on sea level changes and quaternary shorelines, São Paulo. Quaternary South Am. Antarctic. Peninsula, 4:3-25.
- TANAKA, A. P. B., GIANNINI, P. C. F., FORNARI, M., NASCIMENTO JUNIOR, D. R., SAWAKUCHI, A. O., RODRIGUES, S. I., MENEZES, P. M. L., DEBLASIS, P. & PORSANI, J. L. **A planície costeira holocênica de Campos Verdes (Laguna, SC): evolução sedimentar inferida a partir de georradar (GPR), granulometria e minerais pesados.** 2009. Revista brasileira de Geociências. 39(4): 751-767.
- TOMAZELLI, L. J. & DILLENBURG, S. R. 2007. **Sedimentary facies and stratigraphy of a last interglacial coastal barrier in south Brazil.** Marine Geology, 244:33-45.
- URSIN, B. **Review of elastic and electromagnetic wave propagation in horizontally layered media.** 1983. Geophysics 48, 1063 – 1081.
- VIEIRA, C. V., MARTINHO, A., FELIX, A., BATISTA, Z.M.C., FILHO, N. O. N. H. **Paleogeografia da planície costeira das folhas Jaguaruna e Lagoa Garopaba do Sul, litoral sul do estado de Santa Catarina – Brasil.** Geosul, Florianópolis, v.24, n.47, p 91-112. jan./jun. 2009.
- VANDEBURGH, S., ROBERTS, M. C., PETERSON, C. D., PHIPPS J.B., HERB, A. **Transgressive and regressive deposits forming the barriers and beachplains of the Columbia River Littoral Cell, USA.** In: Marine Geology 273. 2010. 32-43.