

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

**COMPORTAMENTO EVOLUTIVO EM SUBSUPERFÍCIE DA BARREIRA  
HOLOCÊNICA NO LITORAL NORTE DO RIO GRANDE DO SUL: REGISTROS  
PROGRADACIONAIS, RETROGRADACIONAIS E TRANSICIONAIS**

**DÉBORA SAYURI ZANCHI WATANABE**

**ORIENTADOR –Prof. Dr. Eduardo Guimarães Barboza**

Porto Alegre - 2019

---

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

**COMPORTAMENTO EVOLUTIVO EM SUBSUPERFÍCIE DA BARREIRA  
HOLOCÊNICA NO LITORAL NORTE DO RIO GRANDE DO SUL: REGISTROS  
PROGRADACIONAIS, RETROGRADACIONAIS E TRANSICIONAIS**

DÉBORA SAYURI ZANCHI WATANABE

ORIENTADOR – Prof. Dr. Eduardo Guimarães Barboza

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Anderson Biancini da Silva

Prof. Dr. Rodolfo José Angulo

Prof. Dr. Sérgio Rebelo Dillenburg

Dissertação de Mestrado apresentada como  
requisito básico para obtenção do Título  
de Mestre em Geociências.

Porto Alegre - 2019

---

### CIP - Catalogação na Publicação

Zanchi Watanabe, Débora Sayuri  
COMPORTAMENTO EVOLUTIVO EM SUBSUPERFÍCIE DA  
BARREIRA HOLOCÊNICA NO LITORAL NORTE DO RIO GRANDE DO  
SUL: REGISTROS PROGRADACIONAIS, RETROGRADACIONAIS E  
TRANSICIONAIS / Débora Sayuri Zanchi Watanabe. --  
2019.  
91 f.  
Orientador: Eduardo Guimarães Barboza.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa  
de Pós-Graduação em Geociências, Porto Alegre, BR-RS,  
2019.

1. Barreiras Holocênicas. 2. Barreiras  
Transicionais. 3. GPR. 4. Evolução Costeira. I.  
Guimarães Barboza, Eduardo, orient. II. Título.

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), ao Instituto de Geociências (IGEO) e ao Programa de Pós-Graduação em Geociências (PPGGEO) pela oportunidade e suporte. Ao Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica (CECO), bem como ao Laboratório de Sismoestratigrafia (LabSis), por toda estrutura e equipamentos disponibilizados, fundamentais para a realização deste trabalho. Também gostaria de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de mestrado proporcionada e à EDP Soluções em Energia pelos dados disponibilizados.

Ao meu orientador, Eduardo Guimarães Barboza, agradeço por todo auxílio, suporte e confiança nos trabalhos de campo, no laboratório, em todas as atividades realizadas durante este período de mestrado. À Maria Luiza C.C. Rosa, meu enorme agradecimento pelo apoio, pelas dúvidas sanadas e por sempre me estimular a acreditar mais em mim. A ambos meu agradecimento por todos os ensinamentos, conversas geológicas e não geológicas de pré-campo, campo e pós-campo.

Aos meus colegas e amigos da pós-graduação, um agradecimento especial por todas as trocas, conversas e ajuda nos trabalhos de campo, que contribuíram ao meu crescimento pessoal e profissional. Um agradecimento especial à Maiara, Caleb, Cíntia e Mariah, por terem tornado tudo mais leve, por me proporcionarem muitas risadas no decorrer dos nossos campos e fora deles também. À Samanta, agradeço por todo apoio, pelas conversas, por estar sempre disposta a ajudar e por me inspirar.

Aos professores Sérgio Rebello Dillenburg, Felipe Caron, Luiz José Tomazelli, Rogério Manzolli e Cacinele Rocha, agradeço por toda ajuda, apoio e conversas, pelos dados essenciais na realização deste estudo e por compartilharem conhecimentos e ensinamentos com tanta dedicação.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Geologia Marinha, agradeço por proporcionarem as aulas e trabalhos de campo fundamentais na construção dos conhecimentos.

Por fim, agradeço à minha família, amigas e amigos e ao meu companheiro, por me auxiliarem das mais diversas formas, mas principalmente por me estimularem incondicionalmente.

---

## RESUMO

A Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS) possui uma das mais longas e contínuas zonas costeiras do mundo com interrupções na barreira costeira holocênica, em apenas dois pontos, mas apesar de sua continuidade, é possível segmentá-la em porções com características evolutivas diferenciadas causada por fatores alogênicos e autogênicos em diferentes escalas. Dessa forma, regiões adjacentes apresentam comportamentos antagônicos. No embaimento costeiro norte, no Litoral Norte, entre o município de Xangri-Lá e o balneário de Dunas Altas, seções de GPR e furos de sondagem foram coletados e analisados com o objetivo de delimitar as porções da costa com padrões de empilhamento distintos e compreender como o registro em subsuperfície para a porção transicional se apresenta. Dois furos de sondagem foram coletados na região de Jardim do Éden e foram comparados às seções de GPR adquiridas. A região foi classificada em três porções distintas, sendo uma progradacional delimitada pelo registro do paleoinlet da laguna de Tramandaí, uma retrogradacional, marcada pela presença de expressivas feições de progradação dos sistemas no sentido do continente e, pontualmente em Dunas Altas, uma porção da costa onde é possível observar a inversão do padrão de empilhamento de retrogradacional para progradacional. Levando-se em conta essa categorização, bem como a discussão a respeito da existência de uma barreira transicional nessa região, observaram-se duas regiões de assinatura estratigráfica distintas: Tramandaí e Dunas Altas. Apesar de Tramandaí estar localizada entre dois tipos diferentes de barreira, esse setor tem um caráter regressivo. Dunas Altas possui uma resultante agradacional para os depósitos eólicos, mas apresenta-se em estágio de progradação, estando localizada entre duas porções transgressivas da barreira. Assim, Dunas Altas representa o início de um setor de transição que se estende na direção sul (Mostardas), região onde padrões evolutivos retrogradacionais, predominantes, e progradacionais são existentes, compondo uma alternância de comportamentos antagônicos em frequências mais altas que os três setores classificados neste estudo. Dessa maneira, a variabilidade no comportamento evolutivo da barreira holocênica se dá devido aos diferentes fatores autogênicos que agem em diversas escalas e que vêm construindo a linha de costa nos últimos 8 ka.

---

## ABSTRACT

The Coastal Plain of Rio Grande do Sul (PCRS) has one of the longest and most continuous coastal zones in the world, with interruptions in the current barrier (Barrier IV) at only two points, but despite its continuity, it is possible to split it in portions with differentiated evolutionary characteristics caused by allogenic and autogenic factors. In this way, adjacent regions present antagonistic behaviors. In the northern coastal embayment, in the "Litoral Norte", between Xangri-Lá city and Dunas Altas balneary, sections of GPR and drilling holes were collected and analyzed in order to delineate the portions of the coast with different stacking patterns and to understand the subsurface record for the transitional portion. Two drill holes were collected at Jardim do Éden and compared to the GPR sections acquired. The study area was classified into three distinct portions: a progradational one marked by the record of the Tramandaí Lagoon paleo-inlet, a retrogradational barrier, marked by the presence of expressive retrogradational features, and occasionally in Dunas Altas, a portion of the coast where it was possible to observe the inversion of behavior from retrogradational to progradational. Considering this categorization, as well as the discussion about the existence of a transitional barrier in this region, two regions of differentiated stratigraphic signature were observed: Tramandaí and Dunas Altas. Although Tramandaí is located between two different types of barrier, this sector has a regressive character. Dunas Altas has an aggradational component for the aeolian deposits, but it is prograding, being located between two transgressive portions of the barrier. Thus, Dunas Altas represents the beginning of a transitional sector that would extend southwards (Mostardas), a region where progradation and retrogradation take place composing an alternation of antagonistic behaviors at higher frequencies than the three sectors classified in this study. Therefore the present coastline presents distinct behaviors probably due to different autogenic scales of processes that have been building the coast in last 8 ka

---

## Lista de Figuras

Figura 1. Porção emersa da Bacia de Pelotas e seus depósitos sedimentares (modificado de DILLENBUR; BARBOZA, 2014).....	12
Figura 2. Localização da área de estudo, Barreira IV (em amarelo) entre o município de Xangri-Lá e o balneário de Dunas Altas. Posicionamento das seções de Georradar (GPR – Ground Penetrating Radar) e dos furos de sondagem coletados e discutidos em trabalhos anteriores e neste trabalho (PC01 e PC02). .....	15
Figura 3. Distribuição espacial dos sistemas deposicionais da PCRS com idades absolutas estimadas. Observa-se uma tendência de queda na altitude para os sistemas mais jovens (Modificado de TOMAZELLI; VILLWOCK, 2000 e ROSA et al., 2017). .....	17
Figura 4 Equipamentos utilizados na coleta de dados com Georradar . Antena aérea de 80 MHz (A e D) e coletor Mesa (C). Sistema GNSS e Coletor Yuma (B) são utilizados em conjunto com o equipamento de Georradar, permitindo visualização e posicionamento das seções. ....	33

---

## Lista de Quadros

Quadro 1 Indicadores geológicos e geomorfológicos para setores da costa em erosão e acrescção (BARBOZA; ROSA, 2014).....	20
Quadro 2 Parâmetros de onda para o Litoral Norte (MARTINHO et al., 2009) .....	28
Quadro 3 Especificações das seções de GPR utilizadas neste estudo.. .....	35
Quadro 4 Furos de sondagem coletados por este estudo em Jardim do Éden (PC01 e PC02) e por outros estudos.....	36
Quadro 5 Especificações das datações realizadas em amostras de sedimentos coletadas no furo de sondagem PC02, em Jardim do Éden. As idades configuram depósitos pleistocênicos e holocênicos.....	36

---



## SUMÁRIO

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	11
1.1 Introdução .....	11
1.2 Descrição da área de estudo e caracterização do problema .....	14
1.3 Objetivos .....	16
1.4 Contexto Geológico.....	16
1.4.1 A Planície Costeira do Rio Grande do Sul e os Sistemas Laguna-Barreira .....	16
1.4.2 A Barreira IV e o Comportamento da linha de costa.....	19
1.4.3 Barreiras Transicionais: comportamento agradacional e estacionário.....	23
1.4.4 Fatores controladores na evolução de barreiras.....	25
1.5 Contexto Meteorológico e Oceanográfico .....	29
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	30
2.1 Georradar – GPR (Ground Penetrating Radar).....	30
2.1.1 Aplicação .....	32
2.2 Sondagens SPT .....	34
3. ARTIGO SUBMETIDO .....	37
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	82
5. REFERENCIAS.....	84
ANEXOS .....	91

---

## **Sobre a estrutura da dissertação**

A presente Dissertação de Mestrado está estruturada da seguinte forma:

- a) Considerações iniciais, abrangendo *Introdução, Descrição da área de estudo e Caracterização do problema, Objetivos, Contexto Geológico, Contexto Meteorológico e Oceanográfico* em que a área de estudo está inserida;
  - b) Material e métodos, onde se discorre sobre as bases conceituais dos materiais e métodos utilizados na pesquisa e uma breve descrição da sua aplicação no presente estudo;
  - c) Manuscrito submetido à revista *Marine Geology* intitulado: *“The transitional record between progradational and retrogradational barrier systems”*;
  - d) Considerações finais, contendo uma conclusão e um anexo contendo a carta de submissão do artigo
-

## 1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

### 1.1 Introdução

Estudos de evolução costeira examinam as várias razões pelas quais a posição e a natureza da linha de costa se altera dependendo da escala temporal, espacial, de ações antrópicas, estruturas geológicas, ambiente tectônico, regime de ondas, tipos de correntes, ambientes oceânicos e terrestres adjacentes, tipo e disponibilidade de sedimentos e comportamento do nível do mar (ROY et al., 1995). A interação entre as variações do nível de base e a sedimentação controla a profundidade da lâmina d'água, assim como as movimentações da linha de costa, isto é, transgressões e regressões. A natureza dessas movimentações é um fator fundamental no âmbito da estratigrafia de sequências uma vez que determina a formação de pacotes sedimentares associados com padrões deposicionais, dessa forma identificáveis por padrões de empilhamento específicos (CATUNEANU, 2006). Por conseguinte, a costa é um sistema cuja morfodinâmica envolve processos complexos de ajustes e equilíbrio (ROY et al., 1995) e, através do estudo do registro estratigráfico desses elementos, é possível entender como esses fatores controlam a evolução dos sistemas deposicionais costeiros ao longo do tempo.

A Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS), parte da porção emersa da Bacia de Pelotas (Figura 1), possui uma das mais longas e contínuas zonas costeiras do mundo, onde a barreira costeira holocênica encontra-se interrompida em apenas dois locais relacionados com as desembocaduras dos sistemas lagunares da Laguna de Tramandaí e da Laguna dos Patos (DILLENBURG; BARBOZA, 2014). Apesar de sua continuidade, é possível segmentá-la em porções com características evolutivas diferenciadas, apresentando regiões adjacentes com comportamentos antagônicos. A barreira holocênica apresenta, portanto, um diacronismo com relação aos seus depósitos sedimentares, uma vez que algumas porções ainda se encontram em um contexto de trato de sistema transgressivo, enquanto outras já apresentam comportamentos relativos a um trato de sistema de nível alto ou nível em queda (BARBOZA et al., 2018). Isso significa que o nível do mar como um fator alogênico não é atualmente um fator dominante na evolução dos

---

sistemas deposicionais recentes na PCRS e, nesse contexto, fatores autogênicos agem moldando a costa de forma primordial em diferentes escalas (ROSA et al., 2017).

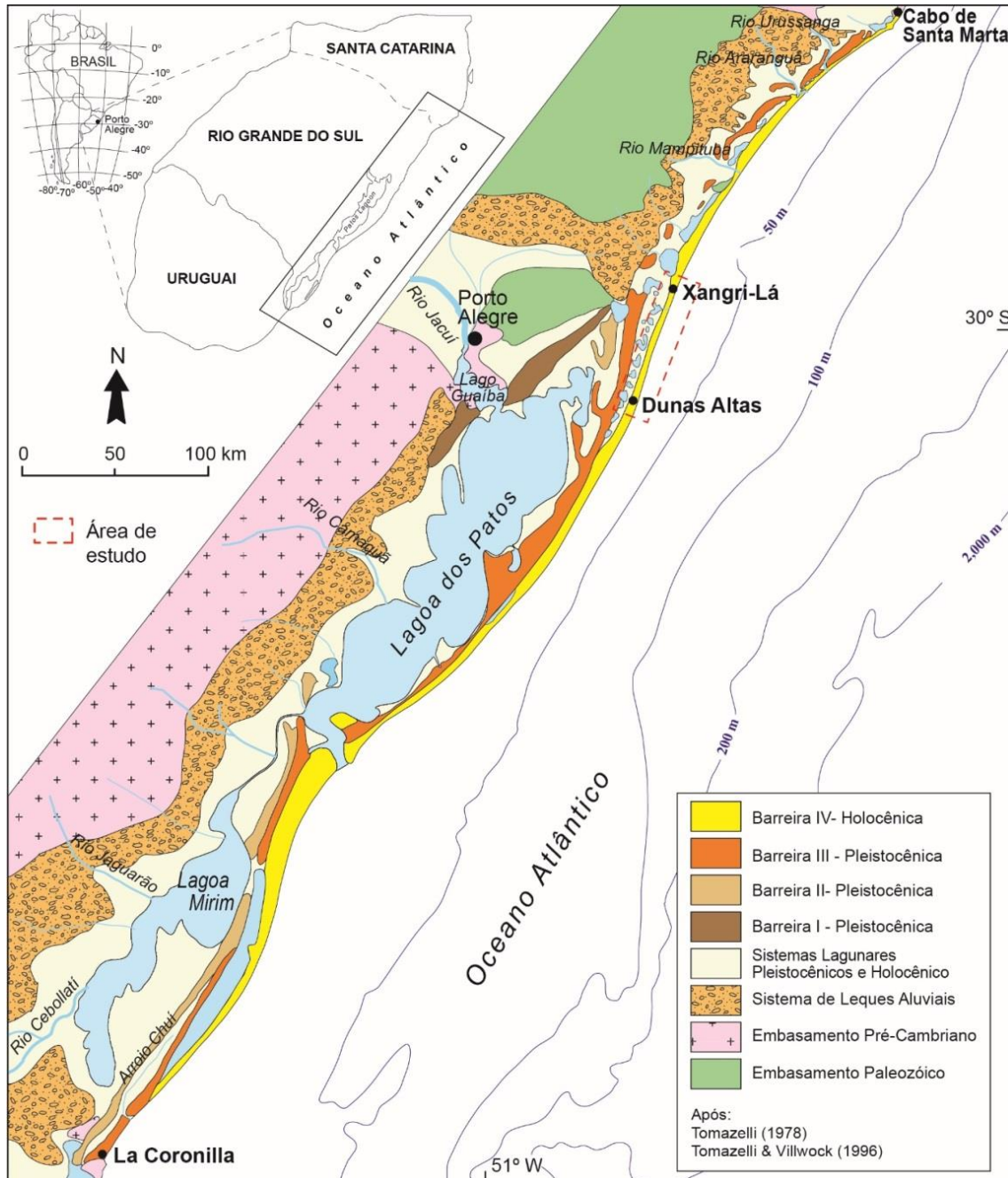


Figura 1. Porção emersa da Bacia de Pelotas e seus depósitos sedimentares (modificado de DILLENBURG; BARBOZA, 2014).

Diversos estudos são realizados objetivando o melhor entendimento da evolução e dos processos presentes na modelagem da configuração da barreira holocênica na PCRS, formada por projeções e embaixamentos configurando à costa uma suave ondulação. Os registros sedimentares, por sua vez, possuem uma tendência retrogradacional (linha de costa transgressiva) nas regiões de projeção e progradacional (linha de costa regressiva) nas porções de embaixamento, ocorrendo também aquelas barreiras consideradas agradacionais ou estacionárias (DILLENBURG et al., 2000; 2009).

Contudo, o entendimento dos registros sedimentares gerados e do comportamento da linha de costa está em constante evolução. No que diz respeito à barreira holocênica, de acordo com Dillenburg et al. (2005, 2007) os registros considerados estacionários ou agradacionais são os menos investigados. Nesses registros agradacionais, o comportamento ao longo do tempo seria alternadamente progradacional e retrogradacional com uma resultante neutra, configurando um padrão estacionário nesta escala de observação. Setores com esse modelo evolutivo são denominados setores transicionais.

Disponíveis na literatura, e de maior interesse para esse estudo, encontram-se classificados os trechos Torres – Tramandaí (Setor 1 – Regressivo) e Tramandaí – Mostardas (Setor 2 - Transgressivo/Estacionário) (DILLENBURG et al., 2000, 2009; HESP et al., 2005). Estudos anteriores demonstraram porções francamente progradacionais (regressivas) e outras retrogradacionais (transgressivas) nessa região (DILLENBURG et al., 2000, 2009; HESP et al., 2005, MARTINHO et al., 2009; TRAVESSAS et al., 2005; DILLENBURG; BARBOZA, 2014; WATANABE, 2016). Neste estudo, busca-se o aprofundamento acerca desses registros em subsuperfície e, sobretudo, do que previamente foi classificado como estacionário (agradacional ou transicional), objetivando entender de que maneira esse registro se caracteriza.

---

## 1.2 Descrição da área de estudo e caracterização do problema

A área de estudo está localizada no Litoral Norte da PCRS (Figura 2), abrangendo um setor de aproximadamente 68 km entre os municípios de Xangri-Lá e o balneário de Dunas Altas (FEPAM, 2018).

Dentro do contexto do embaçamento costeiro no Litoral Norte da PCRS, coexistem na barreira holocênica, no setor compreendido entre Dunas Altas e Xangri-Lá, registros de Georradar em subsuperfície justapostos de natureza estratigráfica diferenciada. Considerando-se uma mesma curva de comportamento do nível relativo do mar (NRM) para o Holoceno na PCRS, seria esperada uma progradação dos sistemas ao longo do embaçamento costeiro, porém dados de subsuperfície coletados com Georradar permitiram constatar um comportamento heterogêneo. Neste setor, registros com padrão de empilhamento progradacional são identificados de Tramandaí à Xangri-Lá. Porém, de Quintão a Imbé o registro do padrão de empilhamento é retrogradacional e, pontualmente em Dunas Altas, os dados demonstram uma inversão no padrão de empilhamento de retrogradacional para progradacional (WATANABE, 2016).

Tendo a área padrões de empilhamento bem definidos, surgem os problemas: o que é um setor transicional? Haveria realmente um registro estacionário (setor transicional) na área de estudo? A inversão de comportamento ocorre de que forma? Essa inversão é abrupta ou gradacional, intercalando comportamentos distintos dentro de setores menos extensos? Adicionalmente, seria possível identificar quais os fatores influenciam a variação de comportamento da barreira holocênica na área de estudo?

Dessa forma, surge a hipótese de que existam setores com padrões de empilhamento bem definidos e comportamentos estratigráficos anômalos dentro do contexto de embaçamento costeiro, sendo estes gerados por fatores autogênicos de maior frequência, e que setores transicionais se dariam em regiões que também alternassem esses padrões de empilhamento opostos em maiores frequências ao longo da costa.

---

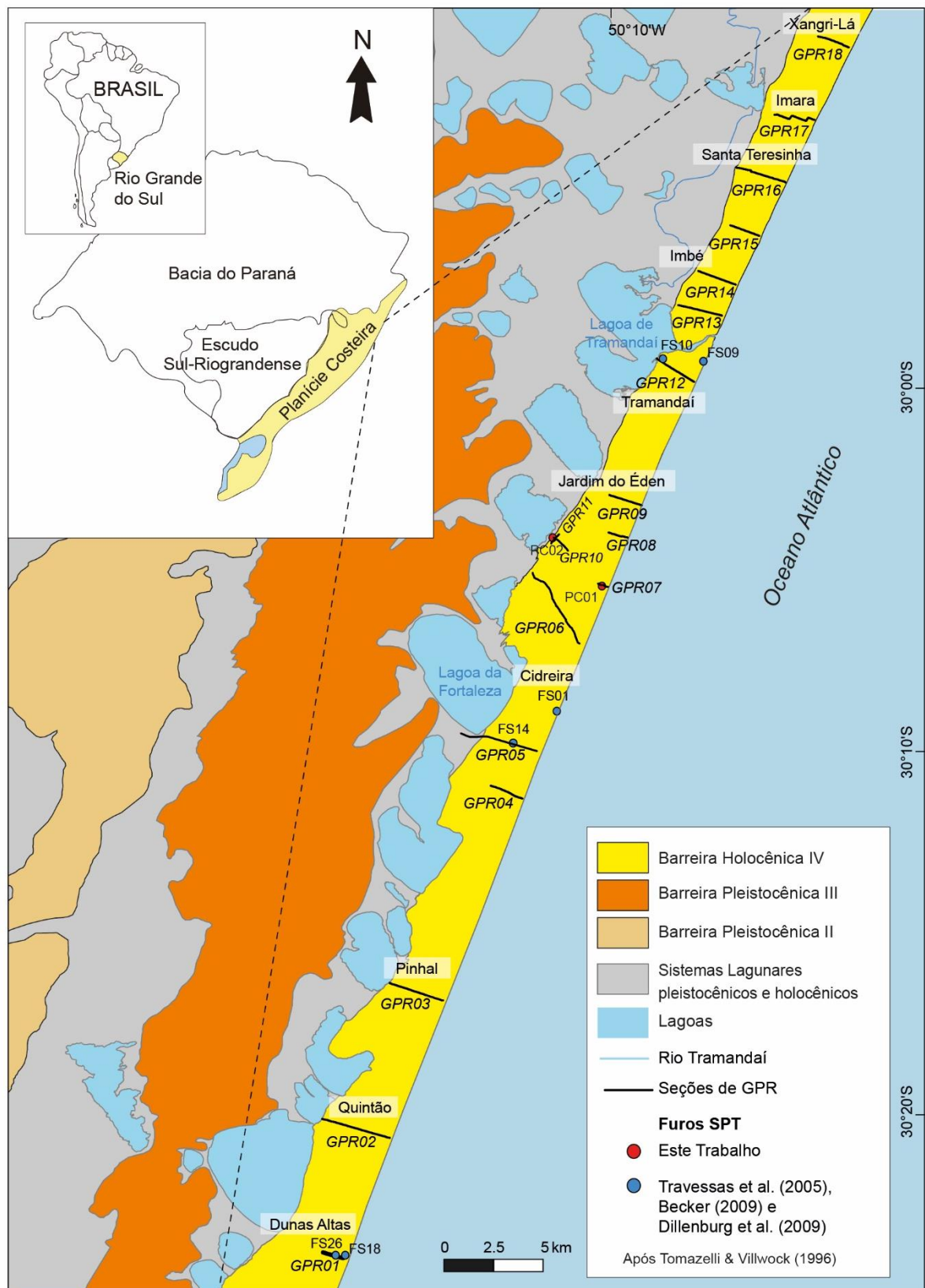


Figura 2. Localização da área de estudo, barreira holocênica (em amarelo) entre o balneário de Dunas Altas e o município de Xangri-Lá. Posicionamento das seções de Georradar (GPR – *Ground Penetrating Radar*) e dos furos de sondagem coletados e discutidos em trabalhos anteriores e neste trabalho (PC01 e PC02).

### 1.3 Objetivos

Para testar a hipótese apresentada, esta pesquisa tem como objetivo central investigar a existência de um setor transicional junto aos setores progradacionais e retrogradacionais na barreira holocênica no Litoral Norte da PCRS. A fim de atingir esse propósito, tem-se como objetivos específicos:

- Investigar o comportamento evolutivo e padrão de empilhamento da barreira holocênica interpretando seções de Georradar coletadas entre o balneário de Dunas Altas e o município de Xangri-Lá, definindo radarfácies, superfícies chave;
- Comparar as seções de Georradar com dados provenientes de furos de sondagem com auxílio de datações executadas em material coletado do próprio furo;
- Definir a extensão e as características estratigráficas dos setores progradacionais e retrogradacionais, e de que maneira ocorre a transição entre eles.

### 1.4 Contexto Geológico

#### 1.4.1 A Planície Costeira do Rio Grande do Sul e os Sistemas Laguna-Barreira

A Bacia de Pelotas (Figura 1) localiza-se no extremo sul da Margem Continental brasileira e tem sua origem interligada com os movimentos tectônicos que conduziram à abertura do Atlântico Sul a partir do Cretáceo (VILLWOCK et al., 1986). Seu substrato é formado por rochas do Escudo Sul-Rio-Grandense, do Escudo Catarinense e da Bacia do Paraná, limitando-se ao norte pelo Alto de Florianópolis e ao sul pelo Alto de Polônio (Uruguai) (DIAS et al., 1994).

A linha de costa da PCRS apresenta-se suavemente ondulada com orientação NE-SW. É constituída pela porção superficial dos sedimentos continentais, transicionais e marinhos acumulados durante o Cenozóico, abrangendo uma ampla área plana com 40000 km<sup>2</sup>. Ocorrem depósitos de dois tipos principais de sistemas deposicionais descritos por VILLWOCK et al. (1986): sistema de leques

---



aluviais, terciários, na porção oeste adjacente às encostas do Escudo Sul-Rio-Grandense e da Bacia do Paraná; e os sistemas do tipo laguna-barreira, três pleistocênicos (barreiras I, II e III) e um holocênico (Barreira IV).

Os sistemas do tipo laguna-barreira da PCRS coalescem para o leste em cotas cada vez mais baixas (ROSA et al., 2017), sua disposição espacial condiz com a idade relativa de cada sistema. Assim, o sistema mais interiorizado é o mais antigo, Sistema Laguna-Barreira I, seguido dos sistemas II e III, ambos pleistocênicos. O sistema mais jovem, de idade holocênica, é o mais externo e representa a barreira da atual linha de costa do Rio Grande do Sul, representada pela Barreira IV (Figura 3) e, na retaguarda, pelo Sistema Lagunar IV (BARBOZA; ROSA, 2014).

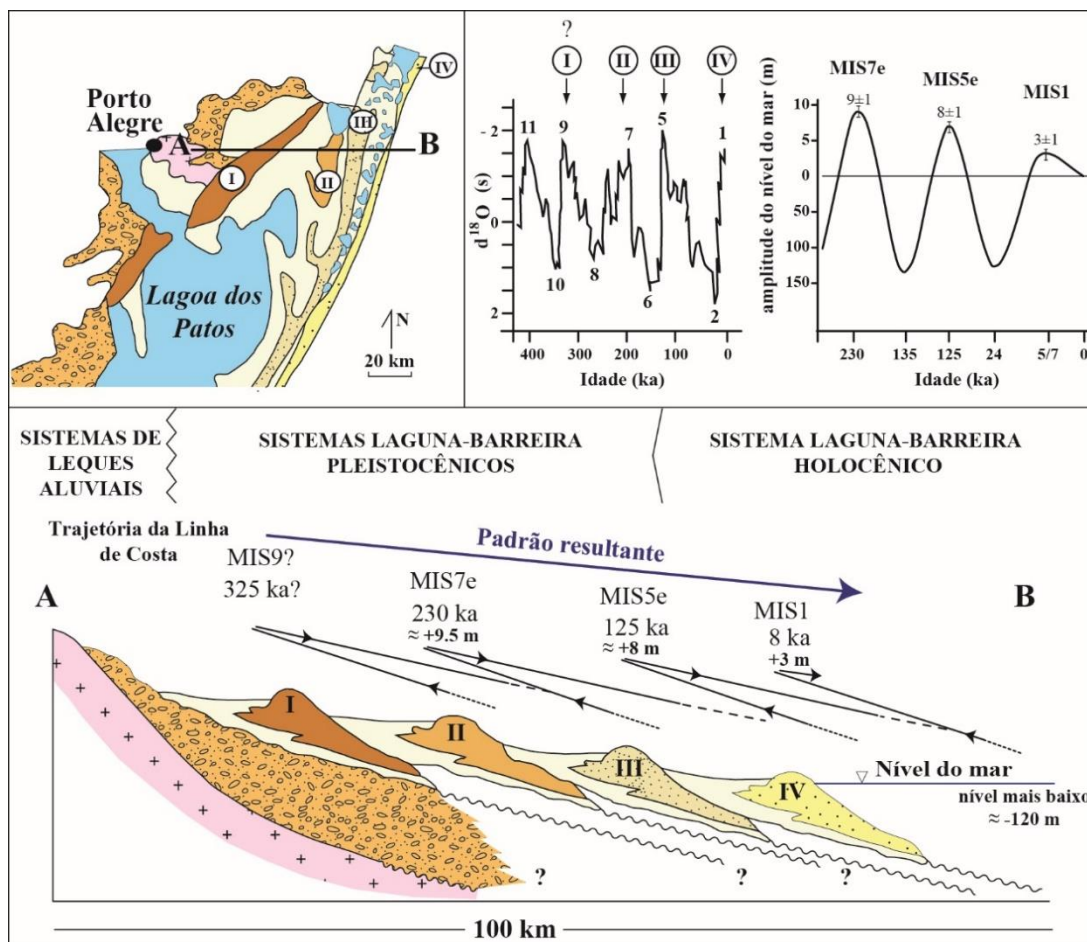


Figura 3. Distribuição espacial dos sistemas deposicionais da PCRS com idades absolutas estimadas. Observa-se uma tendência de queda na altitude para os sistemas mais jovens (Modificado de TOMAZELLI; VILLWOCK, 2000 e ROSA et al., 2017).

A formação e a evolução desses sistemas ocorreu sob influência de oscilações glácio-eustáticas do nível do mar de 100 ka através de ciclos transgressivos – regressivos (VILLWOCK et al., 1986), bem como decorrente de fatores como herança tectônica (ROSA et al., 2009), clima e dinâmica costeira (ondas, marés, correntes, ventos, deriva litorânea de sedimentos), influenciando na criação de espaço de acomodação e preenchimento (ROSA et al., 2017).

A idade desses quatro sistemas é correlacionada com os estágios isotópicos de oxigênio, e a instalação de cada sistema relacionada a um pico máximo positivo da curva de Shackleton e Opdyke (1973) e Imbrie et al. (1984) (Figura 3). Esses sistemas correspondem à parte de um conjunto degradacional de sequências deposicionais, sendo cada uma representante de uma sequência deposicional de alta frequência (ROSA et al., 2011, 2017). Assim, o Sistema Laguna-Barreira I estaria relacionado ao pico 9 (325 ka), Sistema Laguna-Barreira II ao pico 7e (230 ka), Sistema Laguna-Barreira III ao pico 5e (125 ka) e Sistema Laguna-Barreira IV ao pico 1, tendo se desenvolvido nos últimos 8 ka (ROSA et al., 2017).

De acordo com a curva estabelecida para o nível relativo do mar na costa do Brasil, desenvolvida por Angulo e Lessa (1997), a tendência geral é de rebaixamento a partir de 6 ka, quando o nível relativo do mar atingiu seu máximo. Para a costa do Rio Grande do Sul, as altitudes relacionadas a este máximo estão entre 2 e 4 m (DILLENBURG et al., 2000; BARBOZA; TOMAZELLI, 2003). No contexto de uma regressão forçada, associado a queda do nível relativo do mar no Holoceno, é esperado que a barreira holocênica no Rio Grande do Sul apresente um padrão de empilhamento progradacional, porém padrões distintos são observados, apresentando registros não somente progradacionais, mas também retrogradacionais e agradacionais (DILLENBURG et al., 2000).

---

#### 1.4.2 A Barreira IV e o Comportamento da linha de costa

Diversos estudos demonstram a influência do aporte sedimentar, da topografia antecedente, declividade da plataforma e gradiente de potência de ondas na configuração da Barreira IV. De acordo com Dillenburg et al. (2000), em escala de séculos e milênios, o balanço sedimentar seria o responsável pela formação de segmentos costeiros com padrões progradacionais e retrogradacionais. Os primeiros relacionam-se a setores onde ocorre acresção sedimentar, tendendo a ocorrer nas porções de embaiamentos costeiros, onde o suprimento é positivo (barreiras progradacionais, progradantes ou regressivas). Hesp et al. (2005) definiu essas porções como barreiras progradantes cobertas por fases de campos de dunas transgressivos na forma de cordões com orientação paralela à costa, que tem sua origem ligada à erosão das dunas frontais formando lençóis de areia (BARBOZA et al., 2009, 2013). Já os setores retrogradacionais estariam relacionados às projeções costeiras, regiões sujeitas à erosão, onde o aporte sedimentar é negativo (barreiras retrogradantes ou transgressivas), gerando problemas ao uso e a ocupação (BARBOZA; ROSA, 2014), uma vez que são regiões em retração comumente com ocupação humana intensa.

A barreira holocênica na PCRS, por possuir comportamentos evolutivos diferenciados em sua extensão, apresenta feições diagnósticas variadas ao longo dos seus 620 km. Barboza e Rosa (2014) destacaram indicadores geológicos e geomorfológicos para as porções da costa em erosão e acresção, analisando a morfologia da linha de costa, feições eólicas, praias e lagunares. Os indicadores estão sumarizados no quadro abaixo (Quadro 1):

Os tipos de dunas que ocorrem majoritariamente na PCRS são: cadeias barcanóides, dunas barcanas e cadeias transversais (TOMAZELLI et al., 2008). A alimentação desses campos ocorre através do transporte de sedimentos praias, que, quando secos, são carregados para regiões mais continentais através de corredores de alimentação (TOMAZELLI, 1994).

---

Quadro 1 Indicadores geológicos e geomorfológicos para setores da costa em erosão e acreção (BARBOZA; ROSA, 2014)

Indicadores		Setores em erosão	Setores em acreção
Morfologia da linha de costa		Projeção	Embaimento
Sistema eólico		Campos de dunas mais expressivos, especialmente no sentido do extremo nordeste das projeções	Cordões de dunas frontais ( <i>foredune ridges</i> ) e cordões de dunas transgressivos ( <i>transgressive dune sheets</i> )
Sistema praial/eólico	Duna Frontal	escarpada	Bem desenvolvidas; Presença de dunas embrionárias
	Classificação Morfodinâmica	Praias intermediárias e intermediárias a refletivas	Praias dissipativas
Sistema lagunar		Perfil assimétrico; Margem em contato com a barreira holocênica mais íngreme; Presença de deltas coalescentes nas margens em contato com a barreira holocênica; turfas e lamas lagunares aflorantes na praia; exsudações freáticas na praia comuns devido a camadas argilosas em subsuperfície relacionadas à paleolagunas	Perfil simétrico; Presença de terraços lagunares no entorno das lagoas atuais relacionados ao último máximo eustático.

Também são formados com esse transporte cordões paralelos à costa, de baixa amplitude, descontínuos, chamados de cordões de dunas transgressivos (*transgressive dune sheets*) ou lençóis de areias transgressivos (*transgressive sand sheets*) (DILLENBURG et al., 2017) a exemplo do Litoral Norte (MARTINHO, 2008). Esses cordões são representados no terreno por baixios topográficos, podendo formar banhados e cristas de areia (HESP et al., 2007; DILLENBURG et al., 2017).

Já os cordões de dunas frontais (*foredune ridges*) são feições contínuas paralelas à linha de costa, com amplitude similar ou maior que os cordões de dunas transgressivos, formando, da mesma forma, baixos e altos topográficos, que denotam um padrão evolutivo progradacional. Ainda com relação ao sistema eólico, porém correlacionável com setores retrogradacionais, os campos de dunas mais expressivos ocorrem no extremo nordeste das projeções costeiras.

Em Imbé, já no litoral norte, Toldo Jr. et al. (1993) descrevem dunas frontais bem desenvolvidas, ocorrendo dunas embrionárias. Em locais onde as dunas frontais são menos desenvolvidas, a praia geralmente é mais estreita e as marés meteorológicas podem escarpar a face das dunas frontais. No Balneário de Dunas Altas, as dunas frontais apresentam as maiores alturas da costa do Rio Grande do Sul. É uma região classificada como agradacional com leve resultante progradacional (DILLENBURG et al., 2005), o expressivo tamanho das dunas atribuído ao engarrafamento de sedimentos por mudança na orientação da linha de costa (TOLDO Jr. et al., 2006).

Os sistemas lagunares apresentam variações morfológicas ao longo da PCRS. No Litoral Norte é representado por diversas lagoas interligadas que desembocam na Laguna de Tramandaí (Barboza; Rosa, 2014). Nos locais onde os sistemas lagunares ocorrem imediatamente na retaguarda da barreira holocênica, depósitos são gerados pela interação com o sistema eólico, podendo ocorrer colmatação lagunar devido ao transporte de material arenoso proveniente da migração das dunas transportadas pelo vento nordeste, bem como formação de deltas que progradam dentro do sistema lagunar na retrobarreira alimentados por pequenas drenagens que se formam no interdunas (ROSA et al., 2016). A migração lateral dessas feições se dá de acordo com a movimentação do campo de dunas e interdunas (TOMAZELLI et al., 2013).

Adicionalmente, nos setores onde o comportamento da barreira é retrogradacional podem aflorar lamas lagunares no *foreshore/backshore*, denotando um balanço negativo de sedimentos (TOMAZELLI et al., 2008; DILLENBURG et al., 2004). Pode-se citar como exemplos o Balneário Jardim do Éden, com lamas datando  $5,8 \pm 0,1$  ka BP (TRAVESSAS et al., 2005); Hermenegildo e Bujuru, datando 3,220 e 3,370 ka BP (DILLENBURG et al., 2004). A exposição desses

---

depósitos lagunares deriva de marés meteorológicas que elevam o nível do mar, aumentando a energia das ondas e removendo areia do perfil praiial. Em locais onde a retrogradação é muito acentuada, o sistema lagunar já não está mais presente na retaguarda da barreira holocênica, ocorrendo afloramentos da Barreira III (pleistocênica) na forma de uma falésia na praia (BARBOZA; ROSA, 2014).

Quanto à morfologia dos corpos lagunares, nas porções da costa em erosão, as margens do lado leste (em contato com a Barreira IV) e as margens do lado oeste, mais interiorizada, apresentam assimetrias. Uma vez que o processo de retrogradação gera um aporte de sedimentos pela margem leste, estas tendem a ser mais íngremes, muitas vezes com a entrada direta das dunas dentro das lagoas, gerando grandes gradientes, enquanto que as margens oeste apresentam um perfil mais suave. Nos setores em acreção (progradantes), o perfil lagunar tende a ser mais simétrico e, ao redor das margens atuais, é possível distinguir um terraço lagunar relativo ao nível acima do atual resultante do último máximo relativo do nível do mar (BARBOZA; ROSA, 2014).

De maneira geral, com base no comportamento estratigráfico, a Barreira IV na PCRS foi dividida em cinco setores (DILLENBURG et al., 2000; 2009; DILLENBURG; BARBOZA, 2014): Setor 1 (Torres - Tramandaí), Setor 2 (Tramandaí - Mostardas/Lagamarzinho), Setor 3 (Mostardas/Lagamarzinho - Estreito), Setor 4 (Estreito - Verga/Albardão) e Setor 5 (Verga/Albardão - Chuí).

Na área de estudo encontram-se somente dois desses setores, o Setor 1 (Torres – Tramandaí) levemente côncavo, com 2 a 5 km de largura, e apresenta uma natureza regressiva. Durante a sua progradação nos últimos 7 ka formaram-se múltiplos campos de dunas transgressivas (transgressive dune fields), separados por cordões de precipitação (precipitation ridges) (DILLENBURG et al., 2006; HESP et al., 2005; DILLENBURG et al., 2009). De Torres à Xangri-Lá a fase moderna do campo de dunas transgressivo tem aproximadamente 800 m e de Xangri-Lá à Tramandaí a barreira está totalmente coberta por essa fase moderna (DILLENBURG et al., 2009). Com base em furos de sondagem e seções estratigráficas apresentadas por Travessas et al. (2005) foram identificados registros de uma fase transgressiva da barreira em Tramandaí na sua porção oeste, baseada em depósitos de leques de sobrelavagem/deltas de maré enchente. Na sua porção leste

---

apresenta comportamento regressivo ou progradante, representado por depósitos eólicos sobrepostos aos praias. Com base em modelagem numérica, definiram setores com processos distintos na costa do Rio Grande do Sul e propuseram um ponto de influxo ou inversão de padrão para a região de Tramandaí, sugerindo um comportamento diferenciado para essa região.

O Setor 2 (Tramandaí – Mostardas/Lagamarzinho) apresenta uma morfologia levemente convexa, com a largura da barreira variando de 2 a 6 km, completamente coberta por campos de dunas transgressivos. Esse setor é classificado como transgressivo/estacionário. Em Jardim do Éden, lamas lagunares aflorantes na face de praia são indicativas de uma erosão de longo período que ocorre na região. Mais ao sul em Cidreira, a barreira também apresenta evidências de uma erosão de longo período, porém com uma pequena fase recente de progradação (TRAVESSAS et al., 2005). Em Dunas Altas ocorre um grande campo de dunas transgressivo, que representa o principal depósito arenoso da barreira.

#### 1.4.3 Barreiras Transicionais: comportamento agradacional e estacionário.

Barreiras estacionárias, também chamadas de barreiras agradacionais, são definidas como aquelas que, ao longo do tempo, alternam comportamento progradacional e retrogradacional, compondo uma resultante neutra ou estável (SHEPERD, 1991). Assim, setores com esse tipo de comportamento são considerados setores transicionais (DILLENBURG et al., 2000, 2005) os indicadores utilizados para evidenciar esse padrão seriam dunas frontais bem desenvolvidas (THOM, 1968), bem como ausência de progradação desde o máximo do nível do mar durante o Holoceno (ROY et al., 1995), que na costa sul do Brasil é de aproximadamente 6 ka.

É importante destacar que na literatura o termo *transicional* é utilizado com duas conotações: espaço geográfico transicional entre barreiras que já tenham seu padrão de evolução definido, seja ele progradacional ou retrogradacional, e como sinônimo de barreiras que teriam um comportamento *agradacional*. Este último considerado um sinônimo de *estacionário*, passando uma ideia de relativa estabilidade da barreira no que se refere ao seu posicionamento, não possuindo

---

resultante relevante de movimentação nem no sentido da bacia (padrão progradacional), nem no sentido do continente (retrogradacional), pois a mesma teria alternado esses comportamentos ao longo do tempo. Assim, a linha de costa com comportamento estacionário (*stillstand*), no que diz respeito ao regime sedimentar, ficaria em regime de agradação (HOLZ, 2012). O processo de agradação está relacionado com a mudança no balance entre fluxo de energia e suprimento sedimentar, onde um excesso de carga sedimentar é responsável por uma agradação (CATUNEANU, 2006).

Porém o termo agradacional não indica necessariamente alternância de padrões de empilhamento, nem mesmo resultante neutra de movimentação. Da mesma maneira, comportamentos agradacionais não são obrigatoriamente intermediários aos padrões progradacional e retrogradacional por estarem espacialmente posicionados entre locais com comportamento distintos. Na área referente ao estudo, a porção que vai de Tramandaí à Mostardas/Lagamarzinho, também chamada de Setor 2, foi classificada como transgressiva estacionária/transicional (DILLENBURG et al., 2000; HESP et al., 2005; DILLENBURG et al., 2009; DILLENBURG; BARBOZA, 2014).

O Balneário de Dunas Altas, na porção norte de uma suave projeção costeira, apresenta dunas frontais bastante elevadas, podendo atingir 10-12 m. Este segmento da barreira holocênica foi inicialmente classificado como agradacional (estacionário) (DILLENBURG et al., 2005), porém Dillenburg et al. (2007) atribuiu à essa região um comportamento diferenciado, levemente progradante, não com características típicas de barreiras regressivas, normalmente caracterizadas pela presença de cordões litorâneos. Barreiras tipicamente regressivas como Curumim, no Litoral Norte, e Rio Grande, no Litoral Sul, apresentam taxas de progradação nos últimos 6-7 ka de 0,7 m/ano e 2 m/ano, respectivamente (DILLENBURG et al., 2007).

Neste setor, a mudança de orientação da linha de costa gera um engarrafamento de sedimentos da deriva litorânea, ocasionando em um balanço positivo de sedimentos em Dunas Altas e Mostardas (TOLDO Jr. et al., 2006). De Dunas Altas à Mostardas, Absalonsen e Toldo Jr. (2007) atribuíram para a barreira holocênica um comportamento predominantemente retrogradacional, porém com

---



alternâncias de menores setores em processo de progradação ou mesmo estável durante o período entre 1997 a 2005.

Barboza et al. (2011) apresentam seções de subsuperfície coletadas com o método do Georradar (antena de 200 MHz) e evidencia refletores paralelos e subparalelos para a região de Dunas Altas, atribuindo essa característica a um comportamento agradacional/estacionário, na porção transicional entre embaixamentos e projeções. Porém, estudos posteriores demonstraram que os refletores analisados correspondem ao empilhamento de sedimentos subaéreos referentes ao campo de dunas, compondo parte de um sistema que encontra-se em processo de progradação. Esse comportamento é bem evidenciado por refletores migrando no sentido da bacia (NW), sobrepostos à fase retrogradacional desse setor, onde refletores migram no sentido do continente (WATANABE, 2016).

#### 1.4.4 Fatores controladores na evolução de barreiras

Diferentes padrões estratigráficos encontrados nas barreiras costeiras são resultados da combinação de diversos fatores autogênicos e alogênicos, sendo estes geológicos, oceanográficos e climáticos, tal como a eustasia, o clima e a dinâmica costeira. A variabilidade encontrada na configuração da planície costeira da Bacia de Pelotas, bem como as características dos sistemas deposicionais são extremamente influenciadas pelos processos autogênicos (Rosa et al., 2017). No que diz respeito à formação de barreiras três são os requisitos básicos: substrato apropriado, disponibilidade de sedimentos e ondas.

Uma barreira retrogradacional ou transgressiva é o resultado da migração da mesma no sentido do continente por uma subida do nível do mar, onde lamas lagunares irão aflorar na plataforma, ou por um balanço negativo de sedimentos em uma condição estável ou quase estável do nível do mar, onde lamas afloram na praia, próximo ao nível de mar atual ou no *foreshore* (DILLENBURG; HESP, 2009), como é o caso de Jardim do Éden (TOMAZELLI et al., 2008; DILLENBURG et al., 2004; TRAVESSAS et al., 2005). Em condições onde a taxa de elevação do nível do mar é similar à taxa de *input* sedimentar (balanço positivo de sedimentos) podem ser formadas barreiras agradacionais. A morfologia também dependerá da taxa de

---

transgressão e do tipo e volume de sedimento envolvido (DILLENBURG; HESP, 2009). Já as barreiras progradaçãoais ou regressivas podem conter cordões (*beach ridges*) formados por ondas ou por processos eólicos (*foredunes, transgressive dunefields*). Em condições de subida ou descida lenta do nível do mar, este deixa de ser o fator controlador principal da evolução das barreiras costeiras e o estoque de sedimentos passa a controlar o estilo e tipo de barreira.

Tipos antagônicos de barreiras coexistem temporalmente em função de um balanço positivo e negativo de sedimentos em escala de longo período (séculos e milênios) sob um nível de mar quase idêntico. Sua espessura é função do tipo de barreira, onde as transgressivas tendem a ser mais estreitas do que as regressivas (DILLENBURG; HESP, 2009).

O estoque de sedimentos, principalmente areia, é originário do retrabalhamento da plataforma continental, erosão de projeções costeiras adjacentes e sedimentos fluviais (DILLENBURG et al., 2000). Sedimentos holocênicos são predominantemente areias finas a médias quartzosas, formando as barreiras costeiras, e areias quartzosas finas a médias e lama, formando os depósitos lagunares. Excepcionalmente, em Albardão a predominância é de sedimentos biogênicos (carbonato de cálcio) advindo de conchas e fragmentos de conchas (DILLENBURG; HESP, 2009). A Barreira IV na PCRS não possui alimentação arenosa advinda de canais fluviais, uma vez que a carga sedimentar transportada por canais (rios Camaquã e Jacuí) fica retida nas lagoas adjacentes e em outros ambientes da retrobarreira (TOMAZELLI et al., 1998). Os dois *inlets* presentes em Rio Grande e em Tramandaí transportam apenas sedimentos lamosos para a costa. Em contrapartida, mais da metade da progradação nos embaiamentos na PCRS depois de 5 ka é advinda da plataforma continental. O restante é decorrente da erosão das projeções e deposição nos embaiamentos adjacentes (DILLENBURG et al., 2000).

As ondas são o fator de maior controle no estoque de sedimentos e, dessa forma, na formação e no tipo de barreira. A taxa de transporte sedimentar está diretamente relacionada com a energia de ondas (DILLENBURG; HESP, 2009). A ação de ondas pode suprimir as reentrâncias (embaiamentos) e saliência (projeções) da linha de costa. Assim, a refração de ondas faz com a energia seja

---

mais concentrada nas projeções e dispersa nos embaiamentos. Os processos de refração e dissipação diferenciada de energia de onda na plataforma continental determinam diferentes níveis de altura e energia de onda na PCRS. Assim, a configuração de reentrância (embaixamentos) e o baixo gradiente da plataforma adjacente estimulam um nível de energia menor e um conseqüente balanço positivo de sedimentos (progradação). Já nas projeções, o alto gradiente da plataforma favorece um nível relativo alto de energia de onda e conseqüente balanço negativo de sedimentos (retrogradação) (DILLENBURG et al., 2003).

Diferenças na altura e energia de onda, bem como no ângulo em que as mesmas atingem a costa, determinam o tipo de praia, dunas e o desenvolvimento da barreira (DILLENBURG; HESP, 2009). Dados quantitativos com relação aos parâmetros de onda em diferentes localidades no Litoral Norte foram apresentados por Martinho et al. (2009), conforme Quadro 2.

Já as marés possuem papel secundário no desenvolvimento de barreiras costeiras. Em costas dominadas por ondas com regimes de micromaré, como no caso na PCRS, ocorre um prisma de maré pequeno que resulta em barreiras longas com poucos inlets (DILLENBURG; HESP, 2009). Um eventual aumento da energia da maré implicará em um maior prisma de maré e conseqüente aumento na quantidade de inlets que viabilizem a movimentação e escoamento da água, favorecendo a formação de barreiras menores ou mesmo ilhas barreira.

Os ventos têm papel importante na evolução das barreiras costeiras. Em costas de baixo gradiente dominadas por ondas com nível do mar estável ou quase estável nos últimos 7-6 ka, com grande suprimento sedimentar e regime de ventos que soprem no sentido do continente, os processos eólicos exercem papel fundamental na construção das porções emersas das barreiras, por vezes das imersas (DILLENBURG; HESP, 2009).

---

Quadro 2 Parâmetros de onda para o Litoral Norte (MARTINHO et al., 2009)

Variável	Xangri-Lá	Mariluz	Jardim do Éden	Pinhal	Dunas Altas
Número de observações -N	10	10	10	10	10
Altura da arrebentação -Hb(m)	1,21	1,39	1,53	1,48	1,60
Período de onda - T (s)	9,6	9,6	9,8	10,4	10,2
Tamanho médio de grão - Mz (mm)	0,193	0,196	0,183	0,183	0,186
Velocidade de assentamento do sedimento- wr (cm/s)	2,11	2,15	1,94	1,94	1,98
Coefficiente adimensional (k)	0,99	1,09	1,19	1,14	1,22
Orientação da linha de costa (°)	25	25	25	19	19
Ângulo entre direção da onda (S) e linha de costa	-65	-65	-65	-71	-71
Energia de onda ( $\times 10^3 \text{Nm/m}^2$ ) - E	1,86	2,45	2,95	2,77	3,23
Poder de onda ( $10^3 \text{N/s}$ ) - P	7,26	10,26	12,93	11,95	14,49
Energia de fluxo <i>longshore</i> ( $\times 10^3 \text{N/s}$ - PI)	-1,66	-2,52	-3,25	-2,90	-3,73
Taxa de transporte de peso imerso ( $\times 10^3 \text{N/s}$ )	-1,64	-2,74	-3,88	-3,30	-4,56
Taxa de transporte de sedimento volumétrico ( $\times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$ )	-5,42	-9,05	-12,80	-10,91	-15,07

A topografia antecedente controla a morfologia da costa atual devido à declividade, definindo a orientação da costa, regime principal de ventos e ondas e devido às variações morfológicas locais que condicionaram a formação de embaimentos e projeções (DILLENBURG et al. 2000). Essa topografia é representativa da antiga porção costeira emersa, sujeita às variações do nível do mar, podendo ter ficado submersa ou parcialmente submersa. A declividade desse substrato e a morfologia da plataforma continental influenciarão na evolução da barreira por terem influência direta na energia das ondas e no estoque de sedimentos (DILLENBURG; HESP, 2009; DILLENBURG et al., 2000). Através de modelagens utilizando *Shoreface Translation-Barrier Model* (STM), Dillenburg et al. (2000) demonstraram que o modelo gerado a partir da declividade da plataforma

interna do RS calculada em 25 perfis (Torres ao Chuí) de -70 a +2 m de variação, de sul para norte, de 0,027° a 0,125°, mostrou que pequenas diferenças na declividade do substrato (da ordem de poucos minutos) podem produzir diferenças significativas nas taxas de movimentação da costa durante uma subida do nível do mar. Assim, a topografia antecedente exerce papel fundamental na morfologia da linha de costa e no tipo de barreira.

### **1.5 Contexto Meteorológico e Oceanográfico**

A plataforma continental do Rio Grande do Sul apresenta uma largura variável entre 100 e 200 km, rasa (100 a 140 m) e de baixa declividade (0,03° a 0,008°).

O clima no estado é classificado na escala de Köppen como Temperado do tipo Subtropical, Mesotérmico Úmido ou Cfa. A média anual de temperatura fica entre 16° e 18°C e a precipitação anual entre 1300 e 1900 mm, sendo as chuvas bem distribuídas ao longo do ano (ALVARES et al., 2014). Precipitações mais intensas ocorrem no Litoral Norte, entre Torres e Tramandaí devido à influência da topografia adjacente mais elevada, atingindo entre 500 e 700 m, e mais próxima da costa (15-20 km) (DILLENBURG et al. 2009).

A linha de costa possui orientação NE-SW e é caracterizada por uma suave ondulação, exposta a ondas de *swell* geradas ao sul e ondas geradas por ventos intensos provenientes de NE (prevalecente) produzidos na primavera e verão (DILLENBURG et al., 2000), sendo este o vento predominante de Setembro à Março. De Abril a Agosto os ventos de S e SW são os dominantes. A altura significativa de onda é de 1,5 m com o nível do mar aumentando cerca de 1,3 m quando em tempestades (BARLETTA; CALLIARI, 2001; CALLIARI et al., 1998). A maré é semidiurna com regime de micromaré e variação de 0,5 m (DILLENBURG et al., 2009). A extensão máxima da face de praia fica entre -16 e -25 m de profundidade, limitada pela alta energia de ondas (GRUBER et al., 2003, 2006).

Tendo a trajetória da linha de costa e os sistemas deposicionais presentes na PCRS a formação intimamente relacionada com os ciclos glácio-eustáticos (VILLWOCK et al., 1986), é importante ressaltar que a discordância presente na base do Sistema Laguna-Barreira IV (limite com sistemas pleistocênicos) foi

---

originada com o rebaixamento do nível do mar, que estava 8 m acima do atual há 125 ka. Essa queda atingiu seu máximo há cerca de 20 ka com o posicionamento da linha de costa 120 a 130 m abaixo do atual (CORRÊA, 1996), próximo da atual quebra da plataforma (Último Máximo Glacial – *Last Glacial Maximum* - LGM). Na elevação subsequente, gerando depósitos em um contexto de trato de sistema transgressivo, o nível de mar atual foi ultrapassado entre 7,7 e 6,9 ka, com o ápice atingido em 6 ka, representando um nível de mar entre 2 e 4 m acima do atual (PMT- *Post Glacial Marine Transgression*). Antes desse máximo ser atingido os sistemas deposicionais já estariam progradando, o que caracteriza um trato de sistema de nível alto (ROSA et al., 2017). Atualmente, o nível do mar se encontra em queda à pequenas taxas (ANGULO et al., 2006; BARBOZA; TOMAZELLI, 2003).

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Georradar – GPR (*Ground Penetrating Radar*)**

O método do Georradar (GPR ou *Ground Penetrating Radar*) é um método ativo que se baseia na propagação de ondas eletromagnéticas e na resposta das mesmas às mudanças ou descontinuidades das propriedades elétricas dos materiais em subsuperfície. Esse método opera na faixa de frequência de rádio e micro-ondas que pode variar desde MHz até GHz (NEAL, 2004).

Dessa forma, o equipamento emite a onda eletromagnética no solo e a reflexão dessas ondas será resultante do contraste entre os meios do alvo. O principal fator controlador da geração de reflexões é a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas, que é determinada pelo contraste entre as camadas ou estratos, ou seja, o contraste relativo de permissividade entre o alvo e o material ao redor. A permissividade relativa é a passagem da energia eletromagnética quando um campo eletromagnético é imposto ao material alvo (JOL; BAKER, 2007). Já a amplitude e a atenuação da onda que está propagando são dependentes da permeabilidade magnética e da condutividade elétrica do material. Permeabilidade magnética é a habilidade do material de se magnetizar quando um campo eletromagnético é imposto sobre esse material e quando aumenta resulta em uma

---

queda na qualidade do dado e/ou profundidade de aquisição do dado. Da mesma forma, materiais com alta condutividade elétrica tendem a atenuar os sinais das ondas eletromagnéticas, produzindo um dado de baixa qualidade e/ou redução na profundidade dos dados. Nesse contexto, a existência de materiais com alta condutividade atenua a energia e influencia negativamente na qualidade dos dados, sendo exemplos a presença de águas salinas, silte, argila e argila.

A coleta de dados com equipamento de Georradar compõe-se em três etapas, que são a aquisição, o processamento e a interpretação. Antenas de frequência central que variam de 50 a 500 MHz são as empregadas na maioria dos estudos relacionados a sistemas deposicionais. Também ocorrem variações nos tipos utilizados, sendo as posicionadas diretamente sobre a superfície denominadas antenas de contato e as que podem ser utilizadas com uma certa distância, antenas aéreas.

Durante a aquisição, a antena gera o pulso eletromagnético, que atravessa as camadas presentes em subsuperfície se propagando e é então refletido de acordo as interfaces dos alvos. Os contrastes devem-se geralmente à variação nos tipos de sedimentos, granulometria, porosidade e compactação e no conteúdo de água (JOL; BRISTOW, 2003). Os métodos de aquisição podem ser classificados de acordo com o arranjo das antenas e com o tipo de dado gerado. A transiluminação, o *Common Mid Point* (CMP ou levantamento de velocidades) e o *Common Offset* (CO ou perfil de reflexões) (NEAL, 2004). Na técnica *Common Offset*, o caminhamento é simultâneo com transmissão e recepção, no mesmo sentido e com uma distância fixa entre elas (*fixed offset*) (BAKER et al., 2007).

Após a geração e propagação do pulso, a energia eletromagnética é refletida, volta para a superfície e é registrada pela antena receptora. A radiação eletromagnética é convertida em um sinal, que é digitalizado e armazenado na memória de um coletor (ROSA, 2012), passível de interpretação. A velocidade de propagação do material em subsuperfície é definida pelo tempo de viagem, ou seja, o tempo que a onda leva para atravessar as camadas em subsuperfície e voltar. Esse valor varia entre 0,05 e 0,15 m/ns (JOL; BAKER, 2007). Os sinais recebidos são empilhados verticalmente de acordo com o tempo decorrido desde a emissão até a recepção, e lateralmente de acordo com o deslocamento das antenas. Dessa

---

forma é gerada um radargrama (seção bidimensional), que reflete a variação nas propriedades elétricas do meio e permite a identificação de interfaces e feições que possuam contraste em tais características (BAKER et al., 2007).

A seção bidimensional, registro de subsuperfície, necessita, então, de um processamento. A finalidade do processamento é eliminar ou minimizar o efeito dos componentes do dado considerados como ruído, ressaltando o dado que pode ser considerado como informação. O que define os métodos de processamento a serem utilizados são os objetivos e os tipos de feições que se deseja identificar.

A interpretação no método do georradar tem como base os princípios da Sismoestratigrafia (PAYTON, 1977). Isso se deve ao fato de que o dado resultante dos levantamentos com georradar no arranjo *Common Offset* é muito similar ao de seções sísmicas, campo onde os princípios da Sismoestratigrafia foram definidos. Assim, são analisadas as terminações dos refletores (limites superiores como truncamento erosivo, *toplap* e concordante e limites inferiores como *onlap*, *downlap* e concordante) (NEAL; ABREU, 2009), superfícies-chave e padrão interno dos refletores, definindo as radarfácies (NEAL, 2004) e conseqüentemente, os sistemas deposicionais.

### 2.1.1 Aplicação

Para realização do estudo proposto foram utilizados dados de subsuperfície coletados em 2016, 2017, 2018 e 2019, totalizando 18 seções.

O levantamento dos dados consistiu em diferentes tipos de sistemas de aquisição, ambos utilizando a técnica do *Common Offset* conforme proposto por Barboza et al. (2014), com um sistema de aquisição de dados Cobra Plug-In GPR (Radarteam Sweden AB) com antena aérea SUBECHO SE-70 com frequência central de 80 MHz e com um sistema de aquisição SIR-3000 da GSSI™ (Geophysical Survey Systems, Inc.) com antena de frequência central de 270 MHz, ambas configurações em arranjo monoestático.

---





Figura 4 Equipamentos utilizados na coleta de dados com Georadar. Antena aérea de 80 MHz (A e D) e coletor Mesa (C). Sistema GNSS e Coletor Yuma (B) são utilizados em conjunto com o equipamento de Georadar, permitindo visualização e posicionamento das seções.

Durante a aquisição, os caminhamentos com o sistema de GPR foram realizados juntamente com um sistema GNSS geodésico TRIMBLE® Pro-XRT, permitindo o posicionamento das seções. A maior parte dos dados foram adquiridos ao longo de ruas sem importantes variações topográficas, considerando-se que o posicionamento possua precisão suficiente para a finalidade proposta. Já as seções que apresentaram pequenas variações topográficas decorrentes da passagem sobre o sistema eólico/dunas (GE0014, SU001, SU002) passaram por um processo de correção topográfica utilizando-se os softwares Excel, Prism® 2.5 e ArcGIS® 10.5.

A técnica adotada na aquisição proposta por Barboza et al. (2014), sendo realizados caminhamentos para a aquisição dos dados em localidades previamente determinadas na etapa de pré-campo através de sensoriamento remoto. A localização de cada coleta levou em conta a abrangência da área, espaçamento

entre as seções para obter uma malha melhor distribuída, e dados anteriores. Dessa forma, foram estabelecidas áreas alvo ainda não investigadas, bem como porções que necessitavam de um melhor detalhamento, essenciais ao entendimento das perguntas e hipóteses levantadas. A maior parte das seções foi adquirida em caminhamentos perpendiculares à costa, objetivando o entendimento do padrão de empilhamento dos depósitos sedimentares. Os dados utilizados para o estudo e especificações referentes aos mesmos estão sumarizados no Quadro 3.

Com o intuito de eliminar os ruídos das seções e melhorar a qualidade dos dados, três *softwares* de processamento foram utilizados (RADAN™ 6.6, Prism® 2.5 e Reflex-Win®), sendo a variedade decorrente da execução de cada etapa de processamento viabilizada por cada *software*. As etapas consistiram na análise do traço para validar a correlação com o ambiente deposicional (LEANDRO et al., 2019), posteriormente na aplicação de um filtro de “passa-banda” configurando valores máximos e mínimos de corte (*Low Pass* e *High Pass*) no *software* RADAN™, junto com o filtro de *background removal*, eliminando-se então os dados que se repetem por mais de duzentos traços (*background removal* = 200). No produto dessa etapa aplica-se um corte no espectro de frequência (ORMSBY), utilizando-se o *software* Prism® 2.5, e removendo dados considerados ruídos de acordo com a frequência central de cada antena. Assim geram-se os dados passíveis de interpretação.

## 2.2 Sondagens SPT

As sondagens utilizadas nesse estudo foram executadas em dois pontos diferentes (PC01 e PC02), ambas em Jardim do Éden, totalizando mais de 40 m de dados coletados. As perfurações foram realizadas pelo método SPT (*Standart Penetration Test*) e as conchas fósseis coletadas no furo de sondagem PC02 (*Mactra patagonica* e *Amiantis purpurata*) foram datadas por AMS (Accelerator Mass Spectrometry) no laboratório Beta Analytic Inc., em Miami, Florida (EUA).

---

Quadro 3 Especificações das seções de GPR utilizadas neste estudo.

<b>Localidade</b>	<b>Seções de GPR</b>	<b>Direção</b>	<b>Antena (Frequência central)</b>
Xangri-Lá	GPR18	NW-SE	270 MHz
Imara	GPR17	NW-SE	270 MHz
Santa Teresinha	GPR16	NW-SE	270 MHz
Imbé	GPR15	NW-SE	80 MHz
	GPR14	NW-SE	80 MHz
	GPR13	NW-SE	270 MHz
Tramandaí	GPR12	NW-SE	270 MHz
Jardim do Éden	GPR09	NW-SE	80MHz
	GP08	NW-SE	80 MHz
	GPR07	NW-SE	80 MHz
	GPR10	NW-SE	80 MHz
	GPR11	N-S	80 MHz
	GPR06	NW-SE	80 MHz
Cidreira	GPR05	NW-SE	80 MHz
	GPR04	NW-SE	270 MHz
Pinhal	GPR03	NW-SE	270 MHz
Quintão	GPR02	NW-SE	270 MHz
Dunas Altas	GPR01	NW-SE	80 MHz

As novas sondagens utilizadas neste estudo (PC01 e PC02) bem como as sondagens de trabalhos anteriores utilizadas com intuito de comparação de dados estão sumarizadas no Quadro 4.

Quadro 4 Furos de sondagem coletados por este estudo em Jardim do Éden (PC01 e PC02) e por outros estudos.

Localização	SPT	Trabalho
Tramandaí	FS-10	Travessas et al. (2005), Dillenburg et al. (2009) e Dillenburg; Hesp (2009)
	FS-09	
	PC-01	Este estudo
	PC-02	
Jardim do Éden	WEC15	EDP Soluções em Energia S.A
Cidreira	FS-01	Travessas et al. (2005), Dillenburg et al. (2009) Dillenburg; Hesp (2009)
	FS-14	
Dunas Altas	FS-18	Becker et al. (2009)
	FS-26	

As datações AMS realizadas estão sumarizadas no Quadro 5.

Quadro 5 Especificações das datações realizadas em amostras de sedimentos coletadas no furo de sondagem PC02, em Jardim do Éden. As idades configuram depósitos pleistocênicos e holocênicos.

Local	Perfil SPT	Amostra	Material (conchas)	Prof. (m)	Número de Laboratório	Idade
Jardim do Éden	PC02	PC23	fragmentos	3	Beta-361262	5550+/- 40 BP
		PC214	<i>Macra patagonica</i>	14,12	Beta-361263	>43500 BP
		PC219	<i>Amiantis purpurata</i>	19,50	Beta-361264	>43500 BP
		PC220	<i>Amiantis purpurata</i>	20,40	Beta-361265	>43500 BP

### 3. ARTIGO SUBMETIDO

Esta seção contempla o artigo relacionado a este trabalho e submetido à revista *Marine Geology*. A carta comprovando submissão encontra-se no item Anexo

## **The transitional record between progradational and retrogradational barrier systems**

Débora Sayuri Zanchi Watanabe<sup>a\*</sup>, Eduardo Guimarães Barboza<sup>a,b,c,e</sup>, Maria Luiza Correa da Camara Rosa<sup>a,b,c</sup>, Rogério Portantiolo Manzolli<sup>d</sup>, Felipe Caron<sup>e</sup>, Cacinele Mariana da Rocha<sup>e</sup>, Luiz José Tomazelli<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (PPGGEO/ IGEO/ UFRGS), 91501-970 Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil. debora.watanabe@ufrgs.br

<sup>b</sup>Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (CECO/IGEO/UFRGS), 91501-970 Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil. eduardo.barboza@ufrgs.br; luiza.camara@ufrgs.br; luiz.tomazelli@ufrgs.br

<sup>c</sup>Laboratório de Sismoestratigrafia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (LABSIS/IGEO/UFRGS), 91501-970 Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil. eduardo.barboza@ufrgs.br

<sup>d</sup>Depto. Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de La Costa, Barranquilla, Colombia. rportant1@cuc.edu.co

<sup>e</sup>Centro de Estudos Costeiros, Limnológicos e Marinhos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (CECLIMAR/UFRGS). felipe.caron@ufrgs.br

\* Corresponding author: Av. Bento Gonçalves 9500, Instituto de Geociências, Prédio 43125, 91501-970 Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil.

E-mail adress: debora.watanabe@ufrgs.br

---

**Abstract:**

The Coastal Plain of Rio Grande do Sul (PCRS), Brazil, has one of the longest and most continuous coastal zones in the world, with interruptions in the current Holocene barrier at only two points, but despite its continuity, it is possible to split it into portions with differentiated evolutionary characteristics, caused by allogenic and autogenic factors. In this way, adjacent regions present antagonistic behaviors. In the northern coastal embayment, between Xangri-Lá and Dunas Altas balneary, sections of GPR and drilling holes were collected and analyzed to delineate the portions of the coast with different stacking patterns and to understand how the subsurface record for the transitional portion would be like. Two drill holes were collected at Jardim do Éden balneary and compared to the GPR sections acquired with two different antennas (central frequencies of 80 and 270 MHz). The study area was classified into three distinct portions: a progradational stacking pattern marked by the record of the Tramandaí paleo-inlet, a retrogradational stacking pattern, marked by the presence of expressive lagoon bottom features, and the inversion of behavior from retrogradational to progradational stacking pattern. Considering this categorization, as well as the discussion about the existence of a transitional barrier in this sector, two regions of differentiated stratigraphic signatures were observed: Tramandaí and Dunas Altas balneary. Tramandaí is located between two different types of barrier and has a regressive behaviour and Dunas Altas presents a progradational stacking pattern, being located between two portions of the transgressive barrier. Thus, Dunas Altas would represent the beginning of a transitional sector that would extend southwards (Mostardas municipality), composing an alternation of antagonistic behaviors at higher frequencies than the three sectors classified in this study. In this way, analyzing the Holocene barrier in different scales, from the coastline to smaller

---

regions inside the embayment, distinct behaviors are observed probably due to different autogenic scales of processes that have been building the coast in last 8 ka.

**Highlights:**

Tramandaí's paleo-inlet extension for at least 10 km towards north

Inversion of barrier behavior from retrogradational stacking pattern to progradational stacking pattern

Pleistocene GPR stacking pattern

Transitional records between progradational and retrogradational Holocene barrier

**Keywords:** Holocene coastal barriers, transitional barriers, GPR, coastal evolution, stacking pattern

**1. Introduction**

Coastal evolution studies look for the reason why the nature and position of the coastline shifts depending on temporal and spatial scale, anthropic actions, geological framework, tectonic and oceanographic setting, currents, sediment type and supply, and sea level changes (Carter and Woodroffe, 1994). The interplay between sedimentation and base level changes controls the fluctuations in water depth as well as coastline shifts; i.e., transgressions and regressions. The nature of shoreline changes is essential in the sequence stratigraphy scope as it affects the formation of packages of strata associated with specific depositional trends therefore characterized by particular stacking patterns (Catuenanu, 2006). Thus the coast is a system whose morphodynamics comprises complex processes of balance (Carter and Woodroffe, 1994) and through the study of stratigraphic records, it is possible to

---



understand which factors control the coastal barriers and other coastal depositional systems evolution over time.

Coastal barriers are the most important depositional systems of wave-dominated, low gradients coasts (Dillenburg and Hesp, 2009). The coastal plain of Rio Grande do Sul (PCRS), southern Brazil, has one of the longest and continuous coastal zones of the world (Fig. 1). The Holocene coastal barrier, present-day coastline, is only interrupted at the Rio Grande and Tramandaí inlets (Dillenburg and Barboza, 2014). Despite its continuity, it is possible to classify it into segments with different characteristics and even opposite stacking patterns, composing a diachronic system tract (Rosa et al., 2017). Several studies are performed to understand the evolution of the gently undulated coastline morphology, made up of projections, in which retrogradation is predominant, and embayments with coastal depositional systems progradation (transgression and regression of the coastline respectively).

However, there are still gaps in the understanding of the portions of the Holocene barrier considered to be aggradational or stationary (Dillenburg et al., 2005, 2007). Processes of aggradation are linked to the shifting balance between energy flux and sediment supply where excess sediment load triggers aggradation (Catuneanu, 2006). In these sectors, the behavior over the time would be progradational, and retrogradational composing a relative steady barrier also called transitional sectors. The indicators that would reveal such behavior are well-developed foredunes (Thom, 1968) and absence of progradation since the maximum eustatic sea-level for Holocene (Roy et al., 1995). But neither the aggradation essentially will be delivered from an alternate behavior, nor it will represent a relatively steady position. In this context, this work aimed the Holocene barrier

---

classification according to its stacking pattern to understand where and how it changes from one behavior to another, therefore illustrating a transitional barrier.

## **2. Regional Settings**

In the northern embayment of the coastal plain of Rio Grande do Sul, Pelotas Basin, the Holocene Barrier-lagoon System shows different behaviors between Dunas Altas balnearly and Xangri-Lá city (Fig. 1). Considering the same Holocene sea-level history to the southern coast of Brazil (Angulo and Lessa, 1997; Angulo et al., 2006) it would be expected the progradation of the depositional systems in a forced regression context, but this sector comprises subsurface sedimentary records with opposite stacking patterns, even after the maximum sea level, shown in GPR profile sections.

Progradation is found between Xangri-Lá and Tramandaí city while from Imbé municipality to Quintão, Palmares do Sul district, the barrier becomes retrogradational and at Dunas Altas, there is a reversion from retrogradation to a current progradation (Watanabe, 2016). Thus, the area contains well-defined stacking patterns that coexist spatially and temporally, and it comes up with the problem for the definition of what is transitional and the doubt regarding the existence of a stationary/aggradational barrier or a transitional sector.

### **2.1 Geological Setting**

The Pelotas Basin is located in the southernmost part of the Brazilian continental margin (Fig. 1). It is a rifted plate boundary which origin is connected with tectonic events that lead to the opening of the South Atlantic Ocean in Cretaceous. The basement is formed by Sul-Rio-Grandense Shield, Catarinense Shield, and

---

Paraná Basin. It is bounded by the Florianópolis High in the north and to Polônio High (Uruguay) in the south (Dias et al., 1994).

The Coastal Plain of Rio Grande do Sul (PCRS) represents part of the emerged portion of the Pelotas Basin formed by the upper continental, transitional and marine sediments assembled during the Cenozoic. It comprises a wide flat area of 40,000 km<sup>2</sup> made up of two main depositional systems: Tertiary alluvial fans in the west, bordering the Sul-Rio-Grandense Shield, and four Barrier-lagoon Systems, age Pleistocene and Holocene (Villwock et al., 1986).

The Barrier-lagoon Systems of PCRS merge to the east in continuously lower levels as part of a degradational set of depositional sequences (Fig. 2) (Rosa et al., 2017). The current coastline is formed by the Holocene Barrier IV with the corresponding Lagoon System IV in the back position. The formation and evolution of those took place under the glacio-eustatic sea-level fluctuations of 100 ka through transgressive-regressive cycles (Villwock et al., 1986) as well as due to tectonic heritage (Rosa et al., 2009) and driven by coastal dynamic factors such as waves, winds and littoral drift, impacting in the accommodation space (Rosa et al., 2017). Their age is related to peaks in oxygen isotope stages curves (Shackleton and Opdyke, 1973; Imbrie et al., 1984). Thereby the peaks 9 (325 ka), 7e (230 ka), 5e (125 ka) are associated to Barrier-lagoon Systems I, II and III (Pleistocene) respectively while peak 1 is linked to Barrier-lagoon System IV (Holocene), which have been developed in the last 8 ka. Each Barrier-lagoon System is related to a high-frequency depositional sequence (Rosa et al., 2011).

The barriers along the southern Brazilian coast classified by Dillenburg et al. (2000, 2009) as a regressive barrier from Torres to Tramandaí (Sector 1) and the

---

transgressive/stationary barrier from Tramandaí to Mostardas (Sector 2) are the ones considered to be more relevant to the present work. The barrier at Sector 1 ranges from 5 to 2 km and shows a prograded barrier type associated with multiple transgressive dune fields separated by precipitation ridges (Hesp et al., 2005). The modern phase of transgressive dunefields form a ridge approximately 800 m wide from Torres to Xangri-lá and down to Tramandaí it covers the whole barrier. In Sector 2, the barrier ranges from 2 to 6 km in width completely covered by transgressive dunes, and at Dunas Altas the highest foredunes of Rio Grande do Sul coast occur (Dillenburg et al., 2007; 2009).

Concerning the sea-level trajectory history for the Rio Grande do Sul and its influences on the depositional systems, the discordance at the bottom of the Barrier-lagoon System IV has its origin in the sea level fall of 125 ka B.P. when the mean level was 7 m above its present position. This fall reached its maximum 20 ka B.P. with a coastline 120 to 130 km towards the basin, near the actual platform slump (Last Glacial Maximum – LGM), the sea-level is interpreted to have been situated at around 120 to 130 m below the current position (Corrêa, 1996). In the following rise (transgressive system tract) the current sea level was overtaken between 7,7 and 6,9 ka with the maximum at 6 ka representing 2 to 4 m above the current position (Dillenburg et al., 2000; Barboza and Tomazelli, 2003) and since that the general trend is to fall. But even before this maximum, the depositional systems started to prograde in a high stand system tract context, once the depositional systems began the progradation even before the maximum was overtaken (Rosa et al., 2017).

During a forced regression it would be expected to the barrier to prograde but distinct behaviors are observed (Dillenburg et al., 2000) as it was mentioned. Amero-

---

trailing edge coasts dominated by waves, as Brazilian south coast, are subjected to rapid sea level rise and fall as the main control factor for its evolution (Inman and Nordstrom, 1971) but in slow conditions it no longer is absolute, and sediment supply becomes the main factor (Dillenburg and Hesp, 2009) with temporal and spatial variations in sediment supply conducting the type of barrier and its evolution (Roy et al., 1995). At the PCRS, in a long-term context, it leads to the formation of coastal embayments and projections with progradational and retrogradation patterns respectively (Dillenburg et al., 2000).

Other factors influence the sedimentary records as well, like wave regime and its energy, tides, winds, antecedent topography, climate changes, anthropic actions and platform slope in Barrier-lagoon System IV configuration. There are also geological and geomorphological indicators that help to identify different types of coastal barriers. Expressive dunefields will represent aeolian systems at the projections enhanced in the northeast part while in the embayments there will be foredune ridges and transgressive dune sheets. The beach morphodynamics also shows differences with tendencies to intermediate and reflective beaches in the projections and dissipative ones at the embayments. Lagoons show asymmetric profiles, steep margins adjacent to the Holocene barriers, deltas prograding inside the lagoonal systems, and lagoonal muds outcropping in the projections, as it is at Jardim do Éden. In the embayments, the profile is symmetric with lagoon terraces related to the maximum eustatic surrounding the present lagoons (Barboza and Rosa, 2014).

---

## 2.2 Oceanographic and Meteorological setting

The Rio Grande do Sul continental shelf is wide, varying from 100 to 200 km, shallow (100 to 140 m) and gently sloped (0,003° to 0,008°). According to Köppen scale, the climate of the region is classified as subtropical constantly humid or Cfa – *with hot summer*). The annual mean temperature stays between 16° and 18°C with an annual rainfall of 1300 to 1900 mm evenly distributed throughout the year (Alvares et al., 2014). Stronger precipitation occurs at Litoral Norte, between Torres and Tramandaí, due to the influence of closer highlands and proximity to the coast (Dillenburg et al., 2009).

The gently undulated NE-SW coastline is exposed to south swell waves and wind waves from NE during spring and summer, predominant from September to March. From April to August the main winds are S and SW (Dillenburg et al., 2000). The significant wave height is 1.5 m with sea-level increasing 1.3 m when storms. The tide regime is classified as microtidal (0.5 m variation) semidiurnal (Dillenburg et al., 2009).

## 3. Material and Methods

To better understand the sedimentary records in the coastal Holocene barrier system in the north of PCRS, mainly in respect of distribution and extension of different evolutionary behaviors, Ground Penetrating Radar (GPR) data is presented and compared with drill holes and existing studies (Fig. 1).

GPR profiles were acquired mainly along cross-shore profiles and also along transversal profiles using Common Offset method according to Barboza et al. (2014). Data acquisition system was composed by Cobra Plug-In GPR (Radarteam Sweden

---

AB) data acquisition system with a SUBECHO SE-70 aerial antenna with a central frequency of 80 and 270 MHz antennae with SIR-3000 acquisition system of GSSI™ (Geophysical Survey Systems, Inc.) in the monostatic array. GPR system was connected to a Global Navigation Satellite System (GNSS) TRIMBLE® Pro-XRT allowing real-time topographic survey. The dielectric constant applied was 10 (saturated and dry sand average) validated by drill holes presented in the area according to Dillenburg et al. (2011). GPR data were processed using RADAN™ 6.6, Prism® 2.5, Reflex-Win® to remove environment noises and non-geological reflections inherent to the collection and enhance the data by applying gains and filters. The GPR trace analysis was used to validate the depositional environments according to Leandro et al. (2019). Some GPR profiles were topographically corrected using GNSS post-processed.

The interpretation was conducted by the seismostratigraphy method adapted to GPR (Payton, 1977) based on radar packages geometry, radar surfaces and terminations (onlap, toplap, downlap, and truncations) classifying radarfacies (Neal, 2004) related to each coastal feature and depositional systems and analyzed in a Geographic Information System (GIS). All GPR data used to this work is summarized in Table 1.

Also, drill holes (Table 2) and radiocarbon dating were used (Table 4). The drill holes were performed in two different locations (PC01 and PC02) both located at Jardim do Éden, totaling up to 40 m. The drill holes were made by the percussion SPT (Standart Penetration Test), and the fossil material (shells of *Mactra patagonica* and *Amiantis purpurata*) for radiocarbon dating by AMS (Accelerator Mass Spectrometry) was from sediments extracted by the drilling.

---

The drilling data used at this research (PC01 and PC02) as well as previous drill holes from other studies used to compare the results are summarized in Table 2.

## **4. Results**

According to subsurface records, the Holocene barrier system along the study area could be classified into three different sectors that show different stacking patterns. The GPR sections were interpreted according to radarfacies (Table 3) and lithofacies within its geological framework.

### **4.1 Progradational Barrier of Dunas Altas**

Dunas Altas GPR01 presents a large extension of backshore/foreshore reflectors migrating towards SE direction (seaward), showing a progradation behavior and aeolian sediments cover it on its upper part (Fig. 2). It is possible to notice a well-marked lagoonal bottom reflector around 12 to 15 m depth where above it lagoonal deltas migrate northwest over which a lagoonal margin. After these features, an erosional surface marks the inversion from retrogradational stacking pattern of the lagoonal deposits to a progradation stacking pattern from the backshore/foreshore deposits. The Pleistocene substrate present well-defined seaward reflectors showing progradational processes for this area during this time.

### **4.2 Retrogradational Barrier from Quintão to Jardim do Éden**

According to Dillenburg et al. (2000, 2009), this portion of the Holocene barrier is classified within the Sector 2 and thus presents a transgressive/stationary behavior from Mostardas to Tramandaí. Although from Jardim do Éden to Quintão the barrier does show typical characteristics of retrogradational stacking pattern behavior, at

---



Dunas Altas (Fig. 2) the stacking pattern reveals a modern progradational phase and hence along approximately 35 km the barrier's nature is not the same once Dunas Altas does not show a retrogradational stacking pattern.

#### **4.2.1 Jardim do Éden**

This region is dominated by the presence of lagoonal bottoms, sometimes being alternated as two lagoonal phases or as surfaces that rise close to the surface, even outcropping at the beach.

Section GPR10 performed over drilling PC02 (Fig. 3) shows reflectors of Pleistocene deposits dipping seawards from 13 to 20 m depth. Over this reflector, lagoonal margin deposits prograding are overlaid by another set of lagoonal margin dipping to landward (NW). This overlay shows a lagoon sedimentation filling with the non-continental margin already reaching the continental margin. Lagoonal bottom reflectors cover these margins in a similar environment as it is in GPR07.

Through radiocarbon dating (shells of *Amiantis purpurata* and *Macra patagonica*) performed at samples of drill hole PC02, the ages found at about 14, 19 and 20 m depth out passed the method (>43,500 yr BP), indicating Pleistocene deposits while for backshore/foreshore deposits the age established was 5,550 +/- 40 cal yr BP.

#### **4.2.2 Cidreira, Pinhal and Quintão**

At Cidreira GPR05, has a well-marked lagoonal bottom dipping SE at the mainland and NW closer to the sea (two downlap directions) (Fig. 4). The bottom begins at depths of 7.5 m until the maximum depth of 22 m at its base, close to 2000

---

m distance. The reflectors dipping landwards is steeper as with the actual lagoons in the modern Lagoonal System IV. The sedimentation filling phases are observed by backshore and foreshore reflectors decreasing depth towards NW that was eroded and then migrated into the lagoon. The whole section is marked by aeolian coverage from the transgressive dunefields. The huge lagoonal feature at Cidreira, showing SE and NW dipping surfaces incite a past large lagoon crossing the barrier by at least 3500 m (section limit) probably connected with the present Fortaleza lagoon, located just above the section to the north.

Pinhal (GPR03) and Quintão (GPR02) also exhibit the same bottom feature of Cidreira dipping towards SE, this feature also implies in a greater longitudinal extension of the lagoon body, whose almost complete record is found in Cidreira.

#### **4.3 Progradational Barrier of Tramandaí to Xangri-Lá**

This portion covers approximately 23 km in the Holocene barrier. It is placed within the Sector 1 described by Dillenburg et al. (2000, 2009) as the Regressive Barrier of Torres to Tramandaí. GPR sections were acquired cross-shore in locations distributed along the area (Table 1).

Xangri-Lá (Fig. 5) has typical progradation reflectors downlap to SE direction (seaward). In Imara balnear, Santa Teresinha beach, Imbé and Tramandaí (Fig. 6) the Barrier IV presents widespread paleo-inlets in the subsurface.

At Tramandaí the progradation is determined by SE (seaward) dip reflectors of early backshore and foreshore (Fig. 6). Throughout the paleo-inlet dissemination mapping, it is possible to find out the past coverage of Tramandaí Lagoon's inlet that had shown a previous widespread extent of approximately 10 km towards the north

---

(Imara) and 3 km to the south at Tramandaí. Also at Tramandaí, GPR section, whose acquisition took place from the lagoon border to the beach, a surface dipping NE with an extension of approximately 200 m is connected with the actual Tramandaí lagoon, indicating its past position before the retrogradational phase of this region. Although the progradational portion at backshore/foreshore at this region is short in extension, there are no indications of present erosion at the beach endorsing the stacking pattern observed for the recent portions of Tramandaí GPR section.

## **5. Discussion**

To discuss the aspects identified by the analysis of the data from this study, GPR and drilling data from this work and previous studies Travessas et al. (2005) and Dillenburg et al. (2009), drill holes FS-09, FS-10, FS-01, FS-14, and Becker (2009) drill holes FS-18 and FS-16, also drill hole WEC-15 from EDP Soluções em Energia S.A., as well as sectors with different stacking pattern were compared considering scales of variations.

### **5.1 GPR and SPT comparison**

The GPR01 was performed in Dunas Altas over drill holes FS-18 and FS-26 discussed by Becker (2009). The AMS dating executed in samples of drill hole FS-18 showed ages of 2,730 – 2,480 cal yr B.P. for upper shoreface deposits while in FS-26, the age found for the same deposits was 7,760 – 7,600 cal yr B.P. These ages show a progradational stacking pattern behavior for Dunas Altas, also illustrated by GPR01 in backshore/foreshore deposits (Fig. 2).

The lagoonal bottom/Pleistocene substrate found from Quintão to Cidreira proposes a large lagoon of at least 3.5 km cross shore extension and 20 km

---

longitudinal extension to Quintão. If Jardim do Éden is also considered, this longitudinal extension grows to more than 30 km, as shown in GPR section at Jardim do Éden discussed by Rocha et al. (2018).

In Drill hole FS-14 at Cidreira (Travessas et al., 2005; Dillenburg et al., 2009) the Pleistocene substrate is located at 11.70 m depth, a value that match to the ones found at GPR sections for the Pleistocene deposits, once it is located seawards, also demonstrating the increase in depth of the lagoonal body proposed.

The GPR section at Cidreira (GPR05) shows the Pleistocene substrate beginning at 7 m depth. In section GPR06, at Jardim do Éden, the Pleistocene substrate initiate at 10 m depth, while at GPR10, also at Jardim do Éden but 2 km northwards, it begins at 13 m depth. For Pinhal (GPR03), this value decreases to 6 m depth and for Quintão (GPR02) to 5 m depth. These sections together demonstrate Pleistocene deposits are decreasing depth heading south (from 13 to 5 m depth from Jardim do Éden to Quintão) probably illustrating the beginning of a lagoonal margin. In GPR 11 (Fig. 3) collected over drilling PC02, crossing section GPR10, traversal to the coastline, it is possible to identify the Pleistocene substrate decreasing depth to north (from 13 m depth at the beginning of the section to 10 m depth at its end), showing the other side of the lagoonal margin.

The sections with two lagoonal bottoms overlaid at Jardim do Éden suggest a paleoenvironment similar to the one described by Caron (2014) as Stage III (7.5 to 6.5 ka) for the region of Santa Vitória do Palmar, in the southern of the PCRS. At this stage, at the beginning of the flooding caused by the Postglacial Marine Transgression (PMT) during the Holocene, lagoonal/estuarine environments covered

---

marshes. Two clay facies illustrate this scenario as overlaying layers, as shown in GPR sections.

Section GPR10 shows two sets of lagoonal margins dipping to opposite directions one over another also overlaid by lagoonal bottom deposits, showing a process of lagoonal sedimentation filling followed by another lagoonal phase. The first can be due to allogenic forces, i.e., eustatic level rising and causing lagoonal sedimentary filling, as observed in Cidreira, Pinhal and Quintão, while the second stage of the lagoonal bottom can be formed due to autogenic factors inherent to local circumstances at Jardim do Éden, inundating the environment, creating enabling conditions for water to be trapped and form a lagoon illustrated by the presence of this second lagoonal bottom. Rosa et al. (2016) analysed radar units and demonstrated the presence of both autogenic and allogenic signals for small deltas in southern Brazil. Drill hole WEC-15 from EDP Soluções em Energia S.A., from the foundation of wind power complex, located in the same orientation of PC02, 100 m from the end of GPR10, shows Pleistocene deposits around 23 m depth, while at PC02 it starts at 13 m depth, showing Pleistocene deposits dipping to each time higher depths.

At drilling PC02 (Fig. 3) the Pleistocene substrate initiating at the same depth as section GPR10 was observed. The comparison between drilling and GPR section for Pleistocene substrate in this section demonstrated accuracy, but for the lagoonal margin/beach and lagoonal bottom deposits, the thickness and depth were not so precise, although the distribution of the layers was comparable to the ones found at GPR section. The differences between depths were probably due to different dielectric properties of the materials influencing the GPR wave's velocity.

---

Drill holes collected and discussed by Travessas et al. (2005) and Dillenburg et al. (2009) for Tramandaí (FS-10, FS-02, FS-09) can be compared with Tramandaí GPR12 section (Fig. 6). In FS-10 (Travessas et al., 2005; Dillenburg et al., 2009), at the boundary of Lagoonal IV system and Barrier IV system there is a layer of lagoonal mud under the barrier deposits, suggesting a previous proximal position for Tramandaí lagoon. This layer can also be observed in the Tramandaí GPR section, where a surface dipping landwards represents the lagoonal bottom. In FS-09 (Travessas et al., 2005; Dillenburg et al., 2009) there is the predominance of beach deposits until 8.25 m depth approximately, which in GPR section is shown as NW downlap reflectors (landward).

## **5.2 Different stacking patterns as a sign for scales of autogenic factors**

Variations in the stacking pattern are found in the barrier evolution inside the northern embayment while the sea level curve is the same for the entire region, so it is likely that there are autogenic factors leading evolution along almost 70 km of the barrier (Dunas Altas to Xangri-Lá).

Within the northern study area, the predominance of stacking patterns is retrogradational rather than progradational, what would not be primordially expected in embayments (Dillenburg et al., 2000; 2009) and this leads to another scale of variation found at the barrier higher than the one considered for coastal embayments and projections representing different stacking patterns within the study area.

The influence of the Tramandaí inlet dominated the evolution of the progradational barrier from Tramandaí to Xangri-lá, observed by the paleo-inlet features found along the barrier in the entire sector but from Xangri-Lá, where the progradation is very clear by the reflectors dipping seawards with no interference.

---

Such behavior presented by the inlets is also observed by Biancini da Silva et al. (2014) at the present day in Mampituba River (Rio Grande do Sul) and Araranguá River (Santa Catarina).

The region of Imbé and Tramandaí is also characterized by the shallow depth of the data. One explanation for this shallow depth and low quality of data in this region is associated to the presence of fine sediments in the Tramandaí lagoon. Dillenburg (1994) describes classic lacustrine sedimentation for this lagoon. These fine sediments could be carried by the inlet influencing the GPR record, affecting the quality of the data and vertical resolution.

The Barrier System IV, from Quintão to Jardim do Éden, is dominated by the presence of lagoonal features. Bottoms are easily traceable by reflectors that cross the barrier from the boundary between Lagoonal System IV and Barrier System IV to the beach and have the tendency to rising even outcropping at the shoreface. Cidreira is the only point where the full record of a lagoon could be found with both margins well shown even though at Pinhal and Quintão the sections were acquired at the entire extension of the barrier. This geometry suggests that the westernmost paleolagoonal margins at Pinhal and Quintão were once at some position towards the sea and then were eroded until its present configuration. Also suggests a connection between these features as a bigger lagoon from Quintão to Jardim do Éden.

The region of Dunas Altas allowed data acquisition even in the Pleistocene substrate which suggests different subsurface characteristics for the deposits in this region. The inversion from retrogradational to progradational behavior along the same section and occurring at 4 m depth approximately, suggests that the inversion had occurred before the maximum sea-level for the Holocene. If the contact between

---

deposits from backshore/foreshore and aeolian sediments were considered to measure the ancient sea-level for the transitional moment, it would be of approximately 2 m above its present level.

Dunas Altas can either be an anomalous evolutionary behavior between two retrogradational sectors in the north (Quintão to Jardim do Éden) and south (Mostardas) or a normal expected behavior after a different stacking pattern (retrogradational) observed at the north. Mostardas at the south of Dunas Altas is classified within the Sector 2 as a transgressive/stationary barrier (Mostardas to Tramandaí) for Dillenburg et al. (2000, 2009). Absalonsen and Toldo Jr. (2007) attribute an essential retrogradational behavior for this area but with a smaller sector of progradation and even stability in the north portion of Mostardas closer to Dunas Altas during the period analyzed (1997 to 2005). According to Toldo Jr. et al. (2006) there are changes in the shoreline alignment that consequently provides progradational rates for this point of the coast (Dillenburg et al., 2007). This feature can be part of even smaller variations within the coastal barrier, leading to autogenic scales.

Thereby, analysing the barrier from the entire coastline, composed by embayments and projections, to smaller scales as the different stacking patterns within the northern embayment, the Barrier-lagoon System IV presents distinct behaviors probably due to different scales of autogenic processes that have been building the coastline since the last 8 ka.

Regarding the allogenic control, i.e., sea level, and also sequence stratigraphy analysis, sequence boundary can be considered as the discordance between Pleistocene and Holocene deposits. At Dunas Altas, the transgressive surface marks the limit between the transgressive system tract, represented by lagoonal deltas and

---



margin and the high stand system tract represented by the backshore/foreshore deposits.

Processes of aggradation or erosion ultimately reflect the interplay of all allogenic controls, whose effects may enhance or cancel each other depending on local circumstances (Catuneanu, 2006). The same can be considered for autogenic factors. In this way, it is possible to infer that the variations found along Dunas Altas to Xangri-Lá can be caused by different autogenic forcing overlapped in the sedimentary record along the Holocene barrier of Pelotas Basin and also allogenic controls, that in turn are covered by the timing for the environment to respond to these influences.

### **5.7 Transitional sector**

The study area, from north to south, changes to 27 km progradational coast (Tramandaí to Xangri-lá) to 34 km retrogradacional barrier (Quintão to Jardim do Éden) and, 8 km south, the barrier becomes progradational again at Dunas Altas.

Dunas Altas has a small progradation in a long-term period (rates of 55 mm/yr in the lasts 5 ka) if compared to Curumin and the Rio Grande, with rates of 0.7 and 2 m/yr respectively (Dillenburg et al., 2005, 2007, 2009). Although Dunas Altas has not shown an expressive progradation as it is in other parts of PCRS, GPR sections shows reflectors migrating landwards and even the inversion from a retrogradational to a progradational stacking pattern behaviour, as it is described in other sectors of the Pelotas Basin (Barboza et al., 2011, 2018; Rosa et al., 2017). These are two-dimensional records, therefore, representing an inversion in the evolution pattern within the same place. The vertical resolution of the data shows a thin portion of the Pleistocene substrate dipping landwards. The analysis of GPR data in the vicinity of

---

Dunas Altas shows a progradation phase, but it does not show if this progradation is part of a bigger sequence of long-term alternation between progradational and retrogradational behavior (leading to aggradation) during the Holocene.

Furthermore, the aggradational behavior described by Barboza et al. (2011) for this region, also using GPR data, corresponds to subaerial aeolian deposits and thus do not represent the evolutionary behavior of the coastal deposits in whole. Dunas Altas has an unusual sediment accumulation (Toldo Jr. et al., 2006; Barboza et al., 2011) causing both dunefield aggradation and also progradation of the coastline, representing a regressive barrier with singular sedimentation.

Dillenburg et al. (2000) and Travessas et al. (2005) describe a barrier progradation for Tramandaí of 600 and 310 m respectively meaning a quasi-stable behavior in the long term (Dillenburg et al., 2009). The GPR data at Tramandaí shows a progradation of approximately 150 m and the smallest vertical resolution for the entire sector analyzed as well as Imbé in the order of 8 m, which suggests influence of fine sediments coming from Tramandaí Lagoon by the inlet to the barrier (same process suggest in the past) resulting in low depth of GPR data able to be interpreted. The inlet position, in turn, could be related to geological heritage where inlets or fluvial channels will be placed within regions conditioned by the basement likewise Taim region described by Rosa et al. (2009).

In some regions of the sector classified as the retrogradational barrier from Quintão to Jardim do Éden, Pleistocene deposits and lagoonal margins present continuous lower depths seawards but do not rise close to the surface, demonstrating that the same can be outcropping somewhere in the inner platform. Although the Pleistocene substrate was not observed at Tramandaí due to the low

---

quality of data in this region, the same can be conditioned as the antecedent topography for the Holocene barrier deposits to be formed and thus influencing the evolutionary pattern in this area as well.

Despite the fact that the entire coast is a non-active zone, another aspect that permits infer a geological heritage and its relation to the unusual record at Tramandaí is the turbulence felt in the city reported by local residents during the Chilean earthquake (magnitude 8.3) of 2015 (CORREIO DO POVO, 2015), symbolizing a possible structural control and thereby an uncommon portion of the coast.

Both Dunas Altas and Tramandaí presents singular records mainly due to unusual sediment accumulation and influence of paleo-inlets and fine sediments respectively, bringing the idea of different behavior for these sectors, not typically prograding as it is found in the northernmost sector of the study area, at Xangri-Lá. Therefore, they represent regions of differentiated stratigraphic signature, although they do not fit completely into the classification for transitional barriers of Sheperd (1991) and Thom (1968).

Dunas Altas and Tramandaí present downlap reflectors seawards, i.e., progradation at backshore/foreshore actual deposits of the Holocene barrier. Tramandaí could be classified as a transitional sector once it is located between a regressive barrier (in the north) and a transgressive barrier (in the south), but it does not present an aggradational or stationary behavior. Dunas Altas likewise could be classified as a transitional sector due to this unusual accumulation of sediments leading to aggradation rather than just progradation, but this sector is not located between two different barrier types, it is placed amongst two retrogradational sectors.

---

The barrier between Dunas Altas and Mostardas shows an increase of predominance of retrogradational behavior from north to south (Absalonsen and Toldo Jr., 2007). The study area does not present this same alternation of behavior (high-frequency) along the barrier once the sector of progradation (Tramandaí to Xangri-Lá) and retrogradation (Quintão to Jardim do Éden) have, respectively, 27 and 34 km. Dunas Altas can be the beginning of an alternation of behaviors possibly meaning a transitional sector towards the south. In this case, a transitional barrier would be a sector of the barrier that, along with its occurrence, alternates in high-frequency, smaller regions of progradation and retrogradation.

It is relevant to assume that small differences in autogenic circumstances can drive bigger contrasts at barrier evolution. If the sea level is still not the major factor controlling the evolutionary pattern, but it will after the time to the depositional systems to respond, autogenic scales of factors are leading to differences along the coastal plain as it is shown in the study area.

## **6. Conclusions**

GPR sections were very effective to delineate and classify sectors with different stacking pattern behaviors in the northern Holocene barrier of Coastal Plain of Rio Grande do Sul, Pelotas Basin, as well as to identify other features like paleo-inlets and ancient lagoons positioning.

Based on the results, the Barrier-lagoon System IV at the study area along Dunas Altas and Xangri-Lá showed three different sectors. Dunas Altas shows the change from a retrogradational/transgressive phase to progradational/regressive phase. The inversion occurs at 4 m depth approximately indicating that the progradation occurred before the maximum eustatic sea-level for the Holocene. The

---

region from Quintão to Jardim do Éden is dominated by the presence of lagoonal features that were probably connected as a water body also with a bigger extension towards the sea which, together with outcrops of lagoonal mud at the foreshore zone of Jardim do Éden, ratifies the long term erosion for this sector of the Barrier-lagoon System IV. The north, progradational, is marked by the influence of Tramandaí inlet from approximately 3 km to the south of its actual position until Imara, 10 km northwards. This behavior is also observed in other areas as Mampituba, Araranguá rivers.

Tramandaí and Dunas Altas have different signatures compared to the ones interpreted in the other GPR sections. At changes in shoreline behavior from transgressive to regressive stages along the barrier would be expected to be marked by a transitional type of barrier, being stationary or aggradational. Although Tramandaí is located between two different types of the barrier, it has a regressive nature, and it is marked by the shallow depth of data, suggesting a different behavior for this area. Dunas Altas has an aggradational component caused by unusual sediment accumulation, but it is in present progradation, being located between two transgressive barriers. Regarding the existence of a transitional barrier within the area, Dunas Altas will be more likely to represent the beginning of a transitional sector located in southward direction, compounding an alternation of different behaviors alongside in higher frequencies than the sectors classified in this study.

Differences in the geological record under the same sea-level curve can occur due to different overlaid autogenic scales of components influencing the evolutionary pattern. Also, the characterization of different subsurface deposits gives relevant

---

information to the understanding of Pelotas Basin as well as coastal management once long-term behavior was confirmed.

### **Acknowledgments**

The authors Débora S. Z. Watanabe, Eduardo G. Barboza and Luiz J. Tomazelli thanks to CNPq for providing their research fellowships. This research was supported in part by grant from the National Council on Technology and Scientific Development (CNPq-Brazil) (477334/2010-5). Thank to EDP Soluções em Energia S.A for drill hole data provided.

### **REFERENCES**

- Absalonsen, L., Toldo Jr., E.E., 2007. A influência da inflexão costeira na variabilidade da linha de praia em Mostardas-RS. *Pesquisas em Geociências* 34(1), 3-18. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.19457>
- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M., Sparovek, G., 2014. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22, 711-728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- 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. [https://doi.org/10.1016/s0025-3227\(97\)00015-7](https://doi.org/10.1016/s0025-3227(97)00015-7).
-

Angulo, R.J., Lessa, G.C., Souza, M.C., 2006. A critical review of Mid- to Late-Holocene sea-level fluctuations on the eastern Brazilian coastline. *Quaternary Science Reviews* 25, 486-506. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2005.03.008>.

Barboza E.G, Tomazelli L.J., 2003. Erosional features of the eastern margin of the Patos Lagoon, southern Brazil: significance for Holocene history. *Journal of Coastal Research* SI 35, 260-264.

Barboza E.G., Rosa M.L.C.C., 2014. Indicadores geológicos e geomorfológicos de setores em erosão na costa do Rio Grande do Sul, Brasil. In: Goso C. (Ed.), *Problemática de Los Ambientes Costeiros. Sur de Brasil, Uruguay y Argentina*, DIRAC, pp. 83-98. <https://doi.org/10.13140/2.1.4628.9602>.

Barboza, E.G., Rosa, M.L.C.C., Hesp, P.A., Dillenburg, S.R., Tomazelli, L.J., 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., 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. *Resumos Expandidos* 1, 1-6. <https://doi.org/10.13140/2.1.3369.5047>.

Barboza, E.G., Rosa, M.L.C.C., Dillenburg, S.R., Watanabe, D.S.Z., Esteves, T., Martins, E.M., Gruber, N.L.S., 2018. Diachronic Condition Between Maximum Transgressive and Maximum Eustatic Sea-Level in Holocene: Subsidies for Coastal Management. *J. of Coastal Research* SI 85(1), 446-450. <https://doi.org/10.2112/SI85-090.1>

---

Becker, J.E.G., 2009. Estratigrafia e Evolução Costeira do Balneário de Dunas Altas, RS. (bachelor degree monograph).

Biancini da Silva, A., Barboza, E.G., Rosa, M.L.C.C., Dillenburg, S.R., 2014. Meandering Fluvial System Influencing the Evolution of a Holocene Regressive Barrier in Southern Brazil. *J. of Coastal Research* SI 70, 687-692. <https://doi.org/10.2112/SI70-035.1>

Caron, F., 2014. Estratigrafia e evolução da Barreira Holocênica na região costeira de Santa Vitória do Palmar, Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Ph.D. Thesis). <http://hdl.handle.net/10183/88625>

Carter, R.W.G., Woodroffe, C.D., 1994. Coastal evolution: an introduction. In: Carter, R.W.G., Woodroffe, C.D. (Eds.), *Coastal Evolution — Late Quaternary Shoreline Morphodynamics*, pp. 1-31.

Catuneanu, O., 2006. *Principles of sequence stratigraphy*. 1st Edition, Elsevier. (386 p)

Corrêa, I.C.S., 1996. Les variations du niveau de la mer durant les derniers 17.500 ans BP. L'exemple de la plateforme continentale du Rio Grande do Sul-Bresil. *Marine Geology* 130, 163-178. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(95\)00126-3](https://doi.org/10.1016/0025-3227(95)00126-3)

Correio do Povo, 2015. Terremoto no Chile é sentido em cidades gaúchas. Correio do Povo. 259<sup>th</sup> edition. website, <http://www.correiodopovo.com.br/Noticias/566991/Terremoto-no-Chile-e-sentido-em-cidades-gauchas>

---



Dias, J.L., Sad, A.R.E., Fontana, R.L., Feijó, F.J., 1994. Bacia de Pelotas. Boletim de Geociências da Petrobras 8(1), 235-245.

Dillenburg, S.R., 1994. A Laguna de Tramandaí: Evolução Geológica e Aplicação do Método Geocronológico da Termoluminescência na Dotação de Depósitos Sedimentares Lagunares. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Ph.D. Thesis).

Dillenburg, S.R., Hesp, P.A., 2009. Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil. Lecture Notes in Earth Sciences Vol. 107. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. (380 p).

Dillenburg, S.R., Barboza, E.G., 2014. The strike-fed sandy coast of Southern Brazil. In: Martini, I.P., Wanless, H.R. (Eds.), Sedimentary Coastal Zones from High to Low Latitudes: Similarities and Differences. Geological Society, London, Special Publications Vol. 388. pp. 333-352.

Dillenburg S.R., Roy P.S., Cowell P.J., Tomazelli L.J., 2000. Influence of antecedent topography on coastal evolution as tested by the Shoreface Translation-Barrier Model (STM). Journal of Coastal Research 16, 71-81.

Dillenburg, S.R., Tomazelli, L.J., Martins, L.R., Barboza, E.G., 2005. Modificações de Longo Período da Linha de Costa das Barreiras Costeiras do Rio Grande do Sul. Gravel 3, 9-14.

Dillenburg, S.R., Barboza, E.G., Tomazelli, L.J., Lima, L.G., Becker, J.E., 2007. A Barreira Costeira de Dunas Altas no Litoral Médio do Rio Grande do Sul: um exemplo de barreira agradacional ou estacionária. In: Resumos do 12º Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário.

---

Dillenburg, S.R., Barboza, E.G., Tomazelli, L.J., Hesp, P.A., Clerot, L.C.P., Ayup-Zouain, R.N., 2009. The Holocene coastal barriers of Rio Grande do Sul. In: Dillenburg, S.R., Hesp, P.A. (Eds.), *Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil*. Springer, Lecture Notes in Earth Sciences Vol. 107. pp. 53–91. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-44771-9\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-540-44771-9_3)

Dillenburg, S.R., Barboza, E.G., Hesp, P.A., Rosa, M.L.C.C. 2011. Ground Penetrating Radar (GPR) and Standard Penetration Test (SPT) records of a regressive barrier in southern Brazil. *J. of Coastal Research* SI 64, 651-655.

Hesp, P.A., Dillenburg, S.R., Barboza, E.G., Tomazelli, L.J., Ayup-Zouain, R.N., Esteves, L.S., Gruber, N.L., Tabajara, L.L.D.A., Clerot, L.C., 2005. Beach ridges, foredunes or transgressive dunefields? Definitions and an examination of the Torres to Tramandaí barrier system, Southern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 77(3), 493-508. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652005000300010>

Imbrie, J., Hays, J.D., Martinson, D.G., McIntyre, A., Mix, A.C., Morley, J.J., Pisias, N.G., Prell, W.L. and Shackleton, N.J., 1984. The orbital theory of Pleistocene climate: support from a revised chronology of the marine  $\delta O^{18}$  record. In: Berger A, et al. (Eds.), *Milankovitch & Climate, Part I*. Riedel. pp. 269-305.

Inman, D.L., Nordstrom, C.E., 1971. On the tectonic and morphologic classification of coasts. *The Journal of Geology* 79(1), 1-21.

Leandro, C.G., Barboza, E.G., Caron, F., Jesus, F.A.N., 2019. GPR trace analysis for coastal depositional environments of southern Brazil. *Journal of Applied Geophysics* 162, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.jappeog.2019.01.002>

---

Martinho, C.T., Dillenburg, S.R., Hesp, P., 2009. Wave energy and longshore sediment transport gradients controlling barrier evolution in Rio Grande do Sul, Brazil. *Journal of Coastal Research* 25(2), 285-293. <https://doi.org/10.2112/06-0645.1>

Neal, A., 2004. Ground-penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems and progress. *Earth Sci. Rev.* 66, 261-330. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2004.01.004>

Payton, C.E., 1977. *Seismic Stratigraphy — Applications to Hydrocarbon Exploration*. 26 Memoir AAPG, Tulsa (516 p).

Rocha, C.M., Barboza, E.G., Niencheski, L.F.H., 2018. Radon activity and submarine groundwater discharge in different geological regions of a coastal barrier in Southern Brazil. *Environmental Earth Sciences* 77, 527. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7711-0>

Rosa, M.L.C.C., Tomazelli, L.J., Costa, A.F.U., Barboza, E.G., 2009. Integração de métodos potenciais (gravimetria e magnetometria) na caracterização do embasamento da região sudoeste da Bacia de Pelotas, sul do Brasil. *Revista Brasileira de Geofísica* 27(4), 641-657. <https://doi.org/10.1590/S0102-261X2009000400008>

Rosa, M.L.C.C., Barboza, E.G., Dillenburg, S.R., Tomazelli, L.J., Ayup-Zouain, R.N., 2011. The Rio Grande do Sul (southern Brazil) shoreline behavior during the Quaternary: a cyclostratigraphic analysis. *Journal of Coastal Research* SI 64, 686-690.

Rosa, M.L.C.C., Hoyal, D.C., Barboza, E.G., Fedele, J., Abreu, V.S., 2016. River-dominated deltas: upscaling autogenic and allogenic processes observed in laboratory experiments to field examples of small deltas in southern Brazil. In: Budd,

---

D.A., Hajek, E.A., Purkis, S.J. (Eds.), *Autogenic Dynamics and Self-organization in Sedimentary Systems*. SEPM Special Publication 106. pp. 176-197.  
<https://doi.org/10.2110/sepmsp.106.13>

Rosa, M.L.C.C., Barboza, E.G., Abreu, V.S., Tomazelli, L.J., Dillenburg, S.R., 2017. High-frequency sequences in the Quaternary of Pelotas Basin (coastal plain): a record of degradational stacking as a function of longer-term base-level fall. *Brazilian Journal of Geology*, 47(2), 183-207. <http://dx.doi.org/10.1590/2317-4889201720160138>

Roy, P.S., Cowell, M.A., Ferland, M.A., Thom, B.G., 1995. Wave-dominated coasts. In: Carter, R.W.G., Woodroffe, C.D. (Ed.), *Coastal Evolution – Late Quaternary Shoreline Morphodynamics*. Cambridge, Cambridge University Press. pp. 121-186.  
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511564420.006>

Shackleton, N.J., Opdyke, N.D., 1973. Oxygen isotope & palaeo-magnetic stratigraphy of equatorial Pacific core V28-238: oxygen isotope temperatures & ice volumes in a  $10^5$  &  $10^6$  year scale. *Quaternary Research* 3(1), 39-55.  
[https://doi.org/10.1016/0033-5894\(73\)90052-5](https://doi.org/10.1016/0033-5894(73)90052-5)

Shepherd, M.J., 1991. Relict and contemporary foredunes as indicators of coastal processes. In: Brierley, G., Chappell, J. (Eds.), *Applied Quaternary Studies*. pp.17-24.

Thom, B.G., 1968. Coastal erosion in eastern Australia. *Geographical Research* 6(2), 171-173. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8470.1968.tb00188.x>

---

Toldo Jr., E.E., Nicolodi, J.L., Almeida, L.E.S.B., Corrêa, I.C.S., Esteves, L.S., 2006. Coastal dunes and shoreface width as a function of longshore transport. *Journal of Coastal Research* SI 39, 390-394.

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*. Porto Alegre, Edições CIGO/UFRGS. pp. 375-406.

Travessas, F.A., Dillenburg, S.R., Clerot, L.C.P., 2005. Estratigrafia e evolução da barreira holocênica do Rio Grande do Sul no trecho Tramandaí-Cidreira. *Boletim Paranaense de Geociências* 53, 57-73. <https://doi.org/10.5380/geo.v57i0.6043>

Villwock, J.A., Tomazelli, L.J., Loss, E.L., Dehnhardt, E.A., Horn Filho, N.O., Bachi, F.A., Dehnhardt, B.A., 1986. Geology of the Rio Grande do Sul coastal province. In: Rabassa, J. (Ed.), *Quatern. South America and Antarctic Peninsula* 4. pp. 79-97.

Watanabe, D.S.S., 2016. Caracterização do Registro Estratigráfico Transicional entre as Porções Transgressivas e Regressivas da Barreira Costeira Holocênica, Litoral Norte do Rio Grande do Sul. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. (bachelor degree monograph). <http://hdl.handle.net/10183/150883>

---

## **CAPTIONS**

### **FIGURES**

**Fig. 1.** Pelotas Basin and sedimentary deposits from Coastal Plain of Rio Grande do Sul (PCRS). Location of study area outlined in red (Modified from Dillenburg and Barboza, 2014). In detail, location and geology of the study area from Xangri-Lá to Dunas Altas within the Holocene barrier, GPR sections acquired along the barrier, drill holes from this work (red dots) and also from previous works in the area (blue dots).

**Fig. 2.** Dunas Altas profile shows a well-marked lagoonal bottom reflector around 12 to 15 m. An erosional surface marks the inversion from retrogradational behaviour of the lagoonal deposits to a progradation behaviour from the backshore/foreshore deposits. Pleistocene deposits show downlap reflectors migrating SE (seaward).

**Fig. 3.** Section GPR10 (A and B), crossing the barrier, and GPR11 (C) showing Pleistocene substrate dipping SE. SPT profile PC02 was performed over these sections. SPT profile PC02, performed over the sections GPR10 and GPR11 AMS dating shows Pleistocene and Holocene deposits.

**Fig. 4.** Cidreira (GPR05) showing a well-marked lagoonal bottom with two downlap directions. The bottom begins at depths of 7.5 m until the maximum depth of 22 m. The lagoonal margin dipping NW is steeper as it is in the actual lagoons of Lagoonal System IV as described by Barboza and Rosa (2014). Sedimentation filling phases are observed by foreshore reflectors with high amplitude decreasing depth towards NW. The great lagoonal feature at Cidreira incite a past large lagoon crossing the

---

barrier for at least 3500 m (section limit) probably connected with the present Fortaleza lagoon, located just above the section to the north.

**Fig. 5.** Xangri-lá (GPR18) presents typical progradation downlap reflectors to SE (seaward).

**Fig. 6.** Tramandaí (GPR 12), showing the lowest depth for GPR data at the entire study area. A1 represents the first part of the section and A2 the second part. An ancient lagoon border can be assumed according to the reflector dipping towards the present lagoon. Figure made by the combination of GPR section and Tramandaí aerial photography from 1942.

## **TABLES**

**Table 1.** Specifications of GPR sections collected for this work.

**Table 2.** Drilling data used at the present work (PC01 and PC02) and also drill holes from other researchers used to compare the data.

**Table 3.** Radarfacies (Rf) description and interpretation based on shape, dip, relationship and continuity. Sample images are derived from 80 and 270 MHz antenna-oriented NW to SE.

**Table 4.** Specifications of AMS dating performed at fossils found at drilling PC02, over Jardim do Éden. Ages confirmed Pleistocene lagoonal spit and barrier deposits and also Holocene barrier.

---

Fig. 1

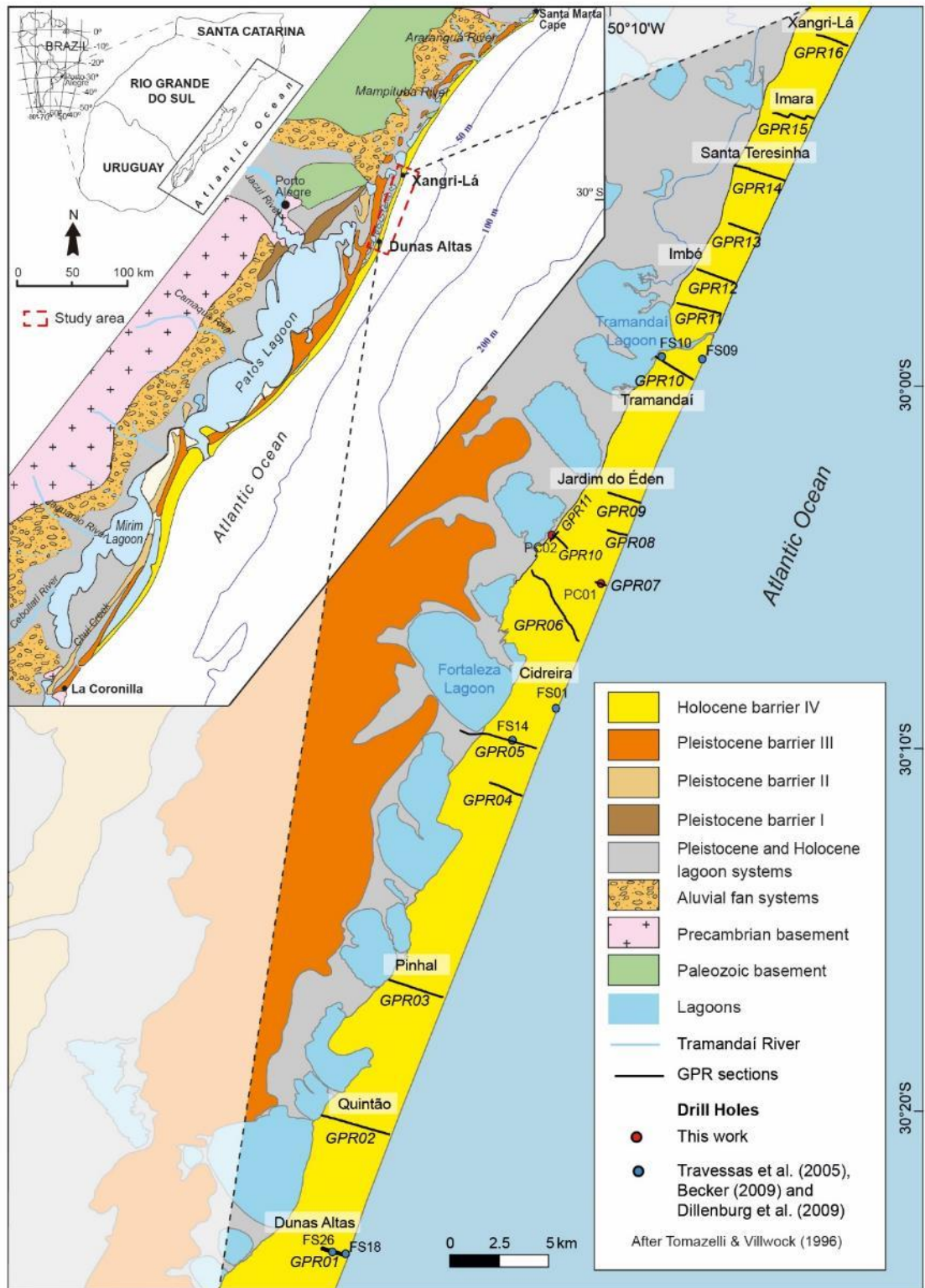




Fig. 2

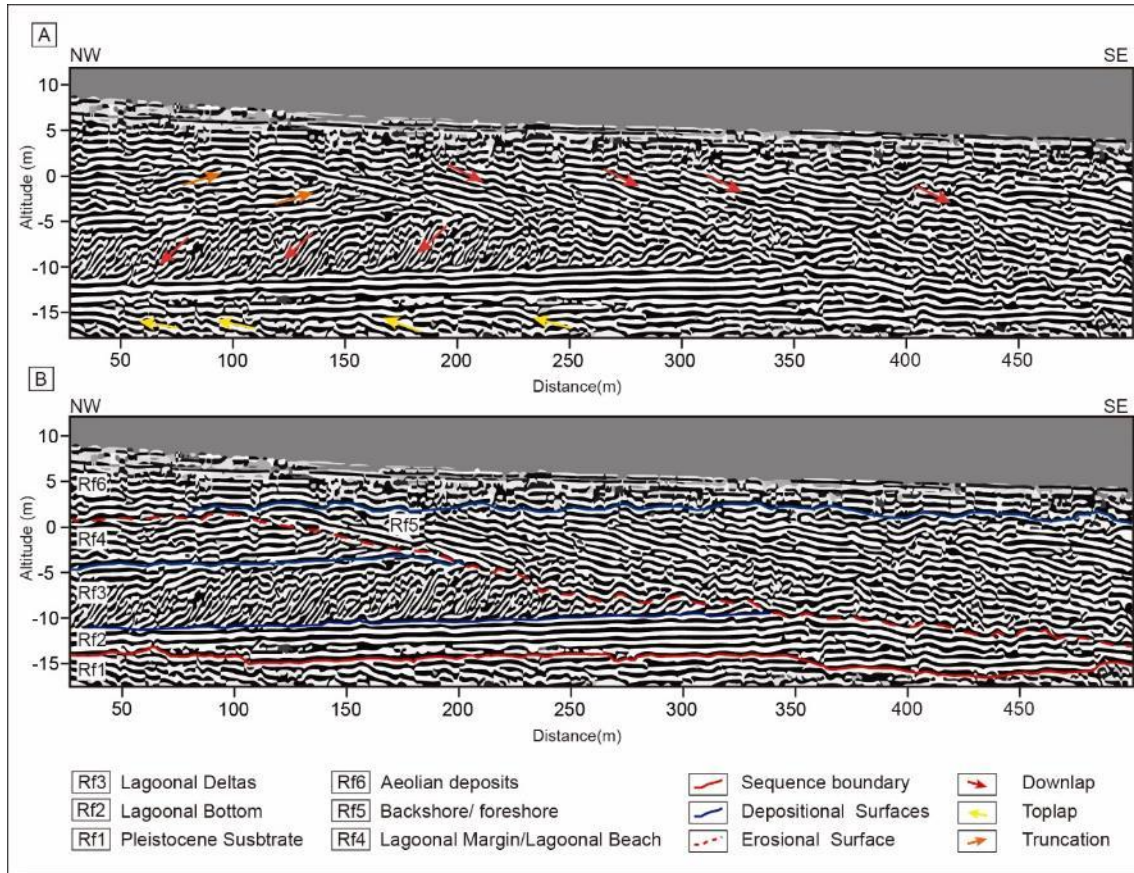


Fig. 3

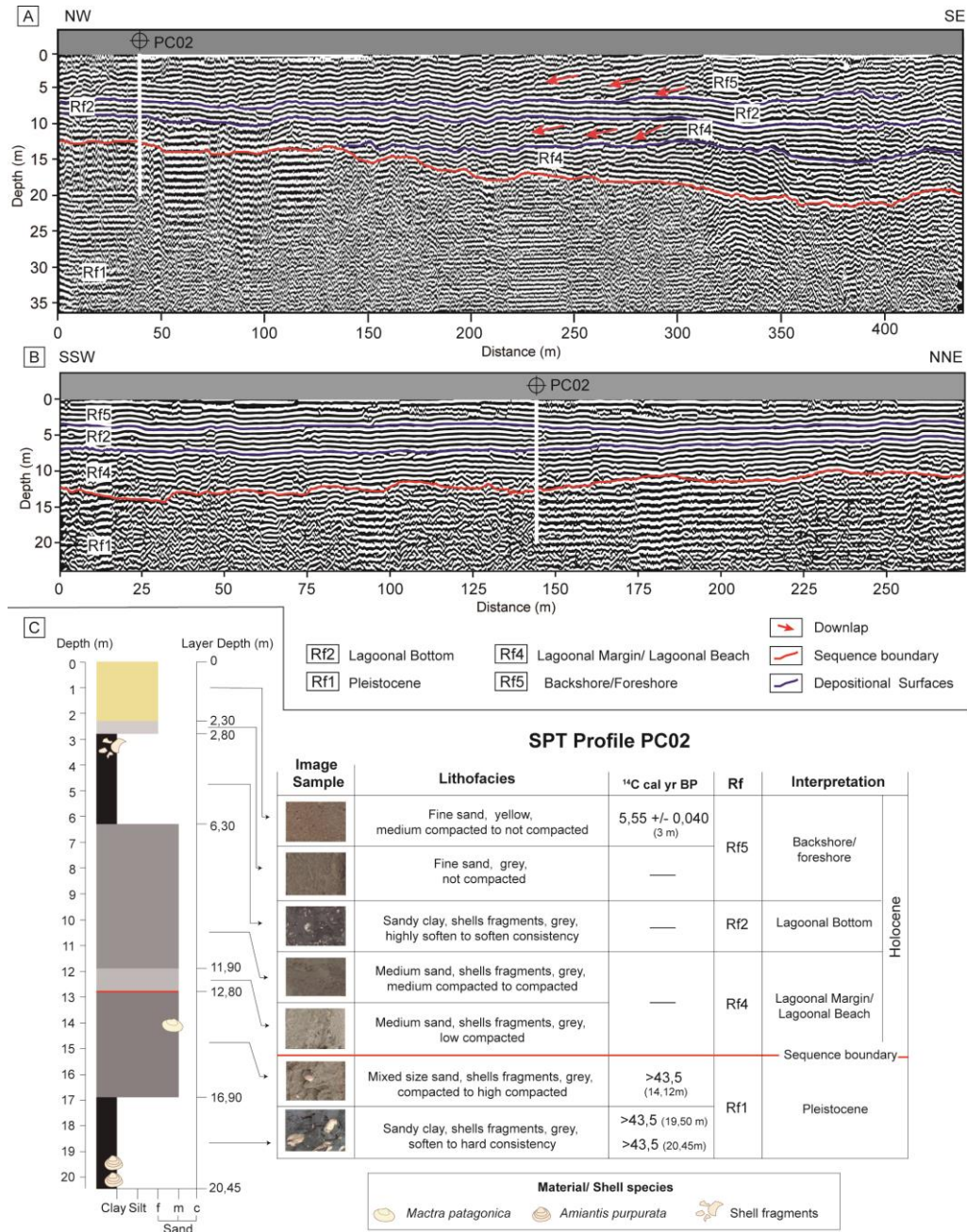


Fig. 4

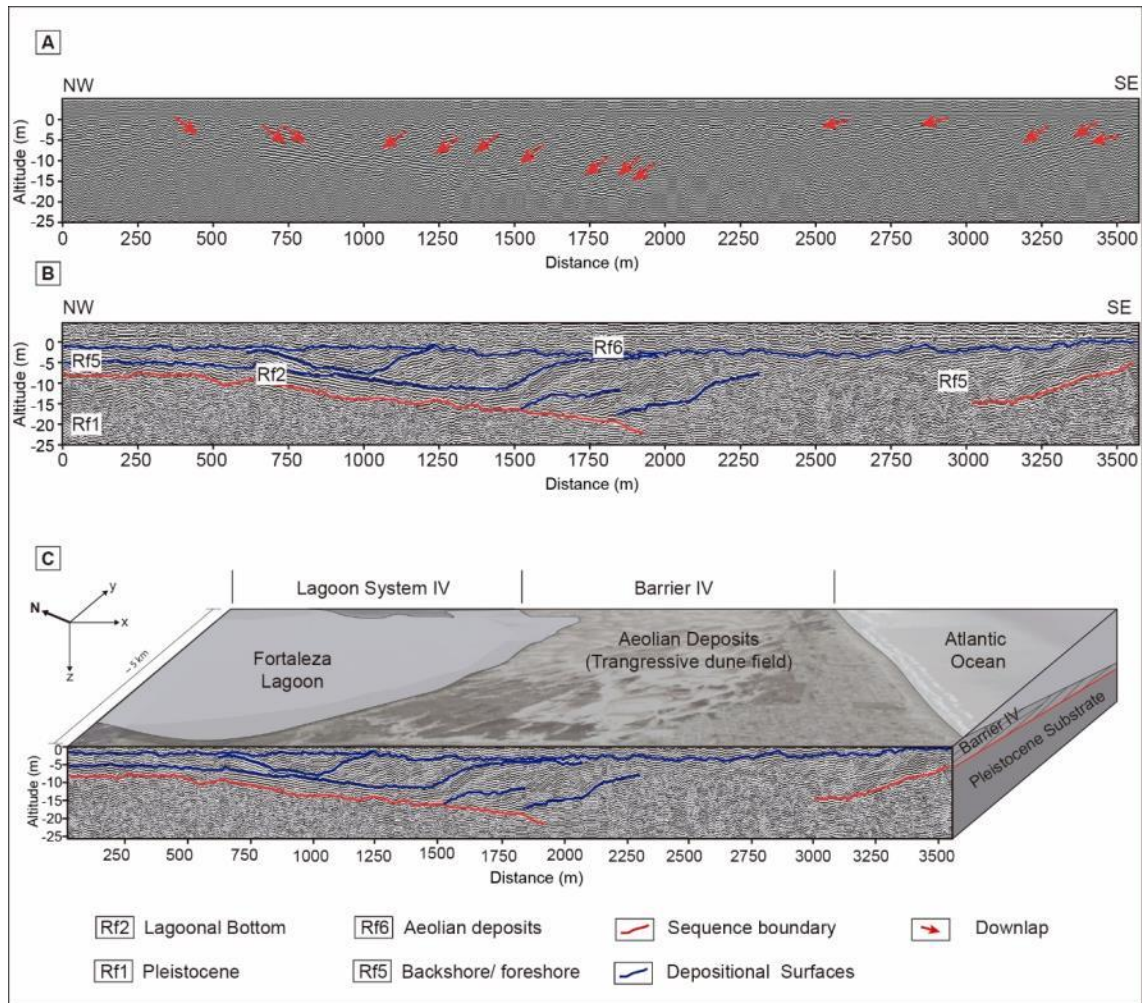


Fig. 5

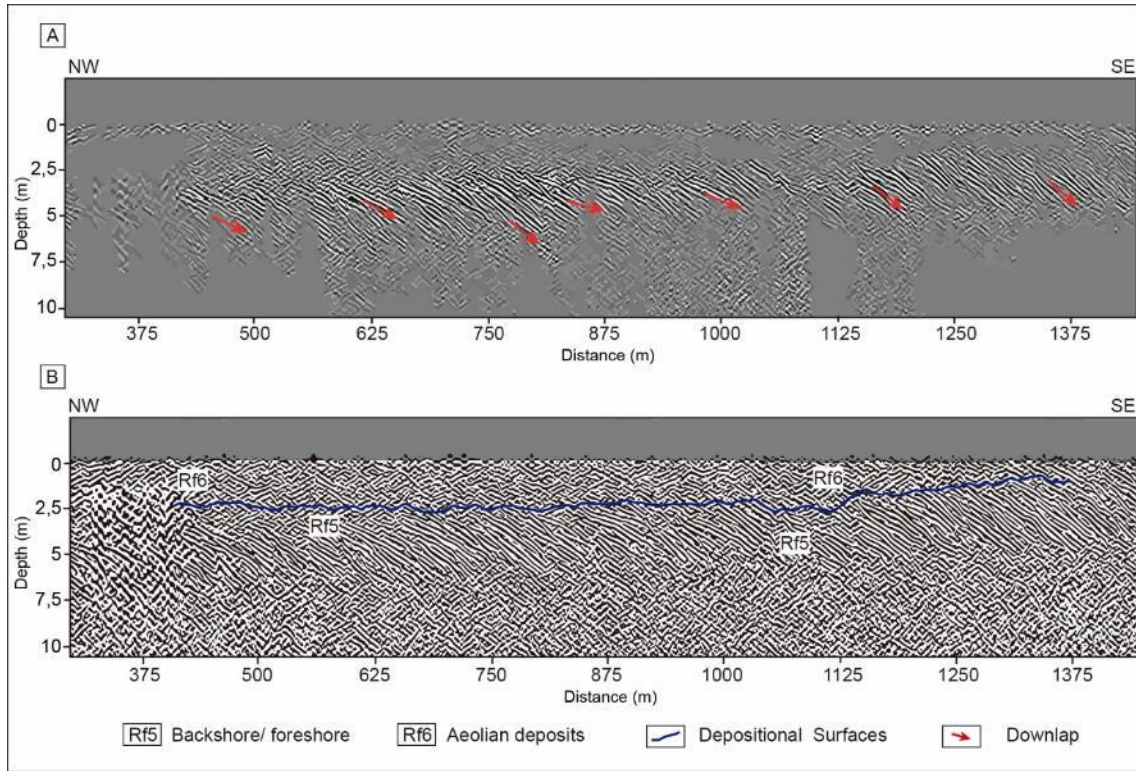


Fig. 6

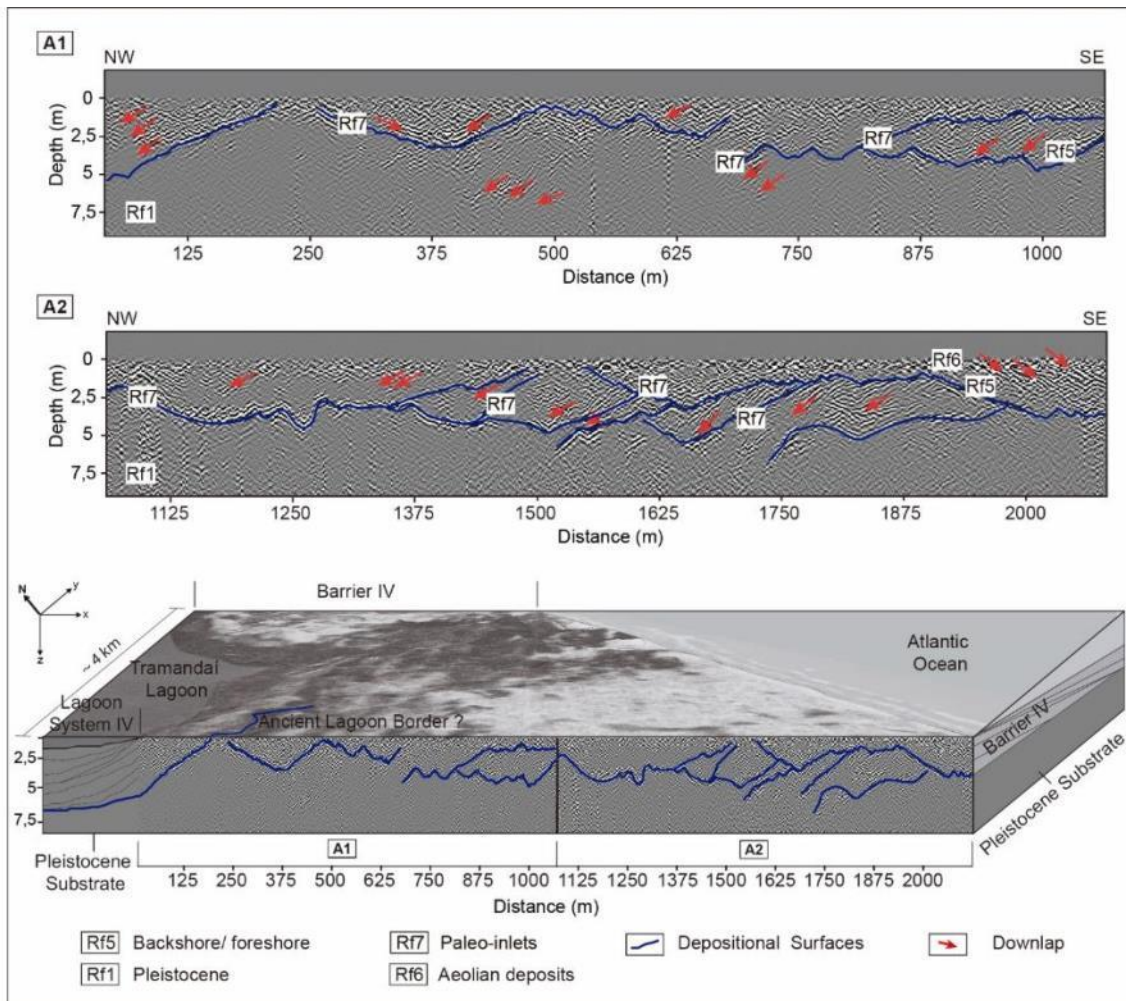


Table 1

Location	GPR Sections	Antenna	Stacking Pattern
Xangri-Lá	GPR18	270 MHz	PROGRADATIONAL
Imara	GPR17	270 MHz	
Santa Teresinha	GPR16	270 MHz	
Imbé	GPR15	80 MHz	
	GPR14	80 MHz	
	GPR13	270 MHz	
Tramandaí	GPR12	270 MHz	
Jardim do Éden	GPR09	80 MHz	RETROGRADATIONAL
	GPR08	80 MHz	
	GPR07	80 MHz	
	GPR10	80 MHz	
	GPR11	80 MHz	
	GPR06	80 MHz	
Cidreira	GPR05	80 MHz	
	GPR04	270 MHz	
Pinhal	GPR03	270 MHz	
Quintão	GPR02	270 MHz	
Dunas Altas	GPR01	80 MHz	PROGRAD

Table 2

<b>Location</b>	<b>Drill Hole</b>	<b>Work/Year</b>
<b>Tramandaí</b>	FS-10	Travessas et al. (2005), Dillenburg et al., (2009)
	FS-09	
	<b>PC-01</b>	This study
	<b>PC-02</b>	
<b>Jardim do Éden</b>	WEC15	EDP – Wind Power Complex
<b>Cidreira</b>	FS-01	Travessas et al. (2005), Dillenburg et al., (2009)
	FS-14	
<b>Dunas Altas</b>	FS-18	Becker et al. (2009)
	FS-26	

Table 3

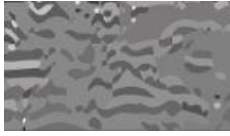






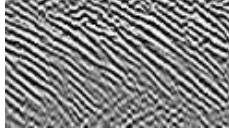



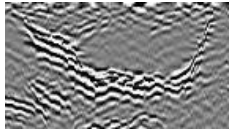

Rf	Description	Image Sample						Interpretation
		NW	80 MHz	SE	NW	270 MHz	SE	
1	Absence of data (attenuation and very low amplitude) or Shape: sinuous Dip: multidirectional Relationship: chaotic Continuity: discontinuous Amplitude: low to very low							Pleistocene substrate
2	Shape: planar (80 MHz) to gently sinuous (270 MHz) Dip: horizontal to low angle Relationship: parallel set (80 MHz) or single reflector (270 MHz) Continuity: continuous Amplitude: high							Lagoonal Bottom
3	Shape: sigmoidal Dip: unidirectional Relationship: oblique tangential Continuity: continuous Amplitude: high				—			Lagoonal Deltas
4	Shape: gently sinuous to planar Dip: unidirectional Relationship: oblique Continuity: continuous Amplitude: high				—			Lagoonal Margin/ Lagoonal beach
5	Shape: planar Dip: unidirectional Relationship: oblique and parallel Continuity: continuous Amplitude: high							Backshore Foreshore
6	Shape: sinuous convex Dip: multidirectional Relationship: chaotic Continuity: discontinuous Amplitude: variable							Aeolian Deposits
7	Shape: concave Dip: bidirectional on edges and horizontal and oblique in the middle Relationship: parallel set or single reflector Continuity: continuous edges and variable filling Amplitude: variable (usually higher in the edges and high to low in the filling)							Paleo-inlets
8	Shape: planar Dip: unidirectional Relationship: oblique and parallel Continuity: continuous Amplitude: high		—					Lower shoreface



Table 4

Sample (PC02)	Depth (m)	Laboratory Number	<sup>14</sup> C yr BP
PC23	3	Beta-361262	5550+/- 40 BP
PC214	14,12	Beta-361263	>43500 BP
PC219	19,50	Beta-361264	>43500 BP
PC220	20,40	Beta-361265	>43500 BP

---

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As seções GPR foram muito eficazes para delinear e classificar setores com diferentes comportamentos no norte da barreira holocênica da PCRS, bem como identificar outras feições específicas como paleoinlets e feições lagunares pretérias. Com base nos resultados, a Barreira holocênica ao longo de Xangri-Lá e Dunas Altas, apresentou três setores distintos.

O registro ao norte, progradacional, é marcado pela influência do canal de Tramandaí com ampla dispersão durante o Holoceno, de pelo menos 3 km ao sul de sua posição atual até 10 km ao norte, em Imara. Este comportamento também é observado atualmente em outras áreas como nos rios Mampituba, no Rio Grande do Sul, e Araranguá, em Santa Catarina (BIANCINI DA SILVA et al., 2014).

O setor do Jardim do Éden a Quintão é dominado pela presença de refletores em downlap no sentido do continente, e de feições de fundo lagunar que provavelmente encontravam-se conectadas como um extenso corpo d'água. Pinhal e Quintão exibem a mesma característica de fundo lagunar que Cidreira, mergulhando em sentido SW. Isso implica em uma maior extensão longitudinal do corpo lagunar, cujo registro completo, mergulhando nos dois sentidos é encontrado em Cidreira. Essa lagoa teria também uma extensão maior perpendicular à costa em direção ao mar que, juntamente com afloramentos de lama lagunar na zona da face de praia no Jardim do Éden, ratifica a erosão ao longo do Holoceno para este setor da barreira. Dessa forma, propõe-se a existência de uma paleolagoa com aproximadamente 3,5 km de extensão transversal e mais de 30 km de extensão longitudinal, até Jardim do Éden.

Dunas Altas apresenta a mudança de uma fase retrogradacional/transgressiva para uma fase progradacional/regressiva. A inversão ocorre na seção a uma profundidade de aproximadamente -4 m , indicando que a progradação ocorreu antes do máximo relativo do nível do mar proposto para o Holoceno.

Os registros adquiridos em subsuperfície em Tramandaí e em Dunas Altas possuem características diferenciadas se comparadas aos demais setores na área de estudo. A seção de Tramandaí apresenta uma baixa profundidade dos dados, é marcada pela presença na influência de um paleocanal relacionado a Lagoa de Tramandaí, apresenta um caráter regressivo, e está localizada entre dois setores com comportamentos opostos (norte - progradacional, e sul - retrogradacional). Já

---

Dunas Altas, localizada entre duas porções transgressivas da barreira, apresenta-se em estágio de progradação e a resultante agradacional decorre do acúmulo incomum de sedimentos nesse setor (TOLDO Jr. et al., 2006; BARBOZA et al., 2011).

Dessa forma, com relação à existência de uma barreira transicional dentro da área de estudo, Dunas Altas representa o início de um setor de transição que se prolonga para sul, região marcada por uma alternância de comportamentos antagônicos em frequências mais altas que os setores classificados neste estudo (ABSALONSEN; TOLDO JR., 2007).

Sob uma mesma tendência de queda do nível relativo do mar, diferenças nos padrões de empilhamento ocorrem devido a diferentes fatores autogênicos que agem em diferentes escalas, moldando o comportamento evolutivo da linha de costa. A análise dos depósitos de subsuperfície com o método do Georadar permitiu evidenciar a extensão e as características estratigráficas dos depósitos da barreira holocênica no Litoral Norte da PCRS, assim como compreender como se apresentam as porções transicionais no que diz respeito ao seu posicionamento e registro em subsuperfície, contribuindo para o entendimento da evolução costeira na área de estudo. O estudo forneceu informações relevantes para o entendimento dos padrões de empilhamento da barreira holocênica na Bacia de Pelotas e contribui para atuação de gestores no que diz respeito à erosão costeira e ao gerenciamento costeiro, atuando como subsídio para problemas relacionados à ocupação antrópica.

---

## 5. REFERENCIAS

ABSALONSEN, Luciano; TOLDO JR, Elírio Ernestino. A influência da inflexão costeira na variabilidade da linha de praia em Mostardas –RS. **Pesquisas em Geociências**. Vol. 34, n.1, p.3-18, 2007.

ALVARES, Clayton Alcarde et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [s.l.], v. 22, n. 6, p.711-728, 1 dez. 2014. Schweizerbart. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

ANGULO, Rodolfo José; LESSA, Guilherme; DE SOUZA, Maria Cristina A critical review of mid- to late-Holocene sea-level fluctuations on the eastern Brazilian coastline. **Quaternary Science Reviews**, v. 25, n. 5-6, p.486-506, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2005.03.008>.

ANGULO, Rodolfo José; LESSA, Guilherme Camargo. The Brazilian sea-level curves: a critical review with emphasis on the curves from the Paranaguá and Cananéia regions. **Marine Geology**, v. 140, n. 1-2, p.141-166. 1997. [http://dx.doi.org/10.1016/s0025-3227\(97\)00015-7](http://dx.doi.org/10.1016/s0025-3227(97)00015-7).

BAKER, Gregory S.; JOL, Harry M. **Stratigraphic analyses using GPR**. Special Paper. Geological Society of America. 181p. 2007

BARBOZA Eduardo Guimarães, TOMAZELLI Luiz José. Erosional features of the eastern margin of the Patos Lagoon, southern Brazil: significance for Holocene history. **Journal of Coastal Research**, SI 35, p. 260-264, 2003.

BARBOZA, Eduardo Guimarães et al. Evolution of the Holocene Coastal Barrier of Pelotas Basin (Southern Brazil) - a new approach with GPR data. **Journal of Coastal Research**, SI 64, p. 646-650, 2011.

BARBOZA, Eduardo Guimarães et al. Ground-penetrating radar profiles of two Holocene regressive barriers in southern Brazil. **Journal of Coastal Research**, SI 56, p. 579-583, 2009.

BARBOZA, Eduardo Guimarães et al. Interpretação de seções de georadar 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.

---

BARBOZA, Eduardo Guimarães; ROSA, Maria Luiza Correa da Camara. Indicadores geológicos e geomorfológicos de setores em erosão na costa do Rio Grande do Sul, Brasil. **Problemática de Los Ambientes Costeiros. Sur de Brasil, Uruguay y Argentina, DIRAC**, p. 83-98, 2014.

BARBOZA, Eduardo Guimarães, et al. Diachronic Condition Between Maximum Transgressive and Maximum Eustatic Sea-Level in Holocene: Subsides for Coastal Management. **Journal of Coastal Research**, SI 85, p.446-450, 2018.

BARBOZA, Eduardo Guimarães et al. Preservation potential of foredunes in the stratigraphic record. **Journal of Coastal Research**, SI 65, p. 1265-1270, 2013.

BARBOZA, Eduardo Guimarães; ROSA, Maria Luiza Correa da Camara; CARON, Felipe. Metodologia de aquisição e processamento em dados de Georradar (GPR) nos depósitos quaternários da porção emersa da Bacia de Pelotas. **VI Simpósio Brasileiro de Geofísica**, p. 1-6, 2014.

BARLETTA, Rodrigo Do Carmo; CALLIARI, Lauro Júlio. Determinação da intensidade das tempestades que atuam no litoral do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, v. 28, n. 2, p. 117-124, 2001.

BECKER, José Eduardo Gheno. **Estratigrafia e Evolução Costeira do Balneário de Dunas Altas, RS**. 2009. Monografia (Graduação) – Instituto de Geociências, Curso de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

BIANCINI DA SILVA, Anderson et al. Meandering Fluvial System Influencing the Evolution of a Holocene Regressive Barrier in Southern Brazil. **Journal of Coastal Research** SI 70, p. 687-692, 2014.

CALLIARI, L. J.; SPERANSKI, N.; BOUKAREVA, I. Stable focus of wave rays as a reason of local erosion at the southern Brazilian coast. **Journal of Coastal Research**, v. 26, n. 2, p. 19-23, 1998.

CATUNEANU, Octavian. **Principles of sequence stratigraphy**. Elsevier, 2006.

CORRÊA, Iran Carlos Stalliviere. Les variations du niveau de la mer durant les derniers 17.500 ans BP. L'exemple de la plateforme continentale du Rio Grande do Sul-Bresil. **Marine Geology**, v.130, 163-178, 1996.

---

TRAVESSAS, Felipe De Almeida; DILLENBURG, Sérgio Rebello; CLEROT, Luiz Carlos Pinheiro. Estratigrafia e evolução da barreira holocênica do Rio Grande do Sul no trecho Tramandaí-Cidreira. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 57, 2005.

DIAS, J.L., Sad, A.R.E., Fontana, R.L., Feijó, F.J. Bacia de Pelotas. **Boletim de Geociências da Petrobras**, 8(1), 235-245, 1994.

DILLENBURG, Sérgio R.; HESP, Patrick A. **Geology and geomorphology of Holocene coastal barriers of Brazil**. Springer Science & Business Media, 2009.

DILLENBURG, Sérgio Rebello, BARBOZA, Eduardo Guimarães The strike-fed sandy coast of Southern Brazil. In: Martini, I.P., Wanless, H.R. (Eds.), *Sedimentary Coastal Zones from High to Low Latitudes: Similarities and Differences*. **Geological Society, London, Special Publications** Vol. 388. pp. 333-352, 2014.

DILLENBURG, Sergio R. et al. Influence of antecedent topography on coastal evolution as tested by the shoreface translation-barrier model (STM). **Journal of Coastal Research**, vol. 16, p. 71-81, 2000.

DILLENBURG, Sérgio R.; TOMAZELLI, Luiz J.; BARBOZA, Eduardo G. Barrier evolution and placer formation at Bujuru southern Brazil. **Marine Geology**, v. 203, n. 1-2, p. 43-56, 2004.

DILLENBURG, Sérgio Rebello et al. Modificações de longo período da linha de costa das barreiras costeiras do Rio Grande do Sul. **Gravel**, v. 3, n. 1, p. 4-9, 2005.

DILLENBURG, Sérgio Rebello et al. Stratigraphy and evolution of a prograded transgressive dunefield barrier in southern Brazil. **Journal of Coastal Research**, SI 39, p. 132-135, 2006.

DILLENBURG, Sérgio Rebello et al. A Barreira Costeira de Dunas Altas no Litoral Médio do Rio Grande do Sul: um exemplo de barreira agradacional ou estacionária. In: **Resumos do 12º Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário**. Disponível em: [http://www.abequa.org.br/mostra\\_ano.php](http://www.abequa.org.br/mostra_ano.php). 2007.

DILLENBURG, Sérgio Rebello et al. The Holocene coastal barriers of Rio Grande do Sul. In: Dillenburg, S.R., Hesp, P.A. (Eds.), *Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil*. Springer, **Lecture Notes in Earth Sciences**, Vol. 107. pp. 53–91., 2009.

---

DILLENBURG, Sérgio Rebello et al. The complex prograded Cassino barrier in southern Brasil: Geological and morphological evolution and records of climatic, oceanographic and sea-level changes in the last 7-6 ka. **Marine Geology**, 390, 106-119. 2017

GRUBER, Nelson Luiz Sambaqui et al. Equilibrium beach and shoreface profile of the Rio Grande do Sul coast-south of Brazil. **Journal of Coastal Research**, p. 253-259, 2003.

GRUBER, Nelson Luiz Sambaqui et al. Morphodynamic limits of shoreface and inner shelf at the northern coast of Rio Grande do Sul, Brazil. **Journal of Coastal Research**, p. 664-668, 2006.

HESP, Patrick A. et al. Beach ridges, foredunes or transgressive dunefields? Definitions and an examination of the Torres to Tramandaí barrier system, Southern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 77, n. 3, p. 493-508, 2005.

HESP, Patrick A. et al. Morphology of the Itapeva to Tramandai transgressive dunefield barrier system and mid-to late Holocene sea level change. **Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group**, v. 32, n. 3, p. 407-414, 2007.

HOLZ, Michael. **Estratigrafia de Sequências – Histórico, Princípios e Aplicações**. Rio de Janeiro. Interciência, 2012.

IMBRIE, John et al. The orbital theory of Pleistocene climate: support from a revised chronology of the marine  $\delta O_{18}$  record. In: Berger A, et al. (Eds.), Milankovitch & Climate, Part I. Riedel. pp. 269-305. 1984.

INMAN, Douglas L.; NORDSTROM, Charles E. On the tectonic and morphologic classification of coasts. **The Journal of Geology**, v. 79, n. 1, p. 1-21, 1971.

JOL, Harry M.; BRISTOW, Charlie S. GPR in sediments: advice on data collection, basic processing and interpretation, a good practice guide. **Geological Society, London, Special Publications**, v. 211, n. 1, p. 9-27, 2003.

JOL, Harry M., BAKER, Gregory S. **Stratigraphic Analyses Using GPR**. Geological Society of America, 2007.

---

LEANDRO, Carolina G. et al. GPR trace analysis for coastal depositional environments of southern Brazil. **Journal of Applied Geophysics** 162, 1-12, 2019.

MARTINHO, Caroline Thaís. **Morfodinâmica e evolução de campos de dunas transgressivos quaternários do litoral do Rio Grande do Sul**. 2008. 239p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Curso de Pós Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008. <http://hdl.handle.net/10183/13783>

MARTINHO, Caroline Thaís; DILLENBURG, Sérgio Rebello; HESP, Patrick. Wave energy and longshore sediment transport gradients controlling barrier evolution in Rio Grande do Sul, Brazil. **Journal of Coastal Research**, p. 285-293, 2009.

NEAL, Adrian. Ground-penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems and progress. **Earth-science reviews**, v. 66, n. 3-4, p. 261-330, 2004.

NEAL, Jack. ABREU, Vitor. Sequence Stratigraphy hierarchy and the accommodation succession method. **Geology**, v.37, n.9, p. 779-782, 2009.

PAYTON, C.E. 1977. **Seismic Stratigraphy - applications to hydrocarbon exploration**. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 26.

PROGRAMA de Gerenciamento Costeiro- GERCO/RS. Porto Alegre, 2018. Disponível em : < <http://www.fepam.rs.gov.br/programas/gerco.asp>>. Acesso em: 21 fev. 2018.

ROSA, M.L.C.C. **Geomorfologia, estratigrafia de sequências e potencial de preservação dos sistemas laguna-barreira do Quaternário costeiro do Rio Grande do Sul**. 2012 232 p., Tese (Doutorado em Geociências)- Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. <http://hdl.handle.net/10183/66367>

ROSA, Maria Luiza Correa da Camara et al. The Rio Grande do Sul (southern Brazil) shoreline behavior during the Quaternary: a cyclostratigraphic analysis. **Journal of Coastal Research** SI 64, 686-690, 2011.

ROSA, Maria Luiza Correa da Camara et al. River-dominated deltas: upscaling autogenic and allogenic processes observed in laboratory experiments to field examples of small deltas in southern Brazil. In: Budd, D.A., Hajek, E.A., Purkis, S.J. (Eds.), **Autogenic Dynamics and Self-organization in Sedimentary Systems**. SEPM Special Publication 106. pp. 176-197.

---



ROSA, Maria Luiza Correa da Camara et al. High-Frequency Sequences in the Quaternary of Pelotas Basin (coastal plain): a record of degradational stacking as a function of longer-term base-level fall. **Brazilian Journal of Geology**, v. 47, n. 2, p. 183-207, 2017.

ROSA, Maria Luiza Correa da Camara et al. Integração de métodos potenciais (gravimetria e magnetometria) na caracterização do embasamento da região sudoeste da Bacia de Pelotas, sul do Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 27, n. 4, p. 641-657, 2009.

ROY, P.S., et al. **Wave-dominated coasts**. In: Carter, R.W.G. & Woodroffe, C.D. (Ed.). Coastal Evolution – Late Quaternary Shoreline Morphodynamics. Cambridge, Cambridge University Press, pp. 121–186, 1995.

SHACKLETON, Nicholas John; OPDYKE, Neil D. Oxygen isotope and palaeomagnetic stratigraphy of equatorial Pacific core V28-238: Oxygen isotope temperatures and ice volumes on a  $10^5$  year and  $10^6$  year scale. **Quaternary research**, v. 3, n. 1, p. 39-55, 1973.

SHEPHERD, M. J. Relict and contemporary foredunes as indicators of coastal processes. **Applied Quaternary Studies**, edited by: Brierley, G. and Chappell, J., Australian National University, Canberra, Australia, p. 17-24, 1991.

THOM, B.G. Coastal erosion in eastern Australia. *Geographical Research* 6(2), 171-173. THOM, Bruce Graham. Coastal erosion in eastern Australia. **Search, Sci Technol Soc**, 1968.

TOLDO Jr., E. E. et al. Coastal dunes and shoreface width as a function of longshore transport. **Journal of Coastal Research**, p. 390-394, 2006.

TOLDO Jr. et al. Parâmetros morfométricos da Praia de Imbé, RS. **Pesquisas**, 20(1), p. 27-32, 1993.

TOMAZELLI, L. J. et al. Significance of present-day coastal erosion and marine transgression, Rio Grande do Sul, southern Brazil. **ANAI DA ACADEMIA BRASILEIRA DE CIENCIAS**, v. 70, p. 221-230, 1998.

TOMAZELLI, Luiz José et al. Processos de transferência de sedimentos durante a transgressão de barreiras arenosas costeiras: o exemplo da costa do Rio Grande do Sul. In: **XIV Congresso da ABEQUA, Natal/RN, 1p.** 2013.

---

TOMAZELLI, Luiz Jose et al. Geomorfologia e potencial de preservação dos campos de dunas transgressivos de Cidreira e Itapeva, litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas em Geociências**. Vol. 35, n. 2 (2008), p. 47-55, 2008.

TOMAZELLI, LUIZ. Morfologia, organização e evolução do campo eólico costeiro do litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, v. 21, n. 1, p. 64-71, 1994.

TRAVESSAS, F.A., Dillenburg, S.R., Clerot, L.C.P., 2005. Estratigrafia e evolução da barreira holocênica do Rio Grande do Sul no trecho Tramandaí-Cidreira. **Boletim Paranaense de Geociências** 53, 57-73.

TRAVESSAS, F. A. **Estratigrafia e evolução no Holoceno Superior da barreira costeira entre Tramandaí e Cidreira (RS)**. 2003. 43f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Curso de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

VILLWOCK, Jorge A et al. Geology of the Rio Grande do Sul coastal province. In: Rabassa, J. (Ed.), Quatern. South America and Antarctic Peninsula 4. pp. 79-97. VILLWOCK, Jorge A. et al. Geology of the Rio Grande do Sul coastal province. In: **International symposium on sea-level changes and quaternary shorelines**. p. 79-97, 1986.


WATANABE, Débora Sayuri Zanchi. **Caracterização do registro estratigráfico transicional entre as porções transgressivas e regressivas da Barreira Costeira Holocênica, Litoral Norte do Rio Grande do Sul**. 2016. 73f. Monografia (Graduação) – Instituto de Geociências, Curso de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016. <http://hdl.handle.net/10183/150883>

---

## ANEXOS

Responder | Excluir | Arquivo Morto | Lixo Eletrônico | Limpar | Mover para | Categorizar

Successfully received: submission **The transitional record between progradational and retrogradacional barrier systems for Marine Geology**

 Marine Geology <Evisesupport@elsevier.com>  
Ter: 22/01/2019, 20:49  
Para: deborasayuri@hotmail.com

*This message was sent automatically.*

Ref: MARGO\_2019\_42  
Title: The transitional record between progradational and retrogradacional barrier systems  
Journal: Marine Geology

Dear Miss. Zanchi Watanabe,

Thank you for submitting your manuscript for consideration for publication in Marine Geology. Your submission was received in good order.

To track the status of your manuscript, please log into EVISE® at: [http://www.evise.com/evise/faces/pages/navigation/NavController.jspx?\\_afJRNL\\_ACR=MARGO](http://www.evise.com/evise/faces/pages/navigation/NavController.jspx?_afJRNL_ACR=MARGO) and locate your submission under the header 'My Submissions with Journal' on your 'My Author Tasks' view.

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,  
Marine Geology

**Have questions or need assistance?**  
For further assistance, please visit our [Customer Support](#) site. Here you can search for solutions on a range of topics, find answers to frequently asked questions, and learn more about EVISE® via interactive tutorials. You can also talk 24/5 to our customer support team by phone and 24/7 by live chat and email.

-----

Copyright © 2018 Elsevier B.V. | [Privacy Policy](#)  
Elsevier B.V., Radarweg 29, 1043 NX Amsterdam, The Netherlands, Reg. No. 33156677.

**ATA Nº 854**

A comissão abaixo assinada tendo examinado a Dissertação de Mestrado da aluna **Débora Sayuri Zanchi Watanabe**, intitulada **“COMPORTAMENTO EVOLUTIVO EM SUBSUPERFÍCIE DA BARREIRA HOLOCÊNICA NO LITORAL NORTE DO RIO GRANDE DO SUL: REGISTROS PROGRADACIONAIS, RETROGRADACIONAIS E TRANSICIONAIS”**, atribuem os seguintes conceitos:

Prof. Dr. Anderson Biancini da Silva (FATMA)  
**CONCEITO: "A" (EXCELENTE)**

Prof. Dr. Rodolfo José Angulo (UFPR)  
**CONCEITO: "A" (EXCELENTE)**

Prof. Dr. Sérgio Rebelo Dillenburg (PPGGEO/UFRGS)  
**CONCEITO: "C" (REGULAR)**

de de 2019.

<b>Homologação pela Comissão de Pós-Graduação,</b>	
<b>Ata nº</b>	<b>Data:</b>
<b>Conceito Final:</b>	
<b>Rubrica:</b>	

<b>ANEXO I</b>
Título da Dissertação:
<b>“COMPORTAMENTO EVOLUTIVO EM SUBSUPERFÍCIE DA BARREIRA HOLOCÊNICA NO LITORAL NORTE DO RIO GRANDE DO SUL: REGISTROS PROGRADACIONAIS, RETROGRADACIONAIS E TRANSICIONAIS”</b>
Área de Concentração: Geologia Marinha
Autora: <b>Débora Sayuri Zanchi Watanabe</b>
Orientador: Prof. Dr. Eduardo Guimarães Barboza
Examinador: Prof. Dr. Anderson Biancini da Silva
Data: 18/02/2019
Conceito: A (Excelente)
<b>PARECER:</b>
<p>A dissertação está bem elaborada, tanto no seu conteúdo e grafia, como na qualidade das figuras e na citação das referências bibliográficas atualizadas.</p> <p>O ponto alto da dissertação é a capacidade de integrar uma diversidade de seções de GPR, sondagens e datações, e formular uma conclusão compatível com os mesmos.</p> <p>Seguem abaixo algumas pequenas deficiências ou pontos que poderiam ter sido melhor apresentados:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <i>Descrição da área estudo e caracterização do problema</i> (página. 14): “Neste setor, registros com padrão de empilhamento progradacional são identificados de Tramandaí a Xangri-lá. Porém, de Quintão a Imbé o registro do padrão...” Tramandaí situa-se ao sul de Imbé, logo, ocorreu uma inversão na terminologia das cidades. Tal equívoco também se repete no artigo submetido (página. 42).</li> <li>2) <i>Barreiras Transicionais</i> (páginas 23 e 24): Este subitem carece de uma melhor organização sequencial de ideias, dissertando sobre as definições de barreiras agradacionais/estacionárias, iniciando por exemplos da literatura internacional e finalizando com as barreiras da Bacia de Pelotas. Uma pequena conclusão poderia finalizar o subitem, apontando qual definição o presente trabalho iria utilizar.</li> <li>3) <i>Sondagens SPT</i> (páginas 34 a 36): Quadro 4 ilustra as sondagens realizadas na cidade de Tramandaí, porém, estas foram executadas em Jardim do Éden. Da mesma forma, é apontado que dois furos de sondagens foram realizados e analisados, no entanto, somente um é apresentado no trabalho.</li> </ol> <p>O artigo submetido, relacionado a dissertação e incorporado a mesma, sintetiza muito bem os resultados obtidos e suas interpretações. A seguir teço alguns comentários e sugestões sobre os aspectos abordados e espero que os mesmos</p>

sejam utilizados para reflexão e aprimoramento do trabalho:

- 1) *Progradational Barrier of Dunas Altas* (página 48) e *Figura 1* (página 73):
  - a) Uma imagem de satélite de detalhe, evidenciando a morfologia da barreira e a localização da linha de GPR, facilitaria a visualização e compreensão, tendo em vista que a referida barreira é um dos enfoques principais do artigo.
  - b) Qual foi o critério utilizado para demarcar, na seção de GPR, as superfícies deposicionais e os limites de sequência? Este questionamento também se enquadra para todas as seções analisadas.
  - c) Considerando a aplicação da estratigrafia de sequências de alta resolução, fica como sugestão, o aprofundamento destes conceitos nas seções apresentadas no artigo.
  
- 2) *Jardim do Éden* (página 49) e *Figura 3* (página 74):
  - a) A seção GPR11 (perfil longitudinal), que é ilustrada na Figura 3B, não é descrita. Considerando que está se faz presente como uma ilustração do artigo, a mesma deveria ter sido analisada.
  - b) Os refletores que representam os depósitos pleistocênicos evidenciam um padrão de inclinação no sentido do oceano, entre 13 e 20 metros, no entanto, na seção apresentada, me parece que estes apresentam um padrão plano paralelo.
  - c) Quanto aos fragmentos de conchas datados, contidos nos depósitos correlacionados ao ambiente praiado (*foreshore/backshore*), deveria ter sido mencionado que o material datado forneceu apenas a idade máxima do depósito, devido ao transporte e fragmentação.
  
- 3) *GPR and SPT comparison* (página 52 e 53):
  - a) A profundidade do substrato pleistocênico, de acordo com as seções de GPR apresentadas, decrescem no sentido sul (de 13 para 5 metros – Jardim do Éden a Quintão), entretanto, na seção GPR01 em Dunas Altas (cerca de 7 km ao sul), o substrato aprofunda-se novamente (em torno de 20 metros). Assim, sugiro uma reflexão: De que forma esta variação abrupta no substrato poderia influenciar no padrão de empilhamento da barreira?
  - b) Quais foram os critérios utilizados para atribuir que os fatores alogênicos influenciaram na sedimentação lagunar de Cidreira a Quintão, enquanto, processos autogênicos, intrínsecos ao sistema, determinaram o preenchimento lagunar em Jardim do Éden? Esta é uma curiosidade que eu gostaria que fosse mais detalhada.

4) Figura 1 (página 72):

a) Duas linhas GPR10 são ilustradas nesta figura, o que confunde a real localização desta, considerando um leitor que desconhece a região estudada.

b) As seções GPR17 e GPR18 não são ilustradas na figura.

O artigo é bem escrito, apresenta dados inéditos e uma discussão aprofundada acerca das características estratigráficas das barreiras holocênicas do litoral norte do Rio Grande do Sul. Além disto, o tema abordado na dissertação versa sobre os registros considerados estacionários/agradacionais, pouco estudados até o presente momento.

As figuras e tabelas são apresentadas em resolução e dimensões adequadas, sendo estas, confeccionadas de forma didática e de fácil compreensão.

Todas as questões levantadas e as sugestões aqui expostas foram elaboradas com o intuito de contribuir com o nível do trabalho, que está perfeitamente adequado a uma dissertação de mestrado.

Portanto, tenho certeza que este trabalho representa um avanço, na compreensão da evolução das barreiras holocênicas, e vai provocar uma série de reflexões em relação a variabilidade do padrão de empilhamento nos embaiamentos e projeções costeiras.

Por fim deixo aqui meus parabéns à mestrande e atribuo o conceito "A - Excelente" para esta dissertação.

Assinatura:

*Anderson Biancini da Silva*

Data: 18/02/2019

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno:

**ANEXO I**

Título da Dissertação:

**“COMPORTAMENTO EVOLUTIVO EM SUBSUPERFÍCIE DA BARREIRA HOLOCÊNICA NO LITORAL NORTE DO RIO GRANDE DO SUL: REGISTROS PROGRADACIONAIS, RETROGRADACIONAIS E TRANSICIONAIS”**

Área de Concentração: Geologia Marinha

Autora: **Débora Sayuri Zanchi Watanabe**

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Guimarães Barboza

Examinador: Prof. Dr. Rodolfo José Angulo

Data: 19 de fevereiro de 2019

Conceito: (A) EXCELENTE

**PARECER:**

A dissertação esta bem elaborada tanto do ponto de visa formal como conceitual. Os resultados são relevantes e a discussão e conclusões se constituem em significativa contribuição científica. O artigo, submetido a importante revista da área, está bem elaborado e tem boa chance de ser aceito. Assim, considero a dissertação de excelente qualidade.

Assinatura:

Data: 19/02/2019



Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno:

<b>ANEXO I</b>
Título da Dissertação:
<b>“COMPORTAMENTO EVOLUTIVO EM SUBSUPERFÍCIE DA BARREIRA HOLOCÊNICA NO LITORAL NORTE DO RIO GRANDE DO SUL: REGISTROS PROGRADACIONAIS, RETROGRADACIONAIS E TRANSICIONAIS”</b>
Área de Concentração: Geologia Marinha
Autora: <b>Débora Sayuri Zanchi Watanabe</b>
Orientador: Prof. Dr. Eduardo Guimarães Barboza
Examinador: Prof. Dr. Sérgio Rebello Dillenburg
Data: 11/02/2019
Conceito: C
<b>PARECER:</b>
<p>A Dissertação de mestrado da Aluna Débora Watanabe foi finalizada sem uma adequada revisão final. E provavelmente foi estruturada em um tempo muito curto, fato que pode explicar sua falta de organização na apresentação de seus conteúdos. Estas primeiras observações se referem principalmente ao artigo do trabalho, o qual, além deste problema, apresenta também uma redação com muitas falhas, tanto na construção textual, como na língua inglesa. Destaco também um grave problema com suas figuras, e em particular me refiro aqui à figura 2, a qual é chamada no texto do artigo, mas não aparece na sequência de figuras. Consequentemente, a Barreira IV (assim apresentada pela autora) em nenhum momento foi contextualizada no artigo. A ausência desta figura (e algum texto) dificulta, ao leitor, o entendimento da Discordância mencionada no início do segundo parágrafo da pg. 44. Uma revisão básica (elementar) teria detectado este problema. Os efeitos desta falha são minimizados na dissertação, pois a parte 1 (Introdutória) contextualiza a barreira IV. A figura 1, no artigo, apresenta a localização de muitos perfis de GPR, existindo dois GPR-10 e dois GPR-11. Todavia, a mesma figura, na parte introdutória da dissertação, apresenta outra numeração para estes mesmos perfis de GPR.</p> <p>No artigo, ao longo do Geological Setting (2.1) faltam muitas citações e existem muitas imprecisões. No Oceanographic and Meteorological setting (2.2) a autora inicia com uma imprópria caracterização da plataforma continental, e com valores errados de sua inclinação. Poderiam ter sido aqui exploradas as condições oceanográficas decorrentes da variação de inclinações da plataforma continental. Na verdade este é um fator autogênico importante que não foi considerado no trabalho. Ele foi de uma maneira muito genérica, referido como a herança geológica (topografia antecedente), porém, variações desta topografia, na forma da morfologia da atual plataforma continental não foram consideradas. O último parágrafo deste capítulo (2.2) tem uma redação que impossibilita seu entendimento. No capítulo Material and Methods (3), a autora distingue perfis de GPR com orientação "cross-shore" de perfis com orientação "transversal profiles"</p>

Qual seria a diferença entre estas duas orientações? Apresenta também algumas imprecisões e repetição de conteúdos.

Diferentemente da primeira parte da dissertação, o artigo tem um título muito amplo: "The transitional record between progradational and retrogradational barrier systems". Este título não é adequado, pois o artigo trata de um caso (local) específico que é o Litoral Norte do estado do Rio Grande do Sul. Assim, deve ser acrescido ao título, em seu final: "in southern Brazil".

Retornando a 1ª parte da dissertação, destacamos que os quadros apresentados deveriam ser referidos como tabelas. Na página 29, 4º parágrafo, a autora equivocadamente denomina a antepraia ("shoreface") como face de praia ("beach face").

No artigo, seu abstract tem uma redação pouco clara (confusa), o que não deixa muito claro o que foi feito e interpretado pela autora. Vários problemas decorrentes da não revisão final do documento aparecem ao longo do texto. Problemas como o da página 44, 1º parágrafo, onde a autora destaca que no setor 1 a barreira varia de 5 a 2 km (em qual dimensão). Logo abaixo, ao caracterizar o setor 2, a dimensão é referida: 2 a 6 km de largura. Em vários momentos a autora se refere a informações de outros autores, sem lhes fazer a devida referência (citação), como pode ser observado no último parágrafo da página 45. O mesmo se repete na página 49, 2º parágrafo, onde a autora faz, pela única vez no trabalho, referência ao importante afloramento de lamas na praia do Jardim do Éden, sem a devida citação. É importante lembrar que este afloramento corrobora a interpretação da natureza retrogradacional da barreira em Jardim do Éden. E aqui faço crítica a não apresentação dos dados dos perfis GPR 6, 7, 8 e 9, bem como da associação do perfil GPR 7 com a sondagem PC01. Com os perfis apresentados para Jardim do Éden (GPR 10 e 11), fica comprovada a natureza retrogradacional da barreira apenas em sua parte interna. Como o leitor pode verificar se ela é retrogradacional em toda a sua extensão (largura)? Pelo menos um destes perfis (próximos a praia) deveria ter sido apresentado no artigo. Destaco que, no artigo, também deveria ter sido apresentado o perfil GPR de Imara, o qual sugere a extensão do inlet de Tramandaí 10 km para norte de sua atual localização, no passado. Não se justifica a não apresentação destes registros, e de outros que são localizados na Fig. 2, no todo da Dissertação. Na apresentação dos resultados existe uma desorganização recorrente, observada quando a autora se refere aos trechos costeiros estudados. Por exemplo: na página 48, no capítulo 4.2, é feita referência (no título) ao trecho Quintão a Jardim do Éden. Como a autora vem fazendo a apresentação dos trechos de sul para norte, perfeito, está de acordo. Porém, já na 4ª linha deste capítulo ela faz referência ao trecho Jardim do Éden a Quintão. E ao subdividir o capítulo, para descrever subdivisões deste trecho, é mudada a ordem, e a descrição passa a ser de norte a sul. É um ruído de leitura que gera descontinuidade na apreciação dos conteúdos. Não é natural. Outro exemplo ocorre na página 57, no 1º parágrafo do capítulo 5.7, no qual a autora coloca que a área de estudo, de norte a sul, muda de 27 km de progradação no trecho Tramandaí a Xangri-la (considera agora de sul para norte), para 34 km de uma barreira retrogradacional entre Quintão e Jardim do Éden (novamente de sul para norte). Outra observação importante aqui: a autora não apresenta (destaca) exatamente aquele setor onde se dá a transição (ou seja, o setor transicional) que corresponde ao trecho Tramandaí a Jardim do Éden. Este trecho merecia ser estudado em detalhe.

Não existe um padrão na apresentação dos perfis de GPR. Os perfis das figuras 2,

4 e 5 apresentam o registro bruto (sem linhas de interpretação dos refletores). O mesmo não acontece com os perfis das figuras 3 e 6.

Na interpretação das radarfacies a autora não faz distinção entre backshore/foreshore de natureza praial/lagunar e de natureza praial/oceânica. Eles têm a mesma característica como refletores nos registros de GPR? Se a resposta é sim, isto mereceria observações no trabalho, pois o nível de energia a que estão submetidos é muito diferente.

Na página 51, a autora faz relações entre sondagens e perfis GPR e chama a figura 2. Porém, a figura mostra apenas o perfil de GPR, sem a articulação com as sondagens e suas datações. A falta de apresentação de perfis de GPR (já mencionada acima) prejudica o acompanhamento da discussão apresentada na página 52, 3º parágrafo, sobre as profundidades do substrato pleistocênico.

Na página 54, no segundo parágrafo do capítulo 5.2, a autora coloca que dentro da área de estudo, ao norte, predominam padrões de empilhamento retrogradacionais. Na verdade, o padrão dominante na porção norte da área de estudo é progradação. Entre as páginas 55 e 56 a autora coloca que a inversão retrogradação para progradação em Dunas Altas ocorreu antes de ser atingido o nível de mar mais alto no Holoceno. Em seguida coloca que, por outro critério, o momento de transição teria se dado sob um nível de mar 2 m acima do atual. Afinal, em que momento se deu a mudança?

A discussão final, comparativa entre Dunas Altas e Tramandaí é muito confusa. A autora deixa transparecer, de súbito, que um setor transicional de fato ocorre ao sul de Dunas Altas e se estendendo até Mostardas; portanto, ao sul da área estudada. E a base de sua súbita colocação é o comportamento verificado neste setor (Dunas Altas a Mostardas) por Absalonsen e Toldo Jr. (2007), de uma variação de alta frequência entre condições de progradação e retrogradação. O comportamento de alta frequência detectado pelos dois autores refere-se a um período de 8 anos, ou de no máximo 32 anos (1975 a 2007) e não pode ser extrapolado para a escala milenar que caracteriza a evolução da barreira costeira holocênica.

Nas conclusões, fica clara a perda de foco que transparece em boa parte da dissertação. Quando a autora apresenta conclusões para o setor costeiro entre Quintão e Jardim do Éden ela destaca que o setor é dominado pela presença de feições lagunares provavelmente conectadas como um corpo de água maior, com grande extensão no sentido do mar, que junto com afloramentos de lama lagunar na zona de estirâncio de Jardim do Éden, ratifica a erosão de longo período para este setor do sistema barreira-laguna IV. Onde, ao longo do trabalho foi caracterizado este importante afloramento de lama em Jardim do Éden, e que agora suporta uma das conclusões do trabalho? Uma única linha na página 45. Dunas Altas e Tramandaí parecem ter sido entendidas, ao final do trabalho, como barreiras regressivas (pelo menos isto é destacado para Tramandaí nas conclusões). Por que uma barreira com 3 km de largura, apresentando entre 100 e 300 metros de progradação, é classificada como uma barreira regressiva?

Por fim, as conclusões fazem referência à importância do trabalho realizado no gerenciamento costeiro, sem que uma palavra sequer a este respeito foi apresentada nas discussões.

Contudo, a autora desenvolveu um método científico de investigação. Ela demonstra conhecer aspectos básicos do método geofísico empregado em seu trabalho. Destaco como pontos mais importantes do trabalho: a apresentação do registro da transição retrogradação/progradação em Dunas Altas (infelizmente sem

a devida articulação com sondagens disponíveis); o mapeamento da extensão, no passado, de um grande corpo de água situado ao sul de Tramandaí; a não confirmação de uma fase de progradação em Cidreira, que foi interpretada por Travessas et al. (2005); e a extensão de provável influência do canal da laguna de Tramandaí por até 10 km no sentido norte. Todavia, a grande quantidade de problemas acima destacados comprometeu o trabalho. Além da percepção de fechamento forçado do trabalho, provavelmente em razão de prazos a serem cumpridos, fiquei também com a sensação de que a autora tentou ir mais adiante do que a condição (nível de conhecimento) em que se encontrava.

Conceito: C

Assinatura:



Data: 11/02/2019

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno: