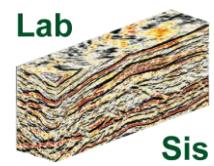




UFRGS
UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL



CARACTERIZAÇÃO DO REGISTRO ESTRATIGRÁFICO TRANSICIONAL ENTRE AS PORÇÕES TRANSGRESSIVAS E REGRESSIVAS DA BARREIRA COSTEIRA HOLOCÊNICA, LITORAL NORTE DO RIO GRANDE DO SUL

Porto Alegre, 2016

DÉBORA SAYURI ZANCHI WATANABE

**CARACTERIZAÇÃO DO REGISTRO ESTRATIGRÁFICO TRANSICIONAL ENTRE
AS PORÇÕES TRANSGRESSIVAS E REGRESSIVAS DA BARREIRA COSTEIRA
HOLOCÊNICA, LITORAL NORTE DO RIO GRANDE DO SUL**

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

Orientadores: Prof. Dr. Eduardo Guimarães Barboza
Prof^a. Dra. Maria Luiza Correa da Camara Rosa

Porto Alegre, 2016

CIP - Catalogação na Publicação

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 / Débora Sayuri Zanchi
Watanabe. -- 2016.
73 f.

Orientador: Eduardo Guimarães Barboza.
Coorientadora: Maria Luiza Correa da Camara Rosa.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Geociências, Curso de Geologia, Porto Alegre, BR-
RS, 2016.

1. barreira costeira. 2. Holoceno. 3. georadar.
I. Barboza, Eduardo Guimarães , orient. II. Rosa,
Maria Luiza Correa da Camara, coorient. III. Título.

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

A comissão Examinadora abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso “**CARACTERIZAÇÃO DO REGISTRO ESTRATIGRÁFICO TRANSICIONAL ENTRE AS PORÇÕES TRANSGRESSIVAS E REGRESSIVAS DA BARREIRA COSTEIRA HOLOCÉNICA, LITORAL NORTE DO RIO GRANDE DO SUL**”, elaborado por “**DÉBORA SAYURI ZANCHI WATANABE**”, como requisito parcial para obtenção do grau Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

MSc. Michel Doeppre Ivanoff

Prof. Dr. Sérgio Rebello Dillenburg

Prof. Dr. Ricardo Baitelli

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que me apoiaram das mais diversas formas na realização deste trabalho e no decorrer de todo o período de graduação.

Agradeço aos meus avós Holland e Vitorino (*in memorian*) por abrirem a porta de sua casa para que eu pudesse iniciar meus estudos em Porto alegre, por todas as histórias, risadas, chimarrão, “café novo”. Agradeço aos meus avós Kyoko (*in memorian*) e Mamoru (*in memorian*) por todos os ensinamentos diretos e indiretos e por serem exemplos de força para mim.

Agradeço aos meus pequenos-grandes irmãos Izabel, Fernanda e Eduardo, que de perto ou de longe me mostram, todos os dias, a doçura da vida. Iza, obrigada pela paciência comigo, pelas risadas, por ser tão parceira e por me ensinar tanto, mesmo sem saber.

Agradeço à minha mãe, Liliane, pelo apoio desmedido e incondicional. Pelos milhões de pequenos e enormes gestos de carinho que são o maior incentivo que eu poderia ter. Pelo esforço diário em fazer tudo que está ou não ao seu alcance. Agradeço pela amizade, pela paciência, pelo exemplo de força e de vida em cada passo e por todo amor. Mãe, se um dia eu crescer quero ser assim como tu é. Sem ti nada disso seria possível.

Agradeço ao meu pai, Rafael, por toda atenção e compreensão, especialmente no que se refere à distância (física). Agradeço por me achar uma pessoa de alguma forma especial, por acreditar em mim, por me estimular a ver a vida por diferentes ângulos, por todas as conversas “filosóficas”, pela amizade, pelo exemplo de bondade e por me ensinar que cada ser humano guarda um universo dentro de si. Pai, obrigada por ser meu pai-mãe-amigo.

Agradeço ao meu companheiro e melhor amigo Dudu pela cumplicidade, pela compreensão, pela paciência extrema com minhas manias e momentos de crise com o trabalho e tudo mais, pelo carinho e cuidados infinitos, pelas conversas, por dividir experiências, pelas milhões de vezes que construímos e desconstruímos conceitos e mundos, pelas músicas e pela musicalidade, por me incentivar mesmo nas ideias mais absurdas e me fazer entender um pouco mais de mim. Obrigada por fazer parte da minha vida de um jeito tão especial e essencial.

Agradeço aos meus tios e tias que foram, durante esse período, muitas vezes meus pais e mães, me cuidando de tantas formas. Especial agradecimento ao Tio Rei e à Tia Nega.

Agradeço aos meus colegas e amigos Marcelo, Débora, Rafaela, Juliana, Kalil, João, Hemeli, Larissa, Tael, Gaia, Danilo, Maurício pela parceria, pelas risadas e momentos infinitos, pelos campos, pelas conversas, por dividirem essa parte da vida comigo. Obrigada especialmente por serem tão vocês e me fazerem achar, nessa nossa convivência, tanta unidade em tanta diversidade. Agradeço aos meus colegas “da costa” Ana Rita, Samanta, Gabriela, Túlio e Limara. À minha também parceira de conclusão de curso, Marina Duarte, por dividir as dúvidas sobre GPR, o mar, o Holoceno, por me acalmar quando eu achava a interpretação das seções algo impossível e por me incentivar sempre de forma tão doce. Valeu, gente!

Agradeço aos meus professores e orientadores Eduardo Guimarães Barboza e Maria Luiza Correa da Camara Rosa por toda paciência no pré-campo, campo e pós-campo! Ao professor Eduardo, agradeço pela oportunidade da iniciação científica desde o segundo ano de curso, por me estimular a aprender mais, por, muitas vezes, responder minhas perguntas com outras perguntas e no fim construir uma grande resposta! Obrigada por tornar a PCRS ainda mais interessante. À Luiza meu enorme agradecimento por sempre me mostrar que as dificuldades podem se tornar desafios e que esses desafios podem ser superados, pelo exemplo de dedicação, por ser sempre tão atenciosa. Edu e Luiza, obrigada pela oportunidade, pelos grandes ensinamentos, pelas conversas geológicas e não geológicas, pelas risadas e pela amizade! Vocês ajudam a construir minha formação diariamente.

Agradeço à minha amiga eterna, Mi, por me mostrar uma união atemporal, por ser um exemplo, por renovar minhas energias com boas conversas e pensamentos desde que somos crianças e, agora, mesmo à distância.

Agradeço à Carol, uma amiga tão especial, por me mostrar que a vida sempre pode ser mais divertida, por sempre ver o lado bom das coisas, pela confiança, pelas conversas tão únicas regadas à chamas, por todo incentivo e por todo carinho.

Agradeço ao meu amigo e professor, Eduardo Marques Martins, pelos ensinamentos de vida entre uma lição e outra de geoprocessamento e geologia. Obrigada pela paciência infinita e por todas as conversas.

Agradeço ao querido Valtinho por nos guiar pelo campo de forma tão responsável e atenciosa.

Agradeço o Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica, o Laboratório de Sismoestratigrafia, o Instituto de Geoociências da UFRGS e o CNPq, pelos equipamentos, estrutura e bolsa de estudos proporcionada, tornando minha formação possível.

RESUMO

A Planície Costeira do Rio Grande do Sul apresenta em seu registro sedimentar dois processos sedimentares de natureza antagônica ocorrendo no mesmo intervalo de tempo. Uma porção da barreira holocênica possui caráter retrogradacional com linha de costa transgressiva, representada pela morfologia de projeção costeira localizada no extremo norte do Litoral Médio, e outra porção apresenta características progradacionais com linha de costa regressiva, representada pelo embaiamento do Litoral Norte. Os processos transgressivos e regressivos são identificáveis pela geomorfologia e pelo padrão de empilhamento do registro estratigráfico. O presente estudo buscou investigar o que ocorre no setor de transição entre duas regiões da barreira holocênica que possuem comportamento antagônico previamente definido, compreendendo o trecho entre Xangri-lá e Dunas Altas. Para tanto, os padrões estratigráficos foram caracterizados através da ferramenta geofísica do georradar (GPR- *Ground Penetrating Radar*), coletando-se seções bidimensionais perpendiculares à linha de costa, permitindo a visualização da geometria deposicional e estratigrafia desses depósitos. Foram utilizadas antenas de frequência central de 80 e 270 MHz, com a aquisição de dados em nove localidades distintas. O trecho estudado foi classificado permitindo definir três setores: entre Xangri-Lá e Santa Teresinha, no norte da área, a barreira é progradacional; no setor sul, entre as localidades de Imbé e Quintão, o comportamento é retrogradacional; e no extremo sul, na região do balneário de Dunas Altas foi identificado um comportamento progradacional. Além da definição do comportamento da linha de costa, a barreira foi caracterizada através da interpretação de dados em subsuperfície de paleofeições como *inlets/canais de ligação*, ativos durante o processo evolutivo da barreira holocênica, e superfícies delimitadoras de antigos corpos lagunares. Variações significativas no registro estratigráfico foram encontradas em Imbé e Tramandaí, posicionadas no extremo do setor com comportamento transgressivo/retrogradacional. A profundidade do sinal de GPR para essas duas localidades foram similares e menores do que as demais seções analisadas, com a ocorrência de feições indicativas de *inlets* que demonstraram uma grande dinamicidade, uma vez que se estendem por toda a extensão das seções. Esta configuração indica uma evolução diferenciada para este setor que, associada ao posicionamento com relação aos pacotes retrogradacionais, ao sul, e progradacionais, ao norte, permite estabelecer as características do setor de transição. Dessa forma, pode-se concluir que variações de comportamento de maior frequência estão presentes mesmo dentro de segmentos costeiros cuja morfologia indicaria um comportamento uniforme. A delimitação dos segmentos regressivo, transgressivo e transicional, presentes em um setor de transição, indica variações nos processos envolvidos local e regionalmente, compondo um comportamento de alternância dos registros como um fractal da costa como um todo.

Palavras-Chave: barreira costeira, Holoceno, georradar (GPR/ *Ground Penetrating Radar*).

ABSTRACT

The Coastal Plain of Rio Grande do Sul presents in its sedimentary record two sedimentary processes of an antagonistic nature occurring in the same time. A portion of the Holocene barrier has a retrogradational behavior with transgressive coastline, represented by the coastal projection morphology located at the northern end of the Middle Coast (Litoral Médio), and another portion presents progradational characteristics with a regressive coastline, represented by the North Coast embayment. Transgressive and regressive processes are identifiable by the geomorphology and stacking pattern of the stratigraphic record. The present study attempt to investigate what happens in the transition sector between two regions of the Holocene barrier that have antagonistic behavior previously defined, comprising the stretch between Xangri-Lá and Dunas Altas. In order to do so, the stratigraphic patterns were characterized by the GPR (Ground Penetrating Radar), collecting two-dimensional sections perpendicular to the coastline, allowing the visualization of the depositional geometry and stratigraphy of these deposits. Central frequency antennas of 80 and 270 MHz were used, with the data acquisition in nine different locations. The studied section was classified allowing to define three sectors: between Xangri-Lá and Santa Teresinha, in the north of the area, the barrier is progradational; In the southern sector, between the localities of Imbé and Quintão, the behavior is retrogradational; and in the extreme south, in the region of Dunas Altas a progradational behavior was identified. In addition to the definition of coastline behavior, the barrier was characterized by the interpretation of subsurface data of paleofeatures as inlets / channels of connection, active during the evolutionary process of the Holocene barrier, and delimiting surfaces of old lagoon bodies. Significant variations in the stratigraphic record were found at Imbé and Tramandaí, positioned at the extreme of the sector with transgressive / retrogradational behavior. The depth of the GPR signal for these two locations were similar and smaller than the other sections analyzed, with the occurrence of features that indicate inlets that demonstrated a great dynamicity, since they extend throughout the length of the sections. This configuration indicates a different evolution for this sector, which, in addition with the positioning in relation to the retrogradational record southward, and progradational packages in the north, allows to establish the characteristics of the transition sector. In this way, it can be concluded that higher frequency behavior variations are present even within coastal segments whose morphology would indicate an uniform behavior. The delimitation of the regressive, transgressive and transitional segments presented in a transitional sector indicates variations in the processes involved locally and regionally, composing a behavior of alternating registers as a fractal of the coast as a whole.

Key words: coastal barrier, Holocene, Ground Penetrating Radar (GPR).

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Planície Costeira do Rio Grande do Sul e localização da área de estudo, compreendida entre os balneários de Dunas Altas e Xangri-lá (em vermelho). Modificado de Tomazelli & Villwock (1996).....	14
Figura 2. Mapa simplificado (Tomazeli e Villwock, 2000 <i>apud</i> Rosa, 2012) contendo a distribuição espacial dos sistemas deposicionais da PCRS com idades absolutas estimadas. Observa-se uma tendência de queda na altitude para os sistemas mais jovens.....	17
Figura 3. Curva de variação do nível do mar. Em verde, a curva de Corrêa (1990), em preto e azul, as curvas para o Holoceno de Martin <i>et al.</i> (1979) e Angulo & Lessa (1997) que indicam uma queda do nível do mar a partir de aproximadamente 6 ka (extraído de Dillenburg <i>et al.</i> , 2009 e modificado por Rosa, 2012).....	19
Figura 4. Geotecnologias aplicadas na realização do trabalho: Sensoriamento Remoto, Sistema de Posicionamento, Geoprocessamento e Geofísica (modificado de Rosa, 2012).....	24
Figura 5. Elementos básicos para geração de produtos do sensoriamento remoto. Modificado de Rosa (2012).....	26
Figura 6. Espectro eletromagnético com as delimitações das faixas do espectro utilizadas por sensores ópticos, radar e georadar (Rosa, 2012)	26
Figura 7. Principais arranjos para a aquisição de dados de georadar: Transiluminação <i>Common Mid Point</i> e <i>Common Offset</i> . No arranjo <i>Common Offset</i> as antenas (T- transmissora e R- receptora) se deslocam no mesmo sentido, permanecendo a uma distância constante (modificado de Neal, 2004 <i>apud</i> Rosa, 2012).....	32
Figura 8. A) Superfícies de radar e terminações de refletores; B) Unidades de radar e geometria externa; C) Radarfácies: configuração interna dos refletores (Neal, 2004).....	34
Figura 9. Antenas de 270 MHz (contato) e 80 MHz (área).....	36
Figura 10. Localização das seções de GPR. Em vermelho, o posicionamento das seções adquiridas com antena de 270 MHz, em azul aquelas adquiridas com antena de 80 MHz. A numeração (1-9) refere-se ao posicionamento geográfico das seções e estão presentes na coluna de localização (Tabela 1). Na região central não foram coletados dados devido às seções pré-existentes na tese de Rosa (2012).....	37
Figura 11. Seção de GPR sem processamento (A) com seu respectivo espectro de frequência (A- inferior). Observar pico anômalo à curva em vermelho, referente aos ruídos de mesma frequência captados durante aquisição da seção. Abaixo, seção pós-processamento (B), onde já é possível enxergar feições de subsuperfície com mais facilidade, e seu respectivo espectro onde o ruído já foi eliminado (B-inferior), resultando em uma curva mais harmônica.....	38
Figura 12. GNSS geodésico TRIMBLE® Pro-XRT (Perfis 10 e 11 com antena de 270 MHz – Imara).....	41
Figura 13. Seções de GPR da porção norte da área de estudo. Observa-se o comportamento progradacional na totalidade desse setor (linhas verdes), bem como atenuações (amarelo) e feições de canais/ <i>inlets</i> (preto).....	48
Figura 14. Seção D001 (Xangri-lá) após processamento, sem interpretações.	49
Figura 15. Seção D001 (Xangri-lá) com interpretações. A Rf1 corresponde à progradação da barreira.....	49

Figura 16. Seção D010 (Imara) após processamento. A seção D010 representa a porção mais próxima ao mar da totalidade percorrida nessa localidade, sendo o dado adquirido de SE para NW. A porção mais continental, seção D011, é representada por progradações (Rf 1).	50
Figura 17. Seção D010 (Imara) com classificações das radarfácies, sendo as encontradas nessa região correspondentes a Rf 1, 2a, 2b e 2c, relativas à progradação e feições de <i>inlets</i>	50
Figura 18. Mapa da região de Imbé e Tramandaí. Observa-se o caráter retrogradacional de ambas localidades, bem como a predominância de <i>inlets</i>	52
Figura 19. Seção D008 (Imbé) sem classificação.	53
Figura 20. Seção D008 (Imbé) com presença da Rf 3, indicando um processo de retrogradação e Rf 2a.	53
Figura 21. Seção D014 (Tramandaí) após processamento, sem classificação.	54
Figura 22. Seção D014 (Tramandaí) após processamento, classificada. Nota-se uma profundidade muito baixa do sinal e a alternância de radarfácies relacionadas aos <i>inlets</i> (2a e 2c), bem como radarfácies relativas à retrogradação (3a e 3b).	54
Figura 23. A) Seção D003/Cidreira. Em azul, superfície oblíqua contínua mergulhando para NW, representando um fundo lagunar. B) Seção D004/Pinhal. As superfícies são indicativas das fases de retrogradação da margem lagunar e colmatação do corpo lagunar. Da mesma forma que Cidreira (A), a seção apresenta uma superfície oblíqua em maiores profundidades, porém mergulhando para SE. C) Seção D006/Quintão. Essa seção possui características em subsuperfície muito similares à Pinhal, porém com uma quantidade maior de atenuação. A superfície demarcada também é referente ao fundo do corpo lagunar.	56
Figura 24. Mapa da porção sul da área de estudo. Neste setor ocorre a presença de grandes superfícies relativas a fundo lagunares em Cidreira (D003), Pinhal (D004 e D005) e Quintão (D006 e D007). Dunas Altas (S0011, S0012 e S0013) possui sua porção mais externa marcada por um processo de progradação.	57
Figura 25. Seção em Dunas Altas (S0010, S0011 e S0012) sem classificações.	59
Figura 26. Seção em Dunas altas com classificação das radarfácies. As linhas são referentes à separação das radarfácies. Nesta seção é possível observar a região com perda de sinal (Rf 5) com porção superior marcada pela presença da Rf 4 indicativa de progradação, sendo esta porção interpretada como uma progradação do Pleistoceno. A retrogradação é marcada pelas Rf 6a e 6b e a progradação pela Rf 4, sendo possível observar o momento da inversão entre esses dois processos.	59
Figura 27. Mapa de integração dos dados com a distribuição das principais feições identificadas.	61
Figura 28. Comparação entre a linha de costa atual e em 5,1 ka A.P. (modificada de Travessas <i>et al.</i> , 2005).	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Especificações do método de Sensoriamento Remoto.	29
Quadro 2. Resolução das imagens de Sensoriamento Remoto utilizadas.	30
Quadro 3. Especificações do método de Georadar.	39
Quadro 4. Especificações do método de posicionamento.	41
Quadro 5. Métodos utilizados e resultados obtidos.	42
Quadro 6. Radarfácies (Rf) classificadas para as seções adquiridas com antena de frequência central de 270 MHz.....	46
Quadro 7. Radarfácies (Rf) classificadas para as seções adquiridas com antena de frequência central de 80 MHz.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Localização e orientação das seções de GPR	35
Tabela 2. Localidades de aquisição de dados de GPR e especificações de cada seção.....	45

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	13
1.2 OBJETIVOS	15
1.4 CONTEXTO GEOLÓGICO	16
2 ESTADO DA ARTE	19
3 MATERIAIS E MÉTODOS	23
3.1 SENSORIAMENTO REMOTO (SR) E GEOPROCESSAMENTO.....	24
3.1.1 Aplicação.....	28
3.2 GEORRADAR (GPR- <i>Ground Penetratig Radar</i>)	30
3.2.1 Aplicação.....	34
3.3 SISTEMA DE POSICIONAMENTO.....	39
3.3.1 Aplicação.....	40
4 RESULTADOS	42
4.1 SUPERFÍCIE.....	42
4.2 SUBSUPERFÍCIE	43
4.3 INTEGRAÇÃO DOS DADOS.....	60
5 DISCUSSÕES.....	62
5.1 CARACTERIZAÇÃO DO SETOR TRANSICIONAL.....	66
6 CONCLUSÕES.....	68
REFERÊNCIAS.....	70

1 INTRODUÇÃO

1.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

A Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS) possui uma linha de costa que se estende por aproximadamente 620 km e seu registro sedimentar é formado por depósitos sedimentares de um sistema de leques aluviais e quatro sistemas laguna-barreira de idades pleistocênicas (Barreira I a III) e holocênica (Barreira IV). A idade relativa desses quatro depósitos é concordante com a disposição espacial, sendo a mais antiga, mais interiorizada e a mais nova, a mais externa (Figura 1). A sua formação foi principalmente controlada pelos ciclos glácioeustáticos nos últimos 400 ka, que culminaram em eventos transgressivos-regressivos registrados por cada sistema laguna-barreira (Villwock & Tomazelli, 1995).

Embora o nível do mar seja um fator fundamental na evolução desses sistemas, para o Sistema IV o balanço positivo e negativo de sedimentos controla o processo de formação de embaiamentos (linha de costa regressiva) e projeções costeiras (linha de costa transgressiva). Assim, ao longo da costa existem setores onde, de forma alternada, o registro sedimentar encontra-se em regime de retrogradação (transgressão) e setores onde o processo de progradação (regressão) também é evidenciado (Dillenburg *et al.*, 2005). Um exemplo dessa variação de comportamento ocorre na porção norte do litoral. O setor ao norte da cidade de Tramandaí, que se estende até o município de Torres, possui comportamento regressivo. Já a porção ao sul da mesma cidade é transgressiva até o município de Dunas Altas, onde novamente ocorre uma alternância de setores com estes comportamentos.

Partindo desse cenário, a questão levantada é: se existem porções e pontos na PCRS onde os padrões de empilhamento são ora retrogradantes, ora progradantes, como se apresentam as porções de transição entre esses dois processos antagônicos e de que forma os pacotes sedimentares registram essa transição?

A hipótese levantada é de que no setor transicional ocorra uma alternância nos padrões de empilhamento, correspondendo a um fractal da costa. Dessa forma,

essas porções marcariam setores não somente localizados lateralmente entre os pacotes transgressivos e regressivos, mas o registro deposicional refletiria um regime misto.

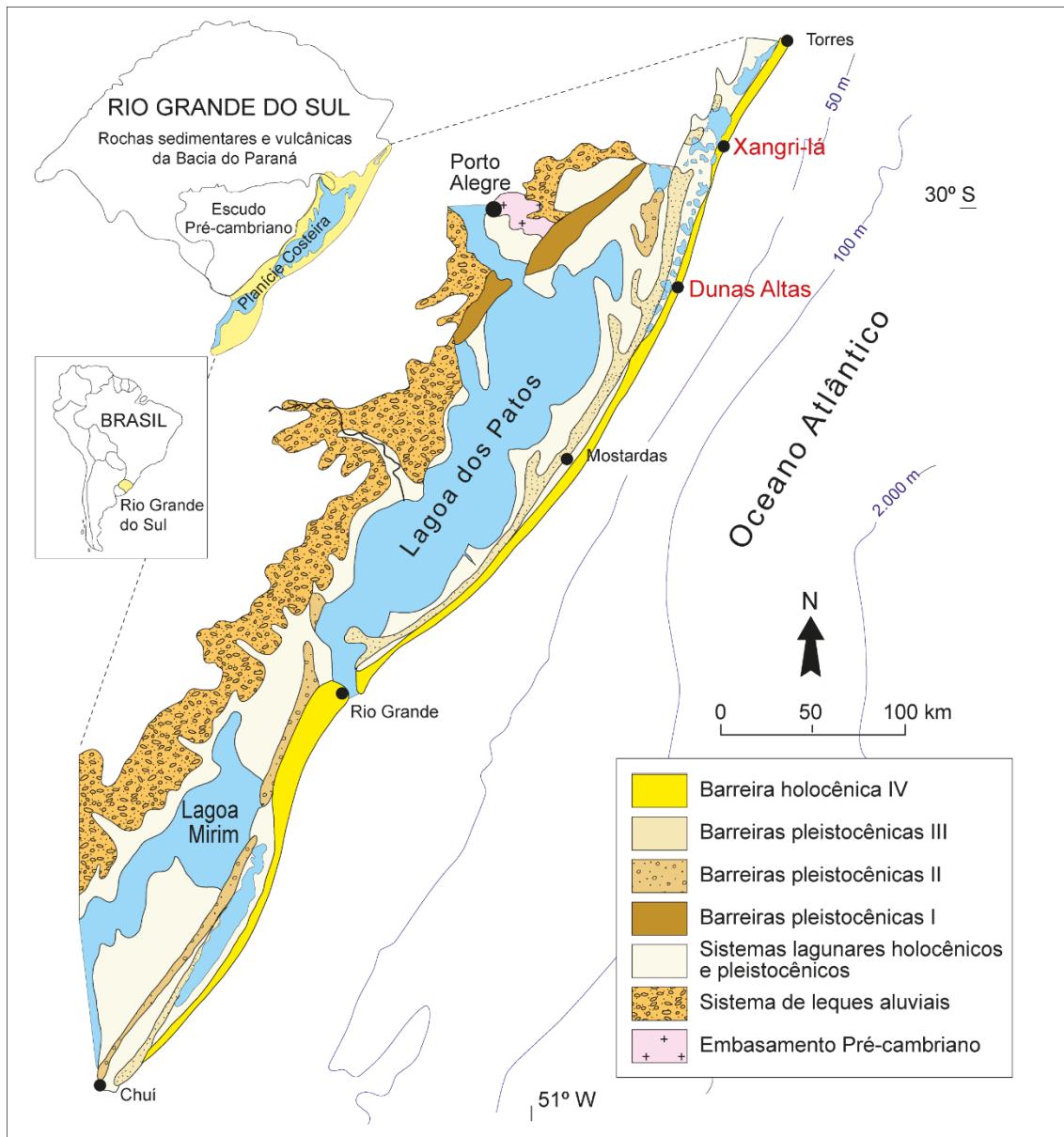


Figura 1. Planície Costeira do Rio Grande do Sul e localização da área de estudo, compreendida entre os balneários de Dunas Altas e Xangri-lá (em vermelho). Modificado de Tomazelli & Villwock (1996).

1.2 OBJETIVOS

O objetivo do presente estudo é compreender o comportamento estratigráfico em uma região de transição da barreira holocênica, localizada no norte da PCRS, entre os balneários de Dunas Altas e Xangri-lá (Figura 1). Neste setor, se buscou entender o funcionamento da dinâmica da linha de costa no que diz respeito à coexistência temporal de dois processos sedimentares que levam ao registro de padrões de empilhamento antagônicos.

Para isso, primeiramente foram definidos os padrões de empilhamento de áreas selecionadas como alvo. Posteriormente, os padrões observados foram correlacionados lateralmente e, finalmente, esses dados foram analisados de forma integrada às características morfológicas dos registros atuais para interpretar a estratigrafia e os processos que controlam a evolução da área estudada.

1.3 JUSTIFICATIVA

Os resultados obtidos com este trabalho contribuirão para a melhor compreensão evolutiva da Planície Costeira do Rio Grande do Sul através do conhecimento e entendimento do comportamento da linha de costa, da estratigrafia local e dos processos existentes nos sistemas deposicionais do tipo laguna-barreira. Portanto, o trabalho desenvolvido fornece dados que contribuem para o meio acadêmico e que também tem valor socioeconômico. As informações de caráter qualitativo e quantitativo podem ser utilizadas para a formulação de modelos análogos e colaborar para a gestão do uso e ocupação, uma vez que alguns resultados do projeto podem ser utilizados como indicadores de áreas de potencial risco devido à erosão costeira.

1.4 CONTEXTO GEOLÓGICO

A Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS) constitui-se na mais ampla planície costeira do Brasil (Tomazelli & Villwock, 2000) com aproximadamente 620 km de extensão, formando uma linha de costa levemente ondulada de direção NE-SW desde Torres, ao norte, até a desembocadura do Arroio Chuí, ao sul). Ela representa a porção superior emersa da Bacia de Pelotas, localizada no extremo sul da Margem Continental Brasileira, tendo como limitante norte a Bacia de Santos através do Alto de Florianópolis e como limitante sul o Alto do Cabo Polônio na Bacia de Punta Del Leste no Uruguai (Urien & Martins, 1978 *apud* Rosa, 2012).

A morfologia de praias arenosas de baixa altitude, característica da Barreira IV, só possui modificações em Torres, no extremo norte, onde afloram arenitos da Formação Botucatu e rochas vulcânicas da Formação Serra Geral (Mesozóico da Bacia do Paraná), além das interrupções ocasionadas pelas desembocaduras da Laguna de Tramandaí e da Lagoa dos Patos (Barboza *et al.*, 2009).

Esta planície evoluiu através do desenvolvimento de um Sistema de Leques Aluviais de idade Terciária a oeste e do acréscimo de quatro sistemas deposicionais do tipo Laguna-Barreira a leste, sendo os sistemas I-III de idade pleistocênica e o mais recente e também mais externo, denominado sistema Laguna-Barreira IV, de idade holocênica (Villwock & Tomazelli, 1995). Cada um desses sistemas registra o pico de uma transgressão (máximos transgressivos) alcançado durante os últimos ciclos glácioeustáticos do Quaternário, e foram preservadas pela subsequente queda glácioeustática (Barboza *et al.*, 2009).

O sistema deposicional do tipo laguna-barreira implica na existência interligada de três subsistemas: o subsistema lagunar, o subsistema barreira e o subsistema de canal de ligação (*inlet*). O subsistema lagunar se localiza no espaço de retrobarreira, topograficamente mais baixo, e engloba um complexo de ambientes deposicionais além das lagunas, como lagos costeiros, pântanos, canais interlagunares e deltas. Já o sistema barreira compreende as praias arenosas e o campo de dunas eólicas adjacentes. O subsistema canal de ligação (*inlet*) envolve a unidade geomorfologia que possibilita o contato entre a laguna e o mar aberto. Uma vez que a PCRS se encontra sob um regime de micromarés, não são encontradas

evidências de deltas de maré nas extremidades desses canais, porém verifica-se a influência de ondas associada à alta taxa de migração lateral dos canais de ligação, que acompanham a deriva litorânea de sedimentos (Villwock & Tomazelli, 1995).

A idade relativa desses sistemas laguna-barreira pode ser estimada através das curvas isotópicas de oxigênio desenvolvidas para o Pleistoceno (Shackleton e Opdyke, 1973; Imbrie *et al.*, 1984, *apud* Villwock & Tomazelli, 1995) sendo geneticamente relacionadas com os ciclos glacioeustáticos de 100 ka, que possuem oscilações de grande amplitude no final do Quaternário (Gibbard & Cohen, 2009 *apud* Rosa, 2012) e que apresentam tendência de queda a partir de 400 ka (Figura 2).

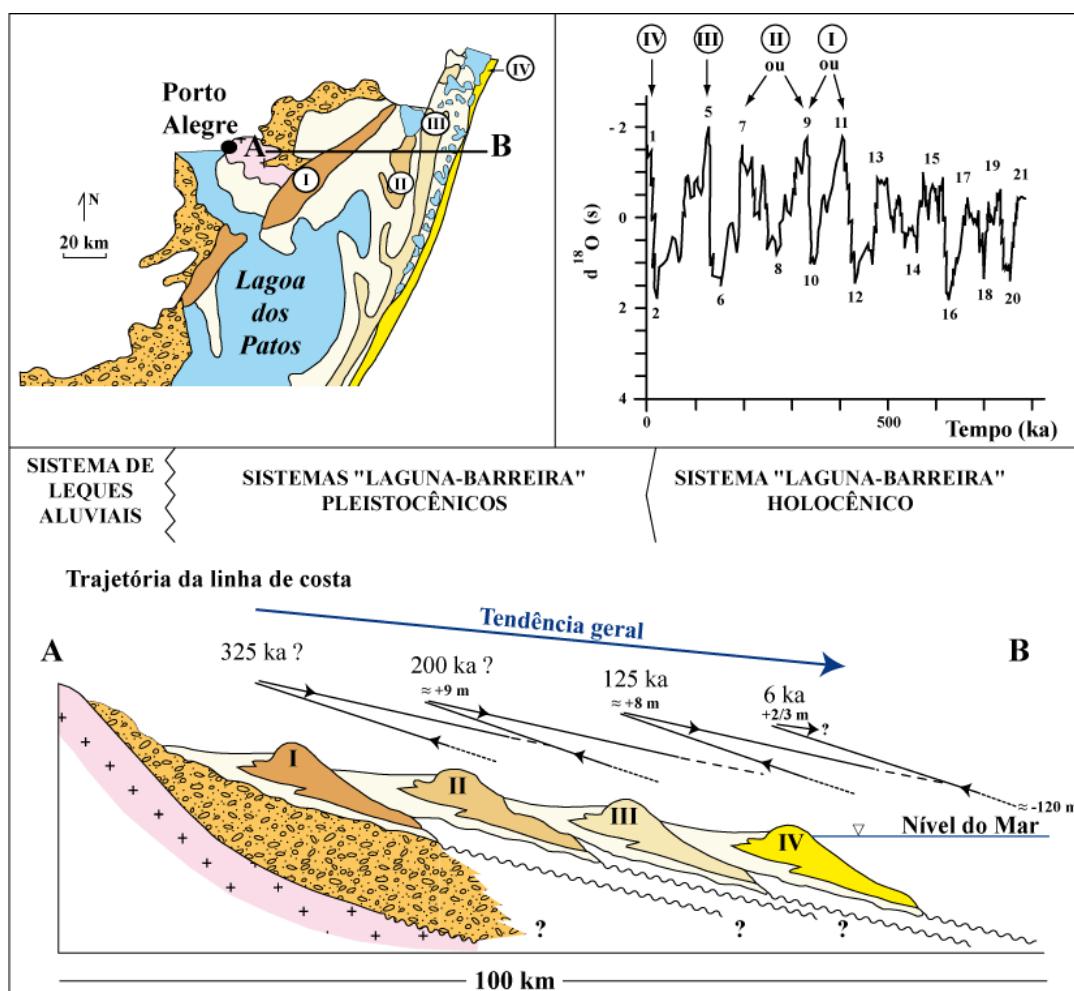


Figura 2. Mapa simplificado (Tomazelli e Villwock, 2000 *apud* Rosa, 2012) contendo a distribuição espacial dos sistemas deposicionais da PCRS com idades absolutas estimadas. Observa-se uma tendência de queda na altitude para os sistemas mais jovens.

As feições geológicas e geomorfológicas mais recentes, referentes à Barreira IV, são resultado da atuação de diversos processos construtivos (depositionais) e destrutivos (erosivos) que moldaram a barreira e que estão diretamente relacionados à dinâmica costeira com influência no balanço de sedimentos e variações do nível do mar a partir da última grande transgressão pós-glacial ou estágio isotópico de oxigênio 1, último ciclo da curva (Villwock & Tomazelli, 1995). Porém, há aproximadamente 125 ka o nível do mar estaria 7 metros acima do atual, quando começou a rebaixar gerando uma discordância que ocorre na base do Sistema IV (Rosa, 2012). O rebaixamento máximo ocorreu no contexto do último máximo glacial (LGM), atingindo as proximidades da quebra da plataforma, entre 120 e 130 m abaixo do atual (Corrêa, 1990). Ocorreu, então, uma retrogradação em um contexto de trato de sistema transgressivo com o nível do mar ultrapassando o atual entre 7,7 e 6,9 ka em um contexto de trato de sistema de nível alto, com máximo atingido há aproximadamente 6 ka, onde o nível para o Rio Grande do Sul estaria entre 2 e 4 m acima do atual (Dillenburg *et al.* 2000).

A partir desse estágio, o nível do mar estaria em queda esperando-se uma regressão forçada da linha de costa (trato de sistema de regressão forçada ou de nível em queda), porém, mesmo após o ápice de elevação em 6 ka, a barreira costeira holocênica da PCRS possui segmentos com comportamentos distintos, com setores que se encontram em processos de retrogradação, progradação ou mesmo estáveis ou agradacionais (Dillenburg *et al.*, 2000, 2005).

A PCRS apresenta um clima mesotérmico brando, superúmido sem estação seca. A temperatura média anual oscila entre 16 e 20 °C e o número de geadas por ano varia desde um, em Torres, até mais de quinze em Santa Vitória do Palmar (Villwock & Tomazelli, 1995). Os ventos mais frequentes provêm de NE e possuem velocidade média anual de 6,0 m/s. O clima no Litoral Norte do Rio Grande do Sul é caracterizado por uma temperatura média anual de 20°C, taxa de precipitação anual de 1322,9mm, taxa de evaporação anual de 1134,5mm e média de umidade de 83% (Travessas *et al.*, 2005).

A costa do Rio Grande do Sul pode ser classificada como uma costa francamente dominada pela ação de ondas e de caráter aberto. A ondulação dominante provém do quadrante SE, caráter que, associado à configuração da linha

de costa praticamente retilínea e com orientação SW-NE, faz com que a deriva litorânea de sedimentos se dê na direção NE e o regime de marés é do tipo micromaré por apresentar amplitude de maré inferior a 2m (Villwock & Tomazelli, 1995).

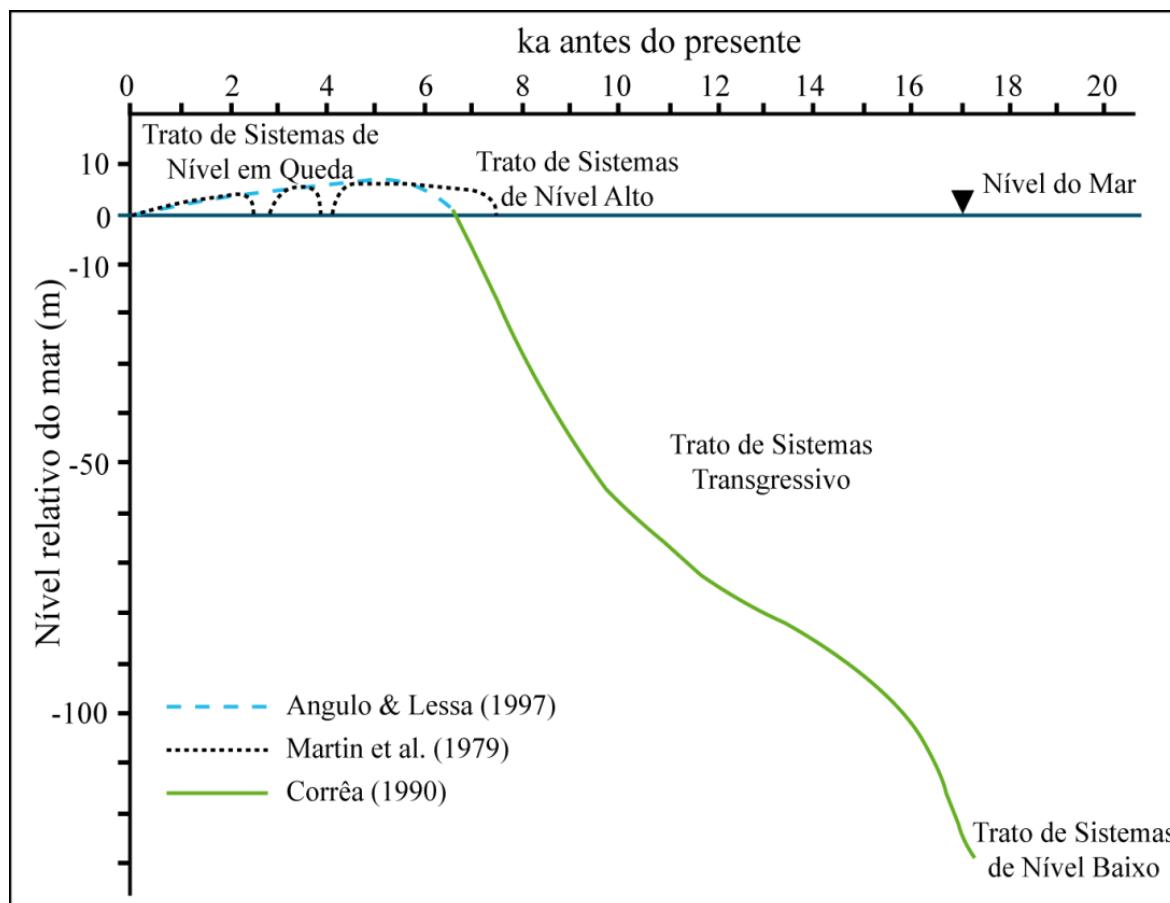


Figura 3. Curva de variação do nível do mar. Em verde, a curva de Corrêa (1990), em preto e azul, as curvas para o Holoceno de Martin *et al.* (1979) e Angulo & Lessa (1997) que indicam uma queda do nível do mar a partir de aproximadamente 6 ka (extraído de Dillenburg *et al.*, 2009 e modificado por Rosa, 2012).

2 ESTADO DA ARTE

A Planície Costeira do Rio Grande do Sul (Figura 1) e seus processos sedimentares vêm sendo estudados desde o século XIX por naturalistas, historiadores, geógrafos e filósofos e, posteriormente, através de pesquisas desenvolvidas por universidades com destaque ao Instituto de Geociências (IGEO) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Rosa, 2012).

Uma nova ênfase metodológica para o reconhecimento da costa do Rio Grande do Sul e seus depósitos quaternários foi elaborada por Villwock & Tomazelli em 1995, uma vez que aplicava conceitos de cronoestratigrafia para o mapeamento e agrupamento de fácies sedimentares em suas associações. Desta maneira, não foram utilizadas as descrições litoestratigráficas, que priorizam os detalhes litológicos com uso de métodos tradicionais de estratigrafia, e sim o uso de uma fundamentação geológica baseada em sistemas deposicionais e suas fácies, dessa forma buscando reconstituir a história de deposição e evolução da região (Tomazelli & Villwock, 2005). O trabalho mostrou que os depósitos aflorantes da PCRS acumularam-se em sistemas deposicionais distintos, de idades terciária e principalmente quaternária. Os trabalhos desenvolvidos a partir de então caracterizaram os sistemas deposicionais da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, categorizando-os em um sistema de leques aluviais (terciário) e quatro sistemas laguna-barreira (I-IV) desenvolvidos a partir de ciclos glácioeustáticos e consequentes transgressões e regressões.

Diversos processos de origem natural relacionados à dinâmica costeira como o balanço de sedimentos, variações do nível relativo do mar, dispersão de sedimentos, morfologia antecedente da linha de costa entre outros, bem como fatores antrópicos direta ou indiretamente relacionados às zonas costeiras, podem representar diferentes influências e consequentemente, diferentes processos evolutivos em variadas escalas temporais, sendo este raciocínio também aplicado à PCRS (Barboza *et al.*, 2009). Dessa forma, diferentes abordagens para o estudo da evolução dos sistemas deposicionais costeiros no Rio Grande do Sul são empregadas com variados enfoques em diferentes setores, muitos no Sistema IV, buscando o entendimento e detalhamento do mesmo com o emprego de diversas técnicas e métodos.

Dillenburg *et al.* (2000, 2005) discute a coexistência temporal de barreiras de natureza antagônica. Dessa forma, apesar de uma relativa homogeneidade nos depósitos costeiros, coexistem atualmente na costa do Rio Grande do Sul barreiras de natureza antagônica, transgressivas e regressivas. Dillenburg *et al.* (2005) discutem as variações e modificações na linha de costa com ênfase nas barreiras costeiras e em seus setores em transgressão e regressão. A natureza oposta

desses processos é evidenciada pela geomorfologia de embaiamentos costeiros (barreiras regressivas) e projeções costeiras (barreiras transgressivas). Essa diferenciação ocorre devido ao balanço de sedimentos que, quando negativo, ocasiona processos de erosão costeira, causando deslocamento da barreira no sentido do continente. Esse estudo tem como base o mapeamento geológico e geomorfológico da PCRS e dados provenientes de testemunhos de sondagens rasas com 5 m e furos mais profundos de até 25 m, bem como a análise de fácies e datações por Carbono-14, técnicas amplamente utilizadas para estudo das barreiras costeiras.

Travessas *et al.* (2005) também analisa a evolução desuniforme da barreira holocênica no trecho Tramandaí-Cidreira e estabelece comportamentos distintos para porção ao norte e ao sul de Tramandaí, sendo a primeira regressiva e a segunda transgressiva. Com base em dados morfológicos, litológicos de subsuperfície obtidos por sondagem à percussão SPT (*Standard Penetration Test*), datações por Carbono-14 e simulações de evolução costeira com o programa aplicativo STM (*Shoreface Translation-Barrier Model*), simulando a translação horizontal e vertical da Barreira IV, foram explicitados detalhes de evolução durante os últimos 5,1 ka para o sistema holocênico na PCRS, atribuindo o comportamento desuniforme e a evolução diferenciada ao longo do setor estudado principalmente à diferença de declividade do substrato: 0,062° em Tramandaí, 0,067° em Jardim do Éden e 0,069° em Cidreira. Estas diferenças sensíveis determinam a existência de gradientes de energia de ondas distintos ao longo da costa, que consequentemente propiciam balanços sedimentares e histórias evolutivas diferenciadas.

Outro exemplo de estudo desenvolvido com base em uma análise na morfologia da barreira obtida com furos de sondagem SPT e datações é o trabalho desenvolvido por Dillenburg *et al.* (2007) para a barreira costeira holocênica em Dunas Altas. Neste trabalho, a média das idades obtidas e a distância entre os furos perpendiculares à linha de costa permitiram calcular uma taxa de 55 mm/ano de progradação da barreira, porém, no intervalo de tempo analisado de 5.075 ka, esse comportamento pode ter alternado comportamentos progradantes e retrogradantes com uma pequena resultante de progradação, tratando-se de um comportamento típico de barreiras estacionárias ou agradacionais. Barreiras tipicamente

progradantes/regressivas na costa do RS mostram taxas maiores se comparadas à Dunas Altas para os últimos 6-7 ka, chegando a 0,7 m/ano em Curumim, Litoral Norte, e 2,0 m/ano em Rio Grande, Litoral Sul. Dunas Altas também não possui características de barreiras retrogradantes/regressivas com presença de cordões litorâneos. Desta forma, destaca-se novamente o papel do gradiente de ondas como um fator atual decisivo na formação de diferentes comportamentos para as barreiras costeiras no RS.

A análise do comportamento evolutivo em Dunas Altas também foi realizada por Toldo Jr. *et al.* (2006), dando enfoque ao comportamento particular dessa região, levemente progradante, com base na deriva litorânea de sedimentos. Neste estudo, a mudança da orientação da linha de costa nesse setor gera um “ancoramento” de sedimentos provenientes da deriva, resultando em um balanço positivo de sedimentos ou uma retenção de areia nesse setor.

Outra ferramenta amplamente utilizada nos estudos costeiros é o radar de penetração no solo (*Ground Penetrating Radar – GPR*). Mundialmente essa ferramenta tem sido utilizada para o estudo de sistemas deposicionais costeiros, permitindo a visualização da geometria deposicional e estratigrafia desses depósitos (Barboza *et al.*, 2011). Essa técnica geofísica propicia a visualização dos depósitos em subsuperfície, permitindo a análise de seções do registro sedimentar em duas e três dimensões e de forma contínua (Rosa, 2012). A grande utilização do GPR para estudos costeiros posiciona a Geofísica como uma ferramenta extremamente importante para realizações de pesquisas na área da estratigrafia na PCRS, sua evolução e os processos atuais que modificam a linha de costa.

Um exemplo de estudo desenvolvido com a utilização de GPR foi feito por Barboza *et al.* (2009), onde os autores interpretam dados de GPR com base nas terminações de refletores, padrão e geometria, comparando seções em Curumim e Pinheira/SC, com o objetivo de comparar barreiras regressivas que apresentam coberturas sedimentares distintas definidas por processos formadores holocênicos. Na região de Curumim observa-se uma progradação de cordões litorâneos com uma cobertura composta por campos de dunas transgressivos, enquanto na Pinheira o registro da progradação apresenta-se na forma de cordões de dunas frontais. Barboza *et al.* (2011) também utilizaram os dados de GPR para evidenciar

comportamentos distintos ao longo da barreira holocênica, demonstrando novamente, por meio de seções bidimensionais, a relação entre projeções costeiras e barreiras transgressivas e os embaiamentos com barreiras regressivas.

Rosa (2012) descreve a variabilidade comportamental na PCRS. Neste trabalho são comparados processos das antigas linhas de costa e da linha de costa atual em termos geomorfológicos e estratigráficos com relação às suas características em superfície e subsuperfície como uma forma de analogia aos sistemas antigos (II e III), comparação e entendimento da história evolutiva da PCRS, aplicando o uso de GPR.

Outros estudos também discutem barreiras costeiras e sua estratigrafia. Fracalossi *et al.* (2010) analisa dados de subsuperfície na porção do litoral norte entre os municípios de Osório e Tramandaí na Barreira III, pleistocênica. Silva (2011) discute a estratigrafia da barreira transgressiva holocênica na Lagoa do Sombrio em Santa Catarina. Caron *et al.* (2011) e Caron (2014) estudaram características da barreira holocênica na porção sul do litoral. No primeiro apresenta correlações entre dados de GPR e sondagem SPT para caracterizar a barreira regressiva holocênica na praia dos Concheiros e, no segundo, em sua tese de doutorado, discute características evolutivas e estratigráficas na região de Santa Vitória do Palmar.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para testar a hipótese levantada, buscando entender o funcionamento da dinâmica da linha de costa no que diz respeito à coexistência temporal de dois processos sedimentares antagônicos, faz-se necessário a aplicação de metodologias específicas nas etapas que precedem o trabalho de campo, durante o mesmo e naquelas que compõe o período pós-campo.

As metodologias analíticas aplicadas na realização do projeto estão inseridas dentro das Geotecnologias, sendo aplicadas na área de estudo tanto na análise da superfície quanto da subsuperfície (Figura 4). Para o primeiro caso, o uso do sensoriamento remoto, geoprocessamento e de um sistema de posicionamento.

Para a análise de subsuperfície, o uso da Geofísica através do método do Georadar (GPR – *Ground Penetrating Radar*).

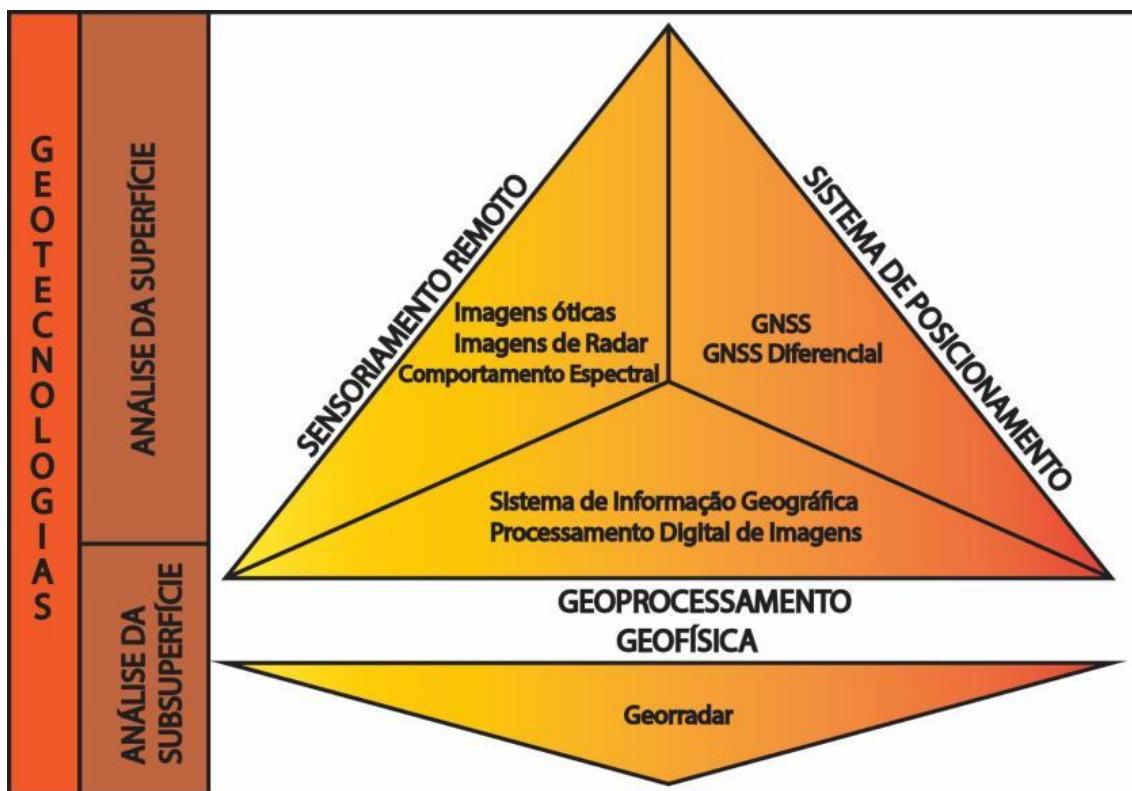


Figura 4. Geotecnologias aplicadas na realização do trabalho: Sensoriamento Remoto, Sistema de Posicionamento, Geoprocessamento e Geofísica (modificado de Rosa, 2012)

3.1 SENSORIAMENTO REMOTO (SR) E GEOPROCESSAMENTO

O sensoriamento remoto e seu uso como método analítico está relacionado com o desenvolvimento dos primeiros processos fotográficos na primeira metade do século XIX, por Joseph Nicéphore Niépce e Louis Jacques Mandé Daguerre (Rosa, 2012). Com o desenvolvimento da tecnologia surgiram as fotografias aéreas muito utilizadas durante os períodos da Primeira e Segunda Guerra Mundial, já sendo aplicadas como uma forma de reconhecimento do solo terrestre. Com o fim da Segunda Guerra Mundial, toda tecnologia de métodos de vigilância remota ficou disponível para uso civil, dando um grande impulso para o uso de fotografias no levantamento de recursos naturais. Apenas na década de 1960 o uso de radares como sistemas de sensoriamento remoto se tornou viável, aparecendo o termo pela primeira vez na literatura científica na mesma época (Novo, 2010).

Desde então, o termo tem abrigado tecnologias complexas derivadas de diferentes campos, fornecendo, atualmente, dados da superfície da Terra para diversas aplicações: urbanas, agrícolas, ecológicas, florestais, militares, cartográficas, geológicas e oceanográficas.

Sensores de ondas acústicas e sísmicas também permitem a aquisição de informações sobre objetos e fenômenos, porém o termo ficou mais restrito ao uso da radiação eletromagnética (REM), pois a mesma não necessita de um meio de propagação como os demais campos. Isso possibilitou que sensores fossem colocados acoplados em objetos cada vez mais distantes (remotos) dos alvos a serem medidos, como ocorre nos satélites (Novo, 2010).

Sensoriamento remoto é o conjunto de técnicas utilizadas para a obtenção de informações sobre um alvo de estudo sem que haja contato direto com o mesmo, ou seja, de forma remota (Rosa, 2012). Ainda pode ser definido como a aquisição de informações sobre objetos a partir da detecção e mensuração de mudanças que estes impõem ao campo eletromagnético (Novo, 2010). Nesse contexto, a radiação eletromagnética proveniente do Sol, ao entrar em contato com o objeto alvo de estudo pode interagir com o objeto de formas diferentes: ser absorvida, transmitida ou refletida. A porção da REM que é refletida pode então ser captada e registrada pelos sensores acoplados em satélites, que por sua vez irão transformar esse registro em produtos passíveis de análises para a obtenção de informações de interesse. Esses produtos são as fotografias aéreas, imagens orbitais e as curvas de reflectância (Figura 5).

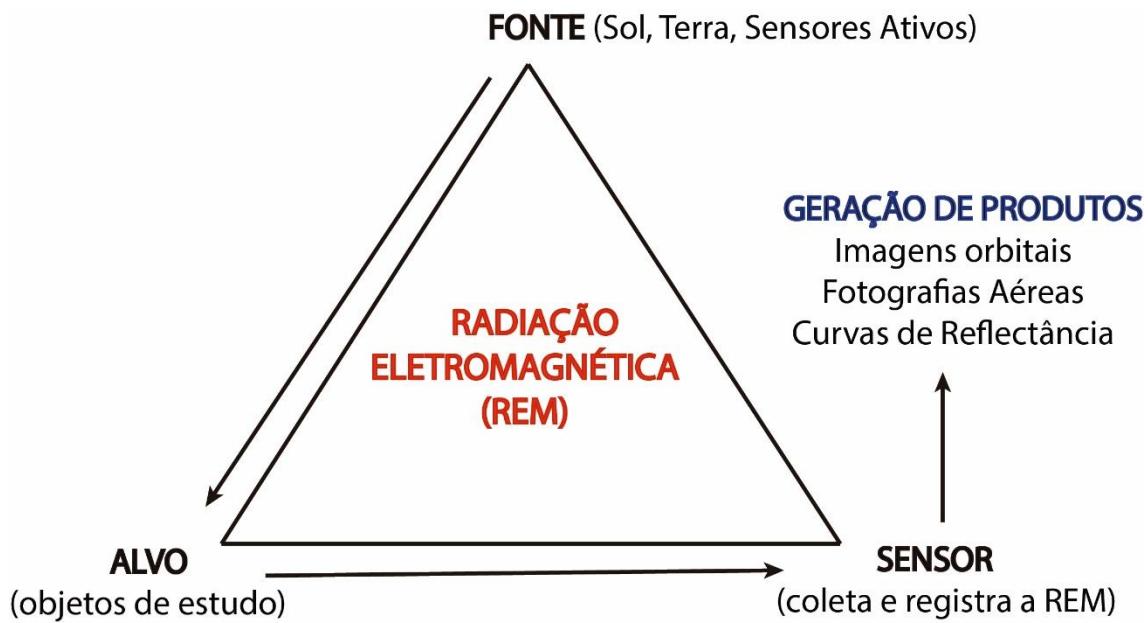


Figura 5. Elementos básicos para geração de produtos do sensoriamento remoto. Modificado de Rosa (2012).

As ondas de REM podem ser ordenadas de acordo com a sua frequência ou comprimento de onda. Esse ordenamento é chamado espectro eletromagnético e pode ser classificado em faixas de acordo com as características da onda eletromagnética. As características das diferentes faixas do espectro definem a sua aplicação no sensoriamento remoto ou em outras áreas. Conhecendo o comportamento espectral dos alvos, é possível obter uma série de informações acerca dos objetos de estudo (Figura 6).

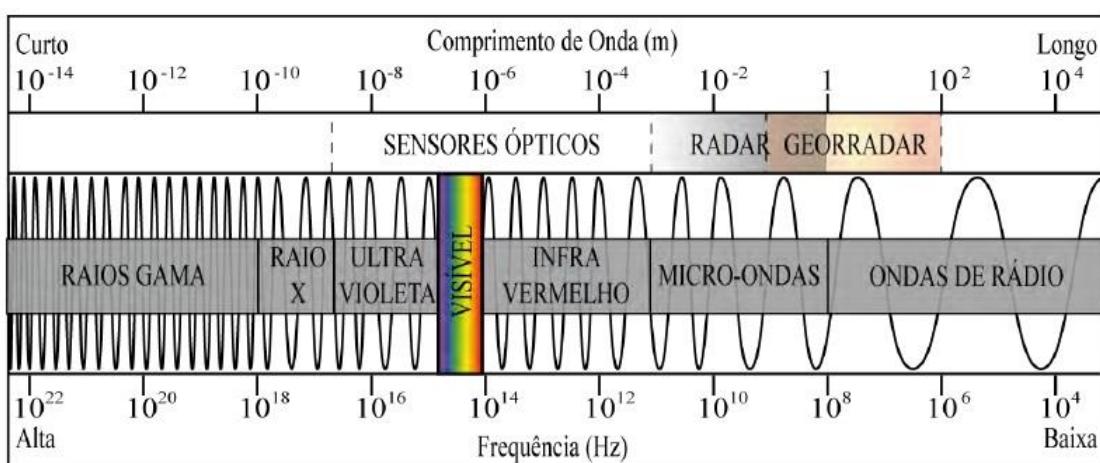


Figura 6. Espectro eletromagnético com as delimitações das faixas do espectro utilizadas por sensores ópticos, radar e georadar (Rosa, 2012)

As características (resoluções) das imagens orbitais vão definir sua qualificação e suas diferentes aplicações. São elas a resolução espectral, espacial, temporal e radiométrica. A resolução espectral diz respeito aos diferentes comprimentos de onda da REM provenientes da superfície e captados pelos sensores. Quanto mais estreita a faixa de detecção integrada para gerar cada imagem e quanto mais faixas o sensor puder captar, melhor a resolução espectral.

Já a resolução espacial relaciona-se com o tamanho representado por cada *pixel* no terreno. Quanto menor o tamanho representado pelo *pixel* no terreno, maior a resolução espacial. Assim, uma resolução de 5 m, onde um *pixel* representa uma área de 5 x 5 m, é maior e permite distinguir alvos menores do que uma imagem com resolução de 30 ou 90 m, onde a área representada é bem maior, sendo possível distinguir somente feições com dimensões superiores a esta medida.

A resolução temporal é o intervalo de tempo em que uma mesma área é levantada, ou seja, a frequência com a qual é possível obter uma nova imagem de determinado local. Também está relacionada com o tamanho ou largura da faixa de imageamento. Geralmente, imagens que cobrem grandes áreas possuirão resoluções temporais maiores. Por outro lado, a resolução espacial tende a ser menor (Rosa, 2012).

A gama de valores que pode representar a intensidade da REM para cada *pixel* é chamada resolução radiométrica. Esses valores estão relacionados com a intensidade da REM registrada pelos sensores, provenientes dos alvos no espaço imageado. Essa intensidade é transformada em um valor denominado reflectância. Diferentes reflectâncias são representadas na imagem por variações de tonalidade nos *pixels*. Assim, se uma imagem tem resolução radiométrica de 8 bits, por exemplo, seu sinal digital poderá registrar até 2 elevado à oitava potência de tonalidades, ou seja, 256 tonalidades (tons de cinza ou composições coloridas RGB). Assim, quanto maior a resolução radiométrica, maior o número de tonalidades passíveis de serem registradas na imagem e maior a quantidade de diferenciações de alvos que poderão ser feitas. São, nesse caso, sensores de mais alta sensibilidade na detecção de pequenas variações da REM captada.

Os produtos de sensoriamento remoto podem ser incorporados em um projeto de Sistema de Informação Geográfica (SIG) como parte da etapa de

Geoprocessamento. O geoprocessamento fornece ferramentas de análise espacial que agregam informações aos produtos de sensoriamento remoto, já que permitem a manipulação dos dados e distribuição espacial de fenômenos, integrando os mesmos.

Um SIG pode ser definido como um conjunto de procedimentos e ferramentas utilizados para coletar, armazenar, transformar, modelar e visualizar dados georreferenciados, topologicamente estruturados associados ou não a um banco de dados alfanumérico. Esses dados possuem como propriedade fundamental o georreferenciamento, ou seja, podem ser posicionados espacialmente (Burrough, 1986; Aronoff, 1989 *apud* Rosa, 2012).

Uma vez dentro de um SIG, as imagens podem passar por processos de análise e classificação, ou seja, atribuição de classes para as feições e unidades, agrupando os *pixels* e atribuindo uma interpretação a eles. Esse procedimento é realizado através do reconhecimento de padrões espectrais, como a tonalidade e cor, e através de padrões espaciais, utilizando elementos como textura, dimensões, geometria, contexto e repetição. Também podem ser feitos reconhecimentos do que diz respeito a padrões temporais, com a utilização de dados multi-temporais, observando variações espaciais e espectrais ao longo do tempo (Rosa, 2012).

3.1.1 Aplicação

As ferramentas de sensoriamento remoto foram aplicadas no desenvolvimento do projeto incorporadas a um projeto SIG construído em plataforma ArcGIS® 10.3. As imagens selecionadas para essa etapa são do satélite RapidEye de 2011 a 2014, obtidas pelo website Geo Catálogo MMA (Catálogo de imagens de satélite Rapideye do Ministério do Meio Ambiente), já georreferenciadas. Também foram utilizadas as imagens altimétricas do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) e imagens provenientes do software Google™ Earth como método auxiliar.

Esta técnica foi utilizada para a realização de observações texturais, de cobertura sedimentar, e geomorfológicas da região de estudo, tanto na etapa de pré-campo como pós campo, sendo então utilizada para o posicionamento das seções de GPR. As especificações referentes a esse método estão resumidas no Quadro 1.

Quadro 1. Especificações do método de Sensoriamento Remoto.

SENSORIAMENTO REMOTO	
Relevância e adequação para testar a hipóteses	Observações texturais, cobertura sedimentar e geomorfologia; Posicionamento das linhas de GPR (Tabela 1)
Pontos críticos dos procedimentos e cuidados adotados	Georreferenciamento: posição correta da imagem; Características das imagens: data semelhante, resolução (Geocatálogo MMA)
Vulnerabilidade da Técnica	Interpretação relativa; Verificação em campo necessária (Princípio da Verdade Terrestre).

Um ponto fundamental observado no desenvolvimento do trabalho se refere ao devido posicionamento da imagem. Na etapa de *download* das imagens, um dos procedimentos adotado foi a escolha de acordo com a data em que a imagem foi adquirida pelo sensor, sendo priorizadas imagens com as datas mais semelhantes possíveis. Isso garante que o mosaico da área de estudo, composto, nesse caso, por sete imagens de satélite, ficasse o mais homogêneo possível.

A vulnerabilidade da técnica de SR está relacionada com a interpretação não unívoca das feições analisadas, sendo dependente do técnico que a irá realizar. Nesse sentido, a verificação em campo se torna necessária (Princípio da Verdade Terrestre). Já a resolução depende da imagem utilizada, pois que cada tipo de imagem apresentará uma resolução espectral, espacial, temporal e radiométrica distinta. As resoluções específicas de cada imagem estão summarizadas no Quadro 2.

Quadro 2. Resolução das imagens de Sensoriamento Remoto utilizadas.

SENSORIAMENTO REMOTO- Resolução da Técnica		
IMAGEM	RapidEye	Google Earth
Resolução Espectral	Azul 440-510 nm Verde 520 – 590 nm Vermelha 630 – 690 nm Red- Edge (Vermelho Limítrofe) 690 – 730 nm Infravermelho próximo 760 – 880 nm	Composição RGB (imagens de satélites diversos)
Resolução Espacial	5 m	Variável
Resolução Temporal	Diária	Dependente da atualização
Resolução Radiométrica	12 bits	8 bits

3.2 GEORRADAR (GPR- *Ground Penetratig Radar*)

O princípio de funcionamento do GPR baseia-se na propagação de ondas eletromagnéticas que respondem às mudanças/descontinuidades das propriedades elétricas de subsuperfície. Esse método opera na faixa de frequência de rádio e micro-ondas que pode variar desde MHz até GHz (Neal, 2004).

É um método ativo, ou seja, o equipamento irá emitir a onda no solo e o contraste entre os meios será responsável pela reflexão das ondas eletromagnéticas. Quando uma onda atinge um objeto, três processos podem ocorrer: reflexão, absorção ou irradiação. O principal fator controlador da geração de reflexões é a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas, que é determinada pelo contraste relativo de permissividade entre o alvo e o material

circundante ou mesmo o contraste entre as camadas ou estratos. A permissividade relativa pode ser definida como a passagem da energia EM quando um campo eletromagnético é imposto ao material alvo (Jol & Baker, 2007).

Embora a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas seja dependente da permissividade relativa do material, a amplitude e a atenuação da onda que está propagando é dependente 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. Conforme a permeabilidade magnética aumenta, a amplitude de atenuação também aumenta. Assim sendo, um aumento da permeabilidade resulta em uma queda na qualidade do dado e/ou profundidade de aquisição do dado. A condutividade elétrica também afeta a propagação das ondas eletromagnéticas. Materiais com alta condutividade elétrica tendem a atenuar os sinais das ondas eletromagnéticas. Dessa forma, materiais altamente condutivos vão produzir um dado de baixa qualidade e/ou redução na profundidade dos dados. Assim, a presença de silte, argila e águas salinas, materiais com maior condutividade, geralmente atenua a energia e influencia negativamente na qualidade dos dados. A permissividade relativa, susceptibilidade magnética e a condutividade variam de acordo com os diferentes materiais e litologias.

O equipamento de georadar consiste em uma antena que gera o pulso eletromagnético, que atravessa a subsuperfície (propagação) é então refletido, demonstrando as interfaces dos alvos, causados por um contraste na permissividade relativa. Esses contrastes devem-se geralmente à variação no conteúdo de água, relacionada com os tipos de sedimentos, granulometria, porosidade e compactação (Jol & Bristow, 2003). A energia 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). O tempo que a onda leva para atravessar as camadas em subsuperfície e voltar é chamado de tempo de viagem e é usado para determinar a velocidade de propagação do material em subsuperfície. Esse valor varia entre 0,05 e 0,15 m/ns (Jol & Baker, 2007).

As etapas do método do georadar são três: aquisição, processamento e interpretação. Na aquisição estão envolvidas questões relacionadas com o método de levantamento e com a seleção dos equipamentos. Na maioria dos estudos relacionados a sistemas deposicionais são empregadas antenas com frequência central que variam de 50 a 500 MHz. Os tipos dizem respeito ao posicionamento da antena com relação ao solo, sendo as posicionadas diretamente sobre a superfície denominadas antenas de contato e as que podem ser utilizadas com uma certa distância, antenas aéreas.

Os métodos de aquisição podem ser classificados de acordo com o arranjo das antenas e com o tipo de dado gerado em três grupos principais: 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 *apud* Rosa, 2012). (Figura 7).

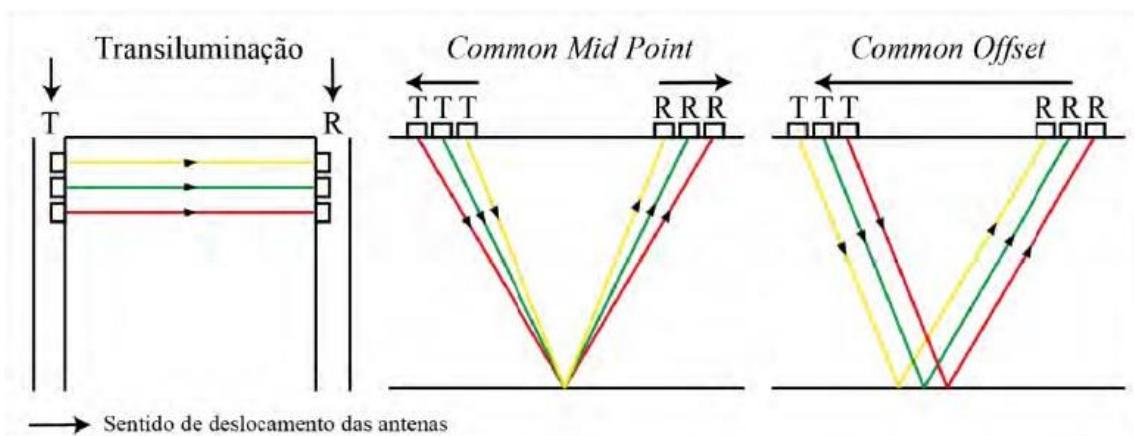


Figura 7. Principais arranjos para a aquisição de dados de georadar: Transiluminação *Common Mid Point* e *Common Offset*. No arranjo *Common Offset* as antenas (T- transmissora e R- receptora) se deslocam no mesmo sentido, permanecendo a uma distância constante (modificado de Neal, 2004 *apud* Rosa, 2012).

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 uma seção ou radargrama, que

reflete a variação nas propriedades elétricas do meio, permitindo a identificação de feições ou de interfaces que possuam contraste em tais características (Baker *et al.*, 2007 *apud* Rosa, 2012).

Durante o levantamento no método *Common Offset*, diversos parâmetros devem ser configurados de acordo com os objetivos e com os tipos de alvos a serem identificados. A distância entre os pontos de amostragem (resolução horizontal – *step size*), a profundidade da janela de aquisição, a separação entre as antenas, o empilhamento dos traços (*stacking*) a orientação das antenas, a localização e o espaçamento entre as linhas (Jol & Bristol, 2003 *apud* Rosa, 2012).

O registro de subsuperfície (seção bidimensional) necessita, então, de 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 georadar tem como base os princípios da Sismoestratigrafia. Isso se deve ao fato de que o dado resultante dos levantamentos com georadar no arranjo *Common Offset* é muito similar ao de seções sísmicas, campo onde os princípios da Sismoestratigrafia foram definidos. Esses princípios são válidos para interpretações de dados de georadar com um nível de detalhe maior, sendo possível a identificação de refletores centimétricos ou até mesmo milimétricos. Assim, são analisadas as terminações dos refletores (limites superiores como truncamento erosivo, *toplalp* e concordante e limites inferiores como *onlap*, *downlap* e concordante), superfícies-chave e padrão interno dos refletores, definindo as radarfácies e, consequentemente, os processos e os ambientes (Figura 8).

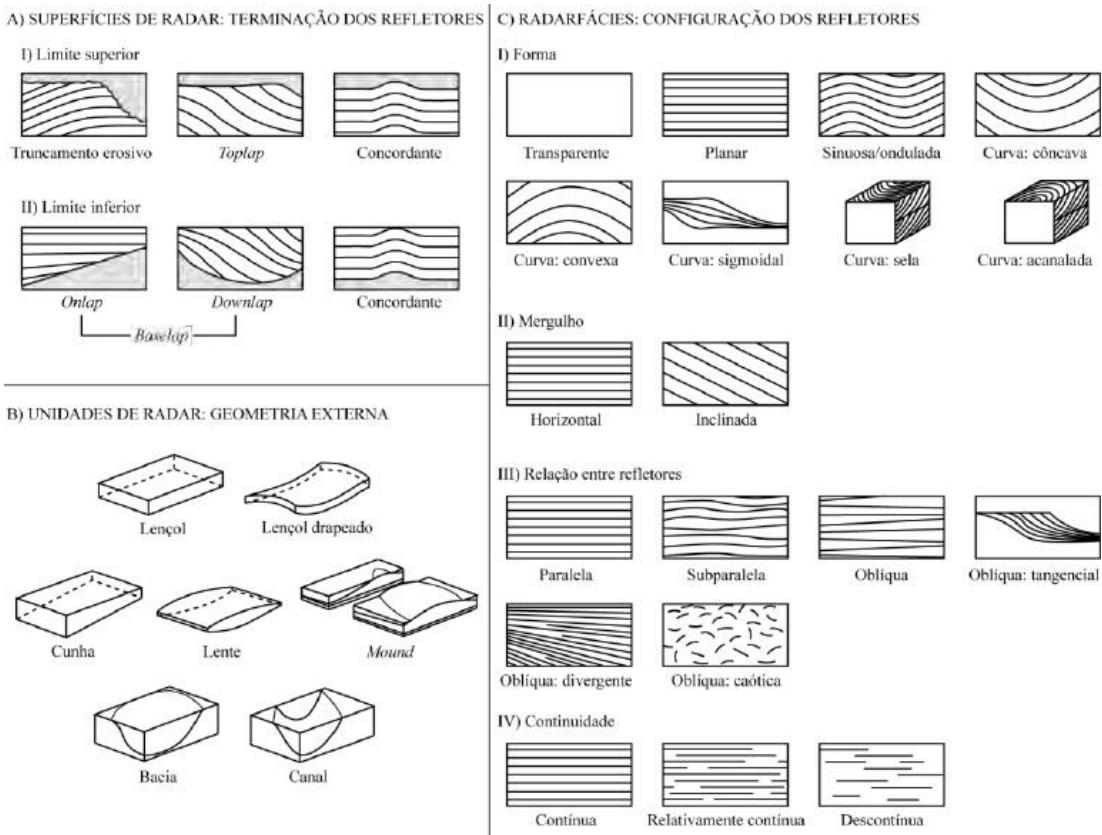


Figura 8. A) Superfícies de radar e terminações de refletores; B) Unidades de radar e geometria externa; C) Radarfácies: configuração interna dos refletores (Neal, 2004).

3.2.1 Aplicação

Para o trabalho proposto foram utilizados dois sistemas de aquisição compostos por um coletor da GSSI™ (*Geophysical Survey Systems, Inc.*) SIR-3000 conectado a uma antena de contato de 270 MHz (monosestática – GSSI™) e um coletor Cobra Plug-In GPR (Radarteam Sweden AB) com uma antena aérea Subecho SE-70 monosestática (80 MHz), sistemas cedidos pelo Laboratório de Sismoestratigrafia da UFRGS (Figura 9). A técnica adotada na aquisição é a proposta por Barboza *et al.* (2014), sendo realizados caminhamentos para a aquisição dos dados com as duas antenas simultaneamente e nas mesmas localidades. As localidades foram previamente determinadas na etapa de pré-campo através de sensoriamento remoto. Com o objetivo de obter seções perpendiculares à linha de costa em lugares com facilidade de acesso, foram selecionadas ruas na extensão da área de estudo para coleta com o GPR. O registro da direção de

aquisição se torna essencial uma vez analisando-se progradações e retrogradações (Tabela 1).

Tabela 1. Localização e orientação das seções de GPR.

Localização		Perfis			
Cidade/Balneário	Endereço	Antena 270 MHz	Direção	Antena 80 MHz	Direção
1 -Xangri-lá/ Mariápolis	Av. Central – Rua das Dálias	1	NW-SE	1	NW-SE
		2	SE-NW		
2 - Mariápolis/Imara	Rua Araruama- Rua Laguna – Rua Luiz Francisco Pimentel	11,10	SE-NW	16,15	SE-NW
3 - Santa Teresinha/Marisul	Rua Dep. José Antonio Daudt	12,13	NW-SE	17,18,19	NW-SE
4 - Imbé	Av. Garibaldi	08,09	NW-SE	13,14	
5 - Tramandaí	Av. Rubem Berta	14,15	NW-SE	20,21,22	NW-SE
6 - Cidreira	Av. Julio Bruneli	03	NW-SE	2,3	NW-SE
7 - Pinhal/Magistério	Rua Tipiu	4,5	NW-SE	4,5,6	NW-SE
8 - Quintão	Rua Manoel Borba Gato	6,7	NE-SE	7,8,9	NW-SE
9 - Dunas Altas	-	-	-	10,11,12	NW-SE

O coletor utilizado nas aquisições é o modelo SIR-3000 da empresa GSSI™. Durante a aquisição o sistema de GPR foi conectado ao sistema GNSS TRIMBLE® Pro-XRT permitindo o posicionamento das seções através do método de posicionamento por ponto. Ao todo foram percorridas nove localidades (Figura 10),

coletando-se 22 seções com a antena de frequência central de 80 MHZ (Seções S001 a S022) e 15 seções com a antena de contato de frequência central de 270 MHz (Seções D001 a D0015).



Figura 9. Antenas de 270 MHz (contato) e 80 MHz (áerea).

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 facilidade de execução de cada etapa de processamento viabilizada por cada software. Para as seções adquiridas com antena de 270 MHz, as etapas consistem em abrir o arquivo/seção bidimensional no software Prism® 2.5 para gerar o espectro de frequência no qual o dado foi adquirido, observando-se os valores mínimos e máximos em que foram coletados os dados (Figura 11-A inferior). Após, já no software RADAN™, aplica-se o “passa-banda” configurando os valores mínimos e máximos previamente analisados (*Low Pass* e *High Pass*), bem como adicionar o valor de *background removal*, eliminando-se dados que se repitam por mais de duzentos traços (*background removal* = 200). No produto dessa etapa se aplica um corte no espectro de frequência, novamente utilizando-se o software Prism® 2.5, removendo-se picos que fujam à normalidade da curva de aquisição (Figura 11- B inferior).



Figura 10. Localização das seções de GPR. Em vermelho, o posicionamento das seções adquiridas com antena de 270 MHz, em azul aquelas adquiridas com antena de 80 MHz. A numeração (1-9) refere-se ao posicionamento geográfico das seções e estão presentes na coluna de localização (Tabela 1). Na região central não foram coletados dados devido às seções pré-existentes na tese de Rosa (2012).

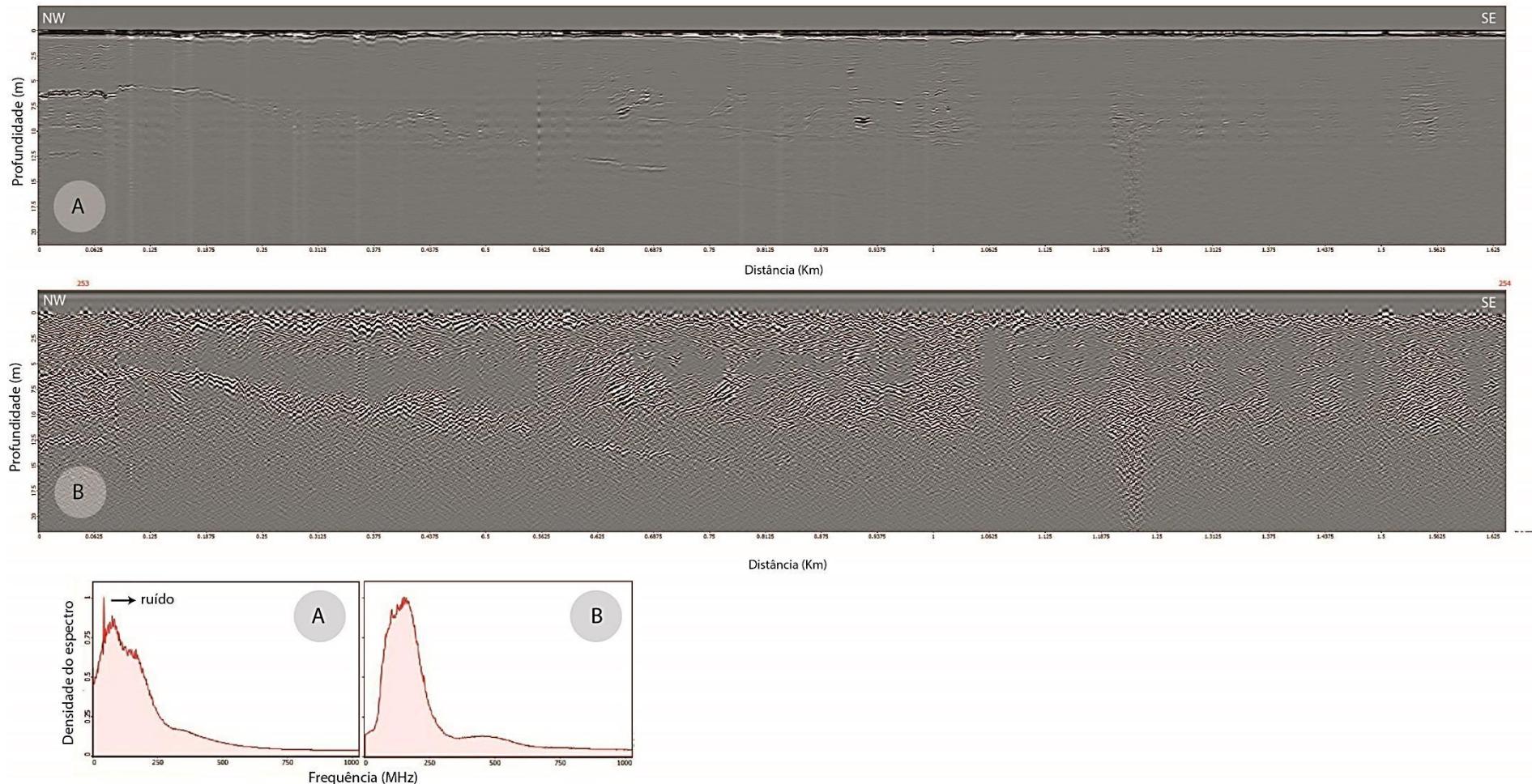


Figura 11. Seção de GPR sem processamento (A) com seu respectivo espectro de frequência (A- inferior). Observar pico anômalo à curva em vermelho, referente aos ruídos de mesma frequência captados durante aquisição da seção. Abaixo, seção pós-processamento (B), onde já é possível enxergar feições de subsuperfície com mais facilidade, e seu respectivo espectro onde o ruído já foi eliminado (B-inferior), resultando em uma curva mais harmônica.

As seções adquiridas com a antena de frequência 80 MHz devem inicialmente passar por um processo adicional aos anteriormente citados, objetivando a conversão de extensão de arquivo que comporte os processamentos subsequentes. Dessa maneira, geram-se os dados passíveis de interpretação. As especificações do método estão sumarizadas no Quadro 3.

Quadro 3. Especificações do método de Georadar.

GEORRADAR	
Relevância e adequação para testar a hipóteses	<ul style="list-style-type: none"> -Common Offset (caminhamento simultâneo com recepção e transmissão) -Visualização dos elementos arquiteturais em subsuperfície
Pontos críticos dos procedimentos e cuidados adotados	<ul style="list-style-type: none"> -Duas antenas/frequências: 80 e 270 MHz -Aquisição no tempo com a antena de 80 MHz -Posicionamento e direção da linha bem definidos -Ruídos, baterias, cabos, areia, água
Vulnerabilidade da Técnica	<ul style="list-style-type: none"> -Ausência de dados: baixa resistividade de argilas, cunha salina -Interpretação não unívoca
Resolução da Técnica consoante ao equipamento utilizado	<ul style="list-style-type: none"> -Dependente da frequência -Resolução x profundidade (menor frequência, maior profundidade, menor resolução) -Resolução vertical: entre $\frac{1}{4}$ e $\frac{1}{2} \lambda$ -Resolução horizontal: 1 traço/seg (80 MHz) e 1 traço/5 cm (270 MHz)

3.3 SISTEMA DE POSICIONAMENTO

O sistema de posicionamento é o conjunto de métodos e instrumentos utilizados para posicionar espacialmente os dados adquiridos em campo dentro de um ambiente SIG, sendo dessa forma também utilizado nas etapas de análise de imagens que antecedem o trabalho de campo, com a escolha de um sistema de coordenadas e *datum* a ser trabalhado.

Com o desenvolvimento do sistema de posicionamento global (*Global Positioning System* – GPS), a obtenção da posição das feições e objetos terrestres foi muito facilitada. O sistema global de navegação por satélite (*Global Navigation Satellite System* – GNSS) é, atualmente, composto pelo NAVSTAR-GPS, o sistema russo (GLONASS) e os sistemas europeu (GALILEU) e chinês (COMPASS).

Os receptores podem ser classificados como GPS de navegação, topográfico e geodésico, sendo o geodésico com precisão de milímetros. Já o método de aquisição pode ser por posicionamento por ponto, por ponto preciso, diferencial e relativo. Através do posicionamento por ponto, as coordenadas são determinadas a partir de cálculos de pseudo-distância ou pela fase de batimento da onda portadora (Rosa, 2012).

3.3.1 Aplicação

Os dados de posicionamento em campo foram obtidos com a utilização de um sistema GNSS geodésico TRIMBLE® Pro-XRT acoplado diretamente no coletor utilizado no sistema de georadar, permitindo o posicionamento das seções através do método de posicionamento por ponto. Apesar da utilização de um equipamento preciso de posicionamento, a logística de campo não permitiu a aquisição de dados independentes da aquisição com o GPR, impossibilitando seu processamento pós-campo para um refinamento da posição. Por esse motivo o método utilizado foi o método por ponto e não diferencial. Ainda assim, como os dados foram adquiridos ao longo de estradas sem importantes variações topográficas, considera-se que o posicionamento possua precisão suficiente para a finalidade proposta. O sistema de coordenadas utilizado no trabalho é o sistema Universal Transversa de Mercator (UTM) e o *datum* é o SIRGAS 2000.



Figura 12. GNSS geodésico TRIMBLE® Pro-XRT (Perfis 10 e 11 com antena de 270 MHz – Imara).

O Quadro 4 apresenta as especificações do método de posicionamento aplicado na realização desse estudo.

Quadro 4. Especificações do método de posicionamento.

SISTEMA DE POSICIONAMENTO	
Relevância e adequação para testar a hipóteses	<ul style="list-style-type: none"> - Orientação espacial - Conexão dos dados de superfície e subsuperfície
Pontos críticos dos procedimentos e cuidados adotados	<ul style="list-style-type: none"> - Acurácia dos dados - Logística (2 antenas)
Vulnerabilidade da Técnica	<ul style="list-style-type: none"> - Variabilidade de acurácia (número e distribuição de satélites)
Precisão da Técnica em relação ao equipamento adotado	Dependente da distribuição dos satélites (aproximadamente 0,5 m)

4 RESULTADOS

Através da aplicação dos métodos citados foram obtidos resultados classificados entre aqueles adquiridos pelas análises de superfície e subsuperfície (Quadro 5).

Quadro 5. Métodos utilizados e resultados obtidos.

MÉTODO	DADO	TIPO	RESULTADO
Sensoriamento Remoto	RapidEye. Imagens do Google Earth	Imagens ópticas	Análises da morfologia da linha de costa e outras feições em superfície.
Sistema de Posicionamento	GNSS geodésico TRIMBLE® Pro-XRT	Posicionamento por ponto	Posição das seções de Georadar e feições analisadas.
Geoprocessamento	SIG	Mosaico de imagens e banco de dados	Espacialização das seções de GPR, análises de distribuição, tamanho e continuidade de feições de subsuperfície, correlação, geração de mapas.
Georadar	Antena de contato de frequência central de 270 MHz Antena aérea de frequência central de 80 MHz	Seções bidimensionais de subsuperfície (perfis de reflexão)	Padrões de empilhamento em subsuperfície.

4.1 SUPERFÍCIE

A análise em superfície do setor estudado foi realizada através de técnicas de sensoriamento remoto dentro de um projeto SIG, tanto na etapa pré-campo para planejamento, quanto na etapa pós-campo, onde as seções coletadas foram espacializadas e correlacionadas com as observações de outras feições, principalmente no que diz respeito à morfologia da linha de costa, através de

imagens RapidEye que compuseram um mosaico com um total de sete imagens. Dessa forma, a análise de superfície permitiu a observação e diferenciação entre os setores transgressivos e regressivos da costa representados, respectivamente, por projeções e embaiamentos costeiros, como já descrito por (Dillenburg *et al.* 2000, 2005, 2009).

Rosa (2012) e Barboza & Rosa (2014) estabeleceram uma série de critérios indicativos do comportamento da linha de costa relacionado à barreira holocênica. Concentrações de vegetação costumam indicar setores em progradação, enquanto a presença de campos de dunas transgressivos está associada aos setores em retrogradação. Contudo, na escala de estudo e através da composição colorida R4G3B2 foi possível definir uma relação entre concentrações de vegetação com o início de fases compostas por cordões de dunas transgressivos (*transgressive dune ridges*) ou lençóis de areias transgressivos no setor norte da área de estudo. Ao Sul, observou-se nas imagens a presença de grandes campos de dunas transgressivos, alguns atualmente, urbanizados. Baseado nestas observações nota-se uma diferença morfológica no setor em estudo.

Ainda, o processamento da imagem SRTM não permitiu inferir setores onde as altitudes pudessem promover alguma análise relevante ao estudo por uma falta de resolução para a escala deste estudo na PCRS. Dessa forma, não foi possível a associação de dados de superfície, além da morfologia de embaiamentos e projeções, com os dados de subsuperfície descritos no próximo item.

4.2 SUBSUPERFÍCIE

Para as análises das seções bidimensionais de subsuperfície, foram priorizadas aquelas obtidas com a antena com frequência central de 270 MHz devido à melhor qualidade dos dados. Uma exceção ocorre na localidade de Dunas Altas, onde os dados foram coletados somente com a antena de frequência central 80 MHz por questões logísticas, os quais são de excelente qualidade.

Os dados de subsuperfície adquiridos neste estudo totalizaram 3.870 m para a antena de 80 MHz e 15.121,4 m para a antena de 270 MHz. As seções permitiram a individualização de setores com refletores indicativos de processos similares.

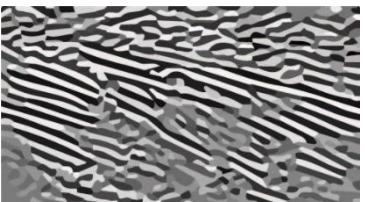
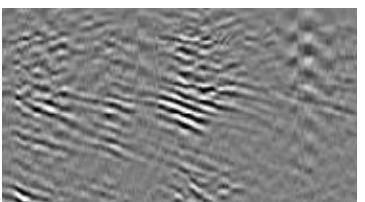
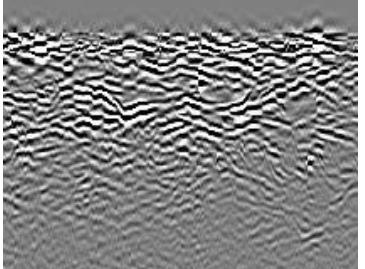
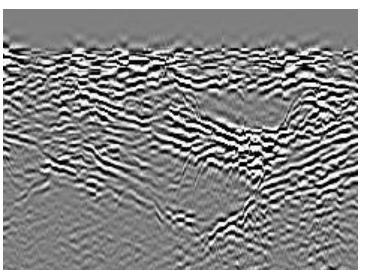
O caráter progradacional ou retrogradacional das seções é evidenciado através de refletores oblíquos onde mergulhos direcionados para SE, no sentido do oceano, indicam progradação, enquanto mergulhos para NW, no sentido do continente, evidenciam a retrogradação. Além do sentido do mergulho dos refletores, outros critérios foram utilizados na definição das radarfácies, as quais estão sumarizadas na Tabela 2 e nos Quadros 6 e 7.

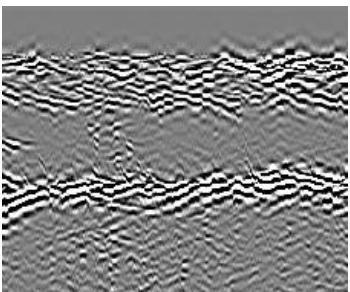
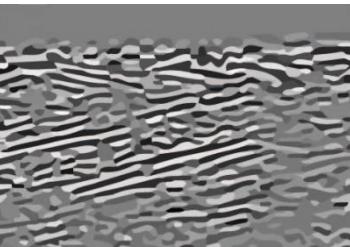
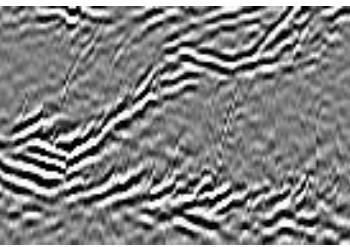
O trecho de estudo, com aproximadamente 66 km de extensão, foi dividido entre um setor norte com tendência progradacional, se estendendo de Xangri-lá até Santa Teresinha, um setor sul predominantemente retrogradacional, que foi identificado nas seções de Imbé até Quintão, e um setor extremo-sul, em Dunas Altas, onde o comportamento é progradacional.

Tabela 2. Localidades de aquisição de dados de GPR e especificações de cada seção.

Localidade	Sentido da coleta	Antena	Linhas	Profundidade máxima do Sinal	Radarfácies (Rf)	Comportamento
1 XANGRI-LÁ	NW-SE		D001	10m	1	Progradacional
	SE-NW		D002	10m	1	
2 IMARA	SE-NW	270 MHz	D010	14m	1, 2a,2b,2c	Progradacional
	SE-NW		D011	13m	1	
3 SANTA TERESINHA	NW-SE		D012	12m	1,2a,2b,2c	Progradacional
	NW-SE		D013	8m	2b	
4 IMBÉ	NW-SE		D008	9,5m	2a,3a	Retrogradacional
	NW-SE		D009	8	2a,3a	
5 TRAMANDAÍ	NW-SE		D014	6,5m	2a,2c,3a	Retrogradacional
	NW-SE		D015	7m	2a	
6 CIDREIRA	NW-SE		D003	12m	2a	Retrogradacional
7 PINHAL	NW-SE		D004	13m	3b, 2c	Retrogradacional
	NW-SE		D005	6m	3a	
8 QUINTÃO	NW-SE		D006	14m	3a, 3b	Retrogradacional
	NW-SE		D007	9m	3a	
9 DUNAS ALTAS	NW-SE	80 MHz	S0010	25m	5,6,7a,7b	Progradacional
	NW-SE		S0011	28m	5,6,7a,7b	
	NW-SE		S0012	23m	4,5,6	

Quadro 6. Radarfácies (Rf) classificadas para as seções adquiridas com antena de frequência central de 270 MHz.

Rf	Imagem	Descrição	Interpretação
Progradação	1  Porção com alta amplitude.	Forma: Sinuosa. Mergulho: inclinada para SE, unidirecional. Relação entre os refletores: subparalela com truncamentos oblíquos. Continuidade: refletores relativamente contínuos. Amplitude: alta e intercalação de alta e baixa lateralmente.	Progradação sem atenuação
	 Porção de baixa amplitude.		Progradação com atenuação
2a		Forma: Sinuosa. Mergulho: horizontal. Relação entre os refletores: caótica. Continuidade: refletores relativamente contínuos. Amplitude: alta.	Margem
Inlets	2b 	Forma: Côncava com preenchimento transparente. Mergulho: bidirecional nas bordas e horizontal na base/centro. Relação entre os refletores: subparalela a oblíqua. Continuidade: refletores relativamente contínuos Amplitude: alta a média nas bordas e centro, preenchimento das cavas com baixa amplitude (por vezes transparente). Dimensões aproximadas: 60m A feição apresenta truncamentos referentes à erosão vertical do substrato pelos canais de ligação.	Cava do <i>inlet</i> /superfície erosiva da base do <i>inlet</i>

	2c		Forma: Planar com porção intermediária transparente. Mergulho: horizontal. Relação entre os refletores: subparalela. Continuidade: refletores relativamente contínuos Amplitude: alta nas porções superior e inferior e baixa (por vezes transparente) no centro.	Margem do canal de ligação com atenuação na porção central.
Retrogradação	3a		Forma: Sinuosa. Mergulho: inclinada para NW, unidirecional Relação entre os refletores: subparalela com truncamentos oblíquos. Continuidade: refletores relativamente contínuos. Amplitude: alta e intercalação de alta e baixa lateralmente.	Retrogradação
	3b		Forma: Sinuosa, sigmoidal Mergulho: inclinada para NW, unidirecional Relação entre os refletores: oblíqua tangencial. Continuidade: refletores relativamente contínuos. Amplitude: alta nas porções inferiores e baixa (por vezes transparente) no centro. Terminação dos refletores: <i>downlap</i> .	Preenchimento de corpos lagunares

As seções da porção norte, progradacional, apresentaram as Rf 1, 2a, 2b, 2c, e têm como características principais os refletores oblíquos migrando para SE. A seguir serão descritos os perfis adquiridos neste segmento.

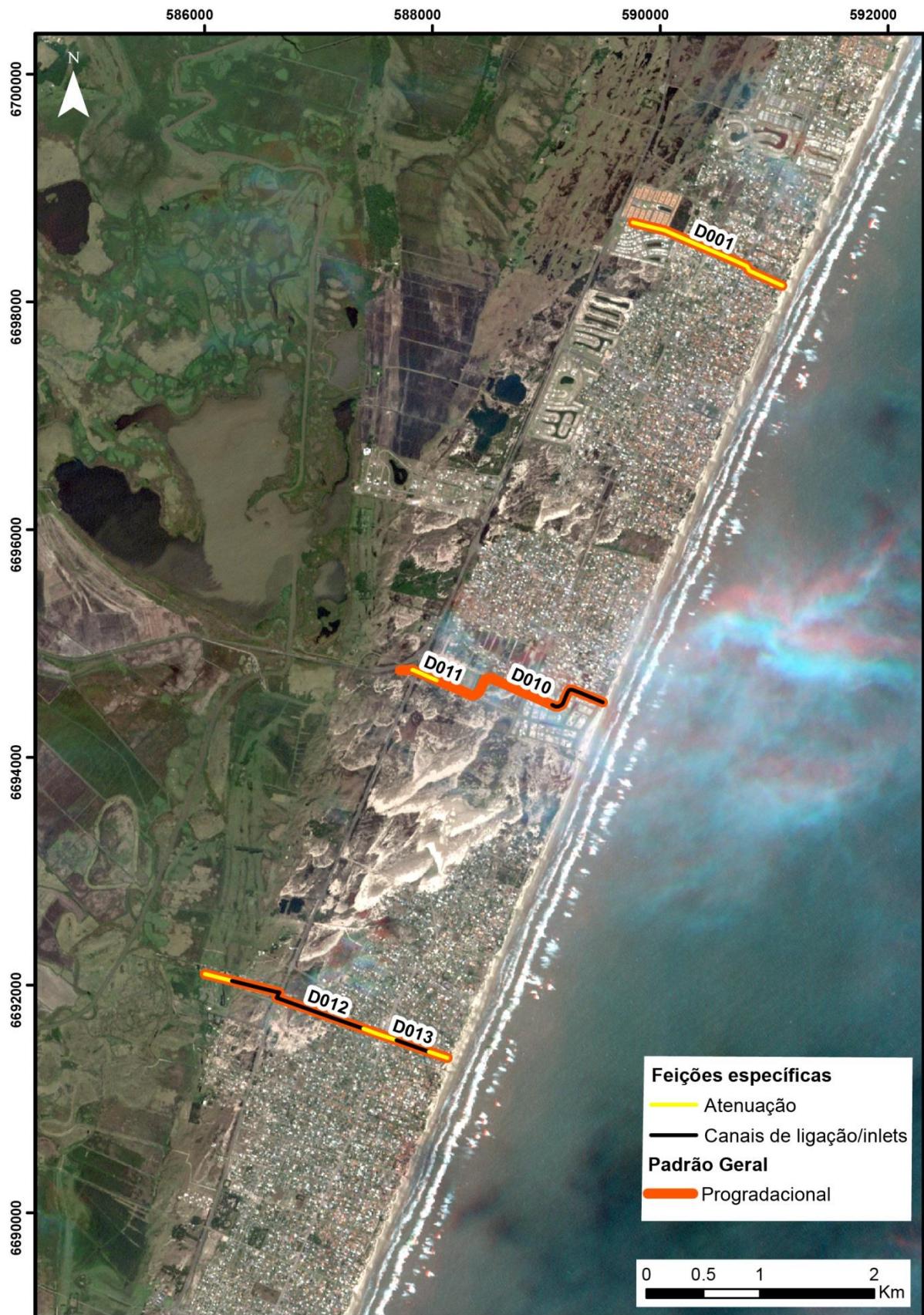


Figura 13. Seções de GPR da porção norte da área de estudo. Observa-se o comportamento progradacional na totalidade desse setor (linhas verdes), bem como atenuações (amarelo) e feições de canais/inlets (preto).

O perfil em Xangri-lá (Seções D001 e D002, localidade 1) possui extensão de 1.475 m e profundidade máxima de sinal de 10 m. A porção superior apresenta atenuação e ocorre em toda a seção até a profundidade de 3 m. A parte sob a atenuação apresenta progradação bem evidente, sendo representada pela Rf1 em profundidades até 10 m (Figuras 14 e 15).

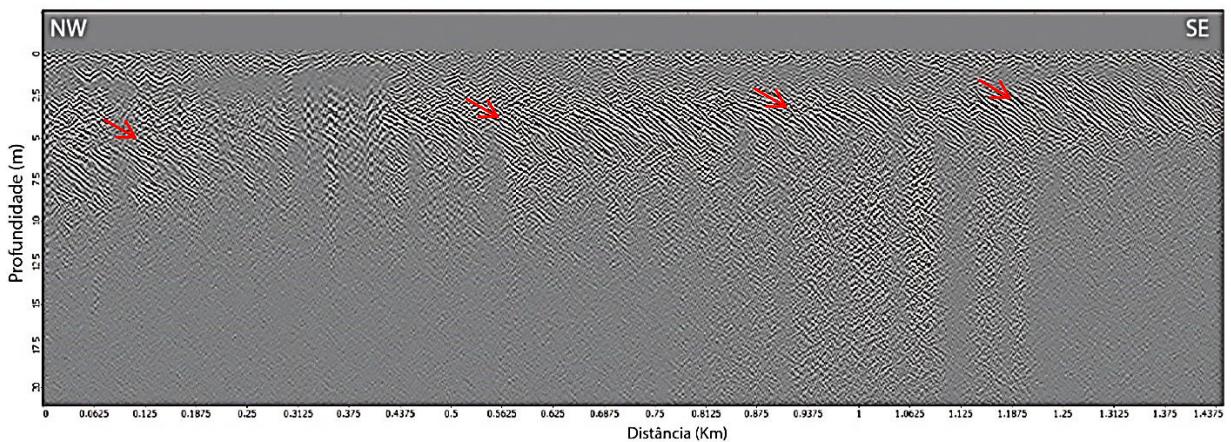


Figura 14. Seção D001 (Xangri-lá) após processamento, sem interpretações.

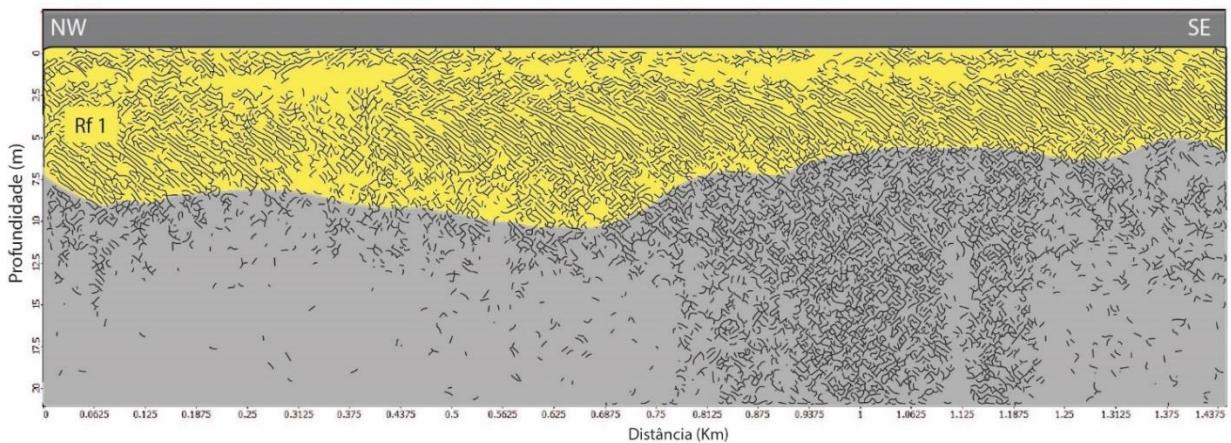


Figura 15. Seção D001 (Xangri-lá) com interpretações. A Rf1 corresponde à progradação da barreira.

Em Imara (Seções D010 e D011, localidade 2, extensão total de 2.094,9 m) a profundidade máxima do sinal é de 14 m; apresenta, na porção mais externa (Linha D010), *inlets* representados pelas radarfácies 2a, 2b e 2c até a profundidade de 6,5 m. Já a porção mais continental é caracterizada por progradações que se estendem até 14 m de profundidade, representada pelas radarfácies 1 (Figuras 16 e 17).

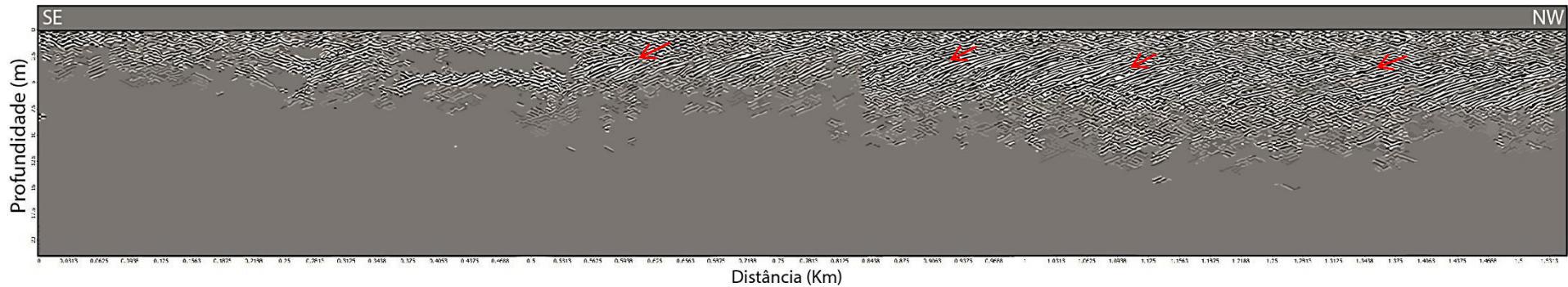


Figura 16. Seção D010 (Imara) após processamento. A seção D010 representa a porção mais próxima ao mar da totalidade percorrida nessa localidade, sendo o dado adquirido de SE para NW. A porção mais continental, seção D011, é representada por progradações (Rf 1).

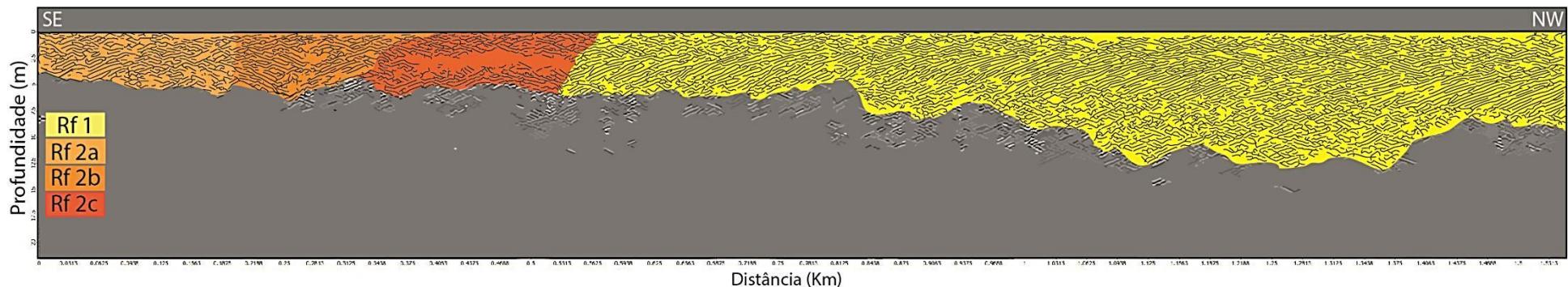


Figura 17. Seção D010 (Imara) com classificações das radarfácies, sendo as encontradas nessa região correspondentes a Rf 1, 2a, 2b e 2c, relativas à progradação e feições de *inlets*.

Santa Teresinha (Seções D012 e D013, localidade 3, extensão total de 2.325,7 m) é caracterizada por uma intercalação de porções atenuadas e *inlets*. Na porção continental ocorre uma porção de atenuação seguida por mais de 1.000 m de canais (Rf 2a,2b e 2c) sobre progradações atenuadas (Rf1) que se estendem dos 1.000 m aos 1.375 m, em profundidades entre 7 e 10 m. Novamente, ocorre uma atenuação na seção D013, e uma nova intercalação com *inlets* (Rf 2b) seguida de atenuação. A partir de aproximadamente 1.000 até 1.531 m é possível identificar a presença de refletores indicativos de progradação (Rf 1) em profundidades que variam de 6,5 até 12 m. Esses refletores voltam a aparecer na porção mais próxima ao mar por uma extensão de 185 m.

Nas seções da porção sul, compreendida entre Imbé e Quintão, de caráter retrogradacional, ocorrem as radarfácies 2a, 2b, 2c e 3, indicativas de canais de ligação e retrogradações (Fig. 18 e 19). Não ocorrem porções significativas de atenuação.

Imbé (Seções D008 e D009, localidade 4, extensão total de 2.102,6 m) possui toda sua extensão marcada pela presença de (Rf 2a). A profundidade dos canais de ligação atinge um máximo de 6 m sobre retrogradações entre 311 e 855 m, entre profundidades de 3,5 e 10 m.

Tramandaí (Seções D014 e D015, localidade 5, extensão total de 2.070 m) possui uma alternância entre radarfácies relativas a *inlets* (Rf 2a,2c) e retrogradação (Rf 3a e 3b). Os canais de ligação encontram-se em profundidades até 5,5 m e a retrogradação fica evidente tanto sob as radarfácies de canais como no preenchimento de um corpo lagunar (Rf 3b), entre 390 e 510 m, na profundidade de 2,5 a 6,5 m, e em porções rasas, na posição de 510 a 1.060 m (Rf 3a). Imbé e Tramandaí são seções destoantes das demais analisadas devido às pequenas profundidades atingidas pelo sinal e presença de feições de *inlets* em toda a seção.



Figura 18. Mapa da região de Imbé e Tramandaí. Observa-se o caráter retrogradacional de ambas localidades, bem como a predominância de *inlets*.

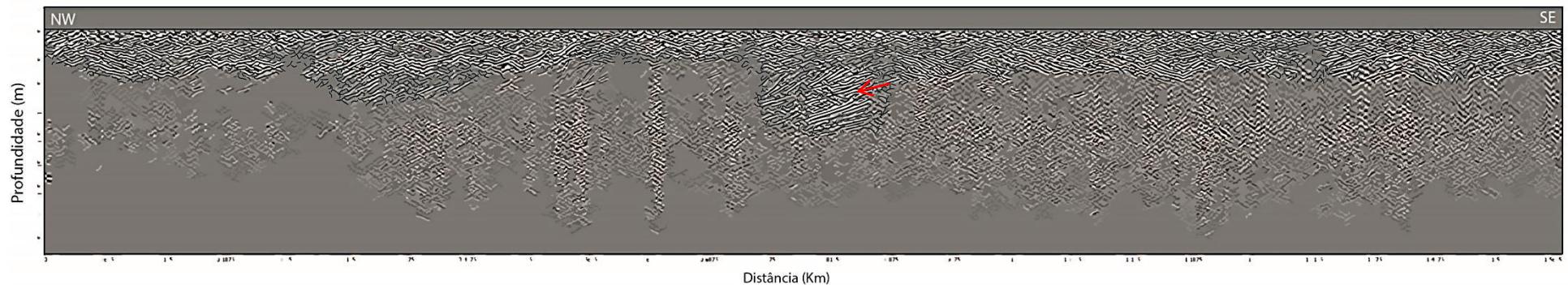


Figura 19. Seção D008 (Imbé) sem classificação.

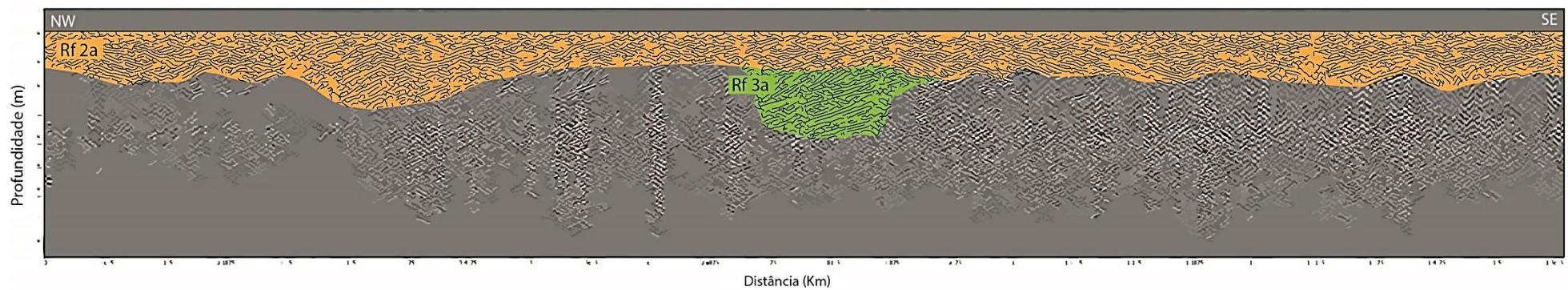


Figura 20. Seção D008 (Imbé) com presença da Rf 3, indicando um processo de retrogradação e Rf 2a.

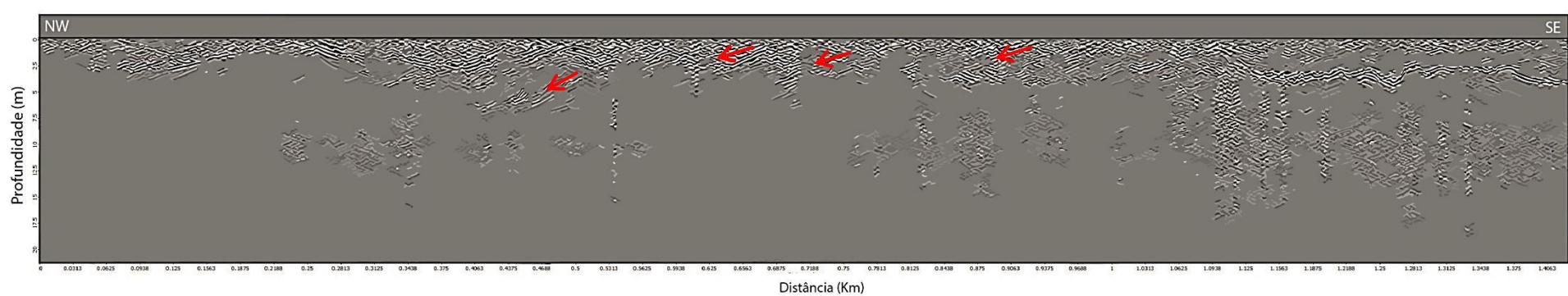


Figura 21. Seção D014 (Tramandaí) após processamento, sem classificação.

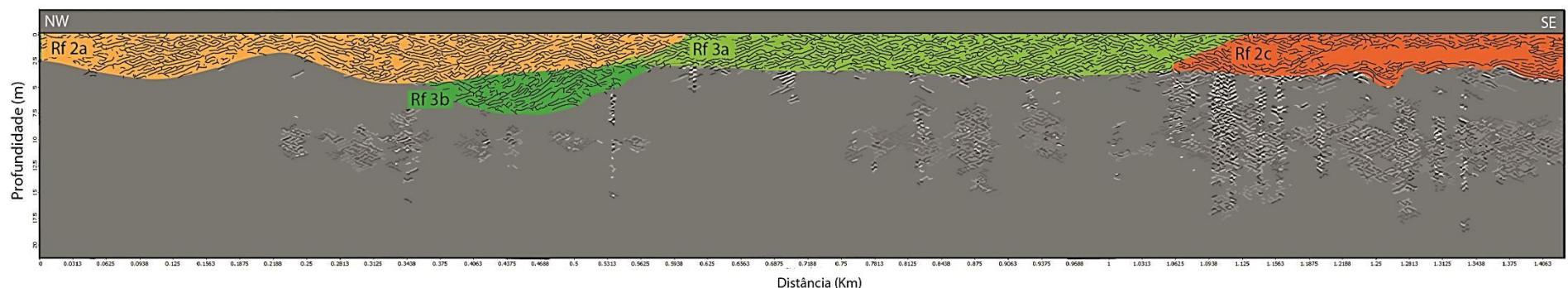


Figura 22. Seção D014 (Tramandaí) após processamento, classificada. Nota-se uma profundidade muito baixa do sinal e a alternância de radarfácies relacionadas aos *inlets* (2a e 2c), bem como radarfácies relativas à retrogradação (3a e 3b).

Cidreira (Seção D003, localidade 6, extensão total de 1.586 m) é marcada pela presença de pulsos de retrogradação em toda a seção. Essa localidade possui uma superfície oblíqua contínua mergulhando para NW, mapeável desde a profundidade de 2 até 12 m por aproximadamente 640 m a partir do fim da seção, representando o limite com o Pleistoceno. Acima dessa superfície ocorrem retrogradações bem evidentes representadas pela Rf 3b (Figura 23 A).

Pinhal (Seções D004 e D005, localidade 7, extensão total de 2.621,2 m) apresenta as radarfácies relativas a *inlets* (2c). Na porção mais próxima ao mar apresenta padrão retrogradacional indicado pela Rf 3a e quatro fases de preenchimento de um corpo lagunar representadas pela Rf 3b. Da mesma forma que Cidreira, apresenta uma superfície extensa mapeável em profundidades de 6 até 12 m sob as retrogradações, porém nessa localidade mergulhando para SE, desde o início da linha por 900 m, representando, da mesma forma, o limite com o Pleistoceno. A posição dessa superfície é relativamente mais interna que Cidreira de acordo com o posicionamento na costa (Figura 23 B).

Quintão (Seções D006 e D007, localidade 8, extensão total de 2.432 m) apresenta assinatura em subsuperfície muito similar à Pinhal, porém com uma quantidade de atenuação maior. A seção é formada pelas radarfácies 2b e 2c, relativas aos canais, e também pela retrogradação (Rf 3). Da mesma forma, possui uma superfície bem marcada relativa ao Pleistoceno mergulhando para SE entre as profundidades de 6 e 14 m por 850 m (Figura 23 C).

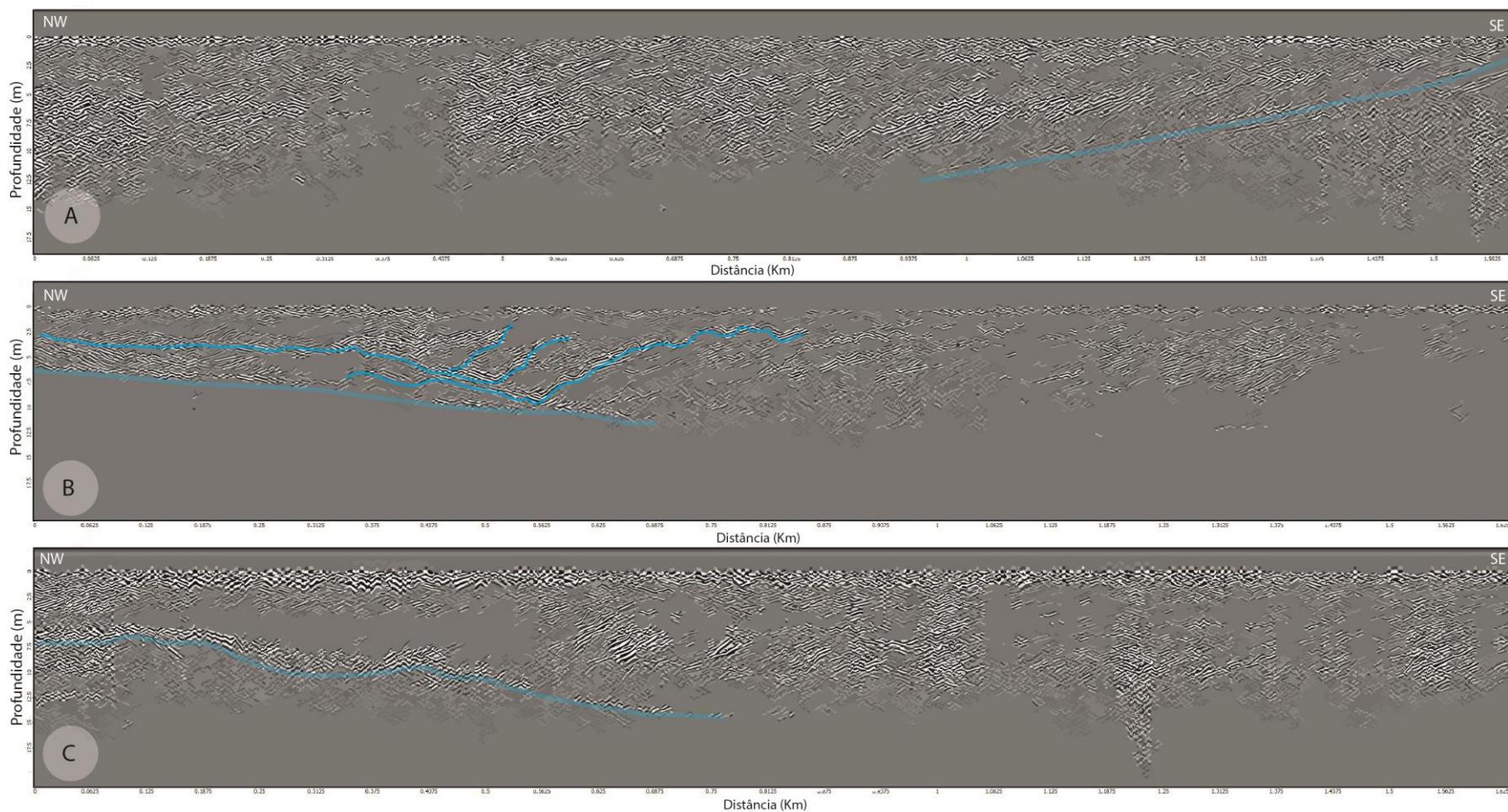


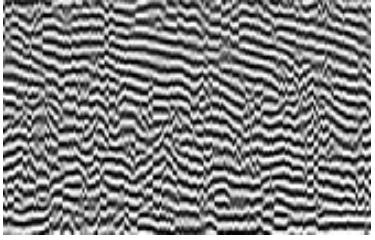
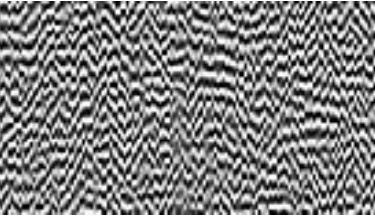
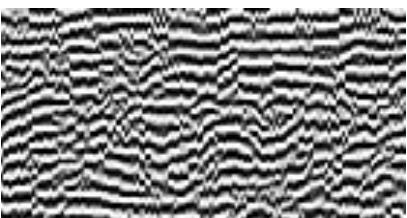
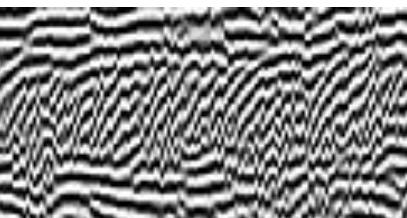
Figura 23. A) Seção D003/Cidreira. Em azul, superfície oblíqua contínua mergulhando para NW, representando um fundo lagunar. B) Seção D004/Pinhal. As superfícies são indicativas das fases de retrogradação da margem lagunar e colmatação do corpo lagunar. Da mesma forma que Cidreira (A), a seção apresenta uma superfície oblíqua em maiores profundidades, porém mergulhando para SE. C) Seção D006/Quintão. Essa seção possui características em subsuperfície muito similares à Pinhal, porém com uma quantidade maior de atenuação. A superfície demarcada também é referente ao fundo do corpo lagunar.



Figura 24. Mapa da porção sul da área de estudo. Neste setor ocorre a presença de grandes superfícies relativas a fundo lagunares em Cidreira (D003), Pinhal (D004 e D005) e Quintão (D006 e D007). Dunas Altas (S0011, S0012 e S0013) possui sua porção mais externa marcada por um processo de progradação.

Dunas Altas (Seções S010, S011 e S012, localidade 9, extensão total de 3.870 m), apresenta limite máximo de sinal de 28 m. A maior profundidade atingida por essa seção se deve ao fato de que a antena utilizada nesse local ter sido a de frequência central de 80 MHz, propiciando uma profundidade alcançada maior se comparada com a antena de 270 MHz (Figura 25 e 26). Devido à utilização de outra antena para este local, gerando uma seção diferenciada após o processamento, as radarfácies de Dunas Altas foram redefinidas de acordo com as feições presentes nesse setor (Quadro 7).

Quadro 7. Radarfácies (Rf) classificadas para as seções adquiridas com antena de frequência central de 80 MHz.

Rf	Imagem	Descrição	Interpretação
4		Forma: Sinuosa ondulada Mergulho: inclinada para SE, unidirecional. Relação entre os refletores: subparalela com truncamentos oblíquos. Continuidade: refletores relativamente contínuos. Amplitude: alta	Progradação
5		Forma: sinuosa Mergulho: horizontal Relação entre os refletores: caótica Continuidade: refletores relativamente contínuos Amplitude: alta a média	Ruídos com perda de sinal
6a		Forma: Sinuosa ondulada Mergulho: inclinada para NW, unidirecional. Relação entre os refletores: subparalela com truncamentos oblíquos. Continuidade: refletores relativamente contínuos. Amplitude: alta	Retrogradação
6b		Forma: sinuosa na base e topo e sigmoidal no centro Mergulho: inclinada para NW, unidirecional. Relação entre os refletores: subparalela na base e topo e tangencial no centro Continuidade: refletores relativamente contínuos. Amplitude: alta Terminação: downlap	Pequenas cliniformas representando retrogradações separadas por superfícies definidas na base e no topo

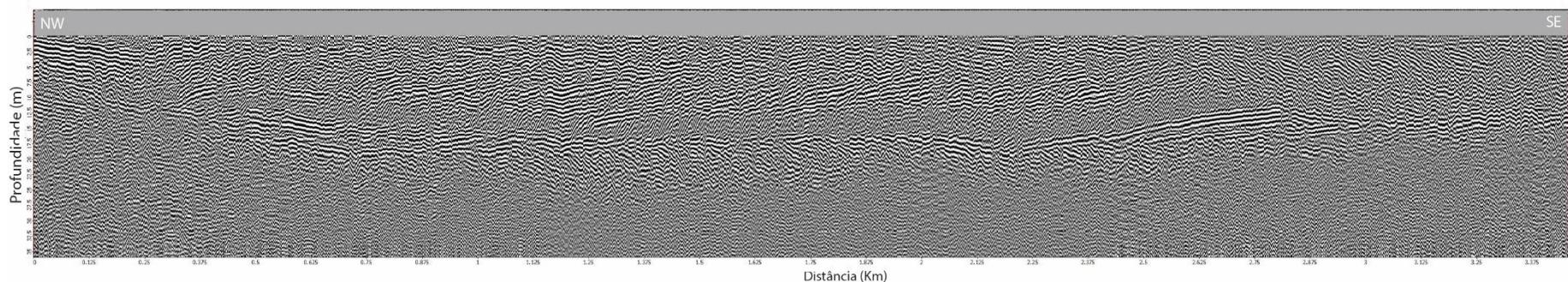


Figura 25. Seção em Dunas Altas (S0010, S0011 e S0012) sem classificações.

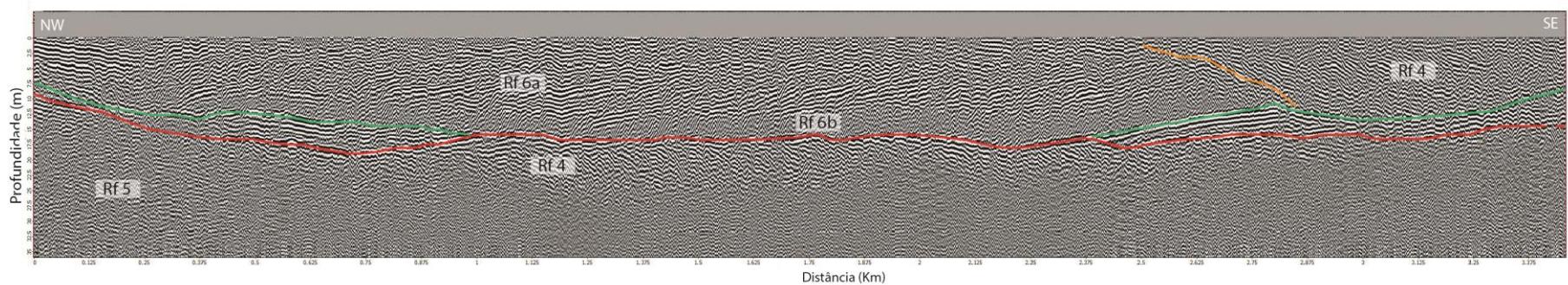


Figura 26. Seção em Dunas altas com classificação das radarfácies. As linhas são referentes à separação das radarfácies. Nesta seção é possível observar a região com perda de sinal (Rf 5) com porção superior marcada pela presença da Rf 4 indicativa de progradação, sendo esta porção interpretada como uma progradação do Pleistoceno. A retrogradação é marcada pelas Rf 6a e 6b e a progradação pela Rf 4, sendo possível observar o momento da inversão entre esses dois processos.

4.3 INTEGRAÇÃO DOS DADOS

A integração dos dados foi realizada através da produção de um mapa que utilizou como base as imagens de satélite RapidEye e o comportamento em subsuperfície, mapeando cinco parâmetros que foram especializados de acordo com a interpretação das seções de GPR, sendo eles: progradação, retrogradação, atenuações, canais de ligação (*inlets*) e grandes superfícies oblíquas em profundidade relativas ao fundo lagunar na porção sul (Figura 27).

A análise em subsuperfície permite constatar comportamentos antagônicos entre a morfologia em superfície e o comportamento do registro estratigráfico em subsuperfície, ocorrendo porções do embaiamento com comportamento retrogradacional nas seções de Imbé a Quintão. Da mesma forma, Dunas Altas, situada na projeção costeira, apresenta caráter em subsuperfície progradacional.

Não ocorrem alterações significativas de tamanho dos *inlets* ao longo do setor. Quando analisados os setores que possuem radarfácies relativas aos canais de ligação (2a, 2b e 2c), Imbé e Tramandaí, seções adjacentes, possuem concordância na distribuição dessas feições, cobrindo quase a totalidade das duas linhas, com exceção de um pequeno setor atenuado na porção intermediária de Tramandaí. Esta localidade também é a que, de maneira geral, possui a menor profundidade limite de sinal se comparada com as outras seções, ao norte e a sul, ficando evidentes dados em profundidades até 6,5 m.

Assim, em Imara, Santa Teresinha, Imbé e Tramandaí foram evidenciadas feições em subsuperfície indicativas de *inlets* (Rf 2a, 2b e 2c) em setores mais interiorizados até profundidades que variam de 6,5 a 10 m dependendo da seção. Os *inlets* ocorrem quase sempre na porção mais continental, sendo exceção a localidade de Imara onde eles ocorrem mais próximos ao mar.

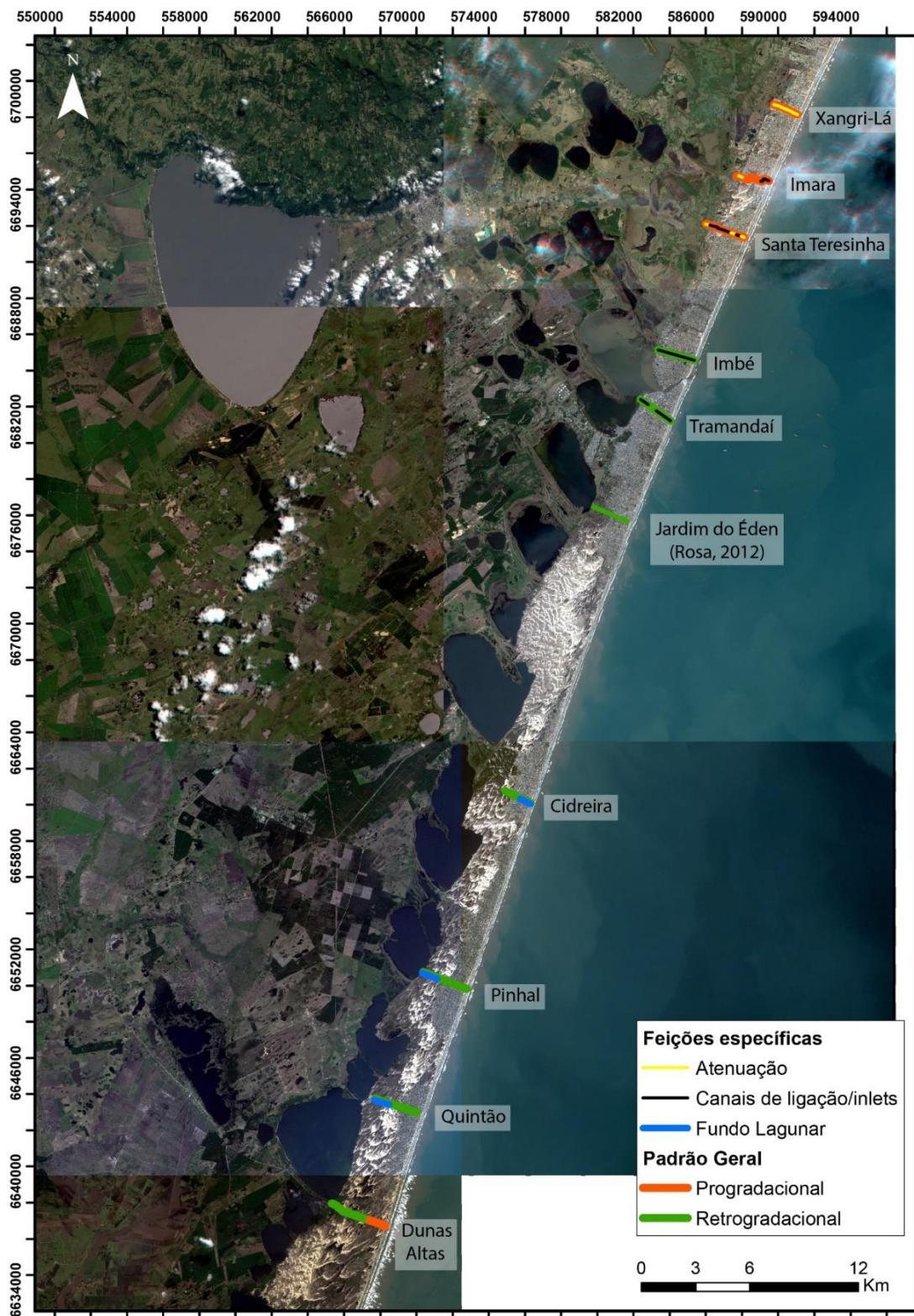


Figura 27. Mapa de integração dos dados com a distribuição das principais feições identificadas.

5 DISCUSSÕES

Após a integração dos dados obtidos tanto em superfície quanto em subsuperfície, o primeiro aspecto que se destaca é com relação à morfologia da linha de costa. Como já descrito por Dillenburg *et al.* (2000, 2005, 2009), a barreira costeira holocênica na PCRS é regida pelo balanço de sedimentos: positivo nos embaiamentos costeiros, onde a linha de costa é regressiva/progradacional, e negativo nas projeções costeiras, formando uma linha de costa transgressiva/retrogradacional.

A análise em subsuperfície da região estudada permitiu constatar, em escala de detalhe, uma variação deste comportamento, que nem sempre coincide com a morfologia em superfície. Assim, porções do embaiamento, onde o caráter evolutivo esperado seria progradacional, possuem um comportamento oposto. Isso ocorre nas seções de Imbé a Quintão, um setor compreendido dentro do embaiamento costeiro do Litoral Norte. Da mesma forma, Dunas Altas, já dentro de um contexto de projeção costeira, possui caráter em subsuperfície progradacional. Nesta área, a presença de um campo de dunas seria indicativa de linha de costa transgressiva, o que não foi observado. Toldo Jr. *et al.* (2006) atribuiu a disponibilidade de sedimentos neste local à mudança na orientação da linha de costa.

O setor compreendido entre Tramandaí e Cidreira, onde não foram coletados dados neste estudo, é discutido por Rosa (2012). Neste trecho, retrogradacional, ocorre também o registro de um afloramento de lamas de origem lagunar e de turfa na atual face de praia. Travessas *et al.* (2005) estabelece por datações a idade de 5.760 ± 120 ka, indicando que a barreira estaria em uma posição mais externa ou distal, sendo mais um indício de retrogradação.

Os paleocanais de ligação/*inlets* ocorrem quase sempre na porção mais continental, sendo exceção a localidade de Imara, onde eles ocorrem somente mais próximos ao mar. Em algumas seções os paleocanais se localizam sobre as feições de progradação, podendo indicar que este processo ocorria enquanto os canais estavam ativos. Superfícies de separação bem evidenciadas mostram “pulsos” de formação desses paleocanais, estabilizados em cada superfície com continuidade lateral e contraste salientado pelo aumento da amplitude de sinal nas bordas e

centro. Em Imara, os paleocanais possuem um tamanho aproximado de 60 m, e são representados por um conjunto de sobreposição de duas fases estáveis que não ultrapassam 7 m de profundidade.

A presença de diversas feições de *paleoinlets* ou paleocanais ao longo do setor estudado indica que estes estiveram ativos e conectavam os corpos lagunares e o mar aberto, sendo necessárias futuras análises para detalhar estas conexões. Para tanto se sugere a identificação nas regiões que apresentam essas feições da presença bioindicadores tais como conchas de organismos que indiquem um ambiente com contribuição de água salina, como realizado por Silva *et al.* (2014). O posicionamento das feições côncavas dos *inlets*, aproximadamente paralelas à linha de costa, sugere uma migração dos canais influenciada pela deriva litorânea de sedimentos.

Cidreira possui uma grande superfície mergulhante para NW muito similar às superfícies que migram para SE em Pinhal e Quintão. Essas três seções adjacentes apresentando, de norte para o sul, a mesma superfície obliqua em profundidades tão similares, com posicionamento mais externo bem como mergulho em direção oposta em Cidreira, indica uma possível ligação pretérita da feição em subsuperfície para essas localidades, podendo ser correlacionadas como superfície delimitadora do Pleistoceno. Pinhal e Quintão, poderiam já ter sofrido uma erosão mais acentuada, erodindo a superfície equivalente à observada em Cidreira, mergulhante para NW. O resultado da conexão entre essas três localidades seria uma feição com mergulho bidirecional nas bordas, que possuem uma distância entre elas de aproximadamente 2 km e que se desenvolveria paralela à linha de costa, representando um possível sistema lagunar.

A presença de pulsos de retrogradação com refletores sigmoidais e terminação em *downlap* (Rf 3b – Quadro 6) inclinadas no sentido do continente representam um preenchimento do corpo lagunar (Barboza *et al.*, 2011). As seções de Pinhal e Quintão demonstram quatro fases de estabilização desse preenchimento indicadas pelas superfícies de maior amplitude de sinal, que representam paleomargens lagunares. Estes canais são sobrepostos em posições que destoam da imediatamente sotoposta, indicando uma colmatação do corpo lagunar desuniforme. Em Quintão esta observação fica mais dificultada pela atenuação e

quantidade de ruídos da seção, porém é possível identificar os mesmos refletores e morfologias com menor amplitude de sinal. A presença de refletores inclinados no sentido do continente em seções de georadar evidencia que a retrogradação ocorre através da erosão na face praial e migração de sedimentos provenientes da barreira para o interior de corpos lagunares, os quais ocorrem em sua retaguarda (Rosa, 2012). Essa migração pode ocorrer através de leques de sobrelavagem, por transporte eólico, fluvial e deltaico (Tomazelli, informação verbal, Lima *et al.*, 2012 *apud* Rosa, 2012). Nos corpos lagunares, os sedimentos são retrabalhados, passando a compor as margens lagunares, que vão crescendo no sentido do continente.

Os fundos lagunares entre profundidades de 12 m (Cidreira e Pinhal) e 14 m (Quintão), considerando um nível do mar na mesa cota, indicaria idade desse sistema lagunar ativo em aproximadamente 7,5 ka (Figura 3). Isso implicaria em um sistema de barreira equivalente para esse sistema lagunar. De fato, Travessas *et al.* (2005), através de dados morfológicos, litológicos, furos de sondagem e simulações com o software STM (*Shoreface Translation-Barrier Model*) propõe uma translação da linha de costa simulando uma elevação rápida do nível do mar (média de 1,2 cm/ano) entre 8,5 e 5,1 ka e os dados obtidos indicam uma linha de costa praticamente N-S há 5,1 ka, no máximo do nível relativo do mar holocênico (Figura 27). Posiciona-se, dessa forma, a linha de costa em Tramandaí em torno de 310 m ao oeste da atual e, em Jardim do Éden e Cidreira, ao leste da atual, a 350 e 850 m, respectivamente.

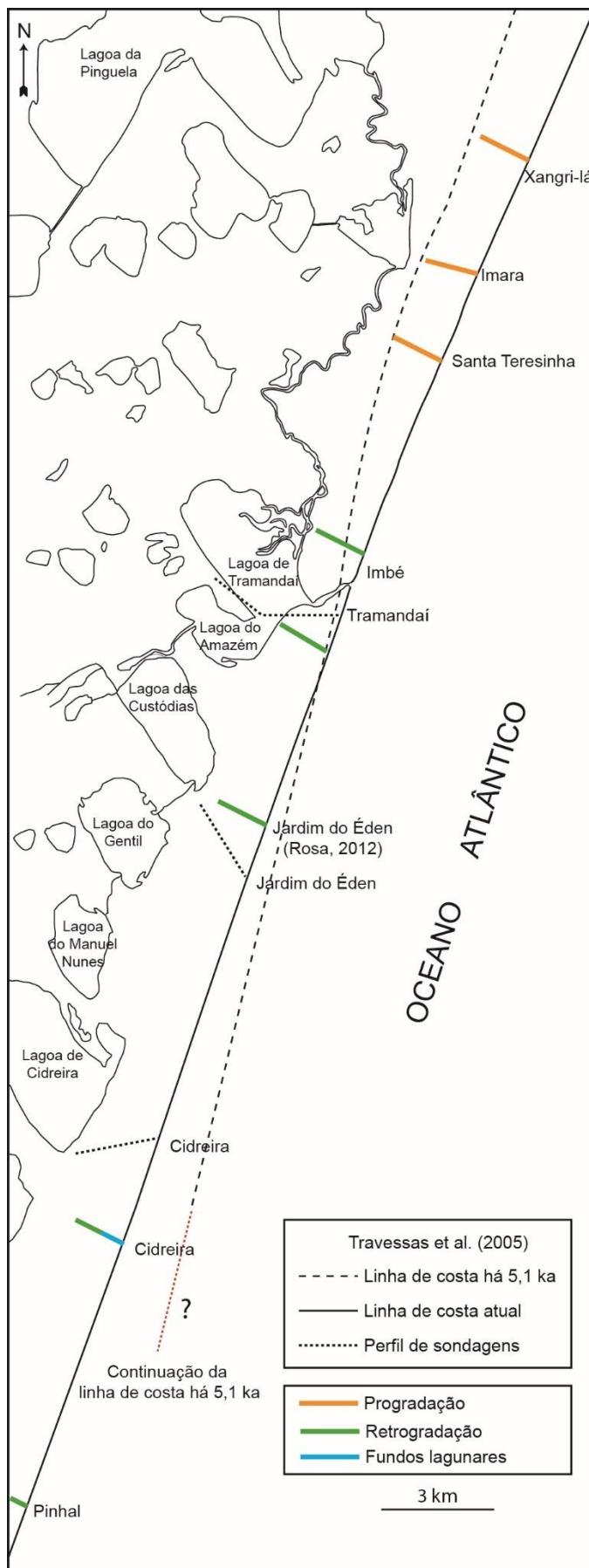


Figura 28. Comparação entre a linha de costa atual e em 5,1 ka A.P. (modificada de Travessas *et al.*, 2005).

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO SETOR TRANSICIONAL

A caracterização do setor transicional neste estudo deve levar em conta, primeiramente, a delimitação das porções progradantes e retrogradantes previamente definidas. A morfologia da linha de costa na quase totalidade do setor analisado é de embaiamento costeiro, com exceção de Dunas Altas que já se encontra em projeção. O registro em subsuperfície, no entanto, permite caracterizar esse setor de forma diferenciada ao expresso pelas características superficiais. O caráter progradacional, esperado para o setor de embaiamento, foi encontrado na porção norte entre Xangri-lá e Imbé, onde ocorre a inversão de comportamento. Dessa forma, o setor transicional seria localizado entre as Santa Teresinha, última seção progradacional, e Imbé, onde o caráter já se torna retrogradacional.

Das seções analisadas, Imbé é a única que possui feições de paleocanais em toda sua extensão, em profundidades de até 6 m. A retrogradação fica evidenciada sob os paleocanais. A seção subsequente, Tramandaí, possui a menor profundidade de sinal, 5,5 m e a retrogradação aparece tanto sob os *paleoinlets* quanto lateralmente a eles, na mesma profundidade. Estas relações estratigráficas demonstram que o processo de retrogradação, assim como o de progradação, ocorria ao mesmo tempo em que os canais de ligação estavam ativos. A baixa capacidade de penetração pode ser atribuída ao conteúdo mais expressivo dos teores de argila na região, já evidenciados pelos furos de sondagem (Dillenburg *et al.*, 2000, 2005; Travessas *et al.*, 2005), onde são encontradas lamas lagunares acima e abaixo dos depósitos arenosos dos leques de sobrelavagem.

Apesar de Dillenburg *et al.* (2000 e 2005) e Travessas *et al.* (2005) terem demonstrado características litológicas com furos de sondagem que indiquem que na porção leste o registro em Tramandaí ocorra um caráter regressivo ou progradante, este estudo posiciona o setor transicional mais ao norte, uma vez que a seção em Imbé ainda possui um comportamento francamente retrogradacional em subsuperfície. Além disso, as peculiaridades encontradas entre Imbé e Tramandaí como a menor profundidade de sinal decorrentes do alto teor de argila, bem como as feições de *inlets* presentes por toda a extensão da seção, representando uma maior dinamicidade com a migração lateral de *inlets*, sugere um comportamento diferenciado para esse setor, podendo ser um primeiro indicativo de uma mudança

de comportamento evolutivo ou mesmo um setor com comportamento exclusivamente transicional, uma vez que não se encontram essas características em nenhum outro local analisado.

Da mesma maneira, Travessas *et al.* (2005) propõem através de simulação computacional uma linha de costa praticamente N-S para 5,1 ka, onde o ponto de influxo de uma costa mais interna e mais externa seria na região de Tramandaí. Tal resultado se deve à diferença na declividade do substrato, maior em Cidreira ($0,069^\circ$) e menor em Tramandaí ($0,062^\circ$), demonstrando que pequenas variações de declividade são capazes de gerar significativas diferenças na translação horizontal da barreira, quando submetida a uma elevação do nível (Roy *et al.*, 1994 *apud* Travessas *et al.*, 2005).

Dessa forma, o setor transicional ficaria posicionado entre Tramandaí e Santa Teresinha, onde as características do registro estratigráfico são diferenciadas de todos os outros segmentos estudados. Como Tramandaí e Imbé são seções que ainda possuem caráter estratigráfico retrogradante, esta região seria uma transição entre as seções mais ao sul, representativas do setor francamente retrogradacional, e as seções mais ao norte, francamente progradacionais. A presença do canal de Tramandaí também sugere um comportamento diferenciado para esse setor.

Sugere-se o aprofundamento do conhecimento acerca dessa porção da costa, utilizando-se uma malha de dados com GPR mais densa entre Tramandaí e Santa Teresinha, adquirindo seções perpendiculares à costa, bem como a realização de furos de sondagem compondo uma associação de técnicas que refinem as características do registro estratigráfico transicional desse setor do Litoral Norte do Rio Grande do Sul.

6 CONCLUSÕES

Os dados e análises presentes neste trabalho permitiram concluir que a morfologia da linha de costa, composta por embaiamentos e projeções costeiras, nem sempre indica o comportamento estratigráfico em subsuperfície. O estudo permitiu setorizar o trecho estudado em porções que apresentam comportamentos similares. O setor entre Xangri-lá e Santa Teresinha apresenta registro progradacional, com a presença de paleo-*inlets*. O setor sul, entre Imbé e Quintão, possui características retrogradacionais, com variações significativas entre Imbé e Tramandaí. Já Dunas Altas, no extremo sul, possui registro progradacional.

A constatação de um comportamento retrogradacional indica que, em alguns setores da costa do Rio Grande do Sul, o máximo transgressivo holocênico está acontecendo atualmente, posicionando a barreira holocênica nesses setores em uma direção mais externa no sentido da bacia durante o período do máximo do nível relativo do mar, há aproximadamente 6 ka.

Os dados de superfície utilizados não foram suficientes para descrever comportamentos ou fornecer dados que corroborassem com os demais dados do trabalho, devido à escala de análise. Critérios de análise de superfície como os descritos por Rosa (2012) e Barboza & Rosa (2014) associam concentrações de vegetação com setores progradantes e campos de dunas transgressivos com porções em retrogradação, porém os mesmos não foram possíveis de serem associados ao comportamento da linha de costa neste estudo. Diferenças na morfologia apenas foram observadas pelas concentrações de vegetação com início de fases comportadas por cordões de dunas transgressivas ao norte e, ao sul, a ocorrência de grandes campos de dunas transgressivos.

Os dados de subsuperfície foram cruciais para a determinação do comportamento da linha de costa e caracterização da barreira. Os dados coletados não permitiram inferir a causa da mudança de comportamento, porém ressalta-se a influência de diferentes fatores em cada setor da costa em diferentes escalas espaciais e temporais, como morfologia antecedente, suprimento sedimentar, regime de ondas e declividade do substrato.

Alternâncias ocorrem ao longo de costa e são passíveis de observação através de aspectos morfológicos. Porém, a análise do registro estratigráfico demonstrou uma variação de maior frequência dentro de setores cuja morfologia indicaria um comportamento mais uniforme. Sendo assim, a delimitação de setores progradacional, retrogradacional e transicional indica variações nos processos envolvidos local e regionalmente, compondo um comportamento de alternância dos regimes como um fractal da costa.

REFERÊNCIAS

- BAKER, G.S.; JOL, H.M. 2007. **Stratigraphic Analyses Using GPR**. Boulder: The Geological Society of America, p.1-18.
- BARBOZA, E.G; DILLENBURG, S.R.; ROSA, M.L.C.C.; TOMAZELLI, L.J & HESP, P.A. 2009. Ground-penetrating radar profiles of two Holocene regressive barriers in southern Brazil. **Journal of Coastal Research**, Special Issue, 56:579-583.
- BARBOZA, E.G.; ROSA, M.L.C.C.; HESP, P.A.; DILLENBURG, S.R.; TOMAZELLI, L.J. & AYUP-ZOUAIN. 2011. Evolution of the holocene coastal barrier of Pelotas Basin (southern Brazil) – a new approach with GPR data. **Journal of Coastal Research**, Special Issue, 64:646-650.
- BARBOZA, E.G.; ROSA, M.L.C.C. 2014. Indicadores geológicos e geomorfológicos de setores em erosão na costa do Rio Grande do Sul. In: César Goso. (Org.). **Nuevas miradas a la Problemática de los ambientes costeros Sur de Brasil, Uruguay y Argentina**. 1 ed. Montevideo, v. 1, p. 83-98.
- BARBOZA, E.G.; ROSA, M.L.C.C.; CARON, F. 2014. Metodologia de Aquisição e Processamento em Dados de Georadar (GPR) nos Depósitos Quaternários da Porção Emersa da Bacia de Pelotas. In: VI Simpósio Brasileiro de Geofísica, 2014, Porto Alegre-RS. Resumos Expandidos. v. 1. p. 1-6.
- CARON, F.; TOMAZELLI, L.J.; LIMA, L.G.; BARBOZA, E.G.; ROSA, M.L.C.C.; DILLENBURG, S.R. 2011. Características estratigráficas da barreira transgressiva holocênica na Praia dos Concheiros, Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. In: XIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Búzios. **Resumos**.
- 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**. Porto Alegre, 167 p., Tese de doutorado, Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

-
- 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 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.G. 2007. A barreira costeira de Dunas Altas no Litoral médio do Rio Grande do Sul: um exemplo de barreira agradacional ou estacionária. In: **Anais...** XI Congresso da ABEQUA, 2007, Belém.
- 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, p.53-91.
- FLORENZANO, T.G. 2008. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo, Oficina de Textos. 318p
- FRACALOSSI, F.G.; BARBOZA, E.G., ROSA, M.L.C.C. & SILVA, A.B. 2010. O registro em subsuperfície da barreira pleistocênica entre Osório e Tramandaí – RS. **Gravel**, 8:21-31.
- JOL, H.M. & BRISTOW, C.S. 2003. GPR in sediments: advice on data collection, basic processing and interpretation, a good practice guide. In: BRISTOW, C.S. & JOL, H.M. (eds), **Ground Penetrating Radar in Sediments**. Geological Society, London Special Publications, 211:09-27.
- LIMA, L.G. 2008. **Estratigrafia e evolução da barreira holocênica na praia do Hermenegildo (RS)**. Porto Alegre, 72p., Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- LIMA, L.G.; DILLENBURG, S.R.; BARBOZA, E.G.; ROSA, M.L.C.C.; STEVAUX, R.S. & MORAIS, T.A. 2011. Estratigrafia da zona de transição entre as fases transgressiva e regressiva de uma barreira costeira. In: XIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Búzios. **Resumos**.

MARTINI, I.P. & WANLESS, H.R. 2014. **The strike-fed sandy coast of Southern Brazil.** In S. Dillenburg, & E.G. Barboza (Ed.). Sedimentary Coastal Zones from High to Low Latitudes: Similiarities and Differences. London, Geological Society of London.

NEAL, A. 2004. Ground-penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems and progress. **Earth Science Reviews**, 66:261-330.

NOVO, E.M.L.M. 2010. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações.** São Paulo, 4 Ed. Edgar Blucher. 388p.

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**, Special Issue, 64:686-690.

ROSA, M.L.C.C. 2012. **Geomorfologia, estratigrafia de sequências e potencial de preservação dos sistemas laguna-barreira do Quaternário costeiro do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, 232 p., Tese de doutorado, Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SILVA, A.B. 2011. **Análise estratigráfica da barreira transgressiva holocênica na região da Lagoa do Sombrio, SC.** Porto Alegre, 59p. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SILVA, A.B.; 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. **Journal of Coastal Research**, 70.

TOLDO Jr., E.E.; NICOLODI, J.L.; ALMEIDA, L.E.S.B. & CORRÊA, I.C.S. 2006. Coastal Dunes and Shoreface Width as a Function of Longshore Transport. **Journal of Coastal Research**. Itajaí, SC, Special Issue, 39.

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

TOMAZELLI, L.J. & VILLWOCK, J.A. 2005. Mapeamento geológico de planícies costeiras: o exemplo da costa do Rio Grande do Sul. **Gravel**, 3:109-115.

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

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