

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
CURSO DE GEOLOGIA

RAFAEL GRAF

GEOMETRIA DEPOSICIONAL DO INÍCIO DA FORMAÇÃO DA ILHA COMPRIDA-
SP. A GÊNESE DA BARREIRA COSTEIRA DA ILHA COMPRIDA-SP, COM BASE
EM DADOS DE GEORADAR

CURITIBA
2017

RAFAEL GRAF

GEOMETRIA DEPOSICIONAL DO INÍCIO DA FORMAÇÃO DA ILHA COMPRIDA-
SP

A GÊNESE DA BARREIRA COSTEIRA DA ILHA COMPRIDA-SP, COM BASE EM
DADOS DE GEORADAR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito
parcial à obtenção de grau de Geólogo no Curso de Graduação
em Geologia, Setor de Ciências da Terra da Universidade
Federal do Paraná

Orientador: Professor Dr. Carlos Conforti Ferreira Guedes

Co-orientador: Professor Dr. Rodolfo José Ângulo.

CURITIBA
2017

RESUMO

A análise de linhas de *Ground Penetration Radar* (GPR) geradas na parte sul da Ilha Comprida-SP permitiu a caracterização faciológica dos estratos correspondentes ao início da evolução da barreira arenosa. Ao todo foram analisadas 22 linhas de GPR com 10 linhas perpendiculares e 12 paralelas à linha de costa. Com o uso do *software* RADAM 6.6 as imagens foram processadas através dos filtros de remoção de ruídos contínuos (*background removal*) e ganho de sinal (*range gain*). O principal critério de distinção de radarfácies baseou-se na geometria dos estratos podendo ser sub-horizontal ou oblíqua, observou-se ainda refletores com baixa orientação ou estruturas anômalas interpretadas, respectivamente, como consequência da variação textural dos estratos e possíveis defeitos no processamento das imagens. A análise morfológica das radarfácies permitiu a caracterização a respeito dos ambientes deposicionais desenvolvidos na região no início de evolução da ilha, sendo observados sistemas de dunas frontais, frentes praias regressivas e canais de maré. A definição dessas fácies associadas à imagens aéreas e trabalhos anteriores apoiam a ideia da qual a Ilha Comprida possui sua gênese relacionada a eventos costeiros regressivos sobrepostos a eventos transgressivos.

Palavras-chaves: Ilha Comprida, GPR, Padrão de empilhamento.

ABSTRACT

The analysis of Ground Penetration Radar (GPR) lines generated in the southern part of the Ilha Comprida-SP allowed the faciological characterization of the sets corresponding to the beginning of the evolution of the sandy barrier. In all, 22 GPR lines with 10 perpendicular lines and 12 lines parallel to the coastline were analyzed. With the use of RADAM 6.6 software, the images were processed through the background removal and range gain filters. The main criterion for the distinction of radarfacies was based on the geometry of the strata, which may be sub-horizontal or oblique, but also reflectors with low orientation or anomalous structures, interpreted as, respectively, as a consequence of the textural variation of the strata and possible defects in the processing images. The morphological analysis of the radarfacies allowed the characterization of the depositional environments developed in the region at the beginning of the evolution of the island, with frontal dune systems, regressive beach facies and tidal channels. The definition of these facies associated with aerial images and previous works supports the idea of which Ilha Comprida has its genesis related to regressive coastal events superimposed on transgressive events.

Keywords: Ilha Comprida, GPR, Stacking pattern.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à todas as pessoas que de forma direta ou indireta colaboraram para a elaboração deste trabalho juntamente com o presente relatório. Primeiramente um agradecimento à população brasileira que à base dos impostos prestados à União colaboraram respeitosamente nos recursos necessários para a elaboração deste trabalho em todas suas etapas, desde a fundamentação teórica, requerimento e processamento das imagens, infraestrutura, conclusão e discussão dos dados. Agradeço também o Departamento de Geologia bem como à Universidade Federal do Paraná – UFPR e ao Setor de Ciência da Terra, pela oportunidade de produzir esta pesquisa. De grande importância foi o conhecimento e experiência repassados pelos professores do Departamento, especialmente a dedicação, presença e ótima orientação dos professores Carlos Conforti Ferreira Guedes e Rodolfo José Angulo que me orientaram com maestria nesse complexo e gratificante trabalho. Um agradecimento especial à minha namorada Nathália Marques Gomes pelo suporte, apoio emocional, dicas e companheirismo na confecção deste trabalho. Por fim agradeço também aos amigos e familiares, principalmente meus pais, irmãos, cunhados e sobrinhos por toda a ajuda e atenção prestados diariamente ao longo desses meses de pesquisa e relatório. Muito Obrigado!

“Quem não sabe por que caminho chegará
ao mar, deve tomar o rio por companheiro”

Plauto

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa geológico da planície sedimentar entre Cananéia e Peruíbe e arredores. Modificado e simplificado de IPT (1981). Retirado de Nascimento Jr. et al., 2008	11
Figura 2: Quadro esquemático sobre a primeira fase de evolução da ilha comprida para (A) Geobras (1966), (B) Suguio & Martin 1978 e (C) Guedes et. al., 2011.....	15
Figura 3: Aumento da área pelo tempo. Linhas contínuas: Curvas do desenvolvimento do nível relativo do mar por Angulo et al., 2006. A: Fim do bloqueio dos morros perto de Pedrinhas em 5,9 +- 0,4 ka; B: Fim do bloqueio da Pedra do Tombo em 5,2+-0,4 ka; C: Começo do bloqueio dos morros perto de Iguape em 1971+-154 a; D: Fim do bloqueio dos morros perto de Iguape (222+-23a) e abertura do Valo Grande (1852 D.C); LIA: intervalo da Pequena Idade do Gelo (1450-1850 D.C.). Modificado de Guedes et al. (2011).	16
Figura 4: Imagem dos dados de GPR brutos da linha ICA____011.....	18
Figura 5: Imagem de GPR da linha ICA____011, paralela à costa, após a passagem dos filtros de remoção de ruídos contínuos (<i>background removal</i>) e ganho de sinal (<i>range gain</i>).	19
Figura 6: Imagem da linha ICA____011 interpretada.	20
Figura 7: Figura de localização evidenciando as linhas de GPR ao sul da Ilha Comprida-SP.	20
Figura 9: Radarácies observadas com sua descrição e ocorrência.....	23
Figura 10: Linha de GPR ICA009, oblíqua à costa, mostrando estratos tabulares, aproximadamente 50 m, voltados para o mar definindo a fácies Fs-Tab. Essas feições estão associadas às fácies praias regressivas.	24
Figura 11: Linha de GPR ICA002, oblíqua à costa. Em detalhe estratificação cruzada tabular dos refletores o que define a fácies Fs-Cruz. Esta porção da linha está associado a truncamentos de dunas frontais.....	24
Figura 11: Linha de GPR ICA008, oblíqua à costa. Em destaque a fácies Fs-On, a qual está associada aos depósitos eólicos, gerando as dunas frontais.	25
Figura 12: Linha de GPR ICA002, oblíqua à costa. Observa-se feição lenticular atribuída à canais de maré, nota-se truncamentos internos.	25
Figura 13: Linha de GPR ICA006, oblíqua à costa. Observa-se feição de canal em forma de “v” aberto.....	26
Figura 14: Imagem de satélite com indicação da linha de GPR e local aonde foi observada as radarfácies Fs-Can e Fs-Ca, interpretados como canais de maré. As feições geométricas dessas fácies assim como a proximidade de sua ocorrência com canais atuais.	26
Figura 15: Linha de GPR ICA015, oblíqua à costa. Refletores tabulares descontínuos definem a fácies Fs-Td.	27
Figura 16: Linha de GPR ICA021, paralela à costa. Observa-se estratos tabulares, contínuos, os quais definem a fácies Fs-Tc.	27
Figura 17: Linha de GPR ICA016, paralela à costa. Baixa orientação dos refletores e baixo contraste de imagem caracterizam a fácies Fs-Bo.....	28
Figura 18: Linha de GPR ICA022, oblíqua à costa. Fs-Hip definida por hipérboles sem ordem aparente, com alto contraste no fundo.	28
Figura 19: Localização das linhas onde foram observadas as radarfácies de cordões regressivos	30

Figura 20: ICA____011, paralela à costa: Refletores métricos com truncamentos internos indicando ambiente deposicional de regime praial, com possibilidade de variações do nível energético do meio.....	31
Figura 21: Estratificação do tipo hummocly na porção sudoeste da Ilha Comprida.....	32
Figura 22: Linha ICA____006, pralalela à costa: Radarfácies com truncamento interpretado como dunas frontais.....	33
Figura 23: Afloramento de duna frontal na porção sudeste da ilha.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Informações sobre as linhas de GPR analisadas.	21
Tabela 2: Linha de GPR com as respectivas radarfácies e ambientes deposicionais inferidos	29

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. ESTADO DA ARTE	11
2.1 ILHA COMPRIDA, ASPECTOS GERAIS.....	11
2.2 ILHA COMPRIDA, MODELOS EVOLUTIVOS.....	11
2.3 O MÉTODO <i>GROUND PENETRATION RADAR</i> (GPR).....	16
3. MATERIAIS E MÉTODOS	17
4. RESULTADOS	21
5. DISCUSSÕES	29
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	34
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36

1. INTRODUÇÃO

O estudo de ambientes costeiros possui grande importância uma vez que grande parte da população mundial vive nessas regiões. Com mais de 8500 km de costa, o Brasil possui aproximadamente metade de sua população nos 200 km mais próximos ao mar. O estado de São Paulo possui a quinta maior densidade demográfica na zona costeira (Moraes 1999). Desta forma destaca-se o grande valor da compreensão quanto à evolução e desenvolvimento das regiões costeiras, as quais possuem grande dinamicidade devido às modificações erosionais e deposicionais atrelados à rios, marés e ondas.

O presente trabalho visa o estudo da porção sudoeste da Ilha Comprida, localizada no litoral sul paulista. A pesquisa se baseia na análise de vinte e dois perfis de linhas sísmicas geradas pelo método de GPR (*Ground Penetrating Radar*), a partir das quais se realizou o reconhecimento e interpretação de geometrias deposicionais com base nas radarfácies. A evolução da Ilha Comprida foi objeto de estudo de autores como Geobrás (1966), Suguio & Martin (1978) e Guedes *et al.* (2011). As propostas já existentes sobre o estágio inicial de evolução da Ilha Comprida afirmam seu crescimento de sudoeste para nordeste, entretanto há divergência de ideias quanto ao seu estágio inicial de evolução, podendo ser formada por barreiras pleistocênicas, barreiras transgressivas, regressivas ou em forma de esporão.

A justificativa do atual estudo contempla a interpretação de radarfácies dos depósitos iniciais da evolução da ilha para o melhor entendimento da dinâmica costeira instalada naquele período. Os levantamentos de GPR foram realizados pelo laboratório de estudos costeiros da UFPR (LECOST) junto à Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e as interpretações associadas aos modelos já definidos de evolução inicial da ilha. Como objetivos gerais deste trabalho se ressalta primeiramente a interpretação de radarfácies dos dados gerados pelo GPR associados à descrições e interpretações de trabalhos já realizados. Desta forma procura-se entender se a fase preliminar de crescimento da Ilha Comprida está associada a uma barreira transgressiva prévia à barreira regressiva ou se o início ocorreu na forma de esporão, ancorado no Morrete, única porção de rocha aflorante, de composição alcalina, sienítica (Spinelli & Gomes, 2009).

2. ESTADO DA ARTE

2.1 ILHA COMPRIDA, ASPECTOS GERAIS

Localizada no sul do litoral do estado de São Paulo, a Ilha Comprida possui aproximadamente 63 quilômetros de costa com alongamento SW-NE e 2 à 5 quilômetros de largura. A ilha dista cerca de 261 quilômetros da capital paranaense e situa-se aproximadamente entre as latitudes 24°45' e 25°05' S e longitudes 47° 0' e 47°55' W. A Ilha Comprida localiza-se na planície costeira entre Cananéia e Peruíbe (Figura 1), a qual é drenada, principalmente, pelo Rio Ribeira do Iguape, o maior rio a desembocar na costa paulista.

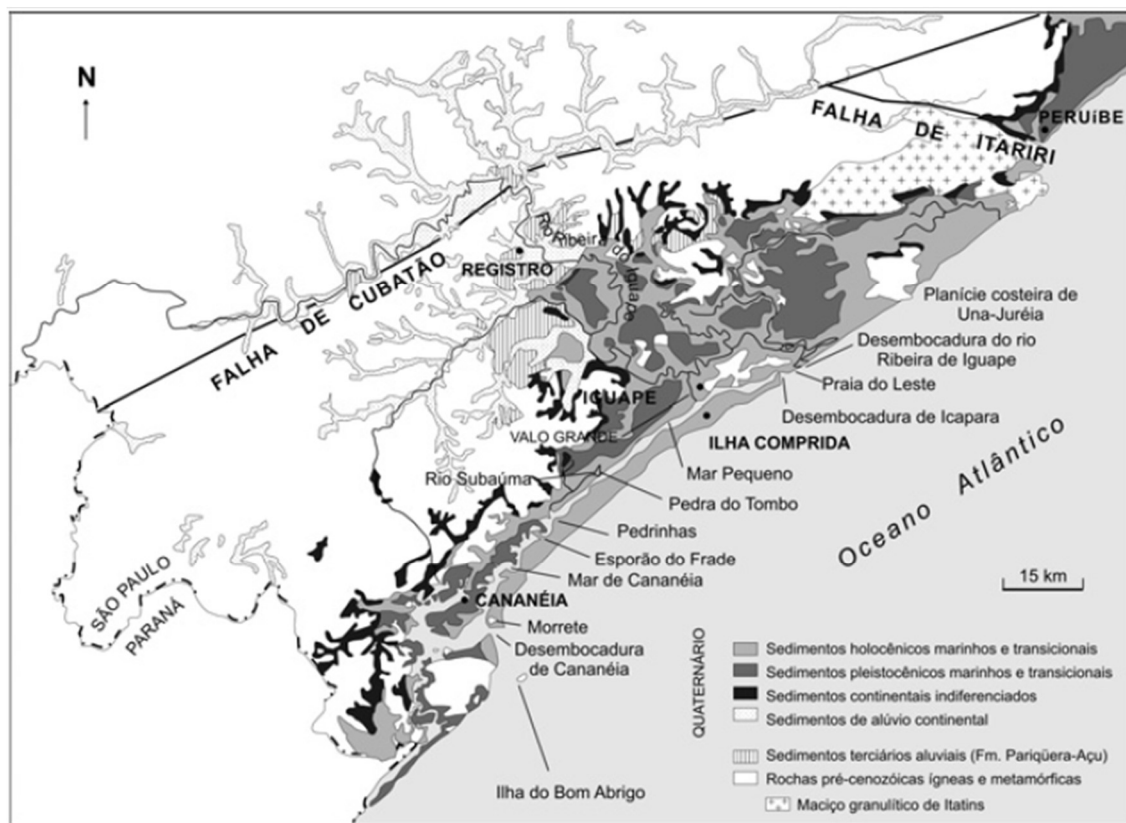


Figura 1: Mapa geológico da planície sedimentar entre Cananéia e Peruíbe e arredores. Modificado e simplificado de IPT (1981). Retirado de Nascimento Jr. et al., 2008

2.2 ILHA COMPRIDA, MODELOS EVOLUTIVOS

Sua gênese e modelo evolutivo foram alvo de estudos de Geobrás (1966), Suguio (1978) e Guedes *et al.* (2011).

Segundo Geobrás (1966), a condição de formação da Ilha Comprida deve-se, primeiramente, à regressão marinha no início do quaternário da qual gerou-se a planície costeira. Em seguida outra importante condição para o desenvolvimento da Ilha Comprida foi a formação do mar de Cananéia (baía de Trapandé) a partir da elevação que compõe a Ilha do Cardoso. Com a formação do mar de Cananéia a rede de drenagens da planície costeira ficou constituída tanto de drenagens perpendiculares à atual linha de costa, as quais desembocavam diretamente no mar, quanto de drenagens paralelas à atual linha de costa, as quais escoavam sentido SO até a nova baía formada. A partir de um processo de captura de drenagens iniciou-se de fato a formação da ilha Comprida, onde a erosão promovida pela drenagem transportava sedimentos da planície costeira até o mar de Cananéia, sendo estes retrabalhados pelas ondas e depositadas seguindo a deriva litorânea de sentido NE. Geobrás (1966) sugere idade entre 2.000 à 3.000 anos para a formação da Ilha Comprida, e que seu contorno em Iguape tenha durado aproximadamente de 500 à 800 anos.

Para Suguio & Martin (1978) a gênese da Ilha Comprida está associada às mudanças do nível do mar durante o Quaternário, principalmente no Holoceno. Para esses autores, com a transgressão Cananéia (pico máximo há 120.000 anos) o nível do mar subiu até o pé da Serra do Mar e sedimentos argilo-arenosos transicionais e areias litorâneas transgressivas (Fm. Cananéia) recobriram a Fm. Pariquera Açú (depósitos de sedimentos argilo-arenosos de idade plio-pleistoscênica os quais afloram em contato com o embasamento pré-cambriano). Com a regressão marinha, houve o depósito de facies praial no topo dos depósitos arenosos transgressivos. Em seguida, com o desenvolvimento da regressão marinha, o nível do mar atingiu a cota de aproximadamente -110m de desnível em relação ao atual nível do mar. Desta forma ocorre a erosão de parte de sedimentos depositados durante a transgressão Cananéia e formação e alargamento de vales a partir das drenagens anteriores. Posteriormente ocorre nova transgressão marinha (Transgressão Santos) e introdução do mar nas zonas mais baixas gerando extenso sistema de lagunas, onde foram depositados sedimentos argilo-arenosos regularmente ricos em matéria orgânica. Nesta fase, 5.100 anos antes do presente, os autores atribuem o crescimento, rumo norte, da barreira arenosa. Ainda neste período ocorre erosão das partes altas da Formação Cananéia e retrabalhamento destes sedimentos para a

formação de depósitos Holocênicos (Figura 2). Por fim, durante o retorno do mar ao nível atual, foram formados facies praial de regressão. Entretanto as gerações desses cordões estão atribuídas às oscilações do nível do mar deste período. Deste modo, na Ilha Comprida parecem existir duas gerações de cordões separadas por uma zona baixa mais ou menos pantanosa que pode ser seguida por cerca de 50 km.

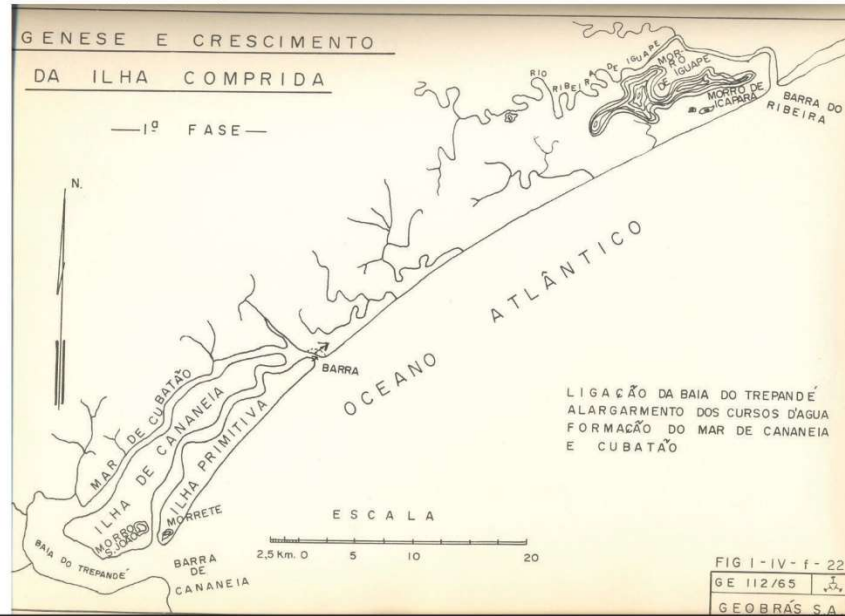
Além disso, Suguio & Martin (1978) citam a ocorrência, rumo sul, na altura do Rio Boguaçu, de um sambaqui sobre o primeiro cordão situado entre a zona baixa e o mar. Este sambaqui foi datado em 3.220 $\pm$ 90 anos; 3.090 $\pm$ 110 anos (Suguio e Martin 1978). Numerosos ossos de baleia encontrados neste sambaqui sugerem que ele foi construído próximo ao oceano, isto é, no início da construção dos cordões externos. Desta forma, se confirma que toda a parte da ilha situada entre a zona baixa e o oceano foi formada após o segundo máximo (3.500 anos). Entretanto, estudos como Angulo *et al.*, 2006, vem acrescentando importantes elementos aos debates entre geólogos costeiros sobre os problemas interpretativos e possíveis restrições ao uso direto das informações geradas pelos sambaquis com o propósito de estabelecer paleoníveis marinhos e paleolinhas de costa. Além de haver registros de sambaquis em regiões mais elevadas que as linhas de costa da época da construção do depósito antropogênico, muitos registros de sambaquis estão associados às lagunas e não necessariamente à linha de costa.

Para Guedes *et al.* (2011) a Ilha Comprida começou provavelmente como uma ilha de barreira transgressiva Holocênica. Sua primeira unidade data-se de aproximadamente 6.000 anos, formada ainda em período de elevação do nível do mar, antes do máximo Holocênico. Após a fase transgressiva inicial, a barreira progradou, até hoje, através de dois componentes principais de crescimento: longitudinal e transversal (Figura 3). De 6.000 à 5.000 houve crescimento acelerado, tanto longitudinal quanto transversal. De 5.000 à 1.900 anos atuou na barragem da Ilha Comprida crescimentos com taxas relativamente baixas (5,2 à 6,9 m/ano). De 1.900 à 200 anos aumentou o crescimento transversal devido ao bloqueio pelo morro perto de Iguape. Processos de ondas dominaram a progradação da barragem da ilha até 550 anos atrás. Entre 550 à 200 anos houve mudanças na morfologia dos facies praial, caracterizado pelo desenvolvimento de campos de dunas e rupturas de deflação. O autor cita que tais mudanças podem estar relacionadas à ventos e tempestades devido ao aumento das frentes frias durante a Pequena Idade do Gelo

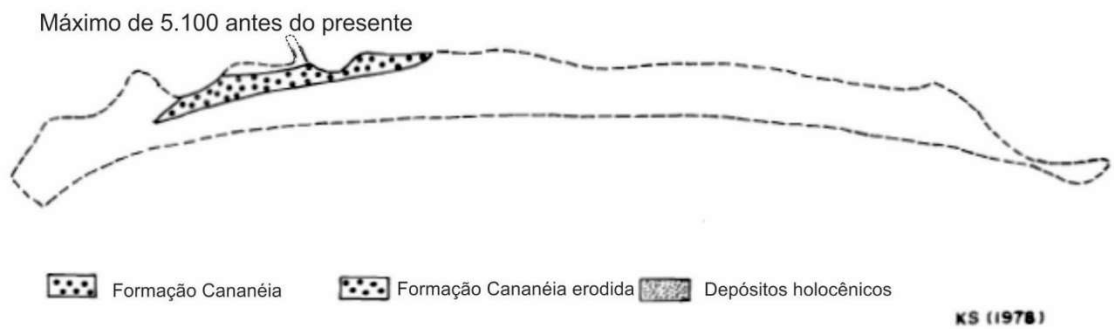
(Sawakuchi *et al.*, 2008). Desde o fim da Pequena idade do gelo, a superação do bloqueio dos morros perto de Iguape e a abertura artificial do canal do Valo Grande (em 1852) se observou aumento nas taxas de crescimento longitudinal e transversal (25 a 30 m / ano). Esta taxa mais alta deve-se provavelmente à abertura do Valo Grande, que intensificou a dinâmica do canal na entrada de Icapara e seu efeito de descarga hidráulica. A substituição de cordões praias por cordões de dunas frontais, verificados nas fases anteriores de desenvolvimento barreira, indicam que o padrão do vento, aparentemente, permaneceu mais intenso após o LIA. Devido às altas taxas de progradação longitudinal nas extremidades da ilha, o componente de crescimento transversal tem sido irregular em toda a ilha nesta última fase.

As figuras a seguir exemplificam o início da evolução da Ilha Comprida de acordo com os autores Geobras (1966), Suguio & Martin (1978) e Guedes *et. al.*, 2011.

A Geobras (1966)



B Suguio & Martin (1978)



C Guedes *et. al.*, 2011



Figura 2: Quadro esquemático sobre a primeira fase de evolução da ilha comprida para (A) Geobras (1966), (B) Suguio & Martin 1978 e (C) Guedes *et. al.*, 2011.

Uma antena transmissora dipolar instalada sobre a superfície emite pulsos eletromagnéticos para o substrato, ao encontrar mudanças nas propriedades físicas (elétricas e magnéticas) entre os materiais em subsuperfície, o sinal é refletido e registrado em tempo duplo (tempo de ida e volta) por outra antena receptora, também disposta na superfície. As ondas refletidas recebidas pela antena receptora são convertidas em sinais elétricos e transmitidas para a unidade de controle, amplificadas, registradas e gravadas em um computador. (Rodrigues, 2004). Uma imagem de alta definição da subsuperfície chamada radargrama é gerada a partir do tempo de propagação da onda refletida. A velocidade de propagação de uma onda é diretamente influenciada pela frequência do pulso transmitido e das diferentes propriedades elétricas dos diferentes materiais em subsuperfície (resistividade, constante dielétrica e susceptibilidade magnética; da Silveira, 2012).

O método GPR é sensível a meios onde a condutividade elétrica é elevada, fator que pode causar forte atenuação do sinal e, desta forma, limitar a profundidade de penetração da onda eletromagnética. Meios mais argilosos podem gerar atenuação do sinal pois modificam a condutividade elétrica do meio, tornando-a mais elevada. (Ortega, 2006).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O entendimento da evolução da porção sul da Ilha Comprida foi realizado por meio da leitura dos trabalhos anteriores associado à análise e interpretação de vinte e dois perfis de GPR feitos na parte sudoeste da ilha, sendo dez perfis transversais à linha de costa e doze paralelos à subparalelos à linha de costa.

Para compreensão preliminar da área de estudo foram estudados em detalhe trabalhos anteriores da evolução da Ilha Comprida de autores como Geobrás (1966), Suguio & Martin (1978) e Guedes *et al.* (2011).

O estudo de subsuperfície decorreu da caracterização faciológica dos perfis das linhas geofísicas, as quais foram geradas pelo método GPR (*Ground Penetrating Radar*). Os caminhamentos das linhas foram realizados no dia 06/08/2012 e foram obtidos por meio de antenas aéreas de 150 MHz em arranjo biestático (marca Radarteam), coletor SIR-3000 (marca GSSI) - método common offset. O

posicionamento das linhas foi realizado com GNSS topográfico Pro-XRS (marca Trimble) - método pós-diferencial.

Para melhorar a relação sinal-ruído as linhas foram processadas a partir das filtragens de remoção de ruídos contínuos (*background removal*) e ganho de sinal (*range gain*).

O processamento deve ser feito pelas seguintes razões:

- Para remover o sinal indesejado (ruído) dos dados e assim melhorar a interpretação dos dados.
- Corrigir erros geométricos e fornecer uma interpretação espacial e de profundidade mais precisa.
- Para converter de tempo em profundidade e fornecer informações precisas em seções profundas.
- Para fornecer exibições as quais são compreensíveis de entender em relação aos dados brutos.

As imagens de GPR não processadas não são passíveis de interpretação, devido à interferência e perturbação de ruídos e artifícios. Desta forma as imagens geradas não evidenciam as feições de subsolo como se nota na Figura 5.

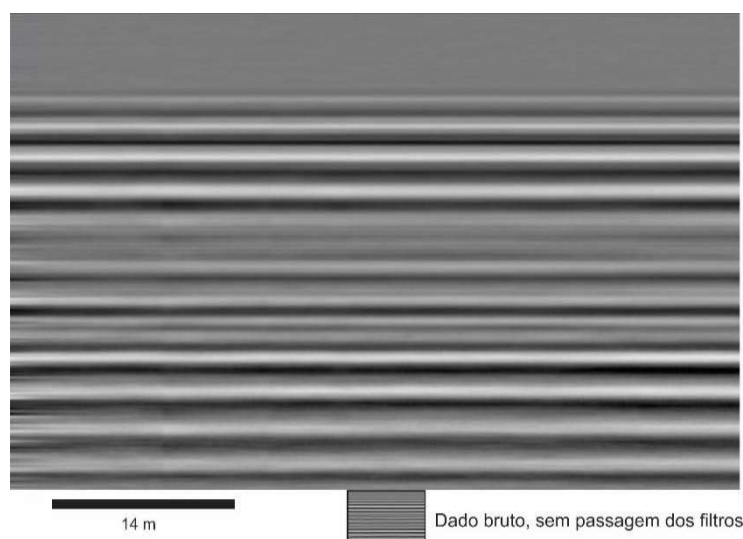


Figura 4: Imagem dos dados de GPR brutos da linha ICA____011.

Após a passagem dos filtros supracitados as imagens salientam alguns refletores e seus truncamentos (Figura 6), os quais serão trabalhados com o programa de desenho CorelDRAW X8 (Figura 7) e posteriormente interpretadas.

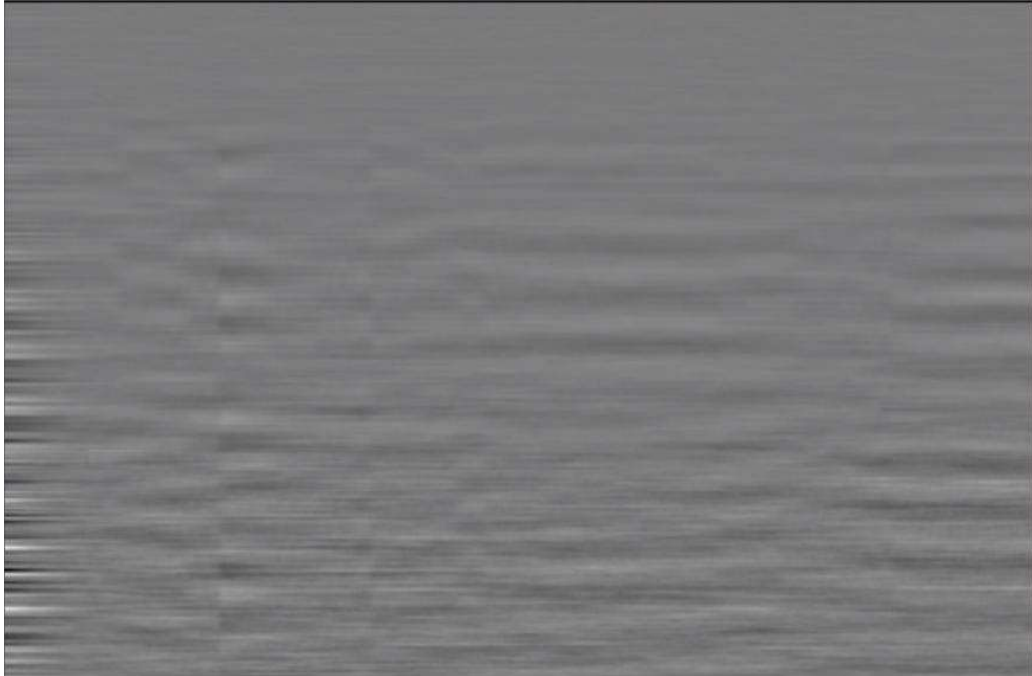


Figura 5: Imagem de GPR da linha ICA____011, paralela à costa, após a passagem dos filtros de remoção de ruídos contínuos (*background removal*) e ganho de sinal (*range gain*).

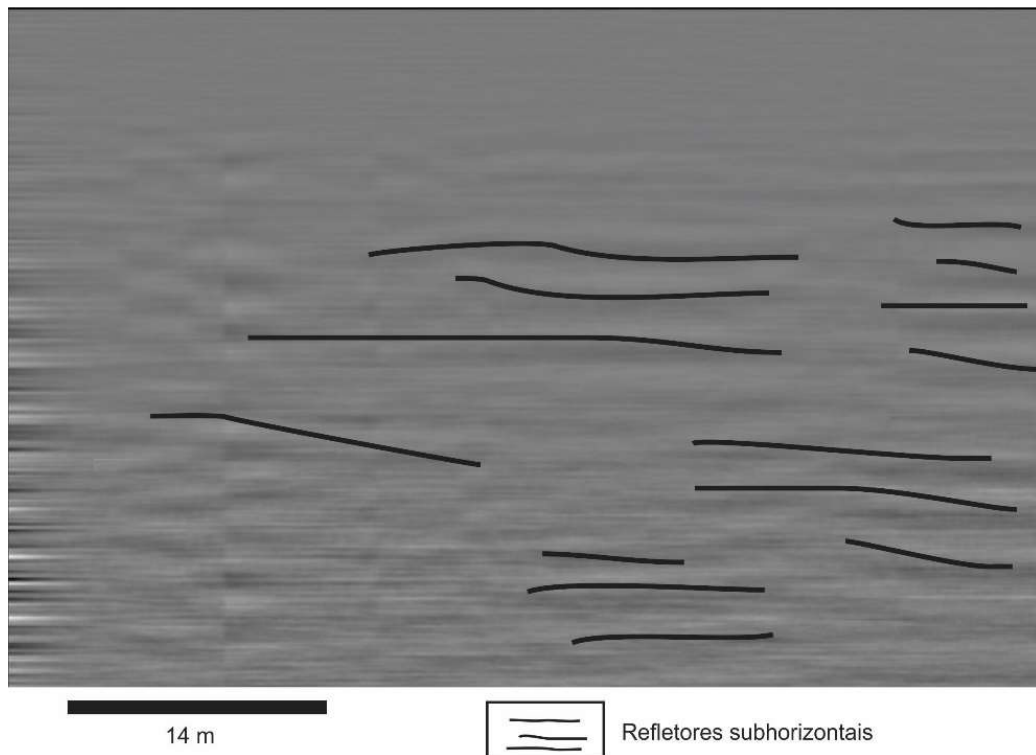


Figura 6: Imagem da linha ICA____011 interpretada.

O mapa abaixo apresenta as linhas de GPR a partir das quais foram realizadas as interpretações das radarfácies (Figura 8).

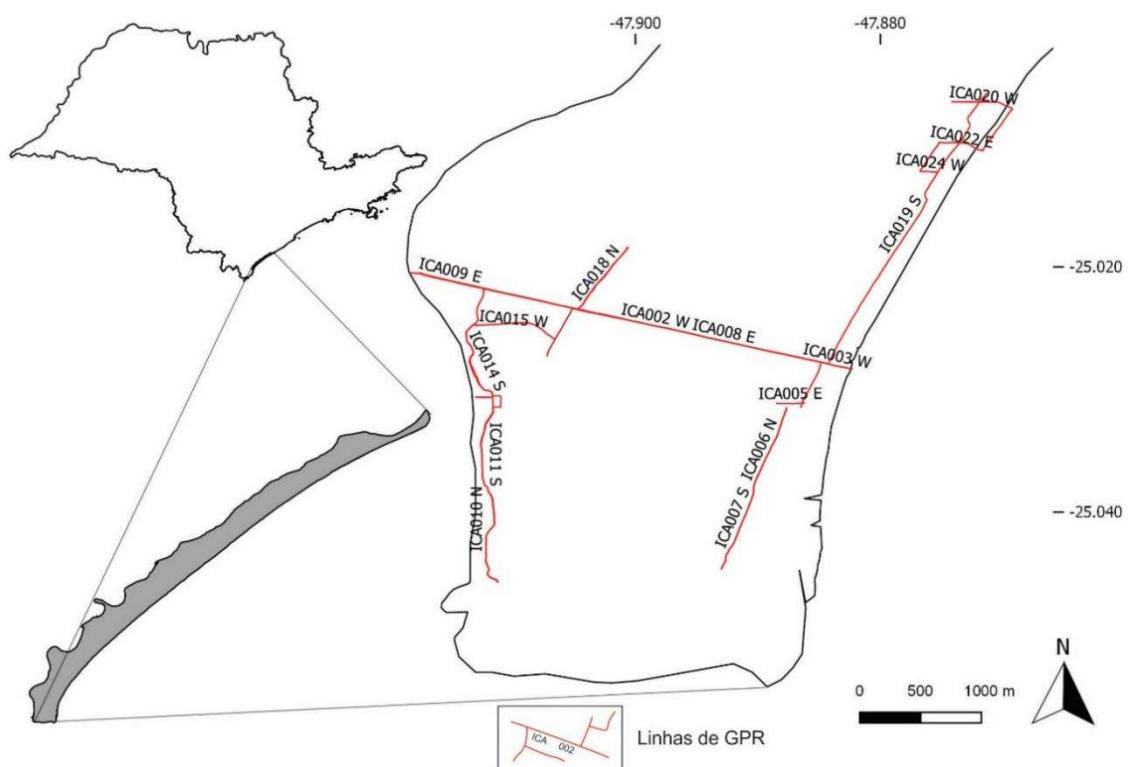


Figura 7: Figura de localização evidenciando as linhas de GPR ao sul da Ilha Comprida-SP.

A tabela abaixo exibe as linhas de GPR, seu comprimento assim como sua orientação em relação à costa (Tabela 1).

Número da linha	Comprimento	Orientação em relação à costa
ICA____002	3.756 m	Oblíqua
ICA____003	88 m	Oblíqua
ICA____004	458 m	Paralelo
ICA____005	255 m	Oblíqua
ICA____006	1.580 m	Paralelo
ICA____007	1592	Paralelo
ICA____008	3.500 m	Oblíqua
ICA____009	522 m	Oblíqua
ICA____010	2.996 m	Paralelo
ICA____011	1.718 m	Paralelo
ICA____012	239 m	Oblíqua/Paralelo
ICA____013	158 m	Oblíqua
ICA____014	798 m	Paralelo
ICA____015	786 m	Oblíqua
ICA____016	500 m	Paralelo
ICA____017	726 m	Paralelo
ICA____018	733 m	Paralelo
ICA____019	2.893 m	Paralelo
ICA____020	522 m	Oblíqua
ICA____021	476 m	Paralelo
ICA____022	406 m	Oblíqua
ICA____023	320 m	Paralelo
ICA____024	170 m	Oblíqua

Tabela 1: Informações sobre as linhas de GPR analisadas.

4. RESULTADOS

A interpretação das imagens de GPR assim como sua associação com imagens aéreas e dados de trabalhos anteriores permitiu a classificação de nove radarfácies bem como inferências sobre seus processos deposicionais.

As radarfácies analisadas foram classificadas em 3 grupos principais: refletores oblíquos, sub-horizontais e irregulares. As radarfácies oblíquas e sub-horizontais correspondem diretamente à geometria das camadas sedimentares, enquanto as radarfácies irregulares, com excessivas inflexões, feições opacas ou de baixo

contraste podem estar relacionadas a eventuais defeitos no processamento da imagem ou às mudanças composicionais ou texturais dos estratos.

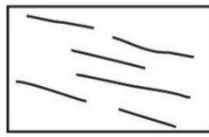
Dentre as radarfácies oblíquas foram definidas 3 subclasses de fácies: Fs-Tab: refletores tabulares, descontínuos, paralelos entre si, com a maioria dos mergulhos dos estratos voltados para o mar; Fs-Cruz: refletores com estratificações cruzadas tabulares de grande porte, por vezes acanalada. Apresenta truncamentos dos estratos, continuidade moderada, paralelos entre si, tabulares; Fs-Can: com refletores restritos por forma lenticular (canal), descontínuos, baixo ângulo, apresenta truncamento interno.

As radarfácies sub-horizontais foram divididas em 4 classes: Fs-Td: refletores tabulares, descontínuos, paralelos entre si, espaçamento variado; Fs-On: refletores ondulados, descontínuos, apresenta truncamentos; Fs-Tc: refletores tabulares, contínuos, paralelos entre si, com espaçamento regular; Fs-Ca: refletores côncavos em forma de “v” aberto.

Quanto às radarfácies irregulares foram classificadas 2 tipos de subclasses: Fs-Bo: refletores com baixa orientação e baixo contraste da imagem, descontínuos; Fs-Hip: refletores em hipérboles sem ordem aparente, com alto contraste no fundo.

A figura abaixo apresenta desenho esquemático de cada radarfácies, sua descrição assim como sua ocorrência quanto à linha de GPR interpretada (Figura 9).

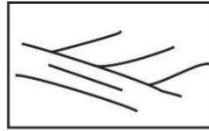
Refletores Oblíquios



Fs-Tab

Refletores descontinuos, paralelos entre si, tabulares, com a maioria dos mergulhos dos estratos voltados para o mar.

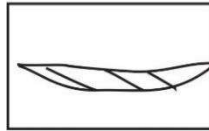
Ocorre nas linhas 2, 7, 9, 14, 19, 22 e 24.



Fs-Ent

Refletores descontinuos, paralelos entre si, tabulares, com forte entrecamento dos estratos.

Ocorre nas linhas 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 23 e 24.



Fs-Can

Refletores descontinuos, baixo ângulo, com refletores restritos por forma lenticular, apresenta truncamento interno.

Ocorre nas linhas 2,3.

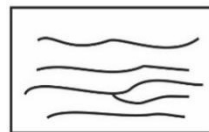
Refletores Subhorizontais



Fs-Td

Refletores descontinuos, paralelos entre si, tabulares, espaçamento variado.

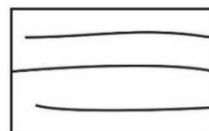
Ocorre nas linhas 2, 6, 7, 8, 11, 12, 15, 16, 18, 20 e 23.



Fs-On

Refletores ondulados, descontinuos, apresenta entrecamentos.

Ocorre nas linhas: 2, 3, 7, 8 e 19.



Fs-Tc

Refletores paralelos, tabulares, contínuos, com espaçamento regular.

Ocorre nas linhas 4, 11, 17, 18 e 21.

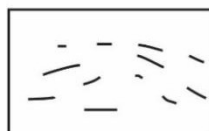


Fs-Ca

Refletores côncavos em forma de "v" aberto.

Ocorre na linha 6.

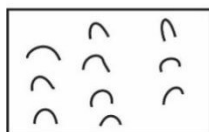
Refletores Irregulares



Fs-Bo

Refletores descontinuos, baixa orientação e baixo contraste da imagem.

Ocorre nas linhas 5 e 16.



Fs-Hip

Refletores em hipérboles sem ordem aparente, com alto contraste no fundo.

Ocorre nas linhas 2, 6, 7, 8, 11, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 22 e 23.

Figura 8: Radarácies observadas com sua descrição e ocorrência.

As radarfácies Fs-Tab, tabulares, com mergulho voltado para o mar, foram interpretadas como de fácies praial em ambiente regressivo como verificado na Figura 10.

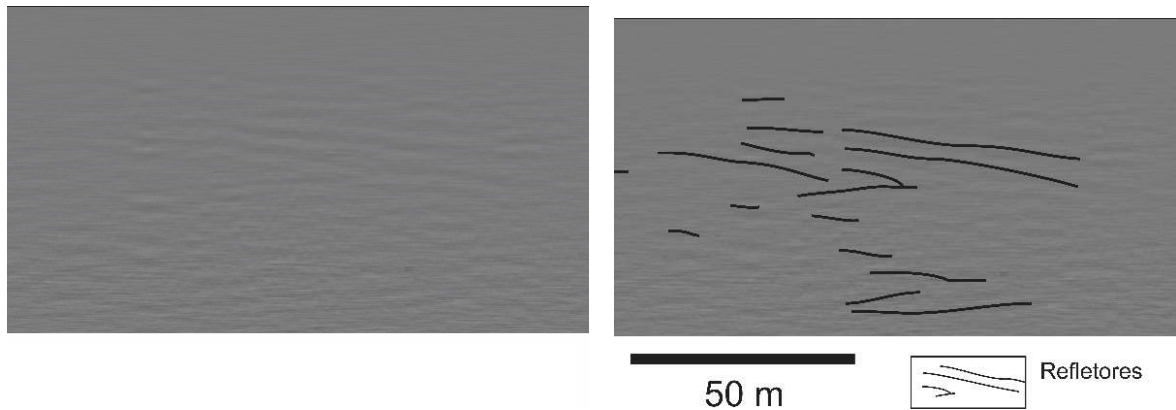


Figura 9: Linha de GPR ICA009, oblíqua à costa, mostrando estratos tabulares, aproximadamente 50 m, voltados para o mar definindo a fácies Fs-Tab. Essas feições estão associadas às fácies praias regressivas.

As radarfácies Fs-Cruz (Figura 11) e Fs-On (Figura 12), são compostas por estratificações cruzadas de médio à grande porte e refletores ondulados, geralmente com truncamentos internos, respectivamente. São interpretadas como depósitos eólicos associados à migração de dunas frontais.

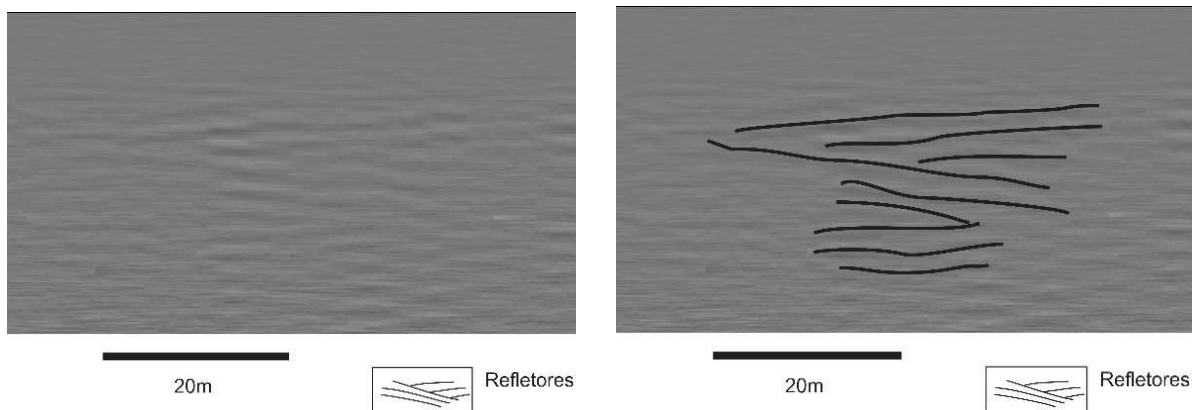


Figura 10: Linha de GPR ICA002, oblíqua à costa. Em detalhe estratificação cruzada tabular dos refletores o que define a fácies Fs-Cruz. Esta porção da linha está associado a truncamentos de dunas frontais.

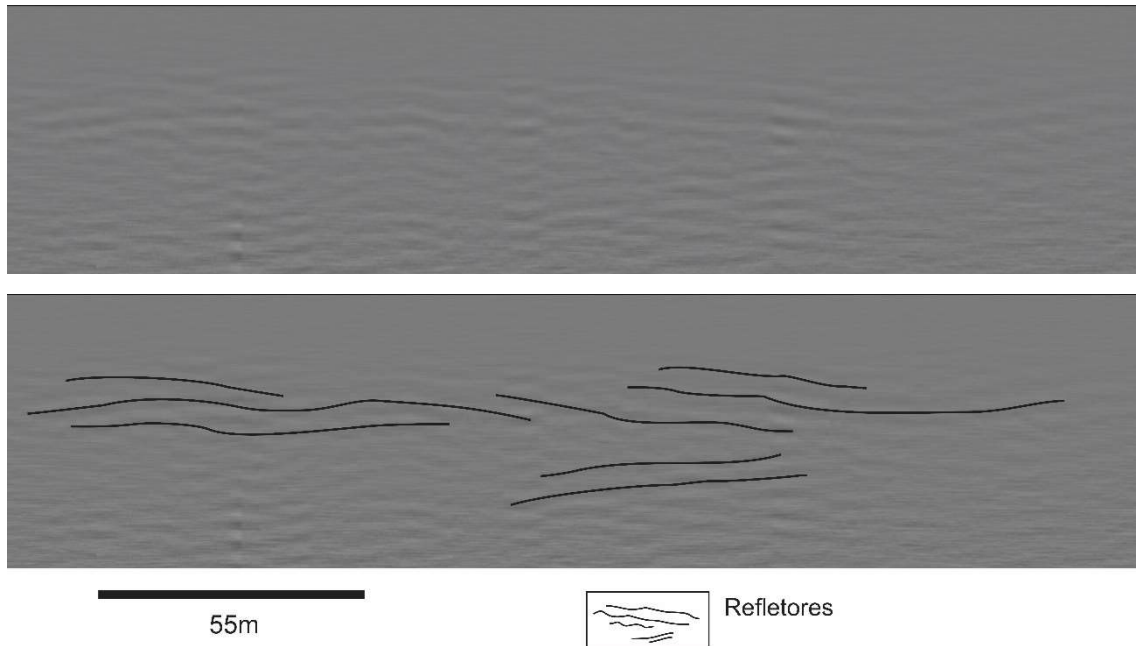


Figura 11: Linha de GPR ICA008, oblíqua à costa. Em destaque a fácies Fs-On, a qual está associada aos depósitos eólicos, gerando as dunas frontais.

As radarfácies Fs-Can e Fs-Ca com com refletores restritos por forma lenticular (canal) e refletores côncavos em forma de “v” aberto (Figura 13, Figura 14) respectivamente foram interpretadas como fácies de canal devido à morfologia dos estratos, assim como a associação com imagens de satélite (Figura 15).

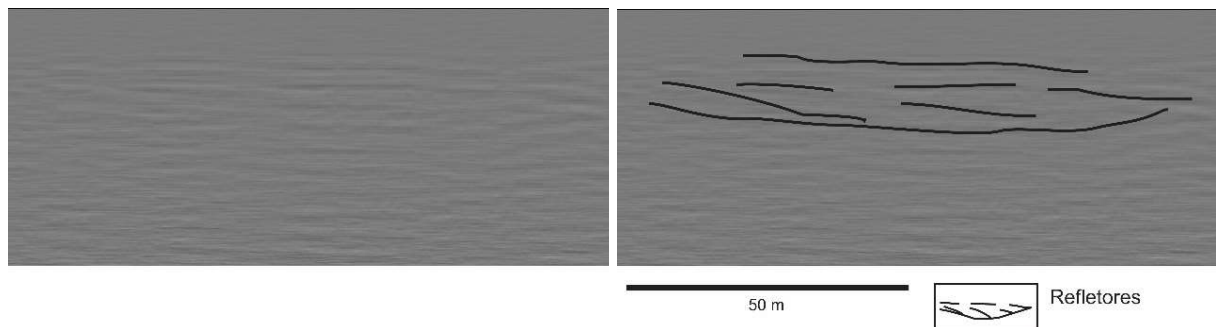


Figura 12: Linha de GPR ICA002, oblíqua à costa. Observa-se feição lenticular atribuída à canais de maré, nota-se truncamentos internos.

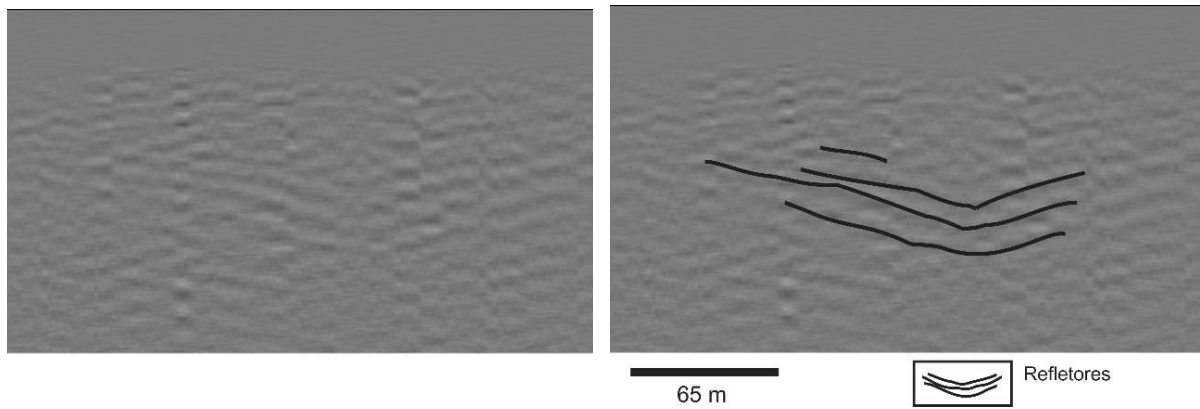


Figura 13: Linha de GPR ICA006, oblíqua à costa. Observa-se feição de canal em forma de “v” aberto.

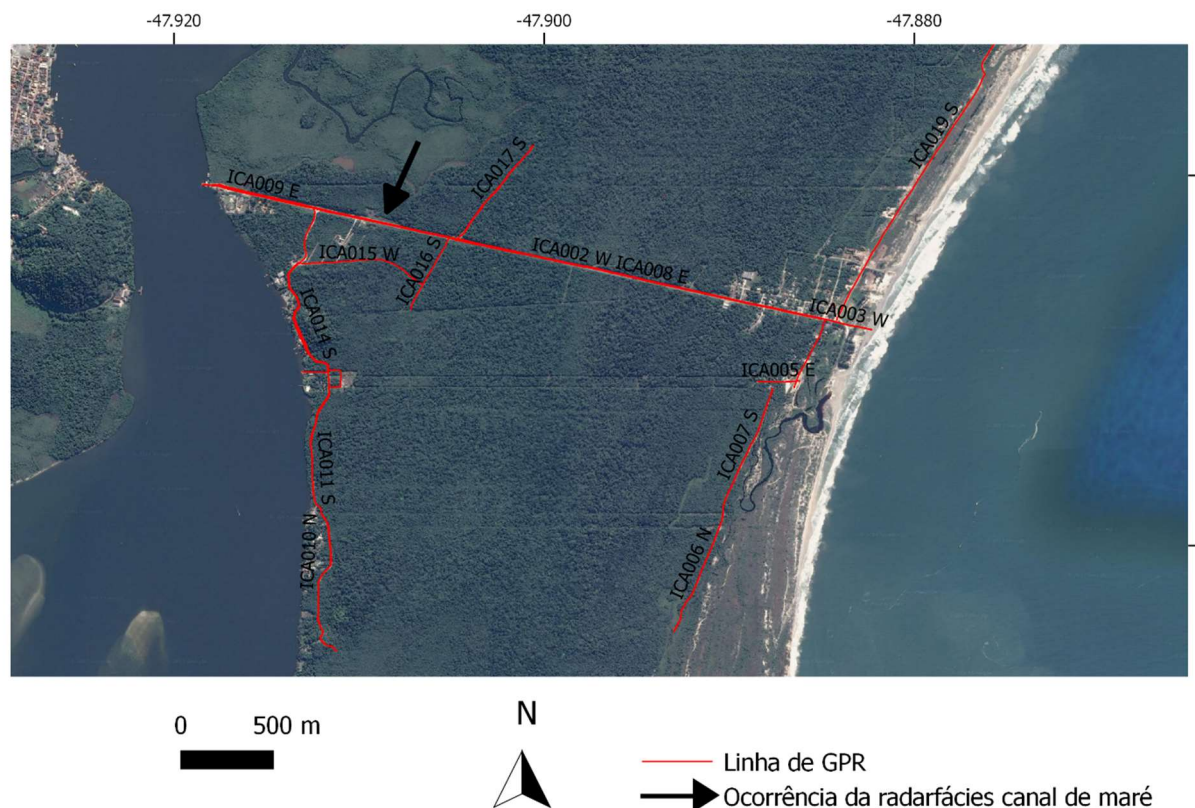


Figura 14: Imagem de satélite com indicação da linha de GPR e local aonde foi observada as radarfácies Fs-Can e Fs-Ca, interpretados como canais de maré. As feições geométricas dessas fácies assim como a proximidade de sua ocorrência com canais atuais.

As radarfácies Fs-Td e Fs-Tc (Figura 16, Figura 17) com refletores tabulares, descontínuos e refletores tabulares, contínuos respectivamente podem estar relacionadas tanto ao ambiente eólico de dunas frontais quanto aos cordões costeiros regressivos. Sua ocorrência aleatória em meio às radarfácies dos ambientes mencionados não define um controle sob qual ambiente essas radarfácies estariam impostas.

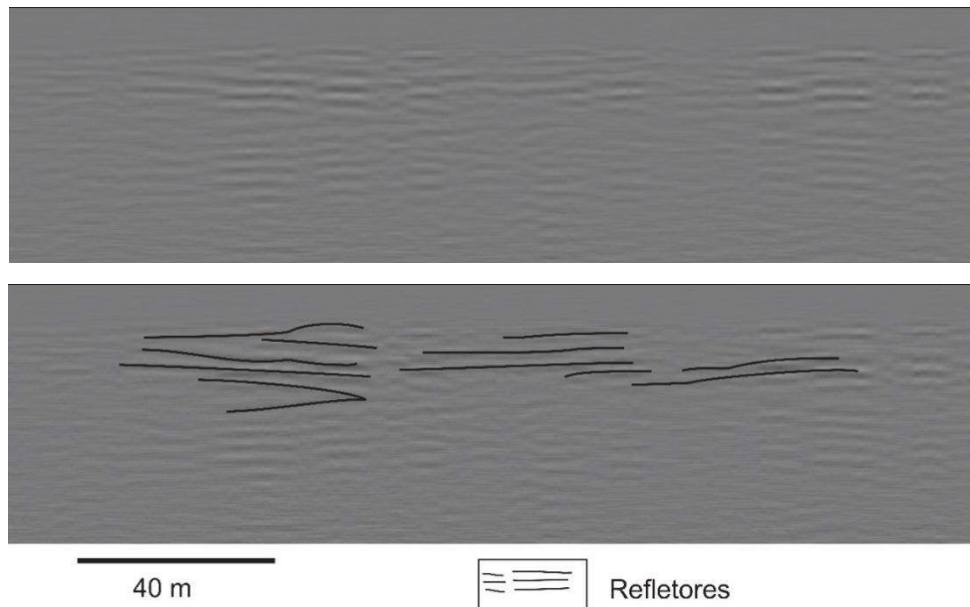


Figura 15: Linha de GPR ICA015, oblíqua à costa. Refletores tabulares descontínuos definem a fácies Fs-Td.

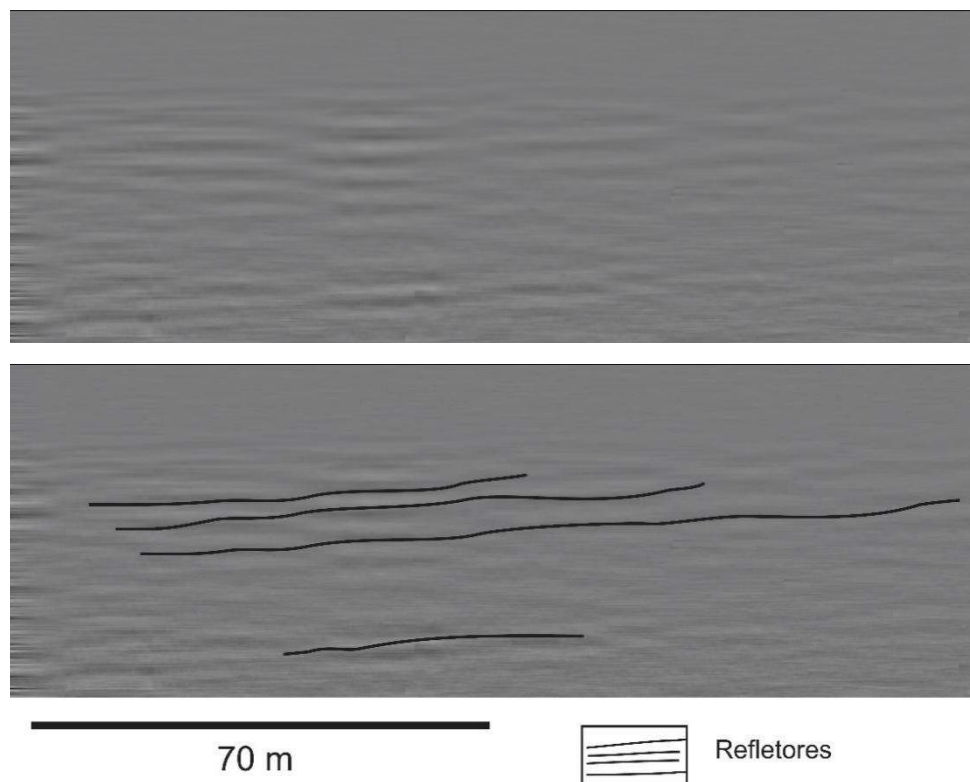


Figura 16: Linha de GPR ICA021, paralela à costa. Observa-se estratos tabulares, contínuos, os quais definem a fácies Fs-Tc.

Por fim, as radarfácies Fs-Bo e Fs-Hip com refletores com baixa orientação e refletores em hipérboles sem ordem aparente respectivamente não relacionam-se com qualquer dos ambientes mencionados. A forma e o arranjo dessas fácies

sugerem que a fácies Fs-Bo esteja relacionada às eventuais variações texturais ou composicionais dos estratos (Figura 18), enquanto a radarfácies Fs-Hip está relacionada à um defeito no processamento das imagens, como verificada na Figura 19.

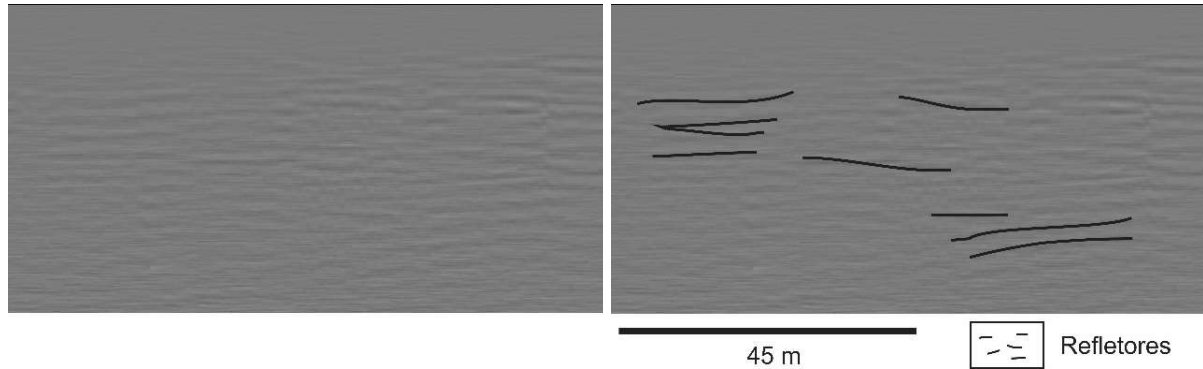


Figura 17: Linha de GPR ICA016, paralela à costa. Baixa orientação dos refletores e baixo contraste de imagem caracterizam a fácies Fs-Bo.

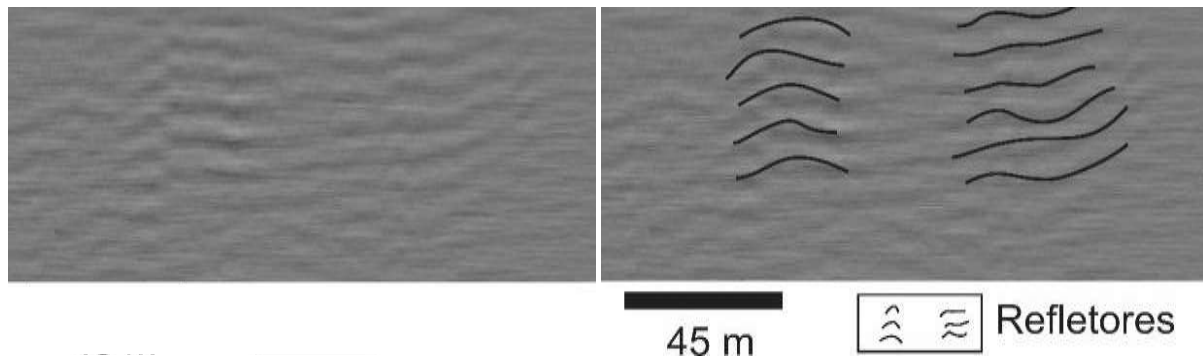


Figura 18: Linha de GPR ICA022, oblíqua à costa. Fs-Hip definida por hipérboles sem ordem aparente, com alto contraste no fundo.

As linhas de GPR analisadas apresentam um conjunto de radarfácies, as quais, associadas, permitem inferência sobre o ambiente deposicional que aquela seção representa.

A tabela abaixo apresenta as radarfácies observadas em cada linha de GPR assim como o ambiente deposicional interpretado (Tabela 2).

Número da linha	Radarfácies identificadas.	Ambiente deposicional inferido
ICA____002	Fs-Td, Fs-On, Fs-Cruz, Fs-Can, Fs-Tab, Fs-Hip	Dunas frontais, canais de maré e cordões regressivos
ICA____003	Fs-Can, Fs-On	Dunas frontais e canal de maré
ICA____004	Fs-Cruz, Fs-Tc	Dunas frontais
ICA____005	Fs-Cruz, Fs-Bo	Dunas frontais com variações texturais
ICA____006	Fs-Cruz, Fs-Td, Fs-Ca	Dunas frontais e canal de maré
ICA____007	Fs-Td, Fs-Cruz, Fs-Tab, Fs-On	Dunas frontais
ICA____008	Fs-Td, Fs-Cruz, Fs-On	Dunas frontais
ICA____009	Fs-Tab, Fs-Cruz	Dunas frontais e cordões regressivos
ICA____010	Arquivo Corrompido	Arquivo Corrompido
ICA____011	Fs-Tc, Fs-Tab, Fs-Td	Cordões regressivos
ICA____012	Fs-Td, Fs-Cruz	Dunas frontais
ICA____013	Fs-Cruz	Dunas frontais
ICA____014	Fs-Cruz, Fs-Tab	Dunas frontais e cordões regressivos
ICA____015	Fs-Cruz, Fs-Td	Dunas frontais
ICA____016	Fs-Cruz, Fs-Bo, Fs-Td	Dunas frontais com variações texturais
ICA____017	Fs-Tc, Fs-Cruz	Dunas frontais
ICA____018	Fs-Tc, Fs-Td, Fs-Cruz	Dunas frontais
ICA____019	Fs-On, Fs-Tab	Dunas frontais
ICA____020	Fs-Td	Dunas frontais e cordões regressivos
ICA____021	Fs-Tc	Dunas frontais e cordões regressivos
ICA____022	Fs-Tab	Cordões regressivos
ICA____023	Fs-Cruz, Fs-Td	Dunas frontais
ICA____024	Fs-Cruz, Fs-Tab	Dunas frontais e cordões regressivos

Tabela 2: Linha de GPR com as respectivas radarfácies e ambientes deposicionais inferidos

5. DISCUSSÕES

O principal objetivo deste trabalho foi a caracterização dos depósitos arenosos pertencentes ao início da evolução da Ilha Comprida-SP, porção sul, via análise de GPR. Estudos prévios indicam que o começo da evolução da Ilha Comprida pode estar associado à uma regressão marinha sobreposta a uma transgressão, entretanto há a possibilidade de que o início da formação da barreira arenosa decorreu-se a partir da forma de esporão.

A análise das linhas de GPR permitiram a identificação de 9 radarfácies, as quais associam-se principalmente à geometria dos refletores, em menor parte relacionam-se às possíveis variações texturais como intercalações de areia e argila ou ainda aos defeitos de processamento. Posteriormente analisou-se a morfologia dos estratos para assim definir os sistemas deposicionais atuantes.

Dentre as radarfácies analisadas observa-se frequentemente as fácies Fs-Cruz, Fs-On e Fs-Tab representadas por dunas frontais e por facies praial respectivamente. Associadas, essas radarfácies sugerem um sistema deposicional costeiro regressivo (Figura 20) para os sedimentos arenosos holocênicos da Ilha Comprida-SP.

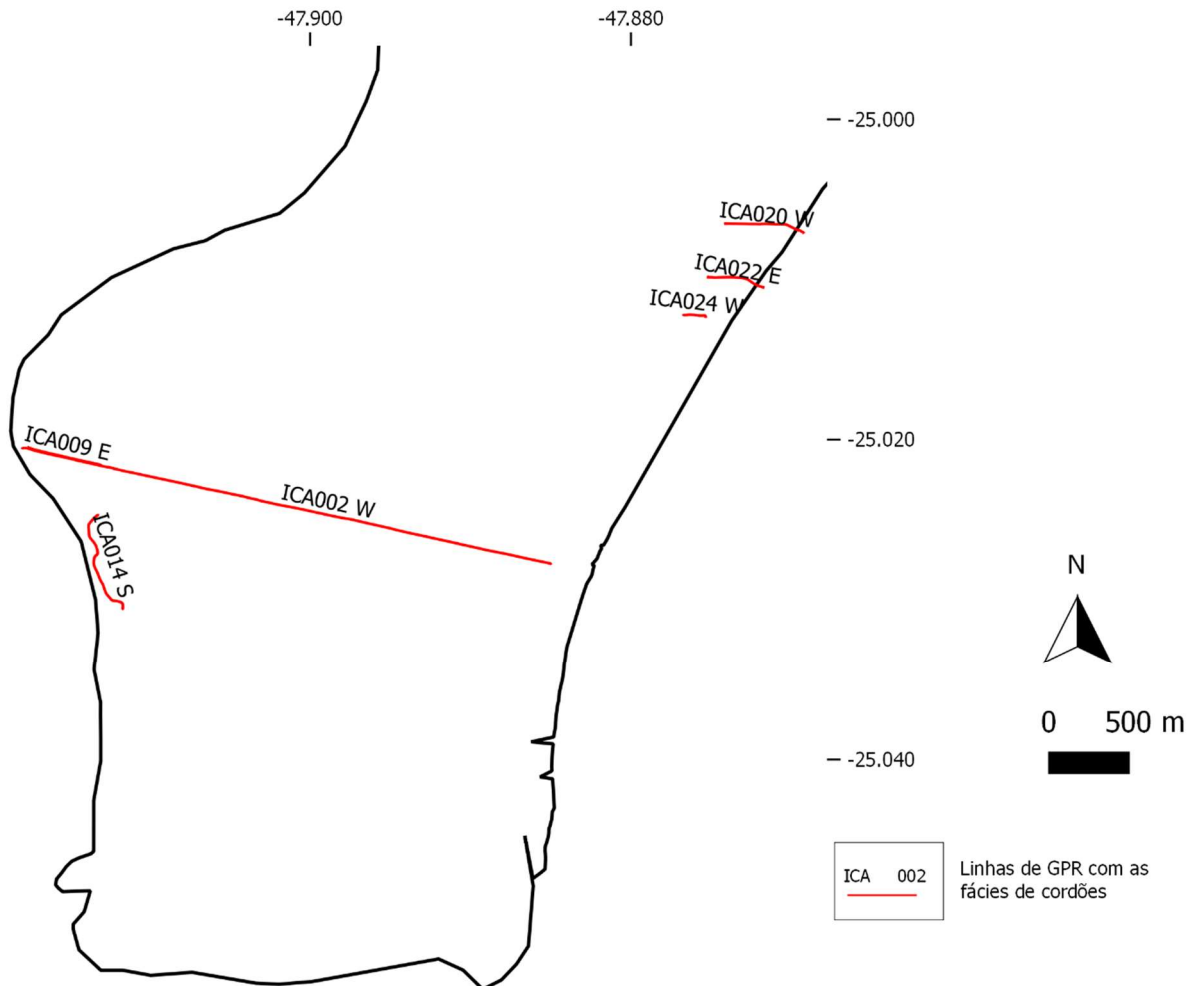


Figura 19: Localização das linhas onde foram observadas as radarfácies de cordões regressivos

Eventualmente ocorrem as radarfácies Fs-Can e Fs-Ca caracterizadas por formas lenticulares alongadas relacionadas aos canais de drenagens que cortam a ilha. Ocorre ainda as fácies Fs-Tc e Fs-Td que não possui a caracterização do ambiente definida. Essas fácies, com estratos tabulares contínuo e descontínuos respectivamente, podem corresponder tanto à migração de dunas frontais quanto aos depósitos marinhos regressivos. Por fim ocorrem as fácies Fs-Bo e Fs-Hip

representadas por possíveis variações texturais dos estratos e defeitos de processamento respectivamente.

Além da análise e interpretação das radarfácies, se comparou afloramentos da Ilha Comprida com seus correspondentes refletores. Em trabalho realizado por Guedes *et. al.*, 2011 foram observados pontos da ilha, nas proximidades de onde foram geradas as linhas de GPR, com estratificação hummocky e dunas frontais.

A linha ICA____011 possui refletores contínuos à descontínuos, com suaves truncamentos internos (Figura 21). A foto de afloramento abaixo (Figura 22) apresenta estratificações hummocky com feições de truncamento côncavo convexas, megaondulações simétricas e continuidade lateral decamétrica. A associação com a interpretação dos refletores sugere que para esta porção da ilha a deposição esteja em um regime praiial, com eventos como ondas de tempestade representado pela estratificações hummocky.

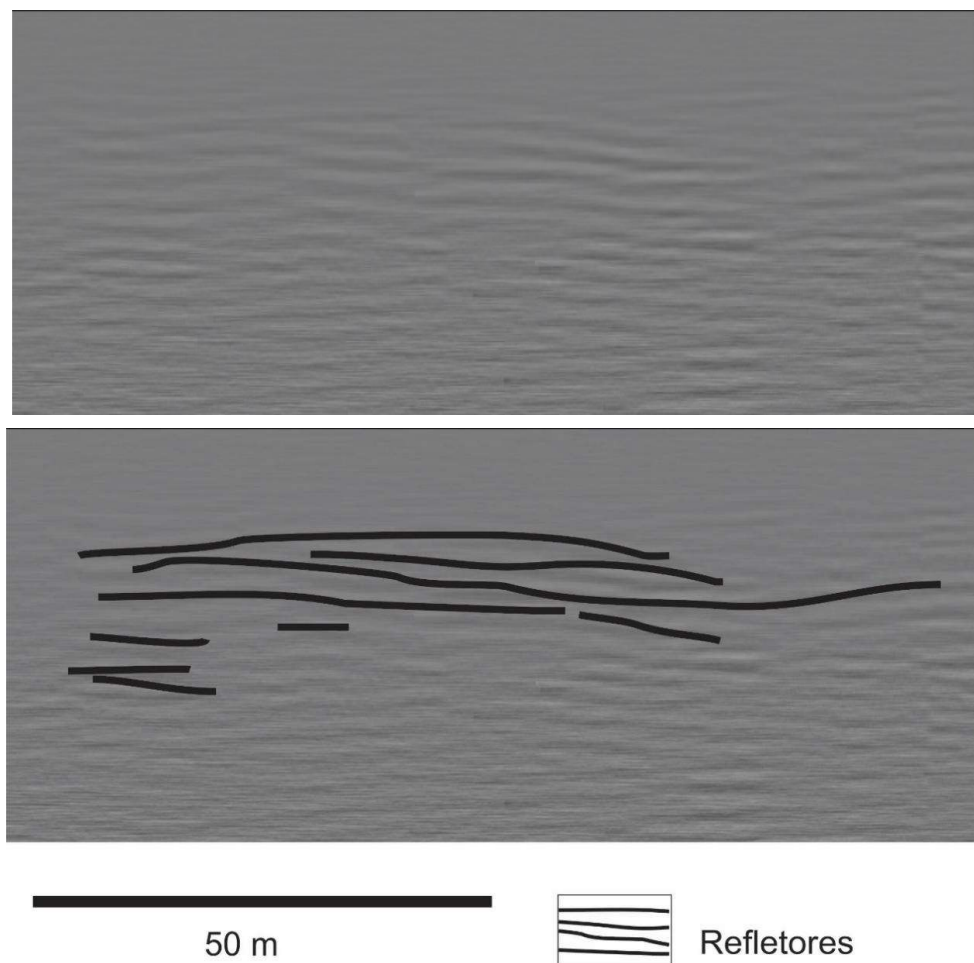


Figura 20: ICA____011, paralela à costa: Refletores métricos com truncamentos internos indicando ambiente deposicional de regime praiial, com possibilidade de variações do nível energético do meio.



Figura 21: Estratificação do tipo hummocky na porção sudoeste da Ilha Comprida

As linhas 4, 6, 7, 19, 21 e 23 estão dispostas nas proximidades da atual linha de costa e encontram-se paralelas à esta. Assim como diversas feições como refletores ondulados, contínuos e descontínuos, observou-se diversas estratificações de médio à grande porte as quais foram interpretadas como dunas frontais. A Figura 23 demonstra os refletores interpretados como dunas frontais e relaciona-se com a Figura 24, a qual representa os atuais campos de dunas da Ilha Comprida.

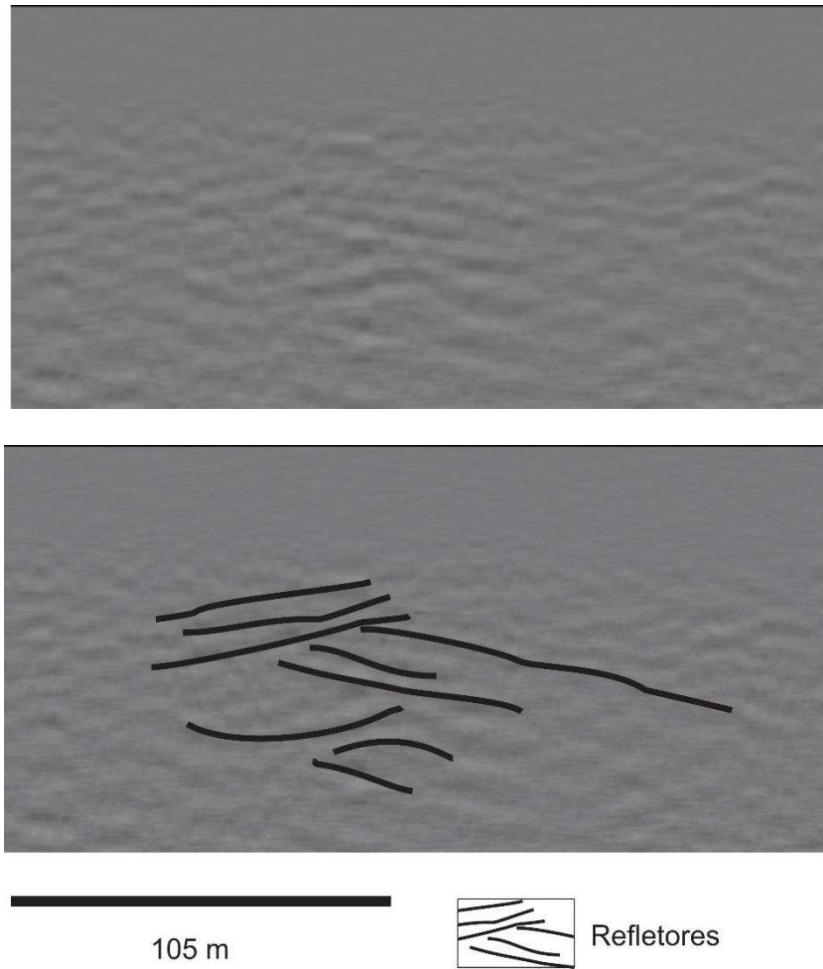


Figura 22: Linha ICA____006, pralela à costa: Radarfácies com truncamento interpretado como dunas frontais.



Figura 23: Afloramento de duna frontal na porção sudeste da ilha.

As observações quanto à geometria e arranjo das refletoras assim como comparações com imagens de satélite e associação aos trabalhos anteriores permitiu a caracterização de ambientes deposicionais dos sedimentos pertencentes ao início da evolução da Ilha Comprida.

A partir da desaceleração da ascensão do nível do mar em torno de 6000 anos atrás (Angulo *et. al.*, 2006) iniciou-se a formação da ilha. Entretanto existe a dúvida se sua origem relaciona-se às barreiras transgressivas holocênicas prévias às barreiras regressivas, há também a possibilidade do desenvolvimento inicial decorrer-se partir de um esporão ancorado na única porção de rocha aflorante no sul da ilha, ou ainda relacionada às barreiras pleistocênicas associadas aos depósitos formados pela transgressão Cananéia (pico máximo há 120.000 anos).

As interpretações realizadas neste trabalho embasam a ideia de que a formação da Ilha Comprida esteja relacionada às depósitos regressivos sobrepostos às depósitos transgressivos. Devido à baixa qualidade do sinal gerados pelas linhas de GPR não observou-se as feições mais profundas (barreiras transgressivas), entretanto considerou-se neste trabalho os cordões regressivos associados aos do trabalho de Gandolfo, 2001 revisado por Gianini *et. al.*, 2009. Dentre os refletoras que indicam a barreira regressiva destacam-se os das linhas 2, 7, 9 e 24, os quais apresentam boa continuidade e possuem mergulho dos refletoras voltados para o mar. Os refletoras associados aos demais ambientes deposicionais (dunas frontais e canais de maré) indicam que processos eólicos e fluviais também exercem um controle em sua formação uma vez em que esses registros relacionam-se aos cordões regressivos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A compreensão do funcionamento do sistema costeiro é fundamental para o desenvolvimento das populações residente nessas regiões. A dinamicidade da evolução de costas, regida por controles geológicos, meteorológicos e antrópicos demonstra o quão complexo e, por vezes, imprevisível é o entendimento sobre este tema.

O estudo realizado contribuiu para a melhor compreensão sobre a gênese da barreira holocênica da Ilha Comprida, a qual apresenta diversos sistemas deposicionais dominantes ao longo de sua evolução, como cordões transgressivos, cordões regressivos e campo de dunas. Desta forma destaca-se a ideia que eventos deposicionais passados podem ocorrer atualmente em variadas escalas de abrangência e energia. Eventos de alta energia, como ondas de tempestade citados neste trabalho, podem ocorrer em diversas porções da ilha, determinando assim a necessidade de divulgações preventivas quanto ao uso e ocupações dessas áreas potenciais.

A metodologia utilizada proporcionou uma análise subsuperficial da área de estudo, a qual baseou-se na geometria e arranjo dos refletores ao longo das seções. Salvo a linha 10, a qual apresentou problemas no processamento dos dados, todas as imagens foram passíveis de interpretação, entretanto a baixa qualidade do sinal de GPR nas linhas dificultou a observação de determinadas feições. Apesar disso, o uso do GPR mostrou-se de grande utilidade para análise de depósitos recentes (holocênicos), permitindo assim a interpretação dos ambientes deposicionais os quais controlavam a sedimentação no período em que foram formados.

A interpretação dos dados de GPR permitiu a caracterização de antigas feições deposicionais significativas para o entendimento da evolução da barreira. Entretanto, estudos futuros de maior detalhamento faciológico das radarfácies serão de grande auxílio em relação à compreensão cronológica dos depósitos assim para como a melhor descrição dos distintos ambientes deposicionais ocorrentes na porção sul da ilha.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, P.R.O. Interpretação de dados de GPR com base na hierarquização de superfícies limitantes e na adaptação de critérios sismoestratigráficos. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em geodinâmica e geofísica, UFRN, 2005.

ANGULO, R.J.; LESSA, G.C.; SOUZA, M.C.; A critical review of mid- to late-Holocene sea-level fluctuations on the eastern Brazilian coastline. *Quaternary Science Reviews*, 25 (2006), pp. 486–506.

GANDOLFO, O. C. B., SOUZA, L. A. P., TESSLER M. G., RODRIGUES, M. Estratigrafia rasa da Ilha Comprida (SP): um exemplo de aplicação do GPR. *Brazilian Journal of Geophysics*, Vol. 19(3), 2001.

GEOBRÁS, S./A., 1966. Complexo Valo Grande, Mar Pequeno e Rio Ribeira de Iguape. Relatório GEOBRÁS S./A., Engenharia e Fundações para o Serviço do Vale do Ribeira do Departamento de Águas e Energia Elétrica/SP.

GIANNINI P. C. F., GUEDES C. C. F., NASCIMENTO Jr D.R., TANAKA A. P. B., ANGULO R. J., ASSINE M. L., SOUZA M. C. Sedimentology and Morphological Evolution of the Ilha Comprida Barrier System, Southern São Paulo Coast. *Earth Sciences*, Janeiro 2009.

GUEDES, C.C.F.; GIANNINI, P.C.F.; SAWAKUCHI A.O.; DEWITT, R.; Nascimento Jr, D.R.; Aguiar, V.A.P.; ROSSI, M.G. Determination of controls on Holocene barrier progradation through application of OSL dating: The Ilha Comprida Barrier example, Southeastern Brazil. *Marine Geology* 285 (2011) 1–16.

GUEDES, C.C.F.; GIANNINI, P.C.F.; NASCIMENTO JR., D.R.; SAWAKUCHI, A.O.; TANAKA, A.P.B.; ROSSI M.G.; Controls of heavy minerals and grain size in a holocene regressive barrier (Ilha Comprida, southeastern Brazil). *Journal of South American Earth Sciences* 31 (2011) 110 e 123.

SIVEIRA, E.S. F.; Investigação com os Métodos GPR e Magnético de Urnas Funerárias do Sítio Nossa Senhora do Perpétuo Socorro (Pará). Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Pará, 2012.

MORAES, A.C.R. 1999. Contribuições para a gestão da zona costeira do Brasil. São Paulo. Editora Hucitec, Edusp. 229p.

ORTEGA, R.A.; Localização e Delineamento de Pluma de Contaminação por Hidrocarbonetos através dos Métodos GPR e Tomografia Elétrica. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

RODRIGUES, S.I.; Caracterização GPR de Tambores Metálicos e Plásticos: Estudo sobre o Sítio Controlado do IAG/USP. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, 2004

SPINELLI, F.P; GOMES, C.B.; A Ocorrência Alcalina de Cananeia, Litoral Sul do Estado de São Paulo: Química Mineral. Revista do Instituto de Geociências - Geol. USP Sér. Cient., São Paulo, v. 9, n. 1, p. 1-13, janeiro 2009.

SUGUIO, K. & MARTIN, L; Formações quaternárias marinhas do litoral paulista e sul fluminense. In: International Symposium on Coastal Evolution in the Quaternary. São Paulo 1978. Special Publication nº 1. The Brazilian National Working Group for the IGCP Project 61, IG/USP, SBG: 55pp.