



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA  
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEODINÂMICA E GEOFÍSICA – PPGG

---

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**USO DO GPR NA GERAÇÃO DE MODELOS ESTÁTICOS 3D PARA O  
PLANEJAMENTO DE LAVRA DE MINERAIS PESADOS DEPOSITADOS  
EM DUNAS EÓLICAS.**

**Autor:**

**ANDERSON DE MEDEIROS SOUZA**

**Orientador:**

**PROF. DR. FRANCISCO PINHEIRO LIMA FILHO**

**Dissertação N° 67 / PPGG**

Natal - RN, Fevereiro de 2008

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA  
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEODINÂMICA E GEOFÍSICA – PPGG

---

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**USO DO GPR NA GERAÇÃO DE MODELOS ESTÁTICOS PARA O  
PLANEJAMENTO DE LAVRA DE MINERAIS PESADOS DEPOSITADOS  
EM DUNAS EÓLICAS.**

Dissertação de Mestrado apresentada em  
29 de fevereiro de 2008, para obtenção do  
título de Mestre em Geodinâmica pelo  
Programa de Pós-Graduação em  
Geodinâmica e Geofísica da Universidade  
Federal do Rio Grande do Norte.

**Autor:**

**ANDERSON DE MEDEIROS SOUZA**

**Comissão Examinadora:**

**PROF. DR. FRANCISCO PINHEIRO LIMA FILHO (DG/PPGG/UFRN – ORIENTADOR)**

**PROF. DRA. VALÉRIA CENTURION CÓRDOBA (DG/PPGG/UFRN)**

**DR. CLÁUDIO PIRES FLORENCIO (UN/RNCE – PETROBRAS)**

Natal - RN, Fevereiro de 2008

*“No atual mundo em que vivemos,  
fácil é conhecer novas pessoas,  
difícil é perdurar as verdadeiras amizades”.*

*Danielle de Medeiros Souza – minha irmã*

*A minha esposa Patrícia (meu alicerce),  
e meus pais Deca e Linda (eternamente grato).*

## *Agradecimentos*

---

---

Ao orientador Francisco Pinheiro Lima Filho, pelos ensinamentos e discussões ao longo de mais dois anos de trabalho juntos.

As professoras Marcela Marques Vieira e Valéria Centurion Córdoba, que em um momento oportuno ajudaram a melhor direcionar este trabalho com suas sugestões mais do que pertinentes.

Ao professor Walter Medeiros por ter emprestado a antena de GPR do seu laboratório que foi utilizada na campanha de 2007 deste trabalho.

Ao Laboratório de Análises Estratigráficas (LAE) e ao Departamento de Geologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, pela infra-estrutura concedida.

A Millennium Inorganic Chemicals Mineração Ltda pelo apoio financeiro e em especial as pessoas de Manoel Bezerra e João Freitas pela prontidão na troca de informações sempre que necessária.

Ao CNPq pela concessão da bolsa.

Aos integrantes do “Grupo de Estudo de Análogos a Reservatórios Petrolíferos” (GEA), ao qual eu faço parte, que participaram direta ou indiretamente em algum momento deste trabalho. Em especial a César, Cristiane, Evanimek, Arthur Vitor, Washington, Beltrão, Marcelo e Vitor Peixoto que participaram da segunda campanha em 2007. E aos ex-integrantes do GEA: Yoe, Ronaldo, Daniel Siqueira, Daniel Alexander, Henrique, Ricardo Rabelo e Feitosa; que participaram diretamente na primeira campanha em 2006.

# *Resumo*

---

Este projeto foi desenvolvido como forma de uma parceria entre o Laboratório de Análises Estratigráficas do Departamento de Geologia da UFRN e a empresa Millennium Inorganic Chemicals Mineração Ltda. Esta mina localiza-se no extremo norte do litoral paraibano, no município de Mataraca, tendo como principal produto prospectado, minerais pesados como ilmenita, rutilo e zircão presentes nas areias das dunas. Tais dunas, predominantemente inativas, repousam sobre a porção superior das rochas siliciclásticas da Formação Barreiras. A mineração se dá através do uso de uma draga que fica emersa em um lago artificial sobre as dunas. Esta retira a areia das dunas do fundo do lago (após o desmonte das bordas do lago com jatos de água) e encaminha para a planta de concentração, através de tubulações onde os minerais são então separados. O presente trabalho consistiu na aquisição das geometrias externa e interna das dunas, de forma que ao final se pudesse montar um Modelo Estático 3D destes depósitos sedimentares, com ênfase no comportamento do topo estrutural das rochas da Formação Barreiras (limite inferior da jazida). O conhecimento detalhado desta superfície é de fundamental importância na fase do planejamento da lavra pela empresa, visto que um erro de cálculo pode fazer com que a draga trabalhe próximo demais deste limite, correndo o risco de que fragmentos possam causar obstrução na draga gerando um prejuízo financeiro tanto no reparo do equipamento como pelos dias parados de produção. Durante as etapas de campo (realizadas nos anos de 2006 e 2007) foram utilizadas técnicas de levantamentos topográficos com Estação Total e GPS Geodésico bem como aquisições geofísicas rasas com GPR (*Ground Penetrating Radar*). Foram adquiridos aproximadamente 10,5Km de topografia e 10Km de perfis GPR. O GPS Geodésico foi utilizado para o georreferenciamento dos dados e levantamento topográfico de uma linha transversal com 630m de extensão na etapa de 2007. O GPR mostrou-se um método confiável, ecologicamente limpo, de rápida aquisição e com um baixo custo em relação a métodos tradicionais como sondagens. A principal vantagem do uso deste equipamento é obter uma informação contínua da superfície superior da Formação Barreiras. Os modelos estáticos 3D foram elaborados a partir dos dados obtidos utilizando-se dois *softwares* específicos para ambientes 3D: GoCAD 2.0.8 e o Datamine. A visualização em ambiente 3D permite uma melhor compreensão do comportamento da superfície do Barreiras bem como possibilita a execução de diversos tipos de medições, favorecendo assim uma melhor cubagem da jazida e permitindo que os procedimentos utilizados para extração mineral sejam utilizados com maior segurança.

# ***Abstract***

---

This project was developed as a partnership between the Laboratory of Stratigraphical Analyses of the Geology Department of UFRN and the company Millennium Inorganic Chemicals Mineração Ltda. This company is located in the north end of the paraiban coast, in the municipal district of Mataraca. Millennium has as main prospected product, heavy minerals as ilmenita, rutilo and zircon presents in the sands of the dunes. These dunes are predominantly inactive, and overlap the superior portion of Barreiras Formation rocks. The mining happens with the use of a dredge that is emerged at an artificial lake on the dunes. This dredge removes sand dunes of the bottom lake (after it disassembles of the lake borders with water jets) and directs for the concentration plant, through piping where the minerals are then separate. The present work consisted in the acquisition external geometries of the dunes, where in the end a 3D Static Model could be set up of these sedimentary deposits with emphasis in the behavior of the structural top of Barreiras Formation rocks (inferior limit of the deposit). The knowledge of this surface is important in the phase of the plowing planning for the company, because a calculation mistake can do with that the dredge works too close of this limit, taking the risk that fragments can cause obstruction in the dredge generating a financial damage so much in the equipment repair as for the stopped days production. During the field stages (accomplished in 2006 and 2007) topographical techniques risings were used with Total Station and Geodesic GPS as well as shallow geophysical acquisitions with GPR (Ground Penetrating Radar). It was acquired almost 10,4km of topography and 10km of profiles GPR. The Geodesic GPS was used for the data geopositioning and topographical rising of a traverse line with 630m of extension in the stage of 2007. The GPR was shown a reliable method, ecologically clean, fast acquisition and with a low cost in relation to traditional methods as surveys. The main advantage of this equipment is obtain a continuous information to superior surface Barreiras Formation rocks. The static models 3D were elaborated starting from the obtained data being used two specific softwares for visualization 3D: GoCAD 2.0.8 and Datamine. The visualization 3D allows a better understanding of the Barreiras surface behavior as well as it makes possible the execution of several types of measurements, favoring like calculations and allowing that procedures used for mineral extraction is used with larger safety.

# Índice

---

---

Epígrafe	
Dedicatória	
Agradecimentos	
Resumo	
Abstract	

## Capítulo 1 - Introdução

---

---

1.1 Apresentação .....	01
1.2 Relevância do tema .....	01
1.3 Explicação do problema e objetivos.....	02
1.4 Localização da área de estudo.....	03

## Capítulo 2 – Formação Barreiras e Depósitos Eólicos Costeiros

---

---

2.1 Formação Barreiras .....	05
2.2 Depósitos Eólicos Costeiros .....	08
2.2.1 Processos eólicos .....	08
2.2.2 Principais formas de leito.....	10
2.2.3 Principais estruturas sedimentares.....	11
2.2.3.1 Estruturas primárias e processos associados.....	11
2.2.3.2 Estruturas secundárias e processos associados .....	12
2.2.4 Superfícies Limitantes.....	13
2.2.5 Classificação de dunas costeiras.....	13
2.2.5.1 Classificação morfodinâmica.....	14
2.2.5.2 Classificação morfológica .....	14
2.2.6 Classificação do sistema de dunas presente entre o litoral potiguar e paraibano...	19
2.2.7 Minerais pesados presentes nas dunas da Mineração Millennium .....	22

## Capítulo 3 – Materiais e Métodos

---

---

3.1 Georadar .....	26
3.1.1 Introdução .....	26
3.1.2 Aplicações .....	28
3.1.3 Técnicas de aquisição .....	30
3.1.4 Processamento .....	31
3.1.5 Apresentação e interpretação dos dados .....	32
3.2 Estação Total .....	33

3.3 GPS Geodésico .....	33
-------------------------	----

## **Capítulo 4 – Levantamento Geofísico e Modelagem Estática 3D dos depósitos eólicos na área da Mineração Millennium**

---

4.1 Métodos de lavra .....	35
4.1.1 Lavra a seco mecanizada.....	36
4.1.2 Lavra por dragagem .....	36
4.2 Recuperação das áreas degradadas .....	38
4.3 Beneficiamento .....	39
4.4 Planejamento de lavra .....	39
4.5 Estudo de viabilidade da aplicação do método GPR .....	41
4.5.1 Análise inicial .....	42
4.5.2 Parâmetros de aquisição .....	43
4.6 Aquisição e processamento dos dados .....	47
4.6.1 Levantamento topográfico.....	48
4.6.1.1 Estação Total.....	48
4.6.1.2 GPS Geodésico .....	53
4.6.2 Levantamento geofísico com GPR .....	56
4.7 Modelagem .....	63

## **Capítulo 5 – Considerações finais**

---

Considerações finais.....	73
---------------------------	----

<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>75</b>
---	-----------

## **Anexos**

---

- Anexo 01 - Radargrama da Linha 6000.**
- Anexo 02 - Radargrama da Linha 6100.**
- Anexo 03 - Radargrama da Linha 6200.**
- Anexo 04 - Radargrama da Linha 6300.**
- Anexo 05 - Radargrama da Linha 6400.**
- Anexo 06 - Radargrama da Linha 6500.**
- Anexo 07 - Radargrama da Linha 6600.**
- Anexo 08 - Radargrama da Linha 6700.**
- Anexo 09 - Radargrama da Linha 6800.**
- Anexo 10 - Radargrama da Linha 6900.**
- Anexo 11 - Radargrama da Linha 7000.**
- Anexo 12 - Radargrama da Linha 7100.**
- Anexo 13 - Radargrama da Linha 7200.**
- Anexo 14 - Radargrama da Linha 7300.**
- Anexo 15 - Radargrama da Linha 5000.**
- Anexo 16 - Radargrama da Linha 5050.**
- Anexo 17 - Radargrama da Linha 5100.**
- Anexo 18 - Radargrama da Linha 5150.**
- Anexo 19 - Radargrama da Linha 5200.**
- Anexo 20 - Radargrama da Linha 5250.**
- Anexo 21 - Radargrama da Linha 5300.**
- Anexo 22 - Radargrama da Linha 5350.**
- Anexo 23 - Radargrama da Linha 5400.**
- Anexo 24 - Radargrama da Linha 5450.**
- Anexo 25 - Radargrama da Linha 5500.**
- Anexo 26 - Radargrama da Linha 5550.**
- Anexo 27 - Radargrama da Linha 5600.**
- Anexo 28 - Radargrama da Linha 5650.**
- Anexo 29 - Radargrama da Linha 5700.**
- Anexo 30 - Radargrama da Linha 5750.**
- Anexo 31 - Radargrama da Linha Transversal (Segmento 1).**
- Anexo 32 - Radargrama da Linha Transversal (Segmento 2).**

## Índice de Figuras

---

Figura 1.1 – Mapa esquemático mostrando a localização da mina Millennium.....	04
Figura 2.1 - Estágios de desenvolvimento de um pavimento de deflação.....	09
Figura 2.2 – Atuação do processo de abrasão sobre uma rocha. ....	09
Figura 2.3 - Os três processos básicos de transporte de sedimentos pelo vento.....	10
Figura 2.4 - Classificação do tipo de estratificação de marcas onduladas eólicas em função do ângulo de cavalgamento relativo a inclinação do dorso da forma de leito, e a presença ou ausência de laminações cruzadas.....	12
Figura 2.5 - Ordens de superfície limitantes modificado de Brookfield (1977).....	13
Figura 2.6 – Classificação Morfodinâmica de dunas eólicas. ....	14
Figura 2.7 – Duna barcana com superposição de marcas onduladas.....	15
Figura 2.8 - Formação de uma duna estrela a partir de uma duna transversal.. ....	16
Figura 2.9 - Variações morfológicas de dunas parabólicas. ....	17
Figura 2.10 - Formação de uma duna de sombra a partir de fluxos de ventos secundários. ....	18
Figura 2.11 - Tipos principais de <i>blowouts</i> .....	19
Figura 3.1 –Fluxograma metodológico.....	25
Figura 3.2 – Princípio do método GPR.....	26
Figura 3.3 – Representação esquemática da aquisição de um perfil de reflexão. ....	30
Figura 3.4 - Representação esquemática da aquisição de uma CMP.....	30
Figura 4.1 – Lavra seca mecanizada.....	36
Figura 4.2 – Lavra por dragagem.....	37
Figura 4.3 – Recapeamento do solo .....	38
Figura 4.4 – Planta exibindo a malha de Sondagem levantada pela empresa.....	41
Figura 4.5 – Possíveis arranjos das antenas de GPR para aquisição de dados.....	47
Figura 4.6 – Estação Total Trimble 3305. ....	49
Figura 4.7 – Estação Total Topcon CTS 3007. ....	49
Figura 4.8 – Levantamento topográfico com a Estação Total Trimble 3305 DR.....	53
Figura 4.9 – GPS Geodésico TOPCON Hiper-RTK.....	55
Figura 4.10 – Linha Transversal levantada na etapa de 2007.....	55
Figura 4.11 – Levantamento planialtimétrico da linha transversal com GPS Geodésico. ....	56
Figura 4.12 – Visão geral da área de trabalho.....	57
Figura 4.13 – GPR RAMAC .....	57
Figura 4.14 – GPR SIR 3000 da GSSI.....	58
Figura 4.15 – Aquisição dos perfis de reflexão com GPR na etapa 2006.....	61
Figura 4.16 – Aquisição dos perfis de reflexão com GPR na etapa 2007.....	62
Figura 4.17 – Topografia das 14 linhas levantadas visualizadas no GoCad como <i>pointsets</i> ). ....	64
Figura 4.18 – Geoposicionamento do radargrama da linha 6000.....	65
Figura 4.19 – Vista geral de todos os radargramas geoposicionados em ambiente GoCad.....	65
Figura 4.20 – Modelo digital do terreno.....	66

Figura 4.21 – Visão da superfície gerada no MDT sobre a linha 6400. ....	66
Figura 4.22 – Exemplo de vetorização do refletor que marca o contato Duna / Barreiras no perfil 6900. ....	67
Figura 4.23 – Perfis GPR e respectivas interpretações da porção superior das rochas da Formação Barreiras. ....	67
Figura 4.24 – Perfis GPR juntamente com as sondagens realizadas pela Millennium. ....	68
Figura 4.25 – Superfície da interface Duna / Barreiras. ....	68
Figura 4.26 - Superfície do topo estrutural das rochas da Formação Barreiras junto com os radargramas de alguns perfis GPR gerando uma representação 3D virtual da área estudada (3x – Exagero vertical). ....	69
Figura 4.27 – Desnível na superfície do Barreiras observado entre dois perfis GPR. ....	69
Figura 4.28 – Modelo Estático 3D da área estudada no ano de 2006.. ....	71
Figura 4.29 – Vista em detalhe dos perfis 6300, 6400 e 6500 no modelo estático mostrando as irregularidades na interface Duna / Barreiras. ....	71
Figura 4.30 – Representação 3D da frente de lavra e adjacências.. ....	72

## Índice de Tabelas

---

Tabela 3.1 - Valores das propriedades físicas de alguns materiais geológicos. ....	27
Tabela 3.2 – Correlação Frequência central da antena <i>versus</i> Profundidade de investigação. ....	28
Tabela 3.3 – Principais aplicações do método GPR. ....	29
Tabela 3.4 – Correlação entre os métodos de posicionamento e precisão obtida. ....	34
Tabela 4.1 – Exemplo de planilha elaborada após o processamento dos dados topográficos. ....	51
Tabela 4.2 – Síntese do levantamento topográfico com Estação Total na campanha de 2006. ....	51
Tabela 4.3 – Síntese do levantamento topográfico com Estação Total na campanha de 2007. ....	52
Tabela 4.4 – Valores dos desníveis da interface Duna / Barreiras em um mesmo perfil GPR. ....	70
Tabela 4.5 – Valores dos desníveis da interface Duna / Barreiras entre diferentes perfis. ....	70

# Capítulo 1 - Introdução

## 1.1 - Apresentação

O presente trabalho corresponde ao último requisito necessário para o término do curso de Mestrado desenvolvido no Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica (PPGG) do Centro de Ciências Exatas e da Terra, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Este trabalho foi realizado no LAE / GEA (Laboratório de Análises Estratigráficas / Grupo de Estudo de Análogos a Reservatórios Petrolíferos) e obteve o apoio financeiro do projeto “Caracterização 3D de dunas eólicas na área da Mineração Millennium”, patrocinado pela empresa Millennium Inorganic Chemicals Mineração Ltda.

## 1.2 - Relevância do tema

Métodos geofísicos e levantamentos topográficos são amplamente utilizados nas geociências e em especial na mineração, tanto nas fases de exploração quanto exploração. O papel da Geofísica é o de fornecer subsídios confiáveis, ecologicamente limpos, rápidos e a baixo custo em relação a métodos tradicionais. Dentre os vários métodos disponíveis, o GPR (*Ground Penetrating Radar*) apresenta-se com características peculiares como: alta resolução, rapidez na aquisição e no processamento dos dados.

A parceria criada entre o Laboratório de Análises Estratigráficas do Departamento de Geologia (LAE-UFRN) e a empresa de mineração Millennium (pertencente a multinacional Cristal Global), permitiu que técnicas e métodos, já dominados por pesquisadores do LAE, utilizados primordialmente na indústria do petróleo, pudessem ser aplicados também na mineração. Foram necessários desenvolvimentos metodológicos para adaptar às condições específicas encontradas na Millennium, de forma a atingir plenamente os objetivos propostos nessa pesquisa.

---

### **1.3 - Explicação do problema e objetivos**

A empresa Millennium desenvolve suas atividades de prospecção no município de Mataraca, no estado da Paraíba, tendo como o principal produto prospectado minerais pesados como ilmenita, rutilo e zircão. A área lavrável (dunas predominantemente inativas) tem como limite inferior rochas siliciclásticas da Formação Barreiras. A mineração se dá através do uso de uma draga que fica emersa em um lago artificial sobre as dunas. Esta retira a areia das dunas do fundo do lago (após o desmonte das bordas do lago com jatos de água) e encaminha para a planta de concentração, através de tubulações. A princípio, o avanço da lavra era realizado com base em informações obtidas a partir de sondagens realizadas pela própria empresa que determinava a que profundidade se dava o contato entre a duna e as rochas da Formação Barreiras (limite inferior da área lavrável).

Porém, existia uma ausência de informações entre uma sondagem e outra, espaçadas em 100m. Como a superfície do Barreiras não é regular, possuindo desníveis consideráveis ao longo de poucos metros, viu-se a necessidade de se conhecer por completo como esta superfície se comporta na área que seria lavrada. Isto proporcionaria um melhor planejamento do avanço da frente de lavra, evitando que a draga se aproximasse em algum momento das rochas do Barreiras e sugasse fragmentos que poderiam obstruir a bomba da draga o que acarretaria um prejuízo financeiro com o conserto da mesma além de um dano maior relacionado aos dias de inatividade da lavra.

Desta forma, o presente trabalho consistiu na aquisição da geometria externa das dunas e principalmente a identificação da superfície que marca a porção superior das rochas siliciclásticas da Formação Barreiras. Com o objetivo de montar um Modelo Estático 3D destes depósitos sedimentares. A visualização em ambiente 3D, permitiu uma melhor compreensão do comportamento topográfico da superfície superior do Barreiras bem como possibilitou a parametrização de irregularidades nesta, favorecendo assim uma cubagem mais precisa da jazida.

---

## **1.4 - Localização da área de estudo**

A Millennium encontra-se localizada no extremo norte do litoral paraibano, no município de Mataraca, próximo a divisa com o Estado do Rio Grande do Norte. O principal acesso a partir da cidade do Natal / RN é a rodovia federal BR-101, seguindo por esta até o entroncamento que dá acesso a cidade de Mataraca. Após esta última são mais 15Km de estrada carroçável até a mina, perfazendo uma distância total de 115Km entre Natal e a Millennium (figura 1.1).

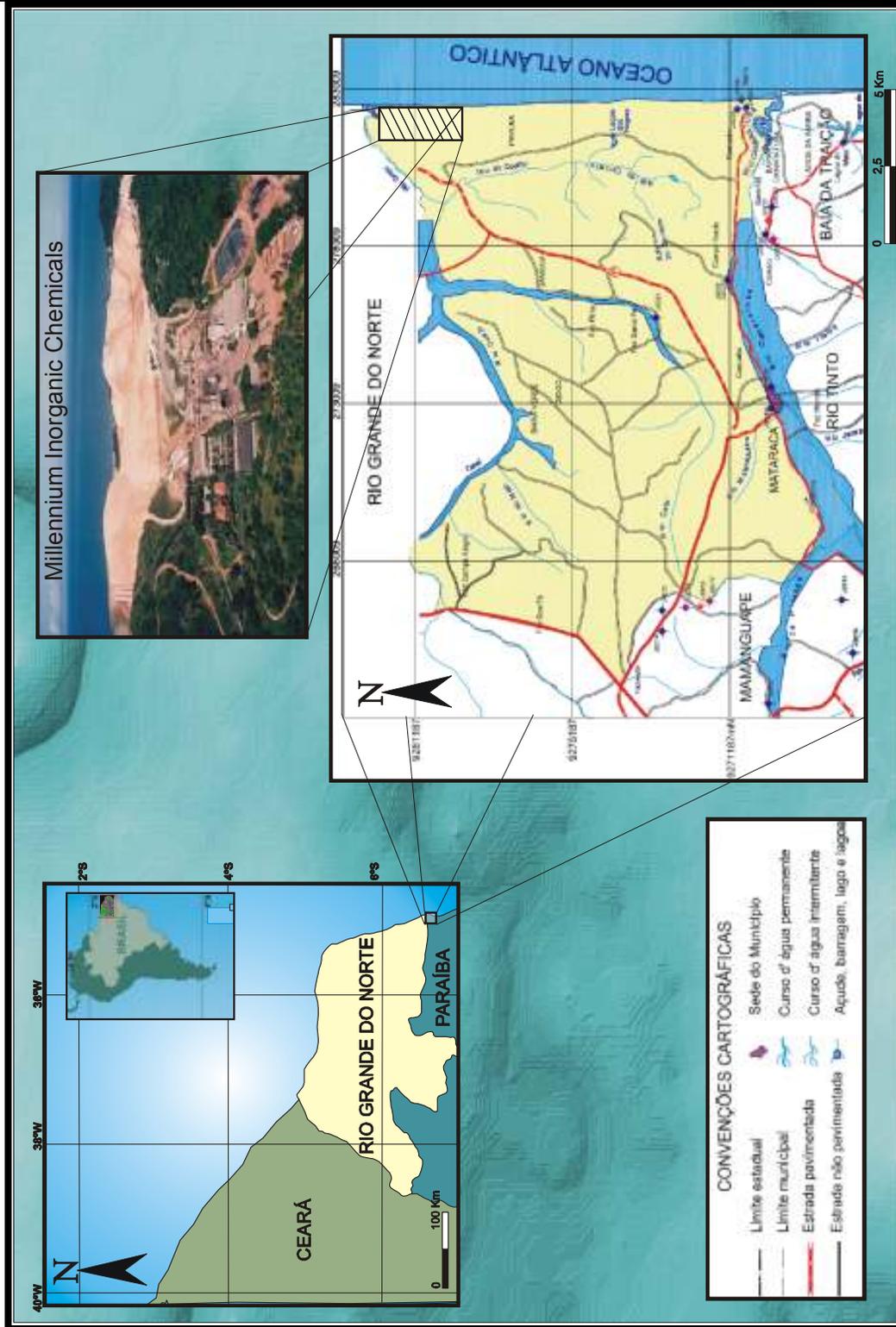


Figura 1.1 – Mapa esquemático mostrando a localização da Millennium Inorganic Chemicals Mineração Ltda.

## **Capítulo 2 – Formação Barreiras e Depósitos Eólicos Costeiros**

A área de estudo do presente trabalho (Millennium) é caracterizada geologicamente pelas rochas siliciclásticas da Formação Barreiras e por dunas eólicas predominantemente inativas (sobrepostas a primeira).

Neste capítulo é apresentado uma breve revisão bibliográfica sobre as unidades estratigráficas Formação Barreiras e depósitos eólicos costeiros. A respeito destes últimos, além de conceitos básicos envolvendo a formação e classificação, trabalhos de alguns autores sobre esta temática ao longo da costa potiguar e paraibana são também citados neste capítulo.

### **2.1 - Formação Barreiras**

A denominação Barreiras vem sendo empregada com sentido estratigráfico desde Moraes Rêgo (1930 *apud* Ramalho, 1984) para descrever depósitos arenosos e argilosos, de cores variadas, com concreções ferruginosas, identificados principalmente nos tabuleiros da costa do norte, nordeste e leste brasileiro.

Apesar de objeto de estudo de vários autores, com a maioria dos trabalhos realizada na região nordeste (melhores exposições), ainda não se conseguiu caracterizar detalhadamente estes depósitos de forma que tal caracterização seja amplamente aceita do ponto de vista geológico. Existem divergências importantes em termos da nomenclatura estratigráfica (Grupo ou Formação Barreiras) e sua idade tem sido admitida desde o fim do Mesozóico até o início do Quaternário, sendo normalmente aceita entre o Mioceno-Plioceno a Pleistoceno (Brito *et al.* 1996).

O termo “Barreiras” foi empregado pela primeira vez por Branner (1902), que descreveu a unidade como camadas de cores variadas aflorantes ao longo da costa nordestina. Bigarella & Andrade (1964) elevaram a unidade à categoria de Grupo, sendo

subdividido nas formações Guararapes e Riacho Morno, separadas por uma superfície erosiva. O termo Grupo Barreiras foi então amplamente aceito.

Realizando trabalhos na região metropolitana de Natal-RN, em rochas correlatas ao Grupo Barreiras, Campos & Silva (1966) identificaram duas outras unidades além da Formação Riacho Morno, recebendo as denominações de Formação Macaíba e Formação Potengi, estando a primeira disposta discordantemente sobre a Formação Riacho Morno, enquanto a segunda estaria situada no topo do Grupo.

Mabesoone *et. al.* (1972) redefiniram o Grupo Barreiras, tanto na costa quanto no interior dos estados do Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará (até o vale do baixo Rio Jaguaribe), colocando em dúvida a subdivisão proposta por Bigarella & Andrade (1964). Argumentam que as formações Guararapes e Riacho Morno não podem ser distintas sedimentologicamente. Desta feita, admitiu-se a existência de uma unidade que corresponderia à Formação Guararapes de Bigarella & Andrade (1964), recoberta por depósitos do intemperismo da Formação Riacho Morno.

Mabesoone *et. al.* (1972) sugeriram ainda que a sucessão variegada do “Barreiras” constitui um Grupo constituído pelas Formações Serra do Martins, Guararapes e Macaíba. Segundo estes autores, a origem da fonte sedimentar deste Grupo seria relacionada a épocas de relativa tranquilidade tectônica e estabilidade climática, o que propiciaria a formação de solos lateríticos espessos. Três fases posteriores de desequilíbrio, em relação ao quadro apresentado anteriormente, teriam causado a remoção dessas “capas” de intemperismo e a erosão das rochas subjacentes, sendo uma nova deposição dessas rochas o evento responsável pela origem das formações Serra do Martins, Guararapes e Macaíba. As formações Riacho Morno e Potengi (Campos & Silva, 1966) deixariam de caracterizar unidades litoestratigráficas, passando então a constituir unidades edafoestratigráficas relacionadas a eventos de intemperismo, capeando as formações Guararapes e Macaíba, respectivamente.

A individualização das formações Guararapes e Riacho Morno foi retomada por Bigarella (1975) em revisão do contexto geomorfológico e estratigráfico do Grupo Barreiras, além da correlação entre as Formações Macaíba e Serra do Martins, estando as mesmas sotopostas ao grupo, sem, no entanto, estarem inclusas no mesmo.

Alheiros *et. al.* (1988) e Mabesoone *et. al.* (1991) admitiram a dificuldade para correlação regional das unidades litoestratigráficas e edafoestratigráficas das formações que compõem o Grupo Barreiras. Assim, as rochas continentais designadas de “Barreiras” foram novamente englobadas na categoria de formação.

Alheiros *et. al.* (1988) e Alheiros & Lima-Filho (1991) realizaram um mapeamento geológico na região entre o Rio Grande do Norte e Pernambuco, concluindo que as rochas da Formação Barreiras foram depositadas por um sistema fluvial entrelaçado, associado a leques aluviais e depósitos litorâneos. As fácies identificadas nestes trabalhos são descritas a seguir:

Fácies de leques aluviais – compreendem arenitos de granulometria grossa a conglomerática, apresentando intercalações pelíticas.

Fácies fluvial de canais entrelaçados – constituem-se de depósitos de canais e de barras longitudinais, os quais são geralmente recobertos pelos depósitos de leques aluviais distais. Podem ser individualizadas duas subfácies, sendo a primeira, representada por arenitos quartzosos com raros grãos de feldspatos e a segunda subfácies apresenta uma quantidade maior de feldspatos, bem como um maior grau de seleção em relação à subfácies descrita anteriormente.

Fácies flúvio-lagunar – é constituída por arenitos com granulometria variando de fina a média, com poucos feldspatos. Mostram-se intercalados com níveis de argilitos e matéria orgânica, representando uma significativa mudança na intensidade dos processos hidrodinâmicos.

Araújo *et al.* (2005) com base na descrição de afloramentos no litoral oriental do Rio Grande do Norte, individualizaram sete litofácies principais associadas às rochas da Formação Barreiras, sugerindo tratar-se de um sistema fluvial do tipo meandrante. As fácies identificadas seguem descritas a seguir:

Fácies Cmg – conglomerados sustentados por matriz arenosa com granodecrescência ascendente.

Fácies Cma – conglomerados sustentados pela matriz arenosa com estratificações cruzadas acanaladas.

Fácies Aca - arenitos conglomeráticos com estratificações cruzadas acanaladas.

---

Fácies Aa - arenitos com estratificações cruzadas acanaladas.

Fácies Ac - arenitos com seixos dispersos e estratificações cruzadas incipientes.

Fácies Lb - lamitos bioturbados.

Fácies Lp - arenitos e lamitos com laminações plano-paralelas.

Visto uma maior aceitação pela maioria dos autores, o presente trabalho, apóia a concepção estabelecida originalmente por Kegel (1957) que concedeu ao termo Barreiras a categoria de Formação.

## **2.2 - Depósitos Eólicos Costeiros**

Segundo Sherman (1995), as dunas costeiras representam o resultado da interação entre processos eólicos e marinhos, vegetação, ações antropogênicas e a geomorfologia do sistema. Assim, a forma destas dunas obedece a uma série de fatores, incluindo: o formato da linha de costa e da praia, as correntes e ondulações (*swell*) dos oceanos, os ventos predominantes, a freqüência das ressacas e o tamanho das partículas de areia. Areias erodidas da costa, de fontes oceânicas (*e.g.* recifes de corais) e/ou fluviais compõem as principais fontes destes sedimentos que de forma geral não possuem silte e argila.

Segue abaixo uma síntese sobre os principais processos, estruturas e morfologias de depósitos eólicos costeiros, onde é dada uma ênfase maior para as dunas (área sobre a qual foram realizadas as aquisições dos dados no presente trabalho).

### **2.2.1 – Processos Eólicos**

Os processos eólicos são definidos como aqueles que envolvem a ação do vento, ou seja, erosão, transporte e deposição sobre a superfície terrestre (Pye & Tsoar, 1990). Estes processos ocorrem em regiões litorâneas, planícies aluviais e desertos.

Os principais processos erosionais produzidos pela ação do vento são a deflação e a abrasão (Brookfield & Ahlbrandt, 1983).

**A deflação** consiste na remoção e transporte pelo vento dos grãos de tamanho silte e areia. O vento retira a fração de granulometria mais fina, ocasionando a concentração

de partículas de granulometria mais grossa. Quando a deflação dos depósitos alcança um patamar suficiente para criar uma cobertura contínua de seixos e grânulos, a erosão eólica cessa, formando-se um pavimento de sedimentos grossos chamados de *lags* de deflação (figura 2.1).

A **abrasão** eólica gera o desgaste de uma superfície pelo contínuo choque de partículas carregadas pelo vento (figura 2.2).

O transporte de sedimento pela ação do vento se dá através dos seguintes mecanismos: saltação, suspensão e arrasto (figura 2.3).

Por fim, existem os processos de sedimentação que envolvem a deposição de grãos individuais e estabilização de formas de leito (Pye & Tsoar, 1990), que serão melhor analisados a seguir.



Figura 2.1 - Três estágios de desenvolvimento de um pavimento de deflação: deflação inicial dos sedimentos arenosos; concentração dos clastos a medida que ocorre a deflação; o término da deflação em decorrência do recobrimento total do substrato arenoso por clastos. Modificado de Greeley & Inversen, 1985.

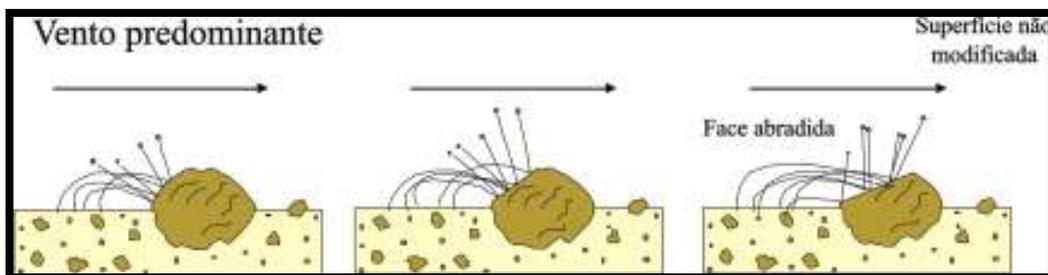


Figura 2.2 – Atuação do processo de abrasão sobre uma rocha. Modificado de Greeley & Inversen, 1985.

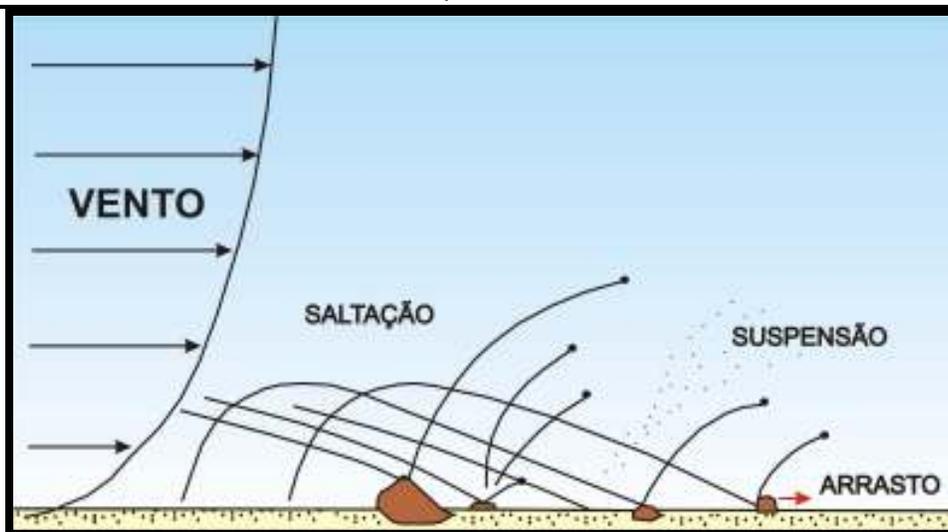


Figura 2.3 - Os três processos básicos de transporte de sedimentos pelo vento (Greeley & Inversen, 1985).

### 2.2.2 – Principais formas de leito

Wilson (1972) identificou três diferentes hierarquias de formas de leito geradas pelo vento: marcas onduladas, dunas e *draas*. Segundo Lancaster (1988), as marcas onduladas têm o seu desenvolvimento controlado pela natureza dos eventos dinâmicos individuais de curta duração (horas ou dias); as dunas pelas variações sazonais na velocidade e no sentido dos ventos com tempo de reconstituição na ordem de 10 a 100 anos e os *draas* respondem às mudanças no regime geomorfológico geral, sendo insensíveis às mudanças locais nas condições do fluxo, tendo um tempo de reconstituição de 1000 a 100.000 anos.

As marcas onduladas correspondem a formas de leito de escala centimétrica, geradas pela movimentação dos sedimentos de areia ou grânulos, por saltação e arrasto superficial ao longo do substrato. Podem se desenvolver sobre depósitos de lençóis de areia, regiões de interdunas ou no dorso e na face frontal de dunas e *draas* (Bagnold (1941); Sharp (1963); Fryberger & Schenk (1981).

Segundo Kocurek (1981) as dunas consistem em formas de leito com comprimento de ondas variando de poucos metros chegando até a 500 m, e alturas entre 0,1 e 100 m.

O termo *draa* é restrito às formas de leito maiores (comprimento de onda de 300-5500 m e altura entre 20-450 m) representando dunas superpostas migrando no seu dorso ou na sua face frontal (Kocurek, 1981).

Existe ainda duas outras feições eólicas que geralmente ocorrem associado as dunas que são os lençóis de areia e interdunas (Kocurek, 1981)..

Se a quantidade de sedimentos disponível for alta e as dunas, por algum motivo, não alcançarem o estágio de estabilização, lençóis de areia podem se formar (Short, 1988). Os lençóis de areia representam áreas cobertas por areias eólicas onde não existem dunas com faces de escorregamento bem desenvolvidas, ou seja, quando estas não alcançam o estágio de estabilização ideal (Fryberger *et al.* (1979), Kocurek & Nielson (1986)).

Já as interdunas correspondem simplesmente a depressões entre dunas eólicas ou *draas* que apresentam extensões e geometrias variadas (Kocurek, 1981).

### **2.2.3 – Principais estruturas sedimentares**

As principais estruturas sedimentares encontradas em depósitos arenosos eólicos estão agrupadas em estruturas primárias e secundárias. As estruturas primárias refletem os processos responsáveis pelo transporte e deposição inicial, enquanto que as estruturas secundárias refletem perturbações sin ou pós-deposicionais (Pye & Tsoar, 1990).

#### **2.2.3.1 – Estruturas primárias e processos associados**

De acordo com Hunter (1977), existem três processos responsáveis pela formação de estruturas primárias em dunas que são: (a) deposição por fluxo de grãos (*grain flow deposition*), (b) deposição por queda de grãos (*grain fall deposition*) e (c) deposição tracional (*tractional deposition*).

Os dois primeiros processos formam, respectivamente, as estratificações cruzadas por fluxo de grãos e as laminações por queda de grãos. As estratificações cruzadas por “fluxo de grãos” são geradas por avalanches na face de sotavento da duna, gerando feições em língua com gradação inversa. As laminações por “queda de grãos” apresentam

como principal característica a bimodalidade, originadas pelas sutis diferenças na velocidade do vento (Hunter, 1977).

Os processos de tração, segundo Hunter (1977), explicam o mecanismo de migração de marcas onduladas e a origem de *climbing* transladantes nas mesmas. Normalmente, estas formas de leito passam a cavalgar umas sobre as outras ficando, ao final, preservadas sob a forma de estratos transladantes cavalgantes. O ângulo de cavalgamento varia dependendo do volume de sedimento e da taxa de migração da marca ondulada, compondo três tipos principais: supercrítico, crítico e subcrítico (figura 2.4).

		Estruturas transladantes	Laminações das marcas onduladas
Relação entre o ângulo de cavalgamento ( $\alpha$ ) e a inclinação do dorso das formas de leito ( $\beta$ )	Subcrítico ( $\alpha < \beta$ )	 Estratos transladantes cavalgamento subcrítico	 Laminações cruzadas truncadas
	Crítico ( $\alpha = \beta$ )	 Estratos transladantes cavalgamento crítico	 Laminações cruzadas inteiramente preservadas
	Supercrítico ( $\alpha > \beta$ )	 Estratos transladantes cavalgamento supercrítico	 Preservação do dorso e da parte frontal das formas de leito

Figura 2.4 - Classificação do tipo de estratificação de marcas onduladas eólicas em função do ângulo de cavalgamento relativo a inclinação do dorso da forma de leito, e a presença ou ausência de laminações cruzadas (modificado de Hunter, 1977).

### 2.2.3.2 – Estruturas secundárias e processos associados

Estas estruturas são formadas por uma série de processos como: escorregamento (*slump*); fluidização, como resultado de distúrbios tectônicos; bioturbações e episódios erosionais envolvendo vento ou água (McKee & Bigarella, 1972). Várias feições

sedimentares deformativas como brechas, dobras, falhas, *etc*, podem resultar destes processos de avalanches de areias, como já foi descrito por McKee *et al.* (1971) e McKee & Bigarella (1972).

#### 2.2.4 - Superfícies Limitantes

As superfícies limitantes são descontinuidades erosionais, as quais separam séries de estratos cruzados.

Brookfield (1977, 1992) sugeriu que as superfícies limitantes estão relacionadas à migração de formas de leito cavalgantes de diferentes ordens hierárquicas (figura 2.5). As superfícies de 1ª ordem são relacionadas à migração de complexas megadunas (as chamadas *draas*), as de 2ª ordem à migração de dunas sobre superfícies de *draas* e as de 3ª ordem ocasionadas por variações na direção do vento. A orientação e o mergulho das superfícies limitantes, bem como dos *foresets*, variam com o tipo de duna, posição, complexidade do regime de vento e o plano no qual a seção é vista.

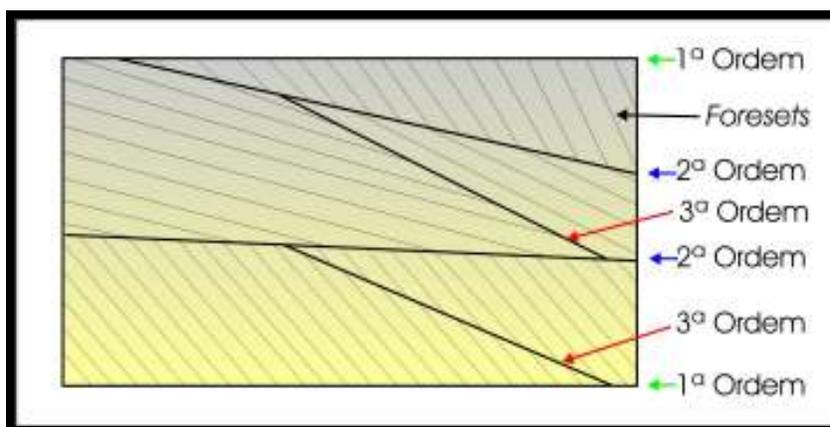


Figura 2.5 - Ordens de superfícies limitantes. Modificado de Brookfield (1977). As superfícies de 1ª ordem são planares ou convexas, as quais cortam estratificações cruzadas ou outros tipos de estruturas de dunas. As superfícies de 2ª ordem limitam sets de estratificações cruzadas e as superfícies de 3ª ordem são de pequena escala e separam grupos de laminações dentro de sets.

#### 2.2.5 – Classificação de Dunas Costeiras

De acordo com McKee (1979) e Hunter *et al.* (1983), as dunas eólicas podem ser classificadas respectivamente de acordo com seu caráter morfológico e morfodinâmico, compreendendo estas as duas classificações mais importantes.

Existe ainda uma terceira classificação que se apóia na localização em que as dunas encontram-se em relação ao perfil praiial, sendo estas: Dunas Frontais (incipientes e estabilizadas) e Dunas Interiorizadas (localizadas atrás das dunas frontais estabilizadas, sendo tipicamente mais estáveis e cobertas por vegetação de maior porte (Hesp, 2002).

### 2.2.5.1 - Classificação Morfodinâmica

A classificação morfodinâmica está fundamentada no ângulo formado entre a linha de crista das dunas e o vetor médio da direção dos ventos. Com base nisto, Hunter *et al.* (1983) sugeriu três tipos fundamentais: dunas longitudinais, oblíquas e transversais (figura 2.6).

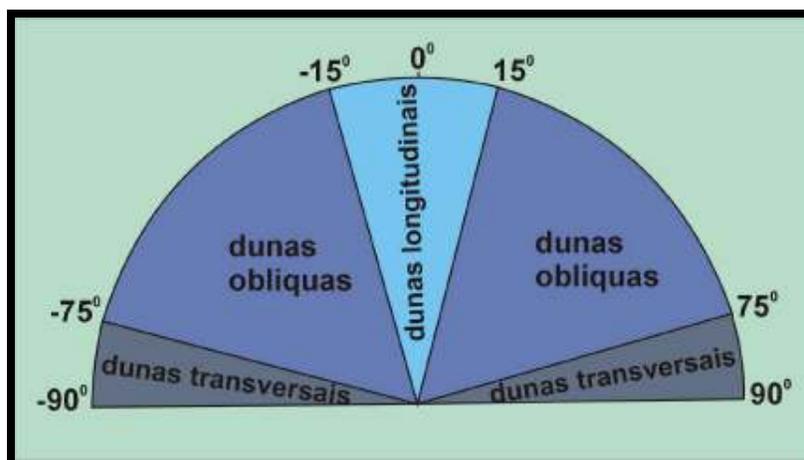


Figura 2.6 – Classificação Morfodinâmica de dunas eólicas com base no ângulo formado entre a linha de crista da duna e o vetor médio da direção dos ventos. Modificado de Kocurek, 1991.

### 2.2.5.2 - Classificação Morfológica

A morfologia de dunas costeiras, em particular, depende de quatro fatores principais (Pye & Tsoar, 1990): (a) morfologia da praia e dinâmica da linha de costa, nas quais influenciam, por exemplo, na taxa de suprimento de areia; (b) características do vento, incluindo a distribuição da intensidade, frequência e variabilidade direcional; (c) a extensão e crescimento da cobertura vegetal; e (d) atividades humanas, que podem trazer impactos diretos e indiretos. A classificação morfológica é baseada nas características geométricas, tais como sinuosidade da linha de crista, números de faces frontais e a presença ou ausência de dunas superpostas.

### **Dunas lineares (*Linear dunes*)**

Caracterizam-se pela considerável extensão, simetria, espaçamento regular e baixa razão entre região de duna e interduna, podendo apresentar ou não cobertura vegetal (Lancaster 1982, Tsoar 1989). As cristas são retas ou onduladas e paralelas à direção do vento.

### **Dunas barcanas (*Barchan dunes*)**

Barcanas são dunas geralmente isoladas com geometria em forma de “meia-lua”, formadas sob a ação de ventos unidirecionais, onde suas extremidades (braços) desenvolvem-se no sentido de propagação do vento (figura 2.7). Apesar deste tipo de duna poder migrar por longas distâncias sem que haja maiores modificações na sua forma ou tamanho (Noris, 1996), variações na direção do vento podem chegar a gerar assimetrias na sua forma. A inclinação a barlavento (*stoss side*) é normalmente convexa com uma inclinação média de  $12^\circ$  enquanto que a inclinação a sotavento (*lee side*) é caracterizada por uma face de deslizamento entre  $33^\circ$  e  $34^\circ$ .



**Figura 2.7 – Duna barcana com superposição de marcas onduladas. Notar que os braços da duna se desenvolvem a favor do sentido de propagação do vento.**

### **Dunas reversas (*Reversing dunes*)**

Trata-se de dunas formadas a partir da evolução de barcanas, relacionadas à mudanças sazonais no sentido do vento que provoca transporte sedimentar em direções opostas (Thomas, 1997).

### **Dunas estrela (*Star dunes*)**

Dunas estrela são caracterizadas pela presença de três ou mais braços sinuosos radiais que estão unidos a uma única crista, podendo adquirir formas compostas. Estas dunas são comuns em regiões desérticas, sendo também encontradas em áreas costeiras, como descritas por McLachlan (1987), na costa sudeste da África.

Lancaster (1989) propôs um modelo de formação de uma duna estrela a partir da evolução de uma duna transversal (figura 2.8).

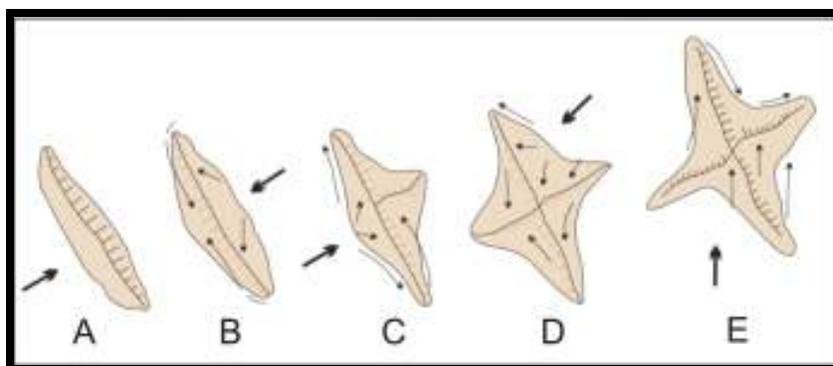


Figura 2.8 - Representação esquemática da formação de uma duna estrela a partir de uma duna transversal. (A) duna transversal. (B) mudança sazonal da direção do vento implicando na reversão da crista da duna. (C) duna reversa com um braço incipiente de duna estrela. (D) desenvolvimento de braços por fluxo secundário. (E) acentuação dos braços a partir de uma terceira direção do vento e fluxo secundário. As setas largas indicam a direção do vento e as setas finas, fluxo de vento secundário. Modificado de Lancaster, 1989.

### **Dunas parabólicas (*Parabolic dunes*)**

As dunas parabólicas, como o próprio nome já diz, possuem o formato de uma parábola onde seus braços simétricos ou assimétricos estendem-se em sentido oposto ao vento, geralmente em direção ao mar, com os lobos deposicionais na forma de “U” ou “V”. A morfologia das dunas parabólicas (figura 2.9) depende da variação da direção e força dos ventos, do suprimento de areia e da natureza do espaço vegetado sobre o qual as dunas se movem (Pye & Tsoar, 1990).

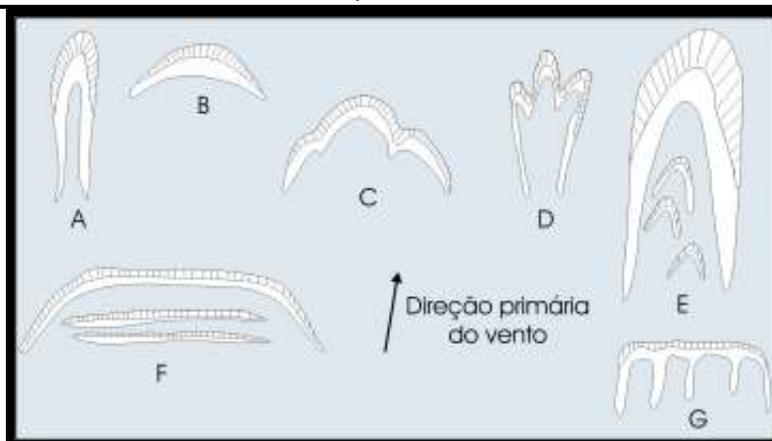


Figura 2.9 - Variações morfológicas de dunas parabólicas segundo Pye & Tsoar (1990): (A) Grampo, (B) lobular, (C) hemicíclica, (D) digitada, (E) nidiformes (dunas conjugadas, na qual dunas menores aninham-se entre os braços da duna maior), (F) cadeias transgressivas com dunas transversais secundárias, (G) dunas em forma de “ancinho”. A e B compreendem formas simples; C, D e E correspondem a formas compostas e F e G a formas combinadas.

### **Dunas em domos (*Dome dunes*)**

Correspondem a acumulações circulares ou semicirculares, em planta, apresentando crista plana. São freqüentemente de pequeno porte, quando formadas na região costeira chegam a 1 metro de altura e diâmetro inferior a 14 metros (McKee & Bigarella, 1979). A ausência da face de avalanche é atribuída a ventos fortes e unidirecionais que impedem o crescimento vertical da crista da duna.

### **Dunas de Sombra (*Shadow Dunes*)**

As dunas de sombra (figura 2.10) são formadas a partir do contorno de um obstáculo, (vegetação ou não), por fluxos de vento geralmente secundários, que se unem novamente dando origem ao acúmulo de areia em forma piramidal (Pye & Tsoar, 1990).



Figura 2.10 - Formação de uma duna de sombra a partir de fluxos de ventos secundários (Fracasso, 2005).

### **Dunas de *Blowout* (*Blowouts dunes*) ou Lobos Depositionais**

As dunas de *blowout* ou lobos deposicionais (Hesp, 1999), são partes integrantes de uma feição erosiva a qual denomina-se *blowout* ou ruptura de deflação. De acordo com Hesp (1999), a zona ou bacia de deflação e os muros erosionais também são parte integrante das rupturas de deflação.

Os *blowouts* são depressões côncavas (em forma de “pires ou calha”; figura 2.11) formadas pela erosão do vento num depósito de areia pré-existente. As acumulações adjacentes de areia, denominadas de lobos deposicionais (ou duna de *blowout*), derivados possivelmente da depressão e de outras fontes, pode ser considerada parte do *blowout* (Hesp & Hyde, 1996).

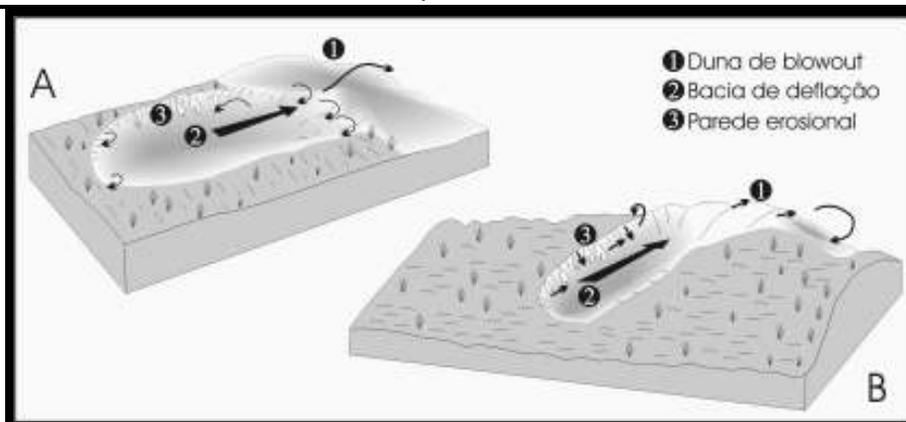


Figura 2.11 - Tipos principais de *blowouts*. Em “A”, *blowout* tipo pires e em “B”, *blowouts* tipo calha. Observar a maior profundidade do *blowout* em forma de calha e paredes erosionais mais escarpadas em relação ao *blowout* em forma de pires. As setas indicam o padrão de fluxo do vento. Modificado de Hesp, 2002.

### 2.2.6 – Classificação do sistema de dunas presente entre o litoral potiguar e paraibano

Vários autores sugerem diferentes classificações para as dunas eólicas da costa leste dos estados do Rio Grande do Norte e Paraíba. Isso se deve aos diferentes parâmetros (geologia, geomorfologia, hidrologia, meio ambiente, uso e ocupação dos solos, coloração) levados em consideração por estes autores. Segue abaixo uma rápida revisão bibliográfica a respeito dos principais trabalhos sobre dunas costeiras nestes dois estados.

Andrade (1968), ao realizar estudos na região costeira ao sul de Natal, identificou dois principais sistemas de dunas: um sistema composto por dunas fixadas por vegetação, mais distantes da linha de costa atual, a qual o autor denominou “Dunas Antigas”, de coloração amarelada a avermelhada; e o outro que recebeu a denominação de “Dunas Recentes Móveis”, de coloração esbranquiçada, constituindo depósitos na forma de cordões finos e alongados, dispostos paralelamente ao longo da linha de costa.

Vilaça *et al.* (1986), ao caracterizar aspectos ambientais da faixa litorânea compreendida entre Búzios e Barra de Maxaranguape, na costa leste potiguar, identificou e classificou dois grupos de dunas: “Depósitos Dunares Sub-recentes” (paleodunas com coloração em tons de amarelo e vermelho, e diferentes graus de estabilização e

pedogênese) e “Depósitos Dunares Recentes” (granulometria muito fina a média e grossa, com cores entre branco-rosado e cinza claro).

Nazaré Jr. (1993) e Duarte (1995), a partir de fotointerpretações, análise granulométrica, morfométrica, morfoscópica, perfis de poços, coloração, idade relativa e presença de vegetação de fixação nas dunas estudadas, puderam distinguir duas principais gerações de dunas eólicas na região da grande Natal: “Dunas Antigas (fixas)” e “Dunas Recentes” (móveis).

Melo (1995), ao descrever a geologia/geomorfologia da porção centro-sul do município de Natal, propôs uma classificação das dunas eólicas presentes na região em “Dunas Mais Antigas” e “Dunas Mais Recentes ou Atuais”, com base em critérios de topografia, idade relativa, litologia e coloração. Segundo estes autores, as “Dunas Mais Antigas” estariam situadas nas superfícies de cotas inferiores a 50 m, compreendendo as dunas urbanas de Natal, como também as dunas presentes entre elevações ou entre cordões de dunas, no setor sul da cidade. São formadas por areias com percentual de argila, juntamente com colúvios e sedimentos retrabalhados da Formação Barreiras. As “Dunas Mais Recentes ou Atuais” situam-se em áreas de cotas superiores a 50 m, constituindo dunas litorâneas, paralelas à linha de costa, por vezes vegetadas como, por exemplo, as dunas encontradas no Parque das Dunas, em Natal.

Silveira & Vilaça (1985) identificaram um subdomínio eólico em estudos de geomorfologia no litoral leste do Rio Grande do Norte, compartimentado nas seguintes partes: Superfícies de deflação (resultam do retrabalhamento dos ventos sobre os depósitos eólicos e compreendem relevos planos ou suavemente ondulados, contendo por vezes vegetação esparsa), Campos de Dunas (corpos de areias eólicas que teriam sofrido processos de deflação e deposição, sendo possível o reconhecimento, nesta categoria, de campos de dunas transversais, longitudinais, *climbing dunes* e *blowouts*) e os Campos de Paleodunas (representados por formas de dunas estáveis, fixadas por vegetação, de direção SE-NW, sendo classificadas nos tipos parabólicas - grampo de cabelo ou *hairpin* - e barcanas).

Costa (1971) identificou quatro gerações de dunas, classificando-as, da mais antiga para a mais nova, em: (a) Dunas mais Antigas, de coloração avermelhada e alturas

predominantes de 40 a 60 m; (b) Dunas de Idade Intermediária, de coloração amarelada e alturas variando de 80 a 120 m, ocupando uma faixa paralela à linha de costa com largura média de 1.500 m; (c) Dunas do Pleistoceno superior, de coloração esbranquiçada a amarelada e morfologia relativamente plana com altitudes variando de 1 a 10 m; e (d) Dunas Atuais, de coloração esbranquiçada a amarelada com altitudes variando também de 1 a 10 m.

Nogueira (1981, 1982) também identificou duas gerações de dunas, sendo separadas em: (a) Dunas Fixas ou Paleodunas, de geração mais antiga, compreendidas aproximadamente entre o Pleistoceno superior e o Holoceno; (b) Dunas Móveis, de geração mais recente (holocênica) e coloração esbranquiçada.

Segundo Barreto *et al.* (2004) e Giannini *et al.* (2001), as dunas do litoral do Rio Grande do Norte estão caracterizadas em quatro domínios principais: (a) Dunas Ativas, marcadas pela presença de formas barcanas isoladas e cristas barcanóides associadas a frentes parabólicas transgressivas, com pouca ou nenhuma vegetação; (b) Dunas Inativas com Formas Nítidas, correspondentes a dunas parabólicas compostas, vegetadas e com morfologia nítida nas imagens de satélites e fotografias aéreas; (c) Dunas Inativas com Formas Tênuas, constituídas predominantemente por dunas do tipo parabólicas compostas, simples e longitudinais. Estas últimas correspondem possivelmente a rastros lineares residuais (*trailing ridges*) de dunas parabólicas; e (d) Dunas Inativas denominadas de lençóis de areia (*sand sheet*), constituídas por formas mais tênues ou dissipadas que as demais.

Entre os estados da Paraíba e Rio Grande do Norte, dunas eólicas predominantemente inativas superpõem-se sobre os depósitos continentais da Formação Barreiras ou sobre os terraços marinhos pleistocênicos (Barreto *et al.* 2002). Essas dunas migram, da praia continente adentro, por cerca de 3 a 5 km, numa faixa de aproximadamente 20 km, formando um único campo de dunas com maior extensão e, portanto, o mais significativo do estado (Barreto *et al.* 2002).

Barreto *et al.* (2002), desta vez realizando estudos entre a porção setentrional da Baía da Traição e o limite com o Rio Grande do Norte, dataram dunas eólicas pelo Método da Termoluminescência. Segundo esses autores, os depósitos eólicos nesta região

atingem alturas de até 60m, representados por frentes de parabólicas escalonadas, desenvolvidas a partir de ventos unidirecionais, porém com relativa dispersão. Foram coletadas 3 amostras num perfil de duna parabólica vegetada com cerca 10 m de altura, próximo à foz do Rio Camaratuba, com profundidades de 1,8m, 2,8m e 3,8m. As idades obtidas são crescentes com a profundidade, atingindo  $27.200 \pm 1.600$  anos em 1,8m,  $36.200 \pm 1.900$  anos em 2,8m e  $61.600 \pm 3.300$  anos. Vale ressaltar que neste perfil não foram observadas discordâncias marcantes. Já a última amostra, coletada na Praia de Cardosas, representa um depósito eólico de granulometria variando de areia fina a média, com estrutura maciça e relevo suavemente ondulado. A idade obtida foi de  $64.100 \pm 3.600$  anos e apresenta correlação geológica com o nível de 3,8 m de profundidade datado no perfil de duna parabólica citado anteriormente.

Fracasso (2005) realizou estudos de vulnerabilidade/suscetibilidade de sistemas de dunas frente às pressões antrópicas no Parque das Dunas e na Barreira do Inferno, localizados, respectivamente, nos municípios de Natal e Parnamirim, estado do Rio Grande do Norte. Ambos sistemas foram enquadrados em um estágio de equilíbrio frente às pressões antrópicas, sendo o Parque das Dunas caracterizado como um campo dunar relíquia (não existe a introdução significativa de partículas modernas, nem processos significativos de remobilização dos sedimentos) e a Barreira do Inferno, como um campo dunar palimpsestico (apresenta processos de fornecimentos e de remobilização das partículas de areia diferentes dos atuais, embora continue havendo alguma introdução de partículas modernas).

### **2.2.7 – Minerais pesados presentes nas dunas da Mineração Millennium**

Os depósitos de titânio economicamente importantes são de origem secundárias e apresentam-se ao longo de linhas de costa, deltas e meandros de rios concentrando minerais pesados como ilmenita, rutilo e zircão, além de outros minerais pesados como cianita. O teor de concentração destes minerais varia principalmente em função do tipo de sistema deposicional envolvido. A lavra de minerais pesados ricos em titânio ocupa importante destaque dentro da mineração devido a vasta e importante aplicação deste elemento (indústria naval, espacial, ligas especiais e indústria química), no entanto, o

composto de titânio mais importante sob o ponto de vista químico-industrial é o dióxido de titânio, que por sua extrema brancura e elevada reflectância é utilizado como pigmento na fabricação de tintas, papel, borracha, plásticos, cerâmicas, cosméticos. (Ré & Marques 2002).

Segundo Dote Sá (1998), ao longo de todo litoral brasileiro ocorrem concentrações de minerais pesados contendo este elemento, porém, somente algumas regiões apresentam condições fisiográficas, geomorfológicas e geológicas capazes de acomodar um jazimento economicamente viável que suporte, dentro das leis ambientais e minerais vigentes, uma mineração. A Millennium localiza-se em um destes locais. Além de produzir ilmenita (seu principal produto) também concentra e comercializa rutilo (produção de eletrodo de solda e ligas metálicas), zircão (indústria cerâmica, refratários e fundição de elevada precisão) e cianita (indústria cerâmica).

Ré & Marques (2002) explicam que os jazimentos de titano-zircônio ocorrem em depósitos tipo *placers* (depósito superficial formado pela concentração de minerais pesados concentrados mecanicamente) ricos em ilmenita e zircão. A mineralização ocorre como níveis de minerais pesados intercalados em sedimentos arenosos (dunas). A espessura destas dunas contendo estes níveis mineralizados pode alcançar até 60 metros, mas em média é de 30 a 40 metros. Atualmente, o teor médio de minerais pesados gira em torno de 1,9%, compreendendo 74% de ilmenita, 14% de zircão, 2,3% de rutilo e 9,7% de outros minerais.

Segundo Bessa (1975), a origem admitida para a formação destes depósitos minerais é a seguinte: os minerais pesados cristalizaram-se em rochas pré-cambrianas de cristalinidade fina. Devido aos efeitos do intemperismo, tais rochas foram decompostas física e quimicamente, conservando-se os minerais pesados e o quartzo, que foram carreados para o mar pelos rios da região, depositando-se primeiramente na formação Barreiras. Posteriormente, esta formação ficou exposta, sofrendo uma fase de erosão, que até hoje persiste. Os minerais pesados foram novamente carreados para o mar, e, pelo efeito das correntes costeiras foram distribuídos pelas praias. A ação dos ventos predominantes transporta os minerais leves e pesados para o continente, formando as vastas dunas que recobrem a região.

## Capítulo 3 – Materiais e Métodos

Para que técnicas e métodos, já dominados por pesquisadores do LAE e utilizados primordialmente pelo grupo em trabalhos voltados para a indústria do petróleo, pudessem ser aplicados também na mineração, foram necessários desenvolvimentos metodológicos que pudessem se adaptar às condições específicas encontradas na Millennium, de forma a atingir plenamente os objetivos propostos neste trabalho.

A figura 3.1 mostra de forma seqüenciada os procedimentos adotados descritos abaixo de forma sucinta.

Primeiramente foi realizado um estudo teórico com o intuito de avaliar principalmente se as ondas eletromagnéticas iriam ou não alcançar o alvo selecionado (no caso deste trabalho as rochas da Formação Barreiras). Durante esta etapa também foram determinados alguns parâmetros de aquisição que seriam adotados na fase seguinte.

Só então se procedeu em campo o levantamento plani-altimétrico, com o uso de uma Estação Total e um GPS Geodésico, e geofísico (GPR) dos diversos perfis. Os radargramas após processados foram interpretados de forma a identificar o refletor que marcava o contato Duna / Barreiras.

A última fase consistiu na geração de modelos estáticos 3D da região estudada. Nos *softwares* GoCad e Datamine, foram gerados em um primeiro momento um Modelo Digital de Terreno (MDT) da superfície das dunas. Em seguida os radargramas foram geoposicionados e incorporados ao MDT. Agora em ambiente 3D eles foram reinterpretados (vetorização do refletor alvo) subsidiando a geração de uma superfície que representa a porção superior das rochas da Formação Barreiras. Com a integração de ambas as superfícies foi possível obter um Modelo Estático 3D da área.

Na seqüência deste capítulo, segue uma síntese geral sobre as diversas ferramentas empregadas no trabalho com uma ênfase maior ao GPR.

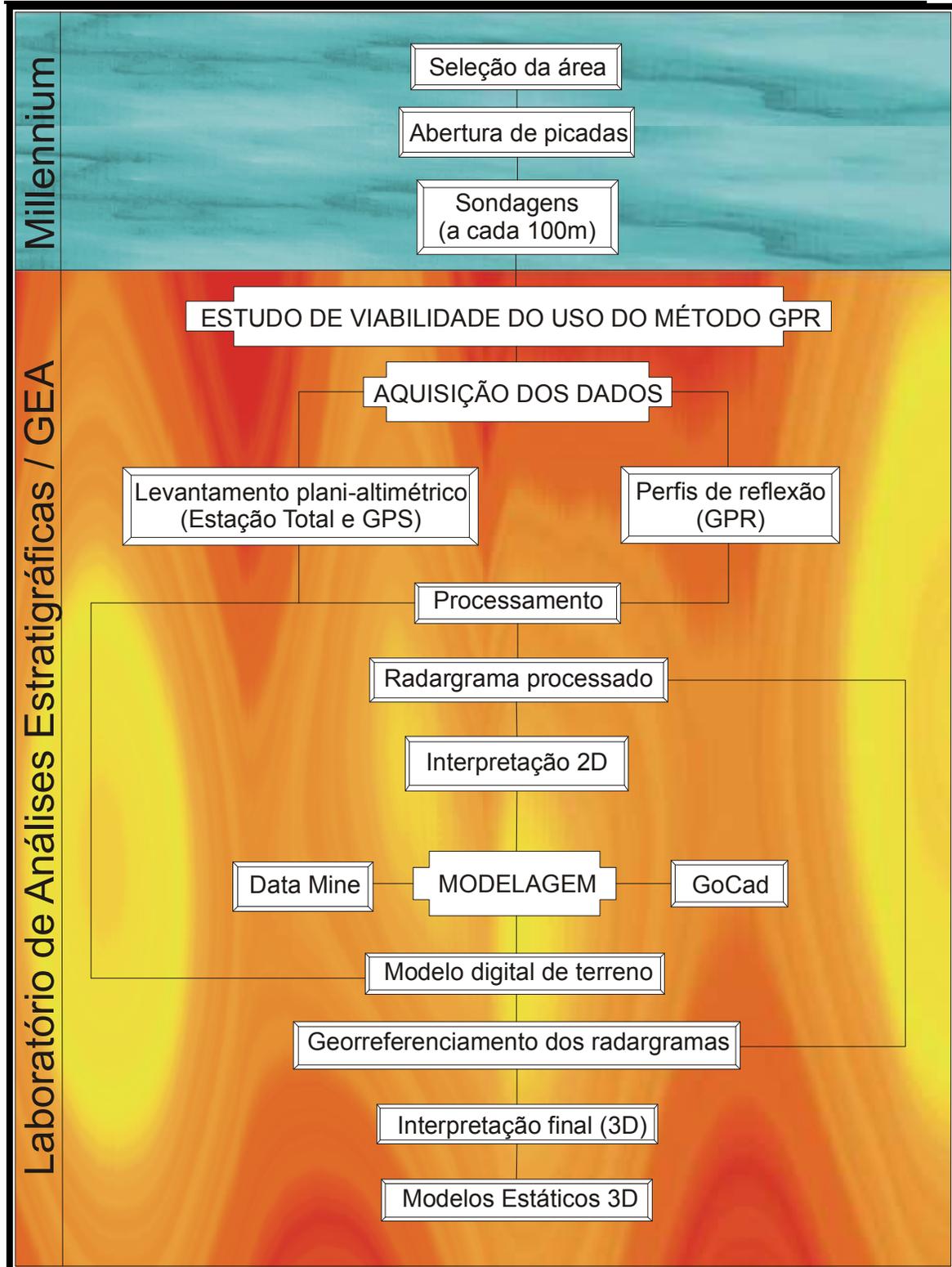


Figura 3.1 – Fluxograma metodológico abordando as principais atividades desenvolvidas neste trabalho.

## 3.1 - Georadar

### 3.1.1 - Introdução

O GPR, abreviação da expressão em inglês *Ground Penetrating Radar*, é também conhecido por outros termos como “Georadar” ou “Radar de Penetração no Solo”. Porém a sigla GPR encontra-se hoje bastante difundido e consolidado mundialmente.

Ele é um método geofísico eletromagnético que gera imagens de alta resolução de estruturas e feições rasas presentes em subsuperfície, com base no registro do tempo duplo de viagem das ondas eletromagnéticas (Annan, 1992). Por meio de uma antena transmissora, um curto pulso eletromagnético de alta frequência (ondas na faixa de 16 a 2200 MHz) é transmitido ao solo. Em subsuperfície estes pulsos sofrem reflexões e refrações em discontinuidades que marcam o contato entre dois meios com diferentes propriedades eletromagnéticas presentes no subsolo (figura 3.2). As ondas refletidas são captadas ao retornar a superfície por uma antena receptora onde são então amplificadas, digitalizadas e registradas (Robinson & Michaud, 1999). O produto armazenado corresponde a uma representação gráfica das discontinuidades observadas denominado de radargrama (Cagnoli & Ulrych, 2001).

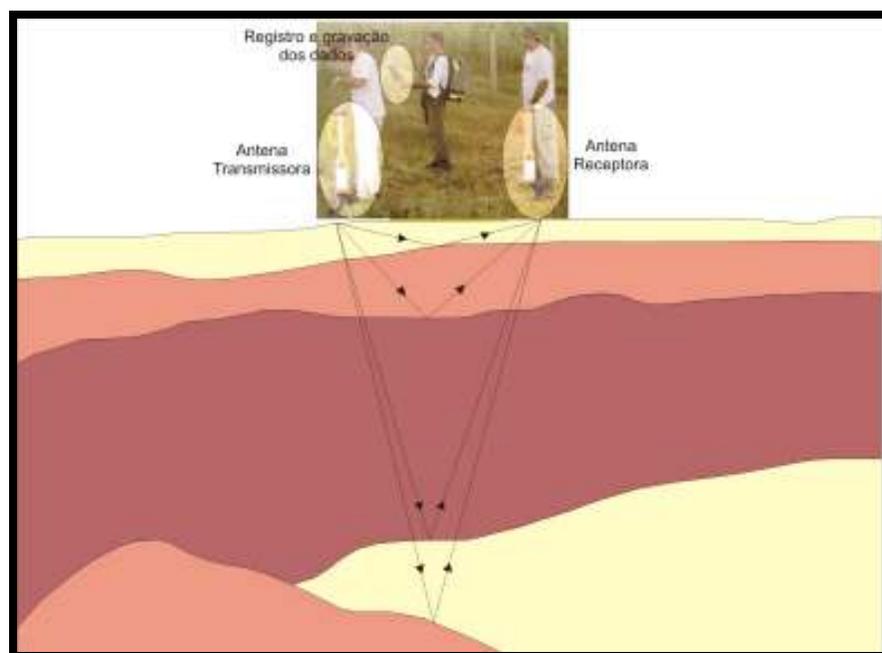


Figura 3.2 – Princípio do método GPR.

Davis & Annan (1989) mostraram que as propriedades eletromagnéticas dos materiais bem como a frequência central da antena influenciam na propagação do pulso eletromagnético. Dentre as principais propriedades eletromagnéticas podemos citar: a permissividade dielétrica ( $\epsilon$ ), a condutividade elétrica ( $\sigma$ ) e a permeabilidade magnética ( $\mu$ ). A velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas ( $v$ ) está diretamente relacionada com a constante dielétrica ( $k$ ); e a determinação desta velocidade é necessária para converter o tempo duplo de viagem do pulso em profundidades estimadas (Robinson & Michaud, 1999). A profundidade de penetração do sinal é controlada pelo coeficiente de atenuação do material ( $\alpha$ ), o qual é influenciado primariamente pela condutividade elétrica (Davis & Annan, 1989). Assim, camadas condutivas constituídas de argilas, depósitos com algum conteúdo salino e/ou umidade causam severos problemas de atenuação do sinal, comprometendo a profundidade de investigação. A tabela 3.1 mostra uma correlação dos valores de velocidade de propagação ( $V$ ), constante dielétrica ( $k$ ), coeficiente de atenuação ( $\alpha$ ) e condutividade ( $\sigma$ ) para os diferentes tipos de materiais.

**Tabela 3.1 - Valores das propriedades físicas de alguns materiais geológicos, quando utilizado antenas com frequência de 100 MHz. Modificado de Davis & Annan (1989).**

Materiais	k	V (m/ns)	$\sigma$ (mS/m)	$\alpha$ (dB/m)
Ar	1	0,3	0	0
Água doce	80	0,033	0,5	0,1
Areia seca	3-5	0,15	0,01	0,01
Areia saturada	20-30	0,06	0,1-1	0,03-0,3
Argila	5-40	0,06	2-1000	1-300
Granito	4-6	0,13	0,01-1	0,01-1

O sistema GPR trabalha com diferentes tipos de antenas. Estas se diferem basicamente pelo fato de serem blindadas (mais protegidas quanto ao efeito de fatores limitantes como redes de alta tensão e objetos metálicos) ou não e pela frequência central. A escolha da antena é função do objetivo do levantamento. A profundidade de investigação é inversamente proporcional a resolução espacial do produto (qualidade do radargrama), ou seja, quanto maior a frequência central da antena, menor a profundidade de investigação e melhor a resolução do produto e vice-versa (tabela 3.2).

**Tabela 3.2 – Correlação Frequência central da antena versus Profundidade de investigação. Quanto menor a frequência, maior a profundidade de investigação. As profundidades de investigação citadas nesta tabela, correspondem a valores médios, podendo ser maior ou menor a depender do meio em que se está trabalhando. Disponível em <http://www.geophysical.com/antennas.htm> (acesso: outubro de 2007).**

Frequência central da Antena	Profundidade de Penetração
16 MHz	50 m
40 MHz	35 m
70 MHz	25 m
100 MHz	20 m
200 MHz	7 m
270 MHz	6 m
400 MHz	4 m
900 MHz	1 m
1000 MHz	1 m
1600 MHz	0.5 m
2200 Mhz	ate 0.75 m

### 3.1.2 - Aplicações

O método GPR surgiu durante o decorrer da Segunda Guerra Mundial com o único intuito de localizar armas, bombas e galerias subterrâneas (Davis & Annan, 1989). Após este período, esta tecnologia começou a ser empregada principalmente na área da Engenharia Civil no controle de qualidade de estruturas.

Hoje o GPR é utilizado em diversas áreas, sendo considerado um equipamento sofisticado para investigações rasas (principal fator limitante: máximo de 70m de profundidade em excelentes condições). A tabela 3.3 mostra as principais aplicações do GPR atualmente.

O emprego do método de GPR em estudos sedimentológicos começou na década de 90. Esta tecnologia veio ganhando forte aceitação entre os sedimentólogos e estratígrafos, principalmente por ser bastante eficaz na determinação da arquitetura estratigráfica e geometria dos corpos sedimentares. O GPR já foi utilizado na

caracterização de diversos sistemas deposicionais, podendo ser ressaltados os trabalhos de Schenk *et. al.* (1993), Harari (1996), Van Heteren & Van de Plassche (1997), Bristow *et. al.* (2000), Neal & Roberts (2001), Oliveira Jr. (2001), Silva (2002), Araújo (2004 e 2006), Fracasso (2005) e Souza (2006), no estudo de dunas eólicas costeiras.

**Tabela 3.3 – Principais aplicações do método GPR (Adaptado de Porsani 2002).**

Área	Propósito
Aplicações militares	Localização de minas explosivas
Engenharia Civil	Deformações em estruturas de concreto
Planejamento urbano	Localização de tubulações e dutos metálicos enterrados
Pesquisas arqueológicas	Localização de sítios arqueológicos
Investigação criminal	Localização de cadáveres
Geotecnia	Localização de cavernas e vazios em estruturas de concreto
Exploração mineral	Localização de depósitos de “placers”; Localização de zonas mineralizadas (greisens); Desenvolvimento de minas
Hidrogeologia	Determinação da profundidade do nível freático; Localização de paleocanais; Estudos de intrusão salina em áreas litorâneas; Estudos de assoreamentos
Meio Ambiente	Localização de plumas de contaminação; Localização de tanques e barris enterrados contendo rejeito de petróleo
Geologia	Estudo estratigráfico detalhado em escala de afloramentos; Localização de estruturas tectônicas (diques, zonas de falhas, fraturas); Localização de fraturas em rochas graníticas.

### 3.1.3 - Técnicas de aquisição

Segundo Davis & Annan (1989) duas principais técnicas de aquisição de dados são empregadas com o GPR: o perfil de reflexão (figura 3.3) e a sondagem de velocidade, comumente chamada de CMP (*common mid point*) (figura 3.4).

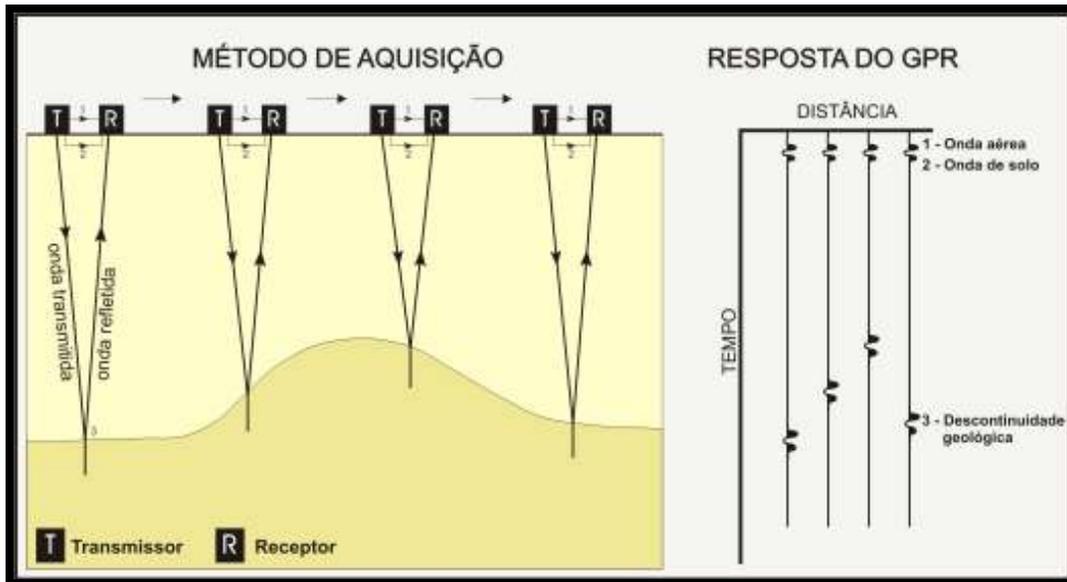


Figura 3.3 – Representação esquemática de uma aquisição de 4 traços de um perfil de reflexão com GPR e sua respectiva resposta no ar, na interface ar-solo e nas discontinuidades do subsolo. Modificado de Robinson & Michaud, 1999.

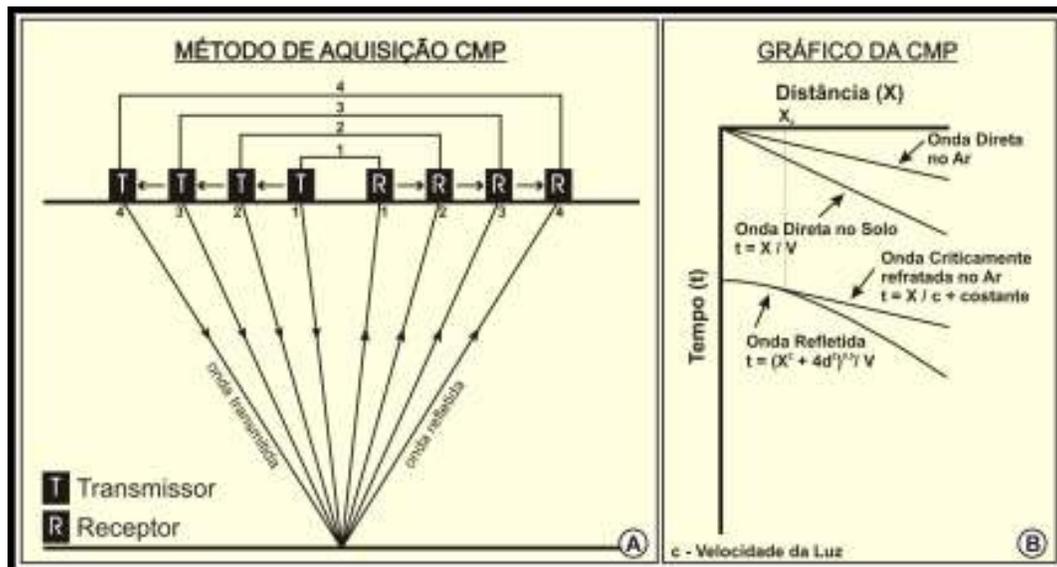


Figura 3.4 - Representação esquemática da aquisição CMP (A) (Robinson & Michaud (1999)); eventos idealizados do tempo de chegada em função da separação das antenas numa sondagem CMP (B). (Adaptado de Annan , 1992).

Na aquisição de perfis de reflexão, as antenas transmissora e receptora são mantidas a uma distância fixa e transportadas ao longo do perfil obedecendo a intervalos regulares. Esta técnica pode ser realizada nos modos passo-a-passo (onde um ponto por vez é adquirido manualmente a partir de um comando no *laptop* ou unidade de controle) ou no modo contínuo (onde os disparos de cada traço são pré-determinados segundo intervalos de tempo ou espaço). Robinson & Michaud (1999) enfatizam que as antenas devem ser mantidas separadas a uma mesma distância que o comprimento da antena utilizada. As antenas colocadas juntas uma da outra minimizam distorções próximas à superfície, entretanto podem resultar em interferências entre as antenas transmissoras e receptoras.

A CMP (Annan *et al.* 1975) pode ser caracterizada como um experimento de campo para medir a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas no meio analisado. Neste experimento, as antenas transmissoras e receptoras são afastadas em sentidos opostos, obedecendo a intervalos regulares de espaço de modo que seu ponto médio permaneça fixo. Nos radargramas das CMPs, os refletores são representados por hipérbolas e as ondas terrestre e aérea correspondem a linhas retas. Estas hipérbolas permitem fazer uma estimativa da velocidade de propagação da onda eletromagnética em subsuperfície através do espectro de velocidade obtido a partir do ajuste desta hipérbole em um diagrama velocidade *versus* tempo. Uma vez determinada esta velocidade e conhecendo-se o tempo duplo de viagem das ondas eletromagnéticas, é possível converter (durante o processamento) este tempo em profundidade.

#### **3.1.4 - Processamento**

Os principais objetivos no processamento de dados GPR é melhorar a visualização, converter o tempo duplo em profundidade e proceder a correção topográfica (em perfis levantados em áreas não planas). Existem atualmente no mercado diversos *softwares* (específicos ou não) para processar este tipo de dado. No presente trabalho foram empregados os *softwares* Gradix 1.11 e o Radan 6.5. Cada *software* apresentando vantagens e limitações, sendo, portanto, utilizados de forma complementar.

De acordo com Annan (1992), são descritos a seguir os principais procedimentos adotados em um processamento:

(a) *Drift Removal* → alinha os traços do perfil que possam estar alterados em consequência de má conduta do equipamento (principalmente solavancos que resultam em uma desacoplagem da antena ao solo) ou de fatores externos como à temperatura.

(b) *Dewow* → remove os componentes de baixa frequência que se originam de fenômenos indutivos relacionados com a saturação originada pela onda direta pelo ar ou por limitações dinâmicas do instrumento.

(c) *Set time zero* → ajustar o tempo inicial de registro a primeira onda a chegar na antena receptora que é caracterizada pela onda direta no ar.

(d) Filtros passa-banda → remoção de ruídos de alta e baixa frequência. Atua ao longo de um traço permitindo realçar a estrutura de interesse ou removendo os sinais indesejáveis.

(e) Ganho → aumenta a amplitude dos refletores em profundidade que se mostram pouco nítidos em função da atenuação do sinal.

(f) *Declip* → restaura, por interpolação, as formas das ondas dos primeiros ciclos que são afetadas pela chegada da onda direta do ar, com maior amplitude que a energia refletida.

(g) Conversão tempo em profundidade

(h) Correção topográfica → eliminar os efeitos causados pela topografia e desta forma restaurar as posições corretas dos refletores no radargrama.

### 3.1.5 - Apresentação e Interpretação dos dados

O radargrama corresponde a representação em forma de imagem, dos diversos traços amostrados em um perfil, que podem exibir os refletores em diferentes paletas de cores. Depois de devidamente processados os radargramas podem ser interpretados - vetorização do(s) refletor(es) alvo(s) - no próprio *software* de processamento, ou pode-se exportar estes dados como imagens \*.bmp, por exemplo, e posteriormente em *softwares* como o “Corel Draw” realizar as interpretações.

## 3.2 - Estação Total

Uma Estação Total corresponde a um conjunto definido por um Teodolito Eletrônico, um Distanciômetro a ele incorporado e um microprocessador que automaticamente monitora o estado de operação do instrumento. Deste modo, a Estação Total assume as funções de um teodolito comum (já que o equipamento tem capacidade de medir ângulos verticais e horizontais) além de distâncias horizontais, verticais e inclinadas (distanciômetro). Este equipamento ainda processa e exibe ao operador, através de um visor de cristal líquido, informações como: condições do nivelamento do aparelho, descrição do ponto medido, as coordenadas em UTM ou geográficas dos pontos coletados, altura do aparelho, do bastão, etc. Deste modo, este equipamento é amplamente empregado em diversos trabalhos de topografia (Brandalize, 2001).

A tecnologia empregada nas medições do aparelho envolve o uso de sensores que atuam no comprimento de onda infravermelho, onde o pulso emitido pela estação, reflete nos alvos e retorna a estação trazendo as informações (X;Y;Z) do alvo. Os dados são então processados e armazenados automaticamente no próprio aparelho (Brandalize, 2001).

## 3.3 - GPS Geodésico

O princípio básico usado no sistema GPS (*Global Positioning System*) consiste na transmissão de sinais eletrônicos gerados pelos satélites por meio de ondas eletromagnéticas, e na captação desses sinais por receptores, de tal forma que o intervalo de tempo decorrido no percurso possa ser determinado. Sabendo o tempo de percurso e a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas (velocidade da luz), as distâncias entre os satélites e o receptor que os rastreiam podem ser calculadas, o que permite determinar com alta precisão os valores (X;Y;Z) da posição onde foi estacionado o receptor (Beraldo & Soares 1996).

O sistema GPS pode utilizar três métodos de posicionamento (tabela 3.4): Absoluto, Diferencial e Relativo. De forma a atender a precisão exigida no presente trabalho, optou-se pelo posicionamento relativo com levantamento estático. O

posicionamento Relativo é a técnica mais importante nos levantamentos com GPS, proporcionado a minimização ou o cancelamento dos erros sistemáticos que ocorrem no método absoluto. Este tipo de posicionamento também fornece indiretamente a medida da distância receptor-satélite, a partir da observação de pelo menos duas estações simultaneamente. O levantamento Estático pode ser caracterizado por um levantamento com dois ou mais receptores fixos, rastreando pelo menos quatro satélites comuns entre si por um determinado período de tempo. Quanto maior for a linha de base (distância entre a estação de referência e os demais receptores), maior deve ser o tempo de ocupação para que se obtenha uma boa precisão (Beraldo & Soares 1996).

**Tabela 3.4 – Correlação entre os métodos de posicionamento e precisão obtida. Adaptado de IBGE, 1994.**

<b>MÉTODO</b>	<b>APLICAÇÃO</b>	<b>OBSERVAÇÃO</b>	<b>PRECISÃO</b>
<b>Absoluto</b>	<b>Navegação Reconhecimento</b>	<b>Código C/A</b>	30 a 120 m
		<b>Código P</b>	20 a 120 m
<b>Diferencial (DGPS)</b>	<b>Navegação Engenharia</b>	<b>Código C/A</b>	1 a 10m
<b>Relativo (Estático)</b>	<b>Geodésia (linha base curta)</b>	<b>Portadora L1</b>	submétrica
	<b>Geodésia</b>	<b>Portadora L1 e L2</b>	Milimétrica a poucos centímetros
<b>Relativo (Estático Rápido)</b>	<b>Geodésia (linha base curta)</b>	<b>Portadoras e código C/A</b>	Milimétrica a poucos centímetros
<b>Relativo (Cinemático)</b>	<b>Geodésia (linha base curta)</b>	<b>Portadora L1</b>	submétrica
		<b>Portadora L1 e L2</b>	Milimétrica a poucos centímetros
<b>Relativo (Semi-cinemático)</b>	<b>Geodésia (linha base curta)</b>	<b>Portadora L1</b>	submétrica
		<b>Portadora L1 e L2</b>	Milimétrica a poucos centímetros
<b>Relativo (Dinâmico - RTK)</b>	<b>Geodésia (linha base curta)</b>	<b>Portadoras e código C/A</b>	Milimétrica a poucos centímetros

## **Capítulo 4 – Levantamento Geofísico e Modelagem Estática 3D dos depósitos eólicos na área da Mineração Millennium**

Apesar do foco deste capítulo mostrar a metodologia empregada na formulação de modelos tridimensionais que auxiliassem o planejamento de lavra da Millennium, primeiramente será relatado aspectos pertinentes a empresa de forma a contextualizar a importância deste trabalho no âmbito da mesma.

### **4.1 – Métodos de Lavra**

Até meados do ano 2002 a lavra seca mecanizada a partir do desmonte das dunas por tratores de esteira correspondia ao único método adotado pela Millennium. A partir deste momento começou a ser implantado um método mais produtivo: a lavra por dragagem. Independente do método utilizado, uma simplificada seqüência de atividades é adotada pela empresa desde a etapa do desmatamento até a recuperação das dunas:

1. Desmatamento
2. Retirada do solo e raízes
3. Levantamento topográfico detalhado
4. Planejamento de lavra de curto prazo
5. Lavra
6. Recuperação das áreas degradadas

O processo de mineração inicia com o desmatamento da vegetação das dunas (com base na licença concedida pelo IBAMA), o qual é realizado mecanicamente utilizando-se um trator de esteira e homens com motos-serras. Na seqüência são retiradas raízes e o solo (que posteriormente será reutilizado na fase de recuperação das dunas). Após esta limpeza inicial, levantamentos topográficos de detalhe com Estação Total e GPS são realizados para que se proceda o planejamento da lavra com base nestas informações de

superfície (topografia) e subsuperfície (sondagens). A fase de lavra e recuperação das dunas serão melhor discutidas a seguir.

#### 4.1.1 - Lavra a Seco Mecanizada

Esse método de lavra (adotado pela empresa até o ano de 2002) a céu aberto era totalmente mecanizado com formação de bancadas descendentes sendo desmontadas por tratores de esteiras que empurravam o minério até a borda da bancada que descia por gravidade até as calhas vibratórias (Dote Sá, 1998) onde então, o minério seguia por correias transportadoras móveis e fixas até a usina de beneficiamento (figura 4.1).



Figura 4.1 – Lavra seca mecanizada. As areias das dunas eram conduzidas após o desmonte por extensas esteiras até chegar nas plantas de beneficiamento.

#### 4.1.2 - Lavra por Dragagem

O método de lavra por Dragagem foi implementado em 2002 com intuito de tornar a porção oeste do depósito viável economicamente (visto que a concentração de minerais pesados nesta área gira em torno de 1,9% contra os 3,3 a 5% na área lavrada pelo método antigo), uma vez que a capacidade nominal da draga é, teoricamente, três vezes superior ao método de lavra seca mecanizada.

O novo sistema compreende uma “Draga” e uma “Planta de Concentração” flutuante em um lago artificial que se desloca com o avanço da lavra (figura 4.2). Isso implica numa menor distância de transporte do minério até a planta de concentração, que será sempre a mesma, e conseqüentemente menor distância de bombeamento do rejeito que é depositado logo atrás da Planta de Concentração.



**Figura 4.2 – Lavra por dragagem. (A) Drega efetuando desmonte da bancada de areia com jatos de água. (B) Planta de Concentração.**

## 4.2 – Recuperação das áreas degradadas

Após o processo de lavra tem início imediatamente a fase de recuperação das dunas. O rejeito depositado logo atrás da Planta de Concentração é remodelado de forma a recuperar a morfologia pretérita da duna, geralmente com 40 metros de altura e 35° de declividade. Essas dunas são agora compostas basicamente de areia quartzosa com níveis desprezíveis de nutrientes.

Sem a cobertura vegetal elas sofrem ação dos ventos, o que pode causar o assoreamento do Rio Guaju (principal fonte de água para as atividades da mina) como também ampliar a área coberta por estas dunas e comprometer vegetações remanescentes próximas.

Sendo assim, o *topsoil* (solo rico em matéria orgânica retirado na fase de desmatamento) contendo nutrientes, sementes e microorganismos, é transportado e espalhado sobre estas dunas do rejeito em uma operação denominada recapeamento (figura 4.3). Na etapa seguinte, são erguidos quebra-ventos para então realizar o plantio de mudas de espécies nativas, as quais são constantemente monitoradas até adquirirem a condição de auto-sustentabilidade.



**Figura 4.3 – Recapeamento. Espalhamento do *topsoil* (solo rico em matéria orgânica e nutrientes) nas dunas de rejeito para posterior reflorestamento.**

### **4.3 - Beneficiamento**

O material dragado é conduzido até a Planta de Concentração, onde tem início o processo de beneficiamento. Primeiramente é feita uma classificação a úmido, mediante o uso de peneiras vibratórias. A fração grossa é constituída de matéria orgânica e areia grossa (predominantemente quartzo), utilizada posteriormente para recomposição superficial das dunas. A fração mais fina é condicionada em um tanque onde é submetido a algumas lavagens. Após este procedimento segue para um classificador hidráulico, onde é conduzido à separação magnética.

A fração magnética, rica em ilmenita, com mais de 50% de óxido de titânio ( $TiO_2$ ) é então separada e estocada separadamente da fração não-magnética (zircão, rutilo e cianita).

O produto não-magnético proveniente do beneficiamento da ilmenita passa por duas etapas de concentração, a primeira, através de mesas vibratórias, resultando em diferentes tipos de pré-concentrados, e, numa segunda etapa, após secados, são submetidos às separações, magnética e eletrostática, para obtenção individual do zircão, rutilo e cianita.

### **4.4 - Planejamento de Lavra**

O planejamento de lavra para os minerais pesados depositados em dunas eólicas é fundamental para o perfeito avanço da mineração. Equipes de topografia, sondagem e Geofísica são fundamentais nesta fase, pois devido a forte influência dos ventos que caracteriza a constante mudança do relevo da área, o planejamento necessita de um refinamento dos dados, seja de superfície e/ou subsuperfície.

A draga (utilizada no atual método de lavragem) exige uma série de cuidados que devem ser minuciosamente seguidos para que todo o processo seja realizado sem maiores problemas. Entre muitos outros itens podemos citar:

- intenso e freqüente bombeamento de água visando manter o nível ideal para aquela porção da jazida;

- aplicação de técnicas aprimoradas na retirada do solo visando minimizar a quantidade de raízes que poderão vir a causar obstrução na sucção da bomba da draga;
- monitoramento diário da quantidade de argila no rejeito e na lagoa artificial;
- detalhamento do jazimento visando evitar porções mais compactas e resistentes (Formação Barreiras), o que implica no maior esforço e conseqüentemente maior desgaste da draga;

Além de um bom planejamento da frente de lavra, uma mesma atenção deve ser dada a correta deposição do rejeito pela Planta de Concentração Flutuante, pois além da questão ambiental, esta operação é vital para a viabilidade do empreendimento pois caso o planejamento da deposição não seja preciso, existe o risco de uma parada total da produção por período indeterminado devido ao encalhamento da planta por instabilidade da pilha de rejeito.

Assim a busca inquietante por tecnologias que reflitam em um melhor refinamento das informações torna-se necessário e evidente, pois os dados que alimentarão a equipe de operação da draga, deverão ser os mais sinceros e próximos do real comportamento do jazimento, pois uma manobra equivocada da draga pode custar horas de trabalho e até, em condições extremas, inviabilizar todo um projeto.

Em um primeiro momento (principalmente na fase de exploração da mina) uma malha de sondagem foi levantada em torno de toda área da mina. A distância entre uma linha e outra corresponde a 100m, mesma distância entre os furos de uma mesma linha (figura 4.4). Naquele momento aquela era a única fonte de informação no que diz respeito ao contato entre as dunas e a parte superior do Barreiras. Porém, o comportamento do topo estrutural desta formação não é homogêneo, ou seja, existe irregularidades consideráveis nesta superfície em pequenos intervalos de espaço. Como descrito anteriormente, o conhecimento deste contato é de suma importância no planejamento do avanço da frente de lavra, pois um problema com a draga em virtude por exemplo da sucção de fragmentos desta rocha pode danificar a mesma o que acarretaria em um prejuízo financeiro tanto com o reparo desta como da improdutividade em virtude do tempo de inoperância.

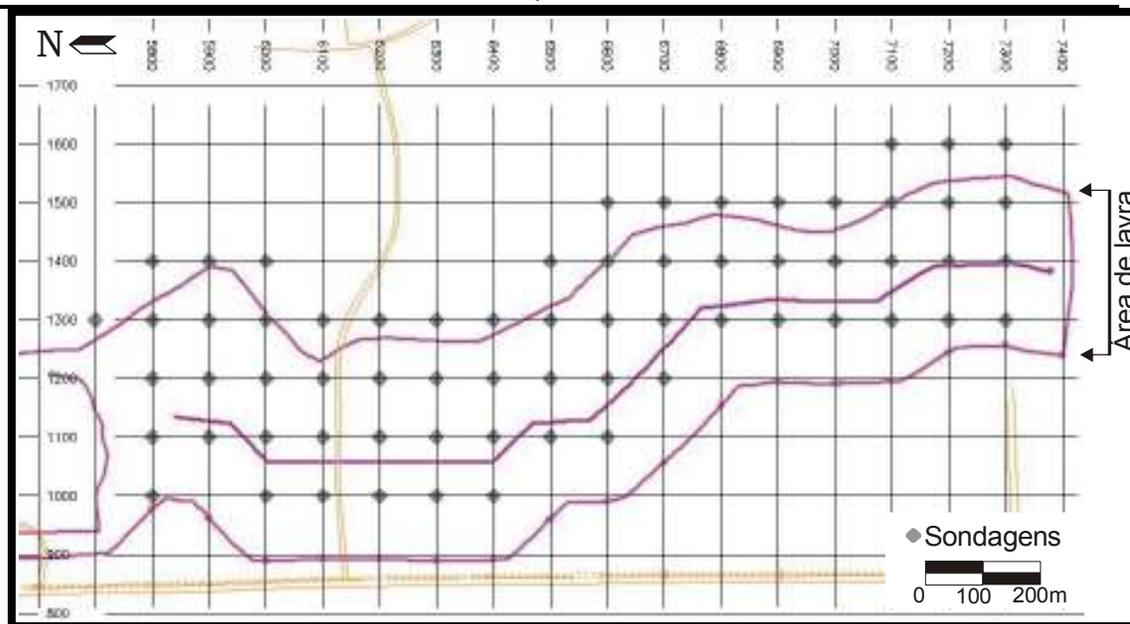


Figura 4.4 – Planta exibindo a malha de Sondagem levantada pela empresa.

Desta forma, com a parceria realizada entre o LAE (UFRN) e a Millennium no início de 2006, o GPR (um método confiável, ecologicamente limpo, de rápida aquisição e com um baixo custo em relação a métodos tradicionais como sondagens) foi implantado na metodologia do planejamento de lavra da empresa. A principal vantagem com o uso deste equipamento, está no fato de se ter agora uma informação contínua quanto ao comportamento do topo da Formação Barreiras (limite inferior da jazida). Na seqüência deste capítulo será apresentado as atividades envolvidas e produtos obtidos com essa tecnologia e ferramentas associadas.

#### 4.5 - Estudo de viabilidade da aplicação do Método GPR

Antes de qualquer aquisição de dados com GPR é importante realizar um estudo teórico com o intuito de avaliar principalmente se as ondas eletromagnéticas irão ou não alcançar o alvo selecionado (no caso deste trabalho as rochas da Formação Barreiras). Esta análise pode economizar tempo e dinheiro, porém sempre que possível é recomendado fazer um levantamento pioneiro na área de trabalho a título de confirmar tais resultados.

### 4.5.1 - Análise inicial

Dentre os possíveis refletores que possam ser imageados com o GPR na área de trabalho em questão, o principal corresponde ao contato entre as dunas e o topo das rochas siliciclásticas da Formação Barreiras. O que teoricamente corresponderá a um refletor bem proeminente visto a extensão regional do mesmo.

A princípio, três questões relacionadas a uma análise referente à aplicabilidade do método GPR devem ser esclarecidas: profundidade do alvo, quantidade de energia refletida por este, e presença de fatores limitantes.

#### Profundidade do alvo

De acordo com sondagens realizadas pela Millennium, a profundidade estimada do alvo encontra-se na maioria das vezes abaixo dos 40 metros.

Para saber se o método se mostrará efetivo para imagear um alvo a tal profundidade, é necessário determinar a refletância.

#### Quantidade de energia refletida

Para determinar a quantidade de energia refletida pelo alvo deve-se determinar o coeficiente de reflexão (R) entre o meio encaixante e o alvo.

$$R = \frac{\sqrt{K_1} - \sqrt{K_2}}{\sqrt{K_1} + \sqrt{K_2}}$$

Onde  $K_1$  é a constante dielétrica do meio encaixante e  $K_2$  é a constante dielétrica do alvo. Os valores de  $K_1$  e  $K_2$  são 4 e 10 respectivamente (Fonte: Manual do *software* Radan), assim:

$$R = - 0,225$$

Empregando o valor “R” pode-se determinar o fator de proporcionalidade (F) o qual está associada a potência refletida (P), sendo necessário que  $F > 0,01$  para que o alvo possa ser hipoteticamente detectado. O valor “F” pode ser obtido pela fórmula:

$$P \propto F = R^2$$

Como  $R = -0,225$ ;  $F = 0,05 > 0,01$ . Existe a possibilidade do alvo ser detectado.

### **Presença de fatores limitantes**

Na área de trabalho, não existe nenhum tipo de fator limitante considerável que possa anular a aquisição dos dados.

Com base na análise inicial realizada, consta-se que o levantamento com GPR é matematicamente viável.

### **4.5.2 - Parâmetros de Aquisição**

A partir do resultado positivo obtido na análise inicial, é preciso que se faça um estudo dos principais parâmetros que serão adotados no levantamento em campo, como por exemplo: frequência, range, intervalo temporal de amostragem, espaçamento horizontal entre estações (*step*), arranjo e separação entre antenas.

#### **Frequência central da antena**

Três fatores estão relacionados com a determinação da frequência central de operações (Annan & Cosway, 1994), são eles: resolução espacial, frequência de Clutter e profundidade de exploração.

##### a.) Resolução Espacial

Encontra-se relacionada com a separação da ocorrência de dois eventos para o qual é necessário que a duração do pulso eletromagnético seja duas vezes menor que a diferença entre os tempos duplos de viagem correspondentes aos respectivos eventos. Este parâmetro pode ser calculado por:

$$F^R > \frac{75}{\delta_R \sqrt{K_1}}$$

Onde  $F^R$  é a frequência dada em MHz,  $\delta_R$  é a espessura do alvo dado em metros, e  $K_1$  a constante dielétrica do meio encaixante. Considerando que em nosso trabalho  $\delta_R = 1$  m (pois não interessa o que está abaixo do Barreiras) e  $K_1 = 4$ , desta forma:

$$F^R > 37,5 \text{ MHz}$$

#### b.) Frequência de clutter

Estabelece a dimensão mínima  $\delta_c$  abaixo da qual as estruturas tornam-se transparentes ao sinal do GPR, sendo expresso pela formula:

$$F^C < \frac{30}{\delta_c \sqrt{K_2}}$$

Sendo  $F^C$  a frequência de corte e dada em Mhz,  $\delta_c$  a dimensão mínima expressa em metros e  $K_2$  a constante dielétrica do alvo. Em nosso trabalho  $\delta_c = 0,1$  m (pois o refletor alvo é bastante extenso e tem um bom contraste), assim:

$$F^C < 94,93 \text{ MHz}$$

#### c.) Profundidade de exploração

Relaciona a profundidade estimada do alvo com a constante dielétrica do meio encaixante de forma que se possa conhecer qual é o espalhamento de energia eletromagnética suficiente para a detecção do alvo.

$$F^D < \frac{1200\sqrt{K_1-1}}{p}$$

Sendo  $F^D$  expressado em Mhz,  $p$  a profundidade do alvo expresso em metros e  $K_1$  a constante dielétrica do meio encaixante. Considerando inicialmente (antes do levantamento em campo) que a profundidade do alvo seria de aproximadamente 40 m:

$$F^D < 51,96 \text{ MHz}$$

Para que o levantamento possa ser realizado com sucesso a frequência central do levantamento tem que cumprir a seguinte seqüência:

$$F^R < F_{Lev} < \min(F^D, F^C)$$

$$37,5 \text{ MHz} < F_{Lev} < \min(51,96 \text{ MHz}, 94,93 \text{ MHz})$$

Portanto, em um primeiro momento a antena de 50 MHz é a que se mostrou mais adequada a tais propósitos levando-se em conta as antenas disponíveis no Laboratório de Análises Estratigráficas.

### Range

Corresponde ao intervalo de tempo predeterminado no qual o GPR registra o retorno do pulso eletromagnético. Ele pode ser estimado através da seguinte formula:

$$R = 1.5 d \tau$$

Sendo R o range dado em ns, d a profundidade máxima de interesse expressa em metros,  $\tau$  função do tempo duplo de viagem em ns/m. Neste trabalho  $d = 40 \text{ m}$  e  $\tau = 13 \text{ ns/m}$  (Annan, 1992).

$$R = 780 \text{ ns}$$

### Intervalo temporal de amostragem

Para a escolha do intervalo temporal de amostragem  $\delta_T$ , é feita em função do valor de  $f_c$  (frequência central), onde se deve considerar que o valor obtido de  $\delta_T$  não deve ser superior à metade do período correspondente a maior frequência presente neste pacote, correndo o risco de não ter o sinal amostrado. A fórmula matemática relacionada com esse parâmetro é a seguinte:

$$\delta_T = \frac{1000}{6f_c}$$

Sendo  $\delta_T$  o intervalo de amostragem expresso em ns e  $f_C$  frequência central dado em Mhz. Em nosso trabalho se empregará a antena de 50 Mhz, desta forma:

$$\delta_T = \mathbf{3,33 \text{ ns}}$$

### **Step**

O espaçamento entre as estações de medida ( $\Delta x$ ) deve ser equivalente a um quarto do comprimento da onda eletromagnética emitida, segundo o principio da amostragem espacial de Nyquist. Para se calcular o  $\Delta x$ , pode ser obtido pela seguinte formula:

$$\Delta x = \frac{75}{f_c \sqrt{K}}$$

Sendo  $\Delta x$  o espaçamento entre as estações expresso em metros,  $f_C$  frequência central dado em Mhz (50 MHz) e K é a permitividade do meio encaixante, no caso igual a 4. Assim:

$$\Delta x = \mathbf{0,75 \text{ m}}$$

### **Arranjo das antenas**

As antenas serão orientadas perpendicularmente à direção do perfil GPR (modo TE; Annan, 1992) conforme mostrado na figura 4.5.

### **Separação entre antenas**

Os próprios fabricantes já recomendam uma distancia padrão de separação entre transmissor e receptor para todas as antenas. Para a antena de 50 MHz esta distância corresponde a 2 metros.

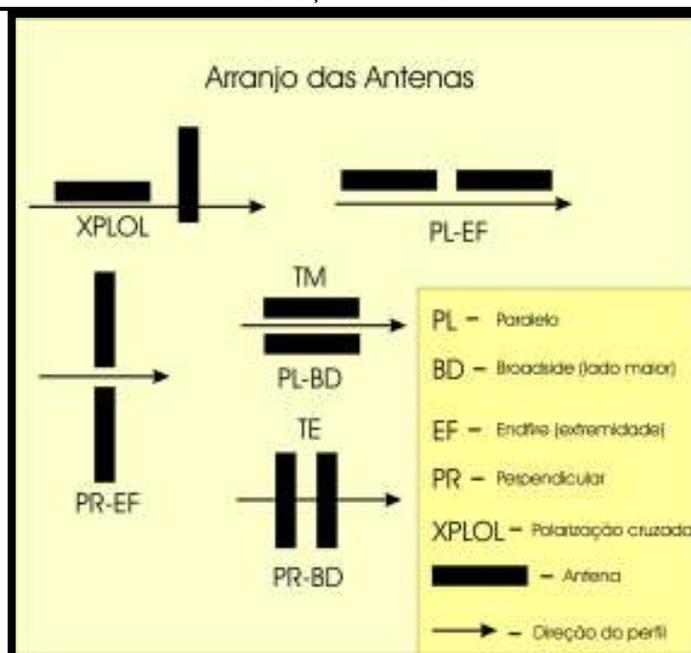


Figura 4.5 – Possíveis arranjos das antenas de GPR para aquisição de dados. Modificado de Annan, 1992.

Conclui-se que o levantamento projetado no presente trabalho está adequado para a finalidade a que o mesmo se propõe, visto que os parâmetros calculados estão convergindo com os encontrados na literatura, mostrando que a teoria aplicada neste trabalho e a metodologia a ser aplicada no hipotético levantamento de GPR são pontos satisfatórios do trabalho.

Vale ressaltar, que os parâmetros utilizados e calculados são todos teóricos e nem sempre são adequados a todas as situações geológicas e a experiência de campo e de outras aquisições de GPR ajudam de forma substancial a projetar trabalhos com GPR.

## 4.6 – Aquisição e Processamento dos Dados

Seguindo o fluxograma metodológico proposto, a etapa que sucedeu o estudo de viabilidade do uso do método GPR foi a etapa de campo. Nesta foram realizados o levantamento topográfico das linhas com Estação Total, georreferenciamento destas com GPS e aquisição dos perfis de reflexão com GPR.

Os dados foram adquiridos em duas campanhas realizadas durante os anos de 2006 e 2007. Segue abaixo uma descrição sucinta dos métodos, técnicas, equipamentos e resultados obtidos.

#### **4.6.1 – Levantamento Topográfico**

Um procedimento de suma importância realizado no processamento de dados GPR é a correção topográfica. Para tanto, fez-se o uso de uma Estação Total e um GPS Geodésico. Os dados coletados com estes dois equipamentos foram ainda utilizados para representar a superfície externa dos depósitos estudados. Segue abaixo uma descrição sucinta dos procedimentos adotados para obtenção dos dados planialtimétricos.

##### **4.6.1.1 - Estação Total**

O equipamento empregado na primeira campanha (realizada em 2006) foi a Estação Total Trimble 3305 DR (figura 4.6). Já na segunda campanha (em 2007) a Estação Total utilizada foi uma Topcon, modelo CTS 3007 (figura 4.7). Ambos equipamentos pertencem ao Laboratório de Análises Estratigráficas do Departamento de Geologia da UFRN. Os conjuntos são compostos pela própria Estação Total, um tripé, e dois bastões acompanhados com primas e suportes para estes. O modelo utilizado em 2007 (mais moderno) possui um alcance de 3000m com apenas um prisma e até 250m para leituras sem prisma; precisão linear de 3mm + 2ppm com prisma; memória para 12.000 pontos de medição ou 24.000 pontos de coordenadas.



Figura 4.6 – (A) Conjunto da Estação Total Trimble 3305 utilizada na campanha de 2006; (B) visão mais aproximada da Estação Total.



Figura 4.7 – Estação Total Topcon CTS 3007 utilizada na campanha de 2007.

Para viabilizar que o uso dos dados digitais da topografia pudessem ser aproveitados também pela Millennium foi preciso em um primeiro momento achar uma forma de correlacionar as coordenadas geradas pela Estação Total (sistema de coordenadas arbitrário a princípio) com o sistema de coordenadas adotado pela empresa.

A partir do rastreamento com GPS de vários pontos espalhados na mina com coordenadas locais conhecidas, foi possível correlacionar os dois sistemas de coordenadas (WGS-84 do GPS com o local adotado pela empresa) chegando-se a conclusão que estes formam um ângulo de  $90^\circ$  entre si.

A princípio, a origem de cada uma das linhas possuiu os valores (0;0;0) para os correspondentes (X;Y;Z) informados durante a configuração para início da aquisição com a Estação Total. Este primeiro ponto foi em alguns momentos definido e materializado com um piquete de madeira por funcionários da Millennium e quando não, pela equipe da UFRN seguindo o mesmo padrão adotado pela empresa. Posteriormente, a Millennium repassou as coordenadas destes pontos de origem (no datum local adotado na mesma) de forma que se pudessem transformar as leituras efetuadas com a estação total (datum arbitrário) para o sistema utilizado na mina. Considerando que o ângulo de rotação formado entre os eixos do sistema local e o sistema GPS (no caso WGS-84) é de  $90^\circ$ , para cada linha manteve-se o valor do eixo “X” do sistema da empresa constante e a partir da coordenada de origem, era adicionado o valor correspondente ao deslocamento ao longo do eixo “Y” e simultaneamente a diferença de cota “Z”. Ao final, os pontos antes adquiridos, que estavam com valores arbitrários, passaram a assumir valores de coordenadas no sistema adotado pela mina (tabela 4.1)

As tabelas 4.2 e 4.3 trazem as informações relativas ao levantamento topográfico realizado nos anos de 2006 e 2007 respectivamente. Estas exibem a identificação das linhas levantadas, o número de leituras efetuadas e comprimentos de cada linha e total. Somando-se as duas campanhas, foi realizado o levantamento topográfico de 34 linhas: 2845 leituras ao longo de 9745,33m. A figura 4.8 mostra imagens da aquisição com Estação Total.

Tabela 4.1 – Exemplo de planilha elaborada após o processamento dos dados do levantamento topográfico.

Essa planilha agora está georreferenciada no sistema de coordenadas da Millennium e é utilizada para correção dos perfis GPR e para geração de modelos digitais de terreno.

TOPOGRAFIA DOS PERFIS DE GPR				COORDENADAS (Datum local da empresa)		
PONTO	DESCRIÇÃO	DISTÂNCIA	COTA	NORTE	LESTE	COTA
0	6000	0,00	0,00	6000	889,28	140,21
1	6000	3,64	0,62	6000	892,92	140,83
2	6000	7,25	0,94	6000	896,53	141,15
3	6000	10,93	1,34	6000	900,21	141,55
4	6000	15,03	1,93	6000	904,31	142,14
5	6000	18,56	2,54	6000	907,84	142,75
6	6000	22,83	3,10	6000	912,11	143,31
7	6000	26,79	3,65	6000	916,07	143,86

Tabela 4.2 – Síntese do levantamento topográfico com Estação Total na campanha de 2006.

Identificação da Linha	Número de Leituras	Comprimento (m)
6000	127	450
6100	103	350
6200	111	380
6300	104	380
6400	107	400
6500	105	360
6600	100	380
6700	80	380
6800	90	430
6900	90	330
7000	91	397
7100	98	370
7200	77	360
7300	84	400
<b><math>\Sigma = 14</math> linhas</b>	<b><math>\Sigma = 1367</math></b>	<b><math>\Sigma = 5367</math></b>

Tabela 4.3 – Síntese do levantamento topográfico com Estação Total na campanha de 2007.

Identificação da Linha	Número de Leituras	Comprimento (m)
5950	46	130,14
5900	37	112,86
5850	35	99,80
5800	64	179,66
5750	42	210,00
5700	48	238,00
5650	74	201,06
5600	43	196,00
5550	86	280,47
5500	73	200,05
5450	88	250,10
5400	76	219,68
5350	92	252,63
5300	90	250,35
5250	72	200,42
5200	79	213,41
5150	119	257,52
5100	100	275,65
5050	107	309,26
5000	107	301,27
<b><math>\Sigma = 20</math> linhas</b>	<b><math>\Sigma = 1478</math></b>	<b><math>\Sigma = 4378,33</math></b>



Figura 4.8 – Levantamento topográfico com a Estação Total Trimble 3305 DR.

#### **4.6.1.2 - GPS Geodésico**

Devido a disposição da linha transversal, curvilínea em alguns trechos, e tendo em vista a otimização da aquisição e posterior correlação com qualquer ponto conhecido no interior da mina, optou-se por realizar o levantamento da topografia desta com o uso de um GPS Geodésico.

O equipamento utilizado neste trabalho, foi um par de receptores (Base e *Rover*) dupla frequência (L1-L2) da TOPCON (figura 4.9). O receptor Base corresponde a um Legacy H-GD e o receptor *rover* um Hiper GGD.

A linha transversal (linha base de amarração que corta as demais 20 linhas da campanha de 2007), foi segmentada durante a aquisição em duas partes: segmentos 1 e 2 (figura 4.10). Isto porque na altura dos 400m distantes da origem da linha, tratores da empresa haviam depositado uma grande quantidade de solo exatamente no meio da linha projetada, obrigando desta forma que fosse realizado um desvio entre os 400 e 450m desta linha. Assim, o Segmento 1 passou a ter 450m de extensão e o Segmento 2 o comprimento de 180m totalizando 630m. Os procedimentos utilizados para obtenção da planialtimetria desta linha seguem descritos a seguir.

A princípio procedeu-se o transporte de coordenadas para o ponto definido como base, no qual a localização foi indicada por funcionários da Millennium. Este ponto localiza-se próximo a margem de uma estrada carroçável (em uma das áreas de

reflorestamento da mina) e foi materializado com um piquete de madeira onde foi rastreado durante aproximadamente 3 horas com uma taxa de gravação de 1 segundo, ou seja, uma medição por segundo. Esse tempo de aquisição foi necessário em virtude das estações de referência, Recife e Fortaleza, da RBMC utilizadas para o ajustamento e transporte de coordenadas posteriormente, estarem distantes aproximadamente 200 e 480Km respectivamente. Simultaneamente foi levantada a topografia da linha transversal com o receptor *rover* (figura 4.11) a partir de diversos levantamentos estáticos ao longo da mesma com ocupação de 2 a 4 minutos por ponto (tempo suficiente pois a linha de base era curta, com menos de 4km) e taxa de gravação igual ao ponto base.

No software Pinnacle 1.0, foi realizado todo o processamento dos dados de ambos receptores. Para definição das coordenadas do ponto base implantado na mina foi necessário realizar um transporte de coordenadas a partir das estações de observação “Recife” e “Fortaleza” da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo) do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). O erro obtido no plano horizontal foi de aproximadamente 5cm e de 8cm na vertical. Já no processamento dos dados adquiridos com o receptor móvel ao longo da linha, se utilizou o ponto Base (agora conhecido) como ponto de controle, onde ao final os erros ficaram na casa de 5mm no plano horizontal e 2cm na vertical, atendendo a precisão proposta no trabalho.



Figura 4.9 – (A) GPS Geodésico dupla frequência da TOPCON; (B) antena Legant 2 do receptor Base; (C) rádio transmissor do receptor Base (fixo); (D) receptor rover Hiper GGD; (E) coletor de dados; (F) receptor Base Legacy H-GD.

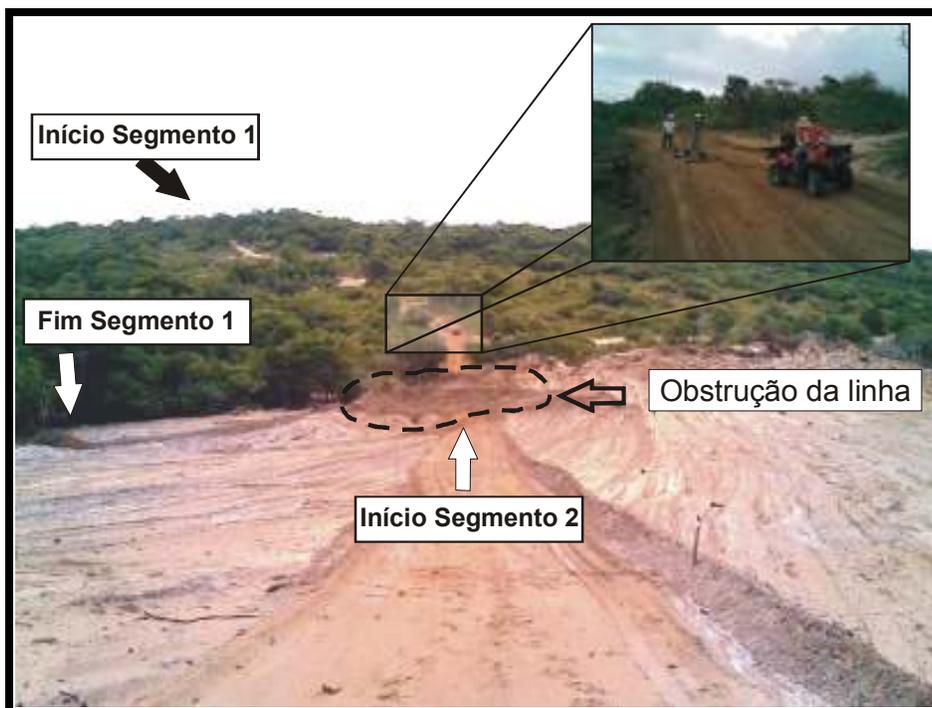


Figura 4.10 – Linha Transversal levantada na etapa de 2007. Nesta figura pode-se identificar a distribuição dos dois segmentos que compõem esta linha; a obstrução da linha com solo obrigando a equipe do levantamento GPR desviar.



**Figura 4.11 – Levantamento planialtimétrico da linha transversal com GPS Geodésico. Levantamentos estáticos com receptor móvel “Hiper”. A ocupação por ponto variou entre 2 e 4 minutos, com uma taxa de gravação de 1 segundo.**

#### **4.6.2 – Levantamento Geofísico com GPR**

Concluído o levantamento topográfico procedeu-se a aquisição dos perfis de reflexão com GPR (figura 4.12) sobre as mesmas 35 linhas descritas anteriormente.

Dois equipamentos diferentes foram utilizados nos dois anos de trabalho.

No primeiro ano (2006) de levantamento foi utilizado o GPR RAMAC da MALA *GeoScience*. O equipamento é composto por uma unidade de controle central UC II, antenas de 25, 50, 100, 200, 500 e 800MHz, baterias, um odômetro, uma unidade de controle da antena transmissora e uma receptora (figura 4.13).

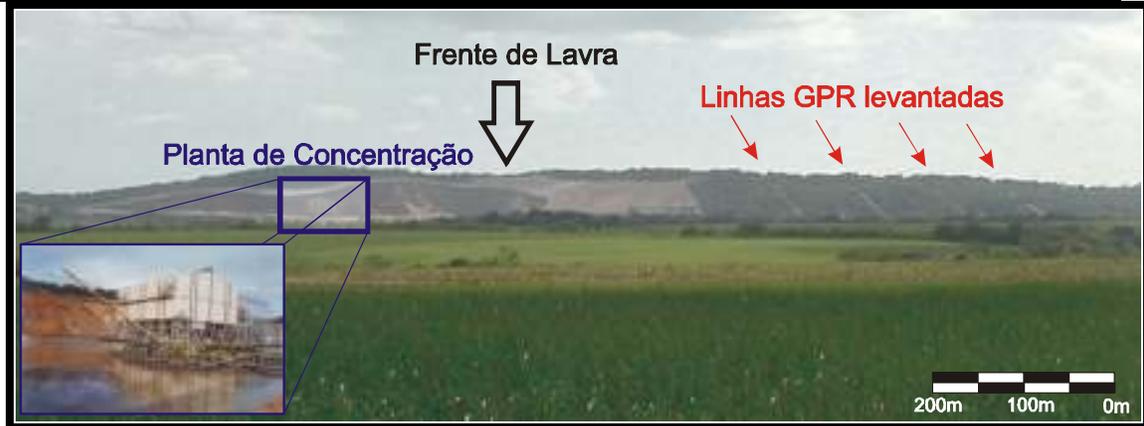


Figura 4.12 – Visão geral da área de trabalho. Notar as primeiras linhas que foram levantadas com GPR poucos metros adiante da frente de lavra.



Figura 4.13 – (A) GPR RAMAC; (B) Unidade de controle central; (C) Unidades eletrônicas transmissora e receptora; (D) odômetro das antenas de 50, 100 e 200 MHz; (E) antena de 500 MHz e respectivos acessórios.

No segundo ano (2007) os levantamentos foram realizados com o GPR SIR-3000 da GSSI (figura 4.14). O equipamento é composto por uma unidade de controle (portátil resistente, leve e com um visor de cristal líquido de alta resolução), cabos e antenas de 100, 200 e 400MHz.

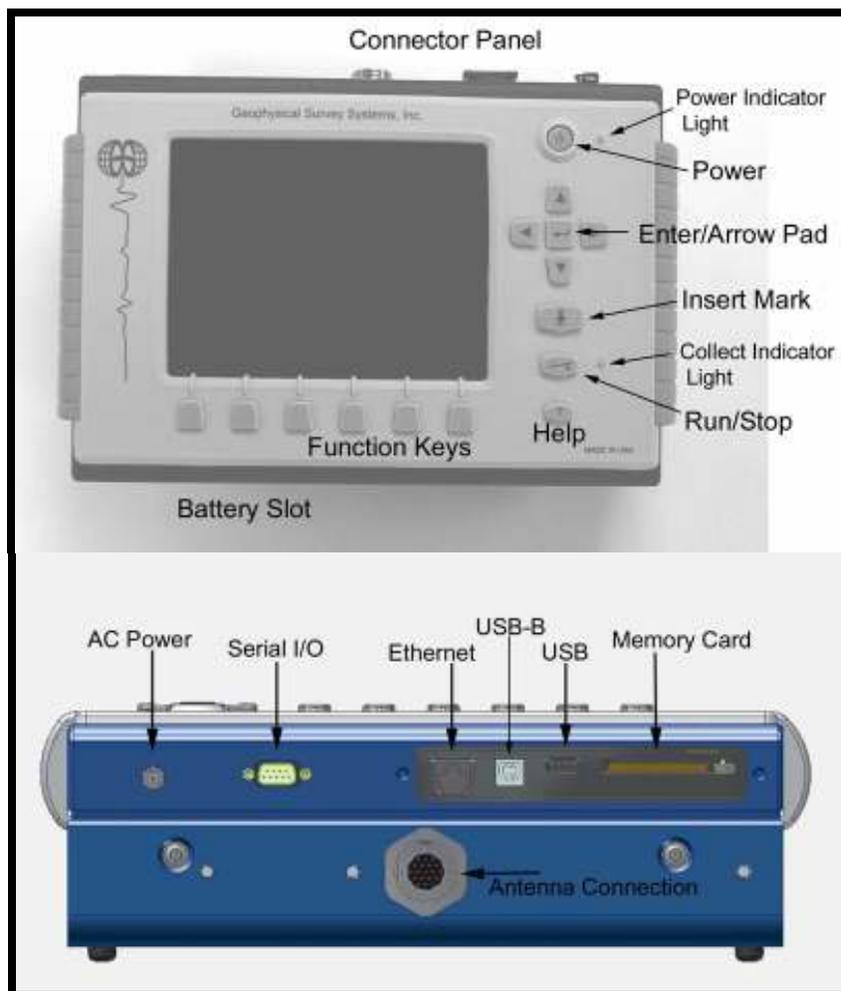


Figura 4.14 – Unidade de Controle SIR 3000 da GSSI. A grande vantagem deste equipamento em relação ao GPR RAMAC é a robustez do equipamento (principalmente os cabos de comunicação) e a diversidade de portas na unidade de controle o que permite várias formas de comunicação de periféricos com esta (Fonte: Manual do software Terra Sirch SIR 3000)

Na aquisição dos dados em 2006 (figura 4.15) foi utilizado o *software Ground Vision 1.3.5*. De acordo com os resultados do estudo de viabilidade do uso do método feito anteriormente, utilizou-se a antena de 50 MHz a qual se mostrou-se adequada aos

objetivos deste trabalho. Os perfis de reflexão foram adquiridos no modo contínuo, onde as antenas eram arrastadas em trenós adaptados de madeira e uma medição era efetuada a cada 20cm.

Na aquisição da campanha de 2007 (figura 4.16), foi utilizada a antena multifrequencial 3200MLF-16-80MHz da GSSI. Esta antena pode assumir diversas frequências centrais diferentes entre 16 e 80MHz. Alterando o comprimento da antena, é possível mudar a frequência da mesma. Após alguns testes realizados em campo, optou-se por utilizar a configuração da antena de 25MHz. A aquisição foi realizada no modo contínuo com leituras realizadas a cada 20cm. Para otimizar o trabalho, foi utilizado um quadricúlo para rebocar o conjunto trenó e antenas.

Em escritório, foi realizado o processamento dos radargramas utilizando os *softwares* GRADIX 1.1.1 e RADAN 6.5.

Na etapa inicial foi realizada uma fase de pré-processamento que correspondeu a verificação da qualidade do dado através da relação sinal ruído nos radargramas, e com isso estabelecer os filtros para aplicação.

O processamento se deu então obedecendo a seguinte rotina: 1) No *software* GRADIX, aplicou-se o *drift removal*, que tem como função alinhar os traços do radargrama que possam estar alterados (com *gaps* ou falhas). 2) No *software* RADAN, foram utilizados os seguintes procedimentos: **Preenchimento do File Header**, com o devido ajustamento da antena, extensão do perfil, constante dielétrica e número de amostragem por metro; **Edição de marcas**, para editar o valor da distância referente à primeira e última amostragem; **Normalização da distância**, para normalizar a distância do radargrama segundo a edição realizada no comando anterior; **Position Correction**, para a correção do tempo zero; **Aplicação de filtro FIR**, como filtragem passa-banda e remoção do *background* (ressaltando refletores inclinados, como as estratificações cruzadas); e, **aplicação de ganho** que visa realçar os refletores com mais baixa amplitude do sinal. 3) **correção topográfica** no GRADIX, já que este *software* tem melhor resposta a esta correção que o RADAN. No processamento dos radargramas obtidos na campanha 2007, todos os procedimentos foram realizados no *software* RADAN.

Após processados, os radargramas foram exportados no formato \*.jpg e posteriormente importados para o *software CorelDraw 12* para formatação e interpretação. Neste *software* foram colocados as escalas verticais e horizontais e só então interpretado o refletor que marca o contato Duna / Barreiras (objetivo deste trabalho). Dados de sondagens contendo a profundidade exata a que se dá este contato, foram repassados pela Millennium de forma a corroborar com a interpretação realizada. Apesar da existência de outros refletores (marcando estratificações cruzadas, gerações de dunas e lençol freático), os anexos 1 ao 32 mostram os radargramas (de todas as linhas levantadas em ambas campanhas) apenas com o contato Duna / Barreiras interpretado.



Figura 4.15 – Aquisição dos perfis de reflexão com GPR na etapa 2006. (A) acoplamento das hastes complementares da antena de 50MHz; (B,C) aquisição no modo contínuo; (D,E,F) presença de tocos e raízes no meio da linha, o que pode gerar problemas no radargrama devido o desacoplamento das antenas ao solo.



**Figura 4.16 – Aquisição dos perfis de reflexão com GPR na etapa 2007. (A) GPR SIR 3000 com antena multifrequencial 3200MLF-16-80MHz da GSSI; (B) acoplamento das hastes da antena na unidade de controle; (C,D,E,F) aquisição no modo contínuo; (G,H) irregularidades na superfície. Quando a superfície da linha não encontra-se perfeitamente plana, problemas como o desacoplamento da antena, desconexão da haste da antena da unidade de controle e mesmo a quebra do trenó de madeira acontecem, podendo acarretar em problemas na qualidade dos radargramas.**

## 4.7 - Modelagem

A modelagem geológica moderna envolve a construção, visualização e manipulação de modelos tridimensionais que permitem uma melhor compreensão do objeto alvo de estudo. Para a modelagem dos dados obtidos na primeira campanha (2006) foi utilizado o *software* GoCad 2.0.8.

O GoCad (*Geological Object Computer Aided Draw*) foi criado através de um consórcio internacional, com a participação das principais empresas da indústria petrolífera, universidades e fornecedores de equipamentos para gerarem aplicativos para o segmento Exploração e Pesquisa (E&P). Este consórcio coloca à disposição de seus membros um aplicativo para modelagem geológica tridimensional. O objetivo do GOCAD é desenvolver novos métodos de modelagem interativa da geometria e propriedades de objetos geológicos complexos, para aplicações em geologia, geofísica e engenharia de reservatórios. Este consórcio é gerenciado pela ASGA (*Association Scientifique pour la Geologie et ses Applications*) e foi iniciado em 1989, pelo Departamento de Ciência da Computação em Geologia, em Nancy, França.

Este *software* possui inúmeros recursos voltados aos interesses geológicos. Dentre estes recursos destacam-se: recuperação e tratamento de dados, mapeamento, operações com superfícies, cálculo de reservas, edição e interpretação de perfis, digitalização, visualização e edição gráfica, facilitação para métodos potenciais, recursos de SIG (Sistema de Informações Geográficas) e várias opções de importação e exportação de dados, fundamentais em um sistema integrador.

Além de resultados de pesquisas, o consórcio coloca à disposição de seus membros uma aplicação computacional que permite a criação, importação, modificação, integração, visualização e exportação de objetos geológicos 3D. Outro benefício do programa GoCad é a padronização de formatos de dados gráficos e métodos de modelagem, de forma a facilitar o intercâmbio de informações.

Este modelador incorpora dados que podem ser visualizados como objetos, denominados de *pointsets*, *curves* e *surfaces* que representam entidades vetoriais caracterizados, respectivamente, por pontos, linhas e polígonos. Outros objetos como

*voxets*, *sgrid* e *wells* também estão disponíveis no GoCad. Além de visualizar, os dados podem ser manipulados (rederizados) dentro de um domínio tridimensional (Menezes, 2005).

Neste trabalho foram utilizadas diversas ferramentas deste *software* e definido um roteiro mínimo de funcionamento, abaixo descrito. Primeiramente, entram-se com os dados topográficos como *pointsets* ou como *curves*, em seguida criam-se *surfaces* por interpolação com base nos pontos e curvas já carregados. Posteriormente, inserem-se imagens e/ou radargramas como *voxets* georreferenciados.

O levantamento topográfico realizado com a Estação Total resultou em uma planilha com os atributos X, Y e Z de cada ponto coletado. Estes atributos estão georreferenciados de acordo com o sistema de coordenadas local adotado pela Millennium. Esta planilha foi exportada para o formato de arquivo “texto” e posteriormente importado como *pointsets* para o GoCad (figura 4.17), indicando-se a posição dos atributos X, Y e Z, para um perfeito posicionamento tridimensional destes pontos visando posicionar os radargramas e gerar o MDT (modelo digital de terreno) da área.

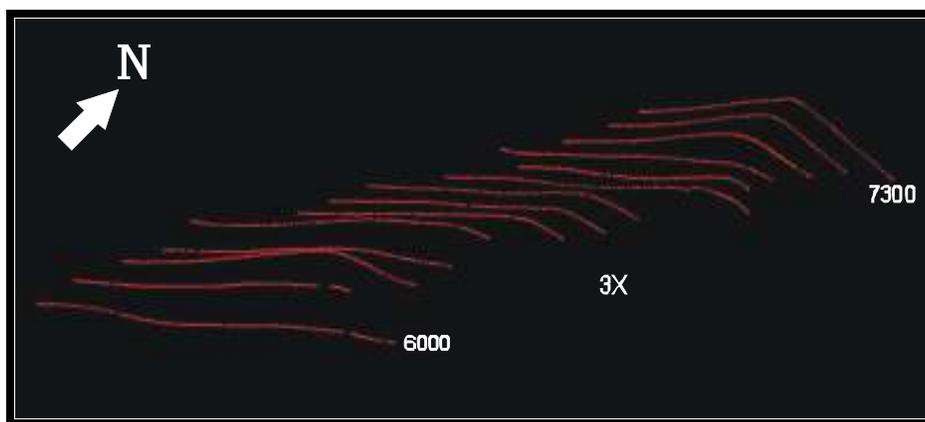


Figura 4.17 – Topografia das 14 linhas levantadas visualizadas no GoCad como *pointset* e georreferenciados no sistema de coordenadas da Millennium (3x – Exagero vertical).

Os arquivos imagem dos radargramas foram importados como “voxets 2D” (objeto de imagem com duas dimensões) e geoposicionados espacialmente de acordo

com o levantamento topográfico, isto é, dispostos em suas posições relativas em função do sistema de coordenadas adotado (figuras 4.18 e 4.19).

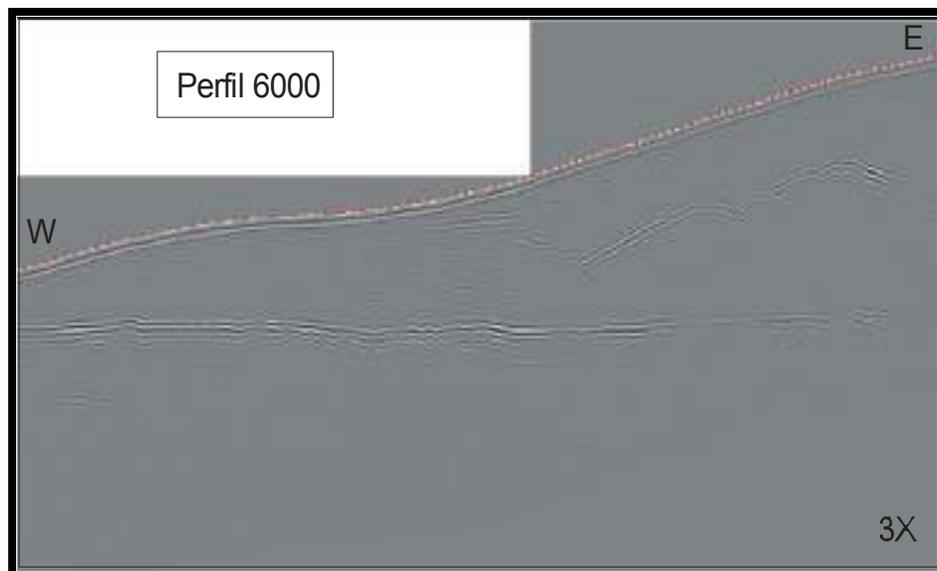


Figura 4.18 – Geoposicionamento do radargrama da linha 6000 em função dos dados do levantamento topográfico (em vermelho) (3x – Exagero vertical).

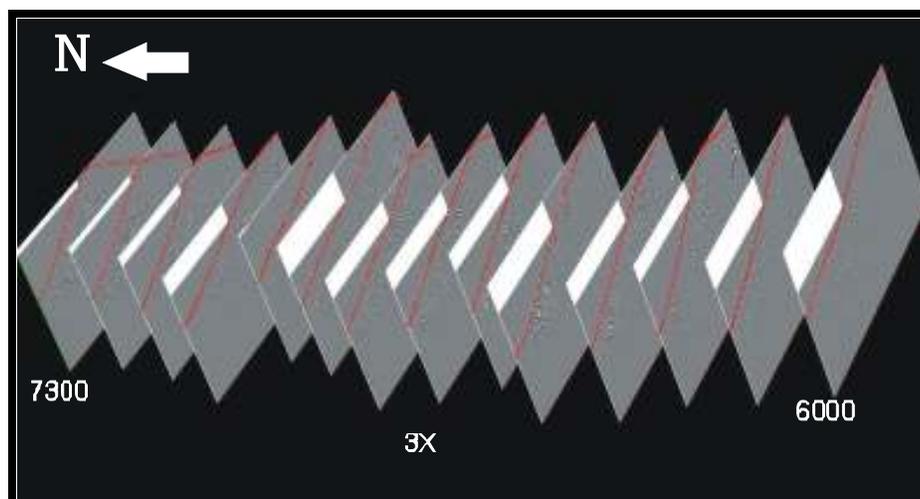


Figura 4.19 – Vista geral de todos os radargramas agora geoposicionados em ambiente GoCad (3x – Exagero vertical).

O MDT foi gerado por triangulação com suavização de cada ponto aos seus vizinhos (figuras 4.20 e 4.21).

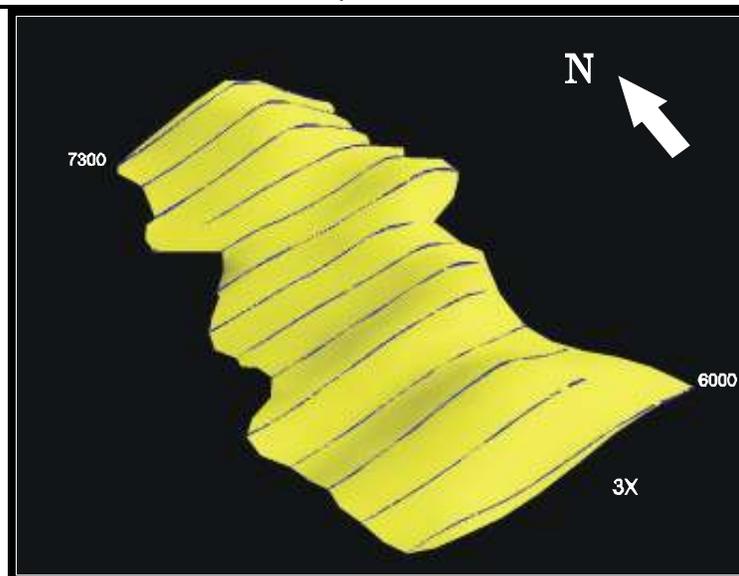


Figura 4.20 – Modelo digital do terreno gerado por triangulação entre os pontos do levantamento topográfico (3x – Exagero vertical).

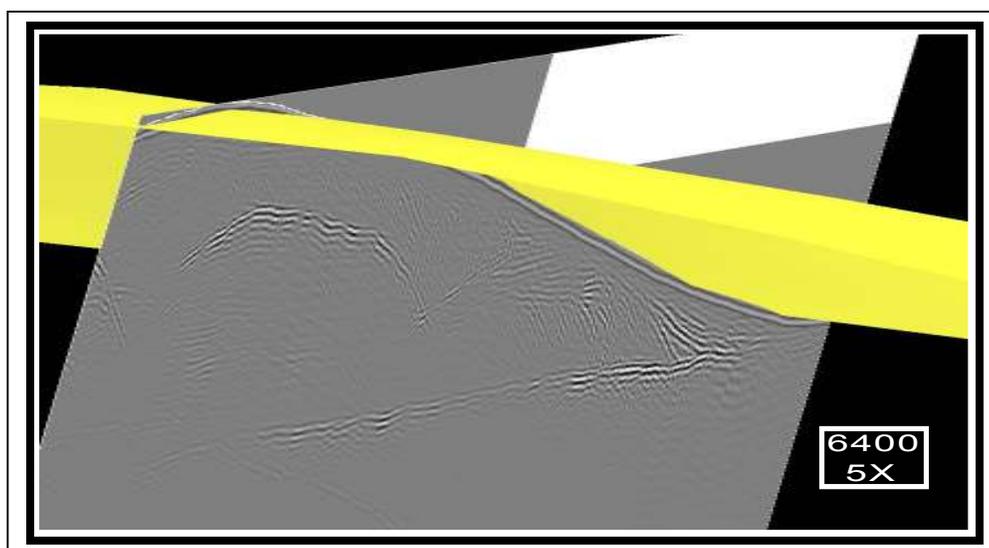


Figura 4.21 – Visão da superfície gerada no MDT sobre a linha 6400 (5x – Exagero vertical).

A reinterpretação, agora em ambiente 3D, do refletor que marca o contato Duna / Barreiras em cada radargrama foi realizado no GoCad a partir da vetorização em “forma de curvas” destes refletores (figuras 4.22 e 4.23). As curvas, quando criadas, são geoposicionadas pelo *software* exatamente no plano do perfil GPR que está sendo

interpretado. Tanto a interpretação 2D realizada anteriormente quanto as informações de sondagens (figura 4.24), importadas também para o GoCad a partir de uma planilha cedida pela empresa, auxiliam esta fase de reinterpretação.

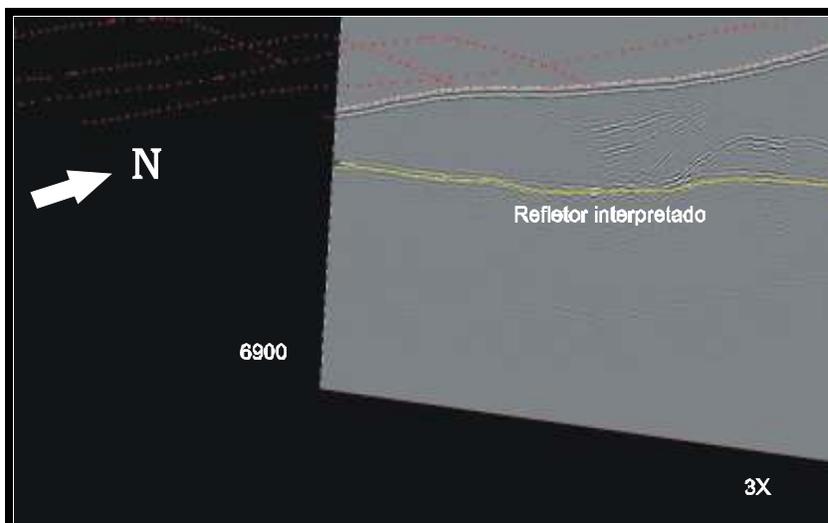


Figura 4.22 – Exemplo de vetorização do refletor que marca o contato Duna / Barreiras no perfil 6900. Notar irregularidades neste limite (3x – Exagero vertical).

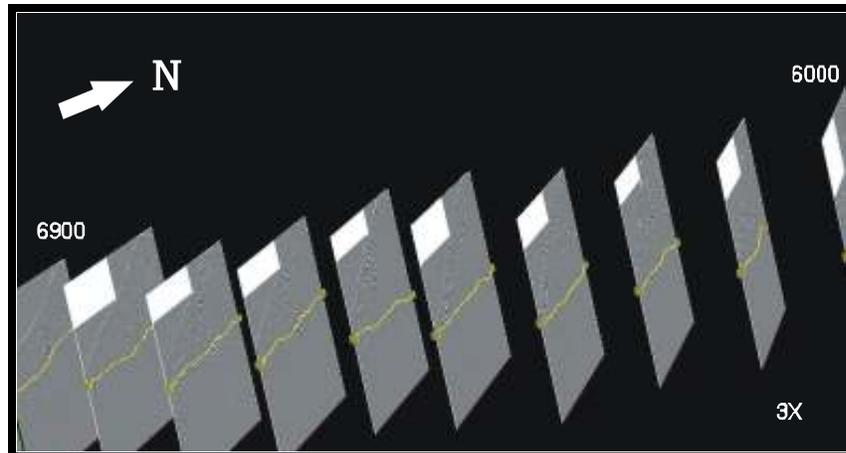


Figura 4.23 – Perfis GPR e respectivas interpretações do topo estrutural das rochas da Formação Barreiras, georreferenciados. Notar as irregularidades no topo do Barreiras tanto em um mesmo perfil como entre perfis (3x – Exagero vertical).

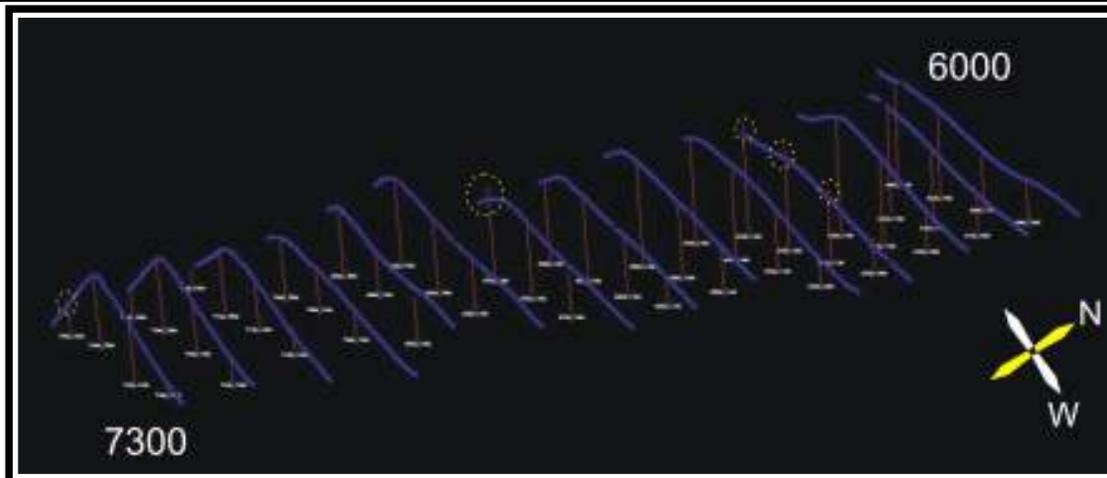


Figura 4.24 – Perfis GPR juntamente com as sondagens realizadas pela Millennium. Essa informação auxilia a interpretação da parte superior do Barreiras em ambiente 3D. Notar os 5 pontos circulosados em amarelo evidenciando uma discrepância entre a topografia levantada e a boca do furo da sondagem (3X – Exagero vertical)

Após a interpretação 3D procedeu-se a geração da superfície do topo do Barreiras com base novamente na triangulação com suavização entre as curvas relacionadas aos refletores vetorizados em todos os perfis (figuras 4.25 e 4.26). O resultado é a superfície do topo do Barreiras georreferenciada no sistema de coordenadas da Millennium.

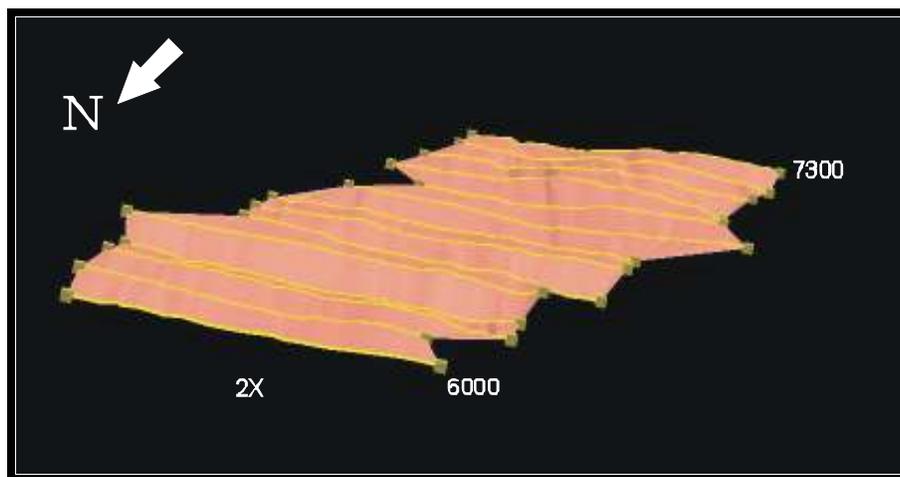


Figura 4.25 – Superfície do topo estrutural das rochas da Formação Barreiras gerada por triangulação entre as curvas vetorizadas (2x – Exagero vertical).

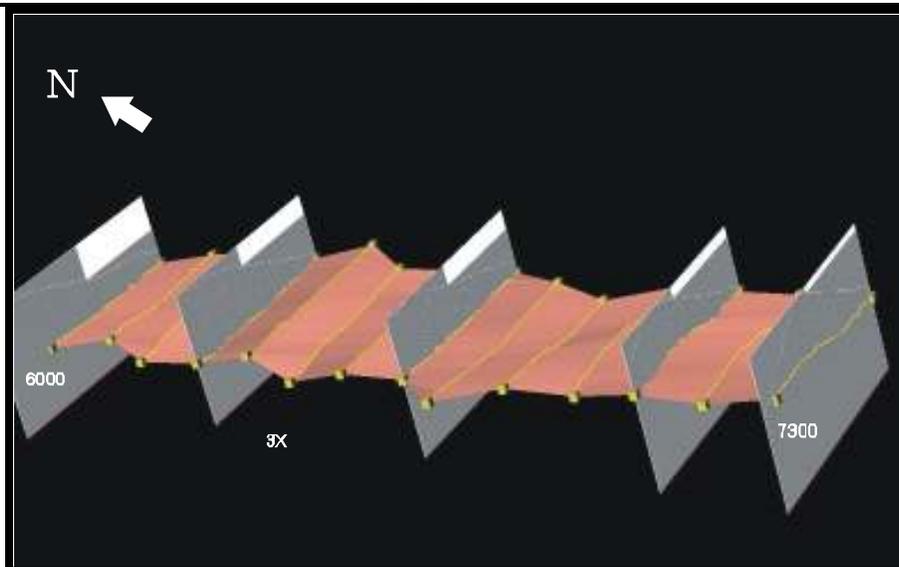


Figura 4.26 - Superfície do topo estrutural das rochas da Formação Barreiras junto com os radargramas de alguns perfis GPR gerando uma representação 3D virtual da área estudada (3x – Exagero vertical).

É notável nesta superfície desníveis no topo estrutural das rochas da Formação Barreiras (figura 4.27). Com o intuito de quantificar isto, planilhas com valores de desníveis em um mesmo perfil e entre perfis distintos foram elaborados a partir do GoCad (tabelas 4.4 e 4.5).

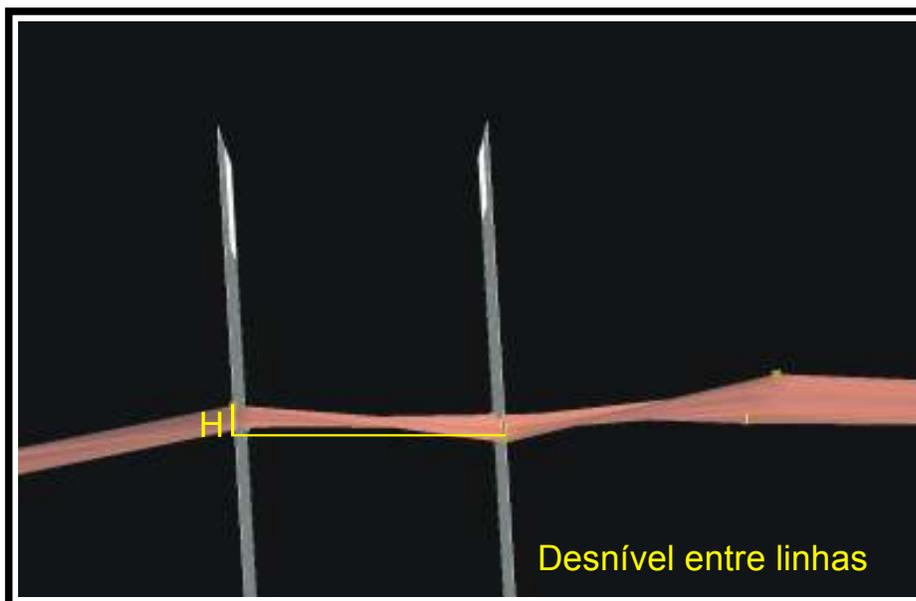


Figura 4.27 – Desnível na superfície do Barreiras observado entre dois perfis GPR.

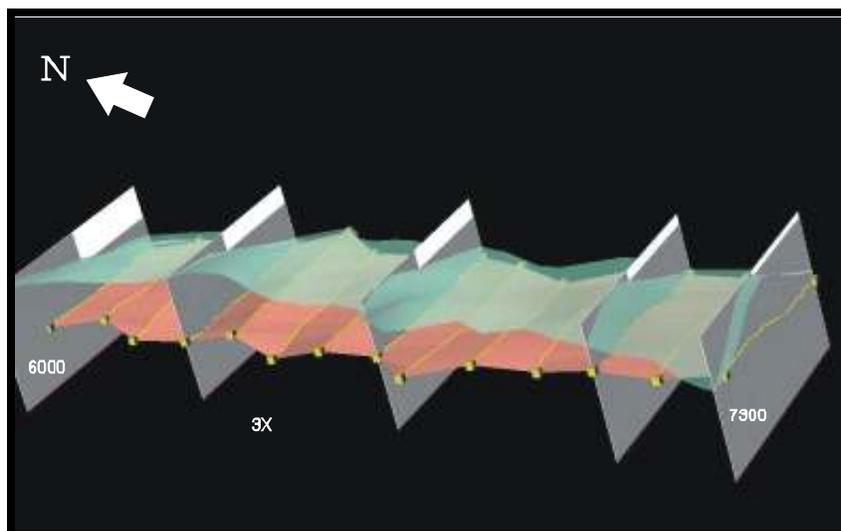
**Tabela 4.4 – Valores dos maiores desníveis do topo estrutural das rochas da Formação Barreiras em um mesmo perfil. Na primeira coluna está o nome do perfil correspondente à coordenada X, na segunda coluna o desnível em metros e na terceira e quarta colunas estão, respectivamente, o ponto, dentro do perfil (mesmo X), de maior e de menor cota com suas respectivas coordenadas Y e Z (cota).**

PERFIL	DESNÍVEL	Pto MAIOR COTA	Pto MENOR COTA
X	(METROS)	Y/Z	
6000	2,86	1191,38 / 131,639	1082,42 / 128,78
6100	4,77	1164,24 / 132,513	1076,25 / 127,995
6200	5,01	1175,63 / 130,92	1269,36 / 125,91
6300	5,00	931,036 / 125,257	1250,19 / 120,257
6400	4,76	1219,36 / 131,781	1291,38 / 127,02
6500	7,42	1058,44 / 128,366	1352,18 / 120,951
6600	6,50	1411,82 / 130,254	1053,91 / 123,754
6700	5,67	1404,63 / 125,737	1068,42 / 119,868
6800	11,01	1517,26 / 133,857	1325,95 / 122,843
6900	12,05	1526,18 / 134,751	1303,95 / 122,7
7000	12,47	1424,76 / 134,544	1167,86 / 122,074
7100	12,06	1454,77 / 134,483	1297,34 / 122,426
7200	12,32	1473,63 / 134,298	1307,89 / 121,977
7300	14,93	1604,29 / 135,456	1201,523 / 120,523

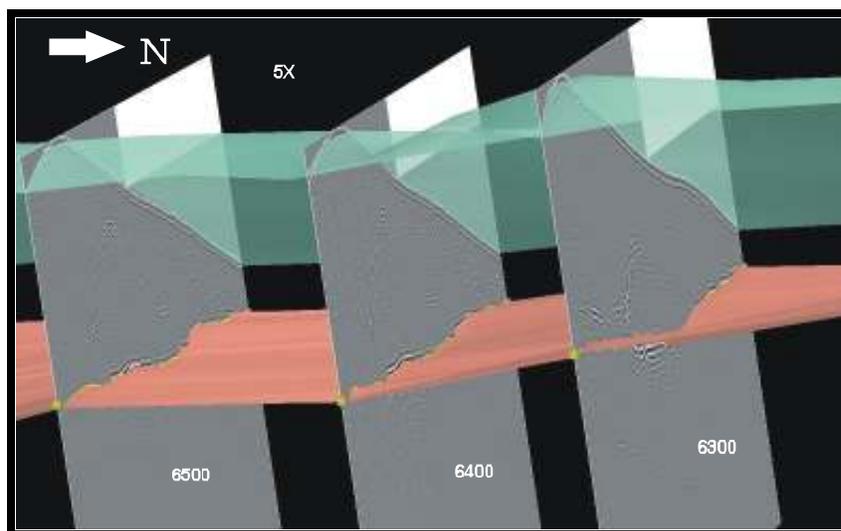
**Tabela 4.5 – Maiores valores de desnível do topo estrutural das rochas da Formação Barreiras entre duas ou mais linhas (foi mantida a mesma coordenada Y entre os perfis medidos).**

Coordenada Y	PERFIS (Coordenada X)	DESNÍVEL (m)
1356,83	7000 - 6700	9,608
1220,25	6400 - 6300	10,31
1353,46	6600 - 6500	8,68

Por último foram criados modelos estáticos 3D da área de estudo (figuras 4.28 e 4.29), possibilitando além de visualização 3D dos dados e interpretações, diversos tipos de medição e a exportação em diversos formatos genéricos de leitura por outros *softwares*.



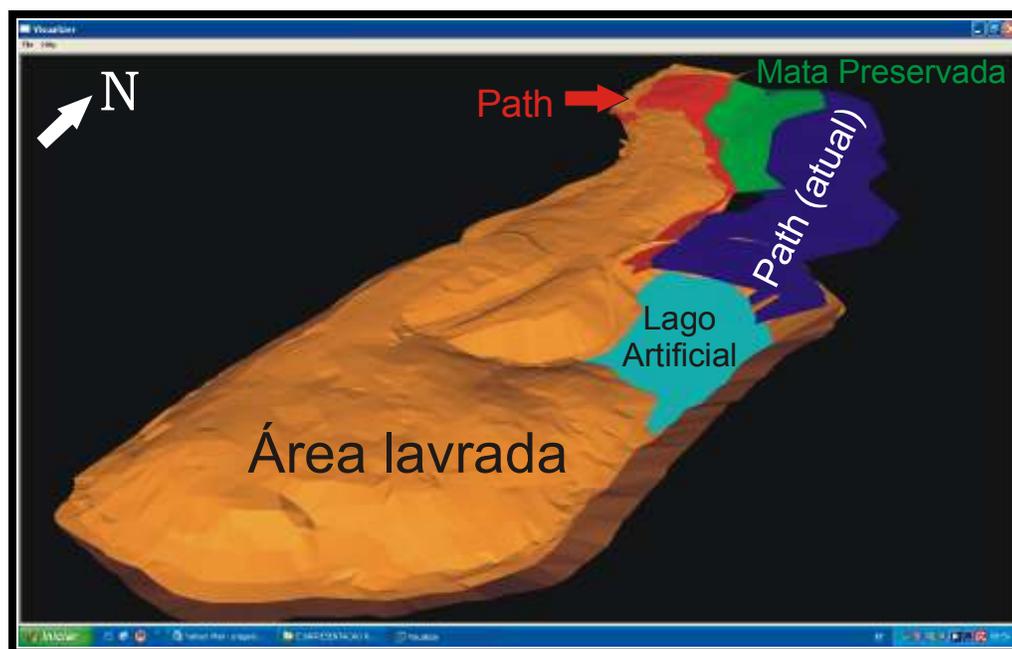
**Figura 4.28 – Modelo Estático 3D da área estudada no ano de 2006, envolvendo a superfície da interface Duna / Barreiras, os radargramas e a superfície das dunas integrados em ambiente 3D no GoCad, permitindo total interação usuário/dados. Possibilitando, além de visualização 3D dos dados e interpretações, a utilização de diversas ferramentas como a medição de distâncias em X, Y e Z, e a exportação em diversos formatos genéricos de leitura por outros *softwares*. (3x – Exagero vertical).**



**Figura 4.29 – Vista em detalhe dos perfis 6300, 6400 e 6500 mostrando a integração entre os dados e as irregularidades na superfície referente ao topo estrutural das rochas da Formação Barreiras (5x – Exagero vertical).**

No ano de 2007, devido a não renovação da licença do *software* GoCad por motivos técnicos, a modelagem não pôde ser realizada neste *software*. Desta forma foi estudada uma metodologia que pudesse disponibilizar os dados adquiridos para o *software* Datamine, utilizado pela Millennium. Segue a seguir uma rápida descrição dos procedimentos adotados para modelagem dos dados obtidos em 2007.

De posse dos dados topográficos, os radargramas depois de processados (no *software* RADAN) e interpretados (no *software* Corel Draw) precisavam ser georreferenciados. Para o georreferenciamento destas linhas, de acordo com o sistema de coordenadas da empresa, foi utilizado o *software* Surfer 8.0. Este *software* permitiu gerar (a partir da digitalização do refletor) tabelas no formato \*.bln que informam as coordenadas X,Y,Z da interface Duna / Barreiras. Para o envio final desta tabela, os dados foram exportados no formato \*.xls, visando alimentar a base de dados do *software* Datamine e, conseqüentemente gerar modelos tridimensionais do depósito como os vistos na figura 4.30.



**Figura 4.30 – Representação 3D da atual frente de lavra (contato entre o lago e o *path* atual) e adjacências obtida com o *software* Datamine. O avanço é feito para o Norte sobre o *path* (área de lavra) atual (área de estudo deste trabalho no ano de 2007).**

## **Capítulo 5 – Considerações Finais**

Em uma parceria entre o Laboratório de Análises Estratigráficas do Departamento de Geologia da UFRN e a empresa de mineração Millennium, o presente trabalho consistiu na aquisição da geometria externa das dunas e principalmente identificar a superfície que marca a porção superior das rochas siliciclásticas da Formação Barreiras. Ao final deste estudo, foi possível montar um Modelo Estático 3D destes depósitos sedimentares enfatizando o comportamento topográfico da interface Duna / Barreiras.

O estudo de viabilidade do uso do método GPR, que precedeu a aquisição em campo, mostrou que tal ferramenta se adequava para a finalidade a que a mesma se propunha, visto que os parâmetros calculados convergiram com os diversos trabalhos pesquisados na literatura, mostrando que a teoria e a metodologia a ser aplicada no hipotético levantamento de GPR são pontos satisfatórios do trabalho.

Durante as etapas de campo (realizadas nos anos de 2006 e 2007) foram utilizadas técnicas de levantamentos topográficos com Estação Total e GPS Geodésico bem como aquisições geofísicas rasas com GPR. Foram adquiridos aproximadamente 10,5km de topografia e 10km de perfis GPR.

Os levantamentos geofísicos, realizados com dois equipamentos de GPR distintos, mostraram-se adequados aos objetivos propostos neste projeto de pesquisa: rápida aquisição, alta precisão, custo baixo e geração de imagens para criação de modelos virtuais 3D. Foram utilizadas as antenas de 50MHz em 2006 e 25MHz em 2007. Estas frequências atenderam perfeitamente ao trabalho, tendo em vista as características geológicas da área (alto contraste das propriedades eletromagnéticas entre os sedimentos das dunas e as rochas da Formação Barreiras) e a relação profundidade / resolução do alvo.

A precisão e confiabilidade nos resultados obtidos pôde ser assegurada a partir da correlação destes dados com outros pré-existentes cedidos pela própria empresa (topografia e sondagens principalmente).

Estes dados serviram de *input* para geração de modelos digitais de terreno (MDT) e modelos virtuais 3D no *software* GoCad.

O levantamento topográfico deu origem ao Modelo Digital do Terreno (MDT). Este modelo foi gerado por triangulação, com suavização de cada ponto aos seus vizinhos.

É importante ressaltar também a qualidade (precisão) do imageamento do topo das rochas da Formação Barreiras. Esta superfície, a exemplo do MDT, foi também gerada por triangulação com suavização. Ressalta-se a presença de desníveis pronunciados entre pontos situados em um mesmo perfil e mesmo entre perfis diferentes. Entre as linhas 6300 e 6400, na coordenada Y de 1220, há um desnível de 10,21 metros de amplitude. No perfil 7300 foi verificado 14,93 metros de desnível entre o ponto mais alto e o mais baixo do topo das rochas da Formação Barreiras. A diferença de cotas representa perigo real para a integridade da draga durante a fase de lavra, já que fragmentos do Barreiras podem vir a obstruir a bomba danificando a mesma e gerando um prejuízo financeiro com o reparo da mesma e uma perda maior ainda relativa a improdutividade pelos dias parados da draga.

Por último foram criados modelos estáticos 3D da área de estudo. A visualização em ambiente 3D permitiu uma melhor compreensão do comportamento da superfície do Barreiras (permitindo conseqüentemente um melhor planejamento do avanço da frente de lavra por parte da empresa) bem como possibilita a execução de diversos tipos de medições, favorecendo assim uma cubagem mais precisa da jazida.

## Referências Bibliográficas

- Alheiros M.M., Lima Filho M.F., Monteiro F.A.J., Oliveira Filho J.S. 1988. Sistemas deposicionais na Formação Barreiras no Nordeste Oriental. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 35 Belém. Anais, 2: 753-760.
- Alheiros M.M., Lima Filho M.F. 1991. A Formação Barreiras. Revisão Geológica da Faixa Sedimentar Costeira de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. Recife, UFPE/CT/DG. Estudos Geológicos – Série B, Estudos e Pesquisas, 10: 77-88.
- Andrade R.S. 1968. Geologia e aspectos sedimentológicos da região costeira ao Sul de Natal. Escola de Geologia, UFPE, Recife, Relatório de Graduação, 57p.
- Annan, A.P. 1992. Ground Penetrating Radar workshop notes. Sensors & Softwares, inc., internal report.
- Annan, A.P. & Cosway, S.W. 1994. GPR frequency selection. In: Internacional Conference on Ground Penetrating Radar, 5, 1994, Notario. Proceedings, Ontario : GPR 94, p 747-760
- Annan, A.P., Davis, J.L., Scott, W.J. 1975. Impulse radar wide angle reflection and refraction in permafrost. Geol. Surv. Can., Pap. 75-1C, 335-341.
- Araújo, V.D. 2004. Mapeamento geológico de uma área entre Natal e Nisia Floresta-RN, com ênfase na geometria de depósitos eólicos. Monografia, Departamento de Geologia, UFRN.
- Araújo, V.D.; Reyes-Pérez, Y.A.; Lima, R.O.; Santos, D. A. S.; Pelosi, A.P.M.R, Lima Filho, F.P.; Córdoba, V.C. 2005. Análise Faciológica e Interpretação Paleoambiental de rochas da Formação Barreiras, Litoral Oriental do Rio Grande do Norte. In: *X Congresso da ABEQUA, Guarapari-RS. (CD Rom, 6p.)*.
- Araújo, V.D. 2006. Caracterização geológica tridimensional e monitoramento de dunas no litoral oriental do rio grande do norte . Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia, UFRN.
- Bagnold, R.A. 1941. The physics of blown sand and desert dunes . London, Methuen, 265pp.
- Barreto, A.M.F.; Suguio, K.; Bezerra, F.H.R.; Tatumi, S.H.; Gozzi, G.; Kowata, E. A.; Yee, M. & Oliveira, P.E. 2002. Aspectos Morfológicos e Idades por Luminescência do campo de Dunas Inativas da Costa Norte da Paraíba. Centro de tecnologia e Geociências. Departamento de Geologia. UFPE. v. 12, 3-12 p.
- Barreto, A.M.F.; Suguio, K.; Bezerra, F.H.R.; Tatumi, S.H.; Yee, M. & Giannini, P.C.F. 2004. Geologia e Geomorfologia do Quaternário Costeiro do Estado do Rio Grande do Norte. In: revista do Instituto de Geociências da USP. V.4, n. 2, p. 1-12.
- Beraldo & Soares, 1996. Notas de aula do curso: GPS – Introdução e aplicações práticas. Editora e Livraria Luana Ltda, Criciúma.
- Bessa H. 1975. Relatório final de pesquisa para zircão em Mataraca - Paraíba. RIB - Rutilo e Ilmenita do Brasil S. A., Mataraca/ PB, Areias: Universidade de Areias, 17 p.
- Bigarella J.J., Andrade G.O. 1964. Considerações sobre a Estratigrafia dos Sedimentos Cenozóicos e Pernambuco (Grupo Barreiras). Arq. Inst. Ciênc. Terra, 2:1-14.

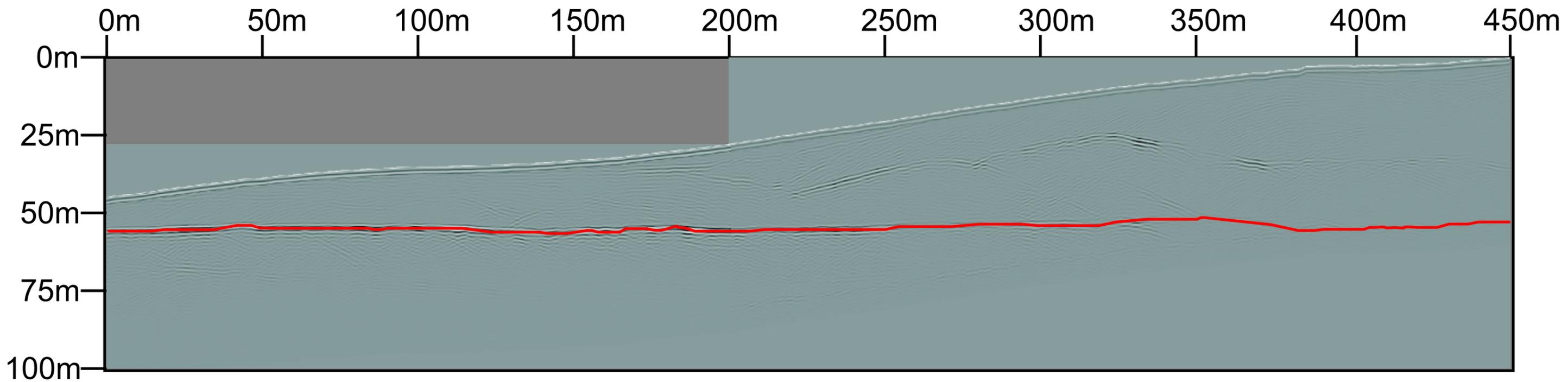
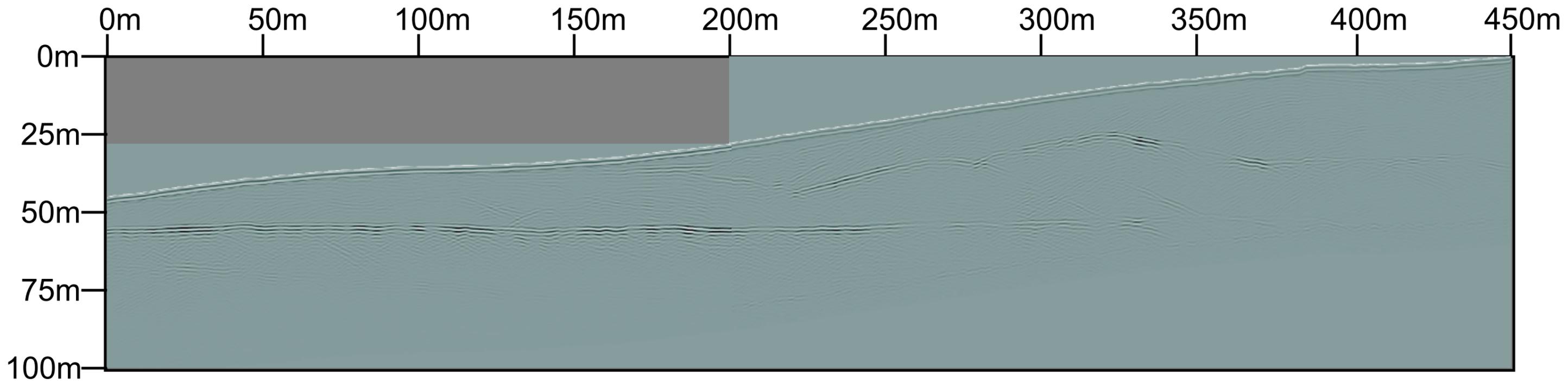
- Bigarella, J.J. 1975. The Barreiras Group in Northeastern Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v.47, p. 365-393, dez. 1975. Suplemento.
- Brandalize, M.C.B 2001. Topografia. Notas de aula do curso de topografia., Departamento de Engenharia Civil, PUC, Paraná.
- Branner J.C. 1902. Geology of the northeast coast of Brazil. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 13: 41-98.
- Bristow C.S., Chroston P.N., Bailey S.D. 2000. The structure and development of foredunes on a locally prograding coast: insights from ground penetrating radar surveys, Norfolk, UK. *Sedimentology*, 4:923-944.
- Brito Im, Mello Cl E Madeira CV. 1996. Avaliação do significado estratigráfico do termo Barreiras. *An. Acad. Bras. Cienc.*, **69**(1):136-137.
- Brookfield M.E. 1977. The origin of bounding surfaces in ancient aeolian sandstones. *Sedimentology* 24: 303-332.
- Brookfield M.E.; Ahlbrandt T.S. 1983. Eolian Sediments and processes.
- Brookfield, M.E. 1992. Eolian Systems. In: *fácies Models – response to sea level change*. Edited by Roger G. Walker and Noel P. James. Geological Association of Canadá.
- Campos & Silva A. 1966. Considerações sobre o Quaternário no Rio Grande do Norte. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, *Arq. Inst. Antrop.* 2(1/2): 275-301
- Cagnoli, B. E Ulrych, T.J. 2001. Ground penetration radar images of unexposed climbing de-forms in the Ubehebe hydrovolcanic field (Death Valley, California). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 109. 279 – 298 p.
- Costa, W.D. 1971. Estudos hidrológicos de Natal–RN. Natal, CONTEGE/CAERN, Natal, 224 p.
- Davis J.L., Annan A.P., 1989. Ground penetrating radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy. *Geophysical Prospecting*, 37:531-551
- Dote Sá, T. 1998. Mineração de ilmenita, rirconita e rutilo no sistema deposicional litorâneo da área da Mina do Guajú (Mataraca – Paraíba) impactos, compartilhização e recuperação, dissertação de mestrado, UFC.
- Duarte M.I.M. 1995. Mapeamento geológico e geofísico do Litoral Leste do Rio Grande do Norte: Grande Natal (Área I). Departamento de Geologia, CCE/UFRN, Natal, Relatório de Graduação, 55p.
- Fracasso, P. 2005. Sistemas de dunas do Parque das Dunas e Barreira do Inferno/ Natal-RN: levantamento geológico/geofísico, elaboração do modelo determinístico e avaliação da vulnerabilidade/suscetibilidade frente às pressões antrópicas. Dissertação, Pós Graduação em Geodinâmica e Geofísica, UFRN.
- Fryberger, S.G.; Ahlbrand, T.S.; Andreas, S. 1979. Origin, sedimentary features, and significance of low-angle eolian "sand sheet" deposits, Great Sand Dunes National Monument and vicinity, Colorado. *J. Sedim. Petrol.*, 49, 733 -746.
- Fryberger, S.G. & Schenk, C. 1981. Wind sedimentation tunnel experiments on the origins of eolian strata. *Sedimentology*, 8, 805-821.
- Giannini, P.C.; Barreto, A.M.F.; Suguio, K. E Tatumi, S.H. 2001. Idade TL e propriedades sedimentológicas na planície costeira do Rio Grande do Norte. In: Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, VII. Imbé, UFRGS. Anais, Rio Grande do Sul.
- Greeley, R. & Inversen, J.D. 1985. *Wind as a Geological Process*, Cambridge University Press, Cambridge, 333pp.

- Harari Z. 1996. Ground Penetrating Radar (GPR) for imaging stratigraphic features and groundwater in sand dunes. *J. Appl. Geophys*, 36:43-52
- Hesp, P.A. 1999. The Beach-Backshore and Beyond. In: *Beach and Shoreface Morphodynamics. Coastal Depositional Environments*. Department of Geography and Marine Studies Centre. University of Sydney. Págs. 48-76.
- Hesp, P. A. 2002. A Gênese de Cristas de Praias e Dunas Frontais. In: *Mercator – Revista de Geografia da UFC*, ano 01, número 02, 120-125 p.
- Hesp, P. A. E Hyde, R. 1996. Flow dynamics and geomorphology of a trough blowout. *Sedimentology*, 43: 505-525.
- Hunter R.E. 1977. Basic types of stratification in small eolian dunes. *Sedimentology*, 24: 361-387.
- Hunter, R.E.; Richmond, B.M. & Alpha, T. 1983. Storm -controlled oblique dunes of the oregon coast. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 94, 1450-1465.
- Kegel W. 1957. Contribuição ao estudo da Bacia Costeira do Rio Grande do Norte. Rio de Janeiro, DNPM, 52 p. (Boletim 170).
- Kocurek, G. 1981. Significance of interdune deposits and bounding surfaces in aeolian dune sands. *Sedimentology*, 28, 753 -80.
- Kocurek, G. 1991. Interpretation of ancient eolian sand dunes. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 19: 43-75.
- Kocurek, G. & Nielson, J. 1986. Conditions favourable for the formation of warm -climate aeolian sand sheet. *Sedimentology*, 33, 795-816.
- Lancaster N. 1982. Linear dunes. *Prog. Phys. Geogr.* 6:475-504.
- Lancaster, N. 1988. The development of large eolian bedforms. *Sediment. Geol.*, 56, 69-89.
- Lancaster N. 1989. The dynamics of star dunes: an example from the Gran desierto, México, *Sedimentology* 36: 273-289.
- Mabessoone J. M., Campos E Silva A., Benrlen K. 1972. Estratigrafia e Origem do Grupo Barreiras em Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. *Rev. Bras. Geoc.*, 2:173-178.
- Mabesoone J. M. Et Al. (Coordenador) 1991. Revisão geológica da faixa sedimentar costeira de Pernambuco, Paraíba e parte do Rio Grande do Norte. UFPE/CT/DG. Estudos Geológicos - Série B, Estudos e Pesquisas, 10:252 p.
- Mckee, E.D.; Douglas, J.R.; Rittenhouse, S. 1971. Deformation of leeside laminae in eolian dunes. *Geol Soc. Am. Bull.*, 82:359-378.
- Mckee, E.D. 1979. Sedimentary structures in dunes. In: McKee, E. D. (ed). *Global Sand Sea*. US Geol. Surv. Prof. Pap., 1052, 429p.
- Mckee, E.D. & Bigarella, J.J. 1972. Deformational structures in Brazilian coastal dunes. *J. Sed. Petrol.*, 42, 670-681.
- Mckee, E.D. E Bigarella, J.J. 1979. Sedimentary Structures in Dune. In: *A Study of*
- Mclachlan A. C., Ascaray P. Du Toit 1987. Sand movement, vegetation succession and biomass spectrum in a coastal dune slack in Algoa Bay, South Africa. *J. Arid Environ.* 12:9-25.
- Melo J.G. 1995. Impacto do desenvolvimento urbano nas águas subterrâneas de Natal/RN. IG/USP, São Paulo, Tese de Doutorado, 196p.

- Menezes L. 2005. Mapeamento digital de análogos a reservatórios petrolíferos: exemplo para depósitos fluviiais da unidade açu-3 - bacia potiguar. Dissertação, Pós Graduação em Geodinâmica e Geofísica, UFRN.
- Nazaré Jr., D. 1993. Mapeamento geológico e gravimétrico da região de Natal. Departamento de Geologia, CCE/UFRN, Natal, Relatório de Graduação, 98 p.
- Neal A., Roberts C. L., 2001. Internal structure of a trough blowout, determined from migrated ground-penetrating radar profiles. *Sedimentology*, 48:791-810.
- Nogueira A.M.B. 1981. O cenozóico continental da região de Natal. In: Boletim do Departamento de Geologia, 3, Natal, CCE/UFRN, p. 15-24.
- Nogueira A.M.B. 1982. O Cenozóico Continental da Região de Natal. Natal, In: Coleção Textos Acadêmicos, 284 (2), Natal, CCE/UFRN, 119p.
- Noris R.M. 1996. Barchan dunes of Imperial Valley, Califórnia. *J. Geol.* 74: 292-306.
- Oliveira Júnior J.G. 2001. Dois testes de imageamento com GPR em problemas de Controle Ambiental em regiões tropicais: migração de dunas e localização de dutos de óleo enterrados. *Geociências*, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Dissertação de Mestrado, 56p.
- Porsani J.L. 2002. Método GPR: Aplicações em geologia, geotecnia, médio ambiente e planejamento urbano, IV Escola de Verão de Geofísica. IAG- Universidade de São Paulo. Apostila de curso.
- Pye K., Tsoar H. 1990. Aeolian Bedforms. In: *Aeolian sands and sand dunes*, p. 152-213.
- Ramalho R. 1984. Formação Barreiras. In: Baptista M B, Braun O P G E Campos D A. *Léxico Estratigráfico do Brasil*. Ed. Comemorativa do Cinquentenário. DNPM. Brasília. p.51.
- Ré E.R.; Marques M.B. 2002. Planejamento de lavra para mineração de minerais pesados de titânio. X Workshop Datamine, 1998, Rio de Janeiro-RJ.
- Robinson, S. Michaud, Y. 1999. Ground penetrating radar. In: *Handbook of Geophysical Techniques for Geomorphic and Environmental Research*, Gilbert, B. Editor, Open file 3731, Geological Survey of Canada, p. 69-102.
- Schenk, C.J., Gautier, D.L., Olhoeft, G.R., Lucius, J.E., 1993. Internal structure of an aeolian dune using ground-penetrating radar. In: Pye, K., Lancaster, N. Eds., *Aeolian Sediments Ancient and Modern*. Spec. Publ. Int. Assoc. Sedimentol., 16: 61-69.
- Sharp, R.P. 1963. Wind ripples. *J. Geol.*, 71, 617-636.
- Sherman, D. J., 1995. Problems of scale in the modeling and interpretation of coastal dunes. *Marine Geology* 124. p. 339-349.
- Short A. D. 1988. The South Australia coast and Holocene Sea – level transgression. *Geogr. Rev.*, 78: 119-136.
- Silva E. A. J. 2002. As Dunas Eólicas de Natal – Datação e Evolução. *Geociências*, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Dissertação de Mestrado, 56p.
- Silveira I.M. Vilaça J.G. 1985. Nota prévia sobre as formas de relevo do litoral leste do Rio Grande do Norte. In: *Bol. do Depto de Geologia*, 9, Natal, CCE/UFRN, p. 57-60.
- Souza A.M. 2006. Mapeamento digital e modelagem determinística de depósitos eólicos costeiros da região de Porto do Mangue-RN. UFRN/Depart. Geologia, Relatório de Graduação.
- Suguio, K. 1998. *Dicionário de geologia sedimentar e áreas afins*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1222 p.

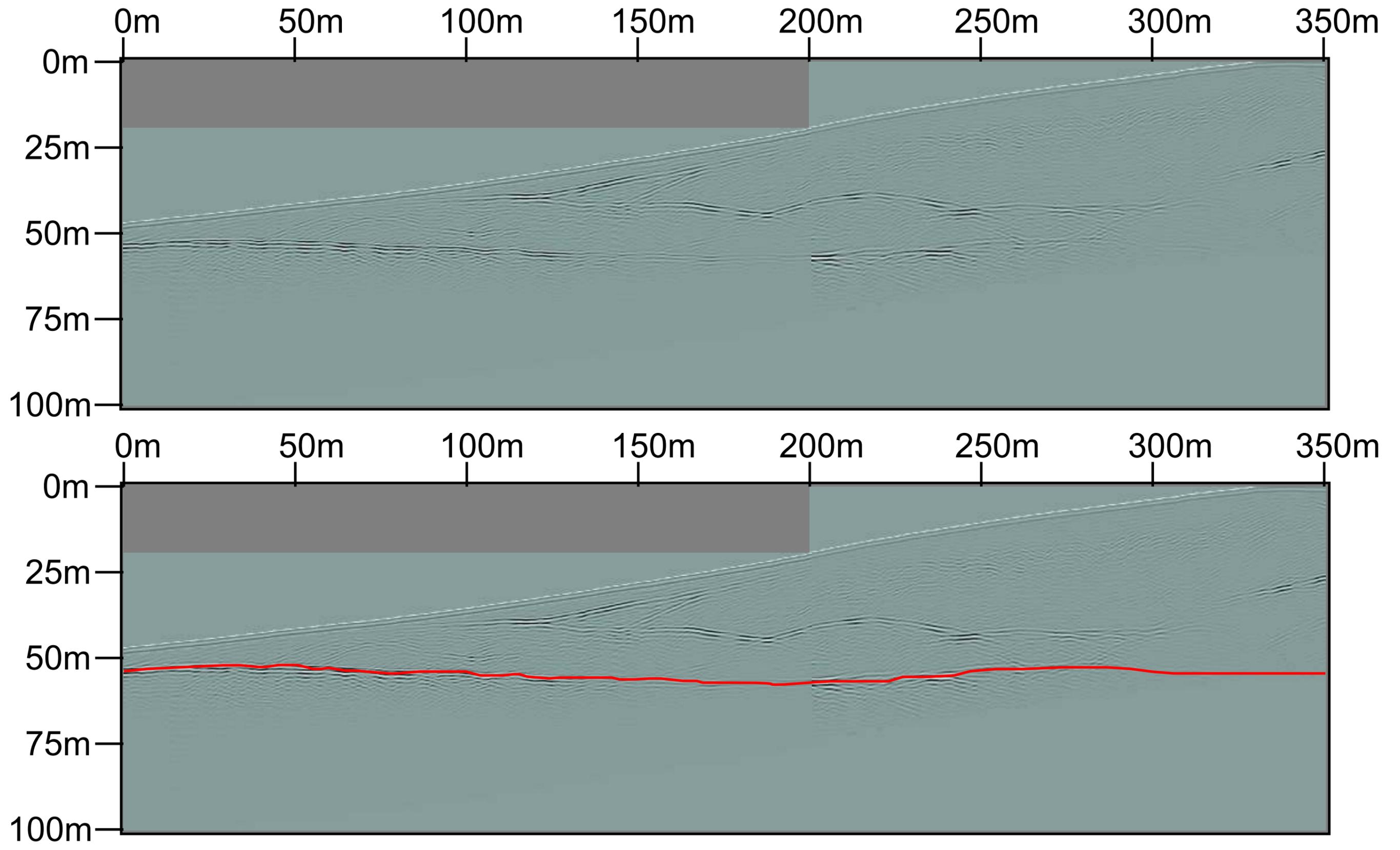
- Suguio K., Nogueira A.C.R. 1999. Revisão crítica dos conhecimentos geológicos sobre a Formação (ou Grupo?) Barreiras do Neógeno e o seu possível significado como testemunho de alguns eventos geológicos mundiais. *Rev. Bras. Geociências*. 18: 461-479.
- Thomas Dsg 1997. Sand seas and Aeolian bedforms. In: DSG Thomas (ed.). *Arid zone Geomorphology - Process, Form and Change in Drylands*. John Wile & Sons, 373-411.
- Tsoar H. 1989. Linear dunes – forms and formation. *Prog. Phys. Geogr.* 13:507-528.
- Van Heteren, S. Van De Plassche, O. (1997) Influence of relative sea-level change and tidal-inlet development on barrier-spit stratigraphy, Sandy Neck, Massachusetts. *J. Sed.Res.*, 67: 350-363.
- Vilaça J.G., Nogueira A.M.B., Silveira M.I.M., Carvalho M.F., Cunha E.M.S. 1986. Geologia ambiental da área costeira de Ponta de Búzios a Barra de Maxaranguape/RN. In: SBG/ Núcleo Nordeste, *Simp. Geol. NE*, 12, João Pessoa, *Boletim*, 10: 220-227
- Wilson, I.G., 1972. Aeolian Bedforms - Their Development and Origins. *Sedimentology*, 19, 173-210.

LINHA 6000 - ETAPA 2006



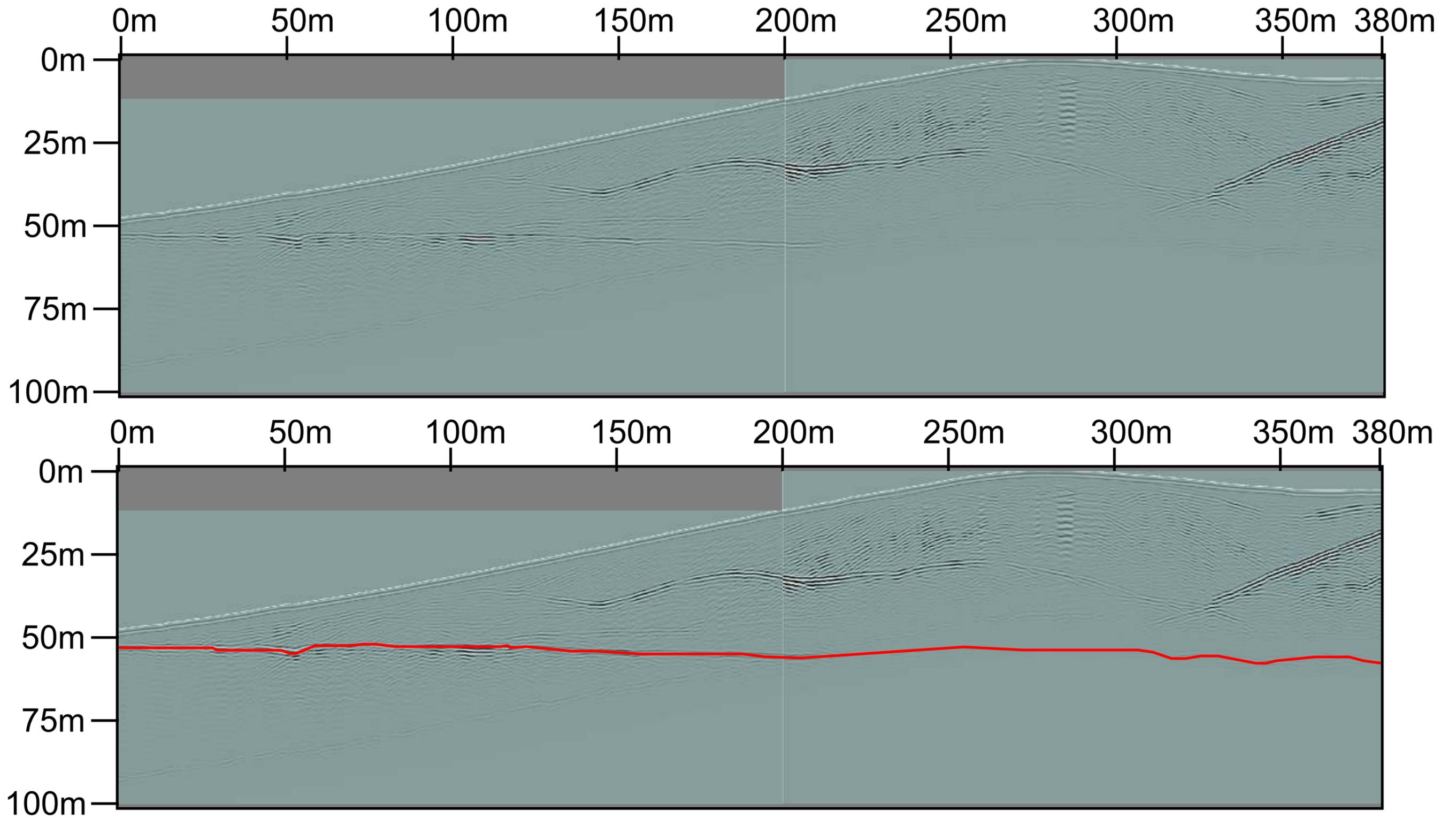
Anexo 01 - Radargrama da Linha 6000, levantada com a antena de 50MHz na etapa realizada no ano de 2006, com o refletor que marca o contato Duna / Barreiras interpretado.

LINHA 6100 - ETAPA 2006



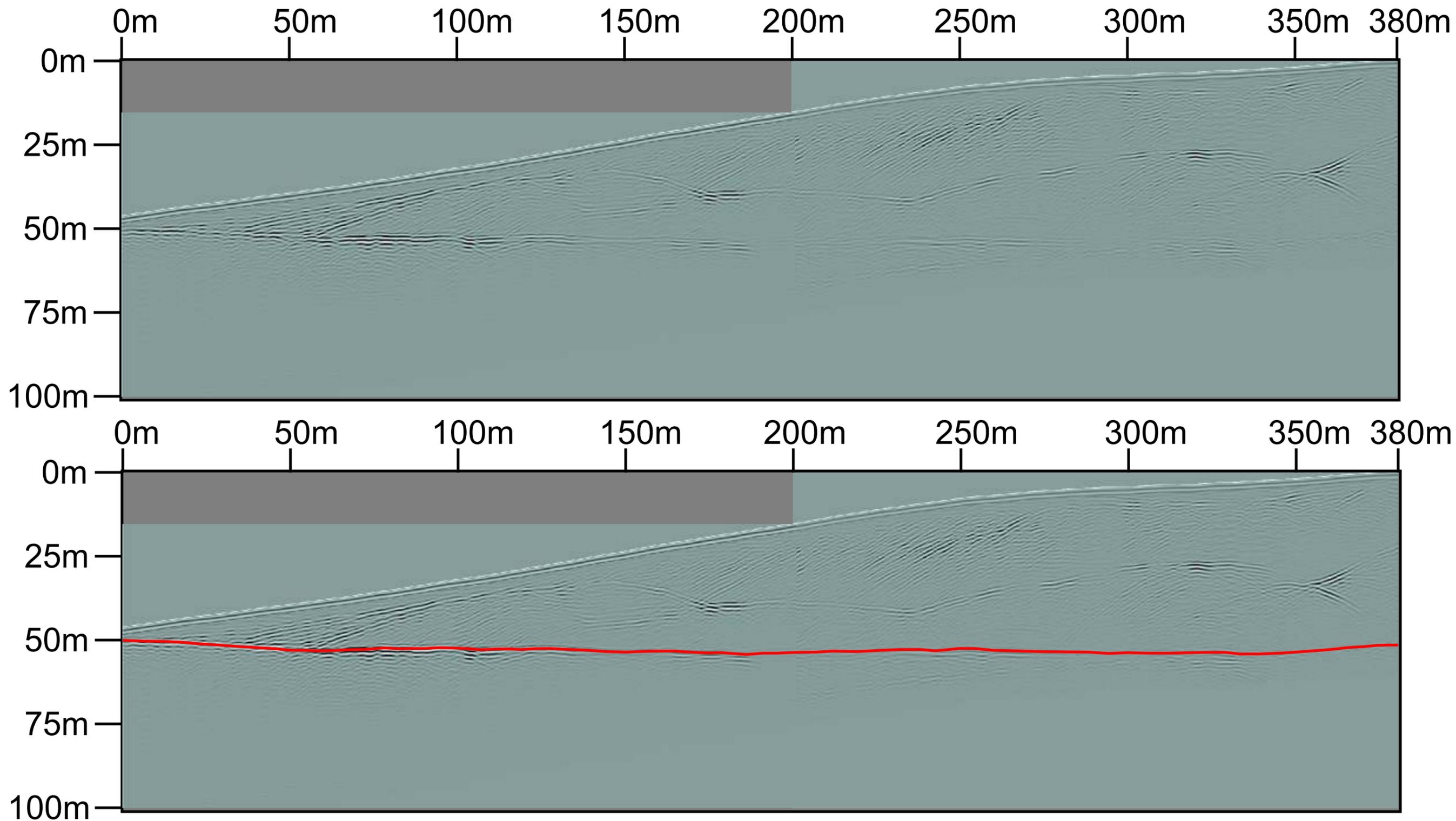
Anexo 02 - Radargrama da Linha 6100, levantada com a antena de 50MHz na etapa realizada no ano de 2006, com o refletor que marca o contato Duna / Barreiras interpretado.

LINHA 6200 - ETAPA 2006



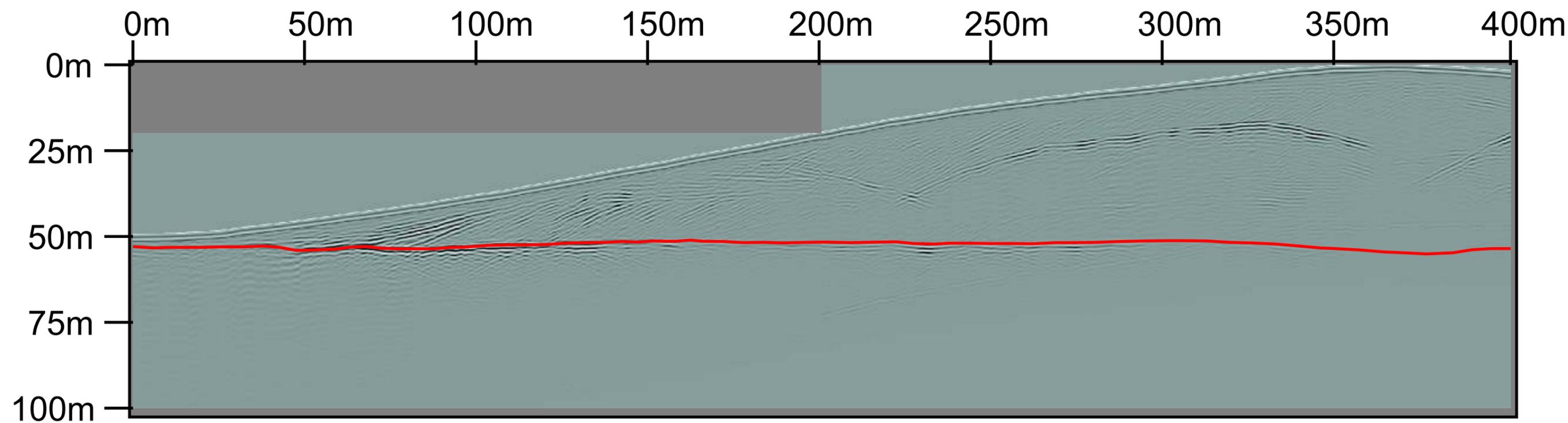
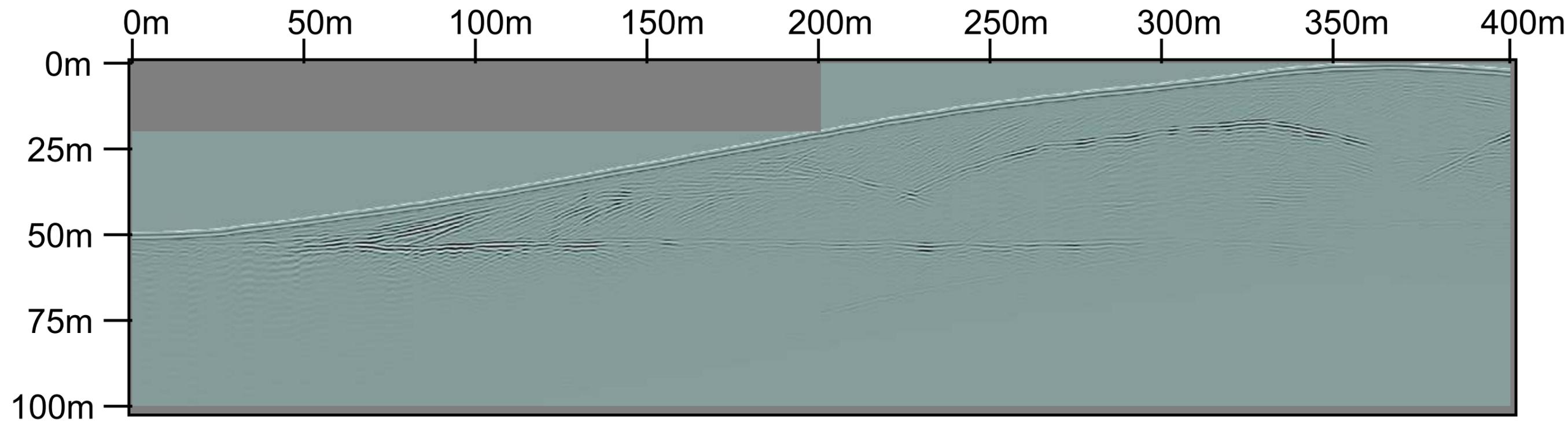
Anexo 03 - Radargrama da Linha 6200, levantada com a antena de 50MHz na etapa realizada no ano de 2006, com o refletor que marca o contato Duna / Barreiras interpretado.

LINHA 6300 - ETAPA 2006



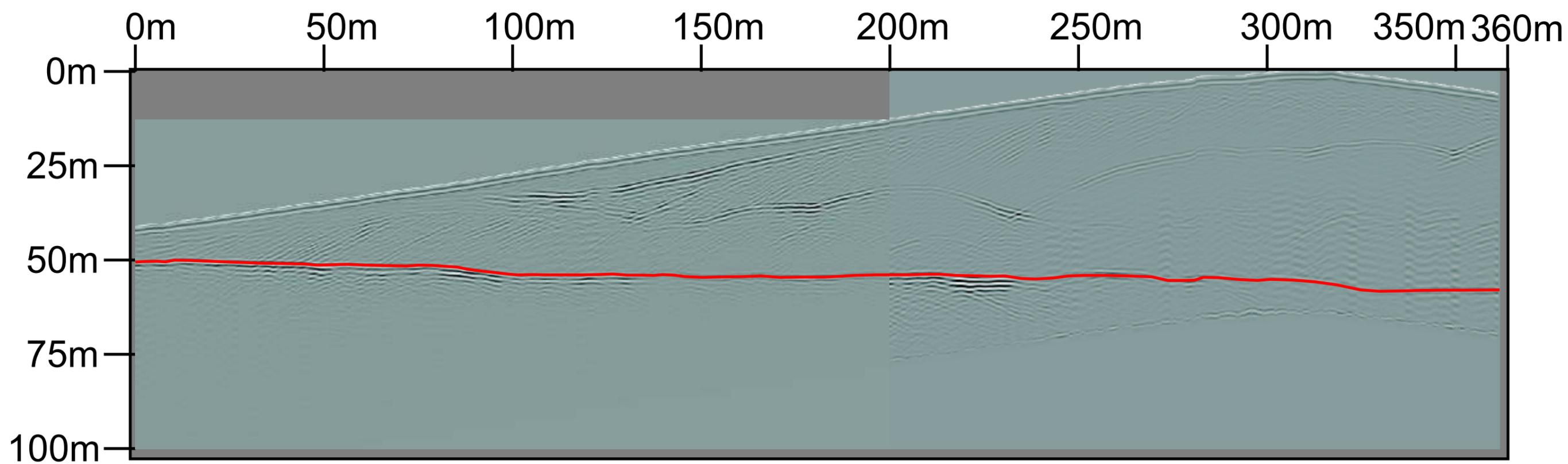
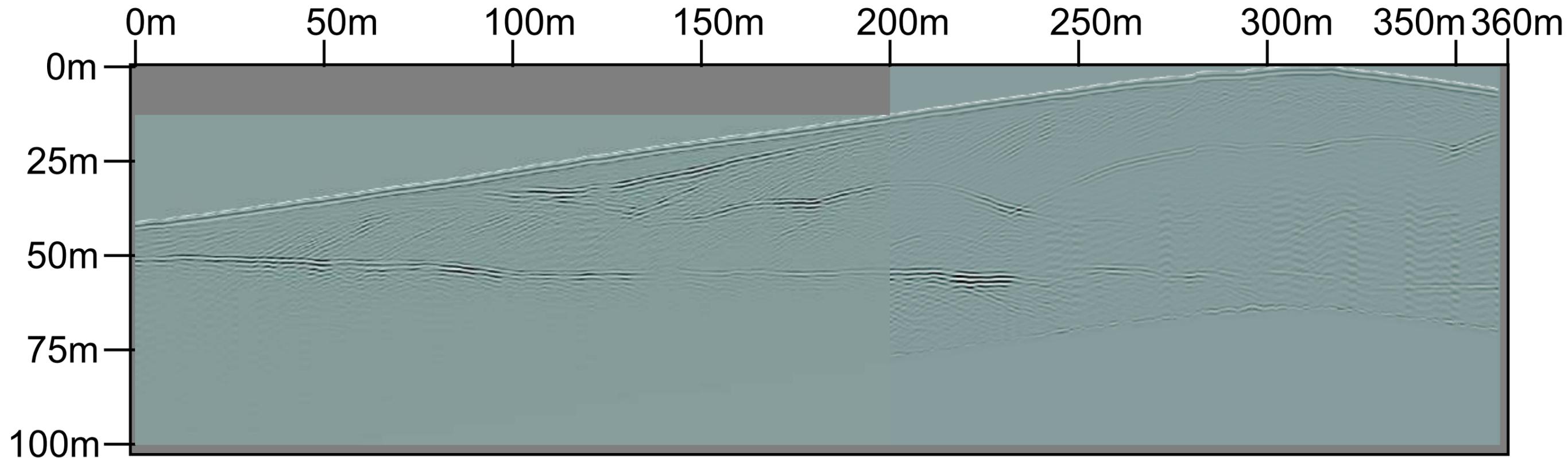
Anexo 04 - Radargrama da Linha 6300, levantada com a antena de 50MHz na etapa realizada no ano de 2006, com o refletor que marca o contato Duna / Barreiras interpretado.

LINHA 6400 - ETAPA 2006



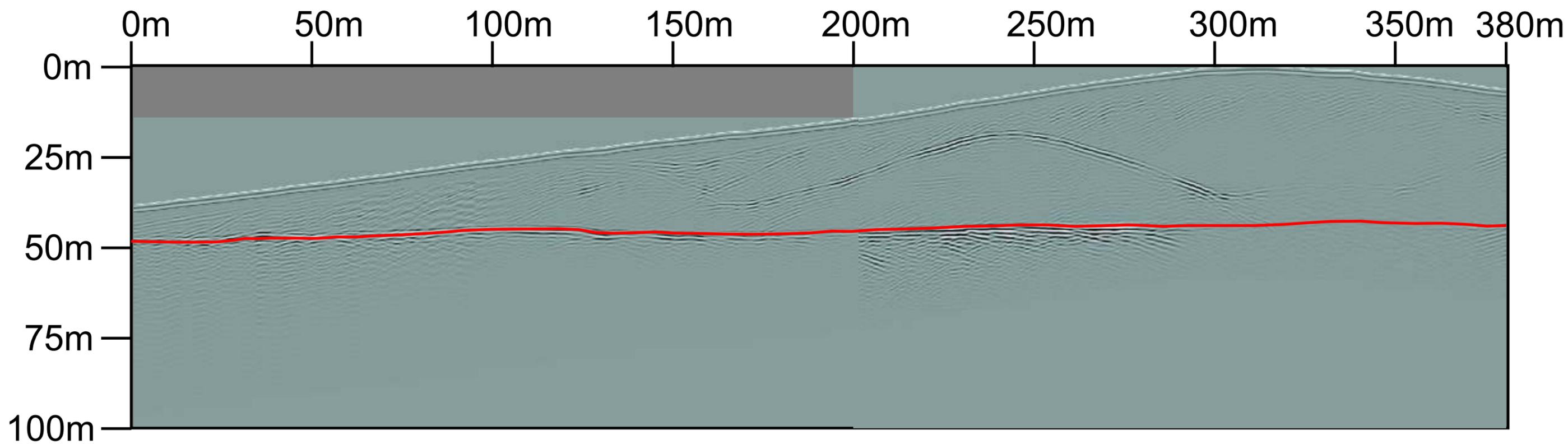
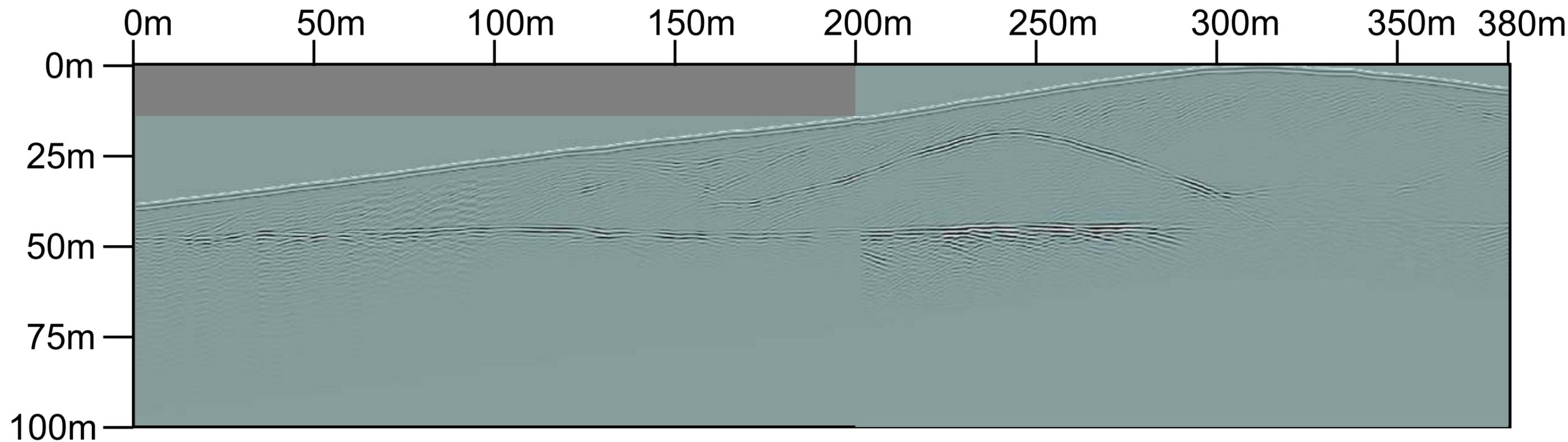
Anexo 05 - Radargrama da Linha 6400, levantada com a antena de 50MHz na etapa realizada no ano de 2006, com o refletor que marca o contato Duna / Barreiras interpretado.

LINHA 6500 - ETAPA 2006



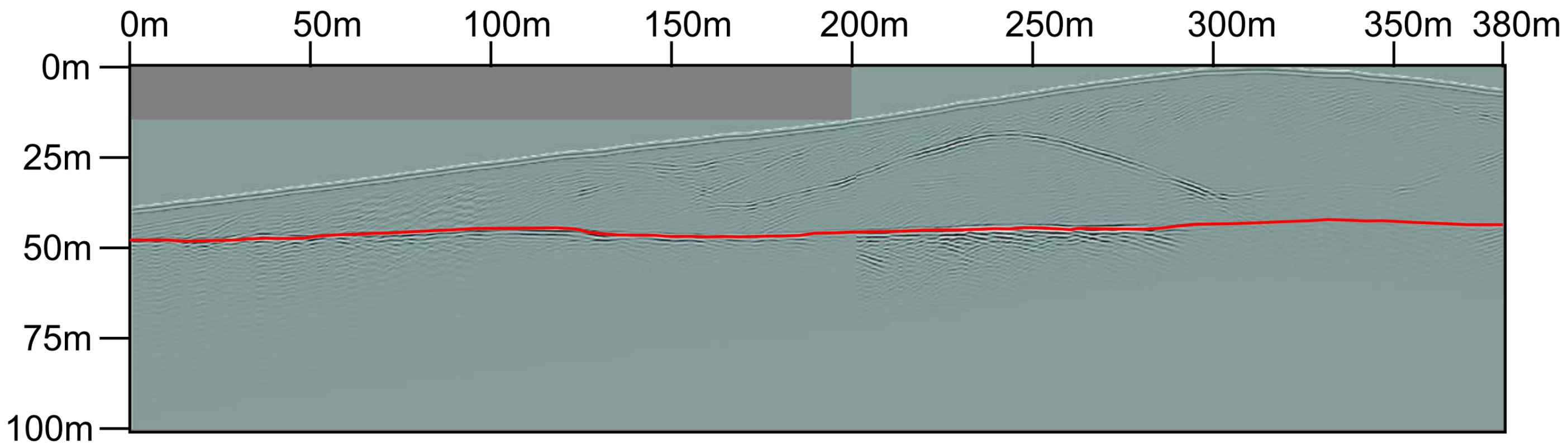
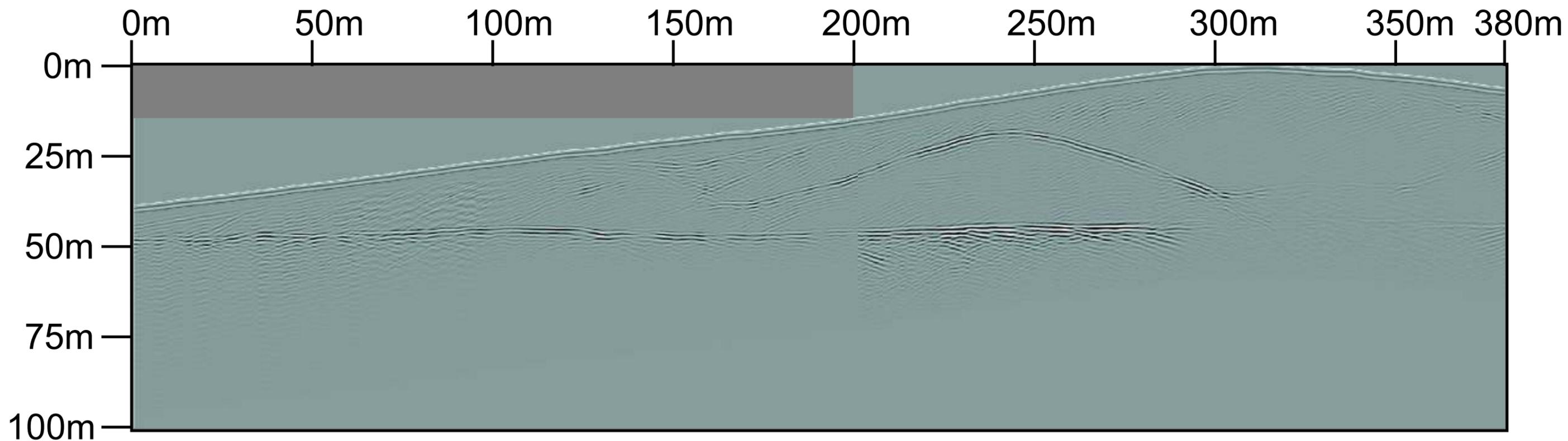
Anexo 06 - Radargrama da Linha 6500, levantada com a antena de 50MHz na etapa realizada no ano de 2006, com o refletor que marca o contato Duna / Barreiras interpretado.

LINHA 6600 - ETAPA 2006



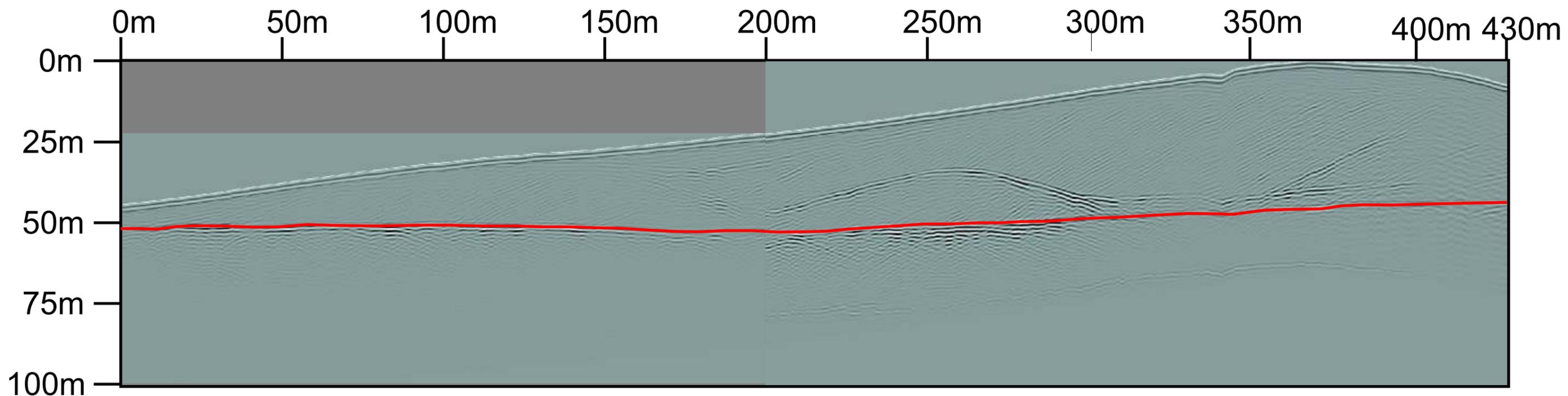
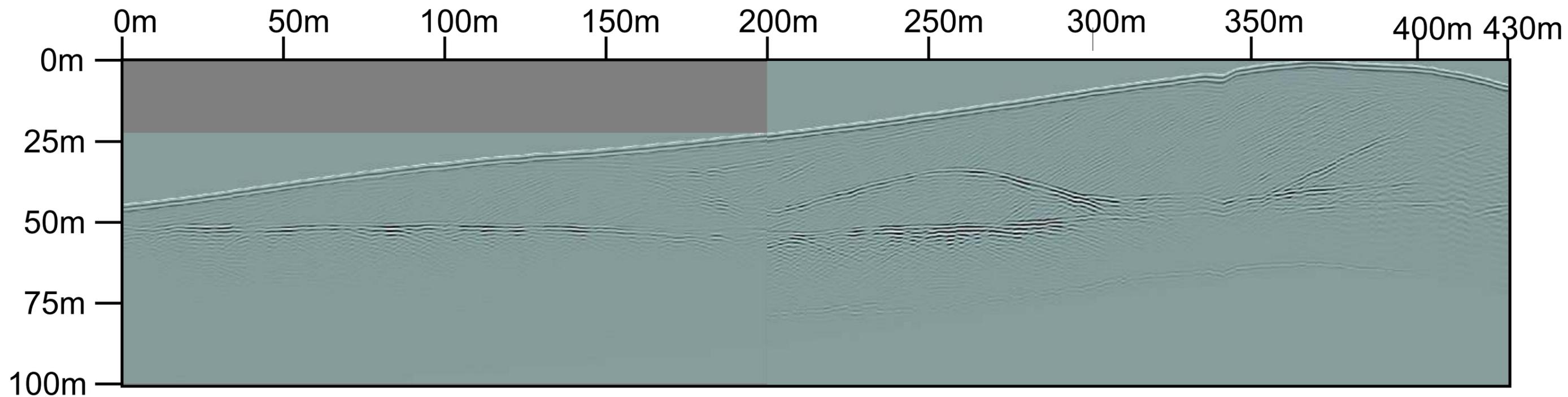
Anexo 07 - Radargrama da Linha 6600, levantada com a antena de 50MHz na etapa realizada no ano de 2006, com o refletor que marca o contato Duna / Barreiras interpretado.

LINHA 6700 - ETAPA 2006



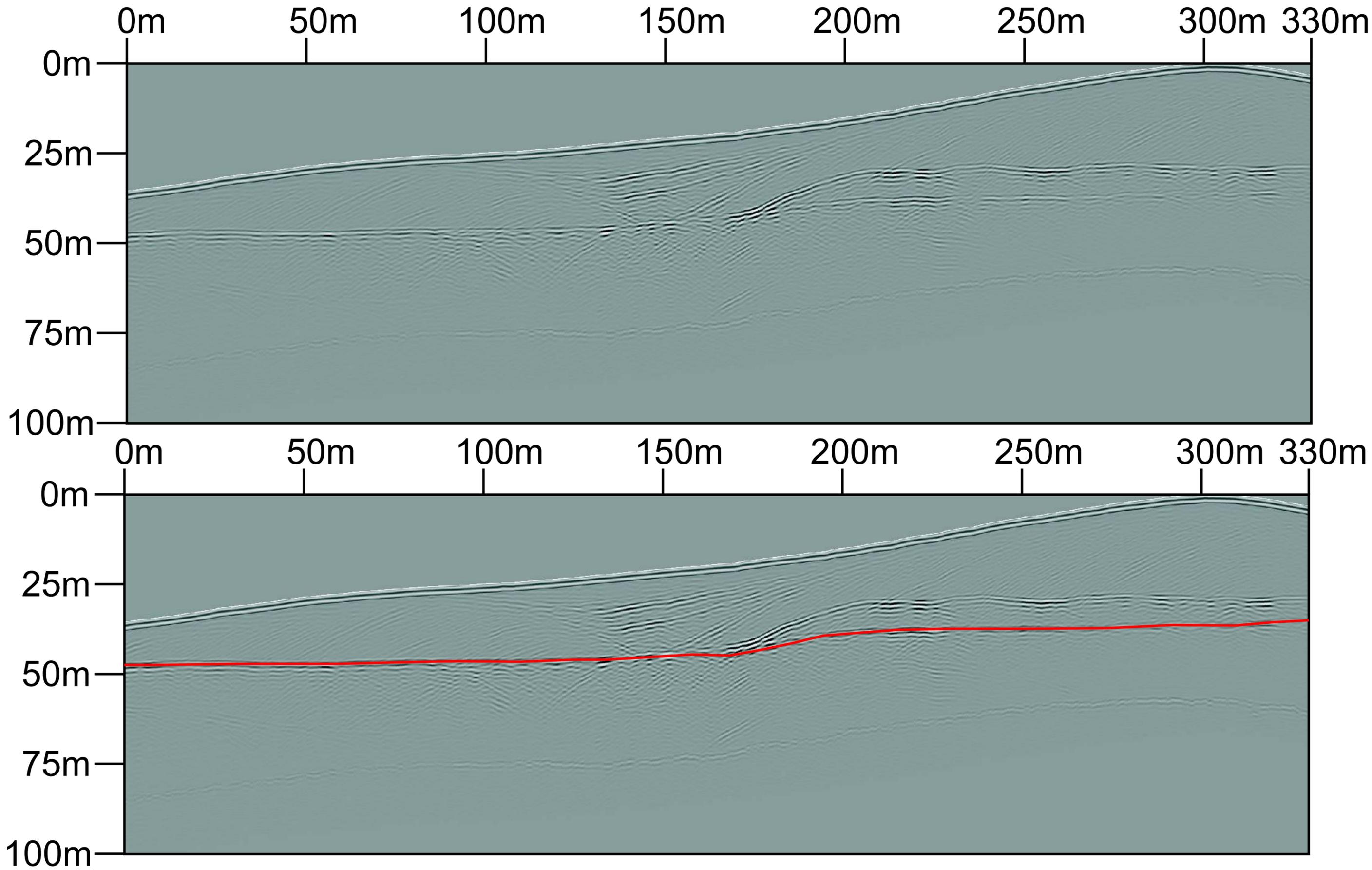
Anexo 08 - Radargrama da Linha 6700, levantada com a antena de 50MHz na etapa realizada no ano de 2006, com o refletor que marca o contato Duna / Barreiras interpretado.

LINHA 6800 - ETAPA 2006



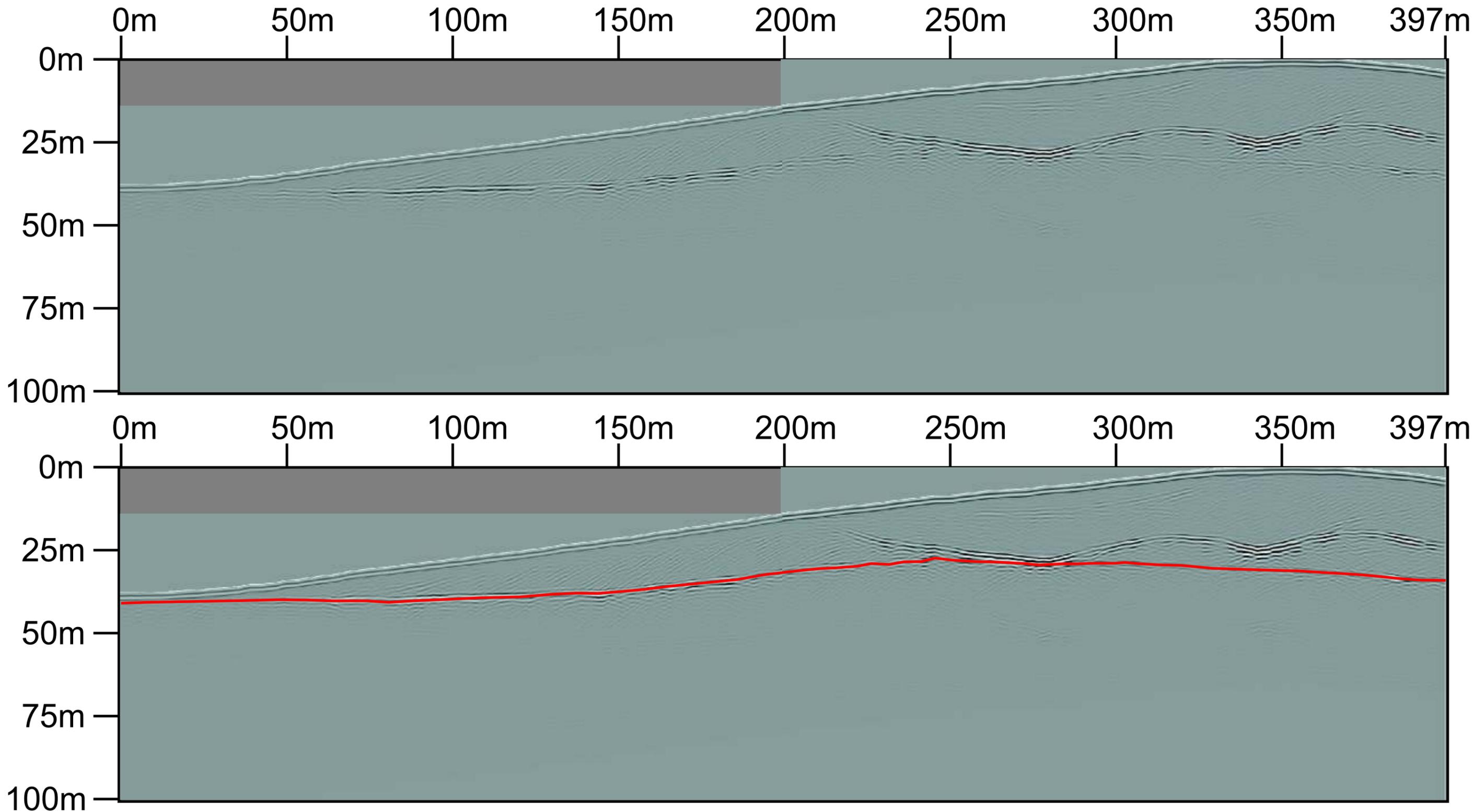
Anexo 09 - Radargrama da Linha 6800, levantada com a antena de 50MHz na etapa realizada no ano de 2006, com o refletor que marca o contato Duna / Barreiras interpretado.

LINHA 6900 - ETAPA 2006



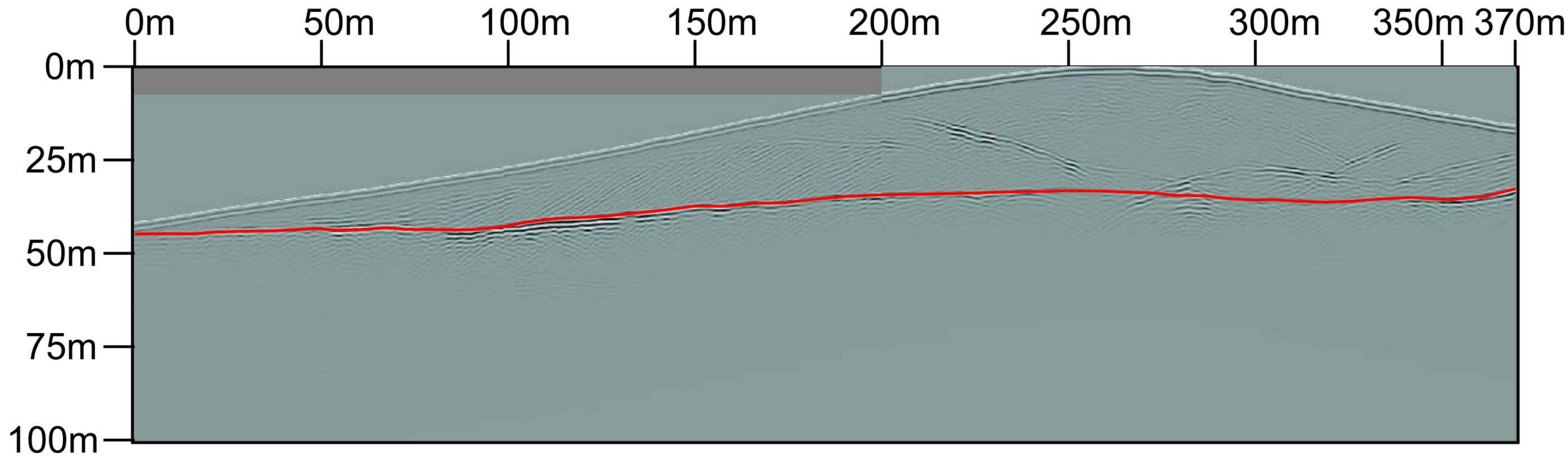
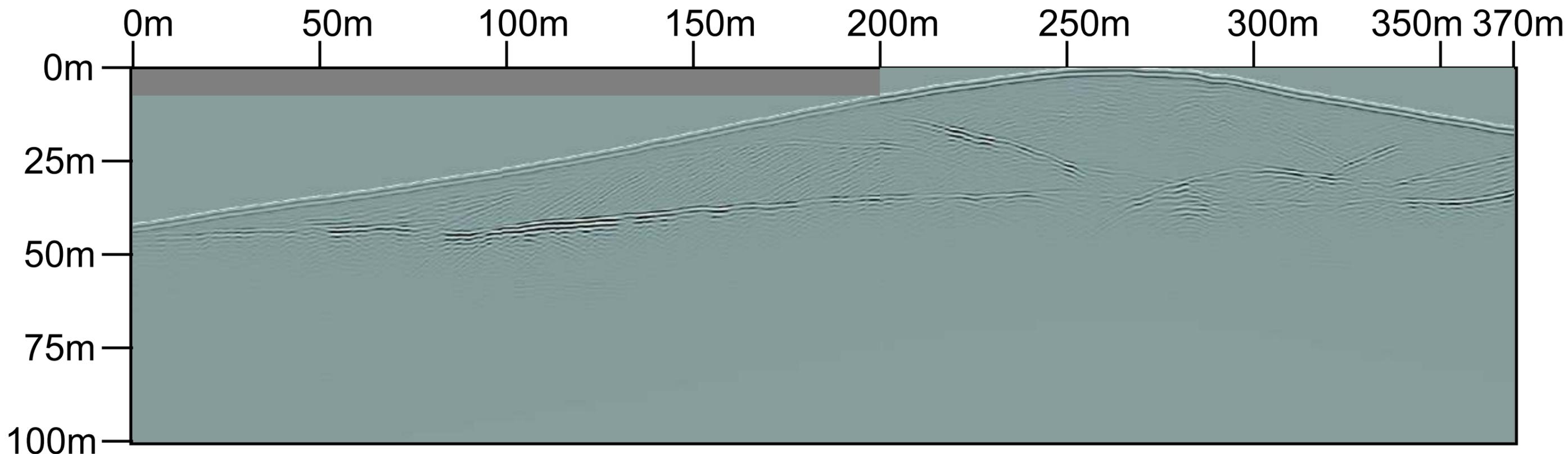
Anexo 10 - Radargrama da Linha 6900, levantada com a antena de 50MHz na etapa realizada no ano de 2006, com o refletor que marca o contato Duna / Barreiras interpretado.

LINHA 7000 - ETAPA 2006



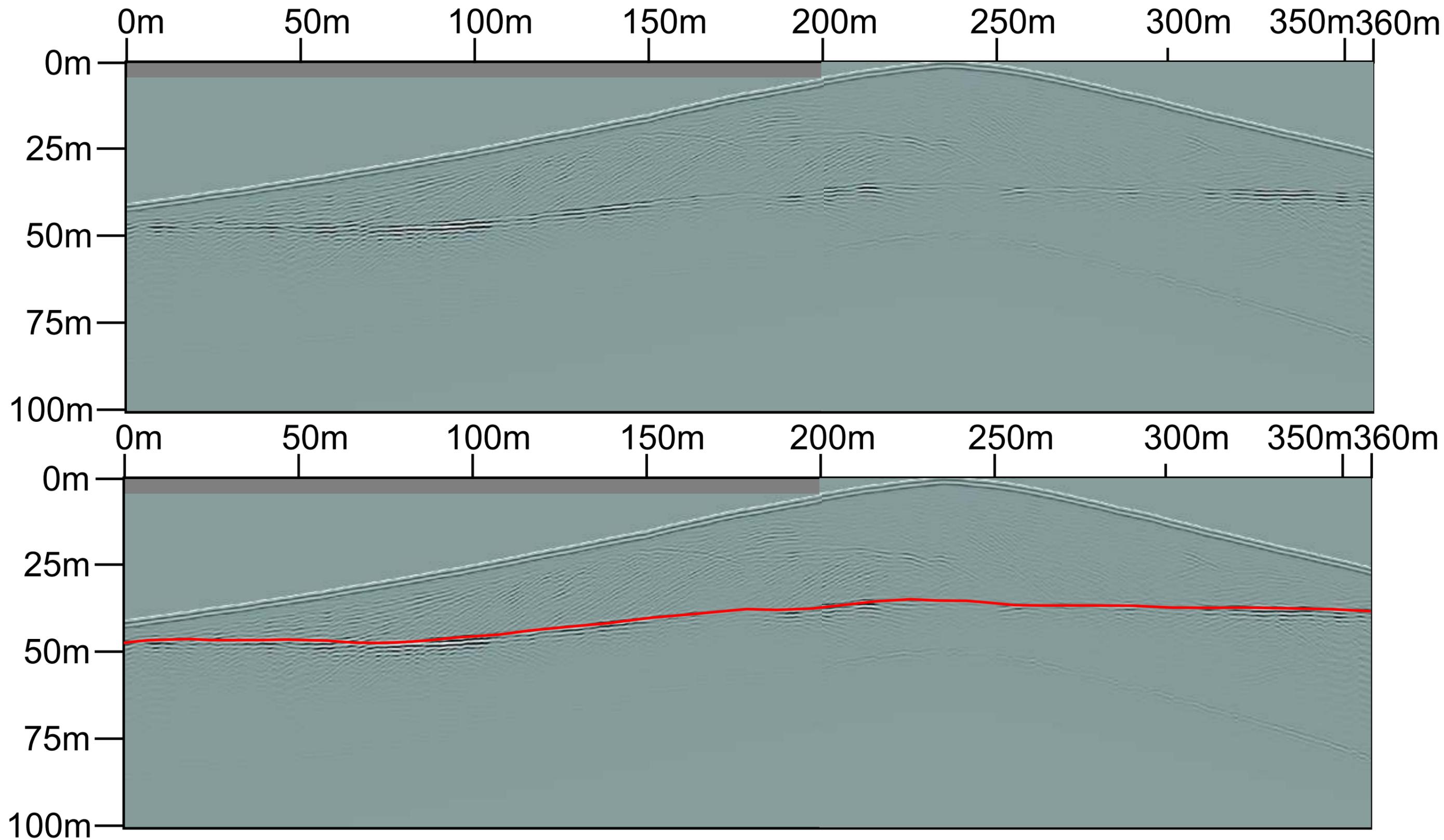
Anexo 11 - Radargrama da Linha 7000, levantada com a antena de 50MHz na etapa realizada no ano de 2006, com o refletor que marca o contato Duna / Barreiras interpretado.

LINHA 7100 - ETAPA 2006



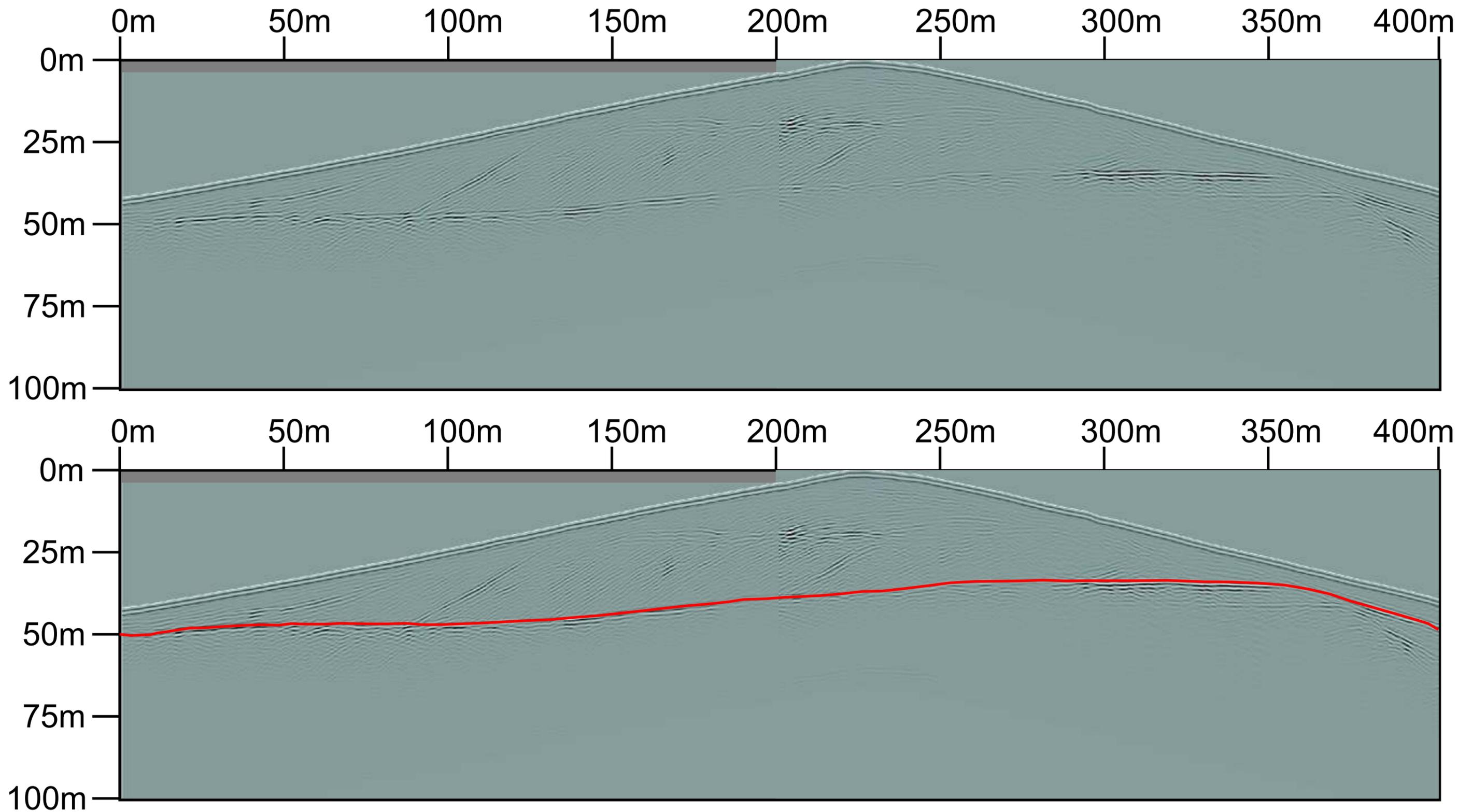
Anexo 12 - Radargrama da Linha 7100, levantada com a antena de 50MHz na etapa realizada no ano de 2006, com o refletor que marca o contato Duna / Barreiras interpretado.

LINHA 7200 - ETAPA 2006



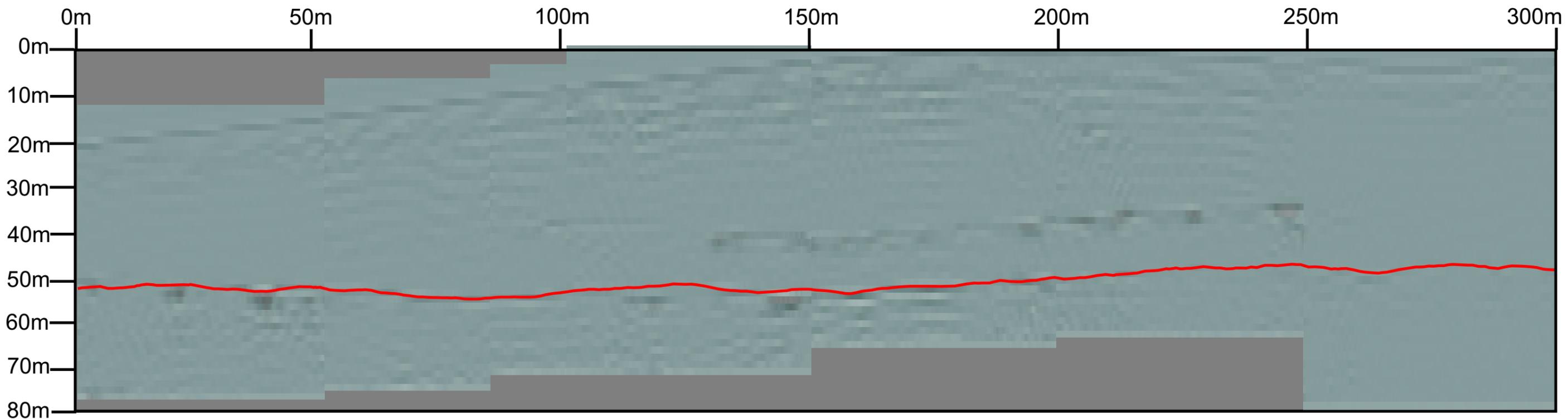
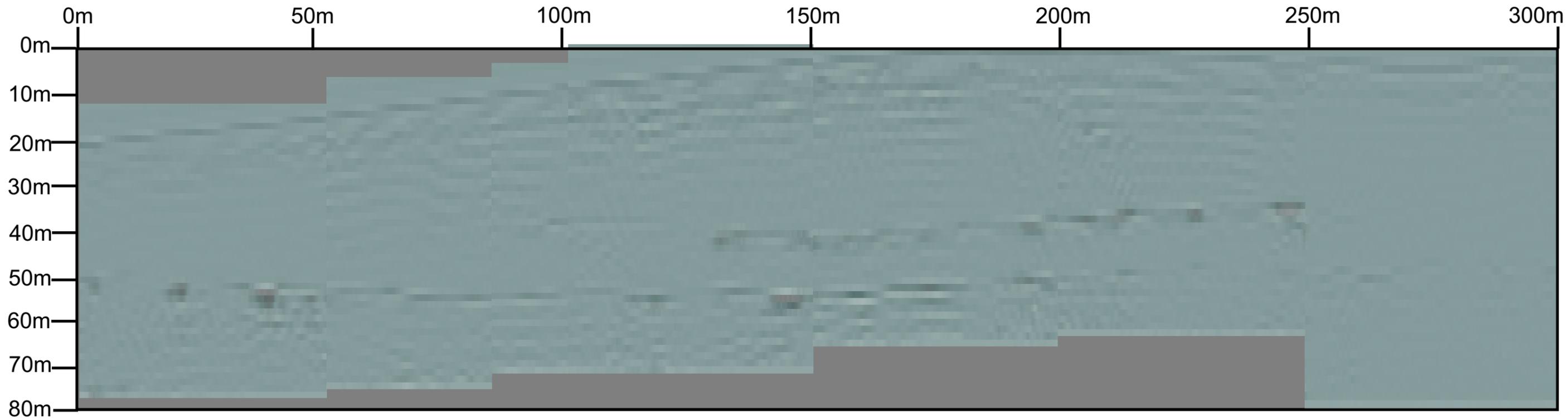
Anexo 13 - Radargrama da Linha 7200, levantada com a antena de 50MHz na etapa realizada no ano de 2006, com o refletor que marca o contato Duna / Barreiras interpretado.

LINHA 7300 - ETAPA 2006



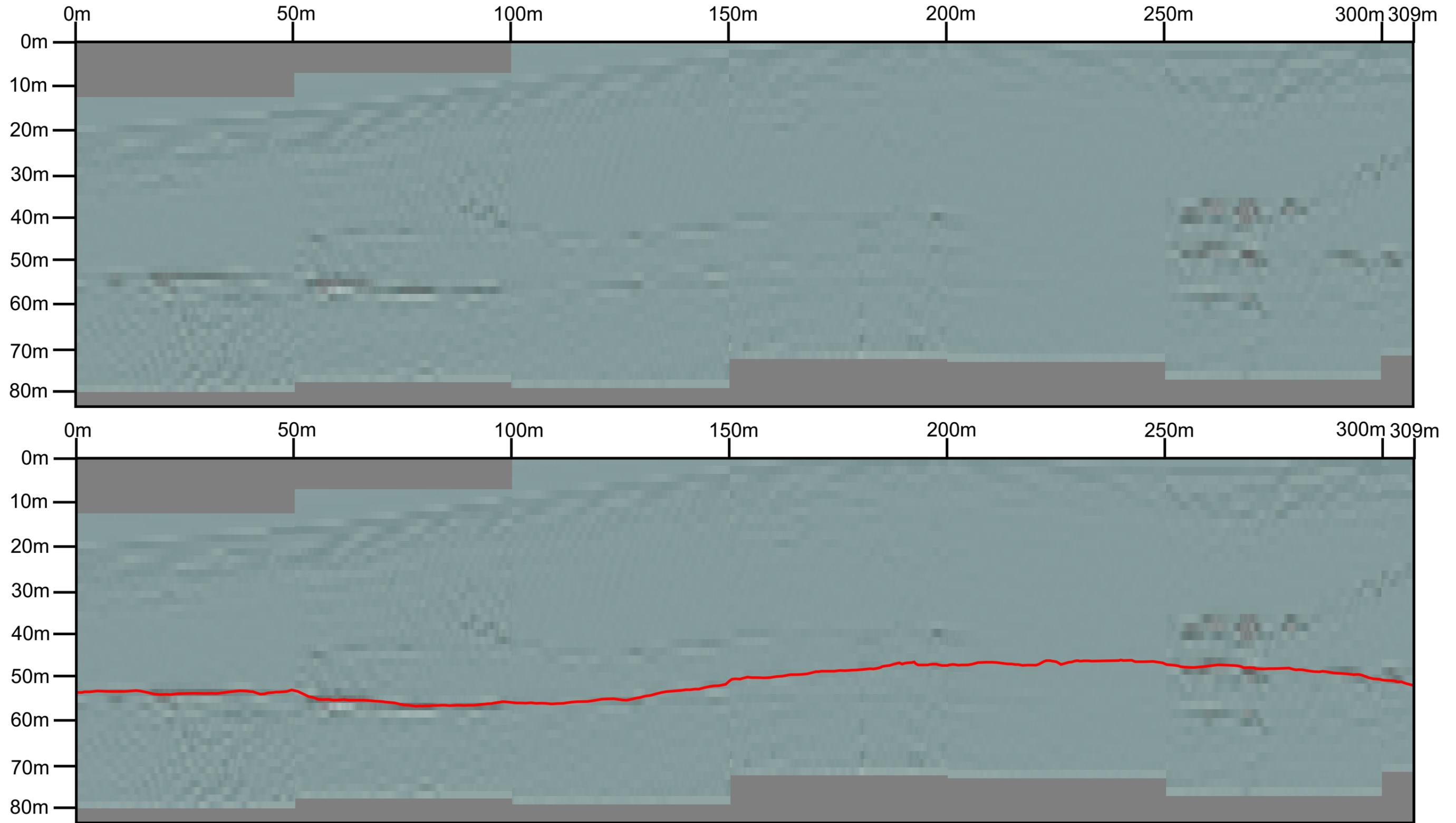
Anexo 14 - Radargrama da Linha 7300, levantada com a antena de 50MHz na etapa realizada no ano de 2006, com o refletor que marca o contato Duna / Barreiras interpretado.

LINHA 5000 - ETAPA 2007



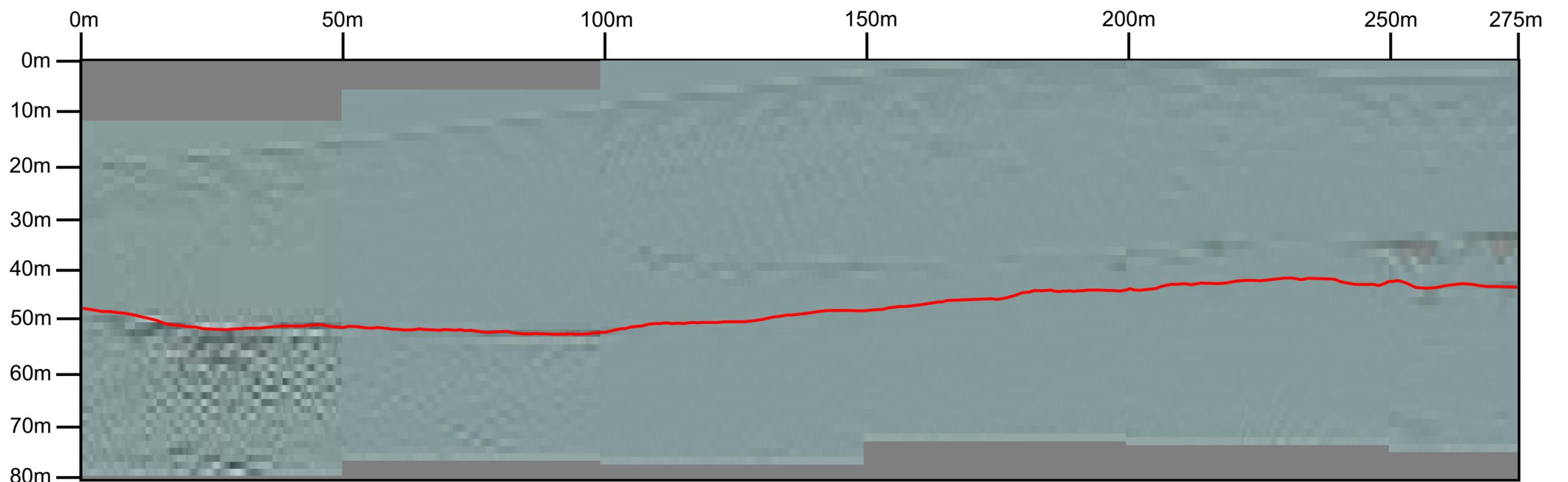
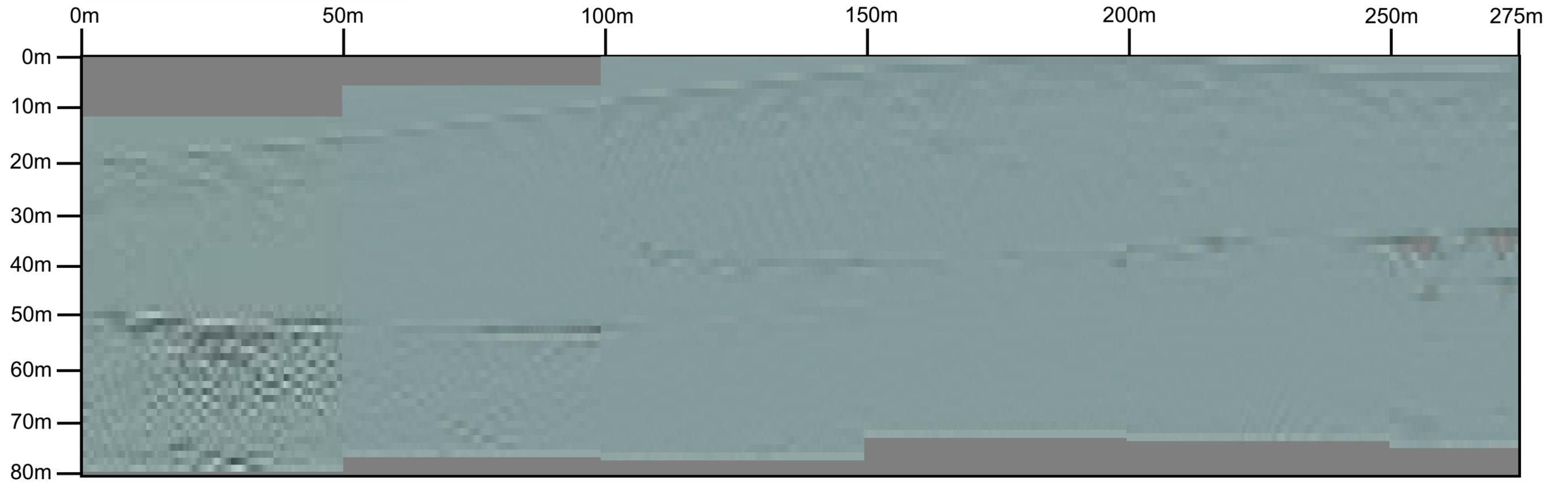
Anexo 15 - Radargrama da Linha 5000, levantada com a antena de 25MHz na etapa realizada no ano de 2007, com o refletor que marca o contato Duna / Barreiras interpretado.

LINHA 5050 - ETAPA 2007



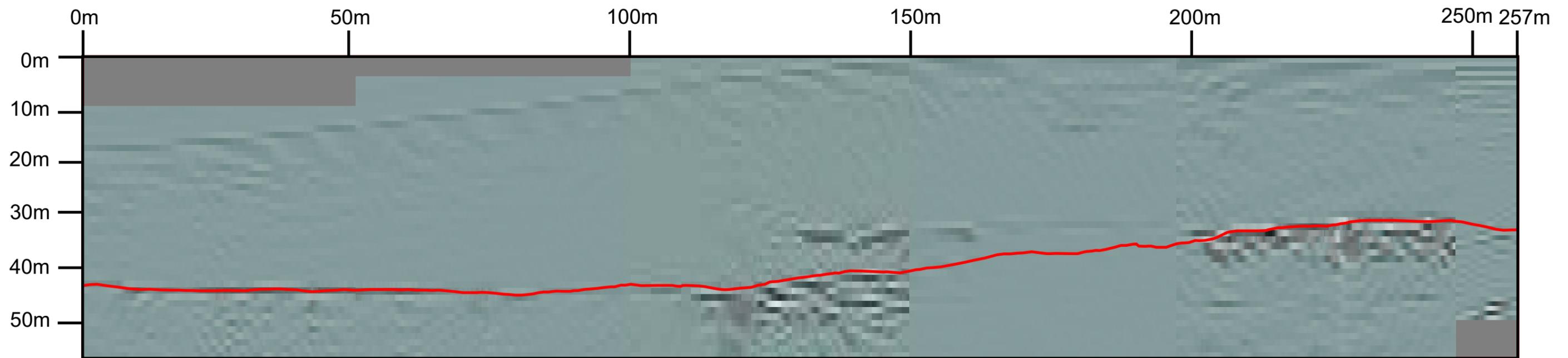
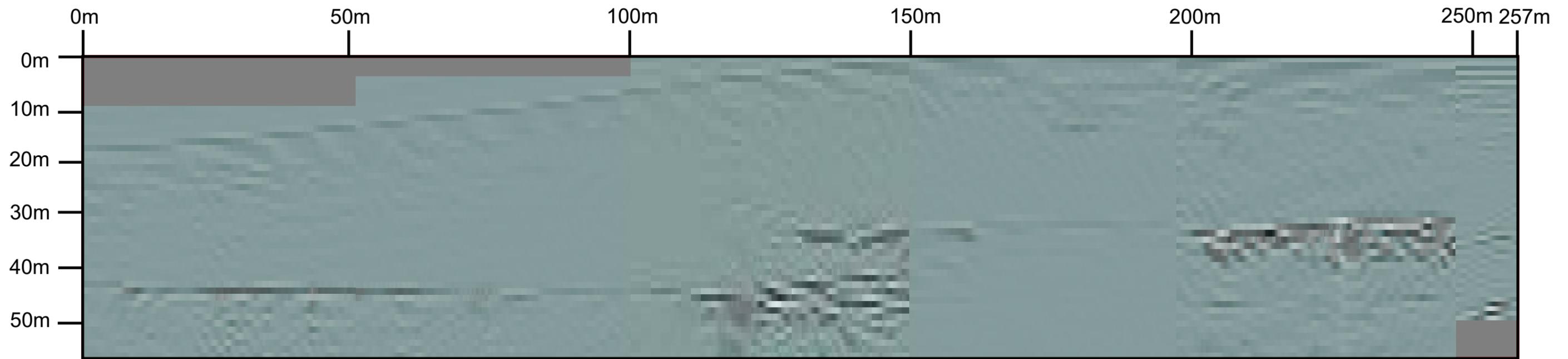
Anexo 16 - Radargrama da Linha 5050, levantada com a antena de 25MHz na etapa realizada no ano de 2007, com o refletor que marca o contato Duna / Barreiras interpretado.

LINHA 5100 - ETAPA 2007



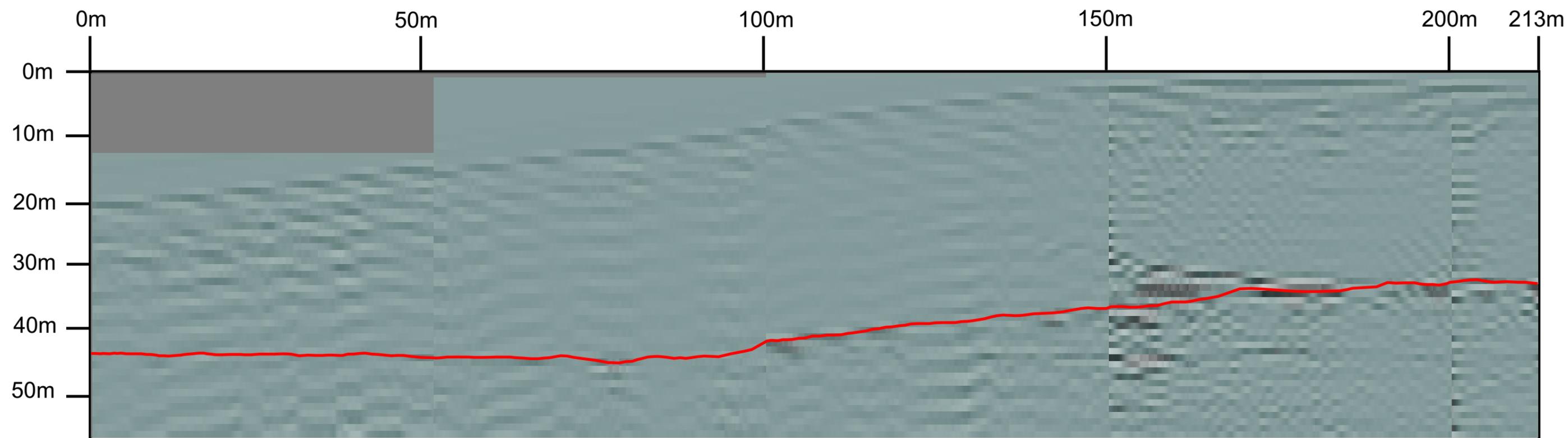
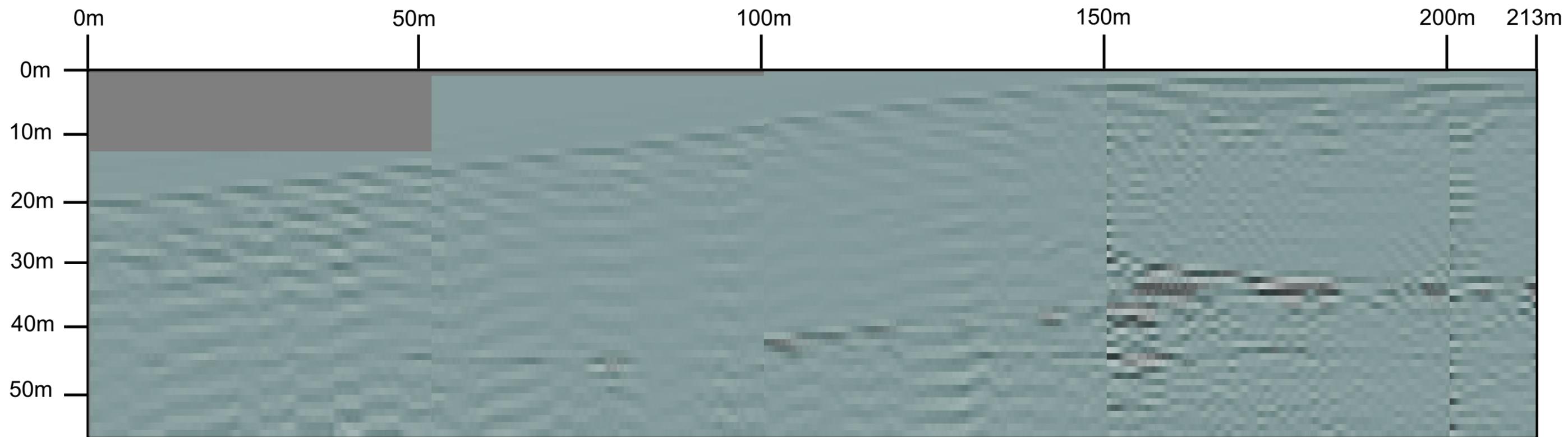
Anexo 17 - Radargrama da Linha 5100, levantada com a antena de 25MHz na etapa realizada no ano de 2007, com o refletor que marca o contato Duna / Barreiras interpretado.

LINHA 5150 - ETAPA 2007



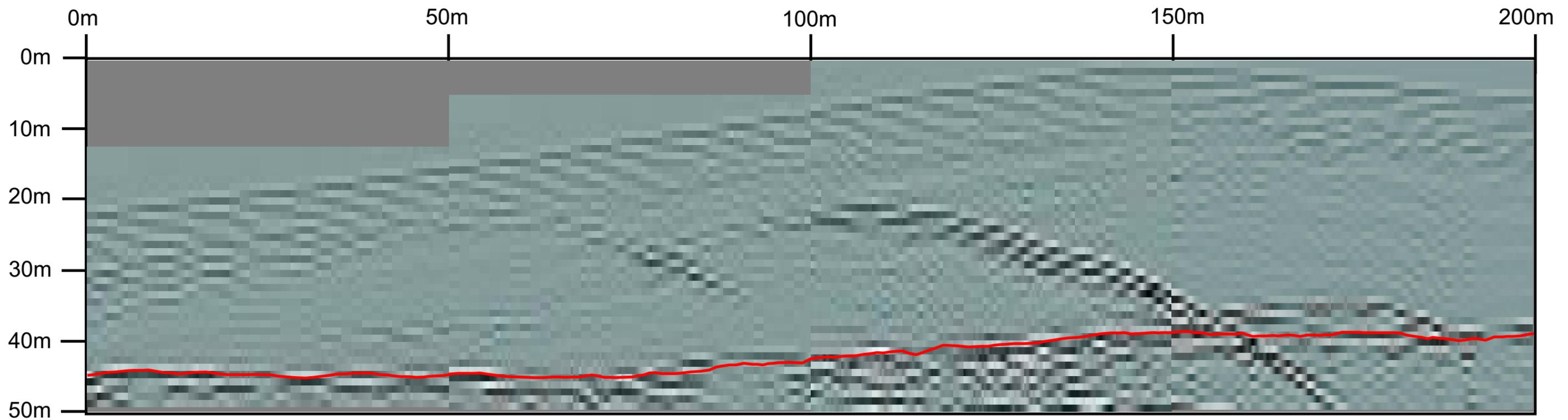
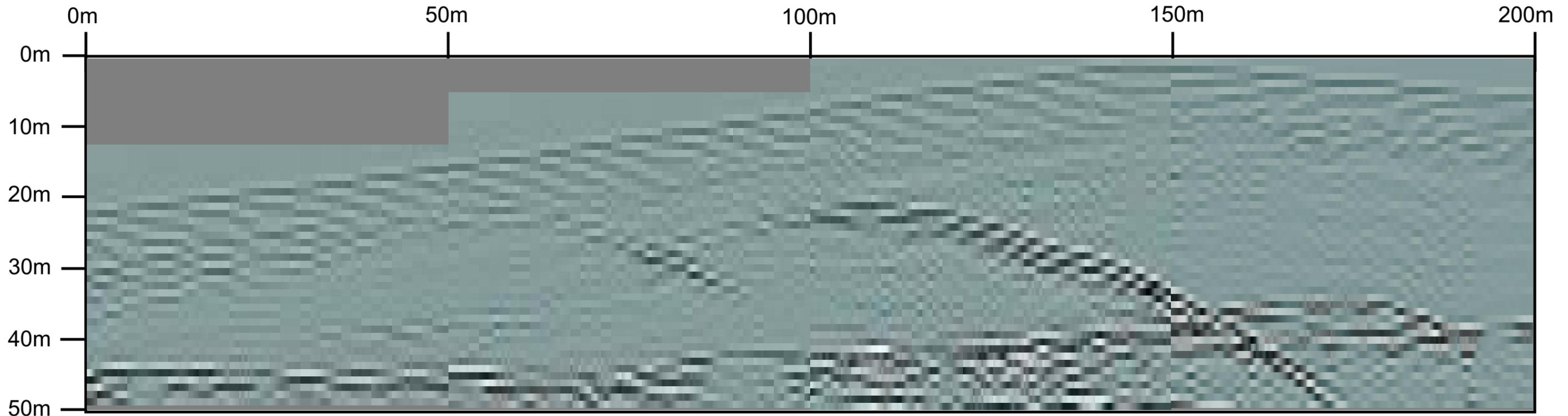
Anexo 18 - Radargrama da Linha 5150, levantada com a antena de 25MHz na etapa realizada no ano de 2007, com o refletor que marca o contato Duna / Barreiras interpretado.

LINHA 5200 - ETAPA 2007



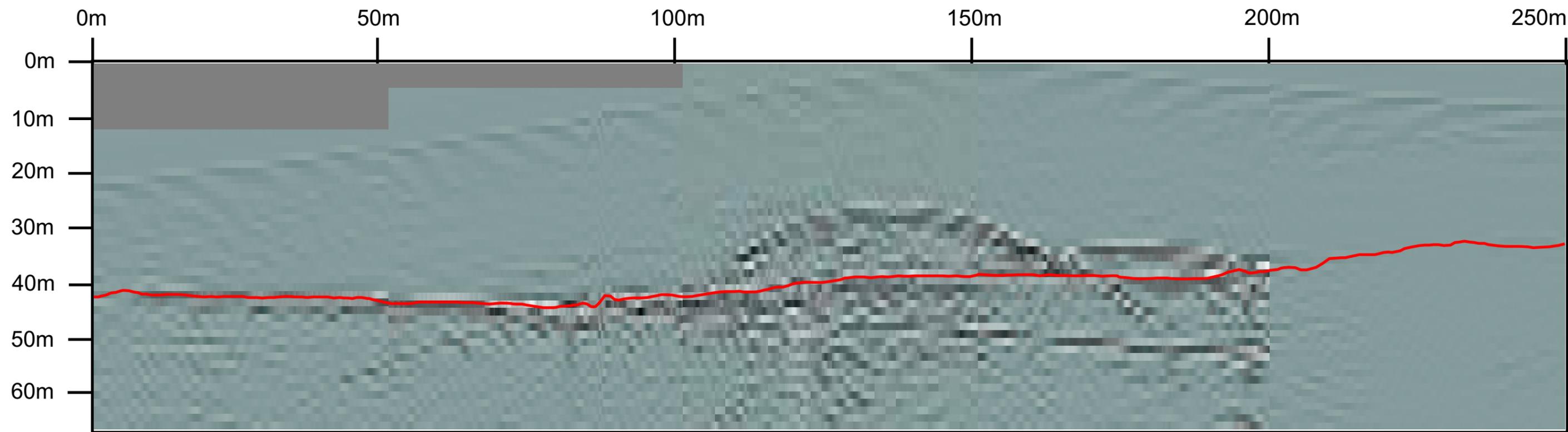
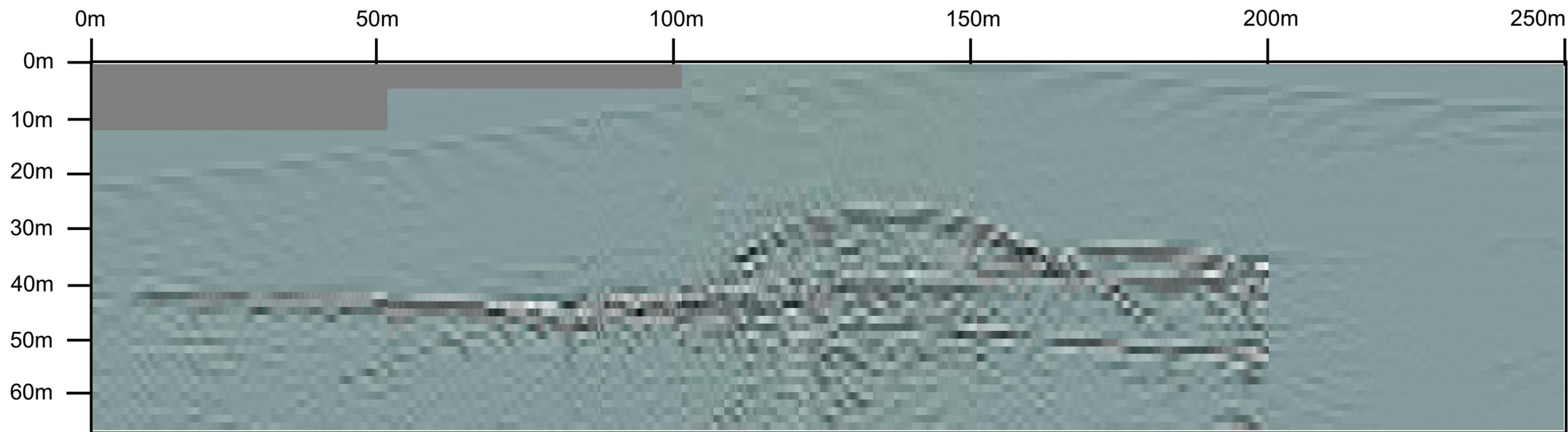
Anexo 19 - Radargrama da Linha 5200, levantada com a antena de 25MHz na etapa realizada no ano de 2007, com o refletor que marca o contato Duna / Barreiras interpretado.

LINHA 5250 - ETAPA 2007



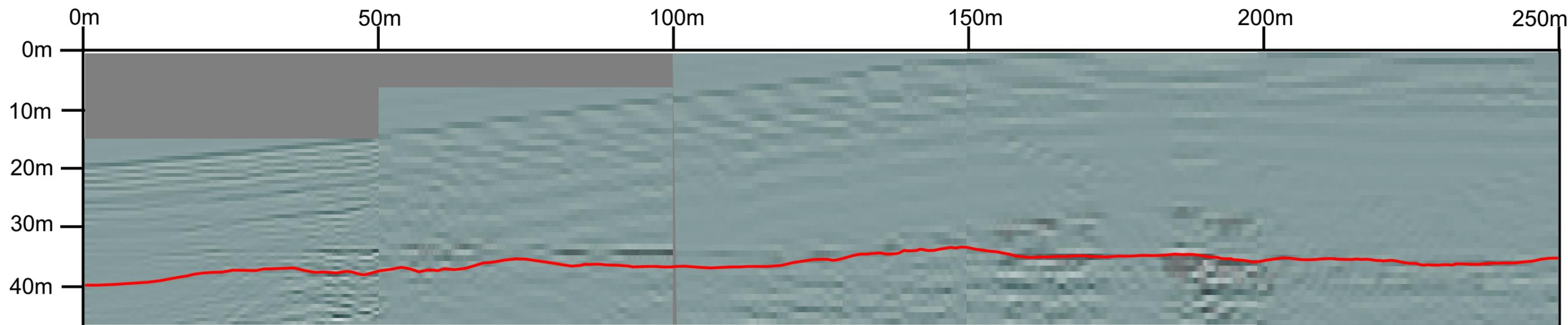
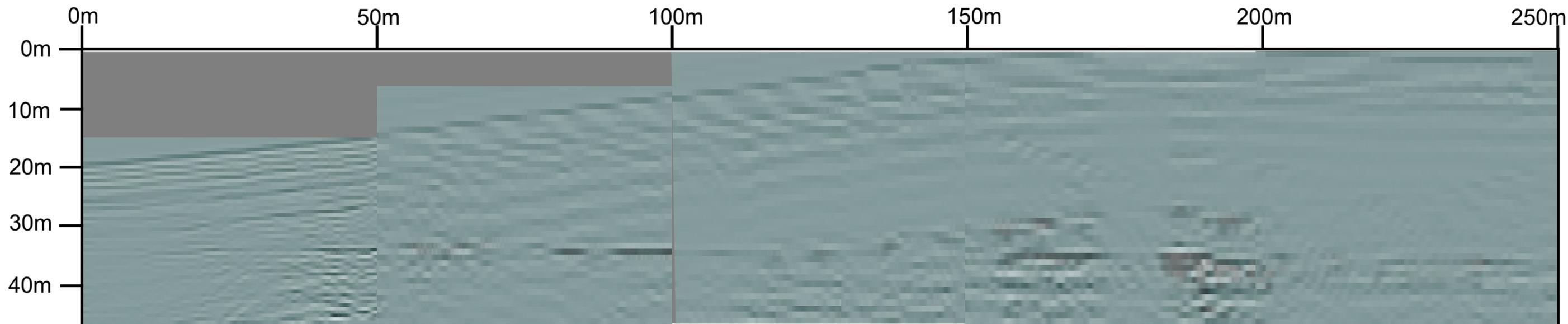
Anexo 20 - Radargrama da Linha 5250, levantada com a antena de 25MHz na etapa realizada no ano de 2007, com o refletor que marca o contato Duna / Barreiras interpretado.

LINHA 5300 - ETAPA 2007

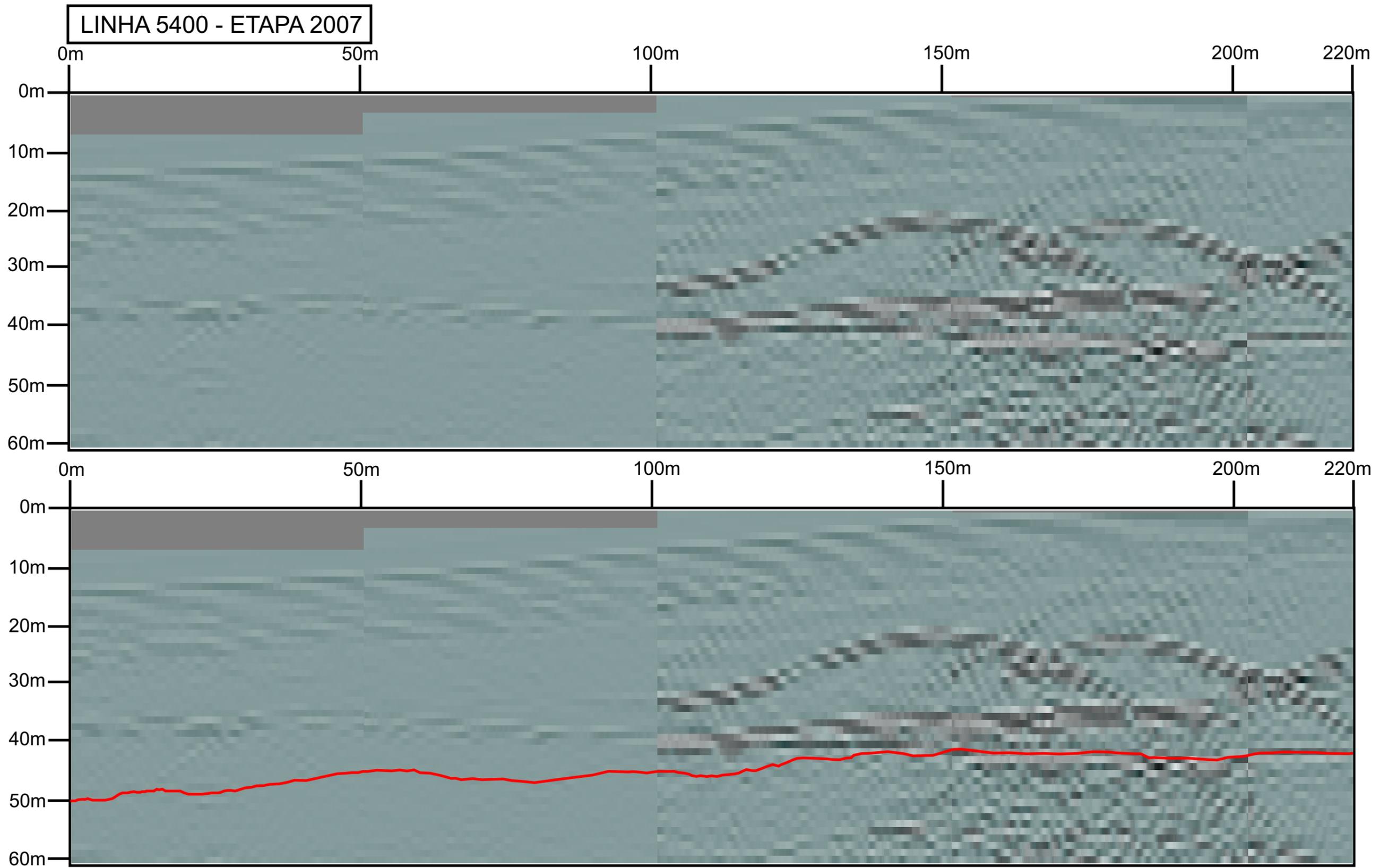


Anexo 21 - Radargrama da Linha 5300, levantada com a antena de 25MHz na etapa realizada no ano de 2007, com o refletor que marca o contato Duna / Barreiras interpretado.

LINHA 5350 - ETAPA 2007

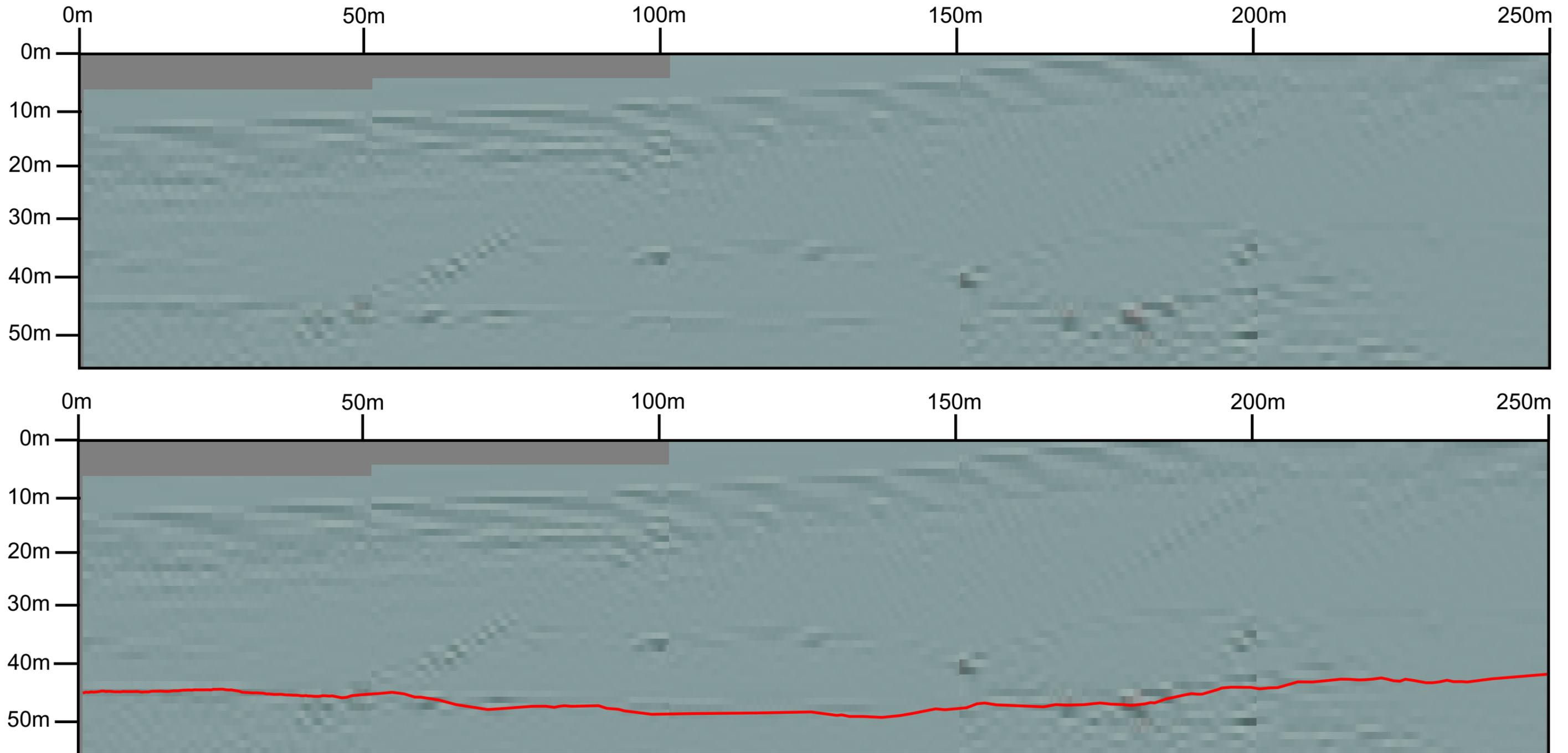


Anexo 22 - Radargrama da Linha 5350, levantada com a antena de 25MHz na etapa realizada no ano de 2007, com o refletor que marca o contato Duna / Barreiras interpretado.

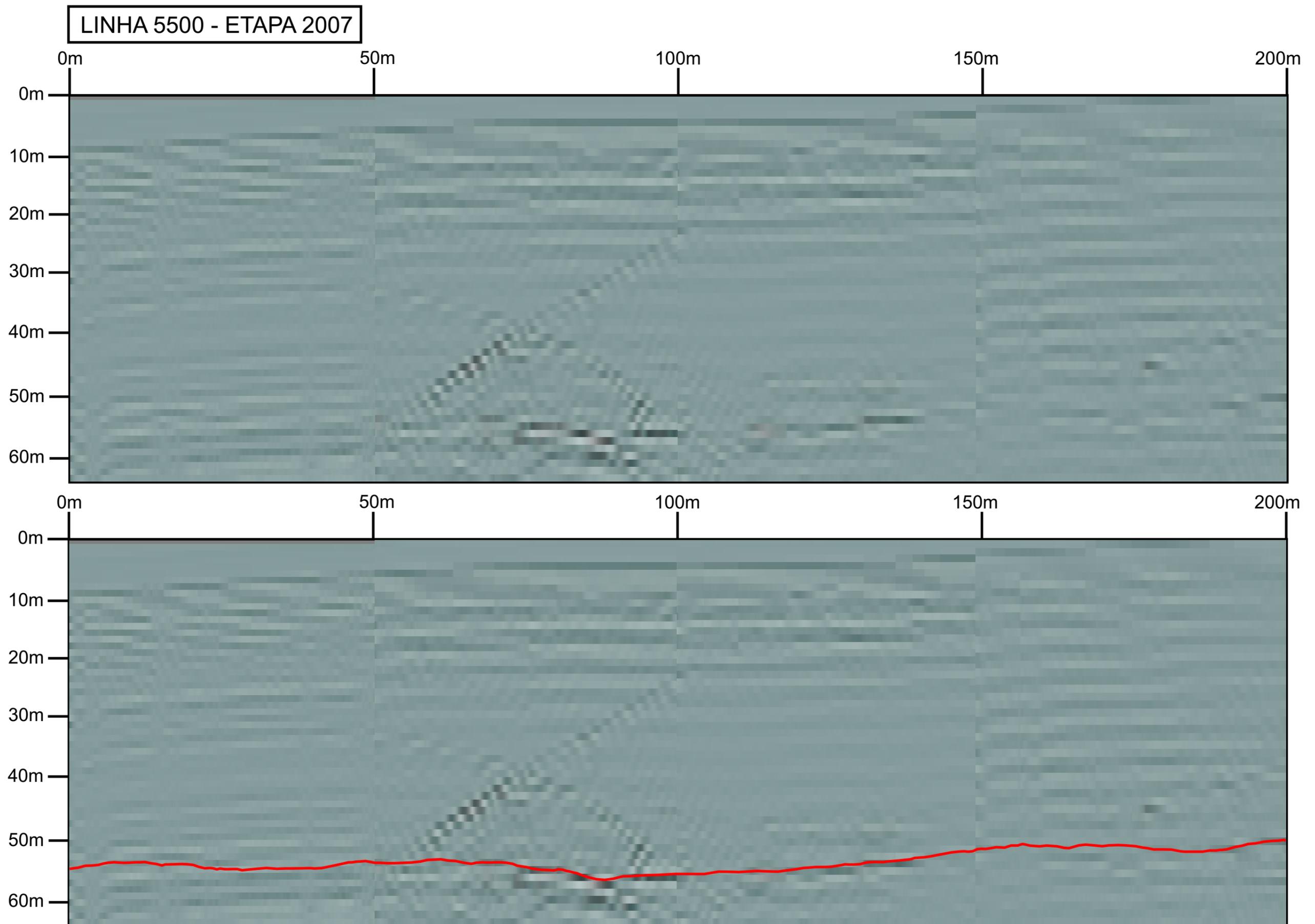


Anexo 23 - Radargrama da Linha 5400, levantada com a antena de 25MHz na etapa realizada no ano de 2007, com o refletor que marca o contato Duna / Barreiras interpretado.

LINHA 5450 - ETAPA 2007

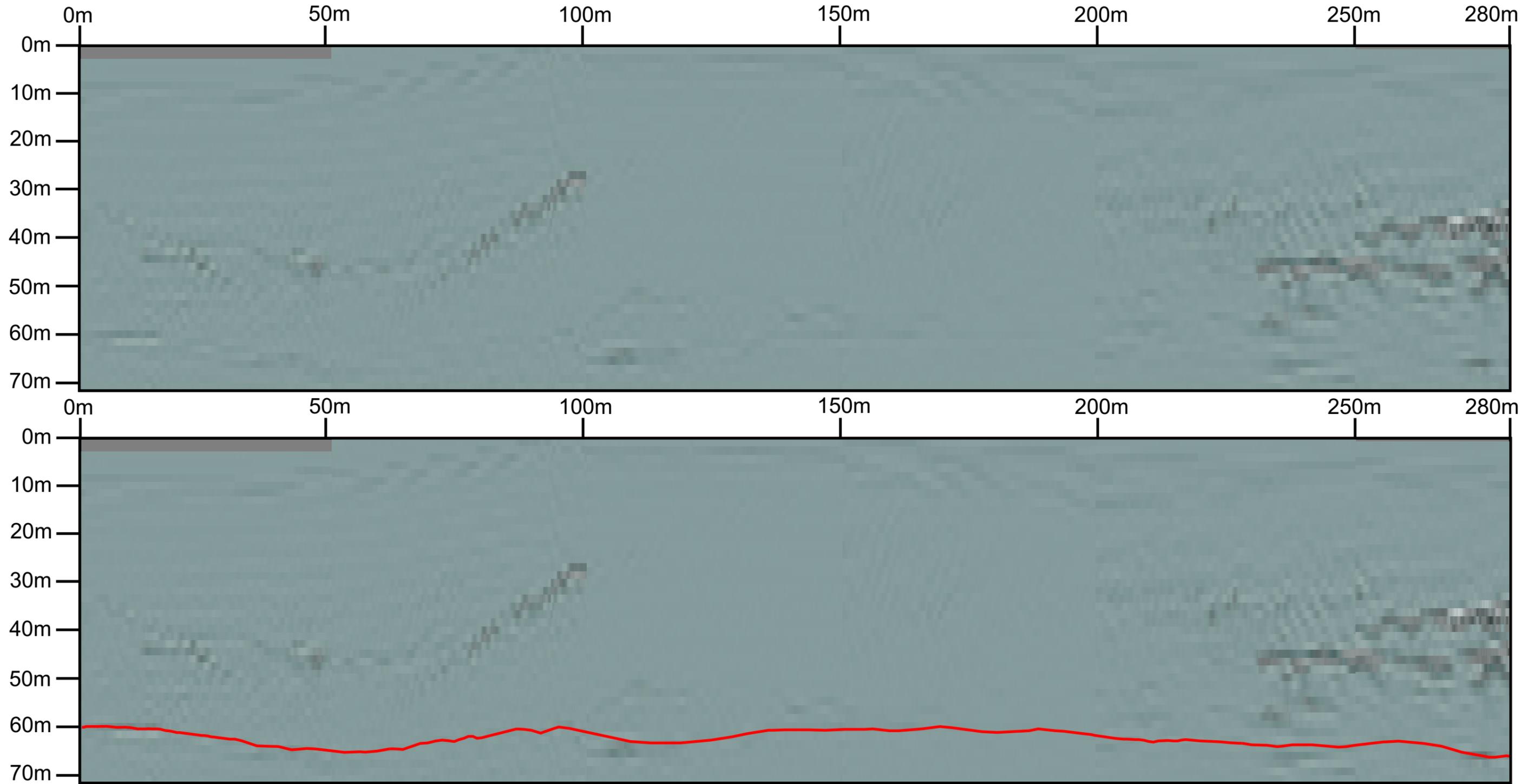


Anexo 24 - Radargrama da Linha 5450, levantada com a antena de 25MHz na etapa realizada no ano de 2007, com o refletor que marca o contato Duna / Barreiras interpretado.



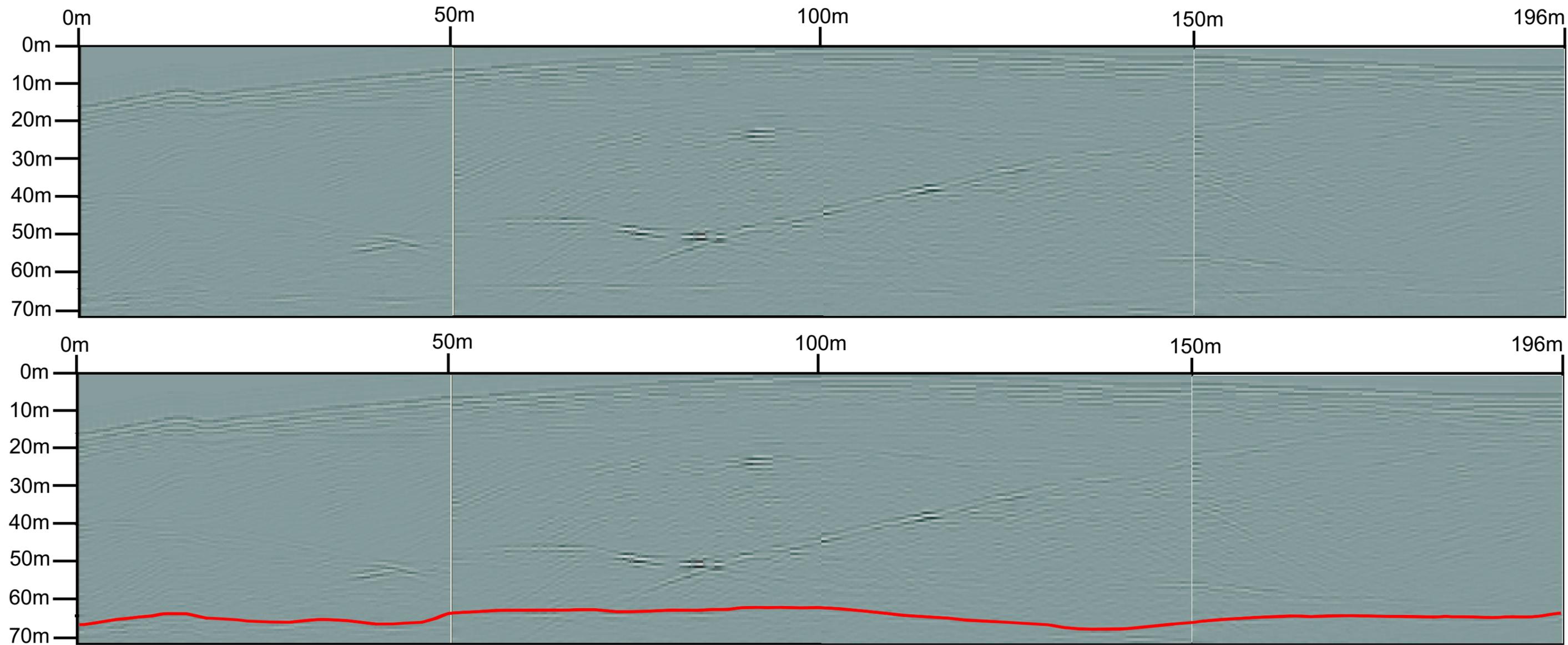
Anexo 25 - Radargrama da Linha 5500, levantada com a antena de 25MHz na etapa realizada no ano de 2007, com o refletor que marca o contato Duna / Barreiras interpretado.

LINHA 5550 - ETAPA 2007



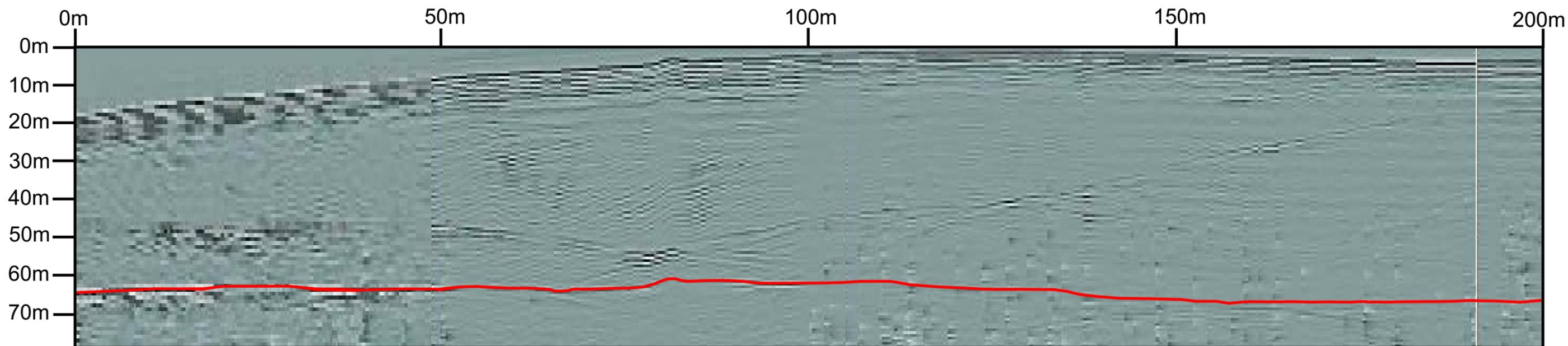
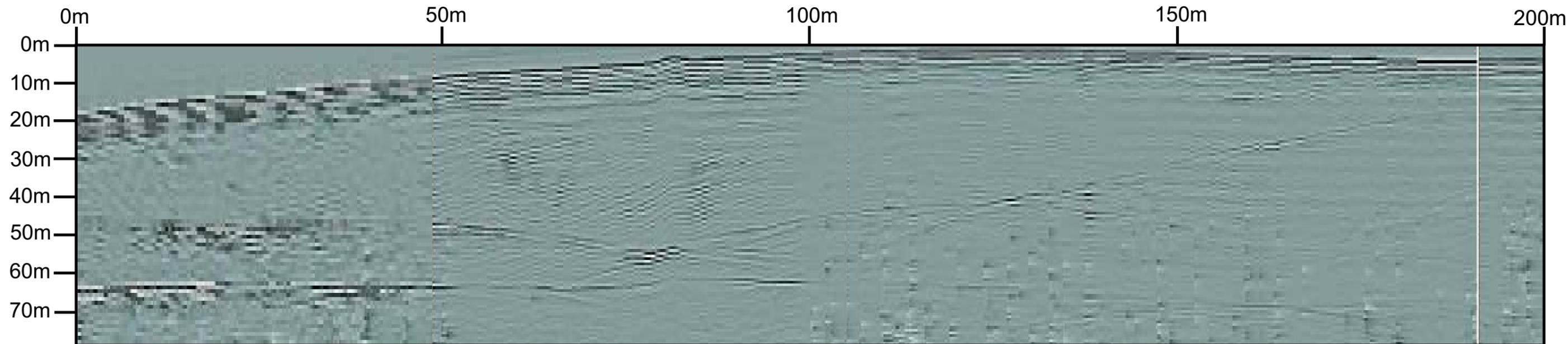
Anexo 26 - Radargrama da Linha 5550, levantada com a antena de 25MHz na etapa realizada no ano de 2007, com o refletor que marca o contato Duna / Barreiras interpretado.

LINHA 5600 - ETAPA 2007



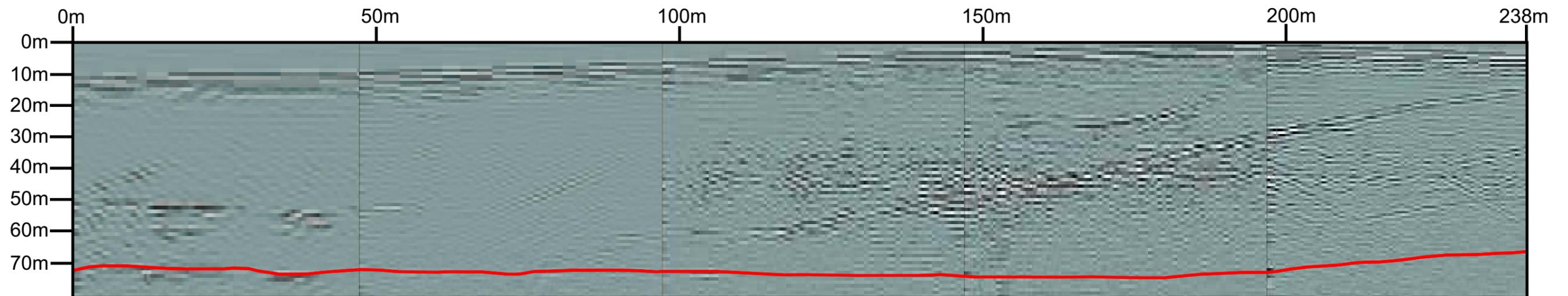
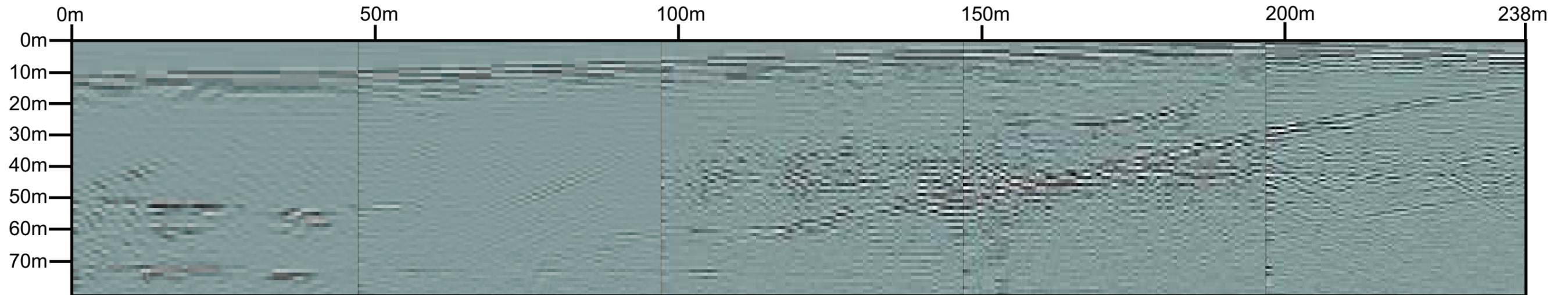
Anexo 27 - Radargrama da Linha 5600, levantada com a antena de 25MHz na etapa realizada no ano de 2007, com o refletor que marca o contato Duna / Barreiras interpretado. Exagero vertical de 2X.

LINHA 5650 - ETAPA 2007



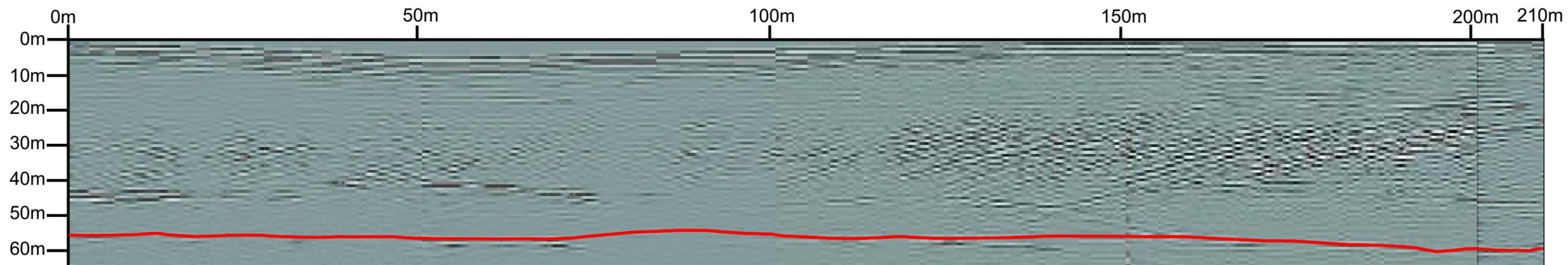
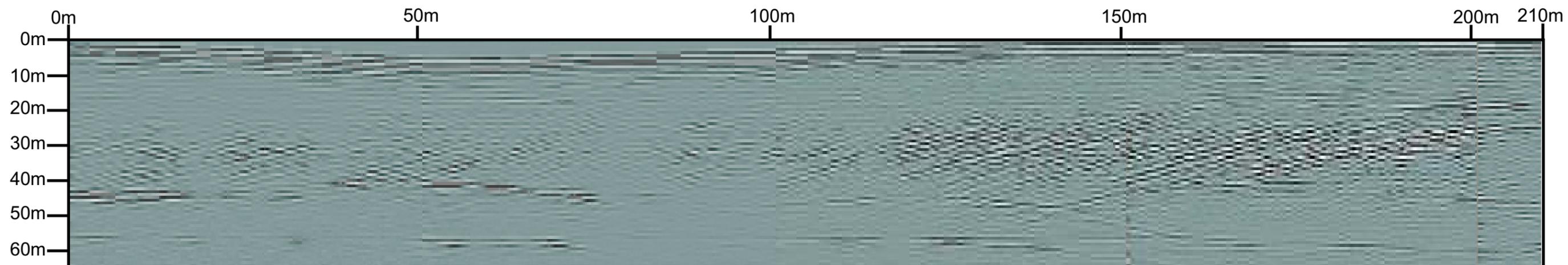
Anexo 28 - Radargrama da Linha 5650, levantada com a antena de 25MHz na etapa realizada no ano de 2007, com o refletor que marca o contato Duna / Barreiras interpretado. Exagero vertical de 2X.

LINHA 5700 - ETAPA 2007



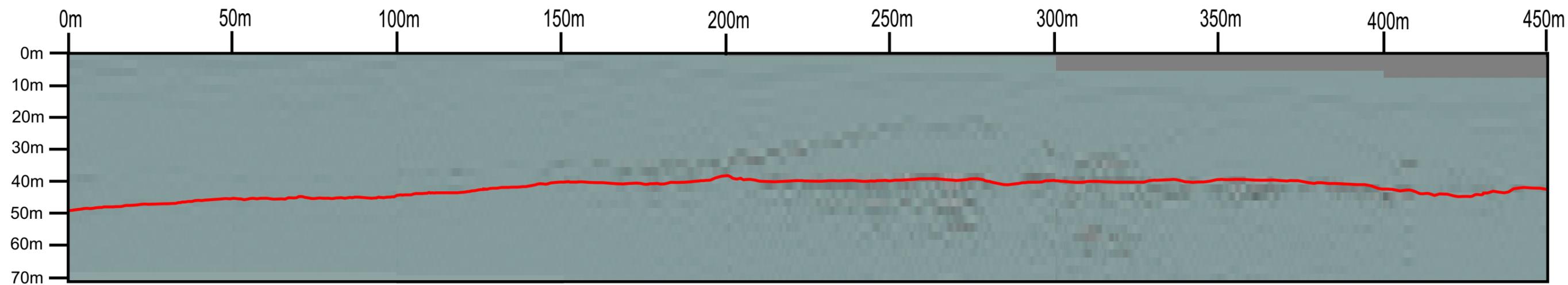
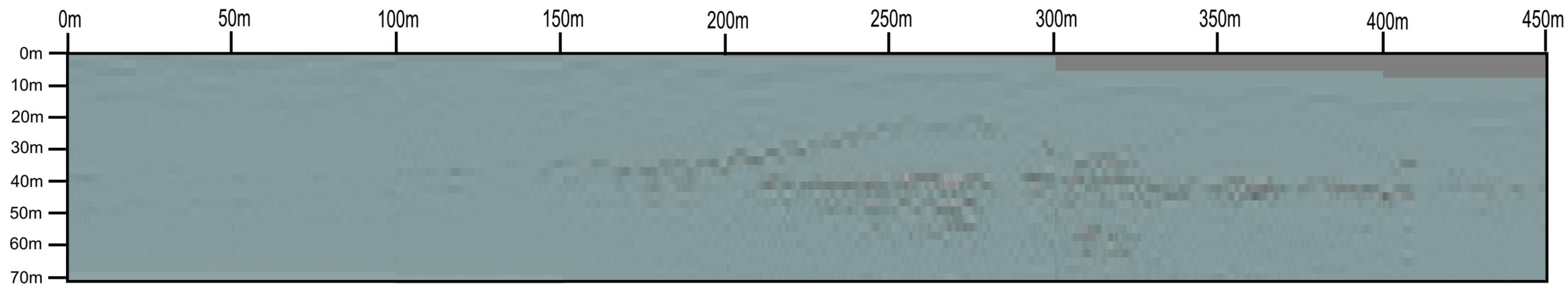
Anexo 29 - Radargrama da Linha 5700, levantada com a antena de 25MHz na etapa realizada no ano de 2007, com o refletor que marca o contato Duna / Barreiras interpretado. Exagero vertical de 2X.

LINHA 5750 - ETAPA 2007



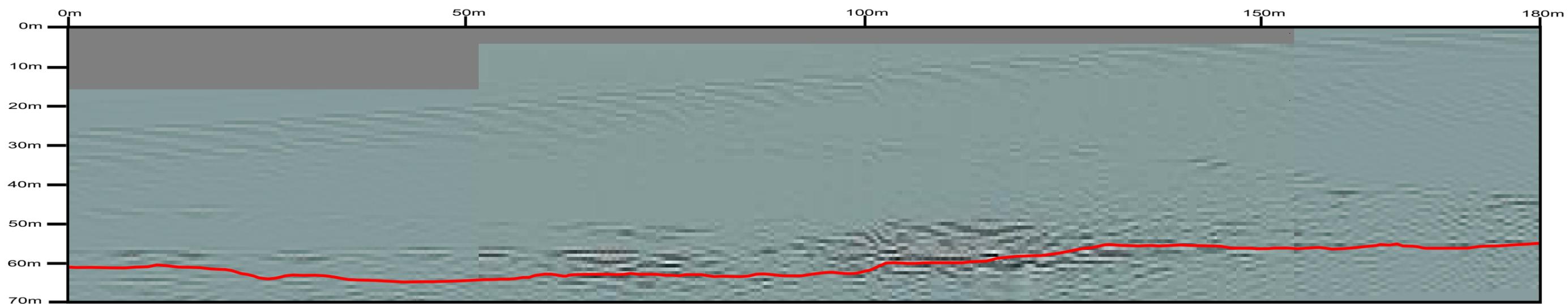
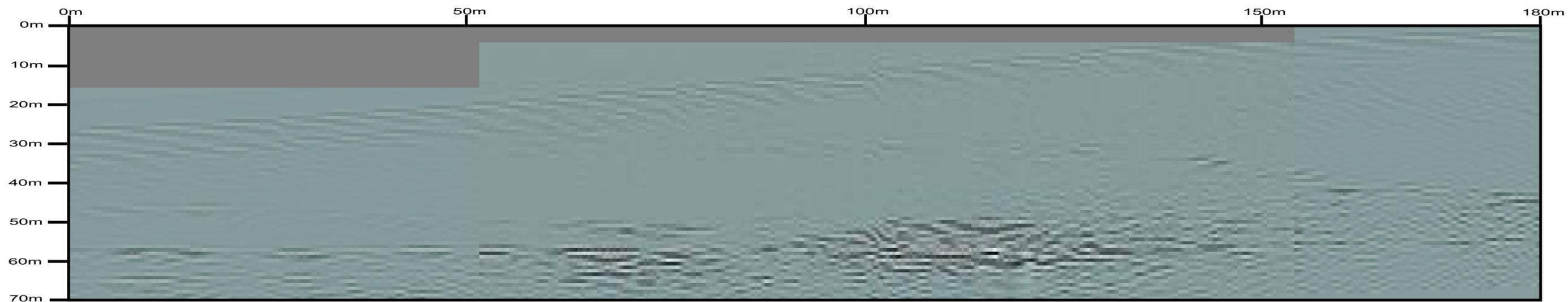
Anexo 30 - Radargrama da Linha 5750, levantada com a antena de 25MHz na etapa realizada no ano de 2007, com o refletor que marca o contato Duna / Barreiras interpretado. Exagero vertical de 2X.

LINHA TRANSVERSAL - SEGMENTO 1- ETAPA 2007



Anexo 31 - Radargrama da Linha Transversal (Segmento 1), levantada com a antena de 25MHz na etapa realizada no ano de 2007, com o refletor que marca o contato Duna / Barreiras interpretado.

LINHA TRANSVERSAL - SEGMENTO 2- ETAPA 2007



Anexo 32 - Radargrama da Linha Transversal (Segmento 2), levantada com a antena de 25MHz na etapa realizada no ano de 2007, com o refletor que marca o contato Duna / Barreiras interpretado.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)