



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA

MARINA DA SILVEIRA E MELO

GEOFÍSICA APLICADA À ARQUEOLOGIA:  
INVESTIGAÇÃO NO SÍTIO HISTÓRICO  
ENGENHO MURUTUCU, EM BELÉM, PARÁ

BELÉM  
2007

MARINA DA SILVEIRA E MELO

GEOFÍSICA APLICADA À ARQUEOLOGIA:  
INVESTIGAÇÃO NO SÍTIO HISTÓRICO  
ENGENHO MURUTUCU, EM BELÉM, PARÁ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geofísica da Universidade Federal do Pará, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Mestre em Geofísica.

Orientador: Prof. Dr. José Gouvêa Luiz

BELÉM  
2007

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação(CIP)  
Biblioteca Geól. Rdº Montenegro G. de Montalvão

---

Melo, Marina da Silveira e

M528g      Geofísica aplicada à Arqueologia: Investigação no Sítio Histórico Engenho Murutucu, em Belém, Pará / Marina da Silveira e Melo; Orientador, José Gouvêa Luiz. – 2007  
99 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Geofísica) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geofísica, Belém, 2007.

1. Geofísica aplicada. 2. Magnetometria. 3. GPR. 4. Arqueologia. 5. Pará. I. Universidade Federal do Pará II. Luiz, José Gouvêa, Orient. III. Título.

CDD 20º ed.: 551. 8115

---

MARINA DA SILVEIRA E MELO

GEOFÍSICA APLICADA À ARQUEOLOGIA:  
INVESTIGAÇÃO NO SÍTIO HISTÓRICO  
ENGENHO MURUTUCU, EM BELÉM, PARÁ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geofísica da Universidade Federal do Pará, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Mestre em Geofísica.

Aprovada em: 21 / 08 / 2007

BANCA EXAMINADORA:

---

Prof. Dr. José Gouvêa Luiz (Orientador)

---

Prof. Dr. Fernando Luiz Tavares Marques

---

Profª. Dra. Lúcia Maria da Costa e Silva

BELÉM  
2007

*À minha família pelo amor e incentivo constante.*

## A G R A D E C I M E N T O S

Agradeço ao professor *Gouvêa*, pela excelente orientação dentro de uma dimensão ética, política e humana, objetiva e subjetivamente, bem como pela disposição em me escutar e corrigir as minhas anotações.

Ao arqueólogo *Fernando Marques*, membro da banca, pela sugestão da área de trabalho, e pelas importantes informações sobre o local, o que facilitou imensamente o trabalho realizado.

À professora *Lucia Costa e Silva*, membro da banca, pela atenção e paciência durante a leitura e a correção deste trabalho.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de mestrado.

À UFPA e à Faculdade de Geofísica, pela estrutura e apoio logístico necessário à realização desta pesquisa.

Aos amigos e colegas de trabalho, *Paulo, Alex e Karina*, pela ajuda necessária no campo, sem a qual não seria possível a realização desse trabalho.

À secretária da Coordenação do Programa de Pós-graduação e amiga *Benildes*, pelo imenso carinho e incentivo.

Ao Professor *André*, pela amizade e apoio constante, dispensando sempre uma palavra de elevação e ânimo.

Às minhas amigas e colegas de curso, *Erika e Fabíola*, pela amizade, carinho e apoio durante toda a minha estada em Belém. Graças a essas amizades, a “cidade das mangueiras” se tornou minha segunda casa.

E, principalmente, aos meus pais, *Francisca e Geraldo*, pelas noites de insônia nos meus primeiros dias em Belém, pelo apoio e paciência incondicionais, além do constante carinho e compreensão.

*"Nos campos da observação, o acaso favorece apenas as mentes preparadas."*

*Louis Pasteur (1822-1895)*

## RESUMO

Esta pesquisa visou à indicação de possíveis localizações, através da prospecção geofísica, de vestígios materiais de ocupação e de alicerces da edificação antiga da senzala no Engenho Murutucu, local de grande importância e relevância para a história do Estado do Pará. Tendo como base a orientação de um mapa magnético realizado num levantamento anterior, foram realizados 26 perfis de GPR, utilizando uma antena monoestática de 400 MHz. Os perfis alcançaram uma profundidade aproximada de 1,75 m. Após a análise dos dados magnéticos e registros de GPR, as informações obtidas foram correlacionadas, resultando nas indicações almejadas. Tais indicações servirão de guia para futuras intervenções arqueológicas no sítio.

Palavras-chave: Geofísica, Arqueologia, GPR, Método Magnético, Engenho Murutucu

## A B S T R A C T

This research sought through geophysical methodology the indication of possible locations of buried remains of occupation and foundations of the old construction of a slave quarter in the Engenho Murutucu, a historical site that has importance and relevance for the history of Pará. Following a magnetic map constructed with data from a previous research, 26 GPR profiles were carried out in the area using a 400 MHz antenna. The investigated depth in the GPR profiles was around 1,75 m. The analysis and correlation of the magnetic and GPR data allowed to reach the purpose of the research. The resulting geophysical indications will guide the future archaeological interventions in the site.

Key-words: Geophysics, Archeology, GPR, Magnetic Method, Engenho Murutucu

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 2.1</b>	Mapa de localização do Engenho Murutucu . . . . .	19
<b>Figura 2.2</b>	Engenho Murutucu localizado no detalhe da Carta Geográfica da Foz dos Grandes Rios Amazonas e Tocantins do fim do século XIX . . . . .	22
<b>Figura 2.3</b>	Planta Geral do Engenho Murutucu mostrando a Casa do Engenho, a Casa Grande, a Capela, o Poço, a Calha e o Canal . . . . .	24
<b>Figura 2.4</b>	Vistas externas das ruínas da Capela de Nossa Senhora da Conceição . . . . .	25
<b>Figura 2.5</b>	Vistas internas das ruínas da Capela de Nossa Senhora da Conceição . . . . .	25
<b>Figura 2.6</b>	Edificação de 1996 realizada pela EMBRAPA, atualmente em estado de abandono . . . . .	26
<b>Figura 3.1</b>	Representação esquemática da variação magnética obtida em uma estação fixa . . . . .	32
<b>Figura 3.2</b>	(a) Representação esquemática do momento de dipolo magnético da Terra e elementos magnéticos, sendo NM é o norte magnético, e SM, o sul magnético; e (b) Detalhe dos elementos magnéticos relacionados ao campo magnético (definidos no texto), sendo NG é o norte geográfico e NM, o norte magnético . . . . .	32
<b>Figura 3.3</b>	Representação dos movimentos de rotação: (a) do próton sob o efeito de um campo magnético vertical, e (b) de um pião sob o efeito da gravidade . . . . .	35
<b>Figura 4.1</b>	Exemplo de um <i>radargrama</i> . . . . .	38
<b>Figura 4.2</b>	(a) Relação entre velocidade e frequência a diferentes condutividades, (b) relação entre atenuação e frequência a diferentes condutividades . . . . .	42
<b>Figura 4.3</b>	Esquema de perdas do GPR . . . . .	43
<b>Figura 4.4</b>	Modos de operação do GPR: (a) <i>off-set</i> comum, (b) WARR, e (c) CMP . . . . .	45
<b>Figura 5.1</b>	Mapa magnético da área do Engenho construído a partir dos dados coletados por João Barradas, em 2000, disposto sobre a planta do Engenho, mostrando a área teste (retângulo vermelho) e a área onde foram realizados os perfis de GPR (retângulo verde) . . . . .	49

<b>Figura 5.2</b>	Magnetômetro de Precessão de Prótons GEOTEST . . . . .	50
<b>Figura 5.3</b>	Mapa magnético da área teste . . . . .	50
<b>Figura 5.4</b>	(a) Abertura da linha de referência com auxílio de um nível, (b) linha base de referência demarcada a cada 2m por estacas (indicadas por setas) . . . . .	51
<b>Figura 5.5</b>	Equipamento SIR-SYSTEM 3000 da GSSI: (a) unidade de controle e (b) antena monoestática de 400MHz . . . . .	52
<b>Figura 5.6</b>	(a) Levantamento GPR na linha 550 e (b) linha 532 coberta com material plástico e outros perfis indicados por linhas tracejadas . . . . .	52
<b>Figura 5.7</b>	Posicionamento dos perfis de GPR realizados . . . . .	53
<b>Figura 6.1</b>	Parte do Mapa Magnético onde foram realizados os Perfis de Radar . . . . .	56
<b>Figura 6.2</b>	Perfil 550A . . . . .	64
<b>Figura 6.3</b>	Perfil 550B . . . . .	64
<b>Figura 6.4</b>	Perfil 548A . . . . .	65
<b>Figura 6.5</b>	Perfil 548B . . . . .	65
<b>Figura 6.6</b>	Perfil 546A . . . . .	66
<b>Figura 6.7</b>	Perfil 546B . . . . .	66
<b>Figura 6.8</b>	Perfil 546C . . . . .	67
<b>Figura 6.9</b>	Perfil 544A . . . . .	67
<b>Figura 6.10</b>	Perfil 544B . . . . .	68
<b>Figura 6.11</b>	Perfil 542A . . . . .	68
<b>Figura 6.12</b>	Perfil 542B . . . . .	69
<b>Figura 6.13</b>	Perfil 542C . . . . .	69
<b>Figura 6.14</b>	Perfil 540A . . . . .	70
<b>Figura 6.15</b>	Perfil 540B . . . . .	70
<b>Figura 6.16</b>	Perfil 538 . . . . .	71
<b>Figura 6.17</b>	Perfil 536 . . . . .	71

<b>Figura 6.18</b>	Perfil 534 .....	72
<b>Figura 6.19</b>	Perfil 532 .....	72
<b>Figura 6.20</b>	Perfil 530 .....	73
<b>Figura 6.21</b>	Perfil 528 .....	73
<b>Figura 6.22</b>	Perfil 526 .....	74
<b>Figura 6.23</b>	Perfil 524 .....	74
<b>Figura 6.24</b>	Perfil 522 .....	75
<b>Figura 6.25</b>	Perfil 520 .....	75
<b>Figura 6.26</b>	Perfil 518 .....	76
<b>Figura 6.27</b>	Perfil 516 .....	76
<b>Figura 6.28</b>	Perfil 514 .....	77
<b>Figura 6.29</b>	Perfil 512 .....	77
<b>Figura 6.30</b>	Perfil 510 .....	78
<b>Figura 6.31</b>	Perfil 508 .....	78
<b>Figura 6.32</b>	Perfil 506A .....	79
<b>Figura 6.33</b>	Perfil 506B .....	79
<b>Figura 6.34</b>	Perfil 504 .....	80
<b>Figura 6.35</b>	Perfil 502 .....	80
<b>Figura 6.36</b>	Perfil 500 .....	81
<b>Figura 6.37</b>	Correlação entre as anomalias magnéticas e a largura das regiões anômalas identificadas com o GPR (marcas em vermelho) que resultaram nas zonas indicadas para a intervenção arqueológica (I, e III a XII) .....	82

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 3.1</b>	Posições dos pólos magnéticos terrestres nos anos 1998, 2001, 2004 e 2005 . . . . .	31
<b>Tabela 4.1</b>	Constante dielétrica ( $\epsilon_r$ ), condutividade elétrica ( $\sigma$ ), e velocidade de propagação do pulso de radar para materiais comuns nas frequências utilizadas no GPR . . . . .	41
<b>Tabela 4.2</b>	Áreas de aplicação do GPR, frequência central das antenas recomendada para a aplicação e estimativa da profundidade de penetração correspondente . . . . .	44

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>ENGENHO MURUTUCU</b> .....	<b>18</b>
2.1	LOCALIZAÇÃO E ACESSO .....	18
2.2	FISIOGRAFIA E GEOLOGIA .....	18
2.3	TRAJETÓRIA HISTÓRICA DO ENGENHO MURUTUCU .....	20
<b>3</b>	<b>MÉTODO MAGNÉTICO</b> .....	<b>27</b>
3.1	PRINCÍPIOS DO MÉTODO .....	28
3.2	CAMPO GEOMAGNÉTICO .....	30
3.3	TIPOS DE MAGNETIZAÇÃO .....	33
3.4	INSTRUMENTOS DE MEDIDAS MAGNÉTICAS .....	34
3.5	CORREÇÕES DE MEDIDAS COM GPR .....	36
3.6	PROCESSAMENTO DE DADOS .....	37
<b>4</b>	<b>MÉTODO GEORADAR</b> .....	<b>38</b>
4.1	PRINCÍPIOS DO MÉTODO .....	38
4.2	MODOS DE AQUISIÇÃO DE DADOS .....	44
4.3	PROCESSAMENTO DE DADOS .....	46
4.4	APLICAÇÕES .....	47
<b>5</b>	<b>AQUISIÇÃO DE DADOS NO MURUTUCU</b> ... ..	<b>48</b>
5.1	PREPARAÇÃO DA ÁREA PARA AS MEDIDAS .....	48
5.2	LEVANTAMENTO COM O GPR .....	51
5.2	ANÁLISE DOS DADOS .....	54
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>55</b>
6.1	MAPA MAGNÉTICO .....	55

6.2 PERFIS DE GPR ..... 57

6.2.1 Perfil 550 ..... 57

6.2.2 Perfil 548 ..... 58

6.2.3 Perfil 546 ..... 58

6.2.4 Perfil 544 ..... 59

6.2.5 Perfil 542 ..... 59

6.2.6 Perfil 540 ..... 59

6.2.7 Perfil 538 ..... 60

6.2.8 Perfil 536 ..... 60

6.2.9 Perfil 534 ..... 60

6.2.10 Perfil 532 ..... 60

6.2.11 Perfil 530 ..... 61

6.2.12 Perfil 528 ..... 61

6.2.13 Perfil 526 ..... 61

6.2.14 Perfil 524 ..... 61

6.2.15 Perfil 522 ..... 61

6.2.16 Perfil 520 ..... 61

6.2.17 Perfil 518 ..... 62

6.2.18 Perfil 516 ..... 62

6.2.19 Perfil 514 ..... 62

6.2.20 Perfil 512 ..... 62

6.2.21 Perfil 510 ..... 62

6.2.22 Perfil 508 ..... 63

6.2.23 Perfil 506 ..... 63

6.2.24 Perfil 504 ..... 63

<b>6.2.25 Perfil 502</b> .....	<b>63</b>
<b>6.2.26 Perfil 500</b> .....	<b>77</b>
<b>6.3 CORRELAÇÃO MAGNETOMETRIA-GPR</b> .....	<b>81</b>
<b>6.4 INDICAÇÕES PARA FUTURAS INTERVENÇÕES ARQUEOLÓGICAS</b> .....	<b>81</b>
<b>7 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>83</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>85</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>88</b>
<b>ANEXO A: LEI N.º 3.924, DE 26 DE JULHO DE 1961</b> .....	<b>89</b>
<b>ANEXO B: PORTARIA N.º 07 DO IPHAN, DE 01 DE DEZEMBRO DE 1988</b> ...	<b>95</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A Amazônia<sup>1</sup> é uma região que há muito é foco de interesses internacionais por sua riqueza natural e cultural, que compreende além dos recursos nela existentes, como a biodiversidade, recursos hídricos e minerais, o fator humano. Temos conhecimento que essa região foi ocupada há mais de 10 mil anos e em alguns locais por populações que podem ter chegado a milhares de pessoas (NEVES, 2006). Posteriormente, entre meados do século XVI ao início do séc. XVII, quando os primeiros europeus a visitaram e nela se estabeleceram, era comum a referência à presença de grandes aldeias, integradas em amplas redes regionais de comércio e em espécies de federações políticas regionais (NEVES, 2006). Já no início do séc. XVIII tais referências desaparecem dos registros históricos. Isso está diretamente ligado ao processo de diminuição populacional, resultante do início da colonização europeia na Amazônia e de deslocamentos geográficos, mudanças e miscigenação cultural ocorridas nos últimos 500 anos, como consequência da transmissão de doenças, da guerra e da escravidão.

A floresta que hoje recobre muitos sítios arqueológicos tem, além de uma história natural, também uma história cultural, tornando impossível entender tais aspectos sem considerar a influência das populações humanas. É necessário reconhecer que a ocupação humana pré-colonial, de certo modo, guia alguns dos processos de ocupação do presente, como é o caso de cidades contemporâneas que estão localizadas sobre sítios arqueológicos, como Santarém, Manaus, Manacapuru e Tefé (NEVES, 2006).

As pesquisas arqueológicas na Amazônia têm tradição centenária, iniciada por pioneiros brasileiros e estrangeiros na segunda metade do século XIX e organizadas inicialmente a partir de dois centros principais: o Museu Nacional, no Rio de Janeiro, e o Museu Paraense Emílio Goeldi, em Belém (NEVES, 2006; FUNARI, 2003). Paradoxalmente, apesar dessa tradição, existem ainda grandes lacunas de conhecimento. Estados ou regiões inteiras, como Acre, Roraima, parte do Maranhão e norte do Mato Grosso, são virtualmente desconhecidos e, em outros estados, como Rondônia, Pará, Amapá, Amazonas e Tocantins, há mais informações disponíveis, mas insuficientes se comparadas as suas dimensões.

---

<sup>1</sup> Por Amazônia entende-se a chamada Amazônia Legal, área que compreende os estados de Rondônia, Acre, Amazonas, Roraima, Amapá, Pará e partes do Maranhão, Tocantins, e Mato Grosso; além das porções amazônicas da Bolívia, Peru, Equador, Colômbia, Venezuela e, finalmente os países ou territórios fronteiriços com o Brasil, mas que tecnicamente não pertencem à bacia amazônica, como é o caso da Guiana, Suriname, e Guiana Francesa.

Os primeiros trabalhos de prospecção geofísica aplicada à arqueologia na Amazônia que se têm registro foram realizados em 1977 no *Sítio Teso dos Bichos*, na Ilha de Marajó (ALVES, 1979; ALVES; LOURENÇO, 1981; ROOSEVELT, 1991). Esses levantamentos incluíram medidas magnéticas e de resistividade elétrica. Posteriormente, entre 1983 e 1985, no mesmo Sítio, outros experimentos foram realizados fazendo uso dos mesmos métodos, além de medidas eletromagnéticas indutivas e Radar de Penetração no Solo (GPR ou Georadar) (ROOSEVELT, 1991). Outros levantamentos foram realizados na região do Rio Anajás, na Ilha de Marajó (BARRADAS et al., 1999), no Engenho Uriboca, em Marituba (MARQUES, 2004), em uma área do Sul do Pará (LUIZ; PEREIRA, 2005), na cidade de Macapá (PEREIRA et al., 2004) e nas cidades paraenses de Almerim, Abaetetuba e Moju (ARAGÃO, 2006).

Esta pesquisa de mestrado, que soma mais uma ação de prospecção geofísica aplicada à Arqueologia na Amazônia, tem a finalidade de indicar os locais mais prováveis para a localização de alicerces de construções e vestígios de ocupação no sítio do Engenho Murutucu. Tendo como ponto de partida um levantamento geofísico com o método magnético realizado anteriormente no local, no ano de 2000, foram realizados perfis de GPR com a finalidade de correlacionar as anomalias encontradas nestes registros, com as anomalias magnéticas. Essa correlação teve o intuito de facilitar a visualização das regiões anômalas na subsuperfície. Para tanto, o método GPR foi escolhido, por ser um método fácil, rápido, e que proporciona imagens bidimensionais do terreno prospectado com uma resolução muito superior à de outros métodos, portanto, um método de elevado potencial na prospecção arqueológica.

O sítio prospectado, o Engenho Murutucu, conta com mais de 300 anos de história, e como será descrito no capítulo a seguir, faz parte da memória histórica do Pará, exemplo da evolução e declínio da indústria canavieira, testemunha em ruínas de fatos fundamentais na história do Estado. Fatos que influenciaram a sua formação política e cultural.

Esta dissertação aborda no capítulo 2 um pouco sobre a área de estudo, sua origem e evolução histórica, além de pesquisas realizadas no local. Desta forma, procura-se introduzir o contexto arqueológico da pesquisa através da descrição da importância histórica e cultural do sítio no decorrer do tempo. No terceiro e quarto capítulos, pretende-se familiarizar a prospecção geofísica através da exposição dos métodos utilizados, Método Magnético e Georadar. Em seguida, apresenta-se e discute-se a aplicação dos métodos geofísicos na aquisição, no processamento e na interpretação dos dados de campo. No sexto capítulo, disserta-se sobre os resultados encontrados e possíveis correlações com os alicerces ou vestígios de ocupação. Finalmente, o sétimo capítulo é dedicado às considerações finais e conclusões alcançadas na pesquisa.

## 2 ENGENHO MURUTUCU

### 2.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A área de estudo, o Engenho Murutucu, situa-se no município de Belém, mais precisamente na periferia, no bairro Curió-Utinga, em área anexa ao complexo da CEASA (Figura 2.1). O terreno é Patrimônio da União desde 1940, quando foi incorporado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e Patrimônio Histórico e Artístico Nacional desde 08 de outubro de 1981, quando foi tombado<sup>2</sup> pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN).

O sítio arqueológico estende-se em uma área de aproximadamente 400 m × 300 m, limitado a oeste pelo igarapé Murutucu, afluente do rio Guamá, e a leste pelo complexo da CEASA e pela rodovia de acesso ao porto do rio Guamá.

O centro da área do Engenho está posicionado nas coordenadas UTM 22 M 786246 E, 9839896 S, tendo como via de acesso a estrada da CEASA e sua entrada localizada em uma abertura na cerca dentro do complexo da CEASA a aproximadamente 50 m da sua entrada principal.

### 2.2 FISIOGRAFIA E GEOLOGIA

O sítio apresenta uma paisagem de topografia relativamente plana e com elevação de no máximo 5 m em relação ao igarapé Murutucu (MARQUES, 2004). A sua geologia é representada em quase toda a sua área por sedimentos da unidade Pós-Barreiras e da Formação Barreiras.

A Formação Barreiras é composta basicamente por sedimentos argilosos, arenosos e conglomeráticos, contando com níveis de arenito ferruginoso, além de estruturas sedimentares do tipo estratificações e conteúdo fossilífero vegetal. Esse grupo apresenta também estruturas como microfraturas e microfalhas (MATTA, 2002).

A unidade Pós-Barreiras é constituída por sedimentos inconsolidados, arenosos, cuja tonalidade varia entre amarelo a totalmente branco, com alguma porcentagem de argila de granulometria variando entre fina e média, sem estrutura sedimentar aparente. Também se encontra nessa unidade seixos milimétricos de quartzo leitoso, dispostos caoticamente, e concreções ferruginosas (MATTA, 2002).

---

<sup>2</sup> O tombamento inclui todo o acervo da Capela, de acordo com a Resolução do Conselho Consultivo da SPHAN, de 13 de agosto de 1985, referente ao Processo Administrativo N.º 13/85/SPHAN.

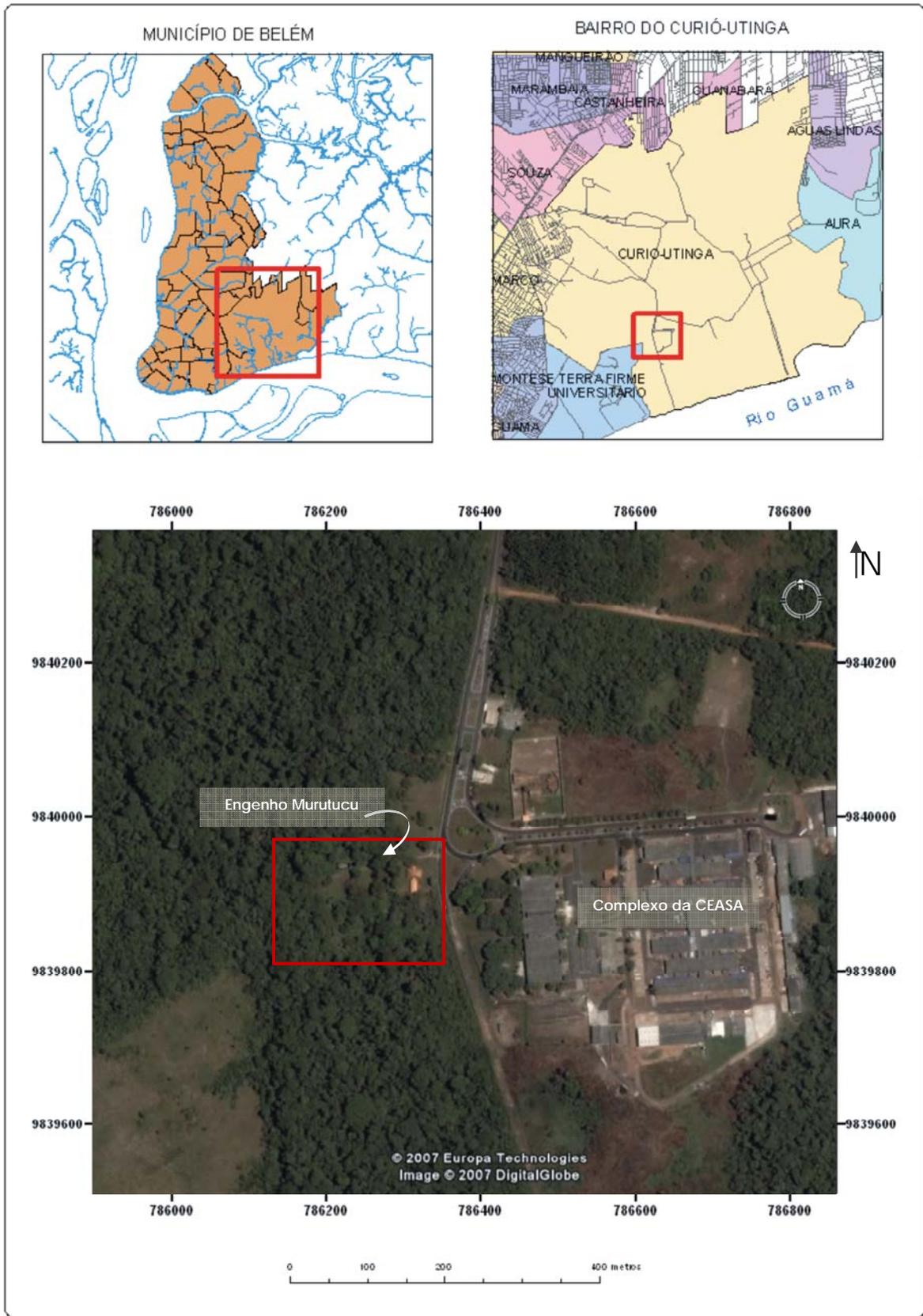


Figura 2.1 – Mapa de localização do Engenho Murutucu.

A área do sítio é recoberta por latossolo amarelo que alcança uma profundidade de aproximadamente 2 m (MARQUES, 2004). Esse tipo de solo é composto de uma mistura de óxidos hidratados de ferro e alumínio.

### 2.3 TRAJETÓRIA HISTÓRICA DO ENGENHO MURUTUCU

Com base nas descrições encontradas no registro de tombamento do Engenho Murutucu junto ao IPHAN (1985) e de publicações posteriores de Marques (2003, 2004), foi feita uma síntese da história desse local que apesar de atualmente constar de um conjunto de ruínas, foi cenário de importantes acontecimentos, como será descrito a seguir.

Não se sabe exatamente quando o Engenho foi construído e nem quando começou a funcionar. O seu registro no IPHAN (1985) afirma que sua construção ocorreu no decorrer do século XVIII por seu, então fundador, João Manuel Rodrigues. Na época, foi considerado um dos melhores e mais bem equipados engenhos do Pará, então produtor de cachaça e cana-de-açúcar.

Em 1711, a Capela do Engenho, dedicada a Nossa Senhora da Conceição, foi construída pelos Frades Carmelitas. Posteriormente, em 1759, o Engenho estando em pleno funcionamento, era propriedade do Dr. José Borges Valério que exerceu o cargo de Ouvidor-Mor durante a primeira metade do século XVIII. Após sua morte, a propriedade foi transferida para Domingos da Costa Bacelar, conforme está registrado em uma relação de engenhos da Comarca de Belém do ano de 1760 (MARQUES, 2003).

Seis anos depois, em 1766, o sítio foi adquirido com “setenta pessoas, entre índios, índias e rapazes nascidos no engenho”, pelo arquiteto italiano Antonio Giuseppe Landi<sup>3</sup>. Landi prosseguiu na produção de açúcar e aguardente, além de manter uma olaria (MARQUES, 2004).

---

<sup>3</sup> Arquiteto e desenhista italiano chegou ao Pará, precisamente, em 20 de julho de 1753, junto com outros profissionais da área de astronomia, geografia e engenharia, formando uma comissão de técnicos encarregados da missão de dividir a América do Sul em duas, para fixar os limites entre Portugal e Espanha de acordo com o tratado de 13 de janeiro de 1750, conhecido como Tratado de Madri. Estava então com quarenta anos, futuramente casando-se e fixando-se na cidade de Belém por trinta e oito anos, até seu falecimento.

Durante sua vida foi responsável por significativa quantidade de realizações no campo da arquitetura religiosa e profana, projetando quadraturas, púlpitos, monumentos; confeccionando mapas; e decorando livros, além de sua contribuição ao estudo de história natural com desenhos relativos à botânica e à zoologia. Construiu o Palácio dos Governadores, o antigo Hospital Real (atual casa das onze janelas), o edifício dos Quartéis (demolido), a Capela de Santa Rita de Cássia (demolido) e reformou o Engenho do Murutucu (em ruínas). Entre muitos outros projetos e construções estão várias residências particulares, muitas das quais ainda se encontram nos bairros mais antigos de Belém, como o do Comércio (MELLO JR, 1973).

Em 1780, Landi, encontrando dificuldades em obter mão-de-obra para o seu engenho, solicitou ao reino a permissão para utilizar mão-de-obra indígena para a colheita e processamento da cana-de-açúcar. Acredita-se que foi neste período que reformou a Capela de Nossa Senhora da Conceição para o casamento de sua filha, incorporando-lhe os traços do Neoclassicismo (MARQUES, 2004). Apesar de não haver nenhum registro de reforma da Casa Grande, Marques (2004) encontrou nesta, elementos decorativos bastante similares àqueles presentes em vários prédios de autoria de Landi.

Documentos, contemporâneos a Landi, confirmam que ele morreu no Engenho, em 22 de junho de 1791, onde foi homenageado com fogos de artilharia. Landi, apesar de ter sido um desenhista e arquiteto famoso, não deixou nenhuma planta de funcionamento do Engenho (MARQUES, 2004).

Após a sua morte, o Engenho foi herdado por sua filha, Ana Teresa, casada então com o Capitão João Antônio Roiz Martins. Com a morte do Capitão, em 1820, o Engenho foi herdado pela sua filha, e neta de Landi, Ângela Joana Pereira Martins, casada com o Tenente-coronel Francisco Marques d'Elvas Portugal (MARQUES, 2004).

Durante a Guerra da Cabanagem, em 1835, o sítio transformou-se temporariamente em um acampamento das tropas de cabanos, liderados pelos comandantes da revolução: Vinagre, Angelim e Gavião. Estes, partindo do Engenho em 14 de agosto de 1835, deram início à segunda invasão a Belém. Neste período, o local, que devia estar abandonado, foi solicitado por um dos cabanos, João Antônio Sete, para residir com sua família (MARQUES, 2004).

Após a morte de Francisco Marques d'Elvas Portugal, em 1841, o Engenho foi vendido. Na documentação de venda do local para seu novo proprietário, Henrique Antonio Strauss, constavam: uma casa de vivenda, capela, pertences da capela, casa do engenho, rancho dos pretos (senzalas), roda d'água, moendas de ferro, um vapor, serraria, alambique de cobre, serpentinas, tacho de ferro, balança, batelões e canoas. O documento ainda faz referência à existência de 48 escravos (MARQUES, 2004).

A primeira referência ao estado de abandono do Engenho foi feita por volta de 1850, quando o norte-americano John Esaias Warren, em viagem pelo Pará, visitou o local, encontrando-o em ruínas (MARQUES, 2003; CRUZ, 1963).

---

Ficou famoso por ter imprimido à região um caráter arquitetônico nitidamente italiano, trazendo o modelo classicista tardo, barroco, e preconizando, sessenta e três anos antes, o que viria a ser conhecido em 1816, como neoclassicismo de vertente francesa (Mendonça, 2003). Atualmente, sua obra está sendo revista, valorizada e restaurada.



**Figura 2.2** – Engenho Murutucu localizado no detalhe da *Carta Geográfica* da foz dos grandes Rios Amazonas e Tocantins do fim do século XIX (MARQUES, 2004).

Posteriormente, em 1872, de acordo com Marques (2004), o local é referido em uma escritura de dívida e hipoteca feita no Banco Comercial do Pará, no valor de quarenta e cinco contos e quatrocentos e cinqüenta e nove mil e trezentos e cinqüenta réis, pelo proprietário Leonardo Augusto Farias Vivas. Os bens do sítio que contavam no inventário deste documento eram: casas de vivenda, engenho movido a vapor, serraria movida a água, ranchos, instrumentos de lavoura, alambique, canos, utensílios diversos, dez cabeças de gado vacum e cinqüenta e dois escravos.

No fim do século XIX, o Engenho foi explorado por algum tempo por Frederico Pond e Emilio Martins & Cia, passando posteriormente à propriedade do sacerdote Cônego José Lourenço da Costa Aguiar (MARQUES, 2004; CRUZ, 1963).

Com o tempo, o Engenho Murutucu ficou completamente abandonado. A partir de 1940 foi integrado ao patrimônio da União, quando foi incorporado pelo antigo Instituto Agrônomo do Norte (IAN), hoje EMBRAPA. Já no período de posse pela EMBRAPA, foi implantado um campo experimental de práticas agrícolas no sítio, que atualmente, encontra-se como o resto das edificações no Engenho, inativo e abandonado (MARQUES, 2004).

Em 1986, ocorreu a primeira intervenção arqueológica no Engenho, especificamente no espaço da Capela e Casa Grande. Esta ação compreendeu uma atividade prática de escavação do Curso sobre Arqueologia Histórica, promovido pelo Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG) e ministrado pela arqueóloga Margarida Andreatta. Durante esta intervenção, foram escavadas cinco áreas internas (uma na casa grande e quatro na capela), além de duas trincheiras (uma na área compreendida entre a casa grande e a capela, e outra na área externa à capela) (MARQUES, 2004).

Posteriormente, depois de anos de abandono e descaso do governo, em 1995, um funcionário de uma empresa que prestava serviço de manutenção na estrada da CEASA (estrada que dá acesso ao sítio), por falta de material para preencher os buracos da rodovia, derrubou o resto de paredes da Casa Grande (MARQUES, 2003, 2004).

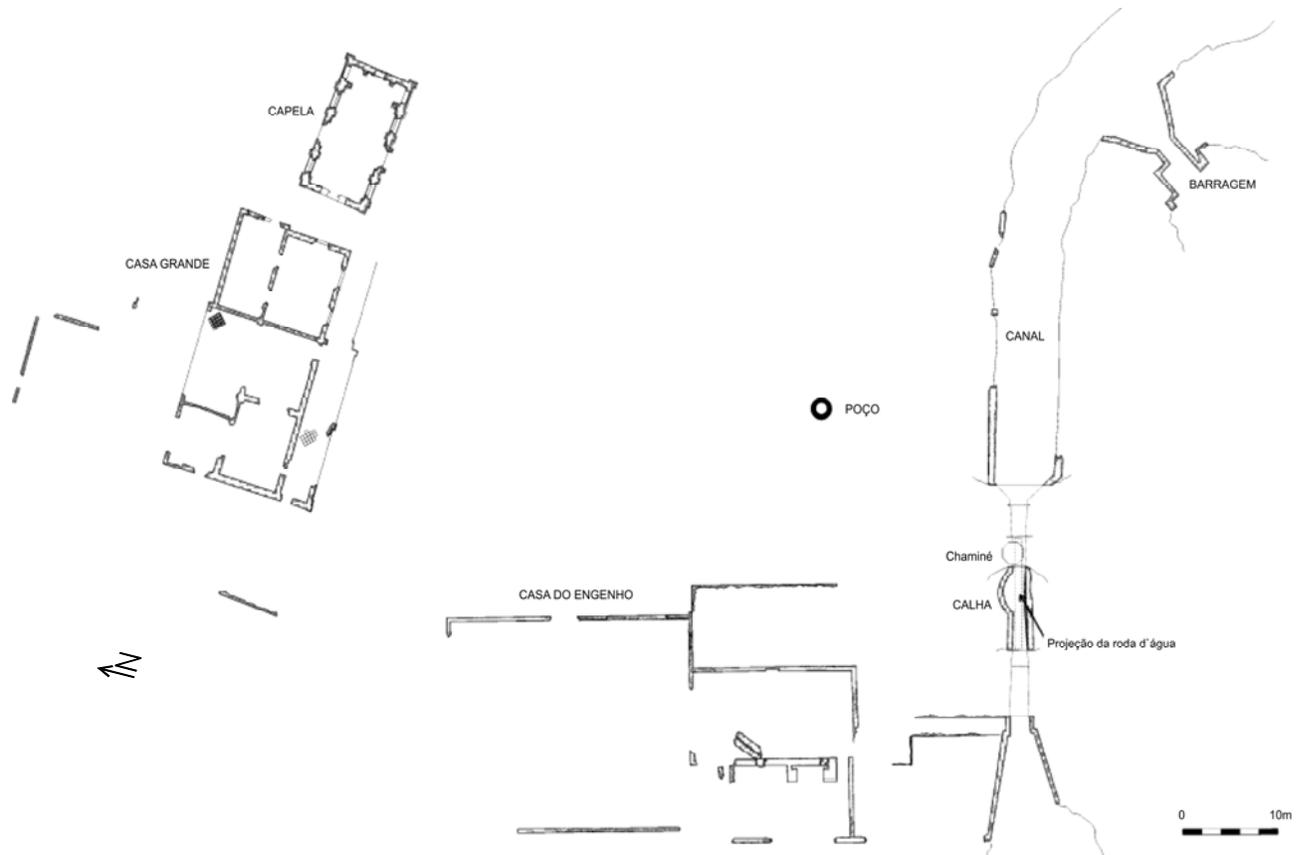
Após o trágico ocorrido, algumas ações compensatórias foram tomadas em anos posteriores. Em 1996 e 1997, iniciou-se a segunda etapa das escavações em caráter de pesquisas de salvamento arqueológico novamente no interior da Capela e na área que compreende a Casa Grande. Estas últimas escavações tiveram suporte financeiro do IPHAN (MARQUES, 2003, 2004).

Em 2000 foi realizada a primeira prospecção geofísica no local, com o apoio do geólogo João Barradas. As medidas geofísicas foram realizadas com um magnetômetro de prótons na área do Largo, próxima às ruínas da Capela. Como resultado desta prospecção, uma área de 2 m × 2 m foi escavada, revelando fragmentos de vasilhas cerâmicas e louças, além de materiais construtivos.

Somando todas as intervenções arqueológicas já realizadas no sítio, o total de material estudado já resgatado totaliza 4.322 fragmentos (MARQUES, 2004).

A Figura 2.3 mostra uma planta geral da área do Engenho do Murutucu apresentada em Marques (2004). Segundo o autor, as estruturas arquitetônicas do sítio, quando da elaboração dessa planta, já se apresentavam em estado de ruínas, inteiramente desprovidas de cobertura e, na maioria das estruturas, apenas visíveis os alicerces. A planta foi elaborada pelo arqueólogo Fernando Marques após a realização de levantamentos planimétricos, onde foi estabelecida a disposição das edificações do sítio. Na planta verificam-se ainda algumas estruturas que não existem mais, como o

que restava das paredes da casa grande, que foram demolidas acidentalmente em 1995. Apesar disso, ainda restam poucos traços de seus alicerces já encobertos pela ação do tempo e pela vegetação.



**Figura 2.3** – Planta Geral do Engenho Murutucu mostrando a Casa do Engenho, a Casa Grande, a Capela, o Poço, a Calha e o Canal (MARQUES, 2004).

Atualmente, das edificações que faziam parte do conjunto arquitetônico do Engenho Murutucu, existem apenas as ruínas da Capela de Nossa Senhora da Conceição (Figuras 2.4 e 2.5), datada de 1711, restos de paredes e alicerces da Casa do Engenho e a calha onde se situava a roda d'água.



**Figura 2.4** – Vistas externas das ruínas da Capela de Nossa Senhora da Conceição (Fotos realizadas em 16/10/2006).



**Figura 2.5** – Vistas internas das ruínas da Capela de Nossa Senhora da Conceição (Fotos realizadas em 16/10/2006).

Há também no terreno duas construções mais recentes, datadas de 1995 (Figura 2.6). De acordo com o arqueólogo Fernando Marques, a primeira foi construída pela empresa responsável pelo incidente com a Casa Grande (em 1995), e a segunda foi realizada pelo Governo do Estado do Pará através da SETRAN devido à obra da Alça Viária. Esse local foi usado durante certo período como um laboratório experimental de práticas agrícolas e como o resto do conjunto arquitetônico que compõe o sítio, atualmente, essas edificações encontram-se em estado de abandono.



**Figura 2.6** – Edificações mais recentes, atualmente em estado de abandono (fotos realizadas em 18/10/2006).

### 3 MÉTODO MAGNÉTICO

A origem da palavra *magnetismo* está ligada ao nome de uma cidade na região da Turquia antiga que era rica em minério de ferro, a Magnésia. A palavra surgiu na Antiguidade, associada à propriedade que fragmentos de ferro têm de serem atraídos pela magnetita, um mineral encontrado na natureza, de composição química  $Fe_3O_4$  (REZENDE, 2004). Acredita-se que o comportamento magnético tenha sido primeiro observado pelos chineses na Antiguidade (séculos a.C.), quando estes fizeram a primeira utilização prática do magnetismo com a invenção da bússola, baseada na propriedade de uma agulha magnetizada em se orientar na direção do campo magnético terrestre (MACHADO, 2002).

Apesar disso, foi só em 1600 que a ciência do magnetismo teve início quando o inglês William Gilbert (1544-1603) publicou o livro “*De Magnete*”, reunindo todo o conhecimento existente até então sobre o magnetismo. Nesta publicação, Gilbert estabeleceu o conceito de um campo geomagnético geral com uma orientação definida em cada lugar da superfície terrestre. Ao final do século XVI, a observação de anomalias locais na orientação do campo geomagnético foi aplicada à prospecção de minerais de ferro (LUIZ; SILVA, 1995).

Acredita-se que o Método Magnético (ou Magnetometria) tenha sido um dos primeiros métodos geofísicos a serem usados na prospecção, com suas primeiras medidas sistemáticas datadas, realizadas em 1940 na Suécia, com a finalidade era detectar depósitos de ferro. Essas medidas baseavam-se em observações, com uma bússola náutica, de perturbações dos valores normais do campo magnético. Posteriormente, em 1870, Thalen e Tiberg aperfeiçoaram o método de observação magnética com a construção de um instrumento capaz de medir variações das componentes horizontal e vertical do campo magnético e de sua inclinação por meio dos métodos de seno e de tangente. Atualmente, tais medidas são realizadas com mais precisão, através de instrumentos conhecidos como *magnetômetros* (LUIZ; SILVA, 1995).

A Magnetometria, além de ser um dos métodos geofísicos mais antigos, também é um dos mais utilizados em prospecção, devido principalmente ao baixo custo, e a rapidez dos levantamentos e por permitir medidas em poços, em locais alagados, e também medidas aéreas que permitem cobrir áreas de grande extensão. Sua aplicação é vasta: na exploração mineral e petróleo, no mapeamento geológico, na Arqueologia e outras. Em Arqueologia, a Magnetometria é usada na

localização de artefatos de ferro, fornos para queima de argila, cerâmica, além de alguns tipos de estruturas de pedra, estradas, construções, túmulos, e até mesmo valas e sambaquis.

### 3.1 PRINCÍPIOS DO MÉTODO

Devido à divergência na forma como é definido o magnetismo nos sistemas cgs e mks, existe uma grande confusão no uso de unidades no Método Magnético. O sistema cgs (sistema usado pela maioria dos autores na área) entende o magnetismo como um fenômeno primário, onde a existência de pólos magnéticos e todas as outras grandezas surgem a partir desse. Já no mks, o magnetismo é tido como uma consequência decorrente de cargas elétricas em movimento (Silva, 1986). Apesar do mks ser atualmente o sistema padrão internacional, de acordo com Silva (1986), ele é recomendável apenas para fins de uniformização, não sendo muito conveniente em Magnetometria.

Sendo a força magnética em decorrência da Lei de Coulomb expressa por

$$\vec{F} = -\frac{1}{\mu} \frac{p_1 p_2}{r^2} \hat{r}, \quad (3.1)$$

em que  $p_1$  e  $p_2$  são as intensidades dos pólos magnéticos,  $r$  é a distância entre eles e  $\mu$  a permeabilidade magnética do meio, a intensidade do campo magnético ( $\vec{H}$ ) no pólo  $p_1$  consequente da atuação de  $p_2$  será

$$\frac{\vec{F}}{p_1} = -\frac{1}{\mu} \frac{p_2}{r^2} \hat{r} = \vec{H}. \quad (3.2)$$

Assim, quando o campo  $\vec{H}$  atua num material, este adquire uma intensidade de magnetização  $\vec{M}$ , proporcional ao campo, definida por

$$\vec{M} = \chi_m \vec{H}, \quad (3.4)$$

sendo  $\chi_m$  a susceptibilidade magnética do material. Na equação (3.4) verifica-se facilmente que quanto maior o valor referente à susceptibilidade do material, mais forte será sua intensidade de magnetização e, por isso, a susceptibilidade é um parâmetro fundamental no Método Magnético. A susceptibilidade pode assumir valores positivos ou negativos, o que indica o sentido de  $\vec{M}$  em relação ao campo.

A *magnetização induzida* em um material pela atuação de um campo magnético externo provoca o alinhamento dos momentos de dipolo internos ao material sob sua atuação, resultando no aparecimento de um campo adicional. Este campo, somado ao campo externo dá origem a um novo campo chamado de *indução magnética* ( $\vec{B}$ ), que se relaciona ao campo magnético  $\vec{H}$  através da seguinte equação:

$$\vec{B} = \mu\vec{H}, \quad (3.5)$$

em que a permeabilidade  $\mu$  está relacionada, no cgs, à susceptibilidade  $\chi_m$  por

$$\mu = 1 + 4\pi\chi_m, \quad (3.6)$$

de modo que a equação 3.5 pode ser escrita como

$$\vec{B} = \vec{H} + 4\pi\vec{M}. \quad (3.7)$$

No cgs, a unidade correspondente a grandeza  $\vec{H}$  é oersted, enquanto o parâmetro  $\vec{B}$  corresponde, é expresso em gauss. Como em prospecção magnética as anomalias apresentam amplitudes muito inferiores ao campo geomagnético (aproximadamente 0,3 oersted no equador e 0,6 oersted nos pólos), a unidade comumente utilizada é o nT (nanotesla), unidade do mks equivalente a  $10^{-5}$  oersted.

Da mesma forma em que a força de atração, em gravitação, pode ser derivada a partir do potencial, também é possível expressar a intensidade do campo magnético ( $\vec{H}$ ) num ponto qualquer do espaço, onde não há corrente elétrica, como o gradiente do potencial magnético  $W$ ,

$$\vec{H} = -\nabla W, \quad (3.8)$$

sendo  $W$  uma função que satisfaz a equação de Laplace,  $\nabla^2 W = 0$ .

A *relação de Poisson* é uma função que expressa a relação do potencial gravitacional com o potencial magnético, a partir das seguintes condições: (i) que as mesmas fontes que produzem os campos gravimétricos, também produzem os campos magnéticos; (ii) que a magnetização seja constante em módulo e direção; e (iii) que a densidade seja constante. A partir dessas condições temos o potencial magnético  $W$  dado como

$$W = -M_\alpha \frac{\partial}{\partial \alpha} \int \frac{1}{r} dv, \quad (3.9)$$

sendo  $M_\alpha$  a magnetização na direção  $\alpha$ ,  $dv$  o elemento de volume e  $r$  a distância, e o potencial gravimétrico  $U$  dado como

$$U = -G\rho \int_v \frac{1}{r} dv, \quad (3.10)$$

em que  $G$  é a constante gravitacional e  $\rho$  representa a densidade. Substituindo (3.7) em (3.8), obtemos a relação de Poisson:

$$W = -\frac{m}{G\rho} \frac{\partial}{\partial \alpha} U. \quad (3.11)$$

A equação (3.9) mostra que o potencial magnético pode ser derivado do potencial gravimétrico. A aplicação dessa relação é comum no processamento de dados magnéticos.

### 3.2 CAMPO GEOMAGNÉTICO

O Método Magnético, é um método que tem como fundamento a teoria do potencial, baseando-se na capacidade que concentrações de minerais magnéticos nas rochas da crosta (como a magnetita, a pirrotita e a ilmenita) têm em produzir distorções ou interferências locais no campo magnético da Terra (LUIZ; SILVA, 1983).

As distorções e interferências locais no campo magnético medidas durante a prospecção dependem da susceptibilidade magnética em subsuperfície e do campo magnético da Terra (freqüentemente da ordem de 100 a 1000 vezes maior do que o campo local) (SILVA, 1986). Nesse contexto, é de extrema importância o conhecimento do comportamento do campo terrestre.

O campo magnético terrestre estende-se por dezenas de milhares de quilômetros no espaço, formando a chamada magnetosfera, e pode ser representado por um dipolo magnético colocado no centro da Terra. Os pólos magnéticos terrestres não estão em posições diretamente opostas no globo e não são coincidentes com pólos geográficos da Terra. A posição desses pólos também não é estática, chegando a oscilar vários quilômetros por ano, independentemente um do outro (Tabela 3.1). A polaridade do campo magnético da Terra, por sua vez, é revertida em períodos que variam entre dezenas de milhares de anos a alguns milhões de anos, com um intervalo médio de aproximadamente 250.000 anos. Acredita-se que a última reversão ocorreu 780.000 anos atrás (LUIZ; SILVA, 1995; ROBERTS; GLATZMAIER, 2000).

**Tabela 3.1** – Posições dos pólos magnéticos nos anos 1998, 2001, 2004 e 2005.

	1998	2001	2004	2005
Pólo Norte Magnético	-	81°18' N" 110 48°W	82°18' N" 113 24°W	82°42' N" 114 24°W
Pólo Sul Magnético	64°36' S" 138 30°E	-	63°30' S" 138 0°E	-

Fonte: NATURAL RESOURCES CANADA, 2005; COMMONWEALTH OF AUSTRALIA, 2002

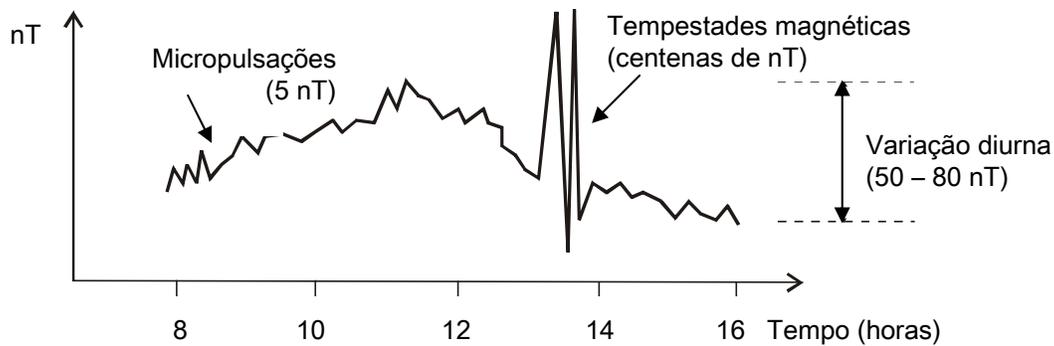
O campo magnético também sofre outras variações ao longo do tempo, sendo as mais importantes: a *variação secular*, a *variação diurna*, e as *tempestades magnéticas*. A *variação secular* ocorre em um largo período de tempo. A *variação diurna* corresponde a oscilações no campo geomagnético de até 80 nT no período de 24 horas, com o ápice por volta das 11 horas do dia, e provocadas pelo movimento da ionosfera, devido a variações nas emissões solares entre o hemisfério iluminado e o noturno. As *tempestades magnéticas* correspondem a variações de grande amplitude (cerca de 1000 nT) que podem durar de algumas horas a dias, associadas a interferências de campos externos à ionosfera, e, predominantemente, à intensa emissão de plasma solar. Em prospecção magnética, o conhecimento dessas duas últimas variações é de extrema importância, já que os levantamentos têm uma duração média de alguns dias, dependendo da extensão do terreno. A *variação diurna* pode ser corrigida nas medidas, mas, durante as *tempestades*, as medidas não podem ser realizadas.

A Figura 3.1 mostra uma representação esquemática de medidas magnéticas obtidas numa estação fixa, em um período de oito horas, exibindo algumas variações naturais e as suas amplitudes médias, tais como: variações pequenas (micropulsações), variações abruptas (tempestades magnéticas) e a variação diurna (com o pico próximo ao meio dia).

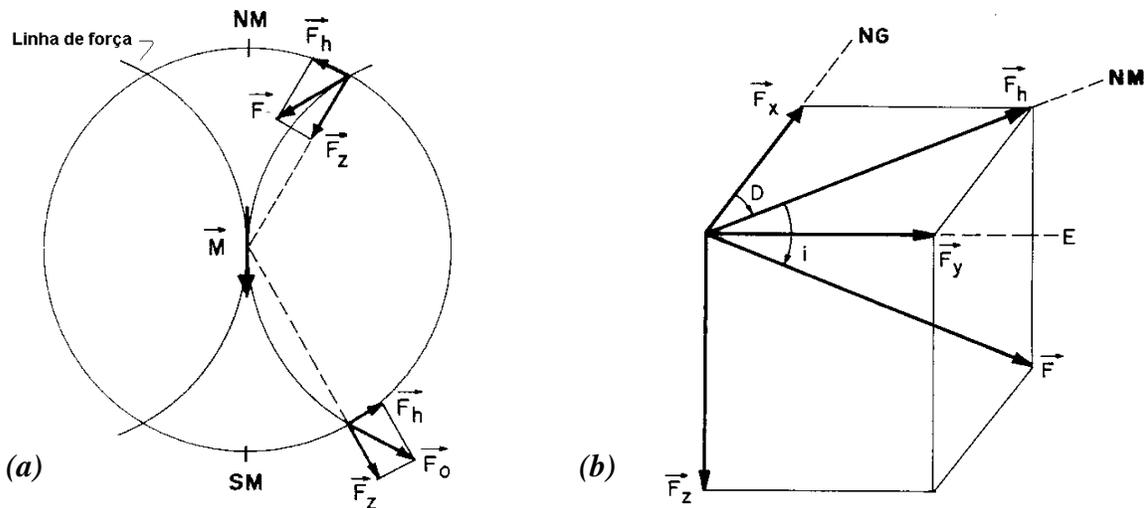
O campo geomagnético tem basicamente três origens diferentes: (i) a primeira, fluxo de correntes elétricas no núcleo líquido da Terra (4000-5000 km), que gera o campo principal; (ii) perturbações elétricas e magnéticas na ionosfera, resultado de partículas que atravessam o espaço, produzindo anomalias pequenas, inferiores a 10 nT (micropulsações), e, ocasionalmente, anomalias muito intensas de centenas a milhares de nT (tempestades magnéticas); e (iii) devido à distribuição não uniforme de minerais ferromagnéticos na crosta terrestre (SILVA, 1986).

O campo magnético da Terra ( $\vec{F}$ ) é um vetor, que pode ser caracterizado pelos seguintes elementos:  $\vec{F}_h$  (componente horizontal),  $\vec{F}_z$  (componente vertical),  $i$  (ângulo de inclinação com o plano horizontal),  $D$  (ângulo de declinação formado entre a componente

horizontal e a direção do norte geográfico),  $\vec{F}_x$  (componente na direção do norte geográfico),  $\vec{F}_y$  (componente na direção do leste geográfico) (Figura 3.2).  $\vec{F}$ ,  $\vec{F}_h$ ,  $\vec{F}_z$  e  $i$  estão contidos num mesmo plano vertical, sendo  $\vec{F}_z$  considerado positivo quando aponta para baixo (latitudes magnéticas norte) e negativo quando aponta para cima (latitudes magnéticas sul) e  $i$  positivo no hemisfério norte e negativo no hemisfério sul. Os pontos onde  $i = \pm 90^\circ$  e  $\vec{F}_x = 0$  são denominados pólos magnéticos, enquanto os pontos onde  $i = 0^\circ$  e  $\vec{F}_y = 0$  definem o equador magnético, que limita as latitudes magnéticas (LUIZ; SILVA, 1995).



**Figura 3.1** – Representação esquemática da variação magnética obtida em uma estação fixa (LUIZ, 2005).



**Figura 3.2** – (a) Representação esquemática do momento de dipolo magnético da Terra e elementos magnéticos, sendo NM é o norte magnético, e SM, o sul magnético; e (b) Detalhe dos elementos magnéticos relacionados ao campo magnético (definidos no texto), sendo NG é o norte geográfico e NM, o norte magnético (LUIZ, 2005).

### 3.3 TIPOS DE MAGNETIZAÇÃO

A principal causa das variações locais medidas no campo magnético se deve a magnetizações de materiais da subsuperfície. Essas magnetizações podem ser de dois tipos: *magnetização permanente*, também conhecida como *remanente* ou *remanescente*, estando diretamente relacionada aos processos que ocorrem na formação ou consolidação do material; e a *magnetização induzida* mencionada no item 3.1.

A *magnetização permanente* consiste basicamente na existência de uma magnetização que atua mesmo na ausência de um campo externo. Essa magnetização é adquirida pelas rochas ao longo de sua história geológica, bem como por materiais cerâmicos<sup>4</sup> durante sua consolidação que envolve altas temperaturas.

Essa magnetização é discriminada de acordo com suas causas em: Magnetização Termo-Remanescente (MTR), Magnetização Remanescente Isotérmica (MRI), Magnetização Remanescente Depositional (ou Detrítica) (MRD), e Magnetização Remanescente Química (MRQ).

A MTR ocorre quando o material é aquecido a uma temperatura superior à temperatura de Curie, temperatura em que os momentos magnéticos dos minerais presentes no material tendem naturalmente a se alinhar com o campo magnético da Terra presente, e sofre posterior resfriamento que grava este campo como uma assinatura permanente (que também pode ser utilizada para datação do material). Essa magnetização é considerada a mais importante, porque é responsável pela maioria das anomalias observadas nos levantamentos magnéticos, sendo muito comum em rochas, artefatos cerâmicos (incluindo uma diversidade de objetos) e em locais onde houve alto aquecimento do solo causado por fogo. Magnetizações fortes e estáveis são criadas mesmo na presença de campos externos fracos (AITKEN, 1974; CALLISTER, 2002).

A MRI é um tipo de magnetização residual, criada pela aplicação de um campo externo e a sua subsequente remoção à temperatura ambiente. Essa magnetização é importante no estudo de descargas elétricas associadas a raios em rochas expostas. A magnetização adquirida neste caso pode

---

<sup>4</sup> O termo cerâmica tem origem na palavra grega *keramikos*, que significa “matéria-prima queimada”, indicando que as propriedades desejáveis deste material são normalmente atingidas através de um processo de tratamento térmico a altas temperaturas conhecido como ignição.

Os materiais cerâmicos são os principais objetos de busca em prospecção arqueológica por caracterizar boa parte dos materiais que compõem vestígios de ocupação humana, devido a sua antiga e vasta aplicação, indo desde o uso doméstico (como fornos, copos, pratos, vasos, jarros,...), até o uso em construções (telhas, vidraças, cimentos, entre outras aplicações).

ser muito alta, mas o efeito não afeta uma área maior que algumas dezenas de metros quadrados (SILVA, 1986).

A MRD é adquirida durante a deposição de partículas magnéticas minúsculas numa direção preferencial sob a ação de um campo externo. Esse tipo de processo é o único que envolve geralmente rotação física da partícula até o alinhamento com o campo externo. Assim, essas partículas minúsculas, além de preservarem a magnetização com maior estabilidade, fazem com que o processo de deposição não seja de caráter turbulento, o que levaria as partículas magnéticas se depositarem de modo aleatório (CALLISTER, 2002; SILVA, 1986).

A MRQ é uma forma de magnetização bastante estável e é adquirida através da formação de minerais magnéticos a partir de alterações químicas a temperaturas inferiores a temperatura Curie. Esse processo é o mais importante na formação de magnetização em rochas sedimentares e metamórficas (SILVA, 1986).

Em prospecção magnética os materiais constituídos de minerais ferromagnéticos, ferrimagnéticos e antiferromagnéticos têm maior importância, por apresentarem maior susceptibilidade magnética, e ao contrário dos materiais diamagnéticos e paramagnéticos, serem capazes de produzir magnetismo, mesmo na ausência de um campo indutor.

### 3.4 INSTRUMENTOS DE MEDIDAS MAGNÉTICAS

Na prospecção magnética podem ser realizadas medidas das intensidades do campo total da Terra, ou de qualquer de suas componentes, além de medidas de gradientes do campo (variações horizontais ou verticais do campo). Os instrumentos usados para medir o campo total ou as suas componentes são chamados de magnetômetros, cujos principais tipos são: (i) *flux-gate* (mede qualquer componente, inclusive o campo total), (ii) precessão de prótons (mede apenas o campo total em módulo), e (iii) bombeamento ótico (mede em alta precisão o módulo do campo total e pode ser empregado para medir o gradiente do campo através de dois sensores separados). Os instrumentos empregados nas medidas de gradiente recebem a denominação de gradiômetros. Uma descrição completa desses equipamentos pode ser encontrada em Luiz e Silva (1995), Dobrin e Savit (1988), Silva (1986), e Marek (1984).

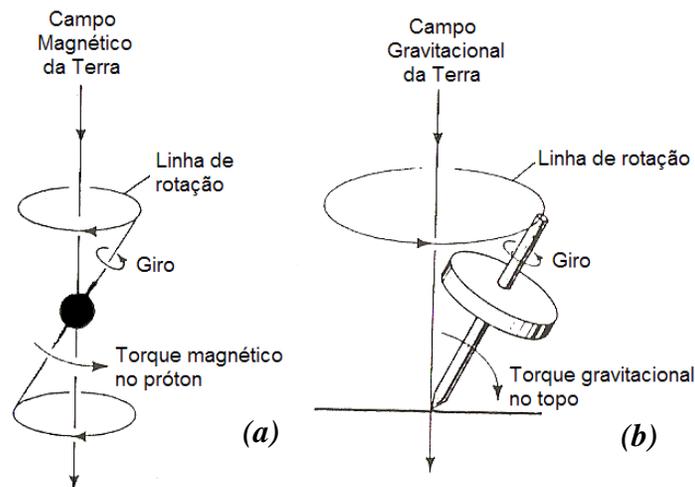
O *Magnetômetro de Precessão de Prótons*, equipamento usado no levantamento realizado nesta pesquisa, consiste basicamente de uma substância contendo uma fonte de prótons

(água, metanol, álcool etílico, querosene, etc.) que funciona como um sensor e um contador eletrônico. Essa substância é submetida a um campo magnético artificial intenso, mais forte que o campo magnético terrestre (50 a 100 oersted) e perpendicular ao campo que se deseja medir. Os prótons são polarizados segundo a resultante dos dois campos, virtualmente na direção do campo externo. Quando o campo externo artificial é desligado, os prótons tendem naturalmente a se orientar com o campo magnético terrestre ( $\vec{F}$ ) que está sendo medido.

O alinhamento é incentivado através de um torque que tenderá a girar o próton, alinhando o seu momento magnético ao campo  $\vec{F}$ . Devido ao próton ter um momento de *spin* associado ao seu movimento de rotação, ele descreve um movimento de precessão resultante da conservação do momento angular, parecido ao movimento de um pião sob a influência da gravidade (Figura 3.3). Isso ocorre com uma frequência de precessão, conhecida como *frequência de precessão de Larmor*, expressa por:

$$\omega = \gamma_p F_0, \quad (3.12)$$

sendo  $\gamma_p = 26.751,3$  radianos/(segundo.oersted) a razão giromagnética do próton e  $F_0$ , a intensidade do campo magnético terrestre total, que deve ser determinada medindo-se a frequência de precessão dos prótons no contador eletrônico.



**Figura 3.3** – Representação dos movimentos de rotação: (a) do próton sob o efeito de um campo magnético vertical, e (b) de um pião sob o efeito da gravidade (AITKEN, 1974).

Esse tipo de magnetômetro não necessita de orientação, o que o torna de fácil operação tanto em levantamentos terrestres, quanto aéreos. A precisão desse equipamento é de 1 nT, dentro de uma faixa de medidas de 20.000 a 100.000 nT, com medidas realizadas geralmente na presença de

gradientes magnéticos de até 5.000 nT/m. A desvantagem desse magnetômetro consiste em medir apenas o campo total em módulo, e não registrar continuamente as medidas, requerendo alguns segundos entre as leituras (SILVA, 1986).

Devido à grande sensibilidade dos magnetômetros ( $< 10$  nT) em levantamentos terrestres, as estações não devem ser posicionadas próximas de linhas férreas, cercas de arame, tubulações de ferro, linhas elétricas, e etc. O operador também deve estar livres de objetos que contenha ferro, tais como fivelas de cintos, relógios, chaves, bússolas, óculos com armação metálica, entre outros.

### 3.5 CORREÇÕES DE MEDIDAS

Como na prospecção magnética o objetivo é identificar focos de anomalias em subsuperfície, toda e qualquer fonte de ruído deve ser eliminada. Os primeiros tratamentos de dados obtidos durante um levantamento magnético são as correções de variações devidas a causas não geológicas, como a variação diurna, o efeito do desnível topográfico e o efeito da latitude.

A mais relevante dessas correções é a da variação diurna, tendo em vista que a maioria dos levantamentos é executada no período de alguns dias. A correção dessa variação elimina as perturbações externas e diárias do campo geomagnético.

Para a correção da variação diurna é necessário fazer medidas em uma estação fixa, no mesmo período em que são realizadas as medidas na área desejada. No caso de haver mais de um magnetômetro, um deve ficar estacionado numa estação base, medindo continuamente a cada 5 a 15 minutos, enquanto o outro é utilizado para a prospecção. Na falta de um segundo magnetômetro, dependendo da extensão e tipo de terreno, a estação base deve ser medida a cada intervalo de medidas, que pode variar de 15 minutos a 2 horas, ou, no máximo 3 horas. De posse dos valores medidos na estação base, a correção é realizada somando-se ou subtraindo-se os valores de variações observadas nesta estação fixa, aos dados adquiridos no levantamento.

A correção topográfica é realizada através de cartas representando os elementos do campo geomagnético e a correção de latitude é feita subtraindo-se das medidas, o valor do campo normal da Terra, representado pelo IGRF<sup>5</sup> (LUIZ; SILVA, 1983). No caso de levantamentos numa

---

<sup>5</sup> *International Geomagnetic Reference Field*. Representação teórica do campo magnético da Terra (campo principal) em um dado intervalo de tempo. O IGRF é gerado através de equações cujos coeficientes são definidos a partir de medidas realizadas sobre vários pontos do globo.

área relativamente pequena e com suaves variações topográficas, essas correções podem ser desprezadas.

### 3.6 PROCESSAMENTO DE DADOS

Antes da interpretação final, os dados provenientes de levantamentos magnéticos podem ser tratados com o objetivo de melhorar a visualização de anomalias, eliminar efeitos geológicos indesejáveis, ou retirar ruídos e interferências de fonte rasas e profundas (LUIZ; SILVA, 1983). Entre os processamentos que podem ser realizados a partir dos dados magnéticos estão:

Filtro de Redução às latitudes arbitrárias: Esse filtro consiste num ajuste mais geral dos vetores de magnetização e de direção de medidas às latitudes de interesse. Os filtros de redução ao pólo e redução ao equador são casos particulares desse filtro (SILVA, 1986).

Redução ao pólo: As anomalias magnéticas não somente dependem da forma do material em subsuperfície, mas também da susceptibilidade e da direção do campo local. O processo de *redução ao pólo* transforma a anomalia obtida em qualquer ponto do globo, numa anomalia observada no pólo norte magnético, onde a magnetização e o campo regional são verticais. Assim, se o corpo é simétrico, produzirá uma anomalia simétrica no pólo magnético. A redução ao pólo é o meio para remover as assimetrias causadas por uma magnetização não vertical ou campo regional, produzindo um conjunto simples de anomalias a interpretar, com o valor máximo (pico) sobre o centro da fonte de anomalia. Esse processamento faz uso de algoritmos de convolução no domínio do espaço ou algoritmos no domínio de Fourier (DOBRIN; SAVIT, 1988).

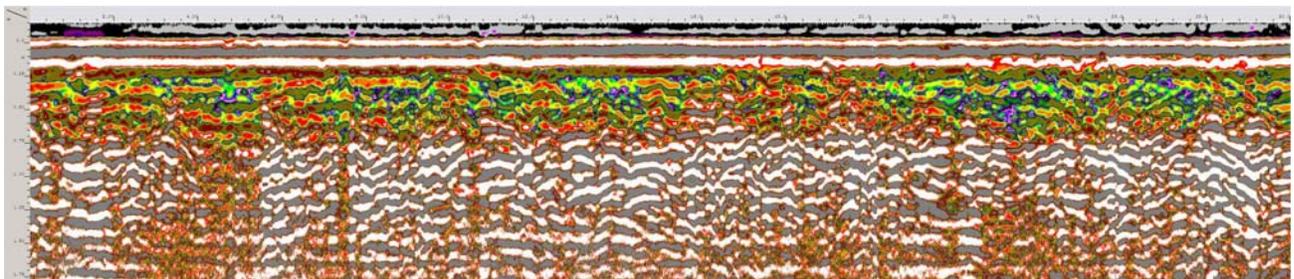
Filtro de Redução ao Equador: Esse filtro realça o campo produzido por estruturas lineares, como diques e falhas, que tem a direção aproximadamente paralela ao campo magnético. O Filtro consiste numa rotação do vetor tal que o campo geomagnético e as magnetizações (agora horizontais) façam um ângulo normal com o norte geográfico e estejam perpendiculares à maior superfície do corpo, onde a indução é máxima e o campo tem a maior intensidade (SILVA, 1986).

Filtros de derivadas verticais e horizontais: Os filtros de derivadas servem para realçar anomalias causadas por fontes mais profundas. Os filtros de derivadas verticais usam funções harmônicas dadas por  $(u^2 + v^2)^{n/2}$ , onde  $n$  é a ordem da derivada, não dependendo da função em particular, mas somente da condição de que a função obedeça à equação de Laplace. Os filtros de derivadas horizontais são obtidos a partir da propriedade da Transformada de Fourier da derivada de uma função e não depende dessa função, desde que satisfaça as condições de Dirichlet. (SILVA, 1986).

## 4 MÉTODO GEORADAR

O método GPR consiste na emissão de um pulso de energia eletromagnética (e.m.) de alta frequência no subsolo. O pulso propaga-se no ar à velocidade da luz (0,3 m/ns) e no terreno a uma velocidade inferior. A forma do pulso depende de fatores que vão desde o equipamento até efeitos externos, como a acoplagem das antenas ao solo. O sinal emitido consiste numa ou em várias repetições do mesmo pulso, aumentando a qualidade do sinal (razão sinal/ruído). Quando esse pulso atinge uma superfície onde há contrastes de propriedades eletromagnéticas no subsolo ocorrem reflexões, refrações e difrações. Assim, parte da energia do pulso retorna a superfície, sendo detectada, e outra parte se propaga na subsuperfície.

Em cada posição de aquisição no perfil é associado um traço, ou *scan*, que representa a aquisição do sinal no tempo. Assim, o registro final decorrente de um pulso de radar é uma curva de amplitude versus tempo de chegada, com uma escala de tempo da ordem de nanosegundos (ns), chamada de *scan*. A representação gráfica dos diferentes *scans* obtidos em cada ponto durante o levantamento, um paralelo ao outro, forma uma imagem dos refletores no subsolo. O conjunto ordenado desses vários *scans* constitui um **radargrama** (Figura 4.1).



**Figura 4.1** – Exemplo de um **radargrama**.

### 4.1 PRINCÍPIOS DO MÉTODO

As transferências de energia e.m. para a subsuperfície podem ocorrer através de difusão ou propagação de uma onda. O primeiro tipo ocorre em situações onde são usadas baixas frequências, < 1 MHz, faixa da maioria dos métodos eletromagnéticos, e onde as correntes de deslocamento podem ser desprezadas e somente as correntes de condução são consideradas. O segundo tipo ocorre em frequências elevadas, 1-1.000 MHz, onde tanto as correntes de condução quanto as correntes de deslocamento são respeitadas. Portanto, como o GPR atua em faixas de alta

frequência, os fundamentos desse método encontram-se na teoria de propagação das ondas eletromagnéticas.

Partindo das leis de Maxwell, que constituem a base da teoria eletromagnética, e supondo que os campos elétrico ( $\vec{E}$ ) e o magnético ( $\vec{H}$ ) variam harmonicamente com o tempo na forma  $e^{i\omega t}$ , e que  $\partial/\partial t = i\omega$ , sendo  $\omega = 2\pi f$ , obtém-se a seguinte equação da onda para o campo elétrico:

$$\nabla^2 \vec{E} + k^2 \vec{E} = 0, \quad (4.1)$$

em que  $k$  é o número de onda, um termo que reúne as propriedades eletromagnéticas da rocha (condutividade elétrica  $\sigma$ , permissividade elétrica  $\varepsilon$ , e permeabilidade magnética  $\mu$ ), definido como:

$$k^2 = \omega^2 \mu \varepsilon - i\omega \mu \sigma. \quad (4.2)$$

Em altas frequências, os dois termos de  $k^2$  devem ser respeitados. Na mesma faixa de frequência é usual reescrever o número de onda  $k$  como:  $k = \alpha + i\beta$ , sendo  $\alpha$  o termo ligado à atenuação da onda no meio e  $\beta$ , à constante de propagação.

A solução geral para a equação 4.1 é dada por:  $E_z = E_0 e^{-\alpha z} e^{i(\omega t - \beta z)}$ , em que  $E_0$  representa a intensidade do campo elétrico durante a transmissão,  $z$ , a profundidade e  $E_z$ , a intensidade resultante no meio.

O que caracteriza a propagação de uma onda num determinado meio são sua velocidade e sua atenuação nesse meio. A velocidade das ondas e.m., em qualquer meio, depende da velocidade da luz no vácuo ( $c$ ), da constante dielétrica ou permissividade elétrica relativa ( $\varepsilon_r$ ) e da permeabilidade magnética relativa ( $\mu_r = 1$ , para materiais não magnéticos). Assim, a velocidade de propagação de uma onda e.m. num dado material ( $v_m$ ) é dada por:

$$v_m = \frac{c}{\sqrt{\left(\frac{\varepsilon_r \mu_r}{2}\right) \left[ \left(\sqrt{1 + P^2}\right) + 1 \right]}}. \quad (4.3)$$

A variável  $P$ , que se designa por fator de perda (*loss factor*), é dada por:  $P = \sigma / \omega \varepsilon$ , com  $\varepsilon = \varepsilon_r \varepsilon_0$ , sendo  $\varepsilon_0$  a permissividade do vácuo ( $8.84 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ ) (REYNOLDS, 1997). Verifica-se a partir desse fator que a permissividade exerce grande influência na velocidade de propagação da onda, pois à medida que o valor da permissividade aumenta, a velocidade diminui.

Em materiais não magnéticos com baixas perdas e nas frequências usadas no GPR ( $\sigma^2 \ll \omega^2 \epsilon^2$ ), podemos considerar  $P \approx 0$ . Neste caso, a velocidade será:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}. \quad (4.4)$$

Outro fator importante, a atenuação da onda, é dado pela expressão:

$$\alpha = \omega \sqrt{\left(\frac{\mu\epsilon}{2}\right) \left(\sqrt{1 + \frac{\sigma^2}{\omega^2 \epsilon^2}} - 1\right)}. \quad (4.5)$$

A permeabilidade ( $\mu$ ) exerce influência tanto na atenuação (4.5), quanto na velocidade (4.3), assim quanto maior for o seu valor, maior será a atenuação e menor será a velocidade. Na prática essa influência é mínima, salvo em situações onde haja grandes concentrações de magnetita na subsuperfície (LUIZ, 1998).

Na expressão (4.5) podemos observar a relação entre a condutividade do terreno e a atenuação. Como esses dois parâmetros são diretamente proporcionais, a atenuação será maior quanto maior for a condutividade. Assim, materiais muito condutivos, como camadas argilosas, podem facilmente impedir a penetração das ondas. Como o sucesso do uso do GPR baseia-se na variabilidade do solo ao permitir a transmissão de ondas eletromagnéticas, considera-se, na prática, que o método produz respostas satisfatórias em ambientes geológicos com resistividade maior ou igual a  $500 \Omega.m$ , condutividade menor ou igual a  $2 \times 10^{-3} S/m$  (LUIZ, 1998). A Tabela 4.1 mostra valores de condutividade para diversos tipos de materiais.

A proporção de energia refletida determinada pelo contraste na velocidade da onda e.m. do GPR e, principalmente, da constante dielétrica dos meios adjacentes é dada pelo coeficiente de reflexão ( $R$ ), representado pela expressão:

$$R = \frac{\sqrt{\epsilon_2} - \sqrt{\epsilon_1}}{\sqrt{\epsilon_2} + \sqrt{\epsilon_1}}, \quad (4.6)$$

ou ainda

$$R = \frac{v_1 - v_2}{v_1 + v_2}, \quad (4.7)$$

em que  $\varepsilon_1$  e  $\varepsilon_2$  representam as constantes dielétricas das camadas do meio superior e inferior respectivamente, assim como  $v_1$  e  $v_2$  são as respectivas velocidades de propagação do pulso nas mesmas. Em todos os casos a magnitude de  $R$  varia de  $\pm 1$ .

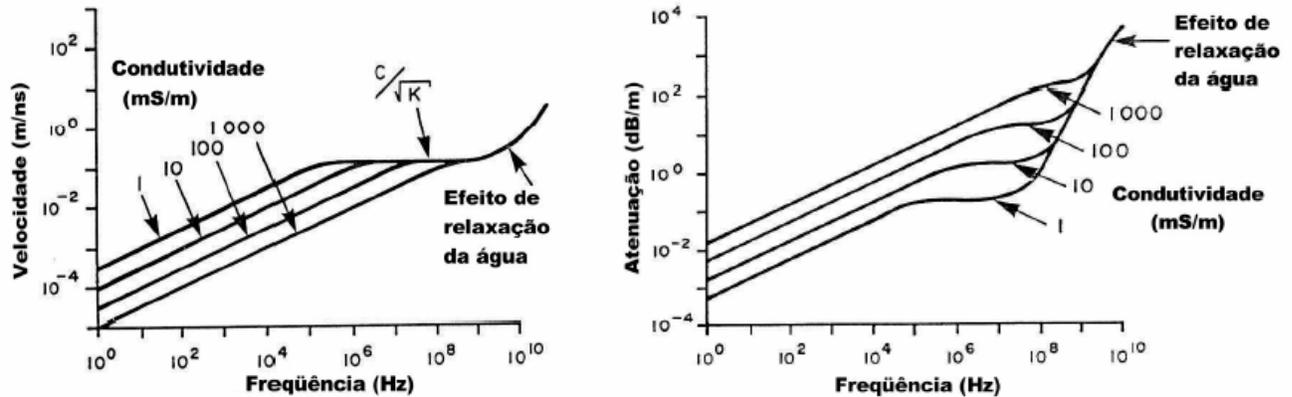
**Tabela 4.1** – Constante dielétrica ( $\varepsilon_r$ ), condutividade elétrica ( $\sigma$ ) e velocidade de propagação do pulso de radar para materiais comuns nas frequências utilizadas pelo GPR (adaptada de Borges, 2002).

<i>Material</i>	$\varepsilon_r$	$\sigma$ (mS/m)	$v$ (m/ns)	<i>Material</i>	$\varepsilon_r$	$\sigma$ (mS/m)	$v$ (m/ns)
<i>Ar</i>	1	0	0,3	<i>Água destilada</i>	81	0,01	0,03
<i>Areia seca e cascalho</i>	2-6	0,01	0,1-0,2	<i>Água fresca</i>	81	0,5	0,03
<i>Argila seca</i>	5	2	0,1	<i>Água do mar</i>	81	3000	0,03
<i>Folhelho e siltito seco</i>	5	1	0,1	<i>Areia saturada</i>	20-30	0,1-1	0,05-0,07
<i>Calcário seco</i>	4	0,5	0,15	<i>Silte saturado</i>	10	1-10	0,09
<i>Solo arenoso seco</i>	2,6	0,14	0,18	<i>Argila saturada</i>	40	1000	0,04
<i>Solo argiloso seco</i>	2,4	0,27	0,19	<i>Solo arenoso saturado</i>	25	6,9	0,06
<i>Sal seco</i>	5-6	0,01-1	0,1-0,12	<i>Solo argiloso saturado</i>	15	50	0,04
<i>Granito seco</i>	5	0,01	0,1	<i>Arenito saturado</i>	20-30	40	0,05-0,07
<i>Basalto seco</i>	6	1	0,1	<i>Siltito saturado</i>	30	100	0,05
<i>Diabásio seco</i>	7	10	0,1	<i>Folhelho saturado</i>	7	100	0,1
<i>Ferro</i>	1	$10^9$	0,3	<i>Calcário saturado</i>	8	2	0,1
<i>Aço</i>	1	$\infty$	0,3	<i>Granito saturado</i>	7	1	0,1
<i>PVC</i>	8	0	0,1-0,17	<i>Basalto saturado</i>	8	10	0,1
<i>Asfalto</i>	3-5	0	0,1-0,12	<i>Diabásio saturado</i>	8	100	0,1
<i>Concreto seco</i>	5,5	0	0,13	<i>Concreto saturado</i>	12,5	0	0,08

Na equação 4.6 observamos a relação entre o coeficiente de reflexão ( $R$ ) e a constante dielétrica dos meios em que a onda interage. A Tabela 4.1, mostra que o valor da constante dielétrica da água tem ordem de grandeza dez vezes maior do que a maioria dos materiais geológicos secos. A relação (4.6), por sua vez, mostra que quanto maior for o contraste entre as constantes dielétricas relativas das camadas, maior será a quantidade de energia refletida. A resposta do GPR, portanto, é extremamente sensível ao conteúdo de água no meio. Materiais tais como argilas saturadas de água e a água salgada absorvem de tal maneira as ondas, que são virtualmente opacos ao radar. O lençol freático é um grande refletor e pode, inclusive, prejudicar a penetração do sinal, uma vez que grande parte da energia é refletida de volta à superfície.

O outro fator significativo sobre a influência da água na penetração do sinal de radar no subsolo é o fenômeno de relaxação molecular da água, que ocorre próximo à frequência de 10 GHz,

mas cujo efeito se faz notar a frequências menores (Figura 4.2). Esse fenômeno governa a diminuição da penetração do sinal em função da frequência, e limita a faixa de frequência de operação do radar até cerca de 1 GHz (BOTELHO, 2006). As propriedades eletromagnéticas dos materiais estão, portanto, fortemente relacionadas não apenas com a sua composição, mas principalmente com o seu conteúdo em água.



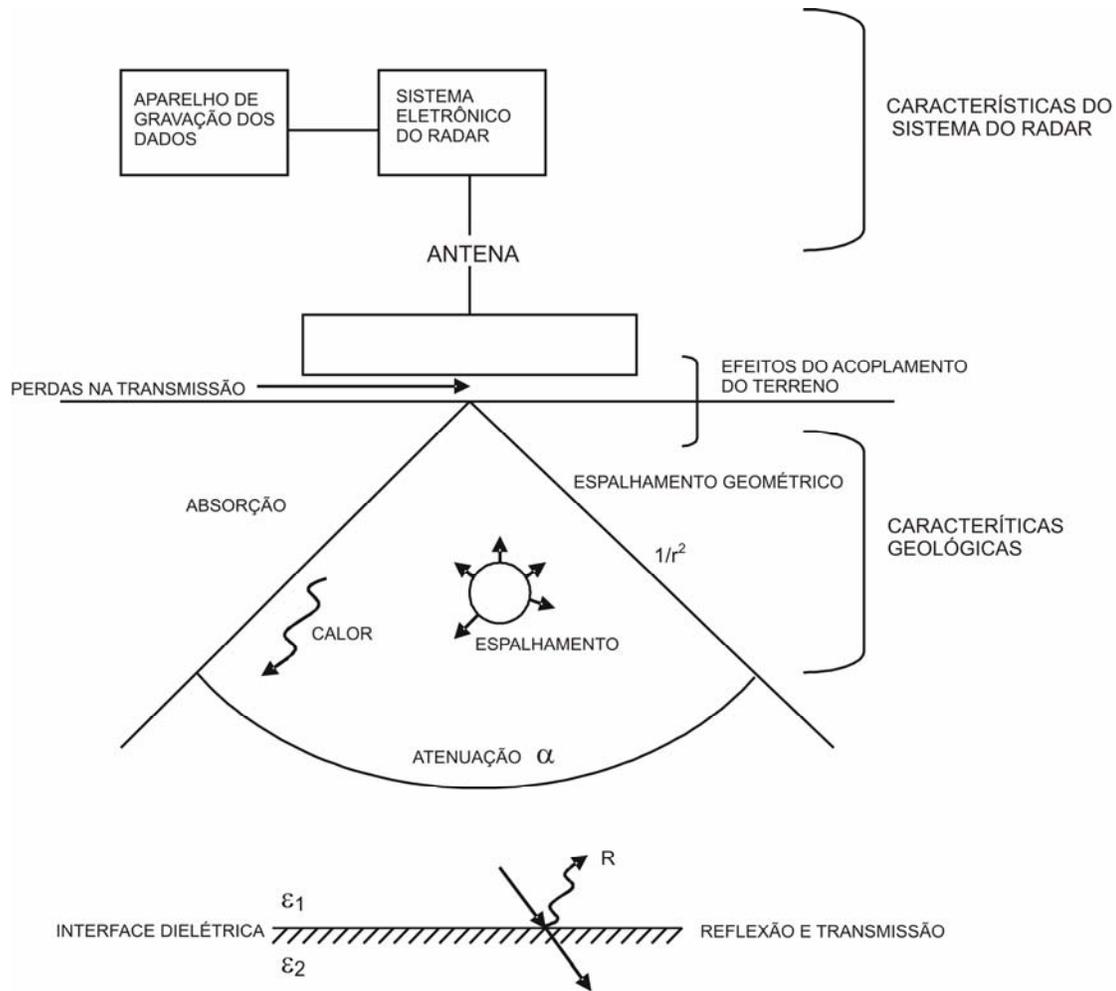
**Figura 4.2** – (a) Relação entre velocidade e frequência a diferentes condutividades, e (b) relação entre atenuação e frequência a diferentes condutividades (adaptada de Davis e Anan, 1989).

Outro fenômeno importante que se processa durante a propagação de ondas é o seu espalhamento. Isso normalmente ocorre quando existem refletores de dimensões próximas ao do comprimento de onda. Neste fenômeno, a energia do pulso espalha (difrata) em todas as direções. Com as ondas de GPR este fenômeno tem sido detectado em Radargramas sempre que em subsuperfície há tubulações metálicas ou de material plástico, artefatos arqueológicos de pequenas dimensões, alicerces de construções, paredes e outros.

Para determinar o alcance do radar têm que ser levados em conta não só fatores instrumentais, mas os fatores relacionados com a atenuação do sinal devidos a perdas provocadas por difusão e abertura angular do feixe de radar. A mesma quantidade de energia deve espalhar-se por uma superfície que é proporcional a  $1/r^2$ , em que  $r$  representa a distância percorrida pela onda (Figura 4.3).

O pulso de radar é normalmente descrito como um sinal senoidal limitado no tempo. Quanto maior a duração deste sinal, mais estreita será a banda de frequência do pulso em torno da frequência central do sinal senoidal,  $\Delta t = 1/\Delta f$ . Os sistemas GPR atualmente em uso são projetados para que a banda de frequência ( $\Delta f$ ) seja igual à frequência central ( $f$ ). Desta forma, a duração do

pulso é o inverso da frequência central. A dimensão do pulso no espaço está ligada também a duração do pulso,  $\Delta x = v\Delta t$  (sendo  $v$  a velocidade da onda e.m. no meio).



**Figura 4.3** – Esquema de perdas do GPR (adaptada de Reynolds, 1997).

A resolução, ou seja, a capacidade de discriminar sinais provenientes de refletores próximos é diretamente proporcional à frequência (e inversamente proporcional ao comprimento de onda,  $\lambda = v/f$ ). Altas condutividades e altas frequências contribuem para uma maior absorção da energia da onda através do meio, resultando em uma menor penetração desta, porém maior resolução.

Na Tabela 4.2 são apresentadas profundidades de penetração normalmente encontradas em alguns materiais, calculadas para valores médios de condutividades desses materiais.

**Tabela 4.2** – Áreas de aplicação do GPR, frequência central recomendada das antenas para a aplicação e estimativa da profundidade de penetração correspondente (adaptada de GSSI, 2006).

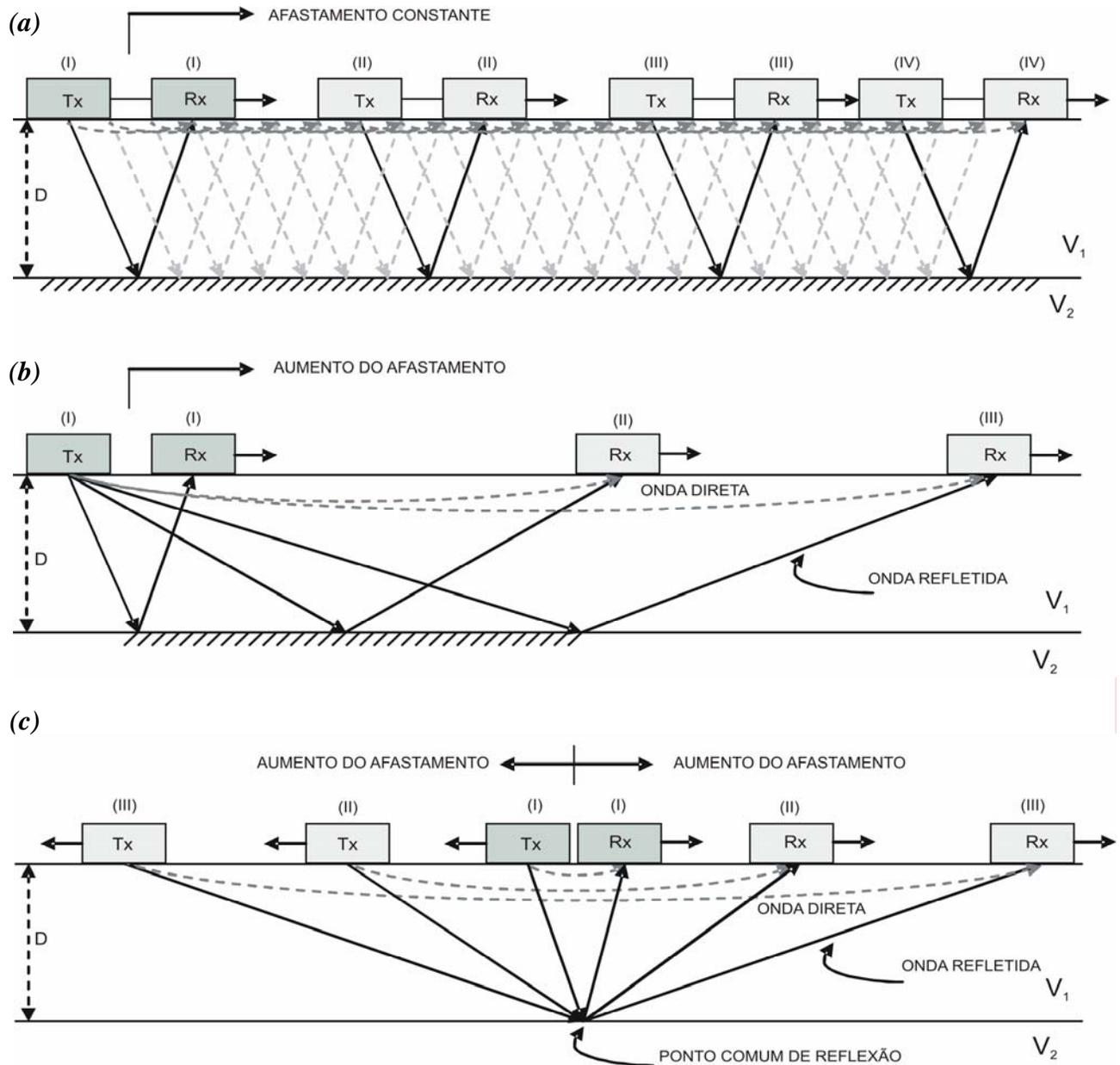
<i>Área de aplicação</i>	<i>Frequência Central (MHz)</i>	<i>Profundidade de Penetração (m)</i>
<i>Antenas com ligação à terra (Ground-Couplet Antennas)</i>		
<i>Engenharia - Inspeção em concreto</i>	<i>1 500</i>	<i>1</i>
<i>Engenharia - Identificação de vazios em concreto</i>	<i>900</i>	<i>2</i>
<i>Arqueologia, Engenharia e Meio Ambiente</i>	<i>400</i>	<i>4</i>
<i>Arqueologia, Geologia, Engenharia e Meio Ambiente</i>	<i>270</i>	<i>6</i>
<i>Arqueologia, Geologia, Engenharia e Meio Ambiente</i>	<i>200</i>	<i>7</i>
<i>Geologia, Engenharia e Mineração</i>	<i>100</i>	<i>20</i>
<i>Geologia</i>	<i>16-80</i>	<i>25-35</i>
<i>Antenas de transmissão pelo ar (Air-Launched Antennas)</i>		
<i>Engenharia - Inspeção de Pavimentação de estradas</i>	<i>2 000</i>	<i>até 0,75</i>
<i>Engenharia - Inspeção de Pavimentação de estradas</i>	<i>1 000</i>	<i>1</i>
<i>Geologia</i>	<i>40</i>	<i>35</i>
<i>Geologia</i>	<i>70</i>	<i>25</i>
<i>Antenas para inspeção de Poços (Borehole Antennas)</i>		
<i>Poços</i>	<i>1 000</i>	<i>1</i>
<i>Poços</i>	<i>100</i>	<i>20</i>

## 4.2 MODOS DE AQUISIÇÃO DE DADOS

Um equipamento de GPR é constituído basicamente por um gerador de sinal e uma antena que realiza as funções de emissão e recepção (modo mono-estático) ou um par de antenas com essas funções exercidas separadamente (modo bi-estático). Nesta última configuração pode-se fazer variar a distância entre as duas antenas, permitindo assim medições de reflexão de grande ângulo e mesmo refração. O sinal obtido pode ser visualizado e gravado em sistemas próprios, sendo o mais comum o sistema acoplado a um microcomputador. Desta forma, é possível a visualização das reflexões no campo durante as medidas e controle dos dados adquiridos.

As principais técnicas de aquisição, ou modos de operação, do GPR podem ser discriminadas em três tipos: (i) perfis de reflexão com afastamento constante (Figura 4.4a), em que se utiliza uma antena mono-estática ou então um par de antenas bi-estáticas separadas por uma distância fixa (*offset* comum); (ii) sondagens de velocidade (utilizadas para estimar a velocidade das ondas de radar no solo) que incluem a técnica WARR (*wide angle reflection and refraction*) com a

qual uma antena é mantida fixa enquanto a outra é deslocada (Figura 4.4b), e a técnica CMP (*Common Mid Point*), segundo a qual ambas as antenas são deslocadas simetricamente em relação a um ponto central (Figura 4.4c); e (iii) os modos de transiluminação ou tomografia, que consistem em colocar as antenas transmissora e receptora em dois poços adjacentes, cada uma em um poço.



**Figura 4.4** – Modos de operação do GPR: (a) *off-set* comum, (b) WARR e (c) CMP (adaptada de REYNOLDS, 1997).

### 4.3 PROCESSAMENTO DE DADOS

A aquisição e o processamento de registros de GPR lidam com informações discretas que variam no tempo e no espaço. Os dados adquiridos no campo raramente revelam toda a informação pretendida. Por isso, após a aquisição dos registros, é comum recorrer a procedimentos físico-matemáticos denominados de processamento, que se ajustam caso a caso. É possível selecionar e separar a informação disponível, com o objetivo de melhorar o registro ou de obter mais informações a partir dele. Algumas dessas etapas estão descritas a seguir:

Pré-processamento: Etapa cujo objetivo é obter uma idéia geral da qualidade dos dados, fazendo uso de uma análise visual. Também é nesta etapa que é feita a edição do radargrama, sendo possível corrigir erros do cabeçalho, melhorar a apresentação, mudar o contraste dos scans, acrescentar informações sobre a topografia do terreno e, se necessário, retirar scans de má qualidade, devido a alguma falha durante a aquisição. Também nesta fase é feita a redistribuição dos scans de modo a se ter uma escala horizontal uniforme.

Ganhos: Como o sinal é rapidamente atenuado no subsolo, para uma melhor visualização da informação, é necessário aplicar algum tipo de função de ganho, para realçar as amplitudes correspondentes aos refletores em maiores profundidades.

Deconvolução: Esse processo comprime o pulso de radar, aumentando com isso a resolução temporal do sinal. A eficácia desta etapa de processamento em dados de GPR é um assunto controverso entre pesquisadores da área (POPINI, 2001).

Migração: Nesta etapa, os dados registrados e processados no domínio  $(x, t)$ , são transferidos para o domínio  $(x, z)$ . Os refletores são posicionados no modelo de subsuperfície e as difrações são colapsadas em um ponto. Assim, a migração de dados de radar posiciona os refletores quanto à sua posição, mergulho e profundidade (POPINI, 2001).

Filtros: Existe uma grande variedade de filtros que podem ser aplicados aos dados de GPR tanto no domínio do tempo, quanto no domínio da frequência. O filtro temporal é uma importante ferramenta na análise dos registros de GPR, pois permite remover frequências desnecessárias através dos filtros *passa-alta* e *passa-baixa*. Da mesma forma que os filtros temporais, os filtros que trabalham no domínio da frequência, como *passa-baixa* e *média-móvel*, servem para reter apenas comprimentos de onda mais longos, enfatizando a continuidade lateral dos refletores. Ainda no domínio da frequência, os filtros *passa-alta*, do tipo “remoção de *background*”, realçam os eventos localizados, como refletores pontuais ou inclinados.

#### 4.4 APLICAÇÕES

De acordo com Botelho (2006), o primeiro conceito teórico sobre o uso de ondas e.m. aplicadas à detecção de objetos soterrados é atribuído a Hulsmeyer numa patente alemã de 1904. Seis anos depois, em 1910, uma nova patente alemã é publicada por Leimback & Lowy com a descrição do uso de sinais e.m. contínuos na localização de artefatos soterrados. Só em 1926, foi registrada outra patente, também alemã, de Hülsenbeck, descrevendo pela primeira vez o uso de radar de pulsos para a localização de estruturas soterradas.

Os primeiros trabalhos com a aplicação do GPR executados com sucesso, que se tem registro, foram realizados na Áustria nesse mesmo ano, 1926, e tinham como objetivo o mapeamento de geleiras. Posteriormente, na década de 1950, o GPR foi aplicado na investigação da penetração de ondas e.m. no gelo. E em meados de 60, o mesmo sistema usado com sucesso em 1926 foi adaptado para estudo na superfície lunar durante o projeto Apolo (BOTELHO, 2006).

Até o início da década de 70, os equipamentos GPR eram idealizados e montados pelos próprios usuários. Essa realidade mudou apenas a partir de 1972 com a criação da *Geophysical Survey System Inc.* (GSSI) por Rex Morey e Art Drake, iniciando a produção do aparelho em série e comercializando-o (BORGES, 2002).

Com a evolução e o desenvolvimento de melhorias no aparelho na década de 80, o seu uso tornou-se bastante popular, surgindo novas aplicações em diversas áreas como: na Arqueologia, na Engenharia, na Geologia, em Meio-ambiente e até em Criminalística Forense.

As aplicações mais frequentes na engenharia são, por exemplo, na detecção de vazios em estruturas de concreto e na avaliação de espessura das várias camadas constituintes dos pavimentos de estradas. Na geologia sua aplicação é vasta, indo desde a detecção de cavidades naturais, prospecção mineral, até o mapeamento da estratigrafia do solo, entre diversas outras. Em áreas ligadas ao meio ambiente sua aplicação mais comum está na detecção de plumas de contaminação e cunhas salinas. Em criminalística forense está mais ligada à busca de corpos e objetos enterrados. E na Arqueologia, o radar é usado na detecção de níveis de ocupação antrópica, na busca de estruturas soterradas e de um modo geral, na definição de zonas de potencial arqueológico (REYNOLDS, 1997).

A Tabela 4.2 apresenta um sumário das aplicações mais comuns do GPR e sua respectiva frequência central recomendada para a antena.

## 5 AQUISIÇÃO DE DADOS NO MURUTUCU

Tendo como objetivo encontrar traços ou concentração de fragmentos que constituem vestígios de ocupação, e uma possível localização de alicerces ou qualquer outro resquício da senzala, foram realizadas pesquisas bibliográficas sobre a área de estudo, em busca de informações sobre a trajetória histórica do local e sobre outras pesquisas realizadas na área.

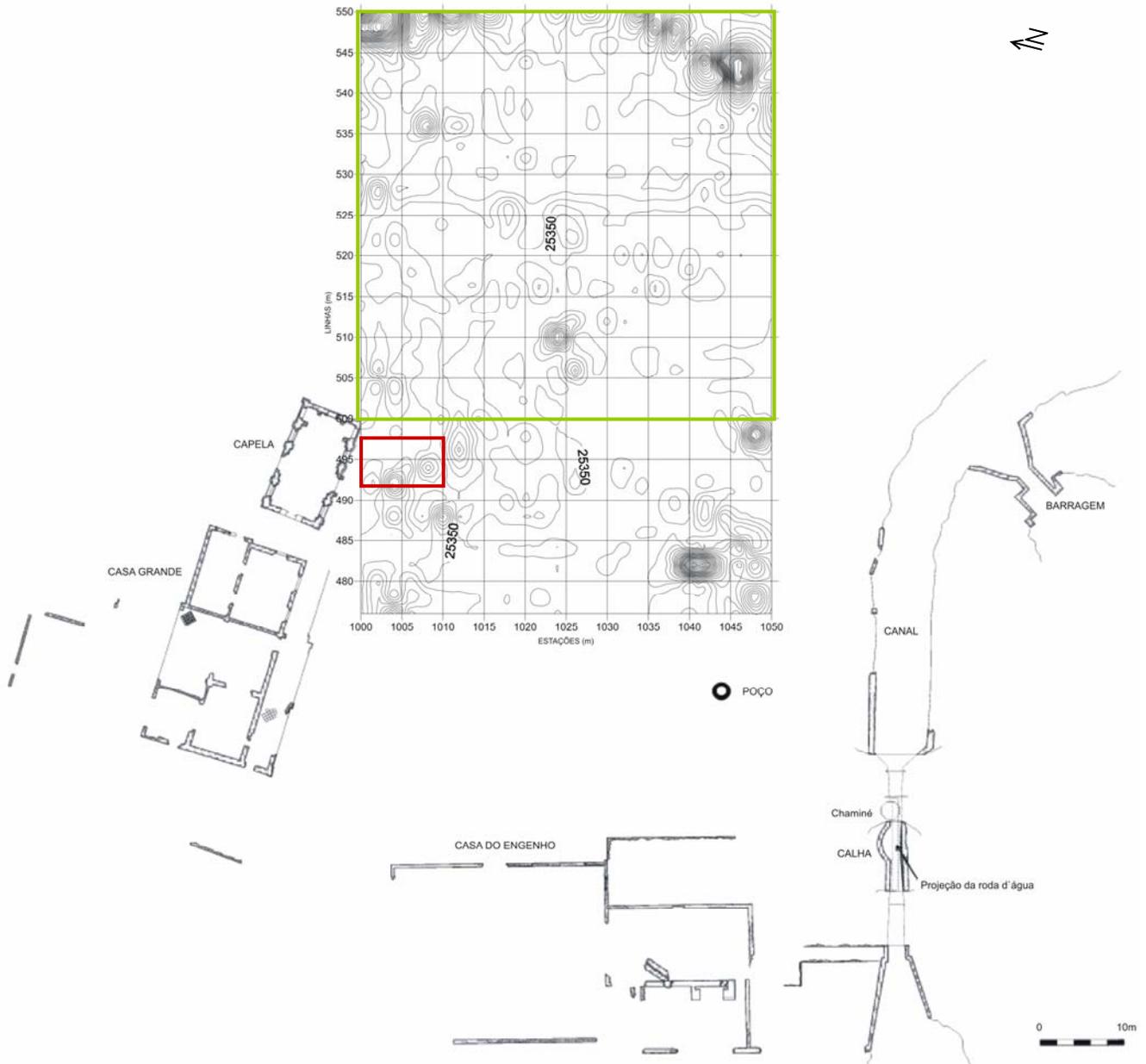
Como já foi mencionado, entre as intervenções arqueológicas já realizadas no local, estão: as escavações feitas em 1986 pela arqueóloga Margarida Andreatta (no interior da Capela e Casa Grande); outras escavações em caráter de salvamento arqueológico realizadas em 1996 e 1997; e um levantamento magnético seguido de escavação em 2000. (MARQUES, 2003, 2004).

O levantamento magnético realizado em 2000 foi feito pelo geólogo João Barradas. Nesse levantamento foram feitas medidas do campo magnético total, cobrindo uma área em campo aberto, limitada ao norte pelas ruínas da Capela, ao oeste pela Casa do Engenho, e ao sul pelo canal de adução e pela Calha. Essas medidas foram realizadas ao longo de linhas orientadas na direção aproximada Norte-Sul. Como resultado desse levantamento, uma pequena região de 2 m × 2 m, situada próxima à estação 1030 da linha 490 do mapa magnético (Figura 5.1), foi escavada evidenciando diversos fragmentos de materiais construtivos e faiança (MARQUES, 2004).

Em conversa com o arqueólogo Fernando Marques, houve a indicação da área a ser prospectada com o GPR, não incluindo toda a extensão coberta pelo levantamento magnético. Esta foi delimitada por existir maior possibilidade de se encontrar a senzala a partir da configuração das edificações no local.

### 5.1 PREPARAÇÃO DA ÁREA PARA AS MEDIDAS COM GPR

De posse dos dados magnéticos obtidos em 2000 por João Barradas (Fig. 5.1), para confirmar o posicionamento das linhas e estações usadas naquele levantamento, foram realizadas algumas medidas de campo cobrindo uma área de teste de 6 m × 10 m. Essas medidas foram realizadas com o Magnetômetro de Precessão de Prótons da GEOTEST (Fig. 5.2). Durante as medidas utilizaram-se os mesmos parâmetros do levantamento realizado em 2000: separação de 2 m entre as linhas e 1 m entre as estações no sentido aproximadamente Norte-Sul, mantendo uma separação vertical de 0,50 m entre o terreno e o sensor.

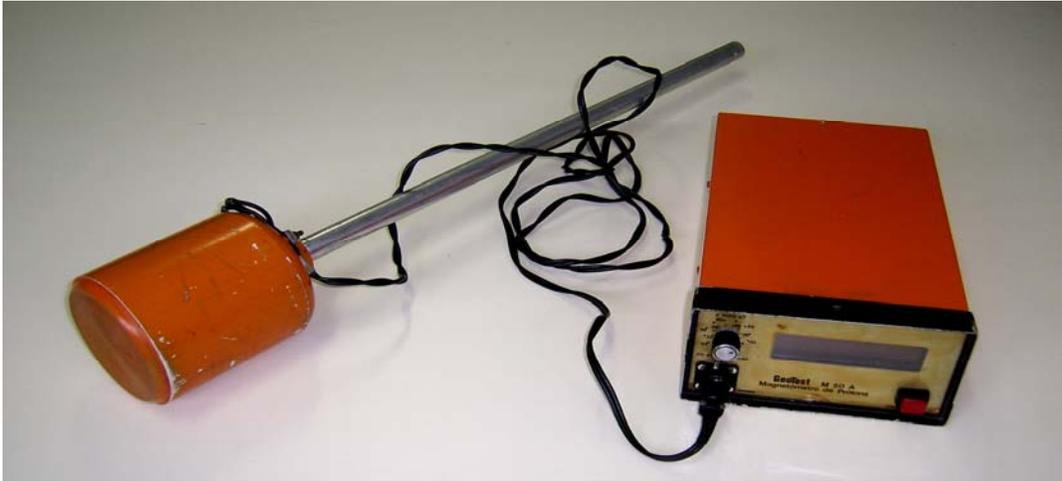


**Figura 5.1** – Mapa Magnético da área do Engenho construído a partir dos dados coletados por João Barradas, em 2000, disposto sobre a planta do Engenho, mostrando a área teste (retângulo vermelho) e a área onde foram realizados os perfis de GPR (retângulo verde).

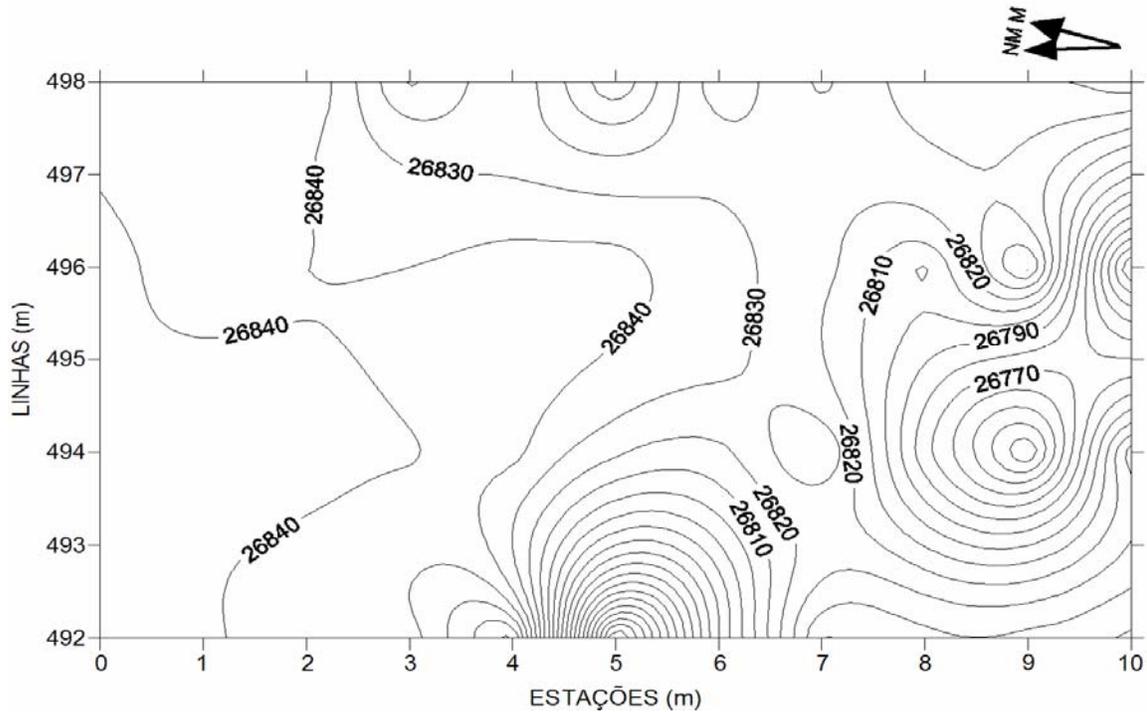
A Figura 5.1 mostra o mapa magnético obtido a partir do levantamento realizado em 2000, localizado na planta do Engenho. Nessa Figura também está representada a área onde foram realizadas as medidas de resgate, marcada com um retângulo vermelho, e a área onde foram realizados os perfis com o GPR, representada por um retângulo verde.

As medidas foram realizadas entre as linhas 492 e 498 do mapa magnético original e entre as estações de 0 a 10 m. Onde foram efetuadas três medidas em cada ponto da malha e três

medidas em uma estação base a cada 10 minutos, com o objetivo de controlar a variação diurna do campo magnético. Ao final das medidas foi calculada a média dos valores medidos e corrigida a variação diurna de cada ponto a partir dos valores obtidos na estação base. Os dados corrigidos estão representados no mapa magnético mostrado na Figura 5.3.



**Figura 5.2** – Magnetômetro de Precessão de Prótons GEOTEST.



**Figura 5.3** – Mapa magnético da área teste.

A comparação dos dados obtidos na área teste (Fig. 5.3) com os dados obtidos no levantamento magnético original (Fig. 5.1), permitiu que se recuperasse no terreno o

posicionamento das linhas e estações de medida com boa aproximação. A partir daí, o terreno foi preparado para a realização das medidas com o GPR.

A preparação consistiu em: (i) abertura de uma linha base de referência de direção  $N73^\circ$ , tangenciando o canto superior sul das ruínas da capela (Fig. 5.4); (ii) demarcação, com estacas de madeira, da linha base de referência a cada 2m, para estabelecer a posição de cada linha de medidas (Fig. 5.4b); e (iii) abertura de linhas perpendiculares à linha base de referência no sentido Norte-Sul, para a realização das medidas. Tanto a linha base de referência como as linhas de medidas foram abertas com o nível topográfico (Fig. 5.4a).

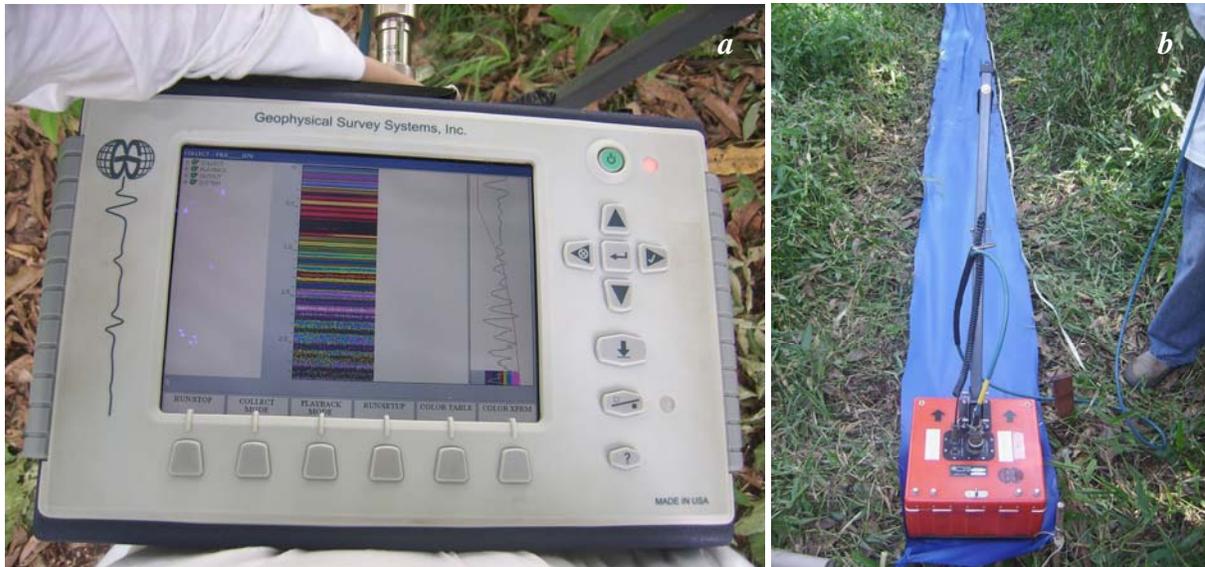


**Figura 5.4** – (a) Abertura da linha de referência com auxílio de um nível, (b) linha base de referência demarcada a cada 2m por estacas (indicadas por setas).

## 5.2 LEVANTAMENTO COM O GPR

Para as medidas de GPR foi utilizado o equipamento da GSSI, modelo SIR-SYSTEM 3000, com uma antena monoestática de 400 MHz (Fig. 5.5). A frequência da antena foi escolhida por possibilitar a investigação de refletores na profundidade esperada para os artefatos arqueológicos do Engenho (inferior a 2m).

Durante a operação de aquisição de dados foi utilizado uma cobertura plástica sobre o solo com o intuito de facilitar a locomoção da antena pelo terreno (Fig. 5.6). Devido à alta resistividade do material plástico, e à sua pequena espessura, sua presença não causa interferência.



**Figura 5.5** – Equipamento SIR-SYSTEM 3000 da GSSI: (a) unidade de controle e (b) antena monoestática de 400 MHz.

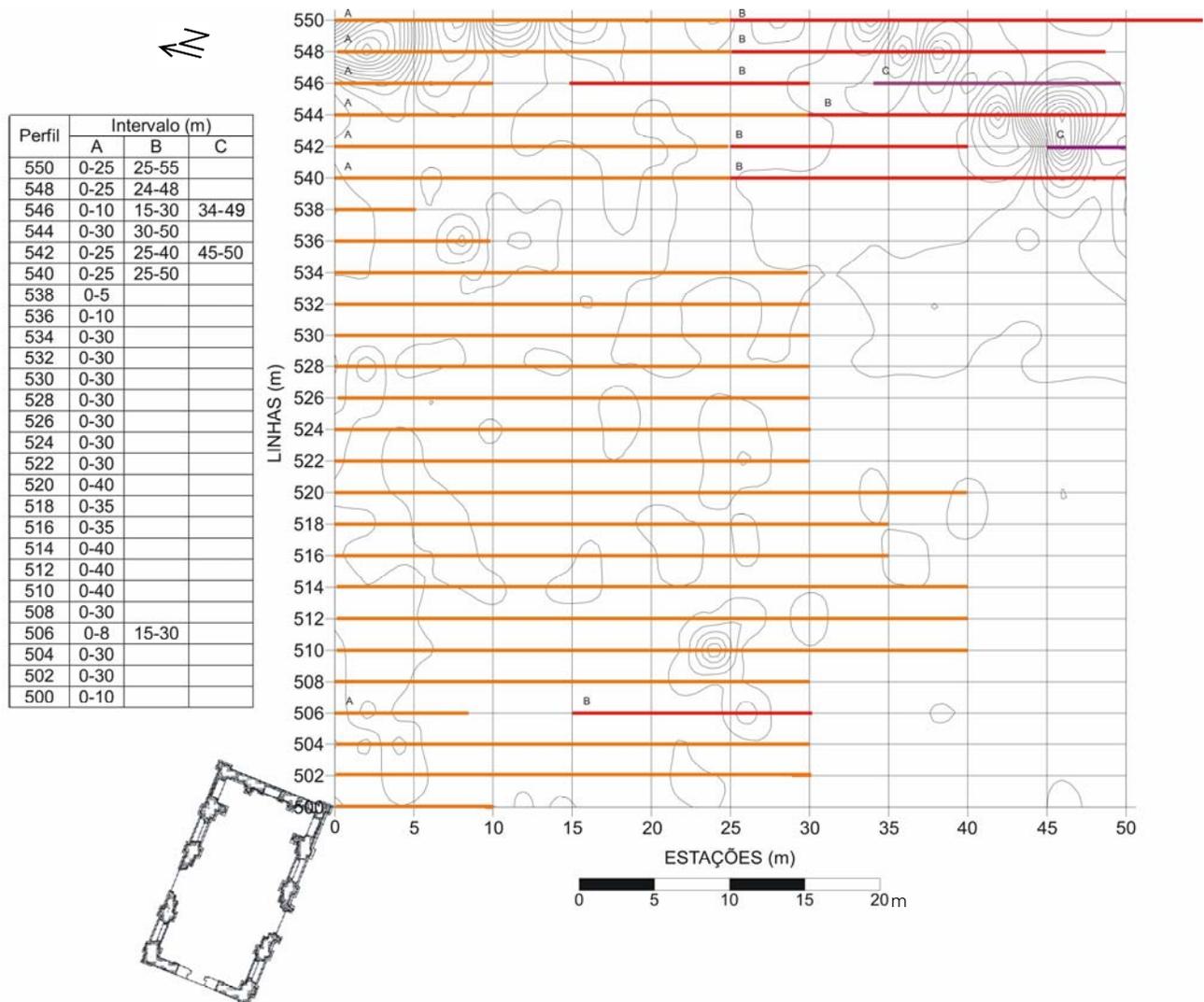


**Figura 5.6** – (a) Levantamento GPR na linha 550 e (b) linha 532 coberta com material plástico e outros perfis indicados por linhas tracejadas.

As medidas foram realizadas em 26 perfis ao longo das linhas 500 a 550 do levantamento magnético original. O comprimento dos perfis foi estabelecido de modo a cobrir as anomalias evidenciadas no mapa magnético. A Figura 5.7 mostra o posicionamento dos perfis de GPR executados e a sua relação com as anomalias magnéticas.

Alguns perfis foram realizados em partes (A, B e C) devido à intensa vegetação ou ao extenso comprimento do perfil. Essas partes estão representadas na Figura 5.7 com cores diferentes: laranja (Parte A), vermelho (Parte B) e roxo (Parte C).

Os registros adquiridos com o GPR foram realizados no modo temporal, com o controle de posicionamento horizontal feito por meio da inserção de marcas espaçadas de 5 m no registro.



**Figura 5.7** – Posicionamento dos perfis de GPR realizados.

### 5.3 ANÁLISE DOS DADOS

Os registros adquiridos com o GPR foram processados com o software RADAN (*Radar Data Analyzer*), versão 5.0 da GSSI, pertencente à Faculdade de Geofísica da UFPA. O processamento realizado pode ser considerado um processamento básico com o objetivo de apenas melhorar as imagens.

O processamento dos sinais adquiridos constou da análise das frequências presentes através da obtenção do espectro de amplitudes, que define frequências de corte para a aplicação de filtros de passa banda para a remoção dos ruídos de alta e baixa frequência nos sinais adquiridos. Em seguida foram feitos os ajustes do instante zero para todas as ondas recebidas, redistribuição espacial da amostragem para obtenção de espaçamento uniforme entre as medidas e o ajuste de ganhos para melhorar a visualização dos fracos refletores mais profundos.

A conversão tempo-profundidade foi estimada utilizando uma velocidade de propagação constante, determinada a partir do método de superposição de hipérboles no radargrama usando o programa REFLEX-WIN, versão 4.1 de Sandmeier, também pertencente à Faculdade de Geofísica da UFPA. Com o valor da velocidade adquirida, obtém-se um valor para a constante dielétrica relativa a partir da expressão (4.4) que, ao ser inserido no programa RADAN, ajusta a profundidade a um valor aproximado.

Após o processamento foi realizada uma correlação com as anomalias magnéticas mais significativas a fim de se verificar se os radargramas mostravam características anômalas nos mesmos locais e, para as anomalias coincidentes, buscada a continuidade das mesmas em linhas paralelas.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sítio arqueológico onde se localiza o Engenho Murutucu, além de ser um local abandonado, é um local com origem no decorrer do séc. XVIII, muito anterior às redes de água, esgoto, e elétrica, além de outras fontes modernas que causam ruídos nas medidas. Uma cerca e os postes de luz elétrica existentes nos arredores do sítio encontram-se a uma considerável distância das ruínas e da área de medidas.

Apesar de haver às proximidades construção mais recente, também abandonada, esta se situa em área relativamente afastada das ruínas e da área do levantamento geofísico, e mais próxima da entrada do sítio, ficando fácil prever que seu suporte elétrico e hidráulico deve estar direcionado à área da CEASA.

Portanto, as possíveis fontes de ruído nas medidas limitam-se à intensa vegetação que cobre boa parte da área do sítio (invadindo inclusive os restos das ruínas da Capela e da Casa do Engenho), artefatos, pedras, alguns resíduos humanos recentes (lixo) e restos de construção encobertos por sedimentos, bem como o revolvimento do solo por máquinas realizada pelo IAN. Como exemplo prático desse tipo de interferência, pode ser verificado na maioria dos radargramas anomalias relacionadas a raízes e também anomalias conseqüentes de uma trilha de pedra aparente em apenas uma pequena extensão do terreno, encoberta no restante de sua extensão por sedimentos e vegetação.

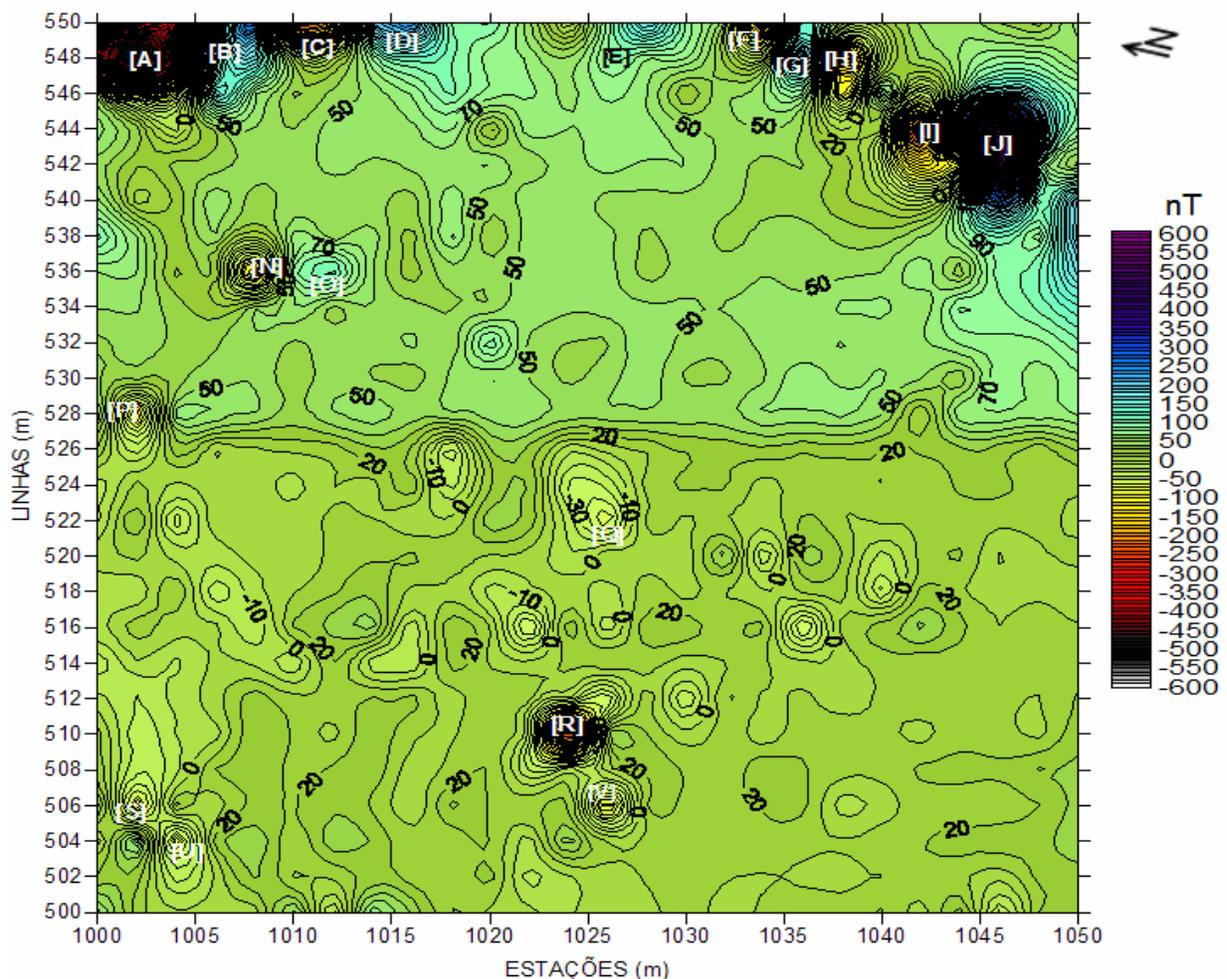
### 6.1 MAPA MAGNÉTICO

A Figura 6.1 mostra a parte do mapa magnético original coberta pelos perfis de GPR. Esse mapa mostra fortes anomalias na borda superior esquerda formando um arco com as anomalias próximas a borda direita do mapa. Tais anomalias contrastam intercaladamente em regiões positivas, variando de 0 a 250 nT (podendo chegar a 600 nT) em relação ao campo normal na área que o mapa sugere estar entre 25.350 e 25.400 nT, com regiões negativas, variando de 0 a -600 nT. Essas anomalias apresentam amplitudes muito elevadas para as amplitudes esperadas sobre materiais cerâmicos, que produzem anomalias geralmente inferiores a 50 nT. As amplitudes dessas anomalias podem, entretanto, ser relacionadas a alicerces desde que eles sejam constituídos por rochas básicas, que são materiais com maior susceptibilidade magnética.

Sabe-se que associado as senzalas existiam fornos de chão onde eram realizadas as refeições dos escravos. Em plantas de Engenhos do nordeste, esses fornos muitas vezes localizavam-se dentro das construções, mas também há casos em que sua localização era externa a essas edificações. Esses fornos podem indicar anomalias mais elevadas que as esperadas para materiais cerâmicos, principalmente se estiverem relacionados a artefatos de ferro.

As anomalias no canto direito superior, identificadas no mapa pelas letras F a J, estão direcionadas apontando para o canal do Engenho, o que pode indicar alguma relação com este, podendo ser resultado de uma trilha, ou até mesmo indicar resquícios de alguma edificação antiga nessa área.

Há também uma distinta separação entre a variação média da parte superior do mapa magnético e a parte inferior, visível entre as linhas 526 e 528. Esse contraste pode estar relacionado a algum distúrbio causado no solo durante o uso de parte da área como campo experimental de práticas agrícolas.



**Figura 6.1** – Parte do Mapa Magnético onde foram realizados os Perfis de Radar.

No mapa ainda encontramos outras variações significativas em posições dispersas, como em [N], [O], [P], [Q], [R], [S], [U], e [V]. Dessas, as mais fortes estão em [N], com variação de -150 nT em relação ao valor normal, e em [R], com variação em torno de -250 nT.

O posicionamento das outras anomalias em pontos afastados indica ser resultado da interferência de pequenos objetos que podem ter sua fonte em fragmentos de rochas ou em resíduos de ocupação humana, como cerâmica, materiais de construção, restos de armas, materiais de ferro, ou objetos deste gênero.

## 6.2 PERFIS DE RADAR

Através dos perfis de GPR realizados no sítio foi possível entender o terreno com uma subsuperfície bastante revolvida e com descontinuidades, talvez consequência de raízes, escavações para plantação ou situações similares.

A seguir apresenta-se uma descrição dos radargramas obtidos ao longo dos perfis GPR na área onde se procura ressaltar anomalias nos registros. Essas anomalias são caracterizadas por formas hiperbólicas, arqueamentos e descontinuidades.

Formas hiperbólicas fortes e bem definidas podem estar relacionadas a muros ou alicerces de construção desde que estes estejam em posição perpendicular à passagem da antena, de forma que quando maior for a largura do muro, maior será a abertura da hipérbole de difração. Já hipérboles menores podem ser causadas por estruturas inteiras de cerâmica ou pedra, como vasos.

As anomalias de radar do tipo “arqueamento” normalmente estão relacionadas a estruturas mais contínuas lateralmente, como uma camada com densidade diferente em relação aos materiais adjacentes. Esse tipo de anomalia normalmente está relacionada a cerâmica, restos de piso ou cimento consolidado.

As descontinuidades, que resultam de pequenas hipérboles que somadas formam um padrão descontínuo, são respostas comuns para pequenos fragmentos de cerâmica dispostos caoticamente.

### 6.2.1 Perfil 550

O primeiro perfil foi realizado em duas partes percorrendo a linha 550 do mapa magnético, no sentido NW-SE. A primeira parte cobriu 0 a 25 m (Perfil 550A) percorrendo as

primeiras anomalias indicadas no mapa magnético: [A], [B], [C] e [D]; enquanto a segunda parte abrangeu de 25 a 55 m (Perfil 550B), cobrindo as anomalias magnéticas [E] e [F].

O radargrama do perfil 550A (Fig. 6.2) apresentou as seguintes anomalias: arqueamento côncavo entre 0 e 2 m, hipérbole bem definida em 2 m, outros arqueamentos côncavos entre 2 e 5 m, entre 9,8 e 13,2 m, podendo estes estar perfeitamente relacionados as anomalias magnéticas negativas [A] e [C]; e descontinuidades entre 6,5 e 9 m, entre 14,6 e 15 m, e em 19 e 19,8 m, acreditando-se que essas duas primeiras tenham relação com as anomalias magnéticas positivas [B] e [D].

Já o perfil 550B (Figura 6.3) apresentou: arqueamento côncavo, entre 25 e 26,5 m (anomalia [E]), e entre 29 e 31 m; descontinuidades entre 33 e 35 m (anomalia [F]); hipérboles entre 41,5 e 44 m; ondulações, descontinuidades e hipérboles entre 47,5 e 51 m; e ondulações e descontinuidades entre 52,5 e 55 m.

#### 6.2.2 Perfil 548

O perfil 548 também foi realizado em duas partes: a primeira com extensão de 0 a 25 m (perfil 548A), e a segunda de 24 a 48 m (perfil 548B). Na primeira parte, correspondendo ao radargrama 548A (Figura 6.4), cobriu-se o centro da anomalia magnética [A], na marca 2,5 m, e parte da anomalia [B], entre 6 e 9 m. E no radargrama 548B (Figura 6.5), o centro das anomalias magnéticas [G] e [H] aparece em 36 e 38 m, respectivamente.

No perfil 548A foi verificado: arqueamentos e descontinuidades entre 0 e 5,5 m; e arqueamento côncavo entre 0 e 2,7 m, e entre 11 e 13 m; camada espessa entre 6 e 7,8 m; descontinuidades e ondulações entre 15 e 25 m.

No perfil 548B: descontinuidades e ondulações entre 37,8 a 50m; anomalias entre 25 e 29,5 m, e entre 31,8 e 33,8 m; pequena descontinuidade superficial entre 44 e 46 m, e inclinação entre 36,6 e 37,8 m.

#### 6.2.3 Perfil 546

O perfil 546 foi feito em três partes devido à intensa vegetação. A primeira parte foi realizada de 0 a 10 m (perfil 546A), a segunda entre as marcas 15 e 30 m (perfil 546B), e a terceira parte da marca 34 a 54 m (perfil 546C).

No perfil 546A (Figura 6.6) verificou-se: entre as marcas 0 e 3 m, ondulações; e entre 6 e 8,5 m, descontinuidades.

No perfil 546B ocorrem (Figura 6.7): entre 22 e 23,5 m, hipérboles e descontinuidades; entre 25 e 27 m, ondulações e descontinuidades, e de 36,6 a 38 m, descontinuidades.

O perfil 546C (Figura 6.8), por sua vez, apresentou ondulações e hipérboles entre 44 e 47 m.

#### 6.2.4 Perfil 544

O perfil 544 foi feito em duas partes: a primeira parte cobrindo de 0 a 30 m (perfil 544A), e a segunda parte de 30 a 50 m (perfil 544B). O segundo perfil também passou sobre dois focos de anomalias magnéticas, em 42 m (anomalia [I]) e em 46m (anomalia [V]).

No perfil 544A (Figura 6.9) foram identificadas as seguintes anomalias no radargrama: descontinuidades de 6 a 8 m; hipérboles e ondulações de 19 a 21 m; e ondulações de 23 a 25,5 m.

No perfil 544B (Figura 6.10) aparecem: hipérbole bem definida em 37,48 m; descontinuidade e formação de pequena hipérbole em 43,2 m; e hipérboles e descontinuidades de 47 a 50 m.

Entre as marcas 30,5 e 50 m foram observadas raízes aflorando, de modo que as perturbações observadas através dos perfis nessa região podem ter relação com a vegetação.

#### 6.2.5 Perfil 542

O perfil 542 foi realizado em três partes: a primeira de 0 a 25 m (perfil 542A), a segunda de 25 a 40 m (perfil 542B) e a terceira de 45 a 50 m (perfil 542C).

No perfil 542A (Figura 6.11) foram verificadas as seguintes anomalias: ondulações de 0 a 3 m no perfil; arqueamentos entre 5,6 e 8 m, e entre 10, 4 e 11,4 m; hipérboles e arqueamento côncavo de 11 e 12 m, e entre 15,5 e 17 m; e hipérboles entre as marcas 16 e 18 m.

No perfil 542B (Figura 6.12) observam-se: hipérboles e arqueamento, entre as marcas de 25 a 26 m; ondulações e descontinuidades entre 33 e 34 m; e descontinuidades e arqueamento côncavo entre 38 e 39 m.

Finalmente, no perfil 542C (Figura 6.13): arqueamento entre 45,3 e 46 m, e hipérbole com centro em 49,2 m.

#### 6.2.6 Perfil 540

O perfil 540 também foi feito em duas partes, sendo a primeira realizada cobrindo uma extensão de 0 a 25 m (perfil 540A), e a segunda parte cobrindo de 25 a 50 m (perfil 540B).

Na parte 540A (Figura 6.14) foram observados: arqueamento côncavo entre 1 e 3 m; hipérbole com foco na marca de 3 m; arqueamentos entre 5,8 e 8 m, e 9 e 10 m; descontinuidades entre 11 e 13 m; e hipérbolos, descontinuidades entre 15 e 16,5 m, e entre 21 e 23 m.

Na segunda parte do perfil, 540B (Figura 6.15), aparecem: descontinuidades, ondulações e hipérbolos entre 28 e 31 m; arqueamento entre 35 e 36 m; e ondulações e descontinuidades entre 47,5 e 49,5 m.

#### 6.2.7 Perfil 538

O Perfil 538 (Figura 6.16) foi realizado cobrindo uma extensão de 8 m, evidenciando as seguintes regiões anômalas no seu registro: camadas bem definidas entre 0,5 e 0,7 m, e entre 1,8 e 2,4 m; e ainda descontinuidades em 4,8 m.

#### 6.2.8 Perfil 536

O perfil 536 (Figura 6.17) foi realizado de 0 a 10 m, não percorrendo uma extensão maior devido à intensa invasão da vegetação nessa linha. O radargrama correspondente a esse perfil indicou as seguintes anomalias: hipérbole com foco na marca 1,4 m; descontinuidades entre 4,6 a 4,8 m; leve arqueamento entre 5,5 e 8 m; arqueamento entre 8,8 e 10 m.

O leve arqueamento entre 5,5 e 8 m pode estar relacionado à variação magnética [N], por este ter sido identificado na mesma região anômala.

#### 6.2.9 Perfil 534

O perfil 534 (Figura 6.18) foi realizado cobrindo uma extensão de 30 m correspondente à linha 534 do mapa magnético. No registro de GPR foram verificadas algumas anomalias, entre elas estão: arqueamento côncavo superficial entre 5,2 e 7,2 m; hipérbolos com focos em 8,4 e 11 m; falha em 16,5 m; e descontinuidades entre 24,6 e 25,4 m.

Nessa linha também foram observadas raízes aflorando entre 16 e 20 m.

#### 6.2.10 Perfil 532

O perfil 532 (Figura 6.19) cobriu uma região de 0 a 30m na linha 532, e evidenciou as seguintes perturbações em seu registro: descontinuidades entre 3,6 e 5,8m, entre 19,4 e 22m, e entre 23,6m e 27,6m; arqueamento entre 5,2 e 7,4m; hipérbole entre 9,2 e 10m; hipérbolos entre 11,4 e 12,4m; e falha em 16,4m.

### 6.2.11 Perfil 530

O perfil 530 (Figura 6.20) foi obtido cobrindo uma extensão de 30m referente à linha 530 do mapa magnético. O radargrama evidenciou as seguintes anomalias: arqueamento côncavo entre 5,5 e 9m; bem como descontinuidades entre 15 e 16m.

### 6.2.12 Perfil 528

O Perfil 528 (Figura 6.21) foi realizado percorrendo de 0 a 30 m da linha 528, e cobrindo na marca 2 m a anomalia magnética [P]. O radargrama deste perfil mostrou: descontinuidade entre 1 e 4 m, podendo esta estar relacionada com a anomalia magnética [P]; e hipérboles em 3,5 m, entre 8 e 9 m, e em 27 m.

### 6.2.13 Perfil 526

O perfil 526 (Figura 6.22) foi realizado cobrindo uma extensão de 30 m, evidenciando em seu radargrama as seguintes anomalias: arqueamento suave entre 0 e 5,6 m; hipérbole com foco em 3,6 m; camada anômala entre 5,6 e 7,4 m; hipérbole com foco na marca de 9 m; pequena hipérbole superficial a 11 m; e outra hipérbole a 26,6 m.

### 6.2.14 Perfil 524

O perfil 524 (Figura 6.23) foi realizado de 0 a 30 m na linha 524. No radargrama desse perfil foi identificado: arqueamento entre 1,5 e 5 m, e entre 5 e 6,5 m; bem como descontinuidades entre 11 e 13,5 m, e em 26 m.

### 6.2.15 Perfil 522

O Perfil 522 (Figura 6.24) também foi realizado ao longo de 30 m. Esse perfil cobriu a pequena anomalia magnética negativa [Q] na marca 26 m, apesar de não haver mostrado grandes alterações no radargrama neste ponto. Entre as anomalias mais significativas observadas nesse perfil estão: arqueamento côncavo entre 5 e 6,5 m; e outro pequeno arqueamento entre 9 e 10,5 m. O primeiro arqueamento está possivelmente relacionado à trilha de pedra já mencionada, que na altura deste perfil estava encoberta por sedimentos.

### 6.2.16 Perfil 520

Esse perfil (Figura 6.25) foi realizado sobre uma extensão de 40 m, evidenciando em seu radargrama as seguintes anomalias: descontinuidades em uma região compreendida entre as marcas

de 3 a 4 m, entre 9 e 15 m, entre 23,5 e 25 m, e entre 29 e 30,8 m; hipérbole com foco em 3,5 m, e outras entre 9 e 15,5 m; arqueamento suave entre 5 e 6,4 m; e arqueamento entre 18 e 20 m.

#### *6.2.17 Perfil 518*

Esse perfil (Figura 6.26) cobriu uma extensão de 40 m, evidenciando em seu registro: descontinuidade entre 4,5 e 6 m, entre 9,7 e 11 m, e entre 32 e 34 m; arqueamento côncavo entre 4,5 e 7 m; e pequena hipérbole superficial com foco em 19 m.

#### *6.2.18 Perfil 516*

O perfil 516 (Figura 6.27) foi realizado ao longo de 35m na linha 516. No seu radargrama foi verificado: arqueamentos entre 4,2 e 6,6 m, e entre 12 e 14 m; descontinuidades entre 23 e 24 m; e hipérbole com foco na marca de 25 m.

#### *6.2.19 Perfil 514*

O perfil 514 (Figura 6.28) cobriu uma extensão de 40 m. As anomalias mais significativas verificadas no seu registro foram os arqueamentos entre as regiões de 4 e 5,6 m; e 13 e 16 m do radargrama.

#### *6.2.20 Perfil 512*

Esse perfil 512 (Figura 6.29) foi realizado cobrindo uma extensão de 40 m, evidenciando as seguintes anomalias: arqueamento côncavo entre 3,8 e 6,2 m; falha entre 7,6 e 7,8 m; hipérboles entre 9 e 10 m; e descontinuidades entre 30 e 31,5 m, e entre 34,2 e 36,2 m.

#### *6.2.21 Perfil 510*

O perfil 510 (6.30) foi realizado ao longo de 40 m, cobrindo em 24 m o foco da anomalia magnética negativa [R]. No radargrama desse perfil foram observadas as seguintes anomalias: arqueamento entre 1 e 3 m, e entre 3,6 e 5,8 m; descontinuidades entre 8 e 11 m, entre 19 e 25 m, e entre 38 e 40 m.

#### 6.2.22 Perfil 508

O perfil 508 (Figura 6.31) foi realizado ao longo de 30 m, apresentando as seguintes regiões anômalas: falhas e descontinuidades entre 4,2 e 4,8 m, entre 28 e 29 m, e entre 7,8 e 11 m; e ainda arqueamento entre 21 e 24 m. Podendo este último ter relação com a variação magnética [R].

#### 6.2.23 Perfil 506

Este perfil foi realizado na linha 506 em duas partes, devido à impossibilidade de percorrê-lo totalmente devido à existência de árvores. A primeira parte do perfil (Perfil 506A) foi realizada de 0 a 8 m (Figura 6.32), e a segunda (Perfil 506B) parte de 15 a 30 m (Figura 6.33).

Nesses perfis só foram identificadas duas anomalias significativas: a primeira no perfil 506A entre 2,6 e 4,5 m, caracterizada como um arqueamento nas camadas; e a segunda no perfil 506B entre 25 e 27 m, caracterizada como um arqueamento em subsuperfície e interdigitação entre as camadas. Estas anomalias situam-se próximas ou na mesma região das anomalias magnéticas [S] e [V].

#### 6.2.24 Perfil 504

O Perfil 504 (Figura 6.34) teve extensão de 30 m, e apresentou as seguintes anomalias no seu registro: descontinuidades entre 6,8 e 7,4 m, entre 11 e 12,2 m, e entre 16 e 19,5 m; e ainda, arqueamento côncavo entre 21,5 e 24,5 m. Não foram observadas anomalias nesse radargrama que pudessem ter relação com as anomalias do mapa magnético.

Ocorre ainda nesse perfil, entre 18 e 26 m e com topo em 1 m de profundidade, uma anomalia em forma de hipérbole.

#### 6.2.25 Perfil 502

Perfil realizado na linha 502 (Figura 6.35), cobrindo uma extensão de 0 a 30 m. Nesse registro foram verificadas as seguintes anomalias: descontinuidade entre 3,4 e 3,8 m, entre 17,2 e 17,8 m, e entre 21,6 e 23,25 m; e quebra de continuidade entre 27,2 e 27,4 m.

#### 6.2.26 Perfil 500

Perfil realizado cobrindo uma extensão de 0 a 10 m (Figura 6.36). Entre as anomalias mais significativas estão: descontinuidades de 2 a 3 m; pequeno arqueamento côncavo 7,4 e 7,8 m; e descontinuidade entre 9,6 e 10 m.

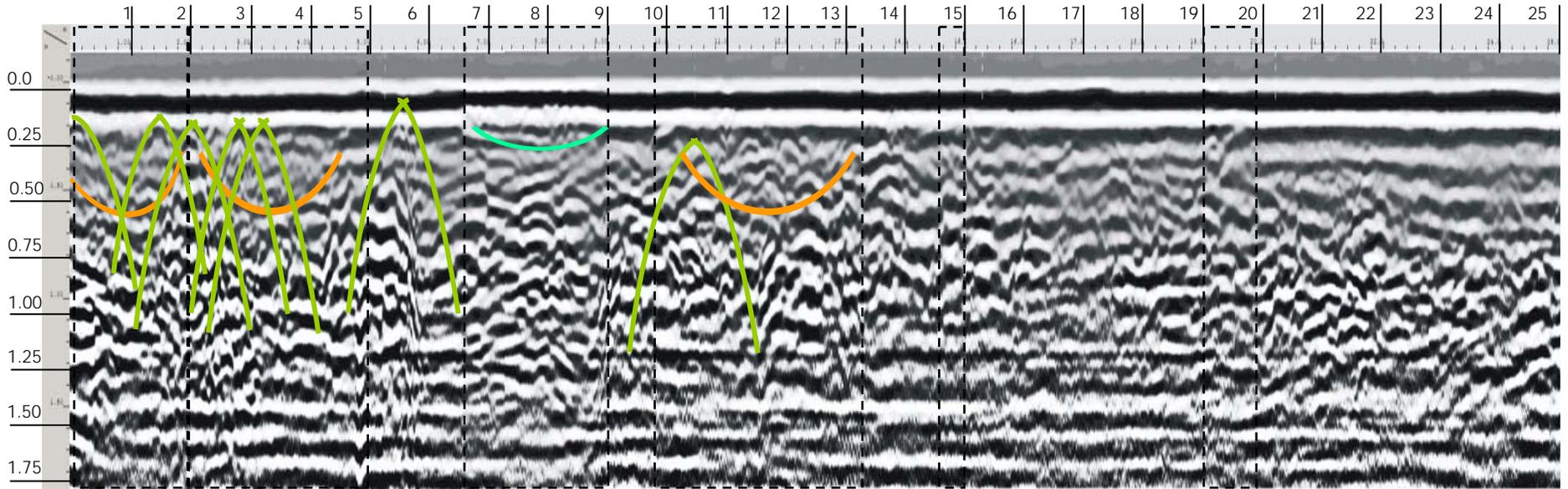


Figura 6.2 – Perfil 550A.

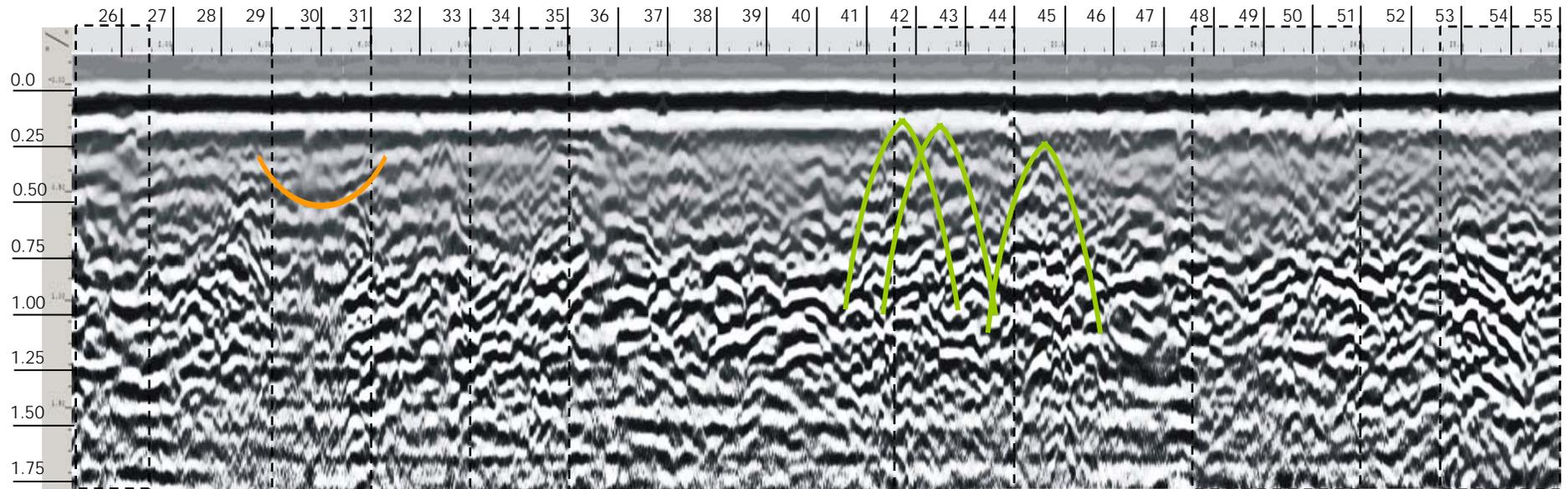


Figura 6.3 – Perfil 550B.

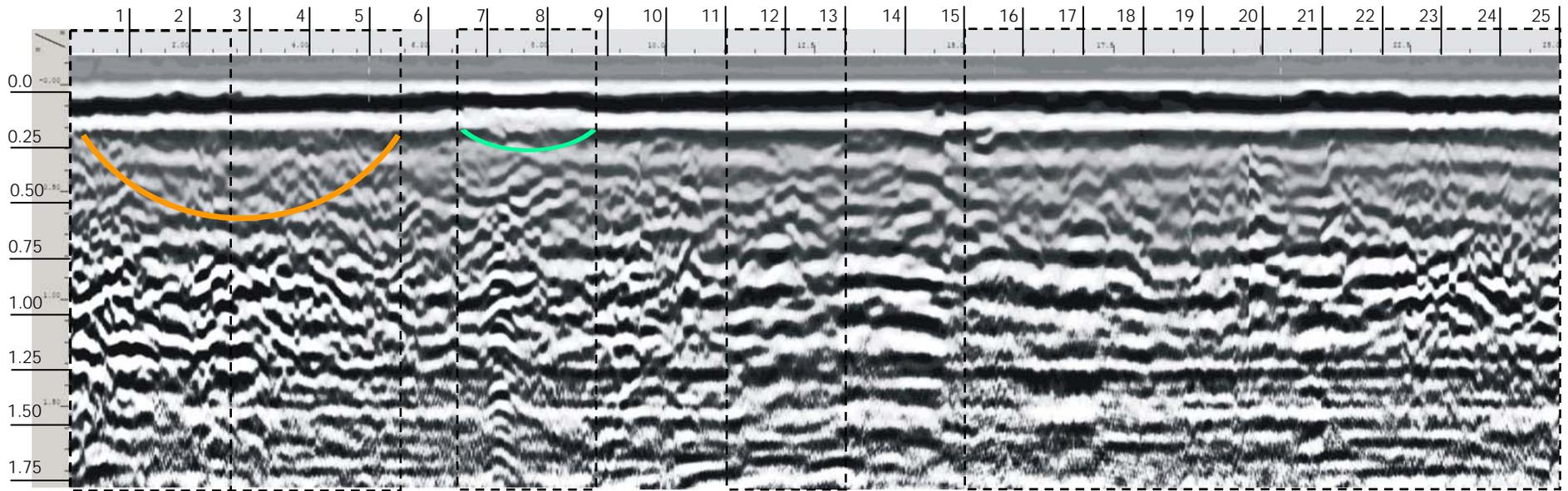


Figura 6.4 – Perfil 548A.

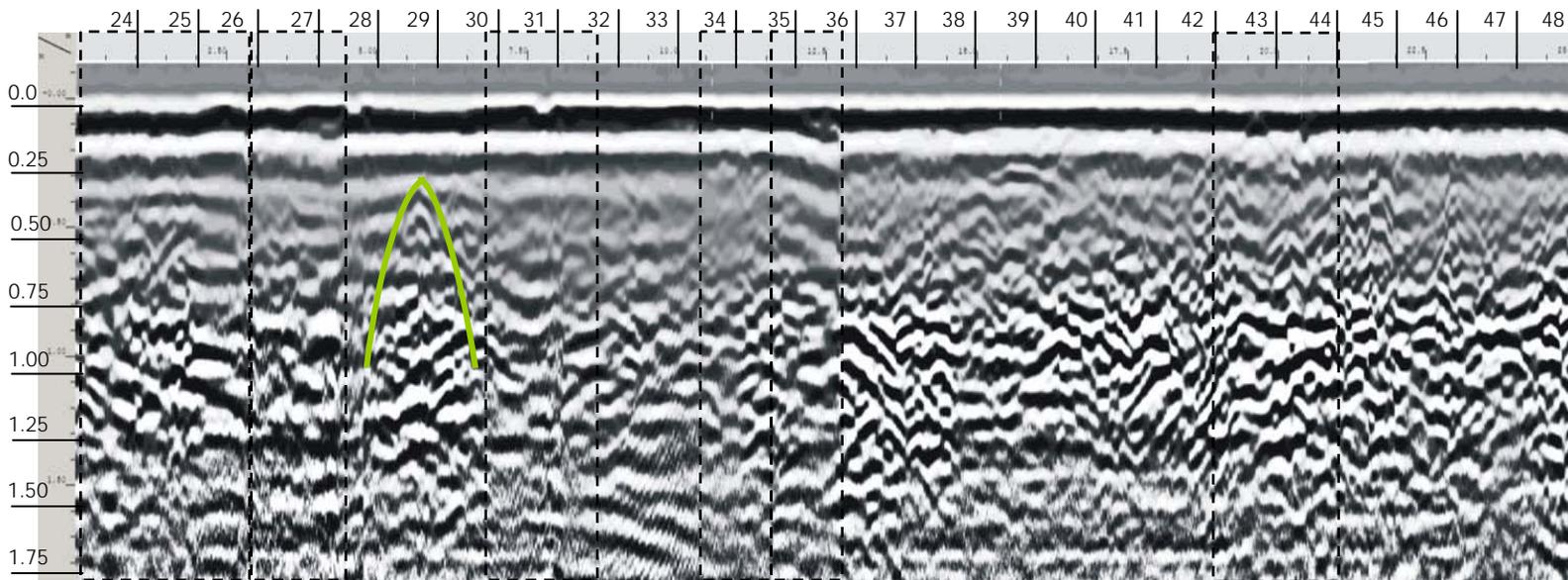


Figura 6.5 – Perfil 548B.

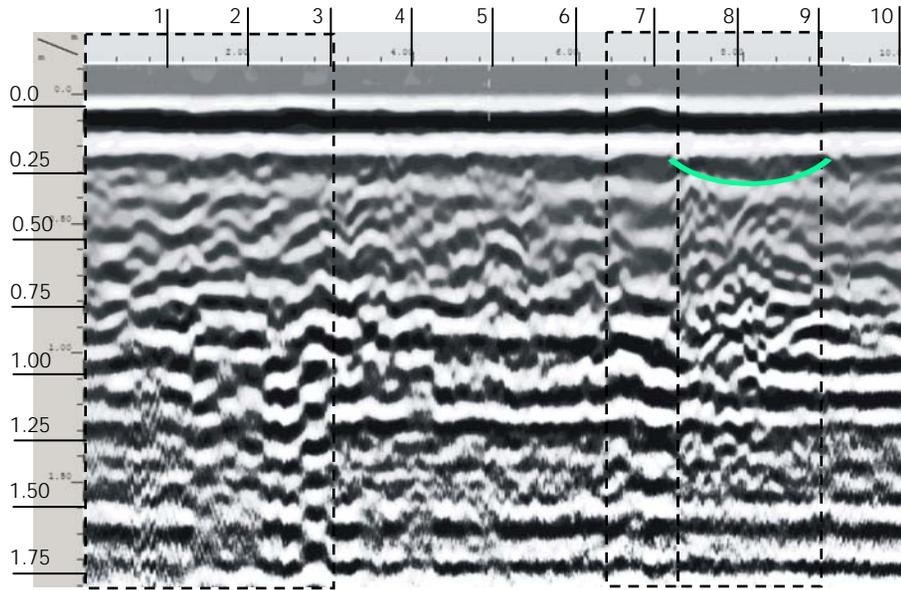


Figura 6.6 – Perfil 546A.

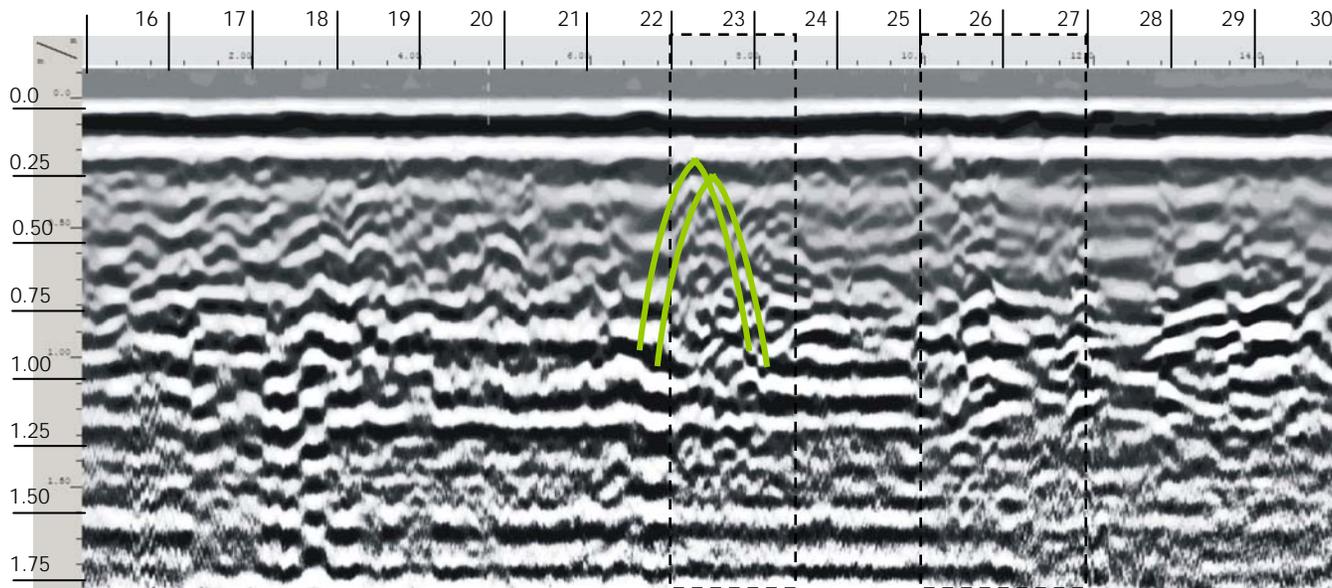


Figura 6.7 – Perfil 546B.

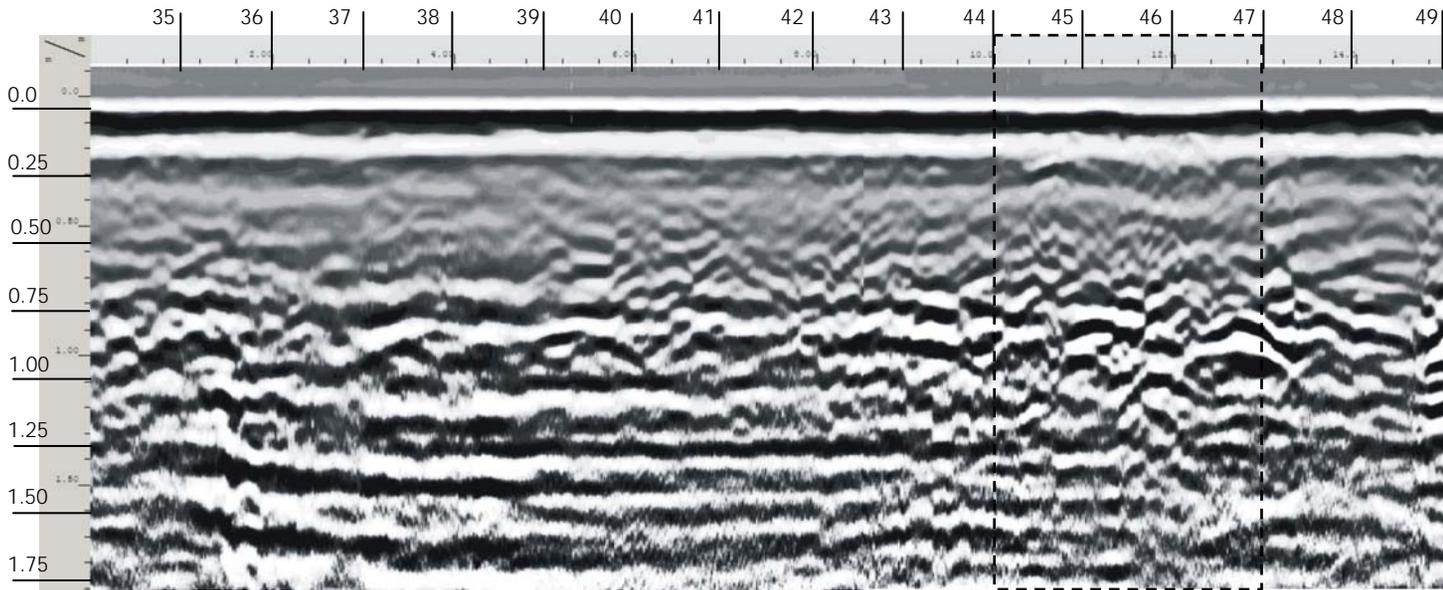


Figura 6.8 – Perfil 546C.

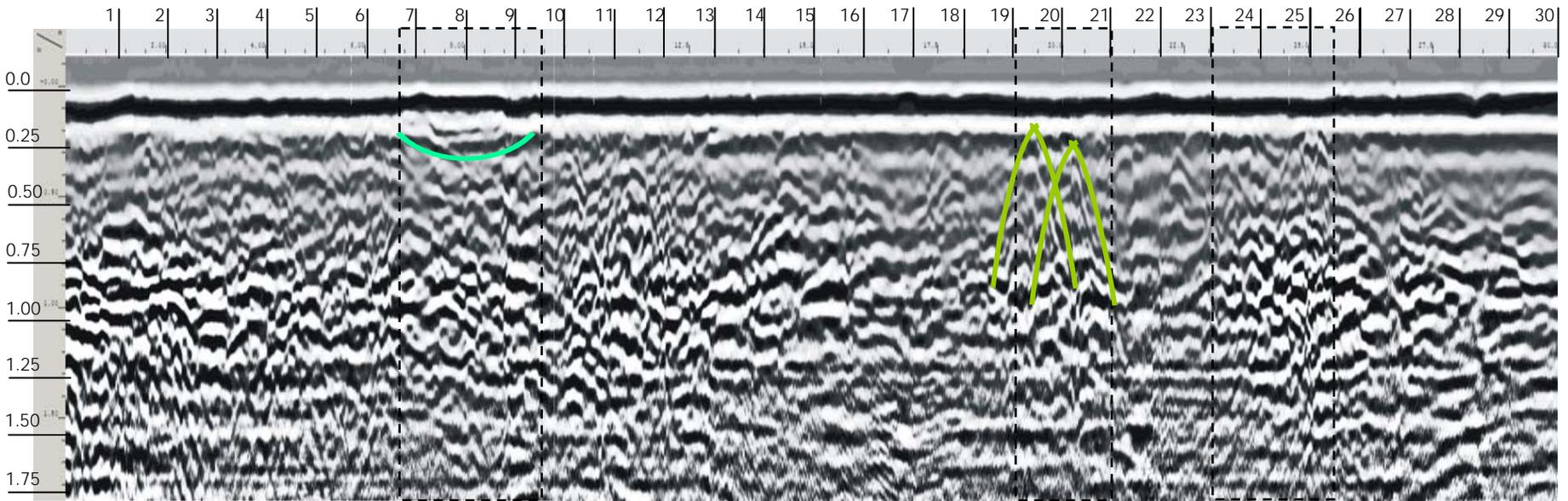


Figura 6.9 – Perfil 544A.

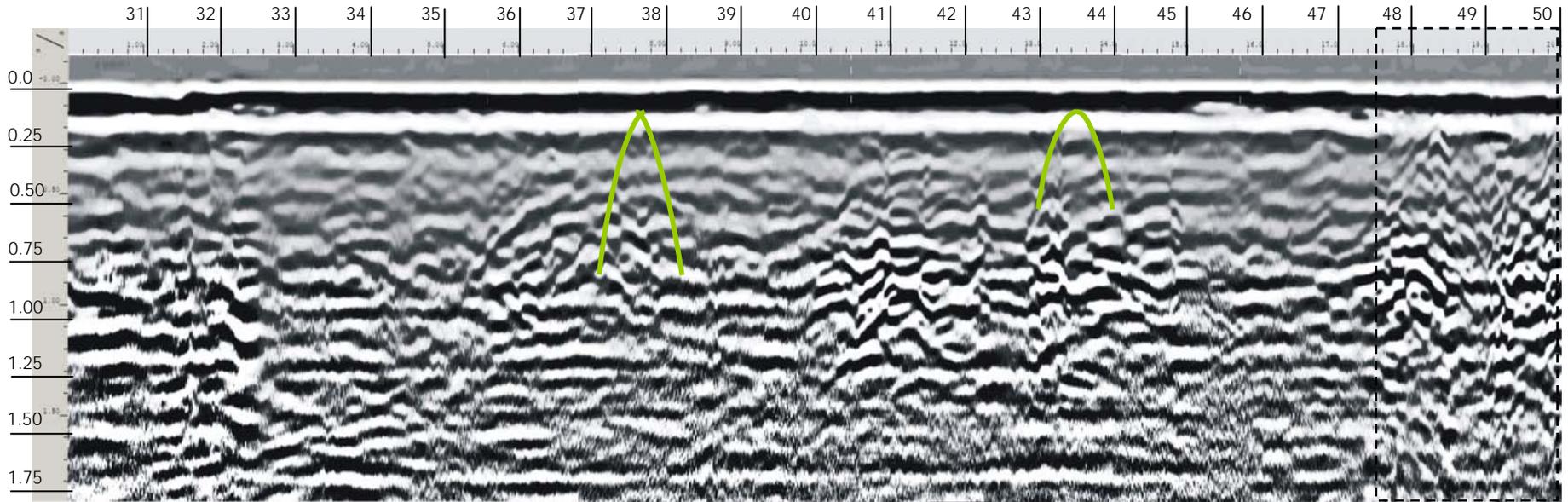


Figura 6.10 – Perfil 544B.

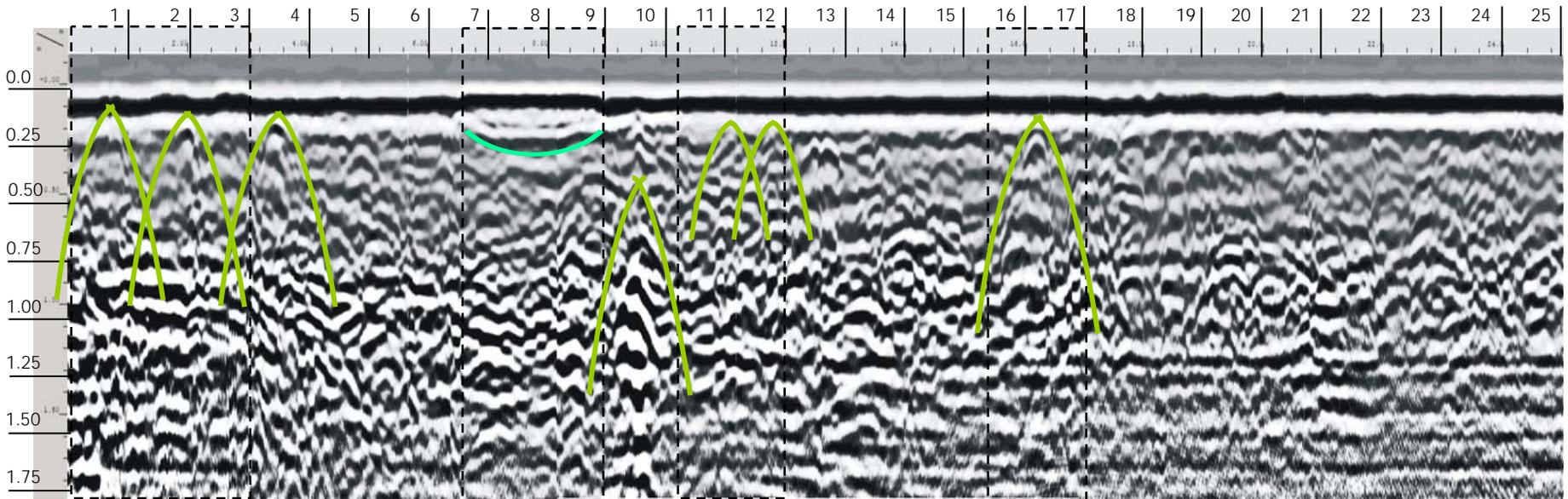


Figura 6.11 – Perfil 542A.

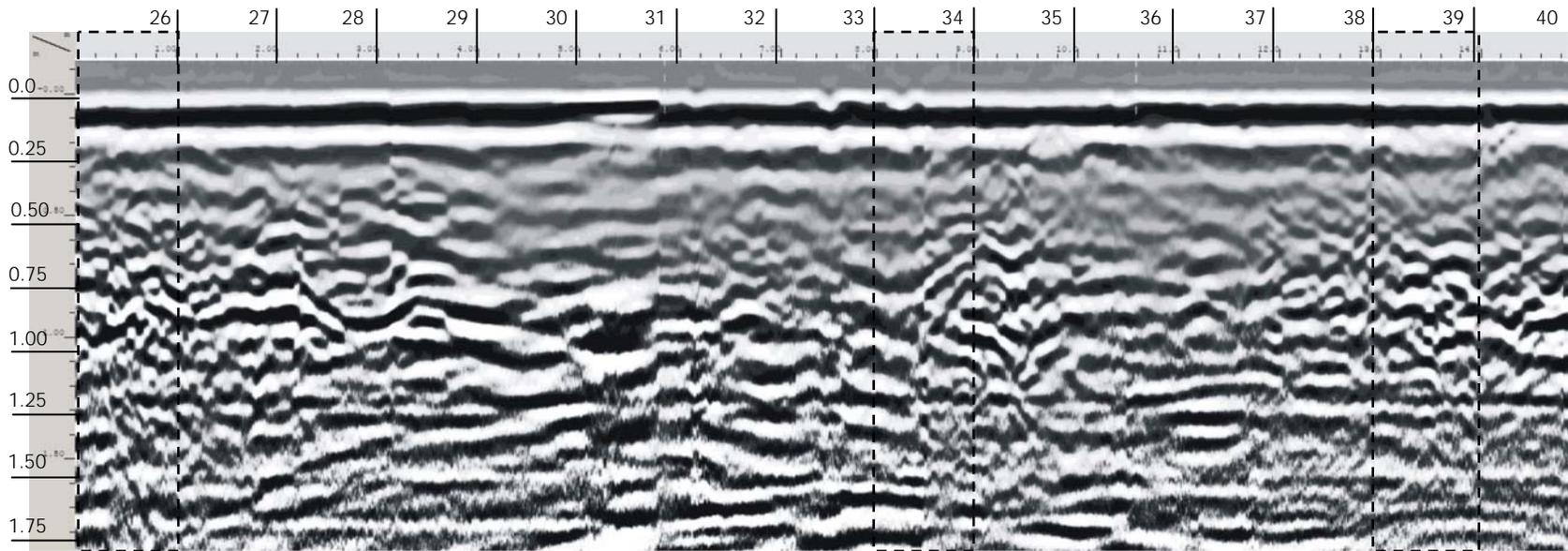


Figura 6.12 – Perfil 542B.

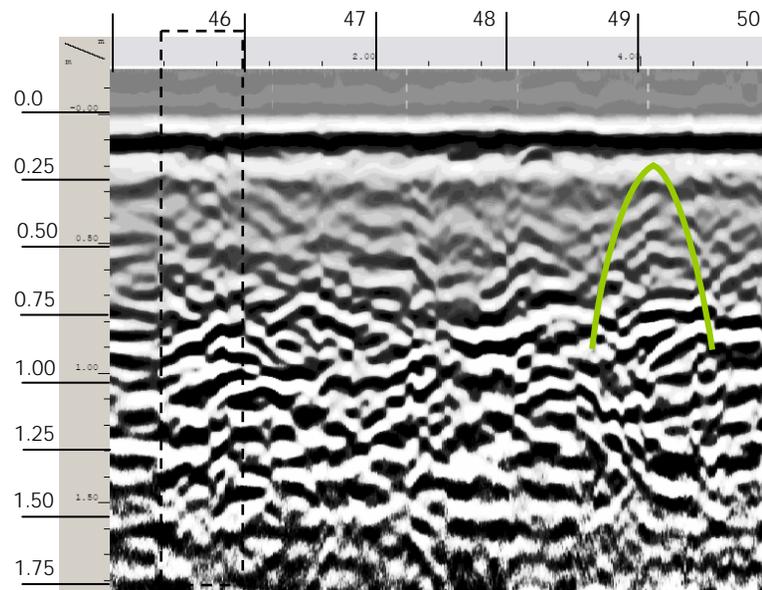


Figura 6.13 – Perfil 542C.

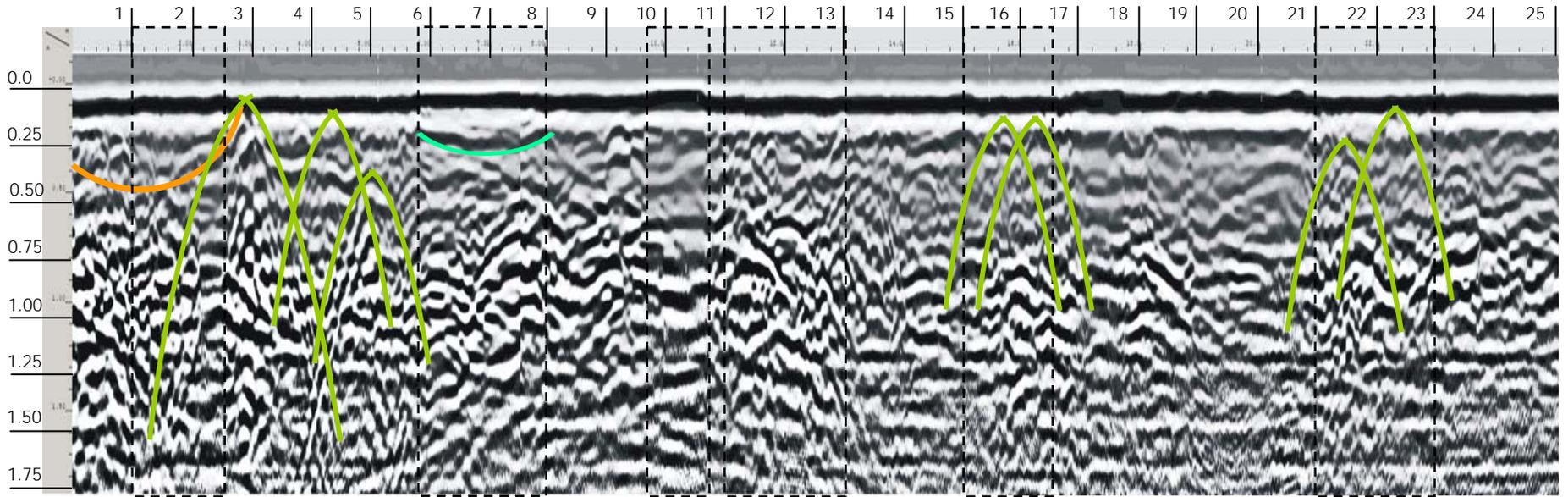


Figura 6.14 – Perfil 540A.

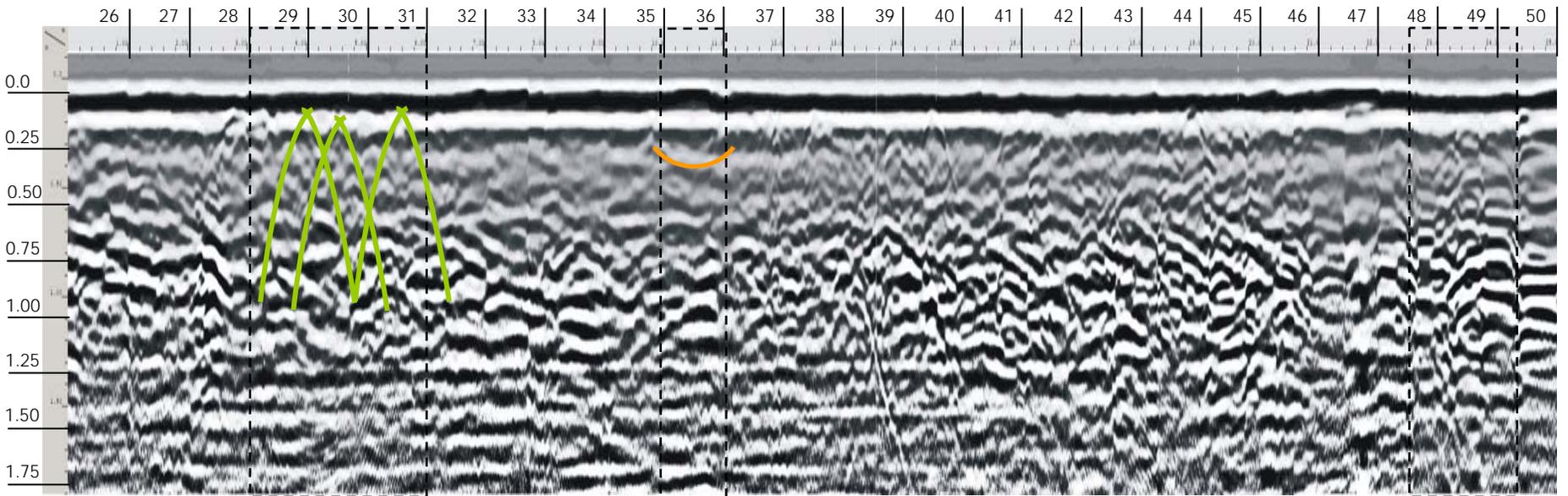


Figura 6.15 – Perfil 540B.

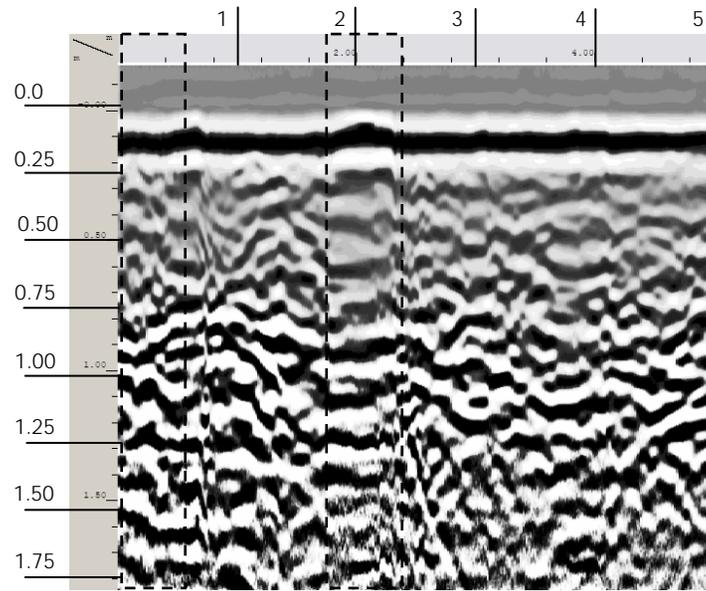


Figura 6.16 – Perfil 538.

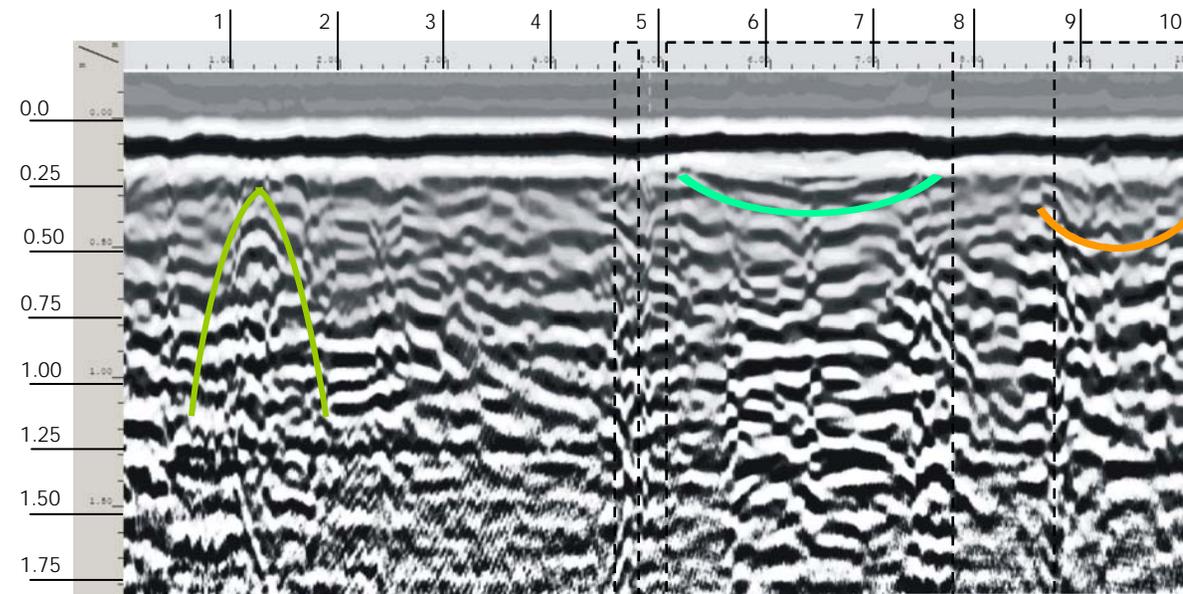


Figura 6.17 – Perfil 536.

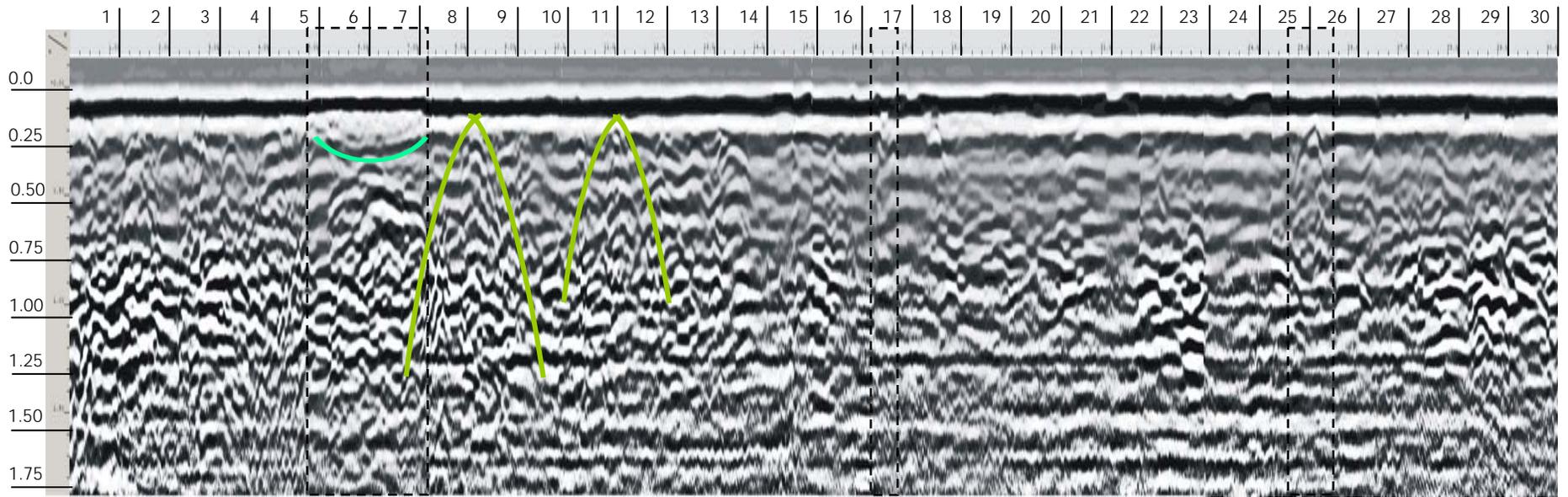


Figura 6.18 – Perfil 534.

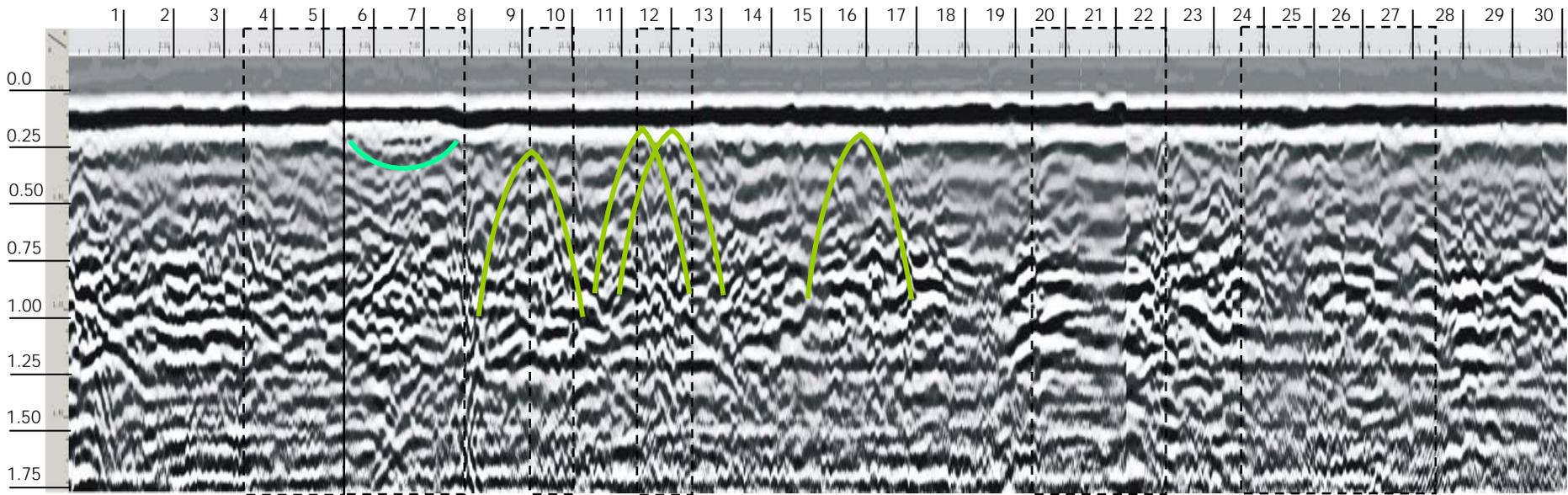


Figura 6.19 – Perfil 532.

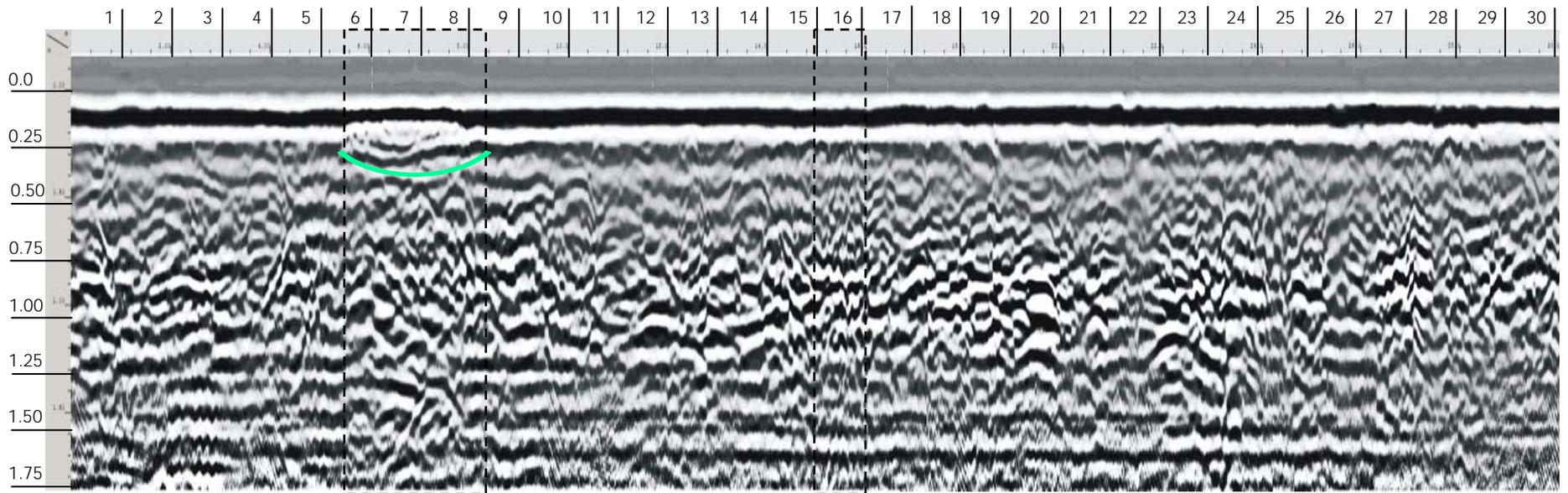


Figura 6.20 – Perfil 530.

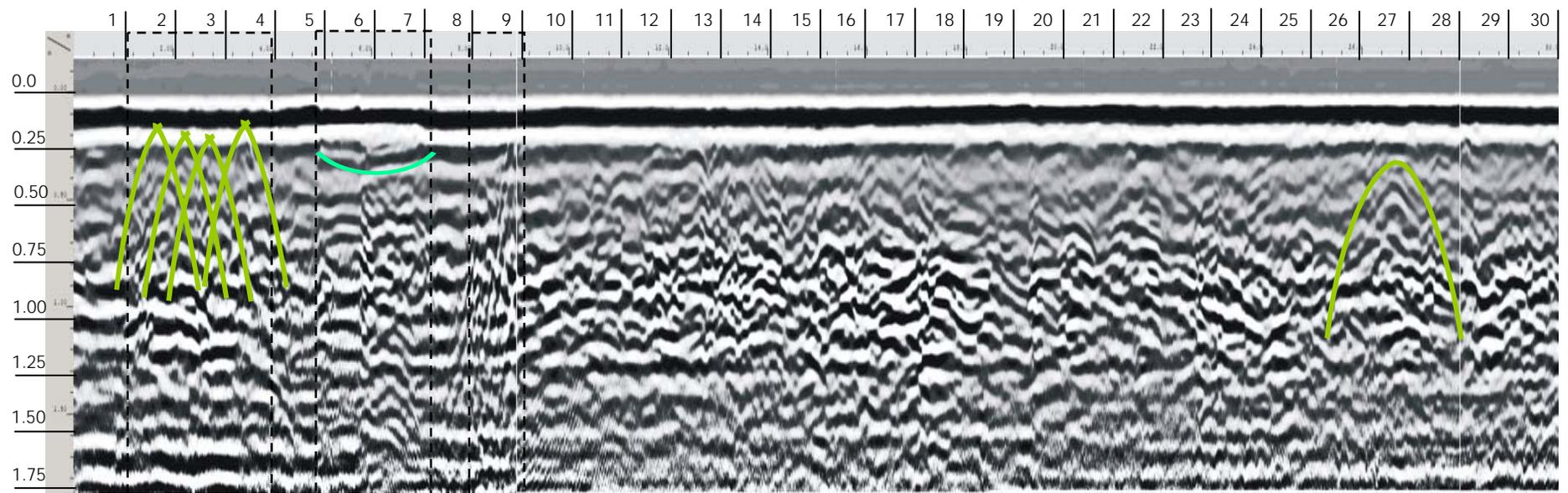


Figura 6.21 – Perfil 528.

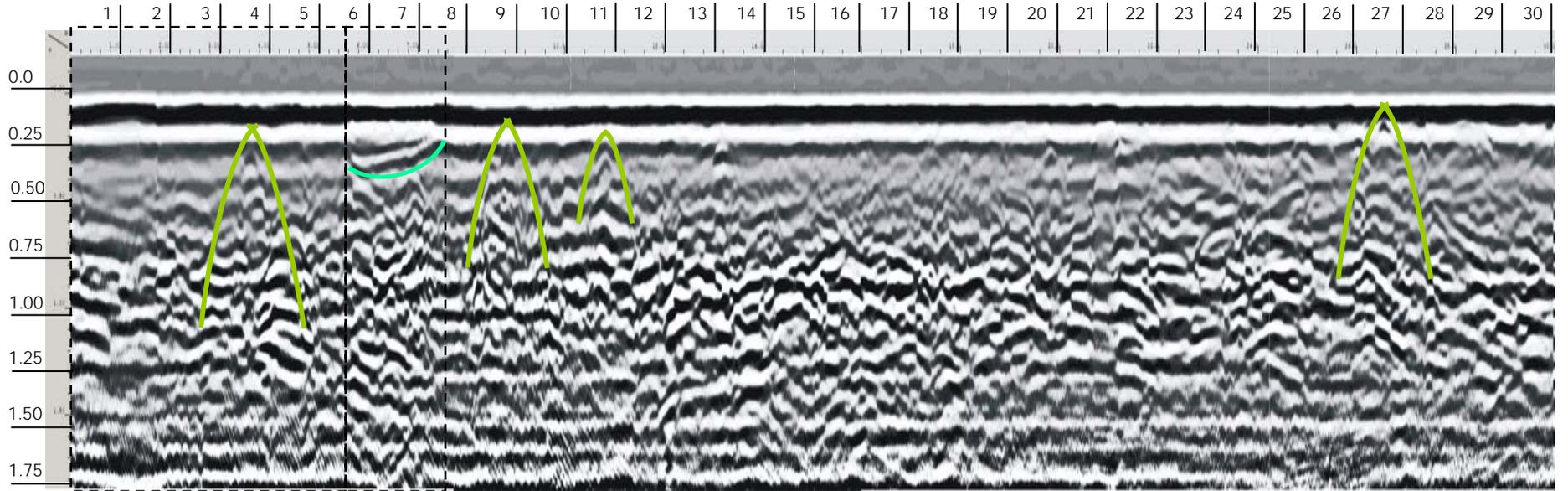


Figura 6.22 – Perfil 526.

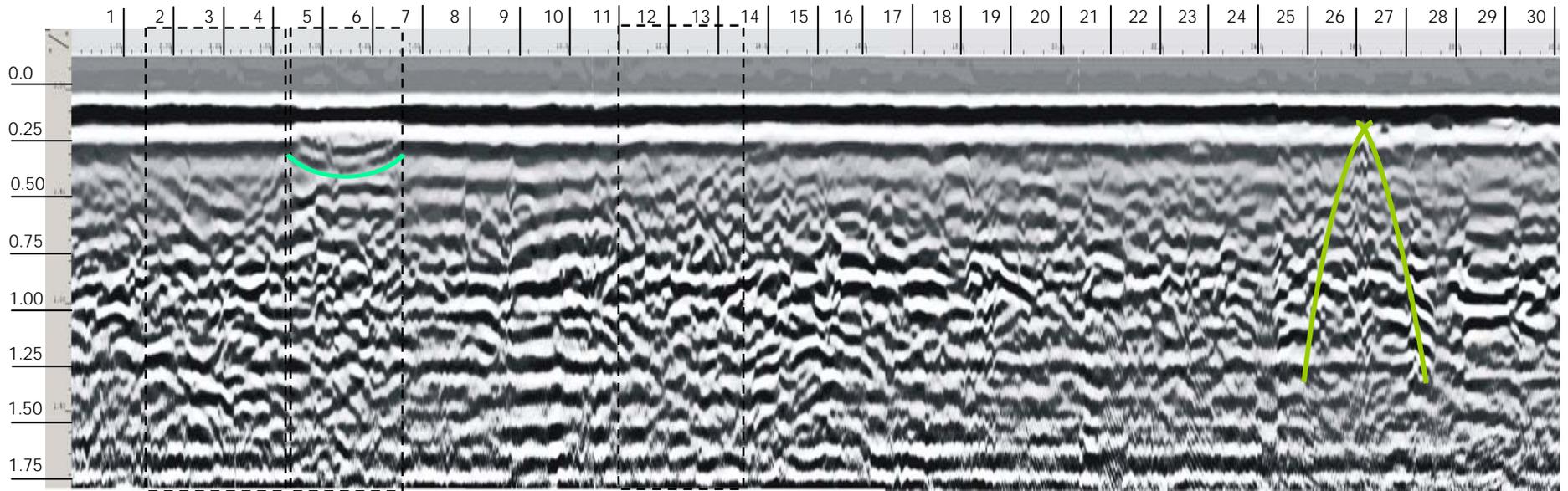


Figura 6.23 – Perfil 524.

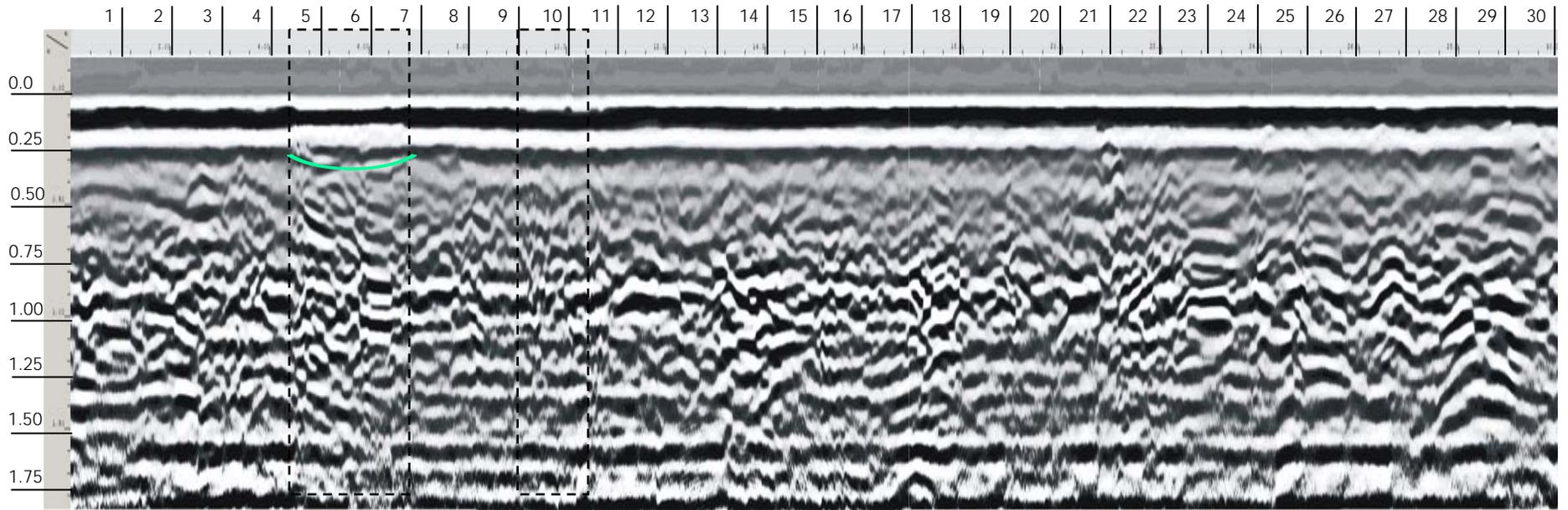


Figura 6.24 – Perfil 522.

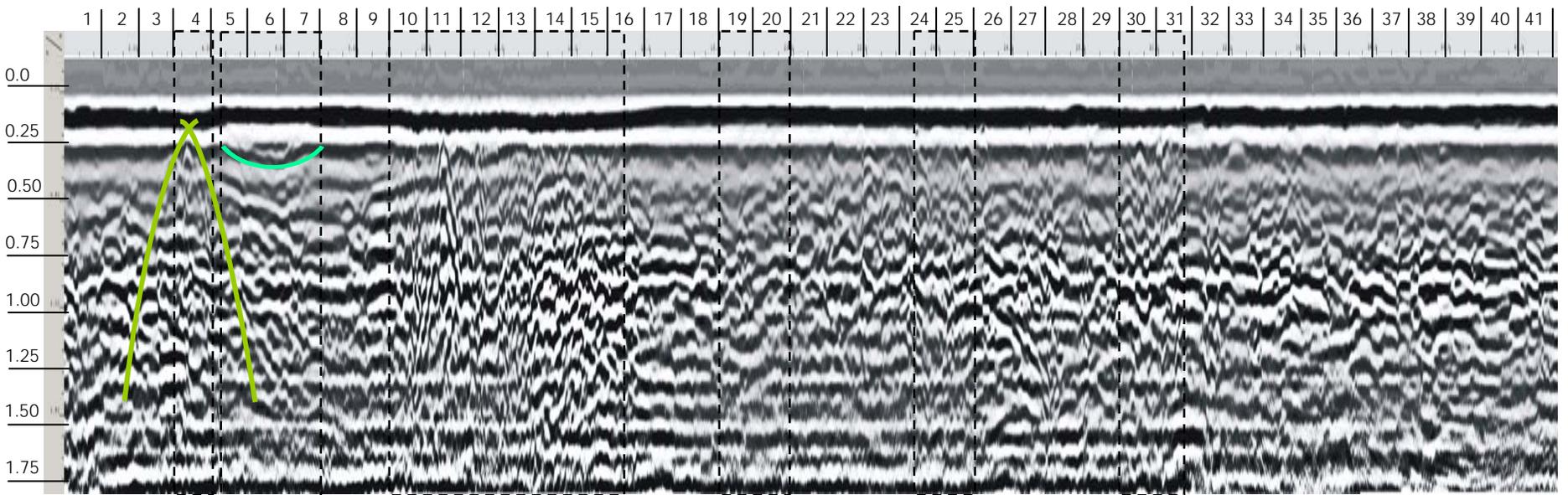


Figura 6.25 – Perfil 520.

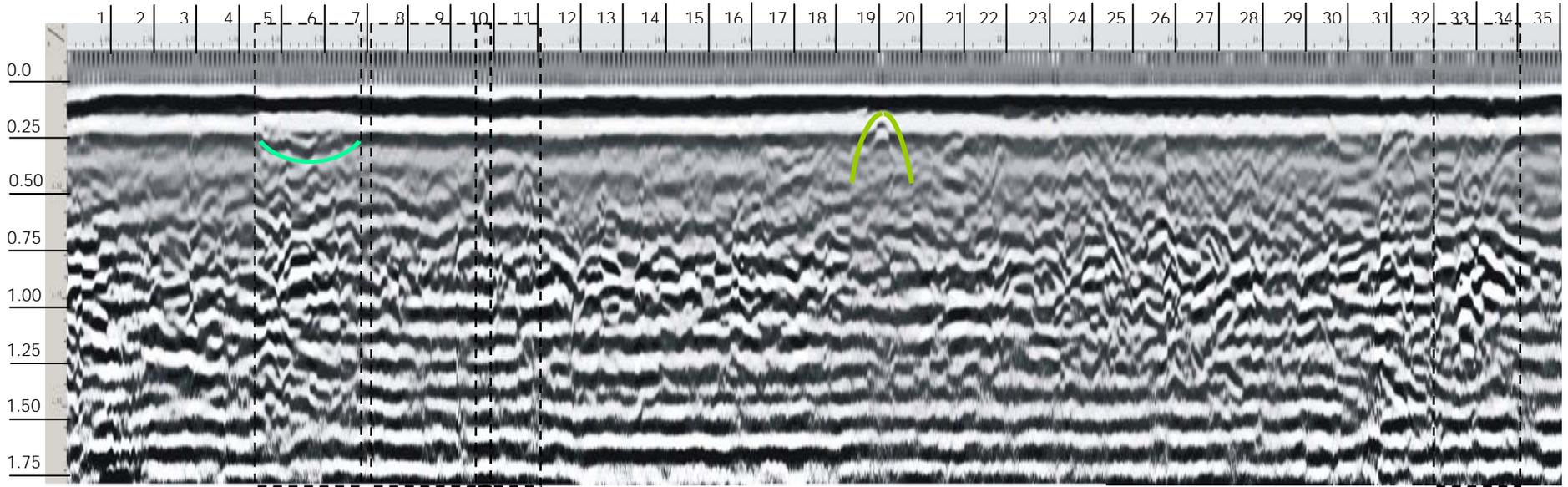


Figura 6.26 – Perfil 518.

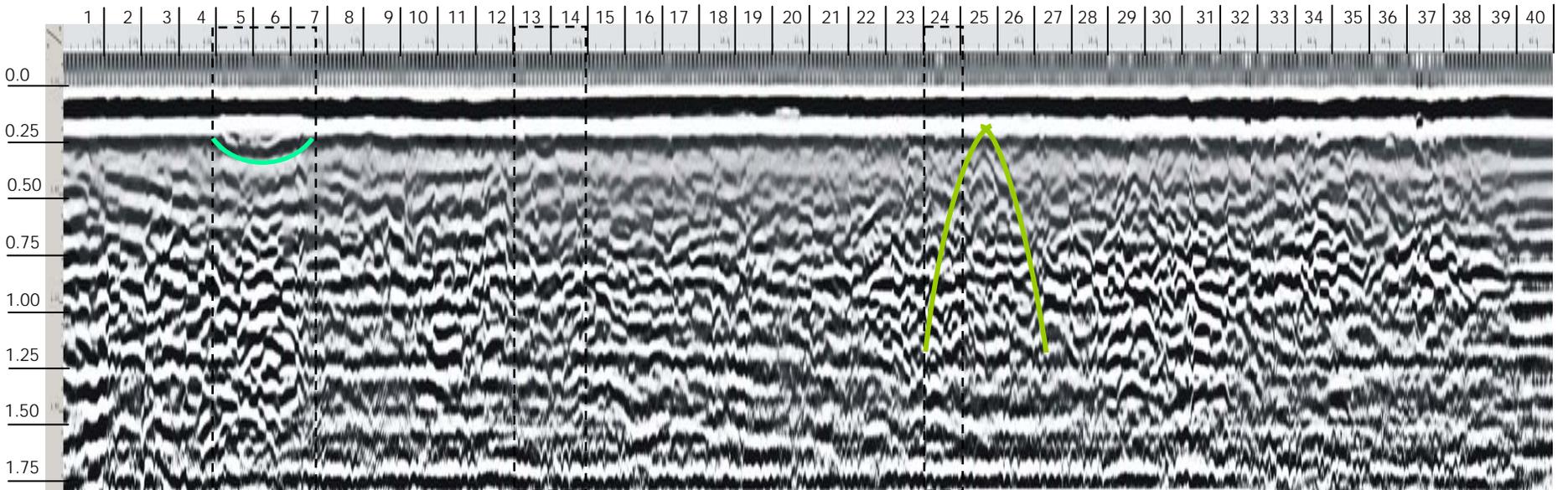


Figura 6.27 – Perfil 516.

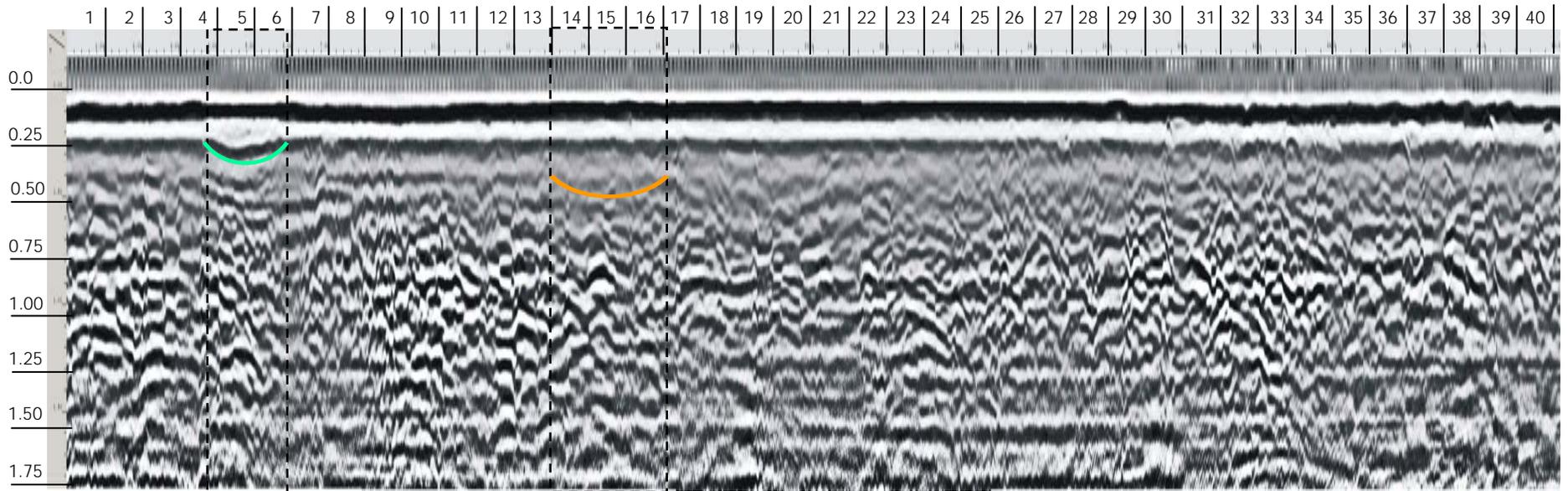


Figura 6.28 – Perfil 514.

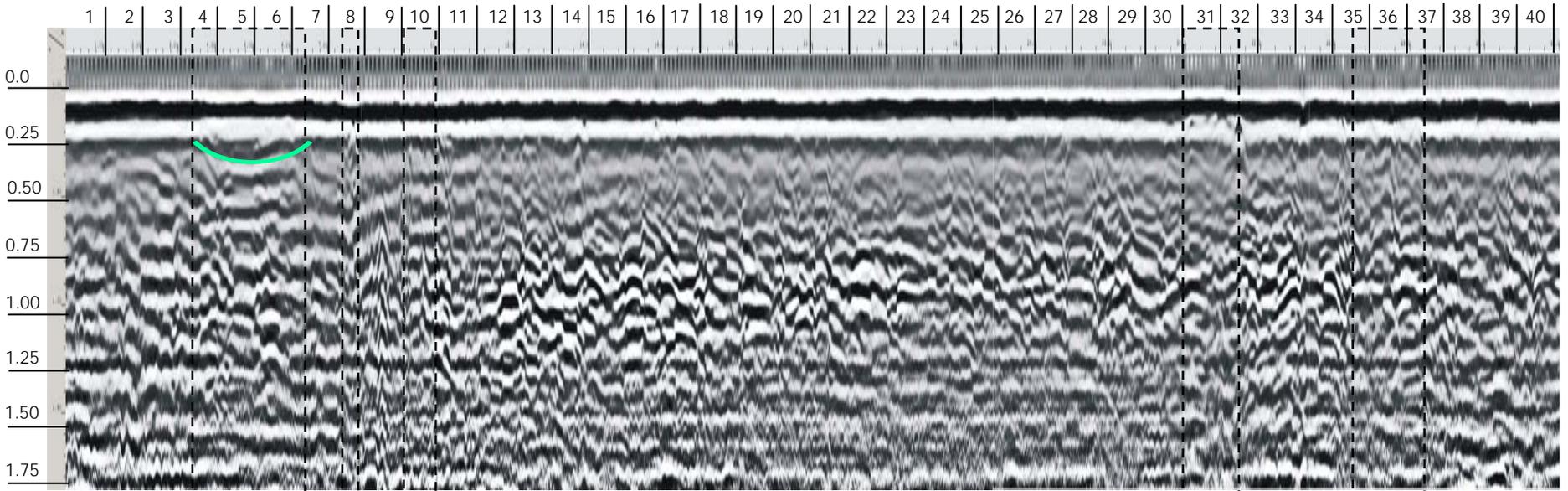


Figura 6.29 – Perfil 512.

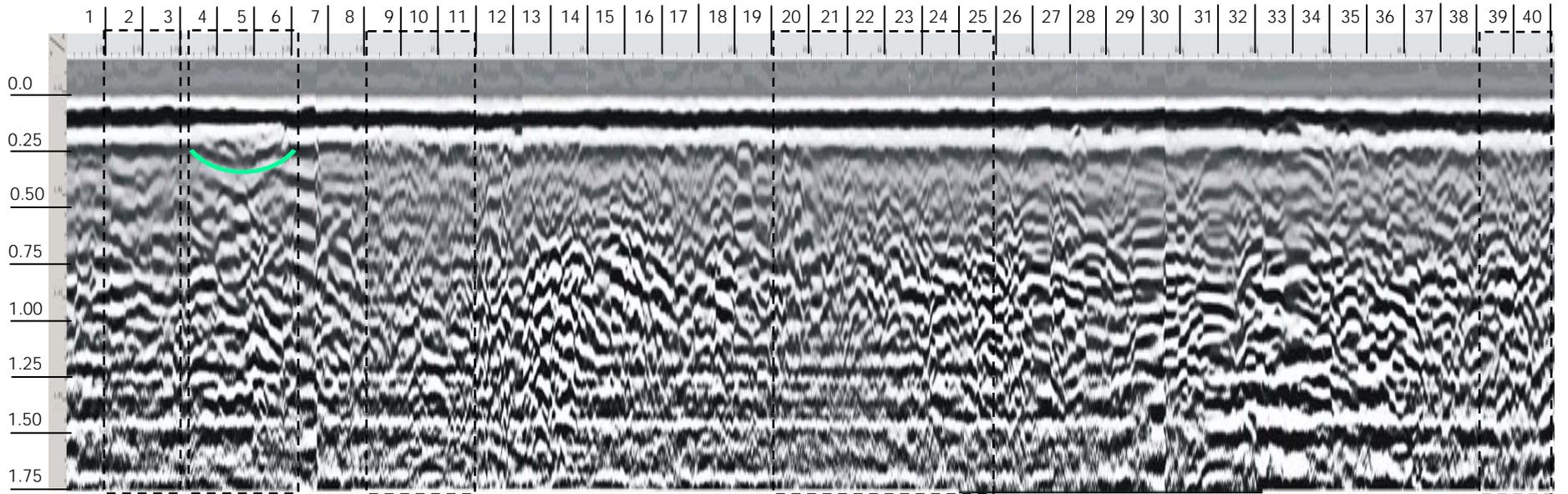


Figura 6.30 – Perfil 510.

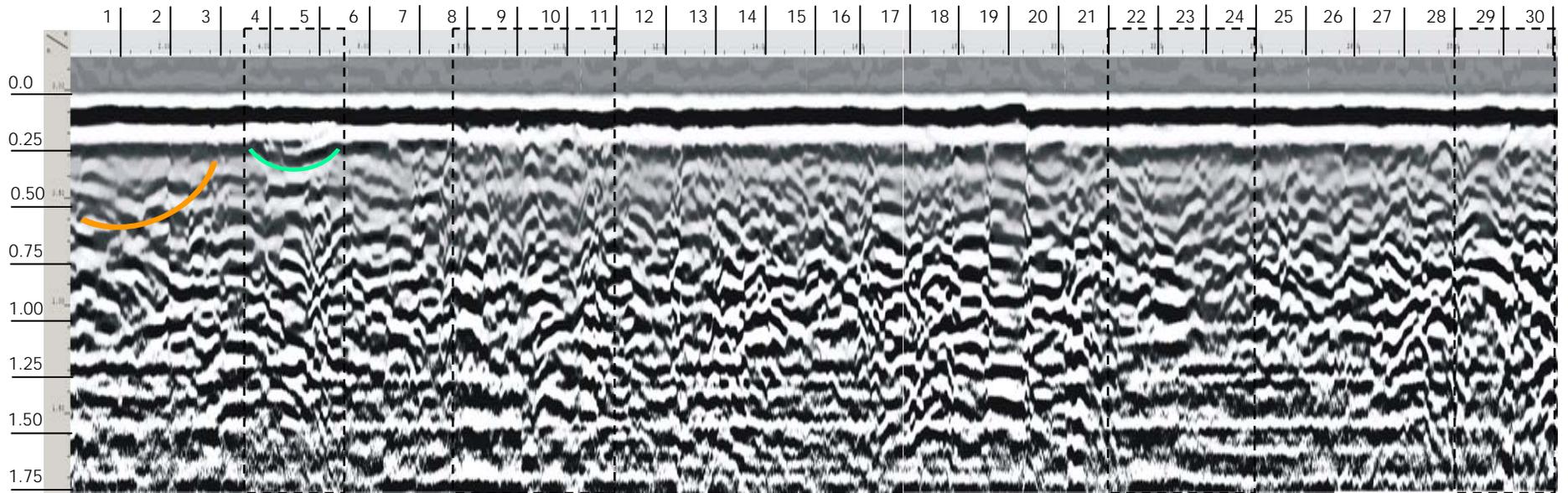


Figura 6.31 – Perfil 508.

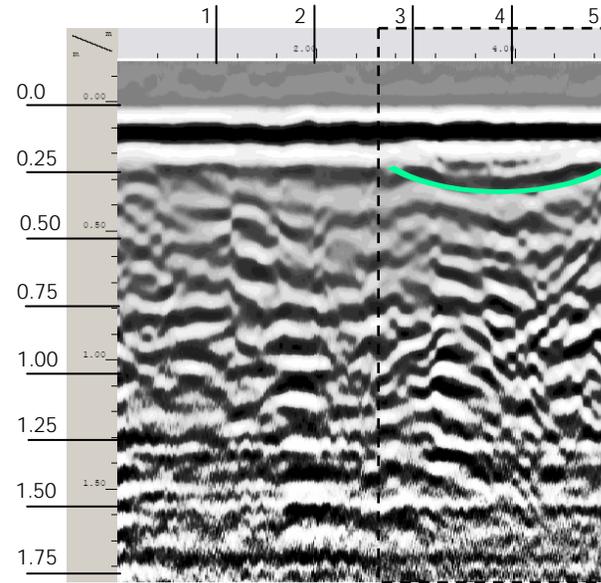


Figura 6.32 – Perfil 506A.

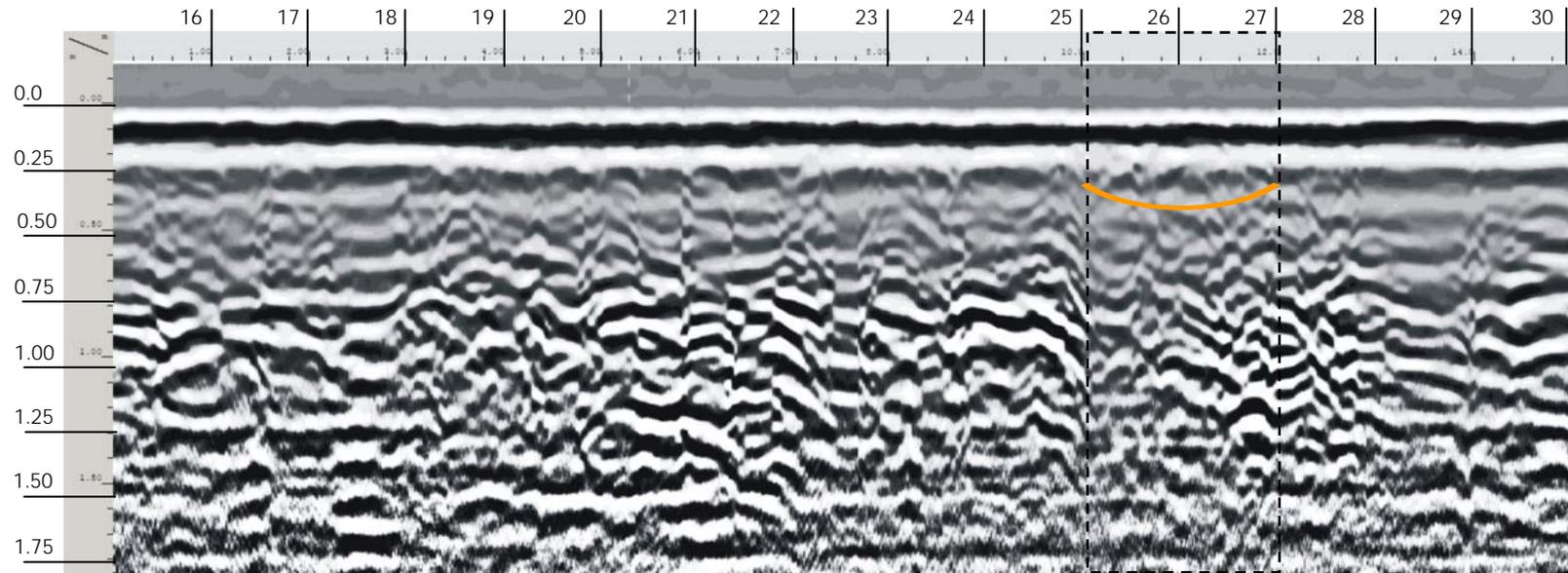


Figura 6.33 – Perfil 506B.

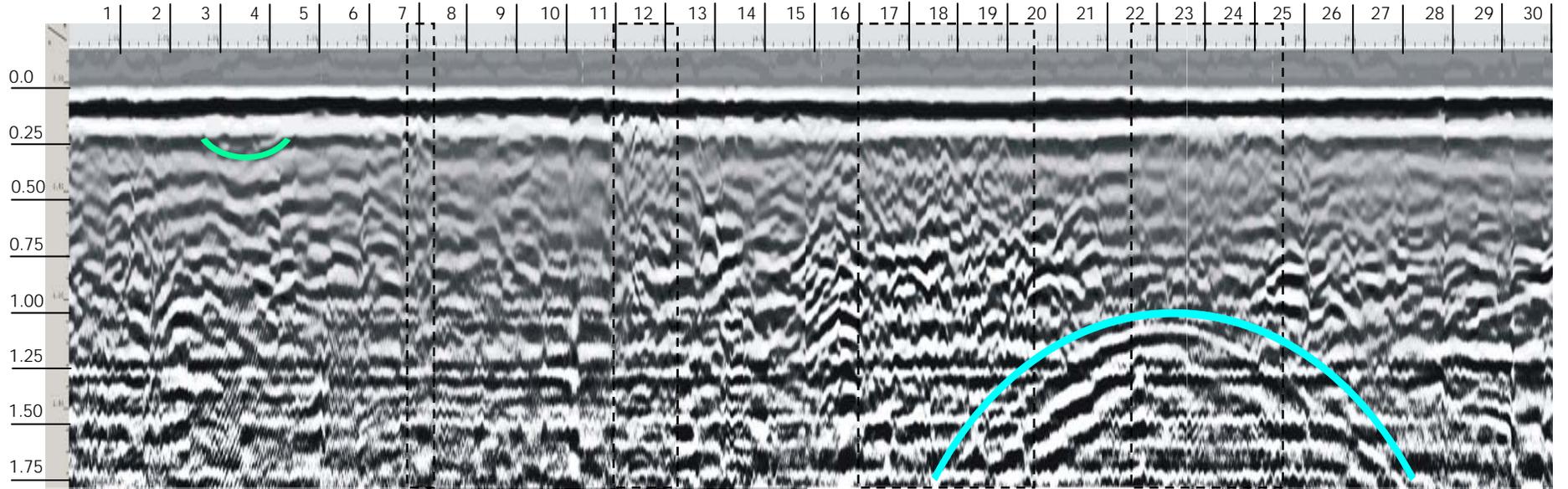


Figura 6.34 – Perfil 504.

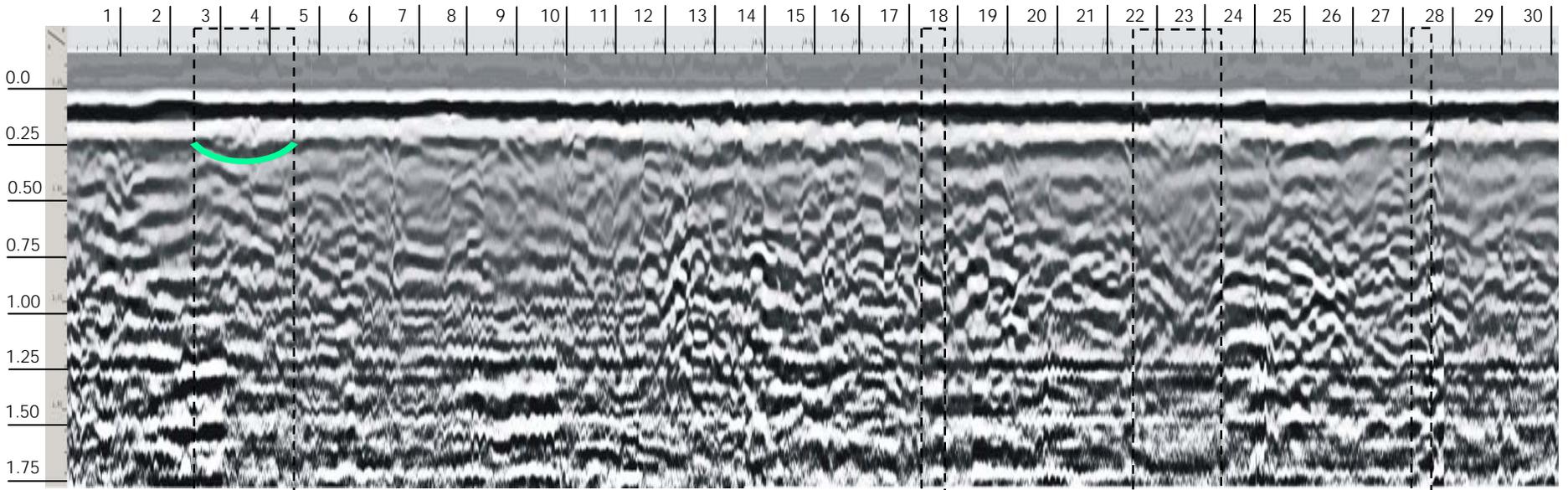
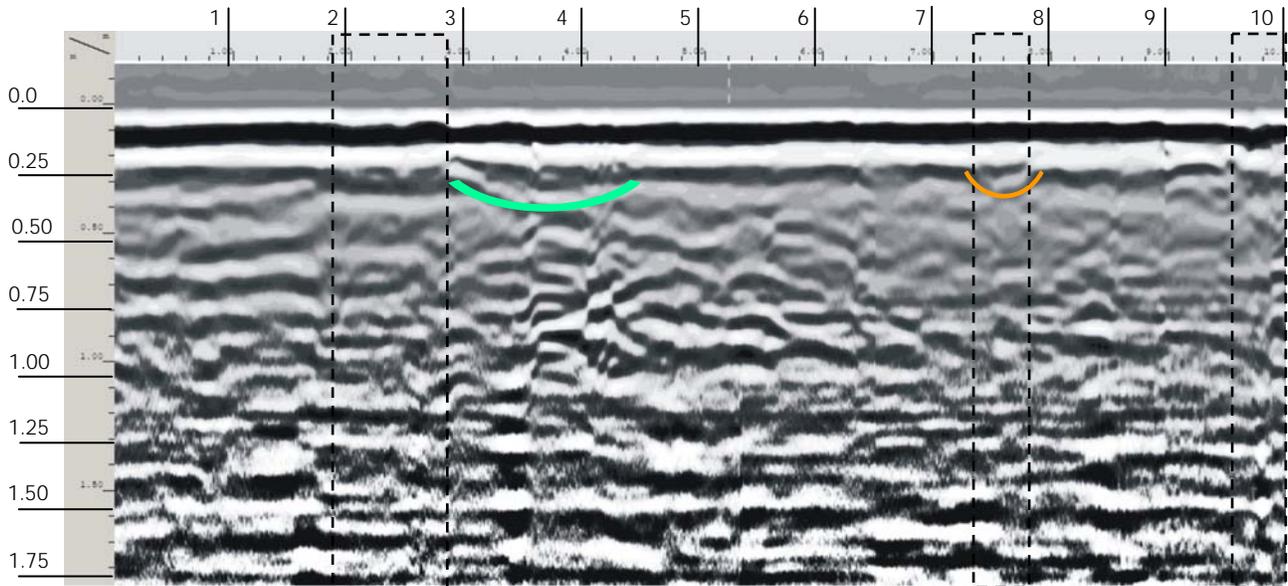


Figura 6.35 – Perfil 502.



**Figura 6.36** – Perfil 500.

### 6.3 CORRELAÇÃO MAGNETOMETRIA-GPR

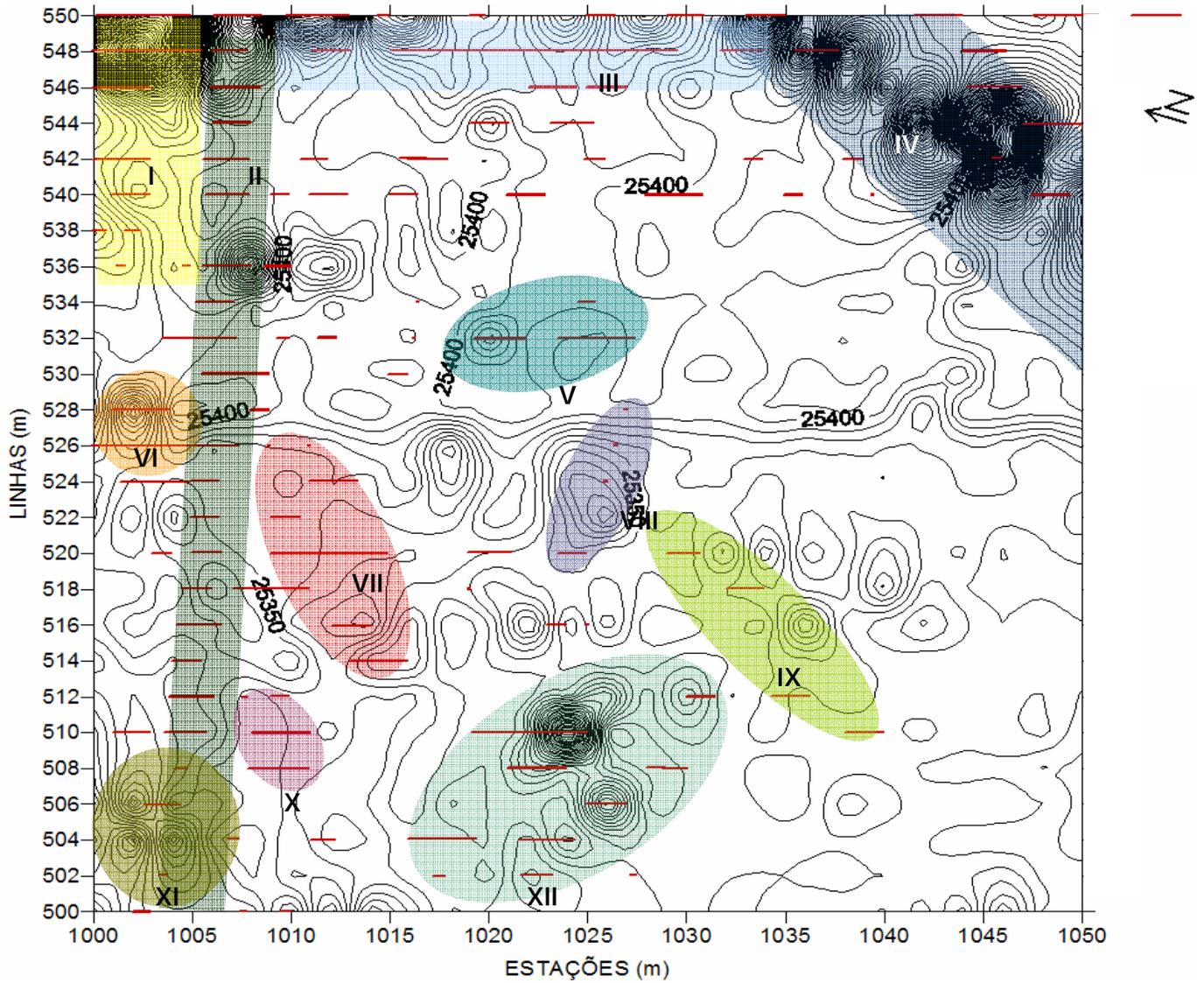
A largura das zonas anômalas identificadas nos radargramas foram posicionadas sobre o mapa magnético a fim de se obter uma correlação entre as anomalias magnéticas e as do GPR (Figura 6.37). Com base nessa sobreposição de informações foram verificadas as regiões anômalas coincidentes e, a partir daí, selecionadas as zonas mais promissoras para a intervenção arqueológica.

O posicionamento das anomalias do GPR sobre o mapa magnético permitiu que se estabelecessem as zonas demarcadas com os algarismos romanos de I a XII no mapa da Figura 6.37. Essas zonas, exceto a zona II, são regiões recomendadas para escavações.

A zona II foi considerada não promissora, do ponto de vista arqueológico, pois coincide com uma passarela de pedra moderna que está exposta numa pequena parte da área.

### 6.4 INDICAÇÕES PARA FUTURAS INTERVENÇÕES ARQUEOLÓGICAS

Com base nos dados relacionados no mapa magnético e nos perfis de GPR indica-se para a busca de possíveis alicerces, materiais construtivos e artefatos, as regiões anômalas mostradas na Figura 6.37 pelos algarismos I, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX, X, XI, e XII.



**Figura 6.37** – Correlação entre as anomalias magnéticas e a largura das regiões anômalas identificadas com o GPR (marcas em vermelho) que resultaram nas zonas indicadas para intervenção arqueológica (I, e III a XII).

## 7 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo reunir indícios sobre a possível localização de alicerces de construções e outros vestígios de ocupação no sítio arqueológico do Engenho Murutucu por meio da Geofísica, para guiar futuras escavações arqueológicas. A partir do exposto nesta dissertação, consideramos que esse objetivo foi alcançado. Os resultados mostraram indicações da possível localização de alicerces de construção antiga e artefatos para que se procedam as escavações, com base na análise dos dados magnéticos e dos perfis de GPR realizados. Essas indicações estão representadas no mapa da Figura 6.37 pelas zonas identificadas através dos algarismos I, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX, X, XI e XII.

No decorrer da pesquisa verificou-se a vantajosa aplicação dos métodos geofísicos para a avaliação de sítios arqueológicos, com objetivo de indicar localizações prévias à escavação. Como é uma metodologia de rápida aplicação e de custo mínimo, além de ter natureza não invasiva e não destrutiva, é perfeita para esse tipo de aplicação. A avaliação geofísica anterior às intervenções nos sítios poupa tempo, custo e pessoal, sendo recomendada sempre que possível.

No que se refere à pesquisa, no presente trabalho contamos com o benefício de ter uma prospecção geofísica anterior, um levantamento magnético realizado em 2000, e uma pequena escavação realizada a partir da indicação deste, o que facilitou a familiarização com as anomalias magnéticas.

A correlação dos resultados do levantamento magnético e dos perfis de GPR facilitou consideravelmente a focalização dos locais indicados para a intervenção arqueológica, reduzindo a probabilidade de erro que seria possível fazendo o uso de apenas um método. Também devido a essa focalização de anomalias percebemos a considerável diminuição no trabalho de processamento e interpretação dos perfis de GPR, que normalmente consistem em períodos muito maiores que o tempo necessário para a aquisição no trabalho de campo.

Outro ponto que deve ser mencionando, também relacionando a economia de trabalho e tempo, é a possibilidade de haver informações prévias de natureza arqueológica. Essas informações podem focalizar o alvo a ser prospectado, diminuindo a área a ser coberta. Nesta pesquisa, não houve necessidade de cobrir toda a região que compreende o sítio. Nossa região estudada constou de apenas parte do mapa magnético original, a partir de apontamentos do arqueólogo Fernando Marques quanto à maior possibilidade de encontrar vestígios da possível localização da senzala de acordo com a configuração das edificações no terreno.

É importante mencionar também que como a área de estudo é um sítio arqueológico, tombado pelo IPHAN como Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, apesar do visível estado de abandono, é uma área protegida pela Lei 3.924, de 26 de julho de 1961 (Anexo A), e pela Portaria N.º 07 do IPHAN, de 01 de dezembro de 1988 (Anexo B). Essa lei submete monumentos arqueológicos e pré-históricos à proteção do Poder Público, enquanto a Portaria N.º 07 do IPHAN, estabelece os procedimentos de autorização e permissão para pesquisas e intervenções em sítios arqueológicos. Observa-se aqui que até a entrega desta dissertação, ainda não havia sido obtida a autorização legal para a intervenção arqueológica na área de estudo e, portanto, os locais indicados através deste estudo para a localização de possíveis artefatos e alicerces de construção, até então não haviam sido verificados.

## REFERÊNCIAS

- AITKEN, M. J. **Physics and Archaeology**. 2 ed. Oxford: Claredon Press, 1974. 181 p.
- ALVES, J. J. A. **Métodos Geofísicos aplicados à Arqueologia no Estado do Pará**. 1979. 55 f. Dissertação (Mestrado em Geofísica) – Universidade Federal do Pará, Belém, 1979.
- ALVES, J. J. A.; LOURENÇO, J. S. Métodos Geofísicos aplicados à Arqueologia no Estado do Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, Série Geologia, n. 26, p. 1–52, 1981.
- ARAGÃO, R. C. **Metodologia Geofísica aplicada à pesquisa de salvamento arqueológico nos Sítios Bittencourt, Jambuaçu e Jaburu, Estado do Pará**. 2006. 60 f. Dissertação (Mestrado em Geofísica) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2006.
- BARRADAS, J. A.; SCHAAN, D. P.; LUIZ, J.G. Magnetic and GPR Survey to Identify Archaeological Features on Cacoal Site, Anajás River, Marajó Island, Pará, Brazil. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 6., Rio de Janeiro, 1999.
- BORGES, W. R. **Investigações Geofísicas na Borda da Bacia Sedimentar de São Paulo, utilizando-se GPR e eletroresistividade**. 2002. 60 f. Dissertação (Mestrado em Geofísica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- BOTELHO, M. A. B. O Método de Radar de Penetração no Solo (GPR): Princípios Físicos e Aplicações Geológicas Geotécnicas e Ambientais (Minicurso). In: SEMANA DE GEOFÍSICA DA UFPA, 1., Belém, 2006.
- CALLISTER JR, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. Rio de Janeiro: LTC, 2002. 589 p.
- COMMONWEALTH OF AUSTRALIA, AUSTRALIAN ANTARCTIC DIVISION. **South Magnetic Pole**. 2002. Disponível em: <http://www.aad.gov.au>.
- CRUZ, E. **História do Pará**. Belém: Universidade Federal do Pará, 1963.
- DAVIS, J. L.; ANAN, A. P. Ground penetrating radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy. **Geophysical Prospecting**, n. 37, p. 531-551, 1989.
- DOBRIN, M. B.; SAVIT, C. H. **Introduction to Geophysical Prospecting**. 4 ed. [s.l.]: McGraw-Hill, 1988. 867 p.
- FUNARI, P. P. A Arqueologia Histórica em Perspectiva Mundial. **Revista de História Regional**, v. 6, n. 2, p. 35-41, 2001. Disponível em: <http://www.rhr.uepg.br/v6n2/2PedroFunari.pdf> . Acesso em: 10 ago. 2006.
- FUNARI, P. P. **Arqueologia**. São Paulo: Contexto, 2003.

- GSSI. **Antenas:** The Difference is the Data. [s.l]: 2006, 4 f. Disponível em: <http://www.alphageofisica.com.br>.
- LUIZ, J. G. **Notas de Aulas de Método Georadar.** Belém: Universidade Federal do Pará, 1998. 8 p.
- LUIZ, J. G. **Notas de Aula de Método Magnético.** Belém: Universidade Federal do Pará, 2005. 3 p.
- LUIZ, J. G.; SILVA, L. M. da C. **Curso de Prospecção Geofísica.** Belém: Universidade Federal do Pará, 1983. 263 p.
- LUIZ, J. G.; SILVA, L. M. da C. **Geofísica de Prospecção.** Belém: UFPA/ CEJUP, 1995. 311p.
- LUIZ, J. G.; PEREIRA, E. S. Prospecção arqueológica por métodos geofísicos no sudeste do Pará: O caso do Sítio Domingos, Canaã dos Carajás. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 9., Salvador, 2005.
- MACHADO, K. D. **Teoria do Eletromagnetismo.** Ponta Grossa: Editora UEPG, 2002. v. 2, 901 p.
- MAREK, F. Magnetometric Methods. In: MARÊS, S. **Introduction to Applied Geophysics.** Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 1984. p. 71–151.
- MARQUES, F. L. T. **Modelo da Agroindústria Canavieira Colonial no Estuário Amazônico: Estudo Arqueológico de Engenhos dos Séculos XVIII e XIX.** 2004. 193 f. Tese (Doutorado em História) – Pontifícia Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.
- MARQUES, F. L. T. Organização espacial e cultura material no Engenho do Murutucu: Uma abordagem Arqueológica. 2003. In: LANDI E O SÉCULO XVIII NA AMAZÔNIA. Disponível em: <http://www.landi.inf.br/anais.htm>. Acesso em: 25 fev. 2006.
- MATTA, M. A. S. **Fundamentos Hidrogeológicos para a Gestão Integrada dos Recursos Hídricos da Região Metropolitana de Belém/Ananindeua – Pará, Brasil.** 2002. 292 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2002.
- MELLO JÚNIOR, D. **Antônio José Landi: Arquiteto de Belém.** Belém: Governo do Estado do Pará, 1973.
- MENDONÇA, I. M. G. Antônio José Landi (Bolonha 1713/ Belém 1791) e a transmissão de modelos artísticos da Europa para o Brasil. 2003. In: LANDI E O SÉCULO XVIII NA AMAZÔNIA. Disponível em: <http://www.landi.inf.br/anais.htm>. Acesso em: 18 ago. 2006.
- NATURAL RESOURCES CANADA. **Geomagnetism:** North Magnetic Pole. 2005. Disponível em: [http://gsc.nrcan.gc.ca/geomag/nmp/northpole\\_e.php](http://gsc.nrcan.gc.ca/geomag/nmp/northpole_e.php).
- NEVES, E. G. **Arqueologia da Amazônia.** Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 2006. 86 p.
- PEREIRA, E.; GUAPINDAIA, V.; LUIZ, J. G. Levantamento Arqueológico na Área da Sub-Estação Santa Rita, Macapá (AP). Relatório Técnico, Museu Paraense Emílio Goeldi, Coordenação de Ciências Humanas. Agosto de 2004, 28p.

- POPINI, M. V. F. **Processamento de Dados de GPR Utilizando o Método da Sísmica de Reflexão**. 2001. 70 f. Dissertação (Mestrado em Geofísica) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2001.
- REYNOLDS, J.M. **An Introduction to applied and environmental geophysics**. New York: John Wiley & Sons, 1997. 796 p.
- REZENDE, S. M. **Materiais e Dispositivos Eletrônicos**. São Paulo: Livraria da Física, 2004. 547p.
- ROBERTS, P. H.; GLATZMAIER, G. A. Geodynamo theory and simulations. In: **Reviews of Modern Physics**, v. 72, n. 4, p. 1081-1123, 2000.
- ROOSEVELT, A. C. **Moundbuilders of the Amazon: Geophysical Archaeology on Marajo Island, Brazil**. San Diego: Academic Press, 1991. 495 p.
- SILVA, J. B. C. **Métodos Potenciais: Magnetometria**. [s.l.]: CPRM, 1986.
- SPHAN. **Resolução do Conselho Consultivo da SPHAN, de 13 de agosto de 1985, referente ao Processo Administrativo N.º 13/85/SPHAN**. Belém: 1985.

# ANEXOS

# ANEXO A

LEI N° 3.924, DE 26 DE JULHO DE 1961



## **LEI Nº 3.924, de 26 de julho de 1961**

Dispõe sobre os Monumentos Arqueológicos e Pré-históricos

### **CAPÍTULO I**

#### **DOS MONUMENTOS ARQUEOLÓGICOS E PRÉ-HISTÓRICOS**

Artigo 1º - Os monumentos arqueológicos ou pré-históricos de qualquer natureza existentes no território nacional e todos os elementos que neles se encontram ficam sob a guarda e proteção do Poder Público, de acordo com o que estabelece o Artigo 175 da Constituição Federal.

Parágrafo Único - A propriedade da superfície, regida pelo direito comum, não inclui a das jazidas arqueológicas ou pré-históricas, nem a dos objetos nelas incorporados na forma do Artigo 152 da mesma Constituição.

Artigo 2º - Consideram-se monumentos arqueológicos ou pré-históricos:

- a) - as jazidas de qualquer natureza, origem ou finalidade, que representem testemunhos da cultura dos paleoameríndios do Brasil, tais como sambaquis, montes artificiais ou tesos, poços sepulcrais, jazigos, aterrados, estearias ou quaisquer outras não especificadas aqui, mas de significado idêntico, a juízo da autoridade competente.
- b) - Os sítios nos quais se encontram vestígios positivos de ocupação pelos paleoameríndios, tais como grutas, lapas e abrigos sob rocha;
- c) - Os sítios identificados como cemitérios, sepulturas ou locais de pouso prolongado ou de aldeamento, "estações" e "cerâmicos", nos quais se encontrem vestígios humanos de interesse arqueológico ou paleoetnográfico;
- d) - As inscrições rupestres ou locais como sulcos de polimentos de utensílios e outros vestígios de atividade paleoameríndios.

Artigo 3º - São proibidos em todo o território nacional, o aproveitamento econômico, a destruição ou mutilação, para qualquer fim, das jazidas arqueológicas ou pré-históricas conhecidas como sambaquis, casqueiros, concheiros, biribigueiras ou semambis, e bem assim dos sítios, inscrições e objetos enumerados nas Alíneas b, c e d do artigo anterior, antes de serem devidamente pesquisados, respeitadas as concessões anteriores e não caducas.

Artigo 4º - Toda a pessoa, natural ou jurídica que, na data da publicação desta lei, já estiver procedendo, para fins econômicos ou outros, à exploração de jazidas arqueológicas ou pré-históricas, deverá comunicar à Diretoria do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, dentro de sessenta (60) dias, sob pena de multa de Cr\$ 10.000,00 a Cr\$ 50.000,00 (dez mil a cinquenta mil

cruzeiros), o exercício dessa atividade, para efeito de exame, registro, fiscalização e salvaguarda do interesse da ciência.

Artigo 5º - Qualquer ato que importe na destruição ou mutilação dos monumentos a que se refere o Artigo 2º desta lei, será considerado crime contra o Patrimônio Nacional e, como tal, punível de acordo com o disposto nas leis penais.

Artigo 6º - As jazidas conhecidas como sambaquis, manifestadas ao governo da União, por intermédio da Diretoria do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, de acordo com o Artigo 4º e registradas na forma do Artigo 27 desta lei, terão precedência para estudo e eventual aproveitamento, em conformidade com o Código de Minas.

Artigo 7º - As jazidas arqueológicas ou pré-históricas de qualquer natureza, não manifestadas e registradas na forma dos Artigos 4º e 6º desta lei, são consideradas, para todos os efeitos, bens patrimoniais da União.

## CAPÍTULO II

### DAS ESCAVAÇÕES ARQUEOLÓGICAS REALIZADAS POR PARTICULARES

Artigo 8º - O direito de realizar escavações para fins arqueológicos, em terras de domínio público ou particular, constitui-se mediante permissão do Governo da União, através da Diretoria do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, ficando obrigado a respeitá-lo o proprietário ou possuidor do solo.

Artigo 9º - O pedido de permissão deve ser dirigido à Diretoria do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, acompanhada dos trabalhos a serem executados, da prova de idoneidade técnico-científica e financeira do requerente e do nome do responsável pela realização dos trabalhos.

Parágrafo Único - Estando em condomínio a área em que se localiza a jazida, somente poderá requerer a permissão o administrador ou cabecel, eleito na forma do Código Civil.

Artigo 10 - A permissão terá por título numa portaria do Ministro de Educação e Cultura, que será transcrita em livro próprio da Diretoria do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, e na qual ficarão estabelecidas as condições a serem observadas ao desenvolvimento das escavações e estudos.

Artigo 11 - Desde que as escavações e estudos devam ser realizados em terreno que não pertence ao requerente, deverá ser anexado ao seu pedido o consentimento escrito do proprietário do terreno ou de quem esteja em uso e gozo desse direito.

§ 1º - As escavações devem ser necessariamente executadas sob a orientação do permissionário, que responderá civil, penal e administrativamente, pelos prejuízos que causar ao Patrimônio Nacional ou a terceiros.

§ 2º - As escavações devem ser realizadas de acordo com as condições estipuladas no instrumento de permissão, não podendo o responsável, sob nenhum pretexto, impedir a inspeção dos trabalhos por delegado especialmente designado pela Diretoria do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, quando for o julgado conveniente.

§ 3º - O permissionário fica obrigado a informar à Diretoria do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, trimestralmente, sobre o andamento das escavações, salvo a ocorrência de fato excepcional, cuja notificação deverá ser feita imediatamente, para as providências cabíveis.

Artigo 12 - O Ministro da Educação e Cultura poderá cassar a permissão concedida, uma vez que:

- a) - Não sejam cumpridas as prescrições da presente lei e do instrumento de concessão da licença;
- b) - Sejam suspensos os trabalhos de campo por prazo superior a doze (12) meses, salvo motivo de força maior, devidamente comprovado;
- c) - No caso de não cumprimento do Parágrafo 3º do artigo anterior.

Parágrafo Único - Em qualquer dos casos acima enumerados, o permissionário não terá direito à indenização alguma pelas despesas que tiver efetuado.

### CAPÍTULO III

#### DAS ESCAVAÇÕES ARQUEOLÓGICAS REALIZADAS POR INSTITUIÇÕES CIENTÍFICAS ESPECIALIZADAS DA UNIÃO, DOS ESTADOS E DOS MUNICÍPIOS

Artigo 13 - A União, bem como os Estados e Municípios mediante autorização federal, poderão proceder a escavações e pesquisas, no interesse da arqueologia e da pré-história em terrenos de propriedade particular, com exceção das áreas muradas que envolvem construções domiciliares.

Parágrafo Único - A falta de acordo amigável com o proprietário da área onde situar-se a jazida, será esta declarada de utilidade pública e autorizadas a sua ocupação pelo período necessário à execução dos estudos, nos termos do Artigo 36 do Decreto-lei 3365, de 21 de Junho de 1941.

Artigo 14 - No caso de ocupação temporária do terreno, para realização de escavações nas jazidas declaradas de utilidade pública, deverá ser lavrado um auto, antes do início dos estudos, no qual se descreva o aspecto exato do local.

§ 1º - Terminados os estudos, o local deverá ser restabelecido, sempre que possível, na feição primitiva.

§ 2º - Em caso de escavações produzirem a destruição de um relevo qualquer, essa obrigação só terá cabimento quando se comprovar que, desse aspecto particular do terreno, resultavam incontestáveis vantagens para o proprietário.

Artigo 15 - Em casos especiais e em face do significado arqueológico excepcional das jazidas poderá ser promovida a desapropriação do imóvel, ou parte dele, por utilidade pública, com fundamento no Artigo 5º, Alíneas k e l do Decreto-lei 3365, de 21 de Junho de 1941.

Artigo 16 - Nenhum órgão da administração federal, dos Estados ou dos Municípios, mesmo no caso do Artigo 28 desta lei, poderá realizar escavações arqueológicas ou pré-históricas, sem prévia comunicação à Diretoria do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, para fins de registro no cadastro de jazidas arqueológicas.

Parágrafo Único - Dessa comunicação deve constar, obrigatoriamente, o local, o tipo ou a designação da jazida, o nome do especialista encarregado das escavações, os indícios que determinaram a escolha do local e posteriormente, uma súmula dos resultados obtidos e do destino do material coletado.

## CAPÍTULO IV

### DAS DESCOBERTAS FORTUITAS

Artigo 17 - A posse e a salvaguarda dos bens de natureza arqueológica ou pré-histórica constituem, em princípio, direito imanente ao Estado.

Artigo 18 - A descoberta fortuita de quaisquer elementos de interesse arqueológico ou pré-histórico, histórico, artístico ou numismático, deverá ser imediatamente comunicada à Diretoria do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, ou aos órgãos oficiais autorizados, pelo autor do achado ou pelo proprietário do local onde tiver ocorrido.

Parágrafo Único - O proprietário ou ocupante do imóvel onde se tiver verificado o achado, é responsável pela conservação provisória da coisa descoberta, até pronunciamento e deliberação da Diretoria do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional.

Artigo 19 - A infringência da obrigação imposta no artigo anterior implicará na apreensão sumária do achado, sem prejuízo da responsabilidade do inventor pelos danos que vier a causar ao Patrimônio Nacional, em decorrência da omissão.

## CAPÍTULO V

### DA REMESSA PARA O EXTERIOR DE OBJETOS DE INTERESSE ARQUEOLÓGICO OU PRÉ-HISTÓRICO, HISTÓRICO, NUMISMÁTICO OU ARTÍSTICO

Artigo 20 - Nenhum objeto que apresente interesse arqueológico ou pré-histórico, numismático ou artístico poderá ser transferido para o exterior, sem licença expressa do Diretoria do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, constante de uma "guia" de liberação na qual serão devidamente especificados os objetos a serem transferidos.

Artigo 21 - A inobservância da prescrição do artigo anterior implicará a apreensão sumária do objeto a ser transferido, sem prejuízo das demais cominações legais a que estiver sujeito o responsável.

Parágrafo Único - O objeto apreendido, razão deste artigo, será entregue à Diretoria do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional.

## CAPÍTULO VI

### DISPOSIÇÕES GERAIS

Artigo 22 - O aproveitamento econômico das jazidas objeto desta lei, poderá ser realizado na forma e nas condições prescritas pelo Código de Minas, uma vez concluída a sua exploração científica,

mediante parecer favorável da Diretoria do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional ou do órgão oficial autorizado.

Parágrafo Único - De todas as jazidas será preservada sempre que possível ou conveniente, uma parte significativa, a ser protegida pelos meios convenientes, como blocos testemunhos.

Artigo 23 - O Conselho de Fiscalização das Expedições Artísticas e Científicas encaminhará à Diretoria do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional qualquer pedido de cientista estrangeiro, para realizar escavações arqueológicas ou pré-históricas, no país.

Artigo 24 - Nenhuma autorização de pesquisa ou de lavra para jazidas de calcáreo de concha, que possua as características de monumentos arqueológicos ou pré-históricos, poderá ser concedida sem audiência prévia da Diretoria do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional.

Artigo 25 - A realização de escavações arqueológicas ou pré-históricas, com infringência de qualquer dos dispositivos desta lei, dará lugar à multa de Cr\$ 5.000,00 (cinco mil cruzeiros) a Cr\$ 50.000,00 (cinquenta mil cruzeiros) sem prejuízo de sumária apreensão e conseqüente perda, para o Patrimônio Nacional, de todo o material e equipamento existente no local.

Artigo 26 - Para melhor execução da presente lei, a Diretoria do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional poderá solicitar a colaboração de órgãos federais, estaduais, municipais, bem como de instituições que tenham, entre os seus objetivos específicos, o estudo e a defesa dos monumentos arqueológicos e pré-históricos.

Artigo 27 - A Diretoria do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional manterá um Cadastro dos monumentos arqueológicos do Brasil, no qual serão registradas todas as jazidas manifestadas, de acordo com o disposto nesta lei, bem como das que se tornarem conhecidas por qualquer via.

Artigo 28 - As atribuições conferidas ao Ministério da Educação e Cultura, para o cumprimento desta lei, poderão ser delegadas a qualquer unidade da Federação, que disponha de serviços técnico-administrativos especialmente organizados para a guarda, preservação e estudo das jazidas arqueológicas e pré-históricas, bem como de recursos suficientes para o custeio e bom andamento dos trabalhos.

Parágrafo Único - No caso deste artigo, o produto das multas aplicadas e apreensões de material legalmente feitas, reverterá em benefício do serviço estadual organizado para a preservação e estudo desses monumentos.

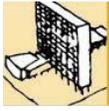
Artigo 29 - Aos infratores desta lei serão aplicadas as sanções dos artigos 163 e 167 do Código Penal, conforme o caso, sem prejuízo de outras penalidades cabíveis.

Artigo 30 - O Poder Executivo baixará, no prazo de 180 dias, a partir da vigência desta lei, a regulamentação que for julgada necessária à sua fiel execução.

Artigo 31 - Esta lei entrará em vigor na data de sua publicação, revogadas as disposições em contrário.

# A N E X O B

PORTARIA N.º 07 DO IPHAN, DE 01 DE DEZEMBRO DE 1988



## Portaria nº 07, de 01 de Dezembro de 1988

O SECRETÁRIO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL, NO USO DAS ATRIBUIÇÕES QUE LHE SÃO CONFERIDAS PELO INCISO VII DO ART. 16 DO REGIMENTO INTERNO APROVADO PELA PORTARIA MINISTERIAL N.º 284, DE 17 DE JULHO DE 1986, E REPUBLICADO ATRAVÉS DA PORTARIA MINISTERIAL N.º 313, DE 8 DE AGOSTO DE 1986, E

Considerando que a Lei n.º 3.924, de 26 de julho de 1961, submete à proteção do Poder Público, pela SPHAN, os monumentos arqueológicos e pré-históricos;

Considerando a necessidade de regulamentar os pedidos de permissão e autorização e a comunicação prévia quando do desenvolvimento de pesquisas de campo e escavações arqueológicas no País a fim de que se resguarde os objetos de valor científico e cultural localizados nessas pesquisas;

Considerando a urgência de fiscalização eficaz das atividades que envolvem bens de interesse arqueológico e pré-histórico do País resolve:

**Artigo 1º** - Estabelecer os procedimentos necessários à comunicação prévia, às permissões e às autorizações para pesquisas e escavações arqueológicas em sítios arqueológicos previstas na Lei n.º 3.924, de 26 de julho de 1961.

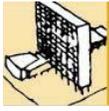
**Artigo 2º** - O pedido de permissão será feito através do requerimento da pessoa natural ou jurídica privada que tenha interesse em promover as atividades descritas no art. 1º.

**Artigo 3º** - As instituições científicas especializadas da União, dos Estados e dos Municípios deverão requerer autorização para escavações e pesquisas em propriedade particular.

**Parágrafo único** - Para efeitos desta Portaria, as Universidades e suas unidades descentralizadas incluem-se entre as instituições científicas de que trata o capítulo III da Lei n.º 3.924/61.

**Artigo 4º** - Os órgãos da Administração Federal, dos Estados e dos Municípios comunicarão previamente qualquer atividade objeto desta Portaria, informando, anualmente à SPHAN, o desenvolvimento dos trabalhos.

**Artigo 5º** - Os pedidos de permissão e autorização, assim como a comunicação prévia, devem ser dirigidos ao Secretário da SPHAN acompanhados das seguintes informações:



I - indicação do nome, endereço, nacionalidade e currículo com cópia das publicações científicas que comprove a idoneidade técnico-científica do arqueólogo responsável e da equipe técnica;

II - delimitação da área abrangida pelo projeto;

III - relação, quando for o caso, dos sítios a serem pesquisados com indicação exata de sua localização;

IV - plano de trabalho científico que contenha:

1. definição dos objetivos;
2. conceituação e metodologia;
3. seqüência das operações a serem realizadas no sítio;
4. cronograma da execução;
5. proposta preliminar de utilização futura do material produzido para fins científicos, culturais e educacionais;
6. meios de divulgação das informações científicas obtidas;

V - prova de idoneidade financeira do projeto;

VI - cópia dos atos constitutivos ou lei instituidora, se pessoa jurídica;

VII - indicação, se for o caso, da instituição científica que apoiará o projeto com respectiva declaração de endosso institucional.

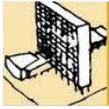
Parágrafo 1º - Serão liminarmente rejeitados os projetos que não apresentarem garantia quanto à sua execução e quanto à guarda do material recolhido.

Parágrafo 2º - Os projetos em cooperação técnica com instituições internacionais devem ser acompanhados de carta de aceitação da instituição científica brasileira co-responsável indicando a natureza dos compromissos assumidos pelas, tanto técnicos quanto financeiros.

**Artigo 6º** - A SPHAN responderá aos pedidos referentes a pesquisas de campo e escavações em noventa dias, salvo se insatisfatoriamente instruídos, reiniciando-se a contagem do prazo a partir do cumprimento da exigência.

**Parágrafo único** - A decisão considerará os critérios adotados para a valorização do sítio arqueológico e de todos os elementos que nele se encontrem, assim como as alternativas de aproveitamento máximo do seu potencial científico, cultural e educacional.

**Artigo 7º** - As permissões e autorizações devem ser revalidadas a cada dois anos, contados da data de emissão do respectivo instrumento.



**Parágrafo único** - Salvo motivo justificado, e a critério exclusivo da SPHAN, as permissões e autorizações só serão renovadas mediante a apresentação dos relatórios técnicos e a comprovação de que as informações científicas estão sendo divulgadas.

**Artigo 8º** - A não apresentação dos relatórios técnicos por período igual ou superior a doze meses consecutivos acarretará o cancelamento da permissão e da autorização, ficando o pesquisador impedido de prosseguir nos trabalhos de campo e a área de pesquisa liberada para novos projetos.

**Artigo 9º** - Os trabalhos de pesquisa serão efetuados sob permanente orientação do coordenador responsável, que não poderá transferir a terceiros os encargos da coordenação sem prévia anuência da SPHAN.

**Parágrafo único** - O arqueólogo designado coordenador dos trabalhos será considerado, durante a realização das etapas de campo, fiel depositário do material arqueológico recolhido ou de estudo que lhe tenha sido confiado.

**Artigo 10** - Do brasileiro responsável pelo desenvolvimento de pesquisas realizadas por estrangeiros exigir-se-á o disposto no art. 9º.

**Artigo 11** - Os relatórios técnicos devem ser redigidos em língua portuguesa e entregues à SPHAN acompanhados das seguintes informações:

I - cadastro, segundo formulário próprio, dos sítios arqueológicos encontrados durante os trabalhos de campo;

II - meios utilizados durante os trabalhos, medidas adotadas para a proteção e conservação e descrição do material arqueológico, indicando a instituição responsável pela guarda e como será assegurado o desenvolvimento da proposta de valorização do potencial científico, cultural e educacional;

III - planta(s) e fotos pormenorizadas do sítio arqueológico com indicação dos locais afetados pelas pesquisas e dos testemunhos deixados no local;

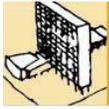
IV - foto do material arqueológico relevante;

V - planta(s), desenhos e fotos das estruturas descobertas e das estratigráficas reconhecidas;

VI - planta(s) com indicação dos locais onde se pretende o prosseguimento das pesquisas em novas etapas;

VII - indicação dos meios de divulgação dos resultados

**Art. 12** - Terminada a pesquisa, o coordenador encaminhará à SPHAN, em língua portuguesa, o relatório final dos trabalhos, onde deverá constar:



I - as informações relacionadas no art. 11, exceto a do item VI;

II - listagem dos sítios arqueológicos cadastrados durante o desenvolvimento do projeto;

III - relação definitiva do material arqueológico recolhido em campo e informações sobre seu acondicionamento e estocagem, assim como indicação precisa do responsável pela guarda e manutenção desse material.

**Art. 13** - Esta Portaria entrará em vigor na data de sua publicação, revogadas as disposições em contrário.

Augusto Carlos da Silva Telles

Secretário da SPHAN

Publicado no D.O U de 15.12 88