

# Uso do Ground Penetrating Radar (GPR) na identificação de elementos de fundação de edificações existentes

Paola Machado Barreto Manhães

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil,  
paola\_manhaes@yahoo.com.br

José Tavares Araruna Jr.

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, araruna@puc-rio.br

Patrício José Moreira

Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil, pmpires@gmail.com

**RESUMO:** O presente trabalho apresenta a tecnologia do *Ground Penetrating Radar* (GPR) como ferramenta para investigação não invasiva dos elementos de fundação de uma edificação através do estudo de caso de uma investigação de campo realizada em um empreendimento comercial em Ipanema (Rio de Janeiro). Os resultados da investigação geofísica com o uso do GPR realizada na Rua Visconde de Pirajá permitiram identificar o posicionamento do aquífero não confinado, os elementos de fundação existentes no perímetro do terreno e outros objetos enterrados. A análise das imagens formadas permitiu delimitar a forma e o posicionamento dos elementos de fundação rasa existentes, porém devido à presença do aquífero não confinado próximo a superfície não foi possível determinar o comprimento dos elementos de fundação profunda. Verificou-se que a presença de água salobra atenuou a propagação dos sinais das ondas eletromagnéticas.

**PALAVRAS-CHAVE:** GPR, Investigação Não Invasiva, Fundações.

## 1 INTRODUÇÃO

Ao se iniciar um estudo de fundações prediais nas metrópoles, os projetistas se deparam com alguns desafios incluindo a escolha do tipo de fundação, a necessidade de escavação para a construção de subsolos e, em muitos casos, a implantação de estruturas de contenção. Portanto, é de suma importância o estudo das subestruturas das construções adjacentes, a fim de propiciar uma escolha segura e econômica do tipo de fundação além de não ocasionar danos às edificações vizinhas. Geralmente, nem sempre é possível obter informações sobre os projetos de fundação das construções vizinhas, seja pela problemática que envolve este processo ou ainda pela inexistência destes.

As técnicas mais convencionais para a investigação das estruturas de construções já

existentes envolvem escavações, sejam manuais ou com o auxílio de escavadeiras hidráulicas. Porém a utilização destas técnicas demanda um grande intervalo de tempo, envolve um custo apreciável e não apresentam garantia de sucesso pela dificuldade de acesso a fundações mais profundas. Portanto, lançar mão de técnicas investigativas não invasivas pode ser de grande valia para certos tipos de construção.

O GPR é um método geofísico de investigação não invasiva que é fundamentado na propagação e reflexão de ondas eletromagnéticas. Os ensaios são realizados através da movimentação da fonte de emissão de sinais e das antenas transmissora e receptora ao longo de um perfil a ser analisado. A fonte transmissora emite pulsos eletromagnéticos na superfície e a antena receptora registra os sinais refletidos na interface entre os diferentes

materiais presentes na subsuperfície que apresentam propriedades eletromagnéticas distintas (i.e., permissividade dielétrica, condutividade elétrica e magnética).

Através das leituras efetuadas e processadas pelo sistema automático de aquisição de dados, podem-se obter, através da teoria de propagação da onda em meios elásticos e de procedimentos de calibração, informações importantes do subsolo, incluindo a presença de estruturas enterradas (e.g., tubulações e galerias subterrâneas), determinação do nível de água; delimitação de camadas estratigráficas, profundidade do maciço rochoso e presença de elementos de fundação (Jol, 2009; Daniels, 2004; Khan, 2011).

Recentemente, Domenico *et al.* (2013) utilizaram o GPR para caracterizar a fundação de duas escolas no município de Enna na Itália. Conhecendo a fundação da construção foi possível dar andamento a análise de vulnerabilidade sísmica a qual a construção era passível. Neste estudo, a geometria da fundação, o nível do assentamento do plinto, e a posição longitudinalmente da estrutura ao longo da seção investigada foram confirmados pela escavação do solo no entorno da estrutura.

Com o objetivo de investigar possíveis patologias em estruturas de concreto armado, diversos autores utilizam técnicas investigativas envolvendo o GPR, incluindo Hugenschmidt (2002), Hugenschmidt e Mastrangelo (2006), Alani *et al.* (2013), e Benedetto (2013). Adicionalmente, Barraca *et al.* (2016) aplicaram essa técnica para assegurar a reabilitação de construções classificadas como Art Deco de maneira que realizaram investigações para identificar o tipo da fundação de origem, patologias estruturais, presença de fraturas, detecção de umidade dos elementos estruturais, detectar alterações estruturais que tenha sido realizadas ao longo de sua vida útil como reforços estruturais, entre outras importantes características. Além de identificar elementos de reforços estruturais, Kabir e Zakir (2011) sugerem que com esse tipo de equipamento também é possível detectar altos níveis de corrosão em barras de aço, o que permite que os projetistas tenham maiores níveis de

informações para diagnosticar possíveis patologias e propor soluções dessas patologias com mais respaldo.

Neste trabalho, os autores utilizaram o GPR para detectar os elementos de fundação das edificações que circunvizinhavam um empreendimento comercial em Ipanema no Rio de Janeiro (vide Figura 1).

O referido empreendimento possuirá dois subsolos e foi necessária a investigação dos elementos de fundação nas edificações vizinhas para definir a metodologia de escavação e a definição do tipo de fundação mais apropriado. Assim sendo, foi-se necessária a execução de levantamentos nos edifícios vizinhos para a detecção de cisternas e de seus elementos de fundação, bem como a realização de levantamentos no terreno do próprio empreendimento para ratificar/retificar as informações obtidas nos levantamentos previamente realizados no terreno do empreendimento.

O local do projeto contava com um subsolo pertencente ao antigo edifício, remanescente da demolição, com uma rampa de acesso. Essas características foram de grande importância para se investigar estruturas enterradas nos terrenos adjacentes, já que foi possível realizar prospecções verticais (no solo) e horizontais (nas paredes diafragma existentes).

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O levantamento geofísico foi executado empregando um radar de penetração (GPR) com uma antena blindada de 500MHz. Além da antena citada também foi realizada a aquisição de seções com o intuito de se obter mais informações em profundidades maiores. Para isso foi uma antena RTA de 100MHz. Porém as investigações realizadas com essa antena foram insatisfatórias devido a presença de água salobra nas proximidades da superfície.

O deslocamento das antenas foi aquisitado através de um odômetro, conectado a roda traseira esquerda da unidade móvel, que fornece a distância percorrida à unidade de aquisição e controle das leituras.



Com isso foi possível posicionar o local onde há possíveis interferências relacionadas a tubulações ou outros elementos presentes no subsolo.

Antes do levantamento foi realizada uma calibração do odômetro através da comparação entre os valores obtidos de uma trena graduada de 50m com resolução de 0,01m

Foi realizada a aquisição de um total de catorze seções, porém serão apresentados somente os resultados referentes às sete seções localizadas no perímetro da zona que será escavada para a construção de dois subsolos. A localização das sete seções de interesse foi apresentada na Figura 1.

Os dados adquiridos foram processados utilizando-se os seguintes recursos de processamento: a) o filtro *Time-Zero Adjustment* foi empregado para determinar no radargrama a superfície do terreno; b) o procedimento de ajuste por hipérbole foi empregado para determinar a velocidade de propagação das ondas eletromagnética no meio físico; c) o filtro *Bandpass Filtering* foi empregado para aumentar a razão entre o sinal das ondas e o ruído existente e d) o filtro *Amplitude Correction* foi utilizado para equalizar a amplitude do sinal ao longo dos traços do radargrama.

## 2 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Serão apresentados os radargramas das seções de interesse após o processamento e a interpretação. A localização das seções pode ser vista na Figura 1. Os objetos enterrados identificados no radargrama foram delimitados por linhas e enumerados.

O radargrama referente a seção 1720 é apresentado na Figura 2. O levantamento realizado sugere que a carga dos pilares da edificação que foi recentemente demolida eram transferidas para fundações rasas. O provável formato das sapatas existentes encontra-se delineado pelas linhas verdes. No decorrer do processamento observou-se uma interferência, denominada 2'. Foi possível perceber ainda uma descontinuidade no solo adjacente às fundações, o que confirma a sugestão de que a fundação fosse rasa.

A aquisição da seção 121 foi realizada na rampa de acesso ao subsolo do prédio recém demolido. O radargrama resultante dessa aquisição é apresentado na Figura 3.

Verificou-se a presença de pilares da edificação adjacente nesta seção. Os pilares estão identificados pelos números 1, 2 e 3. Observaram-se ainda feições indicativas de paredes no levantamento realizado. Estas feições estão indicadas pelos números 4, 5 e 6.

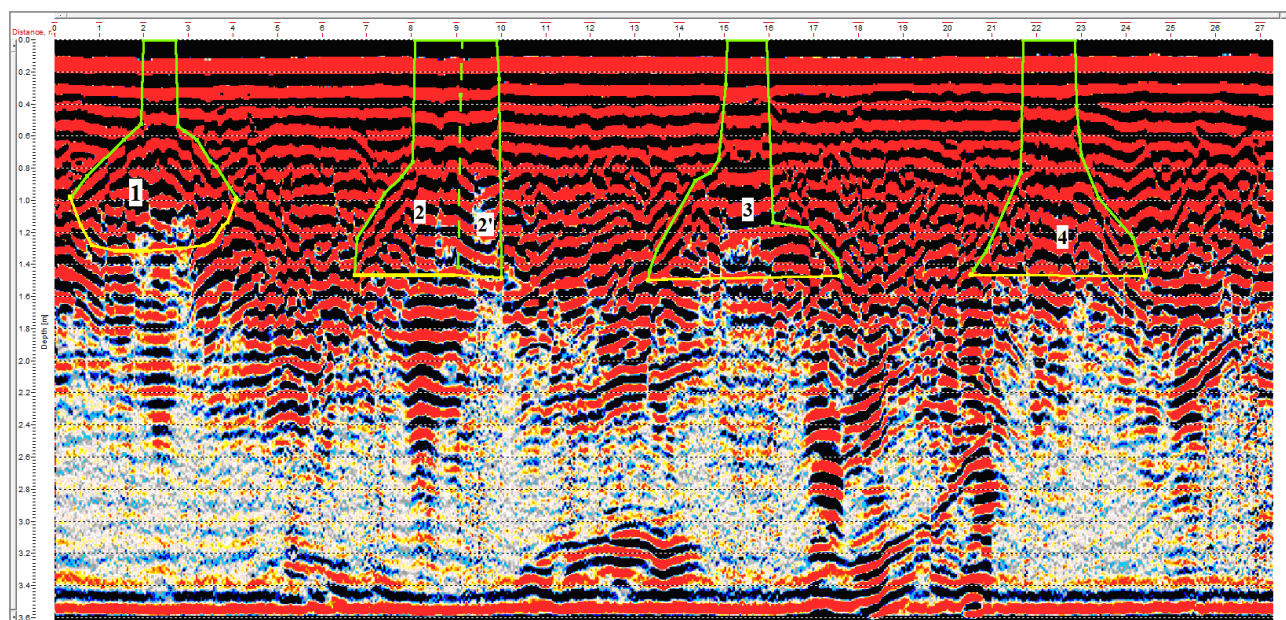


Figura 2: Radargramada interpretado da seção 1720.

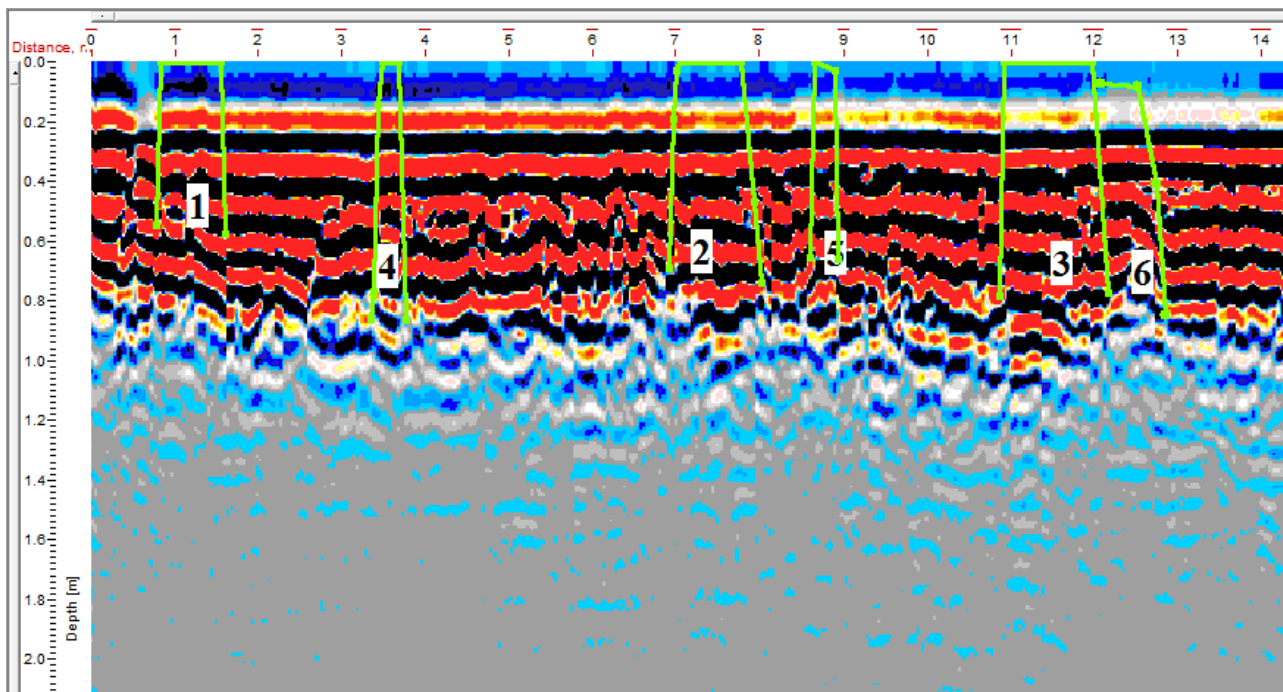


Figura 3: Radargramada interpretado da seção 1721

A lateral esquerda do terreno em questão foi investigada através de um levantamento realizado no subsolo do edifício ao lado. A lateral precisou ser levantada através de duas seções, seções 1725 e 1727, face à existência de veículos estacionados em sua garagem. Os radargramas referentes às seções 1725 e 1727 são apresentados, respectivamente, pelas Figuras 4 e 5.

Na seção 1725 foi possível delimitar a extensão lateral da cisterna existente, bem como a sua cota de fundo. Estes dados estão presentes no polígono delimitado pela cor verde e

identificado pelo número 1. Observou-se ainda a existência de uma estaca ao lado da cisterna, indicada pelo número 2 no radargrama da Figura 4, porém não foi possível identificar sua extensão face à atenuação do sinal provocado pela presença de água salobra no subsolo.

Ainda na seção 1725, apresentada na Figura 4, verificou-se a presença de um elemento de fundação presente no terreno adjacente indicado pelo polígono de número 3. Adicionalmente, foi possível constatar a rampa utilizada para a escavação da cisterna, indicada pelo número 4 no radargrama inferior.

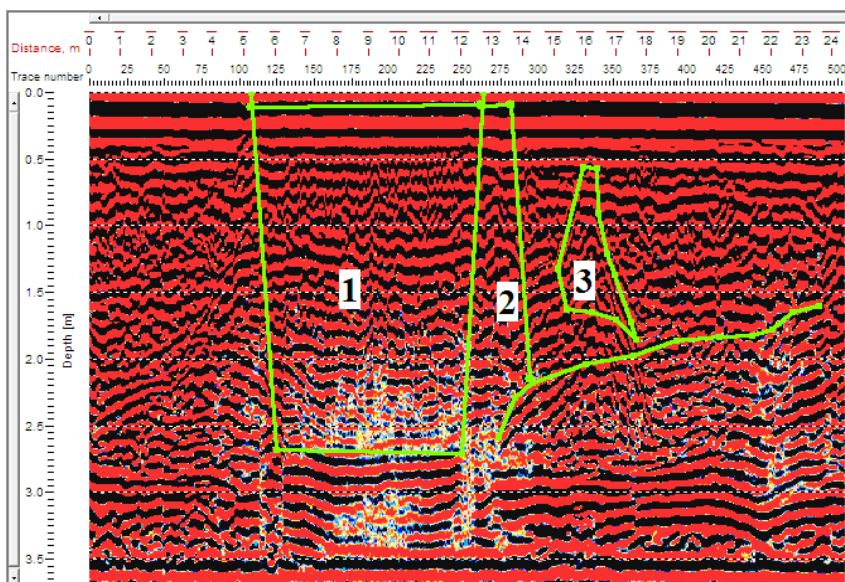


Figura 4: Radargramada interpretado da seção 1725

Na continuação da seção 1727 apresentada na Figura 5, os resultados do levantamento permitiram identificar três elementos de fundação, provavelmente estacas, cujos limites inferiores não foram passíveis de identificação face à presença de água salobra.

O fundo do terreno foi investigado parcialmente pela seção 1723 realizada no subsolo da edificação demolida. Não foi possível investigar o fundo em toda a sua extensão face à presença de material lançado na superfície no terreno.

O resultado da investigação da seção 1723, apresentado na Figura 6, permitiu identificar a presença de duas estacas, números 1 e 2, cujos comprimentos não puderam ser identificados face à presença de água salobra.

Verificou-se ainda a presença de uma interferência situada entre as estacas. Esta interferência pode estar relacionada à presença de uma cisterna no prédio adjacente que não pôde ser confirmada devido a dificuldade de contato com o responsável pela construção vizinha.

A frente do terreno foi investigada através da seção 1733, apresentada na Figura 7. Foi detectada a existência de três pilares,

números 1, 2 e 3, na seção investigada. A região delimitada pelo polígono 4 refere-se ao conjunto de tubulações, de diâmetro e materiais distintos.

Verificou-se ainda nesta seção a presença de tubos enterrados. Estas interferências indicadas pelos círculos verdes no radargrama inferior da Figura 13, estão associadas à presença de tubulações de utilidades que serviam a edificação que foi demolida.

A seção 1724 foi realizada no subsolo da edificação recém-demolida. O radargrama associado ao levantamento é apresentado na Figura 8. Nele, verificou-se a existência de elementos de fundação direta à semelhança daqueles observados na outra parede do subsolo, o que já era esperado.

No entanto, a mesma feição vista nos elementos de fundação enumerados como 2 e 2' na Figura 2, foi observada no elemento enumerado como 1 na Figura 8.

Esta constatação sugere que o elemento 2' na Figura 2 faça parte da fundação do prédio recém-demolido.

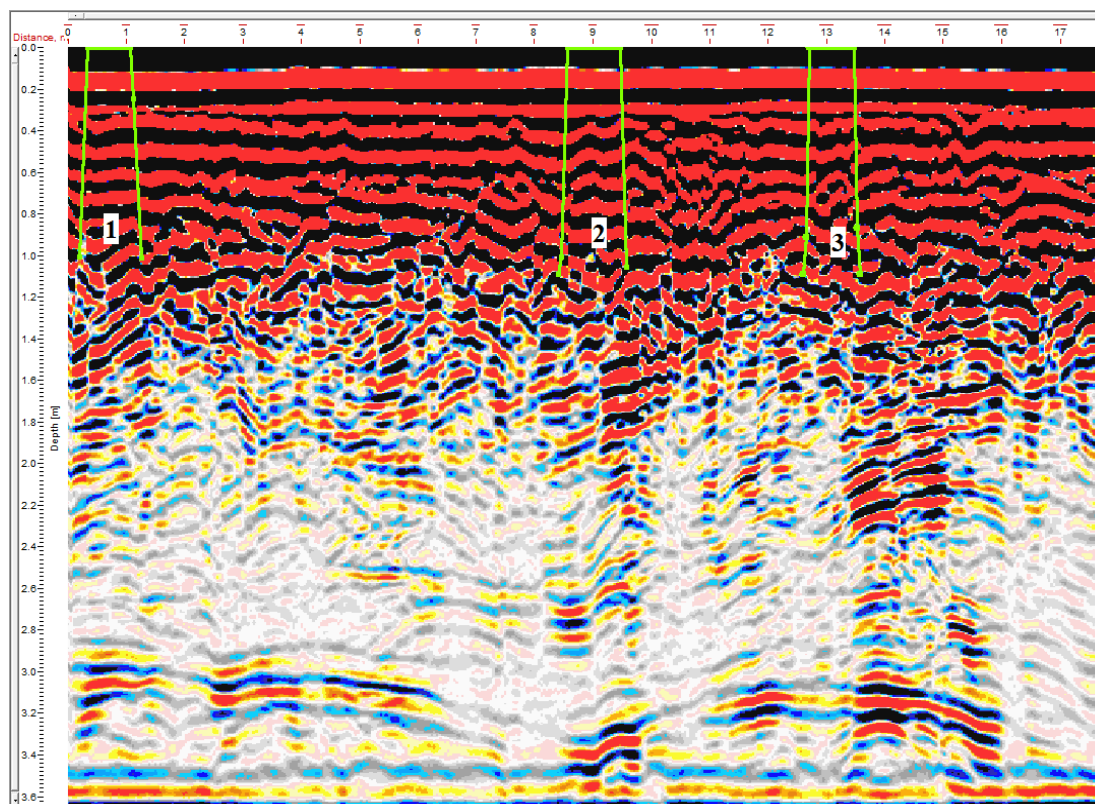


Figura 5: Radargrama interpretado da seção 1727

### 3 CONCLUSÕES

O estudo de caso apresentado neste trabalho indica o grande potencial da utilização do GPR para fins de investigação de objetos enterrado, inclusive na linha de reconhecimento de elementos de fundação de construções antigas.

Também foi possível identificar que a presença de água salobra próximo à superfície tornou ineficiente a aquisição realizada com a antena de 100 MHz. Apesar desse fato, o uso da antena de 50 MHz mostrou-se satisfatório para a identificação do posicionamento do aquífero livre, de elementos de fundação, as profundidades de assentamento das fundações rasas, o posicionamento de cisternas e rampa de acesso para a construção de uma das cisternas identificadas.

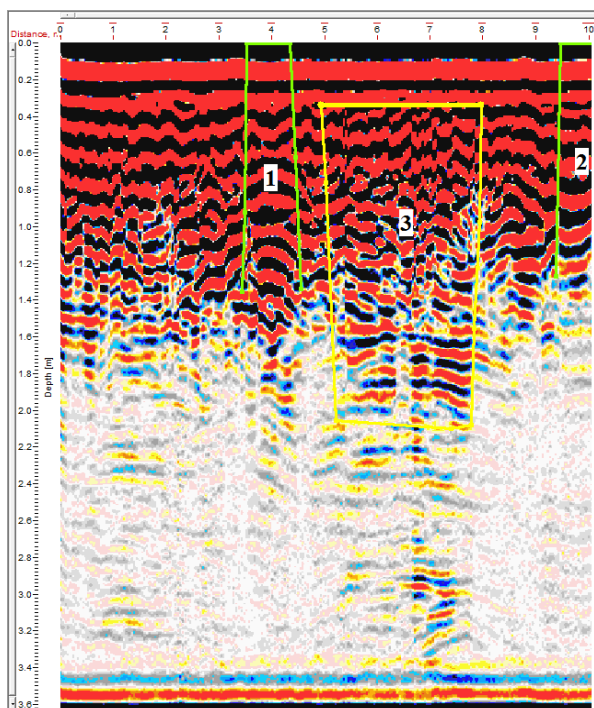


Figura 6: Radargramada interpretado da seção 1723

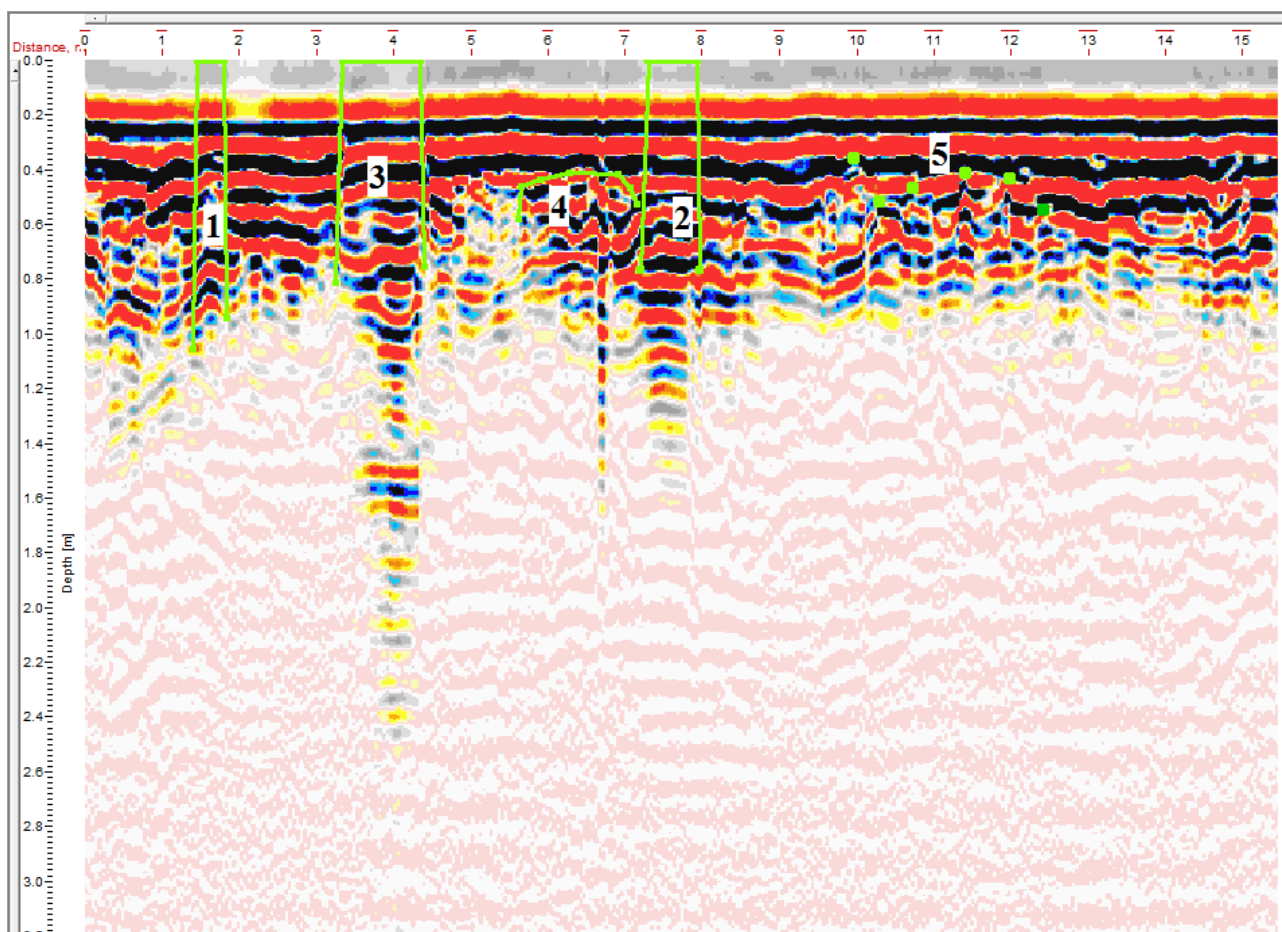


Figura 7: Radargramada interpretado da seção 1733

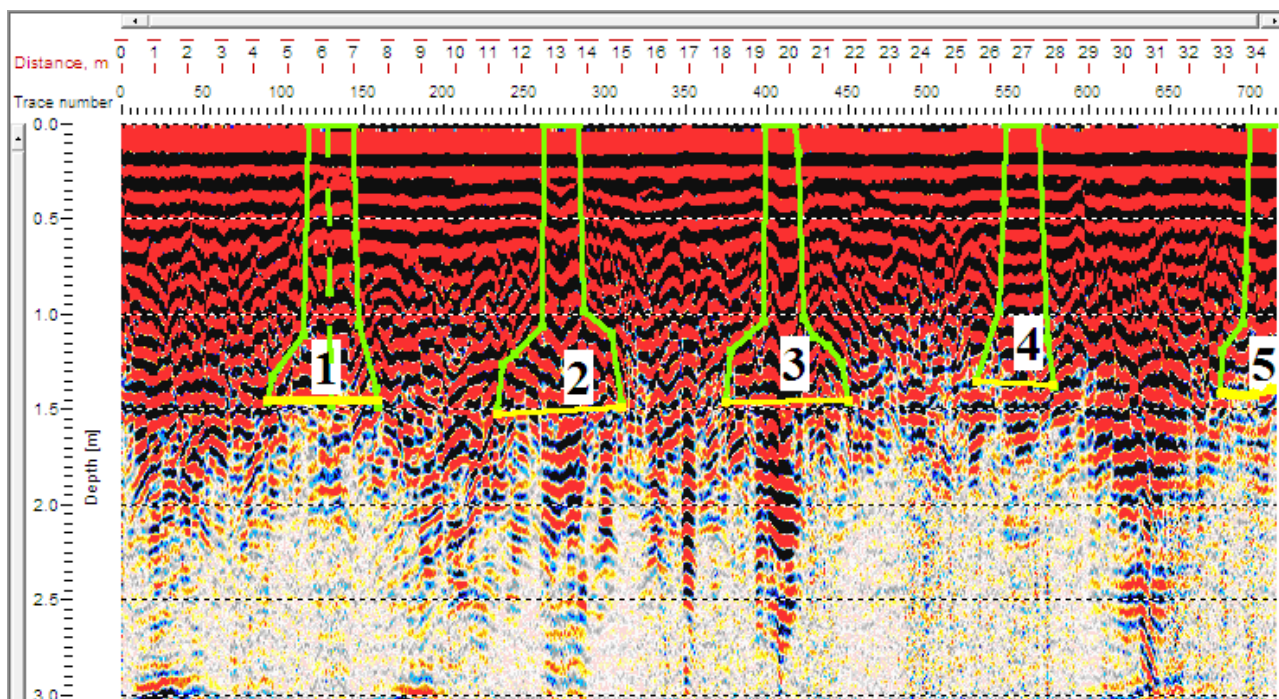


Figura 8: Radargramada interpretado da seção 1724

## REFERÊNCIAS

- Alani, A. M.; Aboutalebi, M.; Kilic, G. (2013) Applications of ground penetrating radar (GPR) in bridge deck monitoring and assessment. *Journal of Applied Geophysics*, ELSEVIER, Vol 97, p. 45-54.
- Barraca, N.; Almeida, M.; Varum, H.; Almeida, F.; Matias, M. S. (2016) A case study of the use of GPR for rehabilitation of a classified Art Deco building: The InovaDomus house. *Journal of Applied Geophysics*, ELSEVIER, Vol 127, p.1-13.
- Benedetto, A. (2013) A three dimensional approach for tracking cracks in bridges using GPR. *Journal of Applied Geophysics*, ELSEVIER, Vol 97, p. 37-44.
- Daniels, D. J. (2004). Ground Penetrating Radar. 2ed. London: THE INSTITUTE OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY, 726p.
- Domenico, D.; Teramo, A.; Campo, D. (2013) GPR surveys for the characterization of foundation plinths within a seismic vulnerability analysis. *Journal of Geophysics and Engineering*, IOP Publishing, Vol 10, p. 1-9.
- Hugenschmidt, J. (2002) Concrete bridge inspection with a mobile GPR system. *Construction and Building Materials*, ELSEVIER, Vol.16, p.147-154.
- Hugenschmidt, J.; Mastrangelo, R. (2006) GPR inspection of concrete bridges. *Cement & Concrete Composites*, ELSEVIER, Vol 28, p. 384-392.
- Jol, H. M. (2009). Ground Penetrating Radar: Theory and Applications. ELSEVIER, 524p.
- Kabir, S.; Zakir, A. (2011) Detection and Quantification of Corrosion Damage Using Ground Penetrating Radar (GPR). In: PIERS PROCEEDINGS, Marrakesh, p. 790-793.
- Khan, U. S. (2011) Interpretation of Ground Penetrating Radar Data for Utilities. VDM, 200P.