



## O imageamento do subsolo utilizando GPR em um estudo de avaliação de um pavimento

Otávio Coaracy Brasil Gandolfo - [gandolfo@ipt.br](mailto:gandolfo@ipt.br)  
Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo - IPT

Copyright 2012, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

*Este texto foi preparado para a apresentação no V Simpósio Brasileiro de Geofísica, Salvador, 27 a 29 de novembro de 2012. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do V SimBGF, mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.*

### Resumo

Este trabalho apresenta os resultados de um levantamento GPR em um projeto de avaliação do pavimento existente em uma rua situada no município de Itanhaém-SP. Dentre os ensaios de campo, o GPR contribuiu para o imageamento da subsuperfície, possibilitando o mapeamento de uma adutora de água ao longo de toda a rua. Os resultados permitiram a definição dos locais de maior interesse para a investigação direta (por meio de abertura das cavas) que foi realizada após os levantamentos geofísicos, contribuindo para o estudo de avaliação do pavimento que apresentava uma série de patologias.

### Introdução

O município de Itanhaém é uma estância balneária que está localizada no litoral sul do Estado de São Paulo, na Baixada Santista, a 90Km da capital paulista. Nos fins de semana, feriados e períodos de férias há um considerável aumento do número de visitantes e turistas que frequentam a cidade.

Em uma rua extensa, que liga o centro da cidade a uma praia bastante frequentada, foi observada a presença de trincas longitudinais e contínuas que surgiram na superfície do pavimento em praticamente toda a sua extensão. O fato despertou a atenção das autoridades municipais, uma vez que é intenso o tráfego de veículos nesta via nos dias de grande movimento. Foi então solicitado um estudo de avaliação das condições do pavimento desta rua, por meio de análises das observações efetuadas durante inspeções e dos resultados de ensaios realizados em campo e em laboratório (IPT, 2012). A pavimentação desta rua foi realizada há aproximadamente 15 anos e, de acordo com informações da empresa de saneamento do Estado (SABESP), sob a via existia uma adutora que foi instalada anteriormente à execução da pavimentação.

Dentre os ensaios de campo, foi realizado um levantamento geofísico utilizando o GPR (radar de penetração no solo) que teve por finalidade o mapeamento da adutora de água existente sob o pavimento, de forma a contribuir para os estudos, procurando entender a sua influência no aparecimento das patologias do pavimento avaliado.

A constituição geológica do município de Itanhaém é tipicamente de baixada, caracterizada por sedimentos quaternários depositados sobre rochas do embasamento cristalino.

### Metodologia

Juntamente com o GPR, foi realizado o levantamento das patologias existentes na superfície do pavimento para a identificação de áreas com maior incidência de defeitos (trincas, ondulações, remendos, exsudações, afundamentos, desgastes e buracos).

Conforme plantas cadastrais disponíveis, a adutora era constituída de ferro fundido, diâmetro nominal de 600mm e profundidade da geratriz superior em torno de 1,0 m. Esta relação diâmetro/profundidade permitiu que o alvo fosse perfeitamente identificado pelo método GPR.

O GPR é um método geofísico que utiliza ondas eletromagnéticas de altas frequências (na faixa de MHz) que, emitidas para o subsolo, sofrem reflexões e difrações em descontinuidades e estruturas, retornando posteriormente à superfície (Davis & Annan, 1989). A profundidade de investigação depende da frequência do sinal e das propriedades eletromagnéticas do subsolo. A frequência de operação é escolhida de forma a fornecer a relação mais vantajosa entre penetração e resolução para um determinado objetivo (sinais de alta frequência produzem alta resolução, porém baixa penetração, ocorrendo o inverso para sinais de baixa frequência). Neste trabalho foi utilizado um equipamento GPR modelo Ramac (Malã Geoscience).

### Resultados

Os dados de GPR foram obtidos utilizando-se duas frequências distintas (250 e 500MHz) em linhas perpendiculares à direção da rua. A adutora foi claramente identificada na maioria das seções GPR, permitindo o seu mapeamento (posição em planta e profundidade) em toda a extensão investigada (900m).

As avaliações da superfície do pavimento (inspeção visual) e de subsuperfície (com GPR) serviram para orientar os locais onde foram abertas as cavas para inspeção das camadas do pavimento e verificação direta da adutora e seu entorno.

Primeiramente, foram abertas duas cavas rasas (até 0,6m de profundidade) para investigação do pavimento. Puderam ser identificadas uma camada de revestimento em concreto asfáltico (8cm) sobre uma base granular (15cm) e, abaixo destas, o subleito com a presença de uma areia fina de cor amarelada.

Com as frequências utilizadas (250 e 500 MHz) não foi alcançada uma resolução vertical suficiente para a definição destas camadas, quando deveriam ser utilizadas antenas com frequências maiores ou iguais a 1.000MHz (1GHz) para a identificação do topo e da base das mesmas.

As Figs.1 e 2 mostram as seções GPR obtidas em locais onde a adutora se encontrava mais rasa (Fig.1, estaca 12) e mais profunda (Fig.2, estaca 15).

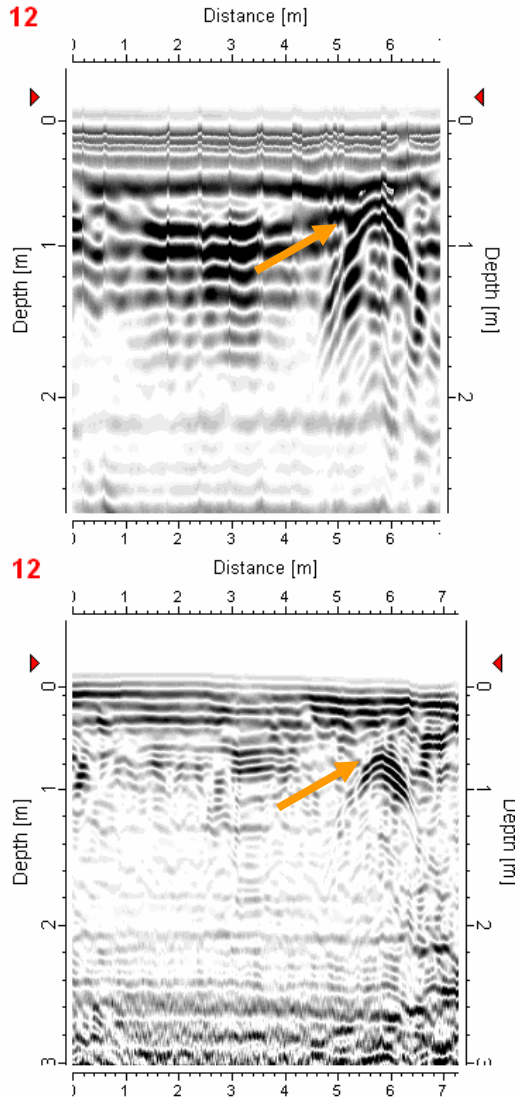


Figura 1 - Seções GPR (250MHz acima e 500 MHz abaixo) mostrando a presença da adutora a pouca profundidade (sinal hiperbólico apontado pela seta).

Para a inspeção direta da adutora foi aberta uma terceira cava, mais profunda que as duas primeiras (Fig.3). O ponto escolhido para a abertura desta cava foi o local onde o GPR identificou a adutora a pouca profundidade, especificamente na estaca 12 (Fig.1).

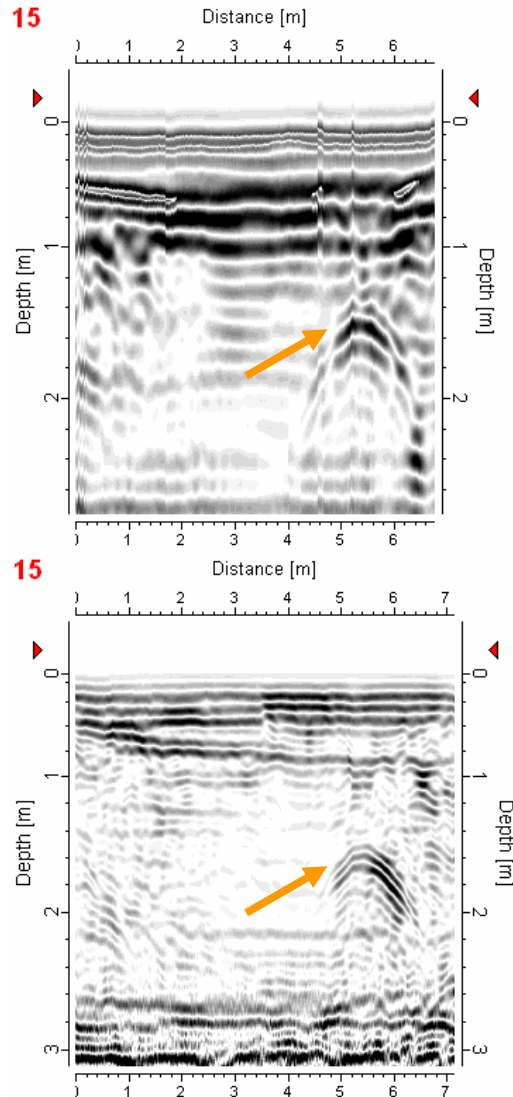


Figura 2 - Seções GPR (250MHz acima e 500 MHz abaixo) mostrando a adutora situada a uma profundidade maior (sinal hiperbólico apontado pela seta).



Figura 3 - Início da abertura da cava (corte do revestimento com serra) na estaca 12. Observar as trincas no pavimento da rua (seta amarela).

Neste local, a adutora foi encontrada a 0,43m de profundidade (geratriz superior) sob uma camada de revestimento em concreto asfáltico, base granular e material misturado com solo e pedra britada (Fig.4).



Profundidade	Espessura	
0,00m	Revestimento em concreto asfáltico (CA)	4,50cm
0,045m	Base granular	9,00cm
0,135m	Material misturado com solo e pedra britada	30,00cm
0,435m	-----	
0,735m	Adutora da SABESP	126,5cm Aterro
	Areia fina com pedregulho, silte e argila marrom variegada cinza e amarelo	
1,700m	Areia silto argilosa cinza	15,00cm
1,850m	Material impenetrável ao trado	

Figura 4 - Escavação que atingiu a profundidade da adutora (acima) e o respectivo perfil da cava (abaixo).

Em alguns perfis, além da adutora foi também possível o imageamento do topo rochoso em subsuperfície (Fig.5). A rocha apresentava um acentuado mergulho, como pode ser verificado pela Fig.6, que mostra um afloramento de rocha observado em diversos trechos da rua, bem próximo à calçada.

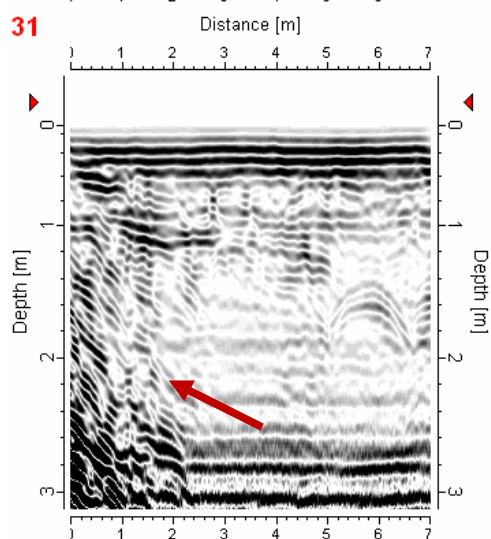
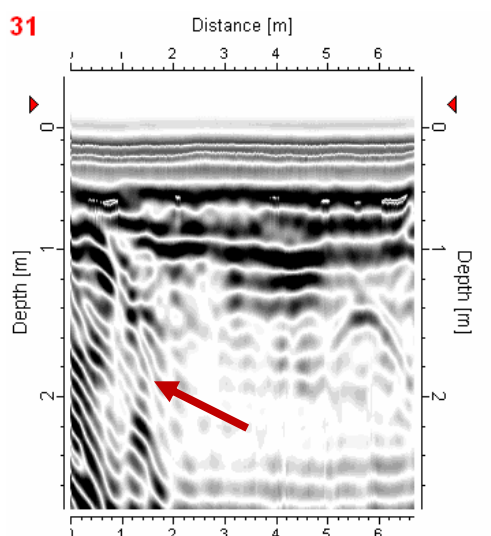


Figura 5 - Topo rochoso (seta vermelha) identificado juntamente com a adutora nas seções GPR (250MHz acima e 500 MHz abaixo).



Figura 6 - Corpo rochoso com forte mergulho (apontado pela seta, no lado esquerdo da via). O traçado da adutora encontra-se sob o lado direito da foto (mais próximo ao veículo estacionado).

## Discussão e Conclusões

A utilização do GPR possibilitou o mapeamento (em planta e em profundidade) da adutora de água ao longo da via, auxiliando o planejamento das aberturas das cavas para as investigações diretas.

Ficou confirmada a eficácia do método GPR para a identificação deste tipo de alvo. As seções adquiridas com as duas antenas utilizadas neste trabalho (250 e 500 MHz) apresentaram boa qualidade em decorrência das condições favoráveis encontradas na área investigada (alvo grande e relativamente raso, entre 0,5 e 1,5 metros de profundidade, em solo predominantemente arenoso).

O local escolhido para a inspeção da adutora (estaca 12) apresentava diversas patologias no pavimento (trincas e afundamentos). A presença desta tubulação a pouca profundidade certamente contribuiu para a maior ocorrência destas patologias no asfalto.

Sobre a adutora foi encontrada uma camada de sub-base. Durante a execução desta camada (mistura de solo com brita) é provável que a energia de compactação empregada tivesse sido menor na tentativa de se evitar a ocorrência de danos à adutora (que se encontrava a pouca profundidade), o que resultou numa compactação ineficiente. Essa falha de compactação pode ter contribuído de forma considerável para a ocorrência das trincas longitudinais existentes na faixa ao longo da via, sob a qual se encontrava a tubulação.

Com relação à inspeção mais detalhada das camadas do pavimento, utilizando o método GPR, seria necessária a utilização de antenas com frequências mais elevadas, especificamente maiores que 1.000 MHz (1 GHz).

## Agradecimentos

A Prefeitura do Município de Itanhaém, pelo apoio nas etapas dos trabalhos de campo.

Ao Departamento de Geofísica do IAG-USP, pelo empréstimo da antena de 500 MHz.

## Referências

Davis, J. L., Annan, A. P., 1989. Ground-penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy. *Geophysical Prospecting*, 37(5):531-551.

IPT, 2012. Avaliação do pavimento existente na Rua Wallace Arthur Skerrat, localizada no município de Itanhaém, SP. RELATÓRIO TÉCNICO N°128.498-205.