

INVESTIGAÇÃO DE CAVIDADES EM SUBSUPERFÍCIE EM OBRAS RODOVIÁRIAS.

REIS. V.E.dos

Agência Goiana de Transportes e Obras –AGETOP, Rodovia BR-153 km-3,5 Conjunto Caiçara Goiânia-
GO, fone: 3265 4149, e-mail: victoremmanuel@agetop.go.gov.br

JÚNIOR.M.M.S.

Secretária de Meio Ambiente e de Recursos Hídricos -SEMARH. Palácio Pedro Ludovico Teixeira, rua 82
s/n Setor Sul, 1º andar leste, fone 3201 5150. e-mail: macedogeologia@yahoo.com.br

RESUMO

Por ocasião dos serviços de terraplenagem e pavimentação da Rodovia BR-414/GO, deparou-se com um problema até então intrigante na execução dos serviços de terraplenagem: o aparecimento de uma cavidade no bordo direito no interior de um corte. Havia, então, a forte suspeita de ser o local uma caverna, que poderia provocar uma zona de infiltração e provavelmente o abatimento da região do pé do talude e do bordo da pista, visto que na região há formações calcárias, o que poderia inviabilizar, ou alterar a diretriz da rodovia, ocasionando um grande acréscimo no custo da obra, bem como prejuízo significativo no cronograma físico da rodovia. Demonstra-se neste trabalho os estudos levados a efeito para o diagnóstico e a solução encontrada. A definição da geologia local foi um fator determinante da metodologia proposta. Foram feitas investigações através de sondagens geofísicas com o uso do GPR- Ground Penetrating Radar, com a finalidade de se determinar às dimensões e o comportamento da cavidade. Empregou-se, uma técnica de prospecção eletromagnética em geofísica – o GPR, importante ferramenta de caracterização do subsolo, de investigação não-invasiva, por ser uma técnica não-destrutiva e de possibilitar um rápido diagnóstico. Este trabalho apresenta e discute a técnica do radar de penetração no solo visando ao emprego para a resolução de problemas de engenharia. O resultado do experimento demonstra uma resposta rápida, mostrando-se bastante eficiente, com uma boa relação: custo/benefício.

Palavras-chave: Rodovias, Cavidades, Sondagens Geofísicas, Georadar.

INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta e discute a técnica do radar de penetração no solo visando ao emprego para a resolução de problemas de engenharia, empregado quando da construção da rodovia BR-414/GO. Os serviços de terraplenagem e pavimentação desta rodovia tiveram início no ano de 1999. O trecho liga Cocalzinho a Niquelândia perfazendo uma extensão de 170 km. A BR-414 é a principal via de acesso ao norte de Goiás, visto que a BR-153 se encontra totalmente comprometida com o tráfego pesado de carretas e caminhões que demandam do norte do país. A rodovia parte de Anápolis, até alcançar Niquelândia, onde estão instaladas as duas maiores usinas de industrialização de níquel do Brasil, o município de Niquelândia hospeda em seu território 60% do lago da hidrelétrica de Serra da Mesa (2º em volume de água do país). Abaixo Fig. 01 localização do trecho.

LOCALIZAÇÃO



Figura 01 - Localização do trecho.

ÁREA DE ESTUDO

Nas etapas iniciais da pavimentação dessa rodovia, por ocasião da execução dos serviços de terraplenagem, faltando ainda aproximadamente 2,5m para atingir o “greide” foi encontrada uma pequena cavidade no bordo direito da rodovia - km 10 (Estaca 502), Fig.02.



Fig.-02-Cavidade Estaca 502 Ld.

Como existem na região diversas formações calcárias, há pouco mais de 5,0 km existe uma exploração comercial de calcário na região, Figura-03 abaixo, o que nos remeteu a possibilidade de ser a cavidade uma caverna, havendo assim, risco eminente para rodovia, como a possibilidade de ocorrer desabamentos.



Figura 03- Mineração Pirineus – Rodovia BR-414 – km:15.

Essa cavidade, formada a partir da dissolução de carbonatos presentes na rocha xistosa aflorante na área, possui uma entrada de aproximadamente dois metros de diâmetro e se estende, em subsuperfície, no sentido da estrada, o que poderia ser resultante da percolação da água em fraturas e/ou por dissolução cárstica, provocando uma região de abatimento no “pé do talude”, localizada no bordo direito da pista, o que gerou uma expectativa de existir uma caverna podendo ocasionar um abatimento local da estrada, o que nos levou a realização deste estudo. O objetivo desse trabalho foi à localização e caracterização em campo desta cavidade localizada no quilômetro 10 da rodovia BR-414/GO.

Houve a necessidade de paralisação dos serviços neste trecho, para não incorrer em riscos. Antes de empregar o Georadar, foram feitas duas alternativas que se mostraram ineficazes:

- a) Com o advento das chuvas, a enxurrada era direcionada para o “buraco”, e simplesmente a água sumia. Tentou-se, por se tratar de uma região em meia encosta posicionar uma equipe para localizar a jusante a possibilidade do escoamento ou, do afloramento d’água em algum ponto mais abaixo.

- b) Comunicou-se o fato ao IBAMA, que enviou dois espeleólogos: Vilmone Manoel Ferreira e Emílio Manoel Calvo, que tentaram investigar melhor a cavidade, como se observa na seqüência de fotos da Figura-04.



Figura 04 – Tentativa de exploração e reconhecimento da cavidade.

Tendo em vista que, em aproximadamente 3 metros de profundidade, ocorre um estreitamento na entrada da cavidade, impossibilitando desta forma, a observação direta. Assim, a tentativa de exploração não foi possível. Persistia, até então a dúvida de ser o local uma caverna.

METODOLOGIA

A seguir, foram planejadas duas fases de estudo:

- A primeira para a definição da geologia local, fator determinante para a aplicação da metodologia a ser proposta, onde foram descritas rochas calci-clorita-biotita xistos e pequenas lentes de metacalcário (mármore), rochas pertencentes à unidade B do Grupo Araxá, realizou-se o mapa geológico conforme Fig. 05;

- Na 2ª fase, com estas informações provenientes dos estudos, optamos por uma investigação através de sondagens geofísicas com metodologia GPR, ou, **Ground Penetrating Radar**, a fim de se determinar às dimensões, o comportamento e a direção da cavidade em relação à rodovia.

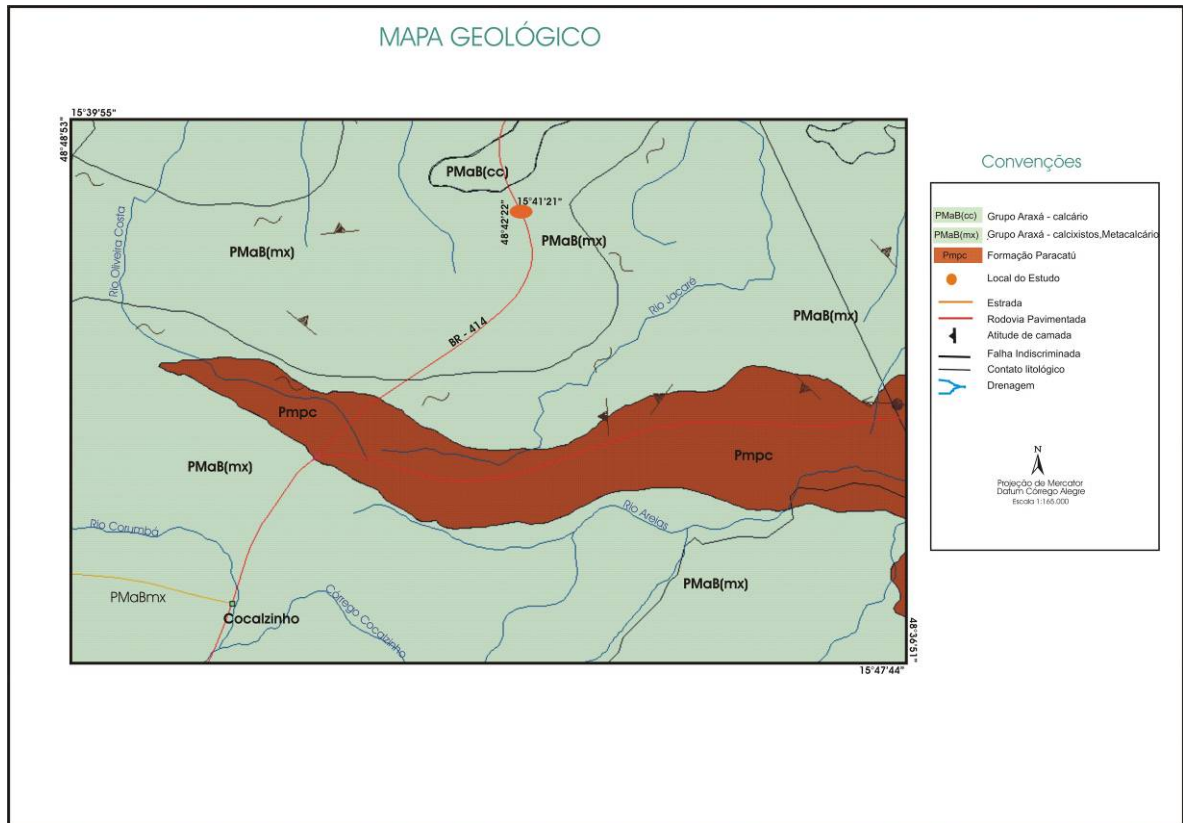


Figura -05 – Mapa Geológico.

GEOFÍSICA APLICADA À ENGENHARIA E GEOTECNIA

A localização, ou mesmo a simples detecção de cavidades, sempre se constituiu em um desafio para as técnicas prospectivas à disposição do homem.

Devido às diversas feições dos locais onde se localizam as cavidades, tipos de solos, etc, não existe uma "receita" que indique quais técnicas geofísicas a utilizar para determinado problema.

Os métodos de prospecção geofísicos mais utilizados para esses fins são a sísmica de refração, eletro-resistividade e o Radar de Penetração de Solo (GPR). Esse último possui um desenvolvimento mais recente, tem sido largamente utilizado quando o(s) alvo(s) está em profundidades até 15-20 metros.

RADAR DE PENETRAÇÃO DE SOLO

Este trabalho apresenta e discute a técnica do radar de penetração no solo visando seu emprego para a resolução de problemas de engenharia.

O radar de penetração no solo (GPR) é uma técnica geofísica classificada como de alta resolução que utiliza a reflexão de ondas para o estudo da subsuperfície.

O GPR (Ground Penetrating Radar) ou GEORADAR, como também é conhecido é um método geofísico de investigação, que basicamente consiste na emissão contínua de ondas eletromagnéticas no solo. Parte destas ondas é refletida nas estruturas ou objetos em profundidade. Os sinais são emitidos e recebidos através de uma antena disposta na superfície. É um método não destrutivo, ou seja, em locais onde há vegetação, não é necessário à derrubada de árvores e em cidades, evita o inconveniente de obras, trincheiras, etc. Os resultados dos trabalhos de investigação com o GPR representam cortes verticais do subsolo, permitindo assim individualizar a presença de materiais metálicos, topos rochosos, tubulações, cabos, *cavidades*, empilhamento estratigráfico e anomalias em geral. O radar de penetração de solo, ou simplesmente **GPR**, é um termo geral aplicado a técnicas de prospecção eletromagnética em geofísica de investigação não-invasiva e não-destrutiva que empregam ondas de rádio com frequências entre 1 e 2000 MHz para mapear feições na subsuperfície, sejam elas naturais ou artificiais.

Por intermédio de uma antena transmissora são induzidos pulsos eletromagnéticos que se propagam em subsuperfície. Parte deste sinal é refletido e parte refratada ao encontrar materiais com propriedades elétricas diferentes (refletores) Figura 06. O sinal refletido é detectado na superfície pela antena receptora, colocada à distância apropriada, próxima da transmissora. A diferença de tempo entre a emissão e a recepção do sinal (10 - 2000 nanosegundos) depende da velocidade do sinal à medida que esse passa através dos materiais em **subsuperfície**.

As reflexões se originam das heterogeneidades no subsolo, tais como vazios, tubulações, estratificações, estruturas geológicas e outras feições, que podem ser reconhecidas na perfilagem. Esses sinais então são processados e plotados em um visor distância versus tempo-profundidade. Assim, como a antena é lentamente movimentada pela superfície, um contínuo corte transversal (“imagem”) das condições de subsuperfície são gerados perfis. As reflexões do radar são causadas pela resposta das ondas em interfaces de materiais que possuem propriedades elétricas diferentes.

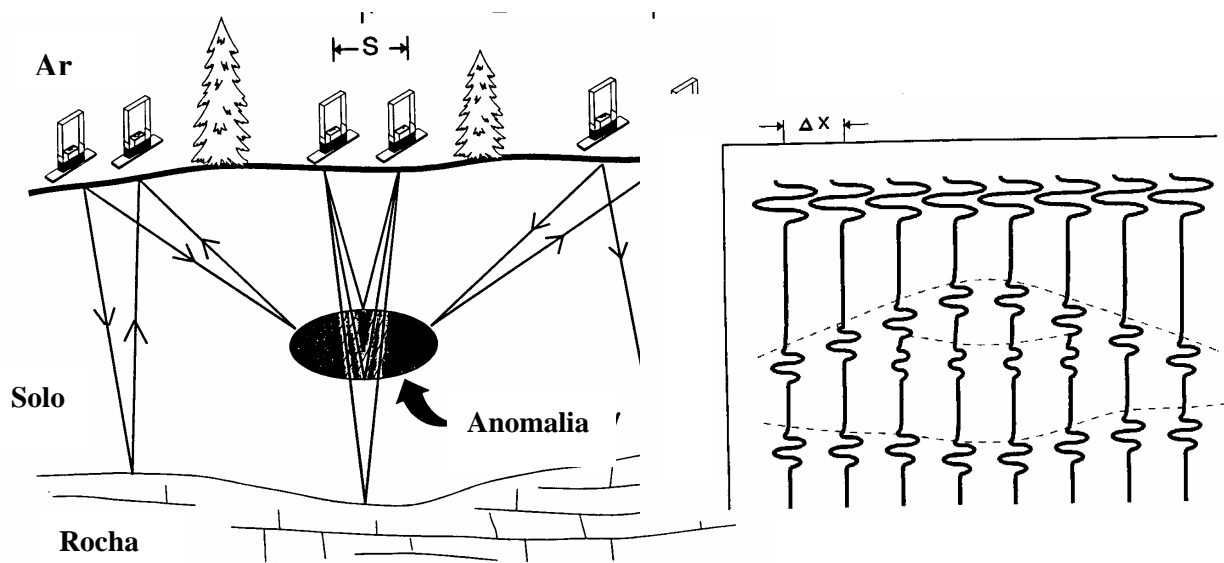


Figura 06: Ilustração esquemática da perfilação com GPR.

O perfil obtido é constituído por uma série de reflexões dos pulsos emitidos pelo radar colocados lado a lado na direção do movimento das antenas. Como reflexões sísmicas, os eventos das reflexões do radar são representados por muitos pulsos positivos e negativos no sinal. A profundidade do refletor é determinada pelo cálculo do tempo (em nanossegundos) entre o primeiro cruzamento na superfície e o primeiro cruzamento do pulso no alvo; esse valor de tempo de velocidade do material produz a profundidade. Frequentemente a média das velocidades (ou *two-way travel times*) para solos comuns e tipos de rochas são suficientes para estimar a profundidade de reflexão do alvo.

Existem diversos tipos de radar de penetração de solo aplicáveis ao problema objeto deste estudo geofísico. Os instrumentos utilizados são os modelos pulseEKKO IV e pulseEKKO 100 da Sensors&Software, fabricado no Canadá. Este equipamento pode operar com frequências de 25, 50, 100 e 200 MHz, dependendo do tipo de estudo a ser realizado. O sistema é leve, modular, totalmente alimentado por baterias e controlado por computador portátil. A operação é completamente digital com transferência de dados por cabo de fibra ótica, garantindo alto desempenho e resolução e evitando ruídos produzidos por fios elétricos. A aquisição dos dados controlada por computador portátil permite a visualização, no campo, das seções ou o pré-processamento antes da interpretação, como na Figura 07.

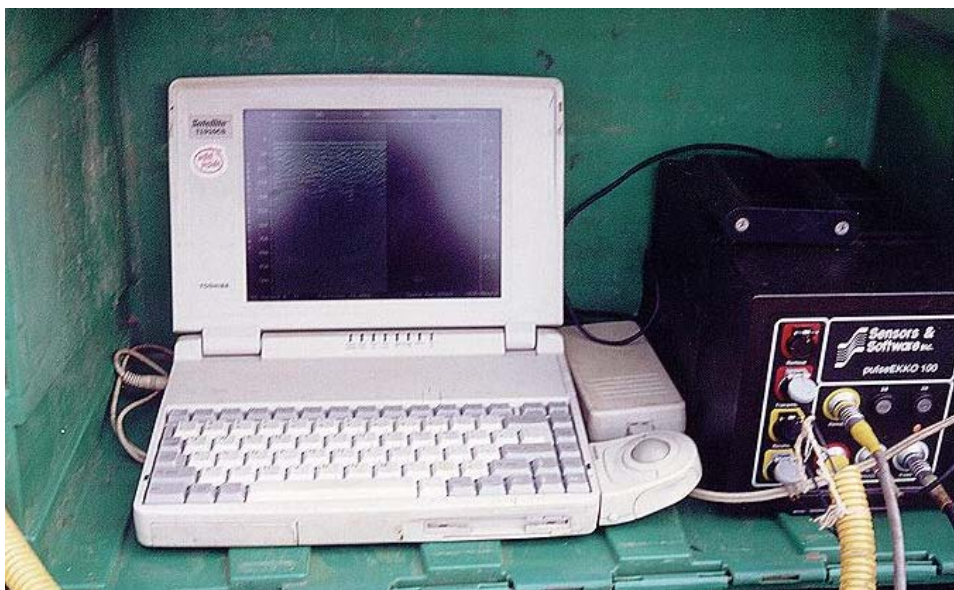


Figura 07- Visualização da perfilagem com GPR.

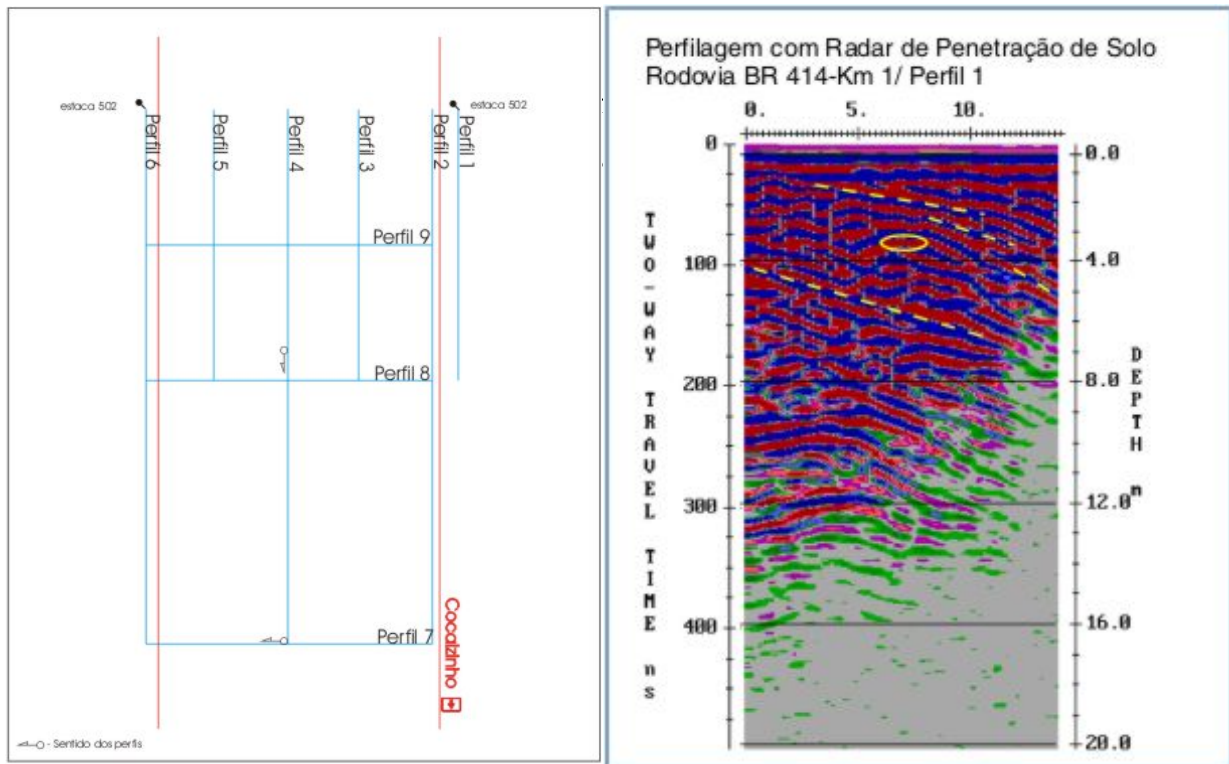
RESULTADOS E CONCLUSÕES

Foram realizados 9 perfis utilizando GPR, seis paralelos à direção da estrada e três perpendiculares Figura 09. Os perfis paralelos tiveram como ponto de amarração, a estaca 502, possuem 30 metros (perfis 2, 4 e 6) ou 15 metros (1, 3 e 5) e estão separados a cada três metros. Os perpendiculares possuem 15 metros e tiveram início no perfil 2, em 7,5 metros (perfil 9), 15 metros (perfil 8) e 30 metros (perfil 7). A Figura 08, abaixo mostra a seqüência dos estudos realizados.



Figura-08- Sequência de etapas da realização do estudo.

Primeiramente, foi executado um perfil próximo da entrada da caverna (Perfil 1, em anexo) que tinha como finalidade definir o padrão de resposta do alvo procurado. Uma vez definido o padrão de resposta, foram definidas cinco linhas ao longo da estrada (Perfis 2, 3, 4, 5 e 6) para acompanhar o comportamento do alvo. Posteriormente, foram executadas três linhas perpendiculares ao sentido da estrada que tiveram como objetivo checar a existência de ramificações da cavidade. A seguir demonstra-se o Mapa esquemático com a localização dos perfis Figura 09, e o resultado da análise dos nove perfis, com a localização e profundidade do conduto.



Mapa esquemático da localização dos perfis de GPR executados na BR-414

Figura – 09 – Mapa Esquemático da localização dos perfis e 1º perfil.

Foram definidas outras estruturas (nos perfis em anexo, elipse pontilhada) que podem ser interpretadas como prováveis cavidades, sugerindo-se que, durante as escavações, seja feita uma avaliação mais cuidadosa das mesmas.

Desta forma, pôde-se prosseguir com segurança os serviços de terraplenagem, sem correr o risco de acidentes com veículos, máquinas, ou envolvendo vidas humanas provocados por processos de *subsidências ou colapsos*.

O ensaio nos permitiu uma conclusão, e a certeza da não existência de uma caverna, o que inviabilizaria a diretriz da rodovia, havendo a necessidade de mudança no projeto.

Desta forma pudemos terminar os serviços de terraplenagem e confirmar as conclusões do ensaio ao chegarmos à cota determinada pelos perfis, e verificar a existência de um pequeno conduto conforme a figura –10.

O resultado do experimento demonstra uma resposta rápida, mostrando-se bastante eficiente, com uma boa relação: custo/benefício.



Figura-10 – Após a conclusão da terraplenagem, confirmou-se a existência de um pequeno conduto.

O método mostrou-se bastante eficaz, dispensando a necessidade de furar o solo (com sondagens, etc). Trata-se de um método *não-destrutivo*, *não-invasivo*, que evita o inconveniente de obras de sondagens, perfurações ou escavações.

Cabe ressaltar, que devido às múltiplas feições e particularidades dos locais onde se localizam as cavidades, sejam elas de origem natural (carsticas, erosivas, etc.) construídas ou provocadas pelo homem (túneis, minas, etc.), não existe ainda uma "receita" que indique quais técnicas geofísicas a se utilizar para cada problema específico. Existindo diversas técnicas que podem ser empregadas, inclusive de forma complementar nas investigações geológico-geotécnicas, entre estas se pode ressaltar a *sísmica de reflexão rasa* - técnica geofísica classificada como de alta resolução que também utiliza a reflexão de ondas para o estudo de subsuperfície.