

Detecção de Vazios em Rochas Carbonáticas Utilizando o Método GPR.

Rodrigo Soares V. dos Santos, CPGG/IGEO/UFBA, Daniel Bono R. Vilas Boas*, CPGG/IGEO/UFBA, Marco A. B. Botelho, CPGG/IGEO/UFBA

Copyright 2015, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 14th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 3-6, 2015.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 14th International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

The paper presents a geophysical GPR survey applied in the investigation of voids formed by dissolution of carbonate rocks under a thick soil (3 to 5 m), near two highways (BA-046 and BR-122) crossing the Chapada Diamantina region (BA-Brazil). Such structures offer risk to collapse of roads and land around it, and its location and sizing is important in the repair of roads and accident prevention.

Introdução

O GPR (*ground-penetrating radar*), é um método de prospecção baseado na reflexão das ondas de radar nas interfaces dielétricas do subsolo. As frequências utilizadas (20 a 200 MHz) permitem obter imagens com resolução maior do que a de qualquer outro método geofísico convencional. O alcance vertical do GPR varia desde alguns centímetros, até centenas de metros em rochas como granito, areia e cascalhos (Duarte, 2007, Daniels et al., 1988, Davis & Annan, 1989).

Com um princípio análogo ao método sísmico, o radar se baseia nos tempos de trânsito de ondas no interior terrestre, da sua emissão até o seu retorno nos receptores após sofrer reflexão na interface entre camadas com diferentes propriedades físicas. A diferença se dá no tipo de onda utilizada, o sísmico com ondas mecânicas, enquanto que o GPR com ondas eletromagnéticas, e conseqüentemente na propriedade física trabalhada, o método sísmico baseado nos contrastes de impedância acústica, e o radar nos contrastes de impedância elétrica.

Entre as vantagens do método GPR, em frente aos outros métodos geofísicos, estão a praticidade no transporte, manuseio e operação do equipamento, bem como a alta taxa de aquisição, alta resolução e o baixo custo em relação aos resultados obtidos, principalmente em investigações rasas da subsuperfície (Kearey et al., 2009).

Área de Estudo

Através de uma parceria entre a Universidade Federal da Bahia (UFBA) e o Departamento de Infraestrutura de Transportes da Bahia (DERBA), foram realizados duas

aquisições de GPR, no mês de julho de 2013, na região da Chapada Diamantina (BA). O DERBA, departamento responsável pela manutenção das rodovias do estado da Bahia, solicitou o estudo geofísico devido à formação de grandes crateras (Figuras 1 e 2) nas margens de duas rodovias que passam por uma região rica em coberturas carbonáticas (pertencentes à Bacia de Irecê). O primeiro estudo foi desenvolvido na rodovia BA-046, que liga os municípios de Utinga-BA e Ruy Barbosa-BA, enquanto que o segundo foi realizado na rodovia BR-122 próximo ao município de Iraquara-BA (municípios localizados através do mapa da Figura 3). Essas crateras estão conectadas à cavernas subterrâneas que, se prolongadas até a rocha subjacente à rodovia, podem oferecer risco de desabamento.



Figura 1 – Cratera na margem da rodovia BA-046.



Figura 2 – Cratera na margem da rodovia BR-122.



Figura 3 – Mapa da Bahia localizando a área de estudo. Marcador amarelo indicando o trecho da BA-046 e o marcador vermelho a cidade de Iraquara-BA (Fonte: Google Earth).

Uso do GPR em Rochas Carbonáticas

A propagação de ondas eletromagnéticas se dá de acordo, principalmente, com as características elétricas do meio, bem como a saturação de fluidos, influenciando a resposta do sinal de radar ao percorrer o meio geológico.

De acordo com Davis & Annan (1989), as rochas carbonáticas, geralmente, assumem valores de constante dielétrica entre 4 e 8, condutividade elétrica entre 0,5 e 2 mS/m e velocidade eletromagnética aproximada de 0,12 m/ns. Esses valores podem mudar significativamente dependendo da presença de fluidos ou de material argiloso associado.

Outra característica que influencia no sinal de radar, é a presença de vazios nas camadas rochosas, muito comum em rochas carbonáticas devido à sua alta susceptibilidade à dissolução com a percolação de fluidos, formando estruturas cársticas como cavernas ou dolinas. Tais estruturas contribuem para reflexões da onda eletromagnética no interior das camadas, resultando em hipérbolas de reflexão nas seções, geralmente com alta amplitude (devido ao alto contraste de impedância), muitas vezes repetidas em diferentes tempos, indicando reflexões múltiplas nas paredes dos vazios.

Aquisição de Dados

A primeira aquisição, realizada na rodovia BA-046, utilizou um radar com antena MLF biestática (transmissor afastado do receptor) de 80 MHz (vide Figura 4). O levantamento constou de 12 perfis nas duas margens e sobre a pista, sendo 6 perfis longitudinais e 6 transversais à pista (esquemático na Figura 5).

A segunda aquisição (vide Figura 6) utilizou a mesma antena da primeira, contudo, agora realizando 5 perfis na margem e sobre a pista (4 longitudinais e 1 transversal à pista, segundo esquema da Figura 7).



Figura 4 – Antena MLF de 80 MHz, montada e pronta para o início do levantamento dos perfis na BA-046.

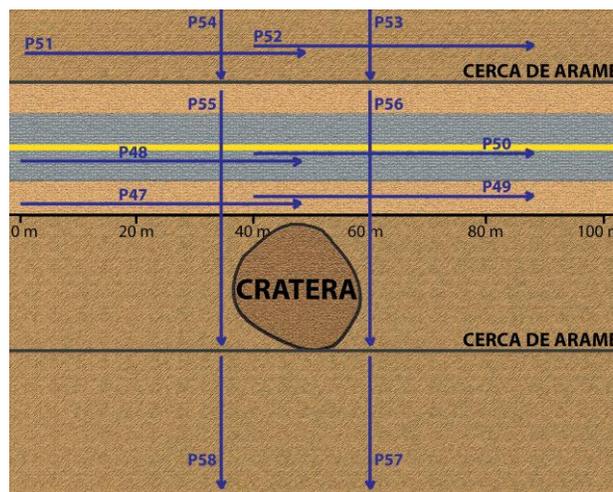


Figura 5 – Localização dos perfis realizados na BA-046.



Figura 6 – Aquisição de dados de GPR utilizando antena MLF de 80 MHz próximo à cratera formada na margem da rodovia BR-122.

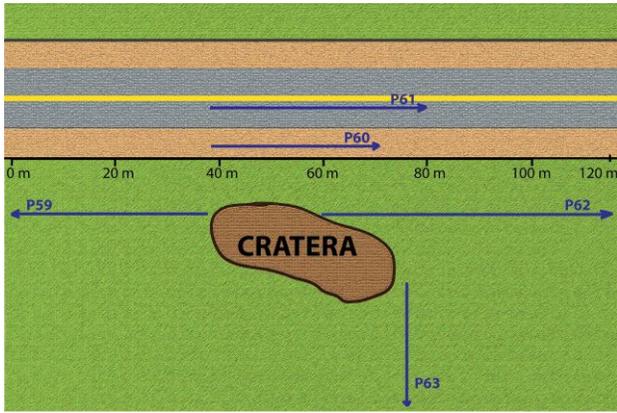


Figura 7 – Localização dos perfis realizados na BR-122.

Na área estudada o solo residual varia sua espessura de 2 m a 5 m, e o pulso eletromagnético é rapidamente absorvido por este meio argiloso, porém na existência de vazios próximos à superfície (de 3 m a 5 m de profundidade), o pulso eletromagnético reverbera nas paredes da cavidade, ocorrendo o registro de uma série de eventos multiplamente refletidos.

Processamento dos Dados

O processamento dos perfis foi realizado através do software *REFLEXW 2D-dataanalysis*, passando pela aplicação de filtros de frequência, ganho das amplitudes, correção estática até a conversão tempo-profundidade. O perfil P47, da primeira aquisição, será utilizado como exemplo para ilustrar as etapas do processamento.

A fim de uma melhora nas amplitudes, e um aumento na razão sinal ruído do dado, o dado bruto (Fig. 8) passou inicialmente por um processo de filtragens de frequência chamado Filtro *Dewow*, funcionando com um filtro corta-baixa (abaixo de 15 MHz), visando a atenuação do chamado ruído *WOW*, que correspondente a um componente transiente de baixa frequência que provoca uma saturação de alta amplitude e baixa frequência em alguns comprimentos de onda da fonte, dificultando a visualização de eventos na frequência da antena.

Posteriormente foi aplicado ao dado as devidas correções estáticas e redução ao tempo zero. Em seguida, foi aplicado o AGC (com janela atribuída de 200 ns a 250 ns) a fim de melhorar a amplitude nos tempos mais altos. Em seguida foi escolhido dois filtros, um chamado Remoção do *Background*, visando a remoção da onda que percorre o meio aéreo do transmissor até o receptor, e um posterior filtro passa-banda do tipo *Butterworth* com frequências de corte de 20 e 120 MHz. O resultado de tais passos é visualizado através da Figura 9.

Aplicado os processos de filtragem, o dado passou por uma análise de velocidades realizada através do ajuste de hipérbolas de difração. Este método, embora sujeito a erros de ajuste visual, se mostra uma maneira fácil e rápida de estimar a velocidade do meio sem a necessidade de uma aquisição CMP. Utilizando o modelo

de velocidades estimado, com velocidades variando entre 0,08 e 0,105 m/ns, foi realizado a conversão da escala vertical do radargrama de tempo (ns) para profundidade (m). A Figura 10 ilustra o resultado da conversão dos dados de tempo para profundidade.

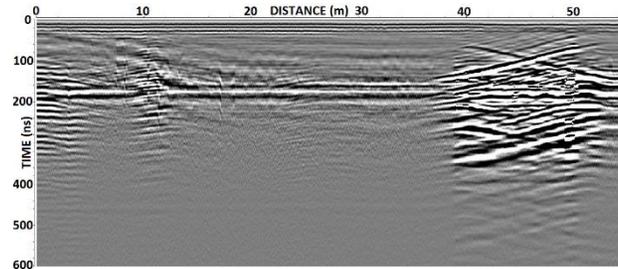


Figura 8 – Radargrama bruto do perfil P47.

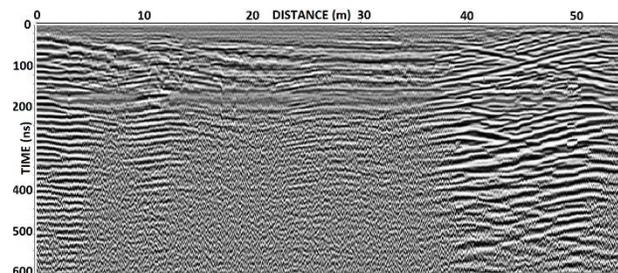


Figura 9 – Radargrama do perfil P47 após as filtragens de frequência (passa 20 a 120 MHz), correção estática e ganho AGC (200 ns a 250 ns).

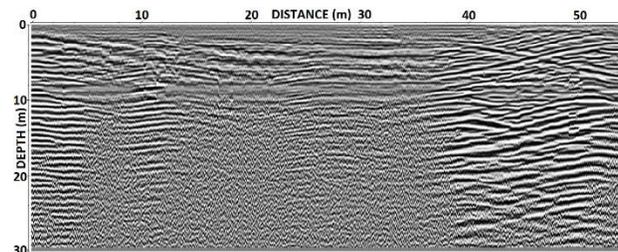


Figura 10 – Radargrama do perfil P47 após as etapas do processamento e conversão tempo-profundidade.

Interpretação dos Dados

Após a conversão dos perfis de tempo para profundidade, os radargramas foram todos interpretados, priorizando as feições correspondentes aos vazios decorrentes da dissolução de rochas carbonáticas.

No radargrama final do perfil P47 (Figura 10), observa-se uma reverberação do pulso que apresenta um prolongamento até a profundidade superior à 20 m. Estas reverberações, indicadas por setas azuis, na Figura 11, sugerem a presença de cavernas subterrâneas em pelo menos três locais (limitados por traços vermelhos no radargrama). Analogamente à interpretação realizada para o perfil P47, todos os demais perfis passaram pela mesma análise (como mostrado na Figura 13 para

aquisição na BA-046, e Figura 14 referente à aquisição na BR-122), onde as setas amarelas indicam vazios menores, e as setas verdes indicam refletores inclinados possivelmente formados em paredes com forte contraste lateral de constante dielétrica.

Interpretados os perfis, os vazios detectados foram então correlacionados (entre os perfis) e assim estimados suas dimensões, como mostra a Figura 11, para o caso do levantamento na BA-046, e a Figura 12, no caso do levantamento realizado na BR-122. Basicamente, os losangos vermelhos indicam a localização dos vazios, e a região interna à linha pontilhada vermelha indica a zona de ação das cavernas em subsuperfície, sendo uma região sujeita ao intemperismo, com probabilidade alta de desmoronamento.

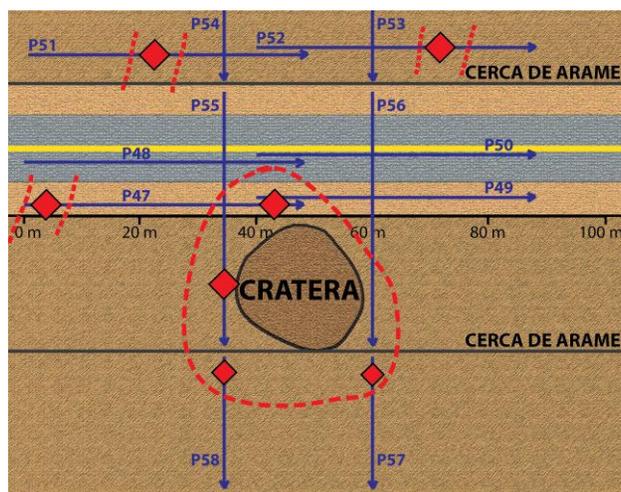


Figura 11 – Localização dos perfis realizados na BA-046 com a interpretação dos locais que apresentam a presença de vazios (indicados por losangos vermelhos). A linha pontilhada vermelha limita a zona de ação das cavernas.

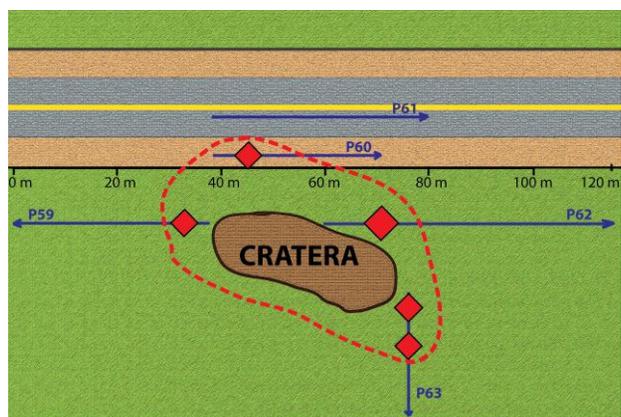


Figura 12 – Localização dos perfis realizados na BR-122 com a interpretação dos locais que apresentam a presença de vazios (indicados por losangos vermelhos). A linha pontilhada vermelha limita a zona de ação das cavernas.

Conclusões

Os resultados obtidos permitem concluir que o método GPR pode ser eficaz no mapeamento de vazios oriundos de colapsos de rochas carbonáticas, mesmo na existência de uma espessa camada de solo (2 m a 5 m) no terreno a ser investigado. A praticidade em campo juntamente com a portabilidade, baixo custo, alta resolução e rápido processamento dos dados colocam o GPR em uma posição de destaque na investigação de alvos rasos, se comparado com outros métodos geofísicos.

Nas aplicações do método no mapeamento de vazios na região das rodovias BA-046 e BR-122, mesmo sendo possível uma melhora na interpretação (através do levantamento de mais perfis, ou ainda de uma aquisição 3D de radar). O método foi capaz de sugerir a presença de diversas estruturas cársticas, algumas de porte considerável. Em sua maioria, as estruturas que ocorrem nas proximidades das crateras já aflorantes apresentam conexões com outras cavidades, onde o mapeamento GPR mostra cavidades nos dois lados (inclusive sob o acostamento da rodovia) e sob o trecho da rodovia BA-046, e em um dos lados do trecho da BR-122. Tais cavidades demonstram um potencial do local de desmoronamentos das vias, representando um alto risco de acidentes, onde órgão responsável deve tomar os devidos cuidados.

Agradecimentos

Os autores agradecem a parceria DERBA/UFBA pela solicitação e financiamento dos levantamentos realizadas, ao CNPq e FAPESB pelo apoio financeiro através das bolsas de estudo, e também ao Programa de Pós-Graduação em Geofísica da UFBA e ao LAGEP-CPGG-UFBA pela disponibilidade das instalações e recursos utilizados na confecção deste trabalho.

Referências

- DANIELS, D. J., GUNTON, D. J. and SCOTT, H. F., 1988. Introduction to subsurface radar: IEEE Proceedings, 135, Part F, no. 4. 277-320.
- DAVIS, J. L., and ANNAN, A. P., 1989. Ground-penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy. Geoph. Prosp., 37, 531-551.
- DUARTE, O. de O., 2007. Dicionário enciclopédico INGLÊS-PORTUGUÊS de geofísica e geologia 3ª edição. Copyright original © 2007 by Sociedade Brasileira de Geofísica - SBGf.
- KEAREY, P., BROOKS, M. and HILL, I., tradução Maria Cristina Moreira Coelho, 2009. Geofísica de Exploração. Copyright da tradução em português © 2009 Oficina de Textos, São Paulo, Brasil.

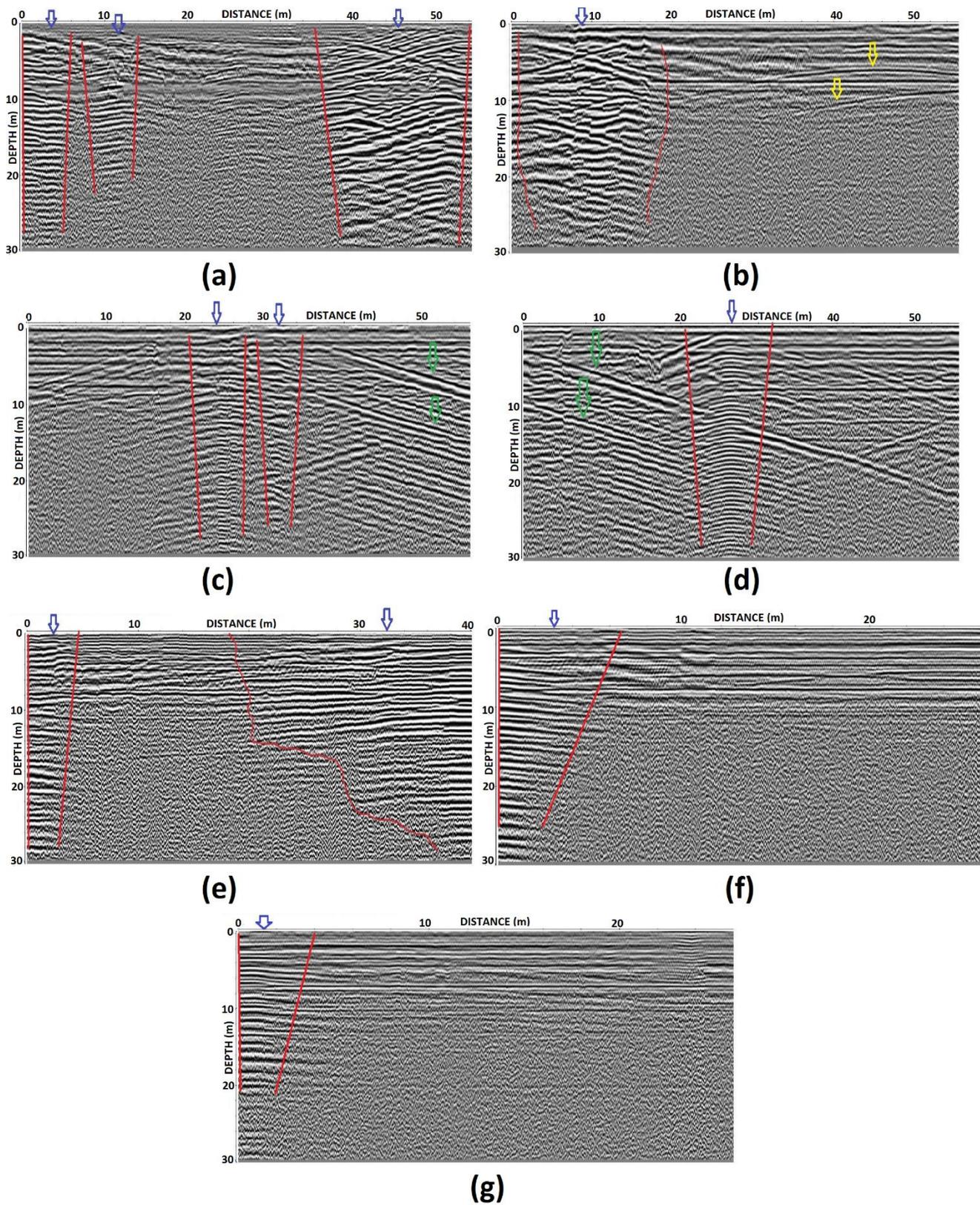


Figura 13 – Radargramas interpretados em profundidade do levantamento realizado na BA-046, para os perfis: (a) P47, (b) P49, (c) P51, (d) P52, (e) P55, (f) P57 e (g) P58. As regiões de possíveis cavernas estão destacadas em vermelho, e indicadas por setas azuis. As setas amarelas indicam hipérbolas de difração, e as setas verdes indicam a presença de refletorres inclinados.

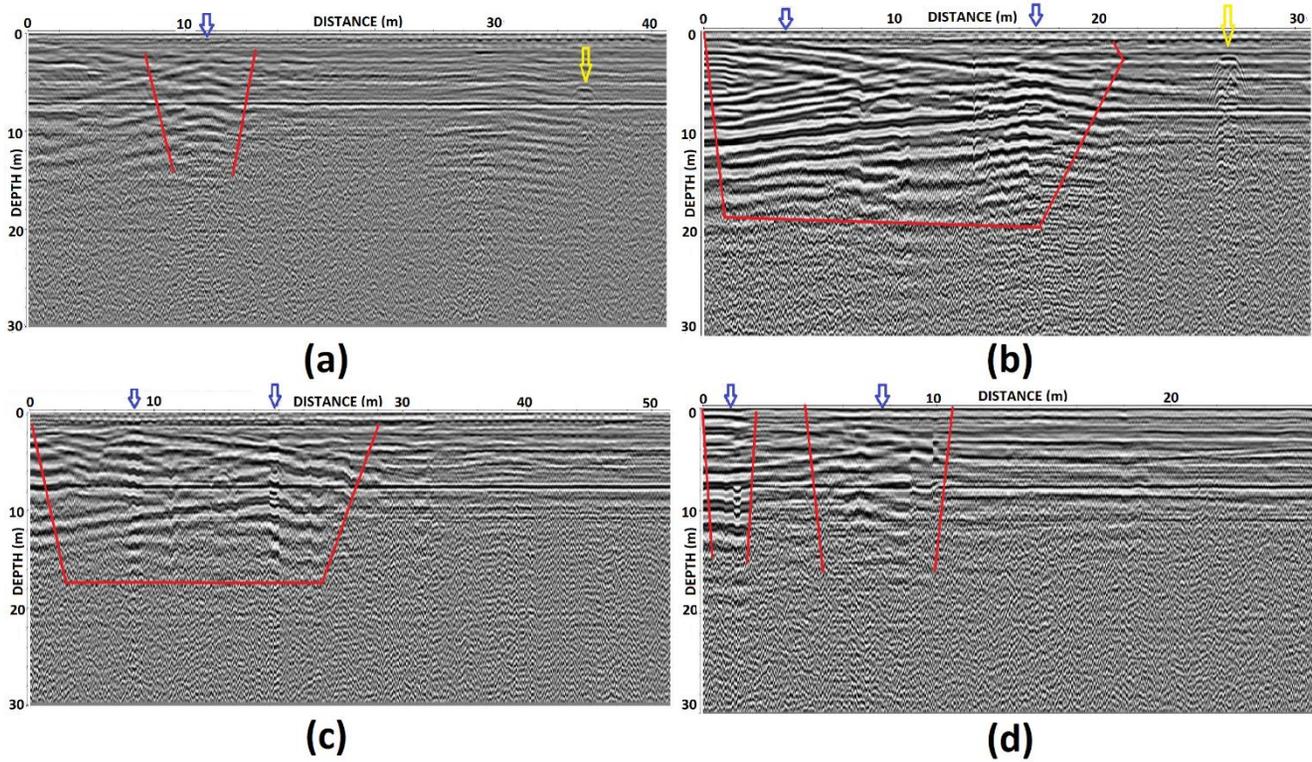


Figura 14 – Radargramas interpretados em profundidade do levantamento realizado na BR-122, para os perfis: (a) P59, (b) P60, (c) P62 e (d) P63. As regiões de possíveis cavernas estão destacadas em vermelho, e indicadas por setas azuis. As setas amarelas indicam hipérboles de difração, e as setas verdes indicam a presença de refletorres inclinados.