

Aplicabilidade do GPR (Radar de Penetração no Solo) na localização de plumas de hidrocarbonetos em sub-superfície

Aluno: Kristian Andrade Paz de la Torre
Orientador: José Tavares Araruna Júnior

Introdução

A análise do subsolo pode ser feita com técnicas bastante diversificadas, dentre as quais nenhuma é considerada como melhor absoluta, sendo, inclusive, comum o emprego concomitante de mais de uma no mesmo estudo. Naturalmente, cada uma apresenta vantagens e desvantagens, que podem estar associadas ao solo observado ou ser características visíveis em qualquer ensaio feito.

A figura 1 exhibe e categoriza os principais métodos:

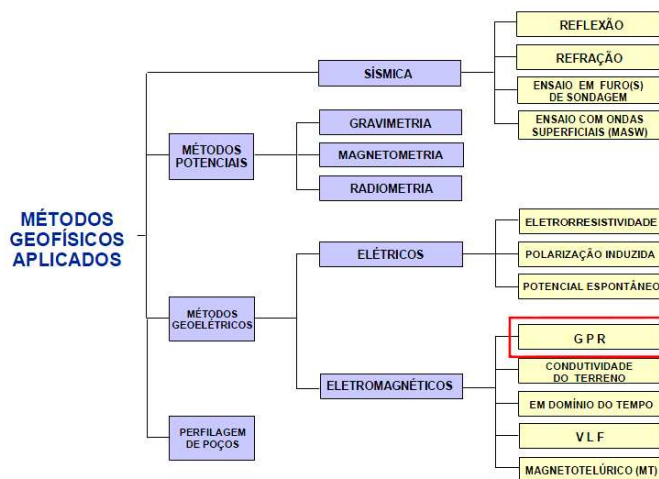


Figura 1: Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Material do Curso “GPR (Ground Penetrating Radar)”, slide 2.

A fim de manter o foco da proposta inicial, este trabalho ater-se-á a descrever a técnica do GPR, nome que significa “Ground Penetrating Radar”, ou “Radar de Penetração no Solo”. Em linhas gerais, esse tipo de investigação usa uma antena emissora de ondas eletromagnéticas de alta frequência, que penetram no solo e retornam, sendo recebidas por sensores adequados. O sinal obtido é então processado, criando-se um radargrama digital do subsolo. Assim sendo, tal instrumento possui, como vantagem geral, o fato de ser não-invasivo, já que não demanda perfurações ou escavações no solo. Porém, não é muito específico em seus resultados, o que faz com que seja necessário algum conhecimento prévio da região estudada. A baixa especificidade também faz com que o uso complementar de outros métodos seja, muitas vezes, necessário. Por isso, a técnica de sondagens também costuma ser considerada, por fazer perfurações na região a estudar, dando ao pesquisador um acesso mais direto ao subsolo, ainda que sendo invasivo e pontual, o que justifica por que o GPR também tem sua relevância.

Objetivos

O presente trabalho objetiva avaliar a aplicabilidade do GPR na identificação de plumas de hidrocarbonetos no subsolo, a partir da implementação de um equipamento do tipo – da marca MALA Geoscience – em um terreno sob o qual se situa um tanque de combustível, que seria a fonte dos contaminantes a serem encontrados. Com isso, busca-se ratificar a eficiência do método, ainda não muito estudado para essa finalidade.

Metodologia

O procedimento executado consistiu em três etapas principais: coleta dos dados com o aparelho “in situ”, análise dos resultados em laboratório com software específico e correlação entre os perfis digitais resultantes e uma imagem de satélite da área estudada.

Antes de descrever como o georadar foi usado em campo, convém fazer uma breve explicação de seu funcionamento.

Primeiramente, deve-se dizer que as ondas eletromagnéticas geradas pela antena são de alta frequência, na faixa de 10 a 2000 MHz, que corresponde à das ondas de rádio, para se fazer uma comparação. Nesses valores elevados, os efeitos de deslocamento dão lugar a efeitos de condução. É isso o que faz com que o campo eletromagnético se propague sob a forma de onda, diferenciando o GPR dos demais métodos eletromagnéticos, nos quais isso não ocorre. Logo, o movimento das cargas se dá por correntes de condução, o que deixa as ondas sujeitas a fenômenos de reflexão, refração e difração.

Por conta desses dois últimos fenômenos, o pulso de energia irradiado para o subsolo retorna parcialmente, sendo captado por uma outra antena, denominada antena receptora. Então, o sinal obtido será encaminhado para uma unidade de controle, que produzirá, em tempo real, imagens representativas da sub-superfície, salvas no sistema e exibidas imediatamente em um monitor. Vale declarar que todas essas peças ficam interligadas durante todo o ensaio, sendo transportadas em conjunto, de modo que todas cumprem suas funções simultaneamente.

No que tange à detecção de plumas de hidrocarbonetos, vê-se que, quando as ondas emitidas atravessam uma região assim contaminada, o sinal tende a ser atenuado, dada a maior condutividade do material, que minimiza as reflexões e difrações. Assim, regiões do perfil digital com sinal mais fraco revelam uma possível presença de contaminantes, e isso será melhor mostrado posteriormente neste artigo. Deve-se acrescentar, porém, que a presença de arcos hiperbólicos no perfil indica intensa difração, podendo apontar uma interface entre dois tipos de solo ou mesmo um objeto enterrado. Este pode ser, por exemplo, um tanque de combustível com vazamento, como o que pareceu ser visto no experimento deste trabalho, de acordo com o que será mostrado mais adiante no texto.

- **Coleta dos dados com o aparelho “in situ”**

Inicialmente, deve-se dizer que o local de estudo foi uma antiga fábrica de bebidas, situada no bairro do Irajá, na cidade do Rio de Janeiro. Sabia-se que havia um tanque de combustível enterrado em algum ponto, cuja posição exata, no entanto, era desconhecida. Esse objeto poderia ser uma fonte de hidrocarbonetos contaminantes, e foi para ajudar no encontro dele e do possível combustível vazado que o GPR foi aplicado na região.

No ensaio, foi adotada a modalidade de “afastamento constante” (ou “common offset”), na qual as antenas emissora e receptora ficam à mesma distância uma da outra durante todo o tempo. Ambas situavam-se em uma mesma peça, a qual se deslocava sendo arrastada. Por este motivo, abaixo dela foi acoplada uma capa polimérica, para funcionar como material de sacrifício, evitando o desgaste do equipamento. Esse conjunto foi puxado por uma corda com terminação na mochila que abriga a unidade de controle. Ademais, deve-se citar apenas que,

também na mochila, havia um odômetro, para medir o deslocamento feito ao longo da trajetória. A figura 2 ilustra o procedimento:

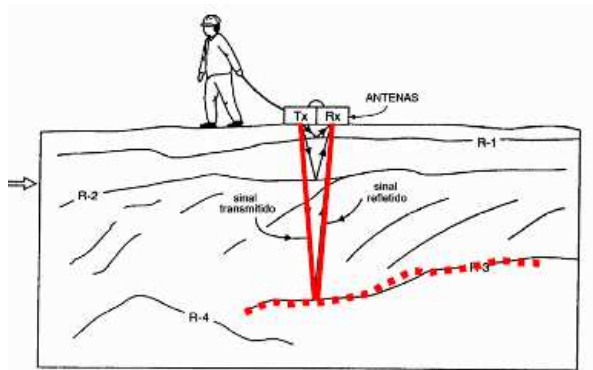


Figura 2: Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Material do Curso “GPR (Ground Penetrating Radar)”, slide 8.

No total, foram percorridas sete rotas, expostas na figura 11, da penúltima página. Para cada uma delas, foi salvo um arquivo com o perfil representativo da sub-superfície. Esses dados seriam posteriormente processados no software “RadExplorer 1.41”, sobre o qual uma lacônica descrição será apresentada a seguir, sendo ainda mostrados, logo depois, os perfis digitais obtidos, com os devidos comentários.

- **Análise dos resultados em laboratório com software específico**

Em linhas gerais, a função do “RadExplorer 1.41” é a de, além de proporcionar uma visualização inicial do perfil, permitir algumas melhorias no modelo. Para isto, é possibilitada a edição de diversos parâmetros, como paleta de cores – para otimizar a resolução da imagem –, quantidade de traços dos eixos horizontal e vertical – para dimensionamento gráfico – e colocação da constante dielétrica do solo ou da velocidade de propagação do pulso – para que a profundidade correta seja marcada na tela, no eixo vertical. Também para melhorar o modelo, são disponibilizadas diversas rotinas para aplicação sobre as imagens, cada uma com sua função distinta. A lista de rotinas pode ser verificada na parte direita da figura 3, que também constitui uma ilustração geral do programa:

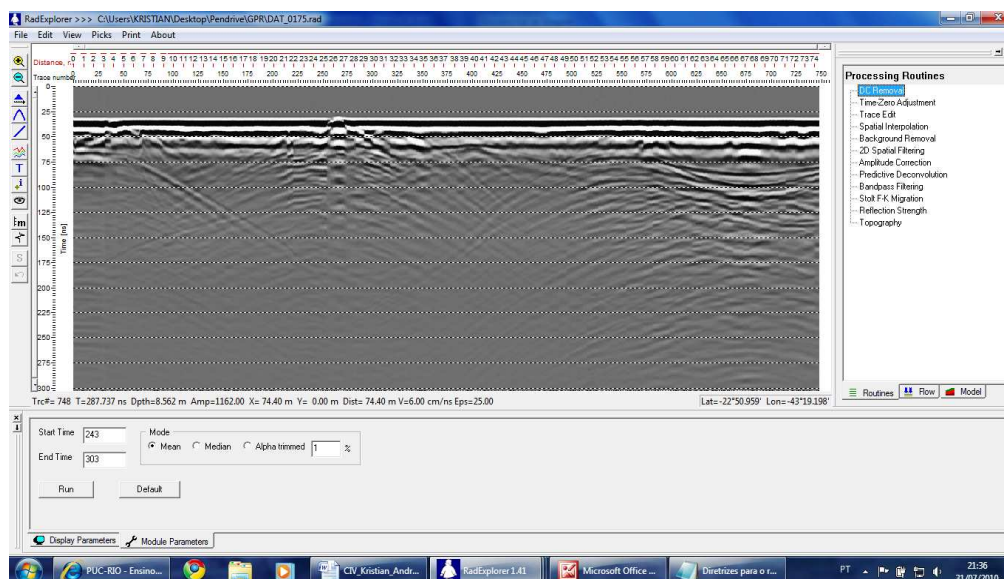


Figura 3: Arquivo “DAT0175.rad” visualizado no “RadExplorer 1.41”

No total, são doze rotinas, a saber: DC Removal, Time-Zero Adjustment, Trace Edit, Spatial Interpolation, Background Removal, 2D Spatial Filtering, Amplitude Correction, Predictive Deconvolution, Bandpass Filtering, Stolt F-K Migration, Reflection Strength e Topography. Na pesquisa em questão, foram aplicadas apenas três, que, para efeitos de síntese, serão as únicas explicadas a seguir.

A primeira, “DC Removal”, tem como função eliminar os elementos que forem constantes ao longo da imagem gerada, deixando nela apenas as partes em que há divergência. Isso é útil porque, como o GPR foca-se exatamente em apresentar as interfaces entre uma estrutura e outra, possibilitando a visualização dos diferentes materiais, a parte constante pode ser desconsiderada, para deixar mais nítidas as partes com diferenças.

A segunda, “Predictive Deconvolution”, torna a imagem mais minuciosa, ao elevar notavelmente sua resolução. Com isso, as interfaces e as características de cada região ficam muito mais evidentes, o que facilita a interpretação. Porém, ao detalhar muito o perfil, tal técnica acaba dando mais visibilidade também aos ruídos, distorcendo a informação sobre as ondas eletromagnéticas que se deseja estudar e, portanto, criando um problema.

No entanto, esse problema é resolvido com a terceira rotina, “Bandpass Filtering”. Ela tem a função de excluir da imagem as ondas cujas frequências estejam fora de certos limites, sendo que essas ondas correspondem exatamente aos indesejáveis ruídos. Assim, as partes problemáticas trazidas pela “Predictive Deconvolution” são eliminadas, o que dá fim à sequência de rotinas aplicada sobre os perfis.

Além desses procedimentos, também foi configurada uma paleta de cinco cores, em diferentes tons, para realçar melhor as interfaces, pois a representação em preto-e-branco não deixa as diferenças tão nítidas. Uma última informação dada ao software foi a constante dielétrica do solo ($K = 25$), para que, a partir dela, o programa pudesse indicar, no modelo, uma escala de profundidade mais fiel à da área retratada.

Com todas essas ações adotadas, foram obtidos os seguintes modelos:

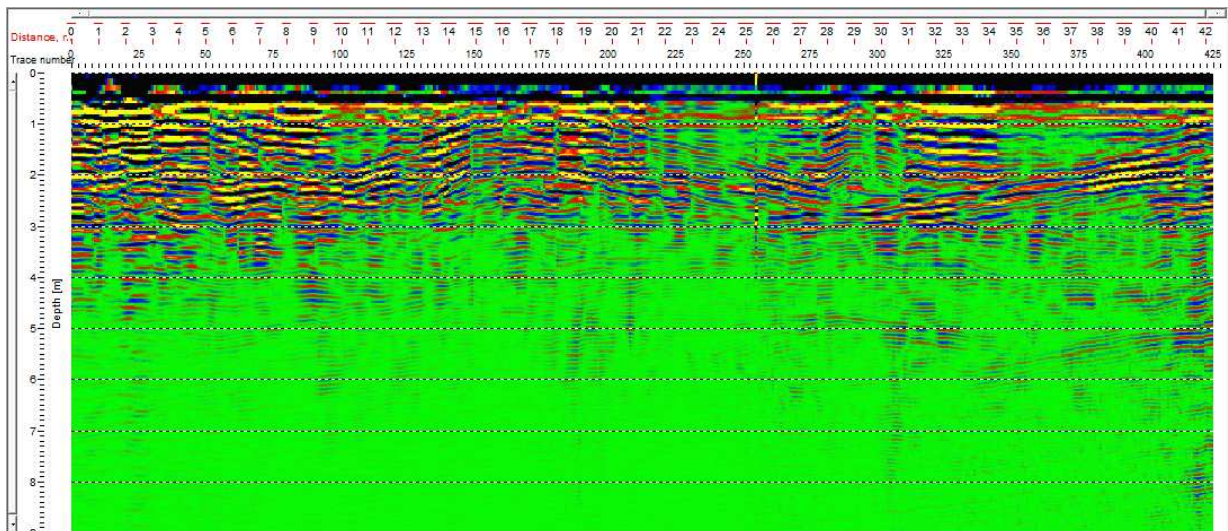


Figura 4: Arquivo “DAT0174.rad”

Pode-se depreender que as partes na cor verde correspondem a zonas de alta condutividade – possíveis plumas de hidrocarbonetos –, pois suas aparições vão aumentando junto com a profundidade, e se sabe que, em áreas mais fundas, chegam menos ondas, não havendo reflexão ou difração, o que faz com que zonas muito condutivas apareçam na mesma cor que zonas profundas. Diferentemente, as partes de baixa condutividade, com muitas reflexões e difrações, são vistas em azul, vermelho, amarelo e preto. As distinções entre

camadas sobrepostas verticalmente não são tão importantes, pois são esperadas em qualquer solo, dado que o retorno contínuo de ondas atenua o sinal, que se torna, então, sempre mais fraco na medida em que se avança na profundidade. Porém, quando há diferenças significativas entre camadas lado a lado ou quando são vistas hiperboles, tem-se uma região a ser investigada.

Seguindo esses princípios de análise, vê-se que o mais interessante na figura 4 são um arco hiperbólico, com concavidade para baixo e ponto mais alto na posição 17,5m (traço 175) do eixo horizontal; duas anomalias de condutividade, nas porções horizontais 21-28m e 34-40m ; e, com importância duvidosa mas considerável, a profundidade de 3m, pois é a partir dela que cessam reflexões e difrações em todo o perfil, ainda que não se saiba se isso se deve apenas à grande profundidade ou se é devido à presença de hidrocarbonetos.

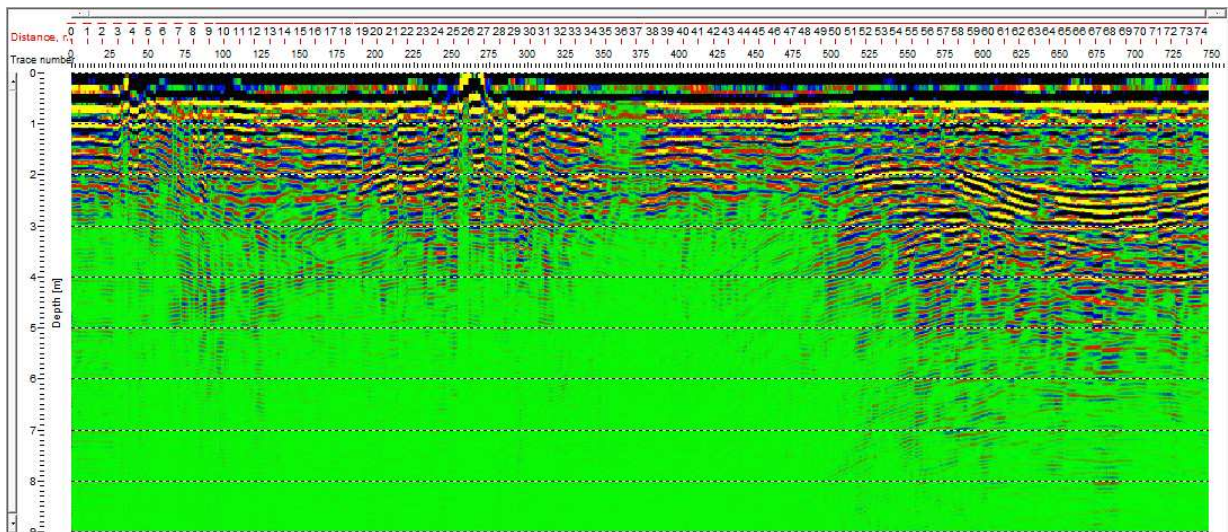


Figura 5: Arquivo “DAT0175.rad”

A figura 5, por sua vez, exhibe uma maior diferença na profundidade da zona verde, pois, à esquerda de 49m, as reflexões e difrações cessam aos 3m, enquanto que, à direita, elas podem ser vistas fortes até os 4m, com mais algumas presenças consideráveis até 5m. Isso sinaliza que, entre 3 e 4m de profundidade da zona à esquerda de 49m, pode haver contaminantes, já que o retorno das ondas parece ser possível, por ter sido verificado na porção à direita.

Ainda na 5ª figura, notam-se dois arcos hiperbólicos, em 4m e, mais notavelmente, em 26m. Neles, pode haver grandes objetos que estejam causando essa intensa difração, e isso será melhor explicado mais adiante.

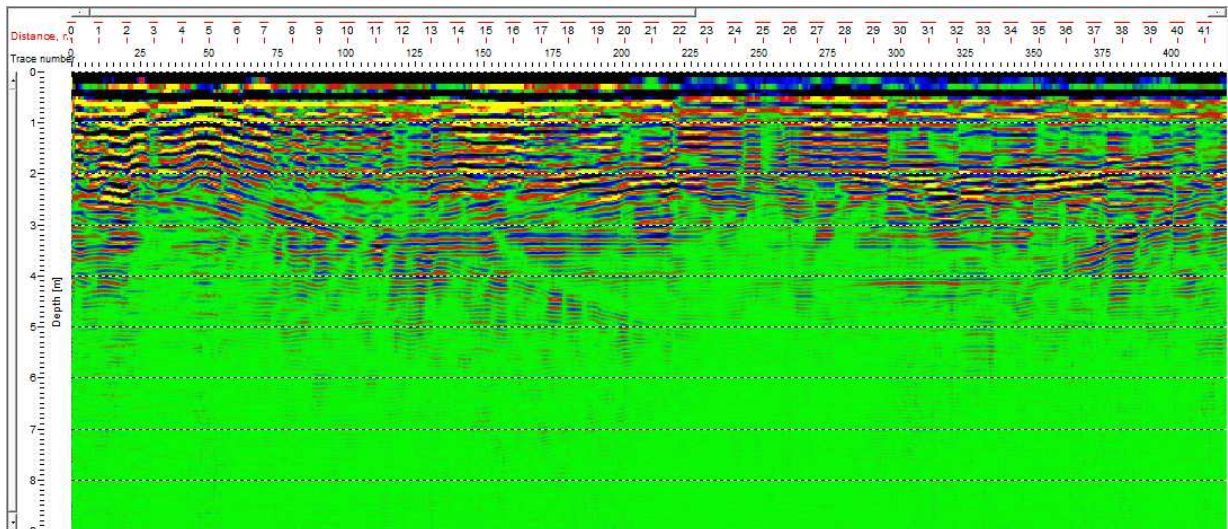


Figura 6: Arquivo “DAT0176.rad”

Na figura 6, devem-se ressaltar o arco na posição 4,5m; o fato de a zona verde ter se iniciado a partir de 2m, sendo, portanto, mais rasa que nos outros perfis, podendo haver mais contaminação neste; e a anomalia de condutividade à direita dos 29m horizontais, a qual, por estar acima de uma parte em que houve retorno significativo de ondas, parece ainda mais ser devida a contaminantes, e não à profundidade.

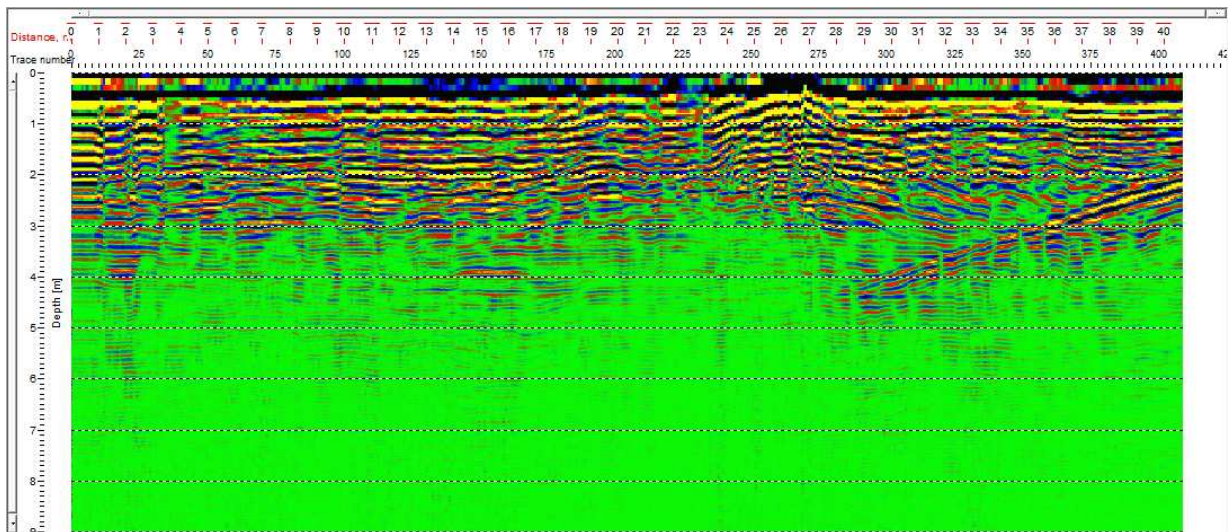


Figura 7: Arquivo “DAT0177.rad”

Dentro da figura 7, notam-se um arco aos 26m; e, de mais peculiar, uma interface diagonal no retângulo a partir dos 28m horizontais e entre 2 e 5m verticais, revelada pelo intenso retorno de ondas se sobressaindo ao longo de uma linha.

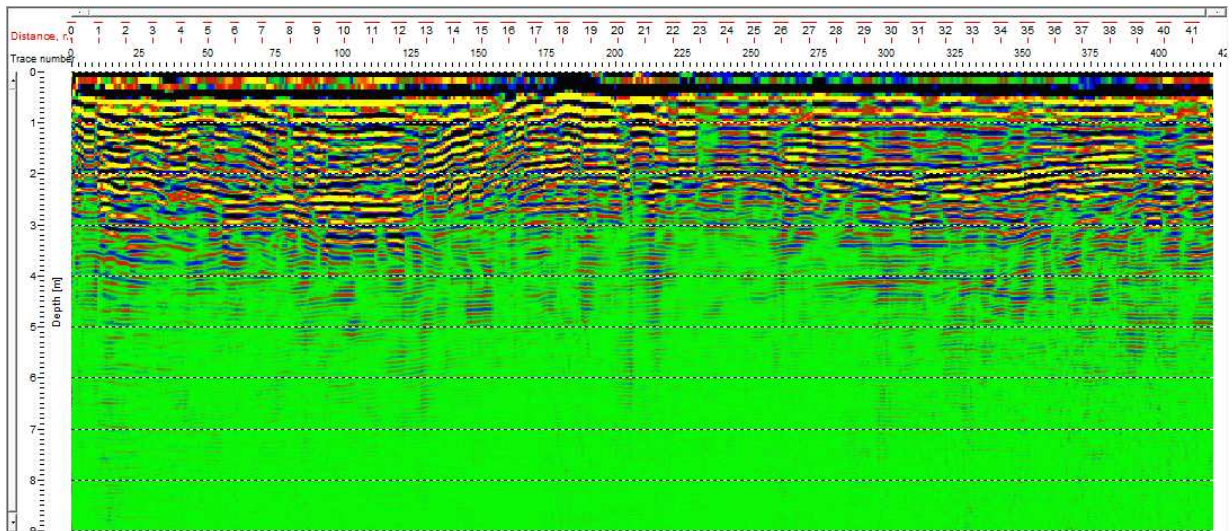


Figura 8: Arquivo “DAT0178.rad”

Em relação à figura 8, deve-se apenas realçar o arco na posição 18,5m.

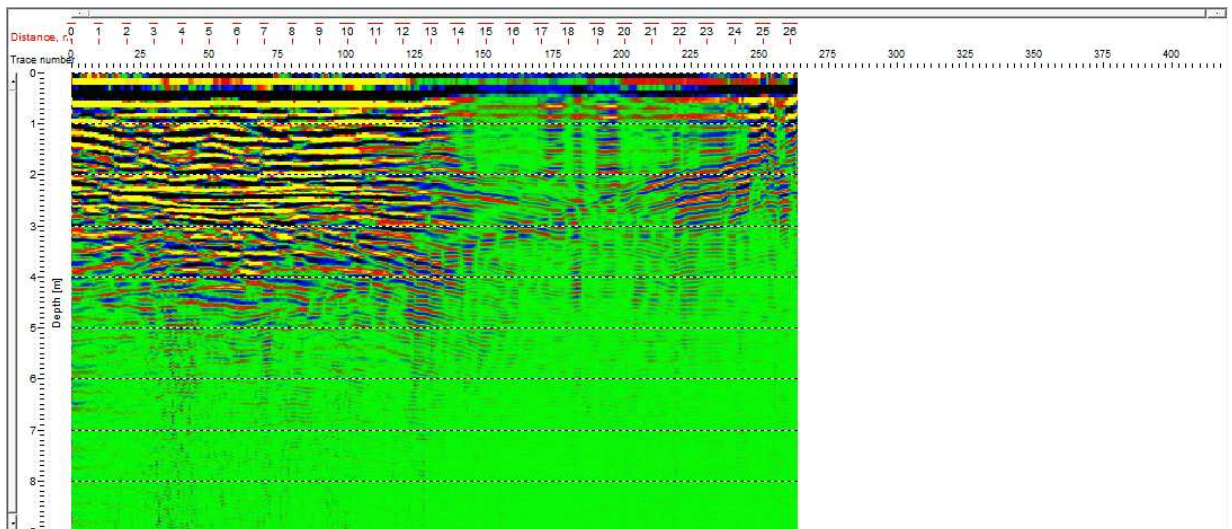


Figura 9: Arquivo “DAT0179.rad”

A figura 9, diferentemente das demais, não apresenta nenhum arco hiperbólico claro. Porém, exibe a mais notável diferença horizontal de retorno de ondas, pois, à esquerda de 13m, há retorno durante 4m de profundidade, e, à direita, estende-se uma vasta zona verde, que só começa a desaparecer a partir dos 24,5m. Como esse trecho verde chega quase à superfície, é muito provável que nele haja uma pluma de contaminação, pois não parece haver outro motivo para o sinal estar tão atenuado.

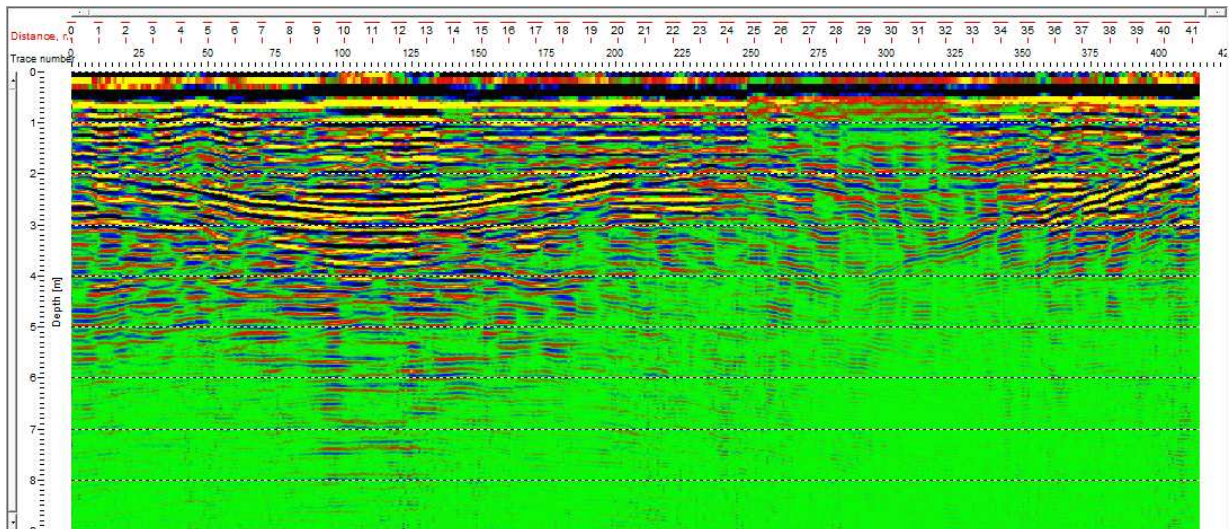


Figura 10: Arquivo “DAT0180.rad”

Na figura 10, deve-se destacar apenas a atenuação do sinal entre 24,5 e 32m.

- **Correlação entre os perfis resultantes e uma imagem de satélite da área estudada**

Para melhor associar os perfis do “RadExplorer 1.41” à região estudada, foi usado o software “Google Earth”, que mostra imagens de satélite da área e, recebendo dados computacionais coletados com GPS durante o ensaio, traça caminhos que representam o deslocamento feito com o GPR. O lançamento desses dados no “Google Earth” configura uma das principais diferenças entre esta pesquisa e as primeiras a serem feitas com radares de penetração, pois esse programa surgiu apenas no ano de 2004. Desde então, apesar de não ter sido muito usado neste sentido, apresenta-se como uma ferramenta mais completa que as simples anotações das rotas em papel, tradicionalmente usadas nesse tipo de pesquisa. A imagem, já com as rotas assinaladas, é mostrada na página 9.

Os trechos em vermelho são as partes sem nenhuma observação; os em branco representam prováveis anomalias de condutividade, observadas nos radargramas do “RadExplorer 1.41”; e as indicações em amarelo apontam para as hipérboles observadas. Estas, por indicarem fortes difrações, parecem mostrar objetos enterrados, e, como se sabia, previamente, que havia um tanque de combustível no local, pode-se acreditar que ele é o objeto representado pelas hipérboles. Assim, o ensaio forneceu uma noção do local onde o tanque estaria, que deve ser próximo aos cinco indicadores amarelos mais agrupados da imagem. Isso facilita futuras escavações para a sua remoção.

Com isso, foi obtido um bom conhecimento da amplitude da região contaminada, observando-se, principalmente, a totalidade das linhas brancas assinaladas. Isso evita que furos de sondagem desnecessários sejam feitas em regiões muito distantes da verdadeiramente problemática, o que reduz os custos e, sobretudo, a alteração do solo decorrentes dessa técnica.

Dessa forma, ocorre uma boa obtenção de dados sobre a pluma de contaminação por hidrocarbonetos presente na área. Configura-se, assim, uma preparação adequada para futuras ações de despoluição do local.

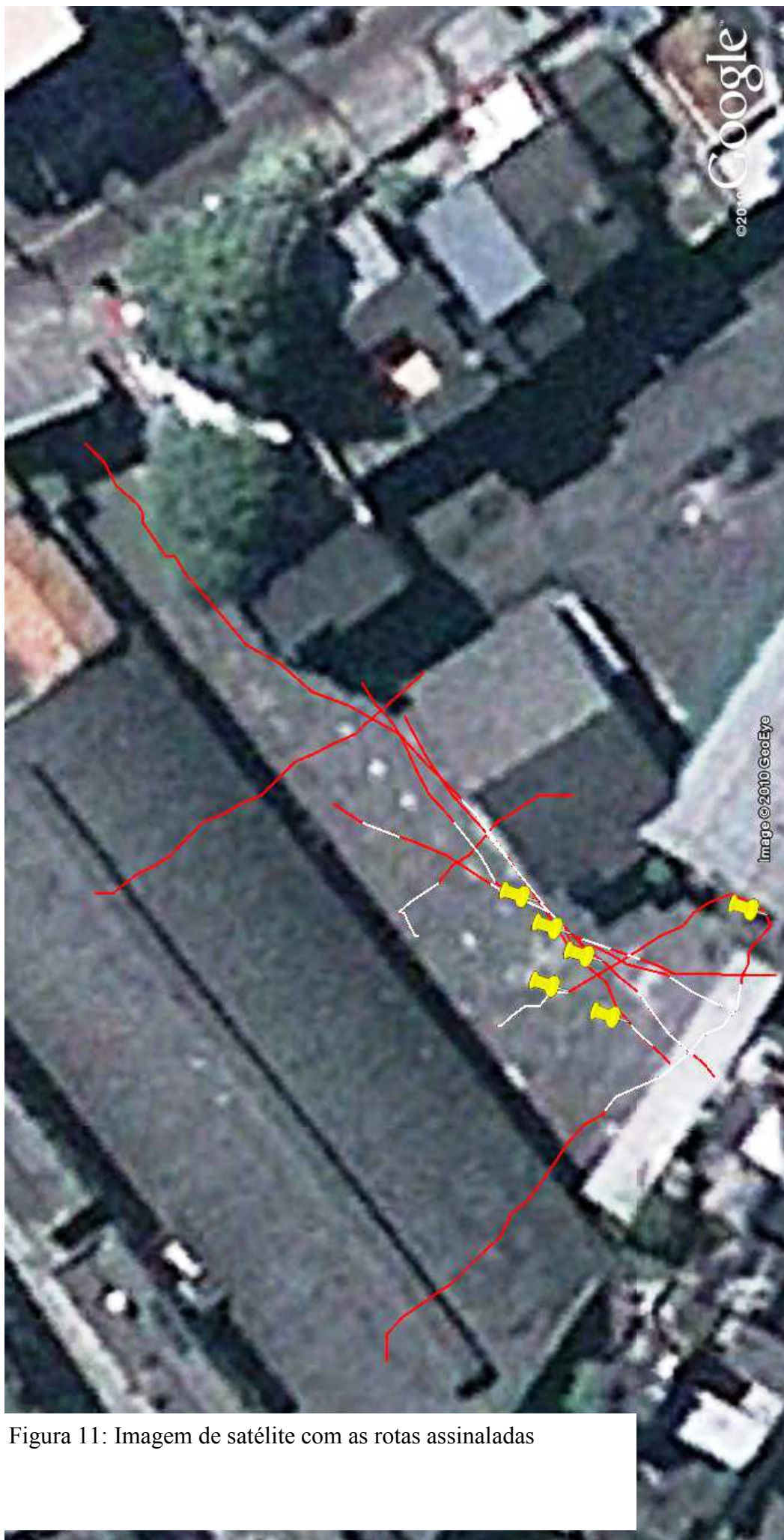


Figura 11: Imagem de satélite com as rotas assinaladas

Conclusões

A análise da área com o GPR indicou uma possível presença de hidrocarbonetos contaminantes, dadas as características dos radargramas processados.

O programa “RadExplorer 1.41” também se mostrou bastante adequado, criando perfis nítidos do subsolo, cujas interpretações proporcionaram resultados satisfatórios.

Também o “Google Earth” foi muito útil, por ligar os perfis às imagens de satélite da área estudada, completando a observação.

Como sugestão para futuros trabalhos, pode-se aplicar o GPR em tanques preenchidos por um solo de composição conhecida e que esteja contaminado, intencionalmente e de maneira controlada em laboratório, com hidrocarbonetos. Isso possibilitaria uma comparação entre a realidade já conhecida da amostra e os resultados fornecidos pelos perfis digitais, o que apontaria melhor a veracidade das conclusões obtidas pela aplicação pura do GPR.

Porém, com o trabalho mostrado aqui, já parece ser possível dizer que o procedimento descrito é, potencialmente, bastante útil na localização de plumas de hidrocarbonetos no subsolo.

Referências

- 1 - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. Material do Curso “GPR (Ground Penetrating Radar)”. São Paulo, 2009. 67p de slides e 17p de texto.
- 2 - MICHELE MATOS DE SOUZA. “Uso do Georadar (GPR) em Investigações Ambientais”. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro, 5 de agosto de 2005. 120p.
- 3 - MALA GEOSCIENCE. “RadExplorer 1.4 User Manual”. Moscow, 2005. 92p.