

EFICÁCIA DA SONDAGEM PELO MÉTODO GPR NA LOCALIZAÇÃO DE TUBULAÇÕES EM ALTERNATIVA AO MÉTODO DE ESCAVAÇÃO TRADICIONAL

Lucileia Marcon¹
Danilo Patrício do Nascimento²

Resumo

Este trabalho tem como objetivo analisar a eficácia do método *Ground Penetrating Radar (GPR)* na localização de tubulações enterradas, comparando-o com o método tradicional de escavação manual. O GPR, uma tecnologia que utiliza pulsos eletromagnéticos para identificar interfaces e objetos no subsolo, foi utilizado em vários municípios do estado de Alagoas, incluindo Maceió, para localizar tubulações de gás. O estudo abrangeu 362 trechos de estrada e 126 sondagens manuais para validar os dados obtidos pelo GPR. O equipamento utilizado foi o Georadar Leica DS2000. Os resultados mostraram que, das 126 sondagens, apenas 7,83% apresentaram erros na localização das tubulações, sendo as falhas atribuídas principalmente à interpretação dos radargramas, saturação e tipos de solos. Apesar dessas limitações, o GPR demonstrou ser uma alternativa viável e mais eficiente do que a escavação manual, minimizando danos ao pavimento e reduzindo os transtornos gerados pela mesma. Embora o método GPR ainda apresente algumas imprecisões, ele pode ser aprimorado e se consolidar como mais uma ferramenta importante na engenharia civil.

Palavras-Chave: Georadar. Tubulações. Radargrama. Escavação.

EFFECTIVENESS OF GPR SURVEYING METHOD IN LOCATING PIPELINES COMPARED TO THE TRADITIONAL EXCAVATION METHOD

Abstract: This study aims to analyze the effectiveness of the Ground Penetrating Radar (GPR) method in locating buried pipelines, comparing it to the traditional manual excavation method. GPR, a technology that uses electromagnetic pulses to identify subsurface interfaces and objects, was applied in several municipalities in the state of Alagoas, including Maceió, to locate gas pipelines. The study covered 362 road sections and 126 manual probes to validate the data obtained by GPR. The equipment used was the Leica DS2000 Georadar. The results showed that, out of 126 probes, only 7.83% presented errors in locating the pipelines, with the failures primarily attributed to the interpretation of radargrams, saturation, and soil types. Despite these limitations, GPR proved to be a viable and more efficient alternative than manual excavation, minimizing pavement damage and reducing the disruptions caused by it. Although the GPR method still has some inaccuracies, it can be improved and established as another important tool in civil engineering.

Keywords: Georadar. Pipelines. Radargram. Excavation.

1 Docente do curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Santa Catarina. lucileia.marcon@ifsc.edu.br.

2 Acadêmico do curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Santa Catarina. danilo.pn2000@aluno.ifsc.edu.br

1 INTRODUÇÃO

O método Radar de Penetração de Solo (GPR), popularmente conhecido como Georadar, consiste na emissão de pulsos eletromagnéticos com frequências específicas que penetram no solo. Esses pulsos refletem nas interfaces entre camadas do solo ou em objetos enterrados, retornando à superfície, onde são registrados. Esse método começou a ser pesquisado a partir do início do século XX e passou por diversas mudanças e avanços. A partir desses avanços ao longo dos últimos anos, essa ferramenta se tornou cada vez mais viável nas áreas da geofísica, geologia, agrimensura e construção civil.

Segundo Annan (2003), o método GPR pode ser usado para:

- Localizar gás metano em minas de carvão, evitando acidentes.
- Mapear pedreiras de granito, auxiliando o planejamento das extrações.
- Descobrir túneis e outras estruturas em sítios de escavação de arqueologia.
- Auxiliar militares no descobrimento de munições não detonadas.

O método GPR também pode ser usado na engenharia civil. Segundo Cruz et al. (2006), ele foi usado em duas pontes de Portugal, para estudo e análise da situação da estrutura.

Com todas essas aplicações variadas, o uso do método GPR tratado neste trabalho é a de detecção de tubulações enterradas. Esta tecnologia pode auxiliar significativamente as empresas de saneamento na localização de tubulações, minimizando quase toda a escavação manual a céu aberto.

A escavação manual a céu aberto começa com a abertura de um local específico com auxílio de ferramentas, como picaretas e pás, para a investigação e localização de possíveis estruturas e tubulações, que podem incluir canalizações de água, esgoto, gás e distribuição elétrica. Esse método pode causar danos irreparáveis à superfície e apresenta diversas falhas, pois a localização das tubulações é feita por tentativa e erro. Isso o torna um método mais simples que pode ser substituído por algo mais preciso, para diminuir custos e aumentar a eficiência.

A utilização do GPR, uma tecnologia não destrutiva, apresenta um potencial significativo para minimizar o impacto ambiental e os inconvenientes à população. No entanto, este estudo busca examinar as vantagens e limitações desse método em comparação ao método tradicional. A análise do uso do método GPR é importante para todas as empresas, pois pode significar otimização de custos, aumento de desempenho, etc.

Diante disso, os objetivos deste trabalho são estudar o método GPR, apresentar suas vantagens e desvantagens, analisar sua eficácia, comparar o método com a escavação tradicional e difundir o conhecimento sobre essa tecnologia.

2 DESENVOLVIMENTO

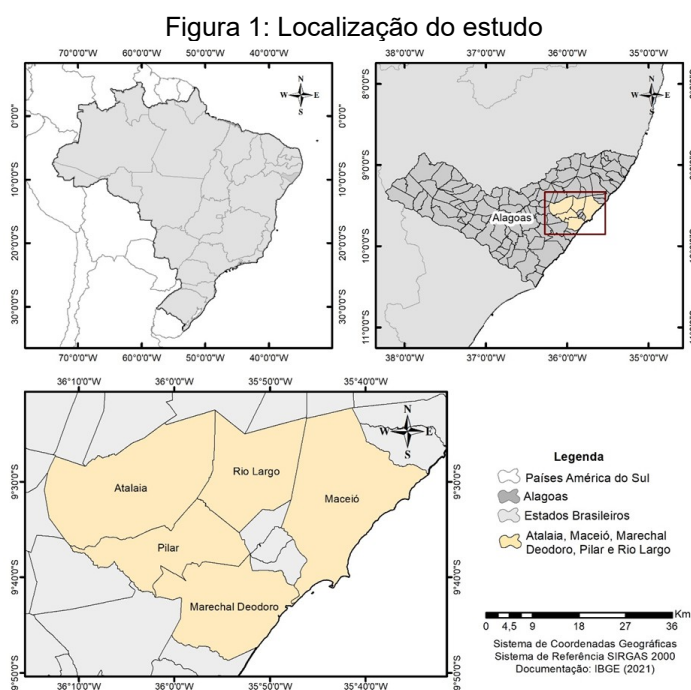
2.1 História e Contextualização

Alves (2014) ressalta que as primeiras pesquisas sobre o uso de ondas eletromagnéticas começaram em 1900. Durante 50 anos, apesar de várias pesquisas e análises, não houve sucesso na definição e especificação de seu uso. Foram os militares que começaram as pesquisas mais aprofundadas sobre essa tecnologia. A partir dos anos 80, com o avanço da tecnologia e maior compreensão do assunto, o Radar de Penetração do Solo (GPR) começou a ganhar mais visibilidade.

Conforme Africano (2020), o GPR é um método de pesquisa de solo baseado em frequências eletromagnéticas. Ele gera imagens das camadas do subsolo através de ondas eletromagnéticas que refletem de maneira diferenciada conforme o material, convertendo essas informações em gráficos que auxiliam na identificação de objetos como tubulações, bem como sua localização e profundidade. Este autor argumenta que uma das principais vantagens dessa técnica é que ela é não destrutiva, pois não danifica o solo ou a superfície (pavimentação). Além disso, essa técnica se destaca pela praticidade, uma vez que requer apenas um técnico para manuseio e operação do equipamento.

2.2 Local de Estudo e Geografia

A base de dados referente a esse artigo foi obtida pelo trabalho desenvolvido pela empresa de engenharia e georreferenciamento Geoprocsul, sediada em Criciúma, Santa Catarina. O método GPR foi utilizado em alguns municípios no estado de Alagoas na localização de tubulações de gás para atualização do cadastro da rede de tubulações. A área de abrangência está restrita à zona dos Municípios de Atalaia, Maceió, Marechal Deodoro, Pilar e Rio Largo, conforme Figura 1.



Fonte: Geoprocsul (2023)

A maior parte do trabalho com o método GPR se desenvolveu na capital do

estado, Maceió. Fundada em 1815, atualmente é a maior cidade do estado de Alagoas e tem em torno de 1 milhão de habitantes, segundo o IBGE (2022).

O método GPR foi utilizado em 362 trechos de estradas nos municípios citados acima para conferir e atualizar a localização das tubulações de gás. A figura 2 mostra em vermelho alguns trechos na região de Maceió. A empresa contratante do serviço somente pediu trechos específicos para a localização da tubulação que variavam de 5 m até 700 m.

Figura 2: Imagem de satélite mostrando parte dos trechos analisados



Fonte: Autor

2.3 Dados do Equipamento GPR

O equipamento GPR utilizado é o Leica DS2000. A Figura 3 mostra o aparelho popularmente conhecido como Georadar e a Tabela 1 mostra as especificações técnicas do aparelho.

Figura 3: Imagem demonstrativa do aparelho Leica DS2000



Fonte: Leica Geosystems (2016)

Tabela 1 – Especificações técnicas do equipamento.

Antena de Dupla Frequência	
Tamanho	40 x 50 cm
Canais do Hardware	2
Frequência Central da Antena	250 MHz e 700 Mhz
Precisão do Aparelho	3-4 metros na frequência mais baixa
Orientação da Antena	Perpendicular
Frequência de Amostragem	400 kHz
Aquisição de Dados	
Velocidade de Aquisição	Mais que 10 km/h
Taxa de Varredura por Canal Para 512 Amostras por Varredura	381 scans por segundo
Intervalo do Escaneamento	42 scans por metro
Posicionamento	2 Codificadores integrados – GPS e/ou TPS
Unidade de Controle	
Consumo/Fornecimento de Energia	13.3 W bateria tipo SLAB 12 V DV, 12 Ah
Temperatura de Operação	-10° C a +40° C
Peso	27 kg
Proteção	IP65

Fonte: Leica Geosystems (2016).

2.4 Procedimentos Metodológicos

O Georadar era utilizado passando de maneira transversal às ruas para detectar a posição da tubulação no ponto inicial e final do trecho solicitado, quanto

maior o trecho, mais vezes o georadar era utilizado. Durante o uso do aparelho, ele gera um gráfico das ondas propagadas conhecido como radargrama. A partir desse gráfico, o operador interpreta as informações e aferi a altura e posição da tubulação. Vale ressaltar que é preciso um certo conhecimento e experiência com o aparelho para entender o gráfico de radargrama gerado.

Uma equipe de topografia também auxiliava o trabalho do georadar, pois os trechos de tubulação eram desenhados em programas de arquitetura CAD, então era necessário pegar pontos de meio fio, estrada, limitações de edificações, etc.

Em alguns pontos foi decidido fazer sondagens para conferir se a localização e altura das tubulações estava correta. Foram feitas 126 sondagens na região do estudo. As sondagens eram feitas com escavação manual até ser encontrada a tubulação e depois eram aferidas com trena.

2.5 Trecho Exemplo

O georadar foi utilizado no trecho denominado 88, entre as ruas Pedro Américo e Benedito Cunegundes na cidade de Maceió, o mesmo possui aproximadamente 9,67m. A figura 4 mostra a imagem de satélite da localização aproximada do trecho para referência.

Figura 4: Localização aproximada do trecho analisado



Fonte: Autor

As figuras 5 e 6 mostram o georadar sendo utilizado em campo:

Figura 5: Georadar sendo utilizado na cidade de Maceió-AL.



Fonte: Geoprocsul (2023)

Figura 6: Georadar sendo utilizado na cidade de Maceió-AL.



Fonte: Geoprocsul (2023)

Depois da passagem do georadar, é feita uma marcação da localização da tubulação e a equipe de topografia com o auxílio de estação total gera uma nuvem de pontos para desenho em CAD depois. A figura 7 mostra a marcação.

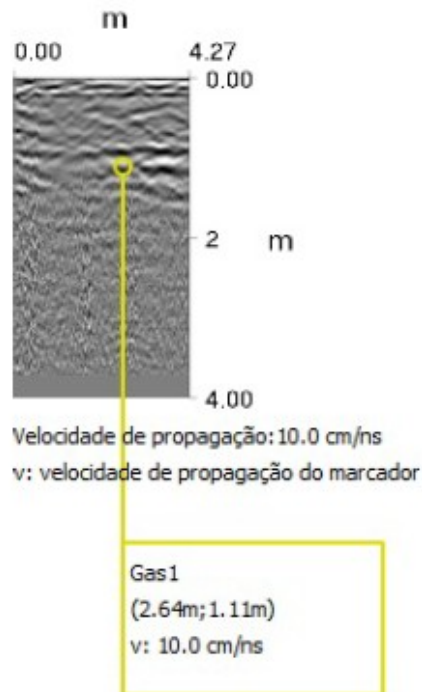
Figura 7: Marcação do Georadar



Fonte: Geoprocsul (2023)

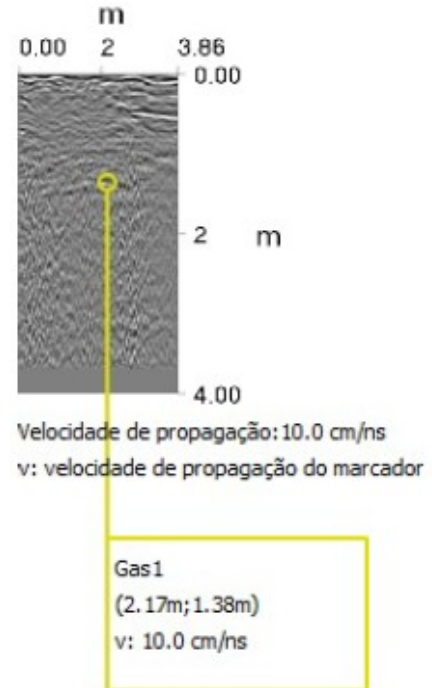
Com os dados do georadar, é feito um relatório de radargrama onde é gerado um gráfico com as ondas eletromagnéticas que penetraram o solo. Esse gráfico mostra a tecnologia do método GPR, já que mostra as tubulações onde a onda rebateu, demonstrando assim o princípio do método. As figuras 8 e 9 exemplificam os radargramas do trecho apresentado.

Figura 8: Radargrama do trecho 88.



Fonte: Geoprocsul (2023)

Figura 9: Radargrama do trecho 88.



Fonte: Geoprocsul (2023)

Os gráficos mostram onde a onda rebateu, mostrando a localização e a profundidade. Nota-se uma diferença de profundidade entre as duas regiões e isso se deve ao fato da tubulação ser relativamente irregular e antiga, então ela pode sofrer algumas deformações ao longo do tempo ou estar levemente inclinada. Esse trecho também foi um dos trechos selecionados para uma sondagem em campo para conferência do método. As figuras 10 e 11 abaixo mostram o processo de escavação para aferimento da localização da tubulação.

Figura 10: Processo de escavação para sondagem.



Fonte: Geoprocsul (2023)

Figura 11: Medição da altura da tubulação.

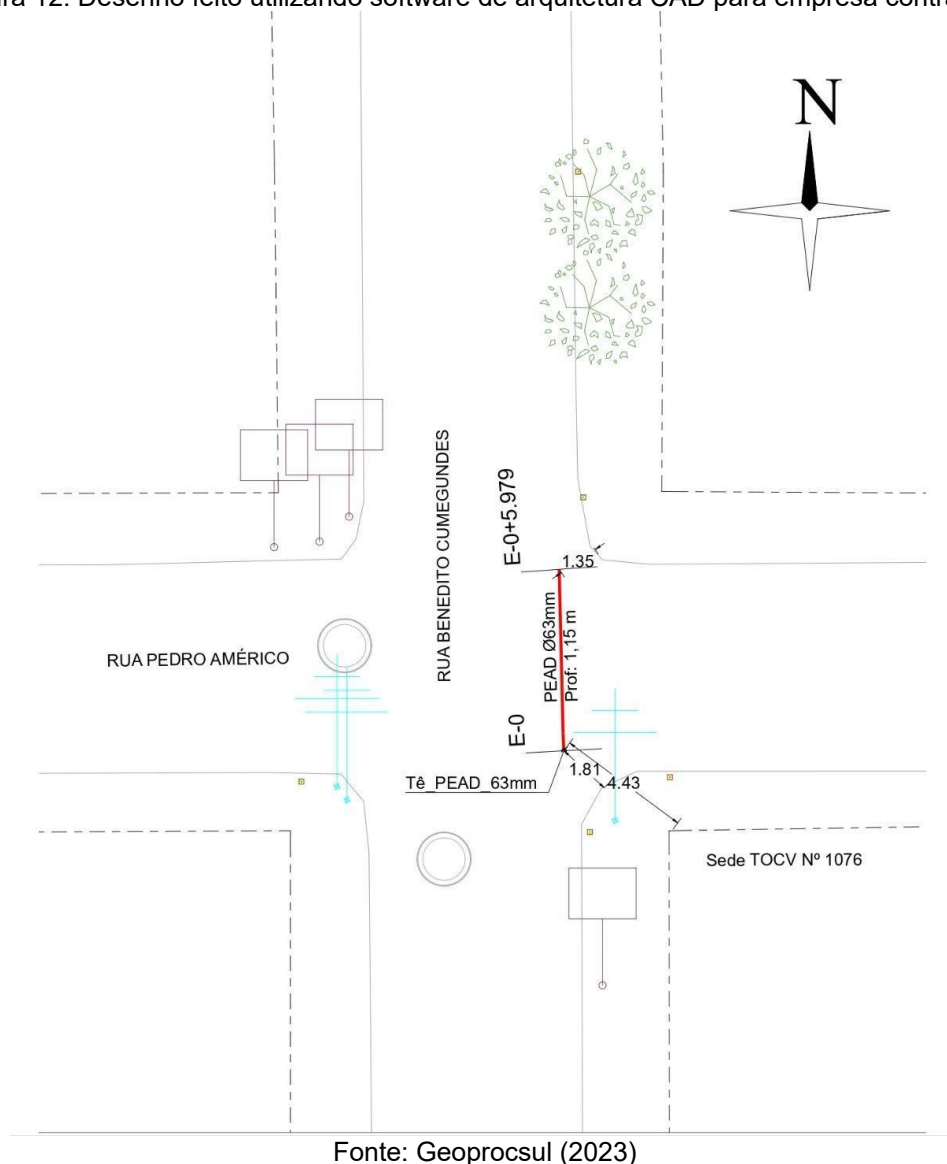


Fonte: Geoprocsul (2023)

A utilização do método GPR possibilitou a melhor localização da escavação e com isso, o mínimo de dano ao pavimento. Essa sondagem especificamente foi feita fora da marcação do georadar da figura 7, porém no mesmo alinhamento. A tubulação pela medição estava a aproximadamente 1,20 m abaixo do pavimento, 9 cm acima da marcação do georadar.

Com todos esses dados, foi gerado desenho em CAD do trecho para a empresa contratante do serviço conforme figura 12.

Figura 12: Desenho feito utilizando software de arquitetura CAD para empresa contratante



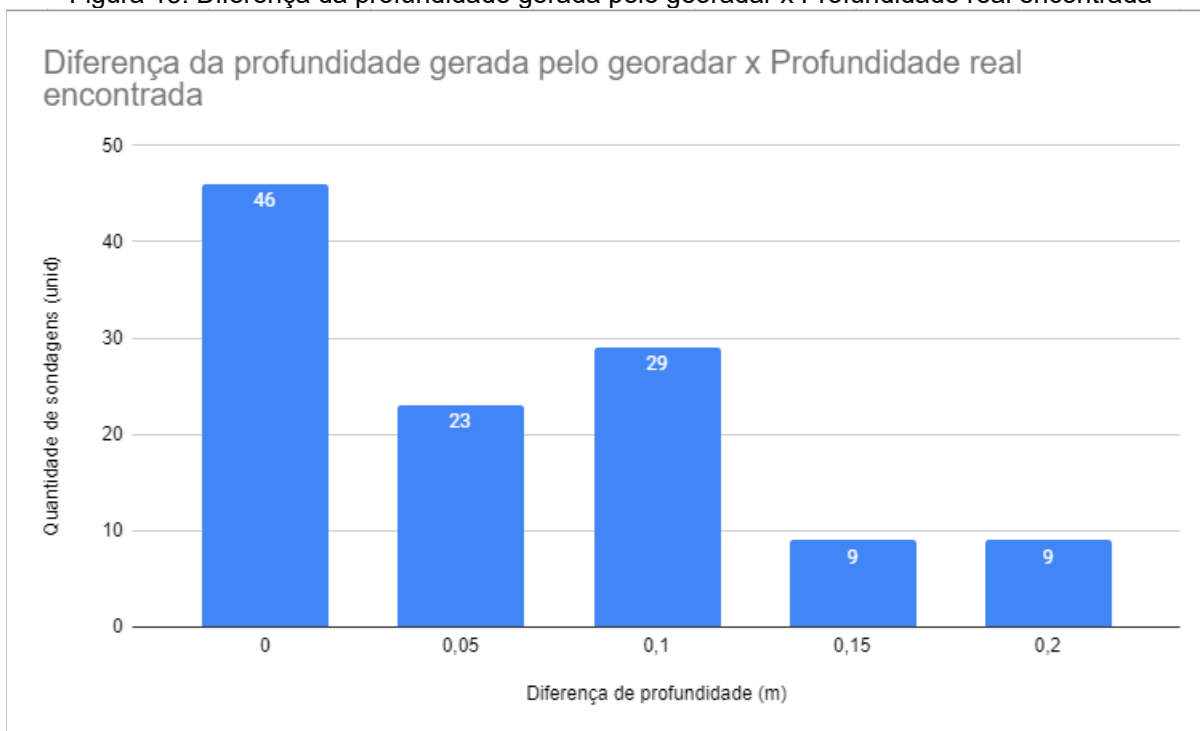
Fonte: Geoprocsul (2023)

2.6 Análise do Método

Analisando o método GPR, ele se mostrou satisfatório nesse projeto, pois de 126 sondagens, somente 10 tiveram diferença de localização, cerca de 7,83% dos trechos. Com essas informações, é possível levantar algumas hipóteses sobre esses erros encontrados.

Uma das possibilidades se deve ao fato de não ser possível saber qual tipo de tubulação está ali, então acabou sendo apontado erroneamente outro tipo de tubulação como sendo de gás, o que acabou gerando alguns erros pontuais. Isso mostra que a tecnologia do método GPR pode ser melhorada para o futuro e que até o presente momento não é 100% infalível. Uma melhoria que pode ser desenvolvida é com relatórios de radargramas que possam diferenciar materiais para melhor aproveitamento e eficiência. Nas outras 116 sondagens, houve algumas diferenças em relação a profundidade. A figura 13 abaixo mostra as diferenças de profundidades encontradas com as sondagens em forma de gráfico.

Figura 13: Diferença da profundidade gerada pelo georadar x Profundidade real encontrada

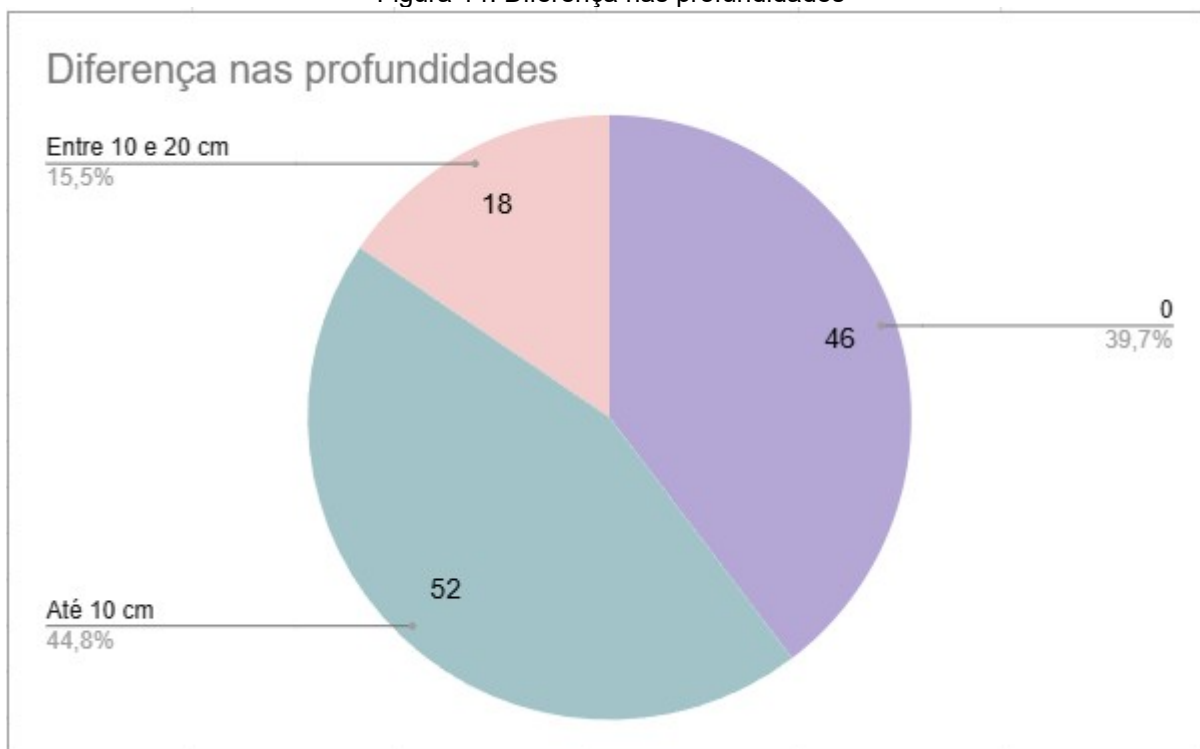


Fonte: Autor

Pelo gráfico é possível ver que o método ainda gera a profundidade com algumas diferenças, principalmente entre 5 a 10 cm de erro, com alguns casos acima disso. Foram 23 casos com erros de 5 cm e 29 com erros de 10 cm, dando um somatório de 52 casos, aproximadamente 44,8%. Com 15 cm de diferença foram 9 casos e com 20 cm foram mais 9, totalizando 18 sondagens com erros entre 10 e 20 cm, aproximadamente 15,5%.

Levando em consideração o coeficiente majoritário, utilizado para suprir eventuais imprevisibilidades no cálculo de serviços e movimentação de solo, sendo em geral de 10 a 20 %, estas diferenças de profundidades são absorvidas totalmente pelo levantamento de custos de mão de obra e serviços. De acordo com o SINAPI de outubro de 2024, o item 93358 - Escavação Manual de Vala custa R\$ 93,43/m³. Por exemplo, considerando a diferença de 5 cm de altura em uma vala de 1 m x 1 m corresponde a R\$ 4,67 e esse valor progressivamente vai ficando mais desprezível conforme a profundidade dela. Mesmo se a diferença de altura for em torno de 20 cm, ainda é um valor baixo considerando serviços de escavações. Dessa forma, pode se dizer que o método GPR foi bastante preciso. A figura 14 mostra em forma de gráfico de pizza a quantidade de sondagens e a porcentagem em relação aos erros de profundidade.

Figura 14: Diferença nas profundidades



Fonte: Autor

Outra hipótese como motivo para erros é o tipo de solo onde o método GPR é utilizado. Segundo Santos (2019), os solos argilosos ou com silte têm a penetração de radar muito baixa, o que pode gerar imprecisão no método GPR. De acordo com Parahyba et al. (2008), os solos da região de Maceió apresentam principalmente as características de latossolos e argissolos em praticamente toda a cidade, dessa forma, os argissolos podem ter atrapalhado a propagação da onda, gerando uma imprecisão na profundidade ou localização de algumas tubulações.

De acordo com Souza (2008), as propriedades eletromagnéticas dos materiais, assim como a frequência central da antena, influenciam na propagação do pulso eletromagnético. O autor também ressalta que camadas de solo com elevados índices de umidade ou perto de saturação causam severa atenuação do sinal, comprometendo a eficácia da investigação. Dessa forma é possível afirmar que chuvas intensas antes da utilização do método GPR podem atrapalhar a propagação da onda e o resultado do aparelho.

Segundo o Plano Municipal de Saneamento Básico de Maceió (2016), o lençol freático da cidade apresenta uma profundidade média que varia entre 1,5 m e 2,5 m em regiões urbanas, devido à predominância de solos arenosos e argilosos com alta capacidade de retenção hídrica. Essa característica torna o subsolo de Maceió altamente saturado em diversos pontos, especialmente após períodos chuvosos. A saturação do solo aumenta a condutividade elétrica, causando uma severa atenuação do sinal e dificultando a detecção precisa de objetos enterrados, como tubulações.

Essas condições específicas podem explicar algumas das imprecisões observadas durante o estudo com o GPR. A presença de lençóis freáticos em profundidades rasas compromete a eficácia do radar, já que o sinal pode ser disperso ou refletido de forma inadequada ao interagir com solos saturados. Assim, para projetos em áreas com alta saturação hídrica, como Maceió, recomenda-se ajustar os

parâmetros do equipamento e considerar o uso de antenas de menor frequência para aumentar a penetração do sinal em solos úmidos.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir de todas as informações apresentadas, pode-se concluir que o método GPR desempenha um papel significativo na localização de tubulações enterradas, configurando-se como uma alternativa promissora à escavação tradicional a céu aberto. No entanto, é importante considerar algumas ressalvas para garantir maior eficácia, tais como: estudo prévio das características do solo e evitar a sua utilização em períodos chuvosos. Não sendo menos importante a necessidade de mão de obra especializada para operar o equipamento e interpretar os dados obtidos, uma vez que o relatório de radargrama exige conhecimento técnico para uma análise precisa.

Importante destacar que o método GPR não substitui completamente a escavação, mas atua como uma ferramenta complementar, proporcionando maior eficiência na etapa de localização. Essa abordagem auxilia na redução de transtornos causados por escavações desnecessárias, minimiza imprecisões e pode resultar em economia significativa nos custos operacionais. Isso ajuda também nas previsões orçamentárias de escavações para serviços públicos, podendo auxiliar na diminuição de aditivos indesejáveis e melhorando assim, a gestão pública.

Dessa forma, o uso do GPR representa uma estratégia valiosa, especialmente em contextos urbanos, onde a preservação do pavimento e a redução de impactos ambientais e logísticos são prioridades.

Deixa-se como sugestão, a continuidade da pesquisa do método de sondagem GPR, com o intuito de relacionar o estudo referente às frequências de ondas necessárias para cada tipo de solo e assim proporcionar maior precisão no GPR.

REFERÊNCIAS

AFRICANO, M.; VARGAS, J. O.; ADRIANO, R.; OLIVEIRA, D. B.; LISBOA, A. C.. **Ground-Penetrating Radar Antenna Design for Homogeneous and Low-Loss Dielectric Multilayer Media**. Journal Of Microwaves, Optoelectronics And Electromagnetic Applications, [S.L.], v. 19, n. 2, p. 137-151, jun. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2179-10742020v19i2810>

ALVES, R. R. **Localização de dutos enterrados com GPR empregando afastamentos fonte-receptor constante**. Orientador: Marco Antônio Barsottelli Botelho. 2014. 101 f. TCC (graduação) – Curso de Geofísica, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014. Disponível em: <http://www.cpgg.ufba.br/gr-geof/geo213/trabalhos-graduacao/Ronald-Alves.pdf>. Acesso em: 27 jul. de 2024.

ANNAN, A. P. **Ground Penetrating Radar Principles, Procedures & Applications**. Mississauga, Canadá: Sensors & Softwares Inc., 2003. Disponível em: <https://geolportal.sdsu.edu/jiracek/sage/documents/Sensors%20and%20Software%20GPR%20Manual.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2024.

CRUZ, Paulo J. S.; TOPCZEWSKI, Lukasz; FERNANDES, Francisco M.; LOURENÇO, Paulo B. **Utilização do radar de prospecção geotécnica na localização das bainhas de pré-esforço nas pontes da Barra e de Lanheses.** In: Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas, 4. vol., 2006, p. 13. Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/6559/1/PC%2025-UTILIZAÇÃO%20DO%20RADAR%20DE%20PROSPECÇÃO.PDF>. Acesso em: 7 ago. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Maceió - Panorama. Cidades e Estados.** Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/maceio/panorama>. Acesso em: 20 ago. 2024.

LEICA GEOSYSTEMS. **Panfleto do kit do topógrafo Leica DS2000**, 2016. 48 p. Disponível em: <https://leica-geosystems.com/pt-br/products/detection-systems/utility-detection-solutions/leica-ds2000-utility-detection-radar>. Acesso em: 05 dez. 2024.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MACEIÓ. Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Plano municipal de saneamento básico: diagnóstico técnico participativo – fase 2.** Disponível em: https://www.semurb.maceio.al.gov.br/servicos/pdf/pmsb/fase2/etapa2/2_10_1-5.pdf. Acesso em: 12 dez. 2024.

PARAHYBA, R. da B. V.; CAVALCANTI, A. C.; LOPES, O. F.; SILVA, F. H. B. B. da; LEITE, A. P.; OLIVEIRA NETO, M. B. de; SANTOS, J. C. P. dos. **Solos do Município de Maceió-AL.** In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 17., 2008, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/337717/1/trab6668397.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2024.

SANTOS, Rivaldo Vieira. **Aplicação do método GPR (ground penetrating radar) no estudo de vazios em rochas carbonáticas.** 2019. 84 f. TCC (Graduação) - Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/32805>. Acesso em: 27 nov. 2024.

SILVEIRA, Ediana Carvalho da; SANTOS, Antônio Lázaro Ferreira; BORGES, Welitom Rodrigues; ALMEIDA, Isabela Resende; PEREIRA, Lucas Gonçalves; ROCHA, Rafael Araújo. **Investigação geotécnica de espessura de pavimento flexível com GPR no câmpus da UEG CCET GO.** In: 15º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 2015.

SOUZA, A. de M. . **Uso do GPR na geração de modelos estáticos 3D para o planejamento de lavra de minerais pesados depositados em dunas eólicas.** 2008. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/18738/1/AndersonMS.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2024.