

# MAPEAMENTO DE ESTRUTURAS SUBTERRÂNEAS UTILIZANDO GPR (*GROUND PENETRATING RADAR*) - UMA BREVE REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## *MAPPING SUBSURFACE STRUCTURES USING GPR (GROUND PENETRATING RADAR) - A BRIEF LITERATURE REVIEW*

**Bianca Tenório de Melo Xavier de Souza**

**Universidade Federal de Pernambuco**

Programa de pós-graduação Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação

bianca.xavier@ufpe.br

**Andrea Flávia Tenório Carneiro**

**Universidade Federal de Pernambuco**

Centro de Tecnologia e Geociências - Departamento de Engenharia Cartográfica

andrea.carneiro@ufpe.br

### **Resumo:**

O mapeamento de redes de infraestruturas subterrâneas é de extrema importância para a administração de cidades. Por esse motivo, os estudos envolvendo métodos de levantamento de dados situados no subsolo vêm se desenvolvendo. Visto isso, o seguinte artigo tem como objetivo trazer uma breve revisão voltada ao mapeamento de redes de infraestrutura utilizando o GPR por meio de uma conceituação do método e sua forma de aquisição de dados, posteriormente levantando algumas aplicações do GPR no mapeamento de redes subterrâneas. Os resultados mostram uma satisfação com a precisão do GPR na localização das redes estudadas, porém os dados são de difícil interpretação, necessitando um olhar treinado para sua análise.

**Palavras-chave:** mapeamento subterrâneo, cadastro 3D, GPR

### **Abstract**

The mapping of subsurface utility networks are extremely important for city administration. For this reason, the studies involving methods of underground data survey have been evolving. That said, this following article has as aim to bring a brief review focused on the mapping of utilities networks using GPR through a method conceptualization and its form of data acquisition, later raising some GPR applications in mapping underground networks. The results show satisfaction with GPR precision in the studied networks placement, although the data are difficult to read, needing a trained eye to analyze them.

**Keywords:** subsurface mapping, 3D cadastre, Ground Penetration Radar

## **1 INTRODUÇÃO**

O crescimento urbano desordenado é um problema presente em muitas cidades do mundo. Grande parte desse aumento populacional em centros urbanos se deu por conta do êxodo rural, que ocorreu de forma mais intensa durante o processo de industrialização dos países.

Para que uma cidade se torne habitável, é imprescindível que a mesma conte com um bom sistema de redes de infraestrutura com água encanada, sistema de esgotamento sanitário, sistema de distribuição de energia, entre muitos outros. Conforme Guedes et al. (2017), o

planejamento dos espaços é fundamental para que haja uma democratização da cidade e um fornecimento à população de redes de infraestruturas que respondam às necessidades mínimas. Dessa forma torna-se possível organizar a sociedade e gerir o espaço físico para a população, minimizando assim os prováveis impactos gerados na cidade e no meio ambiente.

Segundo Pouliot e Girard (2016), por conta do aumento do número de objetos subterrâneos, principalmente em áreas urbanas, o cadastro eficiente desses objetos está se tornando uma obrigação. Consequentemente, o levantamento e a gestão dessas redes subterrâneas são de grande interesse para as cidades, a fim de prover serviços seguros e confiáveis aos cidadãos.

O cadastro de redes é realizado, em sua maioria, em formato 2D, o que pode dificultar a visualização de algumas feições da rede e sua altimetria. Além do mais, as redes de infraestrutura muitas vezes compartilham dimensões geométricas complexas que não são facilmente representadas ou integradas nas atuais estruturas cadastrais 2D. Por consequência, na maioria dos países, há uma defasagem nos mapas cadastrais de serviços subterrâneos e ausência de uma cartografia pública atualizada. (VAN OOSTEROM et al., 2014 apud POULIOT; GIRARD, 2016).

Atualmente, o cadastro 3D vem sendo discutido como uma alternativa para que haja uma melhor visualização e gestão de redes de infraestrutura. Para Moreno, Várquez e Erba (2018), o cadastro 3D deve registrar objetos territoriais com precisão geográfica, identificando-os e localizando-os geometricamente com seus volumes e formas. Um cadastro 3D permite o relacionamento entre objetos territoriais, ou parte deles, projetar reposicionamentos e modificações, e também, analisar a influência de novos objetos antes mesmo de sua existência por meio da construção de cenários propostos.

Uma solução que vem sendo bastante empregada é a utilização de métodos não destrutivos para o mapeamento de estruturas subterrâneas, como o *Ground Penetrating Radar* (GPR). Esse radar é uma ferramenta importante para a detecção e localização de objetos no subsolo, porém o mesmo não fornece diretamente uma posição 3D, mas sim imagens de reflexão de radar complicadas que requerem olhos treinados para reconhecer manualmente os objetos de interesse. (LI et al., 2020).

Visto isso, o seguinte artigo tem como objetivo trazer uma breve revisão bibliográfica focada no mapeamento de redes de infraestrutura utilizando o método GPR. Primeiramente será conceituado e definido o método *Ground Penetrating Radar* e como é feita a aquisição de dados, para que haja um maior entendimento dessa tecnologia, e, posteriormente, serão mostradas algumas aplicações do GPR no mapeamento de redes no subsolo.

## 2 GROUND PENETRATING RADAR

O *Ground Penetrating Radar*- GPR é um tipo de tecnologia usada para observar o solo e detectar alvos subterrâneos com alta resolução e baixa profundidade de penetração. Esta tecnologia radar encontra uma grande variedade de aplicações, tais como aplicações ambientais, aplicações de engenharia civil, como a detecção de tubos e cabos, e investigações geofísicas. O GPR é vantajoso em relação a outras técnicas por conta da sua alta resolução, baixa taxa de falsos alarmes, reduzido custo, menor gasto de tempo e capacidade de formar imagens tridimensionais dos objetos subterrâneos para facilidade de visualização e interpretação. (NAYAK; MAITI, 2018).

O funcionamento do equipamento GPR consiste na emissão de um pulso eletromagnético por meio de uma antena transmissora. Este pulso propaga-se antes de sofrer reflexos nos limites da superfície ou da camada interna de um objeto, sendo o sinal de eco gravado através da antena receptora. O resultado de uma medição GPR com o dispositivo colocado em uma determinada posição é uma série temporal, chamada A-scan. Esta curva é caracterizada pela amplitude e pelo tempo de percurso bidirecional do sinal refletido. (BACHIRI; KHAMLICH; BEZZAZI, 2018).

## 2.1 Aquisição e processamento de dados GPR

A detecção de redes de infraestruturas subterrâneas é um dos problemas que a Geodésia trata e consiste em duas partes. A primeira parte é o processo de detecção e registro das informações, e a outra é a entrada desses dados no banco de dados. Recomenda-se que os dados adquiridos sejam armazenados de uma forma padrão (como por exemplo o padrão definido pela diretiva INSPIRE, a Infraestrutura de Dados Espaciais da União Europeia). (RUSKOVSKI; MILOVANOV, 2018).

Para uma aquisição de dados eficiente, o *Ground Penetrating Radar* é uma tecnologia superior, pois suas unidades de controle e antenas podem ser transportadas em um carrinho ou rebocadas por um veículo em velocidade de rodovia. Essa aquisição de dados causa apenas uma interrupção mínima no tráfego e não requer contato físico com o solo, como outros métodos de inspeção de estradas não destrutivos. (LAI; CHANG; SHAM, 2018).

A Figura 1. (a) mostra dois exemplos de instrumentos GPR, o primeiro sendo integrado a um trailer de mapeamento móvel e o segundo um carrinho de deslocamento manual. As informações 3D são obtidas ao mover os equipamentos e antenas de radar ao longo da superfície do solo, registrando dados quase continuamente. Embora os dados GPR possam ser muito precisos, as respostas podem variar de acordo com a medição. A chamada varredura B, ou seja, uma representação 2D de profundidade do subsolo (Figura 1. (b) mostra um exemplo de medição), pode ser muito desafiadora e normalmente é feita por um analista experiente. Os dados são representados por cores preto e branco indicativas das diferentes intensidades de sinal e polaridades dos objetos, esses sinais são analisados para respostas anômalas. A interpretação do B-scan está sujeita à perícia do analista ou especialista em GPR. (YAN et al. 2019).

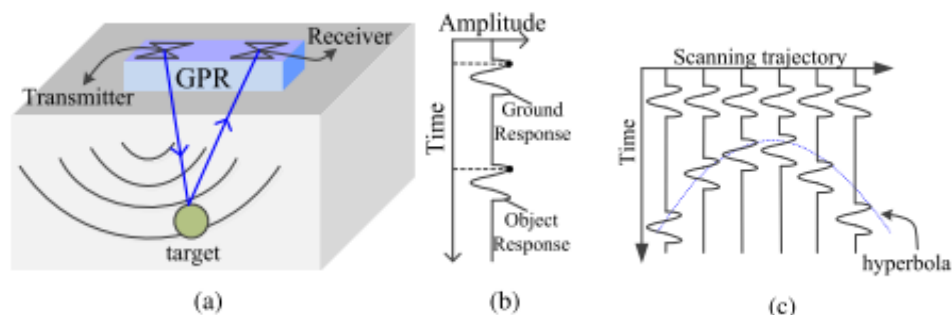
Figura 1 - Exemplos de instrumentos GPR (a) e dados GPR (b).



Fonte: Yan et al. (2019).

Para a obtenção de dados, durante a varredura de uma região, a antena transmissora GPR emite pulsos polarizados de alta frequência no solo (Figura 2. (a)). Ao atingir um objeto com propriedades eletromagnéticas diferentes em comparação com o meio circundante, os pulsos são refletidos de volta para o equipamento. Posteriormente, o GPR estima o tempo de viagem entre os pulsos emitidos e os pulsos ecoados e gera um A-scan (Figura 2. (b)), que registra a amplitude do sinal versus tempo de viagem nesta posição. O tempo de viagem pode ser convertido na distância de viagem. Enquanto o GPR se move no solo para realizar a varredura, ele produz uma série de A-scans em diferentes posições. Este conjunto de A-scans forma um B-scan (Figura 2. (c)). (LI et al. 2020).

Figura 2. Ilustração do princípio de funcionamento GPR (a)–(c).



Fonte: Li et al. (2020).

A penetração da onda eletromagnética também depende do tipo de solo, podendo variar de 5m a 25m. A resposta do sinal do GPR está sujeita a variações no teor de água ou porosidade. Superfícies irregulares de paleossolos também podem causar difração nos sinais de frequência. (NUNES et al. 2019).

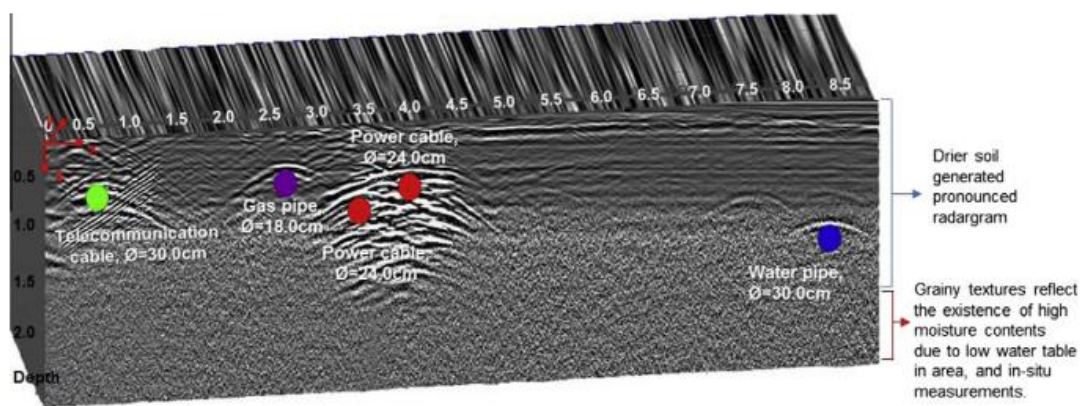
### 3 O USO DO GPR EM MAPEAMENTOS DE REDES DE INFRAESTRUTURAS SUBTERRÂNEAS

A possibilidade de coleta e interpretação dos dados em tempo real desempenha um papel crucial no processo de otimização de custos e esforços de tempo. Sendo assim, inúmeros estudos propondo novas abordagens integradas para o processamento de dados 3D coletados via GPR têm sido desenvolvidos. Sob uma perspectiva diferente, a detecção não invasiva e eficiente de redes de infraestruturas subterrâneas também pode ter um papel ambiental crucial, uma vez que o custo dos recursos de energia e água continuou aumentando, uma localização inicial de vazamentos em tubulações subterrâneas pode evitar desperdícios econômicos e ambientais, além do fato de evitar danos causados por escavações. (BENEDETTO et al. 2016).

Jaw e Hashim (2013), testaram a precisão do GPR na localização de infraestruturas subterrâneas. Os testes foram especialmente pensados com a finalidade de entender o papel do GPR no mapeamento de infraestruturas subterrâneas e avaliar os fatores que influenciam na precisão em condições de laboratório, sendo esses resultados aplicados a uma situação do mundo real para fins de verificação. Com o intuito de melhorar o entendimento do mecanismo

de detecção do radar e obter mais informações dos dados GPR, foram utilizadas ferramentas de análise de dados mais sofisticadas, e a avaliação da precisão de varredura foi auxiliada por experimentos numéricos realizados em imagens sintéticas GPR geradas por meio do simulador eletromagnético GprMax3. Com a conclusão do experimento, Jaw e Hashim (2013) conseguiram detectar com sucesso quase todos os equipamentos enterrados nas áreas de estudo usando a técnica de aquisição de dados por varredura ao longo do tubo (Figura 3). Esses resultados possibilitaram uma verificação posterior por meio de furos de teste no local. Neste experimento do mundo real, a precisão obtida foi de  $\pm 0.098$  m (x, y) e  $\pm 0.095$  m (z). Desse modo, a pesquisa conseguiu provar que a técnica de digitalização utilizando dados GPR é executável para práticas de mapeamento de redes subterrâneas de alta precisão.

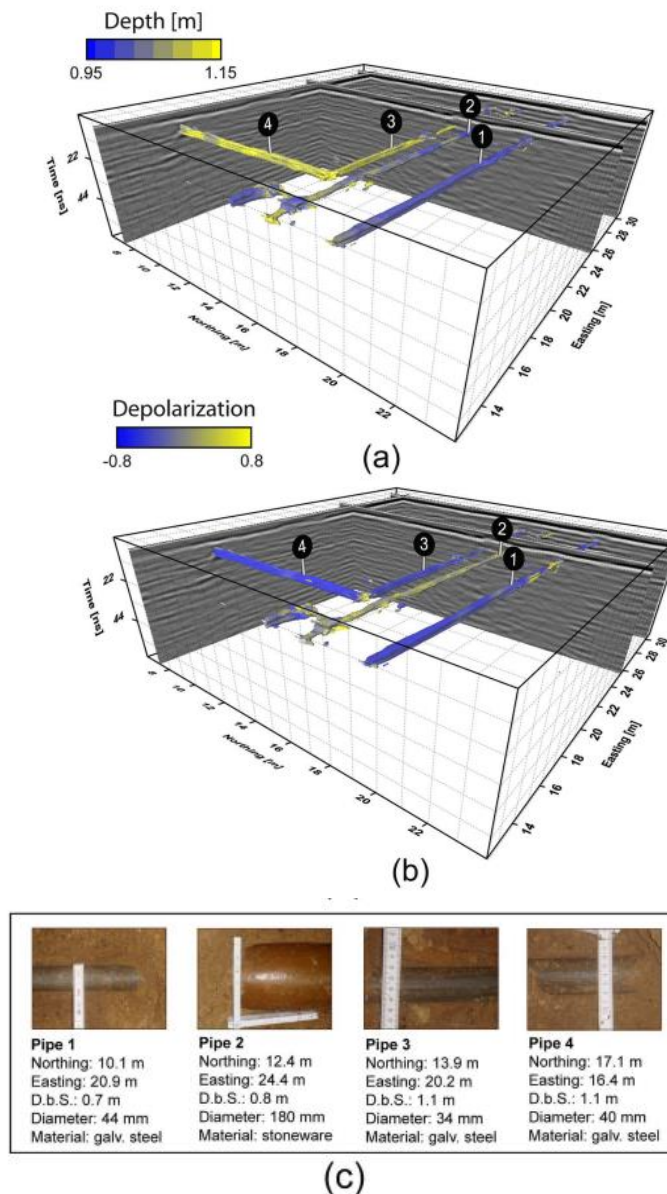
Figura 3. Resultados da detecção de redes de infraestrutura em condições do mundo real.



Fonte: Jaw e Hashim (2013).

Boniger e Tronicke (2012), apresentaram um fluxo de processamento de dados GPR 3D usando configurações de antenas perpendiculares e paralelas para gerar imagens e caracterizar dutos de redes de infraestrutura na subsuperfície. O processamento foi baseado em atributos e estratégia de análise que permitem extração e caracterização de alvos aprimoradas, combinando as características geométricas e físicas de ambos os componentes em um novo atributo de despolarização. O projeto foi desenvolvido por meio de dados coletados em campo. Usando dados reais registrados em diferentes tipos de tubulações de serviços públicos da área de estudo, foi demonstrado o potencial de utilizar e analisar fenômenos de polarização em dados GPR 3D. A Figura 4 mostra a interpretação final do conjunto de dados de configuração dupla obtido por meio dos estudos propostos, na Figura 4. (a) pode-se analisar as profundidades do alvo, já na Figura 4. (b) são mostrados os valores de atributos de despolarização calculados e, por fim, a Figura 4. (c) traz as informações verdadeiras disponíveis dessas tubulações utilizadas como alvo de estudo.

Figura 4. Interpretação final dos dados de campo 3D GPR. (a) Profundidade da superfície superior do tubo. (b) Atributo de despolarização mapeado nas iso-superfícies extraídas. (c) Informações verdadeiras obtidas em escavações.

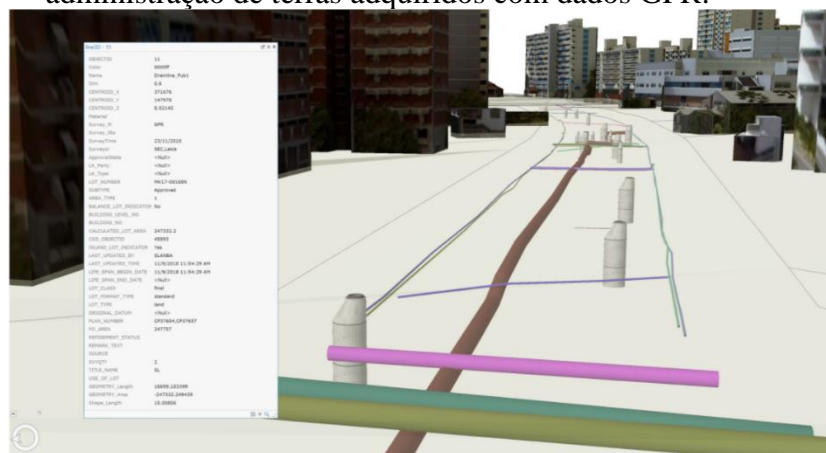


Fonte: Boniger e Tronicke (2012).

Yan et al. (2019), relataram um estudo de caso em Cingapura realizando o processo de trabalho desde a aquisição de dados com base em GPR em grande escala até a visualização 3D. O estudo de caso foi implementado com base nos dados GPR do mapeamento de redes de infraestrutura subterrânea em grande escala. O processamento inicial se baseia na transformação dos dados GPR do formato CAD para GIS e posteriormente a visualização 3D dos dutos com base no modelo de dados de redes de infraestrutura 3D. O estudo concluiu que,

de acordo com as informações dos dados existentes nas concessionárias, aliados a uma coleta de dados GPR, torna-se possível a elaboração de um modelo 3D de mapeamento de redes subterrâneas. Na Figura 5 pode-se observar o modelo de visualização 3D proposto pelo autor contendo informações de administração de terras.

Figura 5. Um exemplo de resultado de visualização 3D com informações de administração de terras adquiridos com dados GPR.



Fonte: Yan et al. (2019).

Por fim, Tabarro et al. (2017), desenvolveram um projeto que teve como objetivo demonstrar o valor de agregar às pesquisas GPR capacidades de SIG (Sistema de Informações Geográficas) e padrões geográficos propostos pela OGC (*Open Geospatial Consortium*), propondo uma nova plataforma baseada na integração de conjuntos de dados geoespaciais relevantes para a cidade em um WebGIS. Durante uma primeira fase de teste, a equipe de pesquisa teve como objetivo avaliar a viabilidade de usar a abordagem operada com o novo Módulo WebGIS durante o levantamento de dados por GPR. Os testes também permitiram verificar se as fontes de dados espaciais seriam relevantes para uso em campo e quais foram os benefícios de misturar recursos SIG com o método geofísico. Terminada a pesquisa, os dados, já integrados ao sistema, foram apresentados aos usuários finais, incluindo engenheiros, gerentes e diretores e um agrimensor, como uma primeira tentativa de medir a aprovação geral. De acordo com este primeiro teste e o feedback dos usuários, durante a interpretação de tais objetos, ter a capacidade de interagir com dados GPR facilitou a compreensão e deu 'noção espacial' da localização da área estudada para especialistas e não especialistas. O resultado pode ser visto na Figura 6.

Figura 6. Exemplo de aglomeração de infraestruturas na mesma avenida detectada pelo GPR



Fonte: Tabarro et al. (2017).

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mapeamento de redes de infraestruturas subterrâneas é relevante para a administração de cidades densamente povoadas. Por esse motivo, os estudos envolvendo métodos de levantamento de dados localizados na subsuperfície vêm se desenvolvendo com o passar dos anos. Procedimentos não destrutivos estão sendo cada vez mais procurados para a administração territorial, por serem uma opção mais econômica e menos prejudicial ao meio ambiente, onde se destaca a tecnologia GPR. O artigo em questão propôs um levantamento bibliográfico acerca do método *Ground Penetrating Radar*, assim como, sua forma de aquisição de dados e aplicações no mapeamento de redes instaladas no subsolo.

Com o levantamento das pesquisas no tema apresentado, o GPR se mostrou satisfatório no quesito mapeamento de redes de infraestruturas subterrâneas, obtendo altas precisões de localização dessas redes. Porém, seus dados são de difícil interpretação, necessitando um olhar treinado para o reconhecimento de feições enterradas, o que pode dificultar o processo de aquisição de informações. Ademais, o método apresentou vantagens em sua utilização, evidenciadas nos resultados apresentados.

Para futuros trabalhos, sugere-se um maior aprofundamento na relação de dados GPR e cadastro 3D de redes de infraestrutura, trazendo uma discussão sobre as vantagens desse tipo de dado para o cadastro tridimensional, tema que vêm sendo altamente abordado em pesquisas atuais, sendo considerado uma tendência de estudo e aplicação futura.

## Referências

BACHIRI, Tahar; KHAMLI, Abdellatif; BEZZAZI, Mohammed. **Bridge deck condition assessment by using GPR: a review**. *Matec Web Of Conferences*, [S.L.], v. 191, p. 00004, 2018. EDP Sciences. <http://dx.doi.org/10.1051/mateconf/201819100004>.

BENEDETTO, Andrea; TOSTI, Fabio; CIAMPOLI, Luca Bianchini; D'AMICO, Fabrizio. **GPR Applications Across Engineering and Geosciences Disciplines in Italy: a review**. *Ieee Journal Of Selected Topics In Applied Earth Observations And Remote Sensing*, [S.L.], v. 9, n. 7, p. 2952-2965, jul. 2016. **Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)**. <http://dx.doi.org/10.1109/jstars.2016.2554106>.

BONIGER, Urs; TRONICKE, Jens. **Subsurface Utility Extraction and Characterization: combining gpr symmetry and polarization attributes**. *Ieee Transactions On Geoscience And Remote Sensing*, [S.L.], v. 50, n. 3, p. 736-746, mar. 2012. **Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)**. <http://dx.doi.org/10.1109/tgrs.2011.2163413>

GUEDES, Gunar Henrique; RIBEIRO, Kairo Fellipe. S.; CARMO, Tânia do; MAGALHÃES JÚNIOR, Carlos Alberto de O. **Redes de infraestruturas urbanas e suas relações com os componentes técnicos, sociais e ambientais**. *Revista Valore*, Rio de Janeiro, v. 2, n. 2, p. 329-340, nov. 2017.

JAW, Siow Wei; HASHIM, Mazlan. **Locational accuracy of underground utility mapping using ground penetrating radar**. *Tunnelling And Underground Space Technology*, [S.L.], v. 35, p. 20-29, abr. 2013. **Elsevier BV**. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tust.2012.11.007>.

LAI, Wallace W.L.; CHANG, Ray K.W.; SHAM, Janet F.C.. **A blind test of nondestructive underground void detection by ground penetrating radar (GPR)**. *Journal Of Applied Geophysics*, [S.L.], v. 149, p. 10-17, fev. 2018. **Elsevier BV**. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jappgeo.2017.12.010>.

LI, Haifeng; CHOU, Chieh; FAN, Longfei; LI, Binbin; WANG, Di; SONG, Dezhen. **Toward Automatic Subsurface Pipeline Mapping by Fusing a Ground-Penetrating Radar and a Camera**. *Ieee Transactions On Automation Science And Engineering*, [S.L.], v. 17, n. 2, p. 722-734, abr. 2020. **Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)**. <http://dx.doi.org/10.1109/tase.2019.2941848>.

MORENO VÁRQUEZ, Rigoberto A.; ERBA, Diedo. **Propuesta de Estructuración de un Catastro 3D para Redes Eléctricas Aéreas en México**. In: COBRAC, 2018, Florianópolis. **Anais do COBRAC 2018**, Florianópolis.

NAYAK, Rashmiranjan; MAITI, Subrata. **A Review of Bow-Tie Antennas for GPR Applications**. *Iete Technical Review*, [S.L.], v. 36, n. 4, p. 382-397, 17 jul. 2018. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/02564602.2018.1492357>.

NUNES, José Gustavo da Silva; UAGODA, Rogério; CALDEIRA, Dandara; BRAGA, Ligier Modesto; HUSSAIN, Yawar; CARVAJAL, Hernán Martinez. Aplicação do GPR para Análise e diferenciação entre materiais aluvionares e coluvionares, embasadas em observações diretas, no vale do Ribeirão Contagem – Distrito Federal (Brasil). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S.L.], v. 20, n. 2, p. 217-238, 31 mar. 2019. Revista Brasileira de Geomorfologia. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v20i2.1382>.

POULIOT, Jacynthe; GIRARD, Philippe. 3D Cadastre: **With or Without Subsurface Utility Network?** 5th International FIG 3D Cadastre Workshop, Greece, Oct. 2016.

POULIOT, Jacynthe; GIRARD, Philippe. **Subsurface Utility Network Registration and the Publication of Real Rights: Pending for a Full 3D Cadastre.** FIG Working Week -Recovery from Disaster Christchurch, New Zealand, May. 2016

RUSKOVSKI, Igor; MILOVANOV, Stevan. Integrated application of modern remote sensing technologies for characterization of heating system infrastructure. Zbornik Radova Departmana Za Geografiju, Turizam I Hotelijerstvo, [S.L.], n. 47-2, p. 23-31, 2018. **Centre for Evaluation in Education and Science** (CEON/CEES). <http://dx.doi.org/10.5937/zbdght1801023r>.

TABARRO, P. G.; POULIOT, J.; FORTIER, R.; LOSIER, L.-M.. A WEBGIS TO SUPPORT GPR 3D DATA ACQUISITION: a first step for the integration of underground utility networks in 3d city models. The International Archives Of The Photogrammetry, **Remote Sensing And Spatial Information Sciences**, [S.L.], v. -4/7, p. 43-48, 23 out. 2017. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/isprs-archivesxlii-4-w7-43-2017>.

YAN, Jingya; JAW, Siow; SOON, Kean; WIESER, Andreas; SCHROTTER, Gerhard. Towards an Underground Utilities 3D Data Model for Land Administration. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 11, n. 17, p. 1957, 21 ago. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs11171957>