

UTILIZAÇÃO DO GEORADAR-GPR EM VIA PERMANENTE DA FERROVIA NORTE-SUL, ANÁPOLIS - GO

GEORADAR-GPR USE IN RAILWAY NORTE-SUL, ANÁPOLIS - GO

ANTONIO LÁZARO FERREIRA SANTOS

Docente da UEG – UnUCET, Campus Henrique Santillo (Anápolis – GO)
antoniolazaros@gmail.com.br

WELITOM RODRIGUES BORGES

Docente da UnB – DF (Campus Darcy Ribeiro – DF)
welitom@unb.br

PEDRO ANÍZIO MOREIRA BORGES

Graduando da UEG – UnUCET, Campus Henrique Santillo (Anápolis – GO)
paborgesvale@gmail.com

LUCAS PEREIRA GONÇALVES

Graduando da UEG – UnUCET, Campus Henrique Santillo (Anápolis – GO)
lucaspegoncalves@hotmail.com

GABRIEL RIBEIRO SILVESTRE

Graduado da UEG – UnUCET, Campus Henrique Santillo (Anápolis – GO)
gabriel.rsilvestre@gmail.com

Resumo: O método de radar de penetração no solo (GPR – Ground Penetrating Radar) consiste em obter uma imagem de alta resolução da subsuperfície, através da transmissão e reflexão de ondas de rádio de alta frequência (10 MHz – 2,5 GHz), visando localizar alvos no subsolo. No âmbito das estruturas ferroviárias, o método do Georadar possui várias aplicações, dentre elas: estudo do comportamento das várias camadas que compõe a base de sustentação da malha ferroviária, em relação a presença ou acúmulo de umidade, a contaminação e a variação da espessura, detecção/identificação rápida e contínua, sem interrupções de tráfego. O trabalho tem o objetivo determinar os diferentes padrões de reflexões, utilizando-se do GPR, a fim de avaliar o pavimento ferroviário de um trecho da ferrovia Norte-Sul, situada no município de Anápolis-GO. Na aquisição de dados, realizado em 240 metros de linha férrea, usou-se um sistema de GPR acoplado a uma antena blindada de 900MHz. Os resultados obtidos com o GPR possibilitaram a identificação de dois principais padrões de reflexão característicos de cada camada do pavimento. Neste trabalho foi possível avaliar a aplicabilidade desse tipo de equipamento como ferramenta auxiliar à avaliação não destrutiva do sistema. Por meio da antena de 900 MHz foram determinados os padrões de reflexão das camadas do lastro, e sublastro.

Palavras-chave: Radar de Penetração no Subsolo (GPR). Investigação Indireta. Pavimentos.

Abstract: The Ground Penetrating Radar (GPR) method consists of obtaining a high resolution image of the subsurface through the transmission and reflection of high frequency radio waves (10 MHz - 2.5 GHz), in order to locate targets underground. In the framework of railway structures, the Georadar method has several applications, among them: study of the behavior of the various layers that make up the base of the rail network, in relation to the presence or accumulation of moisture, contamination and variation of thickness, Detection / identification without interruption of traffic. The objective of this work is to determine the different patterns of reflections, using the GPR, in order to evaluate the railway pavement of a section of the North-South railway,

located in the municipality of Anápolis-GO. A GPR system coupled to a 900MHz shielded antenna was used for data acquisition, performed on 240 meters of railway line. The results obtained with the GPR enabled the identification of two main reflection patterns characteristic of each layer of the pavement. In this work it was possible to evaluate the applicability of this type of equipment as an auxiliary tool to the non - destructive evaluation of the system. By means of the 900 MHz antenna the reflection patterns of the layers of the ballast and subblast were determined.

Keywords: Ground Penetrating Radar (GPR). Indirect Research. Pavements.

1. INTRODUÇÃO

O radar de penetração no solo ou Ground Penetrating Radar (GPR) é um método que baseia-se em pulsos eletromagnéticos de curta duração e alta frequência central (Figura 01), geralmente contemplada na faixa de 10 a 3000 MHz, que são repetidamente irradiados para o subsolo através da antena transmissora. O registro contínuo de traços amostrados, ao longo de uma seção, gera um radargrama, que após a aplicação da rotina de processamento, converte-se em uma seção de alta resolução do meio.

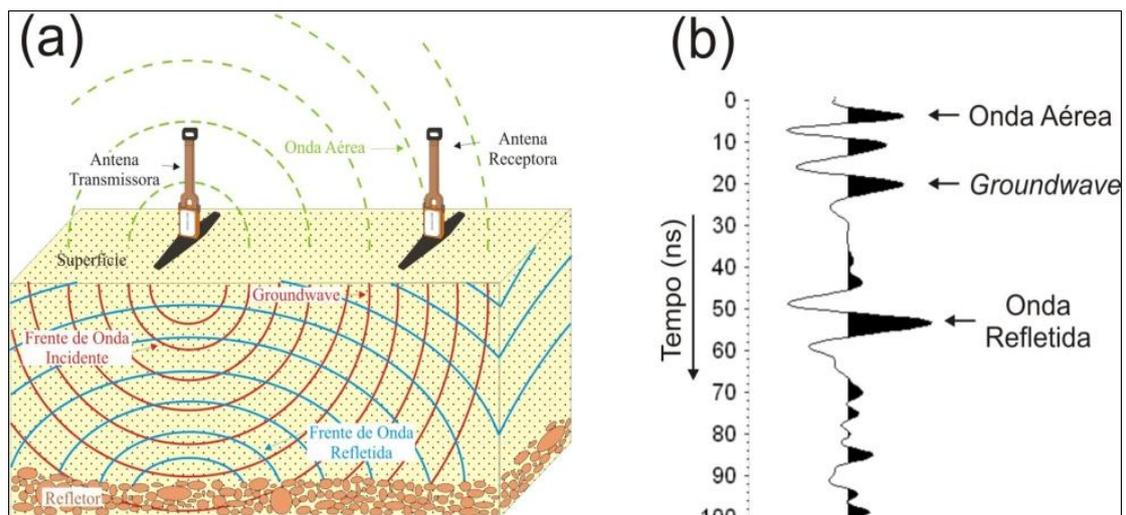


Figura 01 – (a) Diagrama de antenas GPR (modo biestático) ilustrando o comportamento das frentes de onda. (b) Traço esquemático mostrando as chegadas das principais frentes de onda do GPR.

Fonte: Welitom Borges, 2007.

Durante o percurso dos pulsos no sentido descendente, eles vão perdendo amplitude e, à medida que atingem materiais de propriedades eletromagnéticas contrastantes entre si, sofrem reflexões, refrações e difrações, sendo, por consequência, parcialmente captados pela antena receptora (NUNES, 2002 apud ALVES, 2011).

Os primeiros registros do uso de sinais eletromagnéticos são de Hülsmeier (1904), que detectou a presença de objetos de metal enterrados no solo (HÜLSMEYER, 1904 apud DANIELS, 2004). Durante a década de 1960, pesquisadores utilizaram o método GPR na

identificação de espessuras de placas de gelo, com o objetivo de controlar a altitude das aeronaves de pouso com segurança, com base no tempo duplo de viagem dos pulsos de radar, dessa vez no Ártico e na Antártida. Houve um aumento nas pesquisas, após a missão à Lua, por ocasião da nave Apollo 17 (ULRIKSEN, 1982). O GPR é destaque, dentre os métodos geofísicos, na investigação rasa pela sua portabilidade, praticidade, rapidez na aquisição de dados e agilidade no processamento. Como produto final, apresenta uma imagem de alta resolução com detalhes de ocorrências em subsuperfície, que auxilia na tomada de decisão por profissionais de diversas áreas.

Nas últimas três décadas vários trabalhos comprovam a utilização do GPR na investigação de pavimentos. Ballard (1993) realizou pesquisas em trechos experimentais em rodovias, com a retirada de núcleos de amostras para comparação com os resultados das investigações indiretas com o GPR. Ele identificou significativas variações nas espessuras das camadas do pavimento investigado e atribui essas variações à construção e à degradação dos pavimentos estudados.

É importante citar o trabalho de Gartin (1991) que realizou um estudo relativo à propagação da onda de GPR em pavimentos e solos. Maser (1996) apresenta uma revisão de pesquisas realizadas com o uso do GPR na avaliação de pavimentos e em aplicações geotécnicas.

Dentre os trabalhos realizados no Brasil, Carvalho e Okabe (2011) descrevem a aplicação do GPR no mapeamento em estrada férrea no Brasil, para avaliação e gestão de via permanente. Antenas GPR foram instaladas em um veículo utilizado cotidianamente em inspeções da via. Foram avaliados qualitativamente os parâmetros de umidade, contaminação e espessura de lastro e camadas intermediárias, e os resultados foram validados com a abertura de uma trincheira em um ponto da via, classificado como prioridade número 1 para manutenção. O potencial de uso do GPR no Brasil se traduz pelos dados fornecidos pela empresa VALEC, Engenharia, Construções e Ferrovias S.A. (2016) que administra: Ferrovia Norte Sul, Ferrovia de Integração Oeste Leste, Ferrovia de Integração Centro-Oeste, Ferrovia do Pantanal e Transnordestina. Em relação a extensão das vias principais e ramais com EVTEA (Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental) concluídos, constituem-se em uma extensão de 9630 Km. Os projetos futuros somam um total de 3120 Km de extensão. O mapeamento com GPR deve ser apoiado e verificado em sondagens do subsolo (a percussão, a trado ou trincheiras/poços), que podem ser laterais à via, não interrompendo o tráfego na via e podendo ter espaçamentos superiores aos aplicados atualmente no Brasil.

Vale salientar que a utilização do GPR para identificação de aspectos e características físicas das camadas constituintes da estrutura em ferrovias, já estar em rotina em países da Europa e Ásia, de forma contínua, há mais de 20 anos, desde o início dos anos 1990.

Considera-se que a estrutura da via férrea consiste de instalações e equipamentos que compõem a superestrutura e a subestrutura ferroviária. São elementos que constituem a primeira, o denominado armamento e o lastro, onde o armamento da via é comumente constituído pelos trilhos, dormentes e sistema de fixação dos trilhos - travessa e ainda pelos aparelhos de mudança de via (AMV). A segunda parte da via constitui-se pelo sublastro e pela fundação, também conhecida por leito da via, conforme perfil transversal, figura 02.

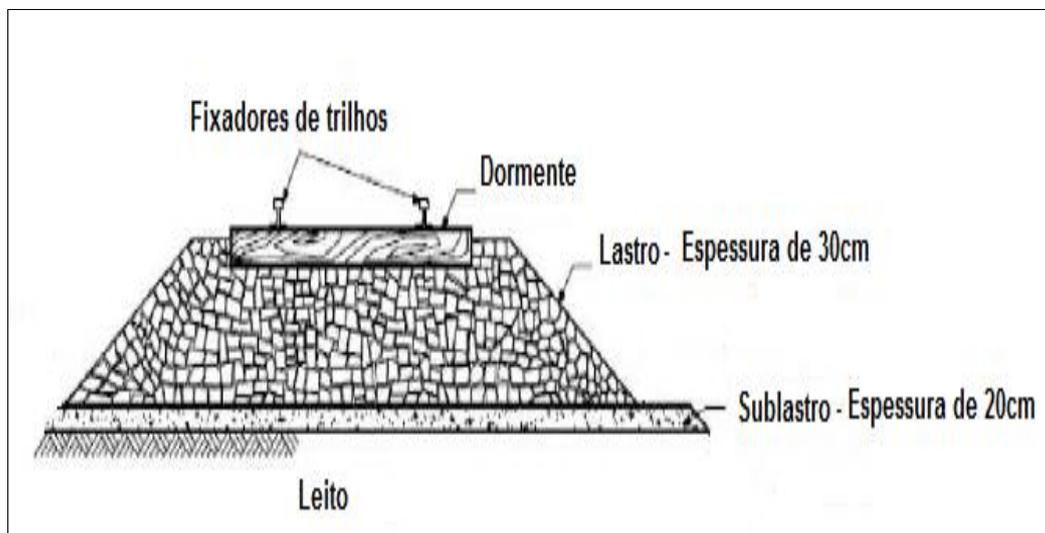


Figura 02. Perfil transversal esquemático da via permanente ferroviária, ilustrando o trecho construído com estrutura específica.

Organização: Antonio Lázaro Ferreira Santos, 2014.

Sob a ótica da estratigrafia de pavimento, propõe-se a utilização do georadar, com o intuito de investigar os diferentes padrões de reflexão que compõem a estrutura do pavimento férreo do trecho da ferrovia Norte-Sul, localizada em Anápolis-GO, a fim de dá subsídios a futuras pesquisas que auxiliem na análise da precisão dos resultados de espessuras obtidos a partir do método do GPR com os adquiridos por investigações diretas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo está implantada no município de Anápolis, situada na zona rural, inserida na Folha SE-22-X-B-II do Ministério do Exército (2002).

A via de acesso ao pátio de manobras da Ferrovia Norte-Sul, no Distrito Agroindustrial de Anápolis – DAIA, dá-se pela BR-153, composta por dois sentidos de faixa férrea com quadro trechos e um canteiro central (figura 03).



Figura 03 - Via de acesso ao pátio de manobra da ferrovia Norte-Sul.
Imagem: GOOGLE EARTH (2015).

A operação de campo foi realizada no pátio da linha aqui denominada via 2, a aquisição de dados de GPR realizou-se com auxílio de técnica do perfil de afastamento constante (figura 04).



Figura 04 - Fotografia evidencia a aquisição de dados de GPR com o sistema SIR3000 acoplado a uma antena blindada de 900MHz.
Imagem: Antonio Lázaro Ferreira Santos, 2014

Os perfis de reflexão GPR, comumente denominados radargramas, foram obtidos através do processamento dos dados que ocorreu com o software reflexw, versão 7.5 (SANDMEIER, 2014).

A rotina de processamento consistiu no ajuste do tempo zero, aplicação de filtro temporal (dewow), de ganho manual (manual gain (y)), migração e conversão de tempo em profundidade (velocidade constante), conforme o fluxograma do processamento de dados (figura 05).

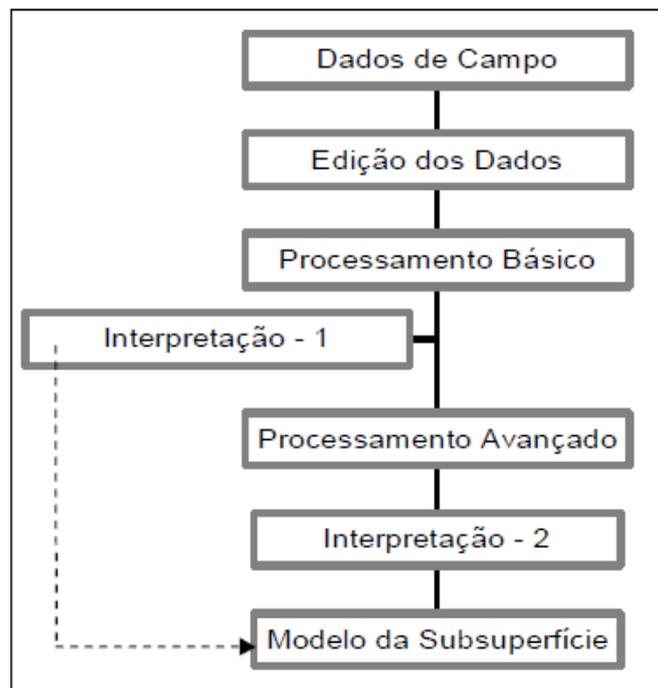


Figura 05. Fluxograma do processamento de dados do GPR
Organização: Autores, 2014

Para avaliação das camadas que compõem o pavimento da linha férrea, foi utilizada uma antena com frequência central de 900 MHz para as seções de GPR, visto que às profundidades a serem investigadas seriam na faixa de 1,5 m.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para validação dos resultados obtidos com o mapeamento GPR, foi realizada a abertura de uma trincheira, que se apresentava visualmente em boas condições, como ilustrado na figura 06. A estrutura do sistema ferroviário é composta por trilhos e dormentes, assentados diretamente sobre uma camada de 30 cm de espessura de Lastro.



Figura 06 - Perfil esquemático do pavimento férreo, composto de dormentes/trilhos, camadas de lastro e sublastro, situado no pátio de manobras da ferrovia.
Imagem: Antonio Lázaro Ferreira Santos, 2014.

Composta de brita variando de 1/2” a 2 1/2” polegadas e um Sublastro, executado com brita graduada simples (BGS) de espessura de 20 cm.

Os resultados obtidos com o GPR possibilitaram a identificação das principais camadas que compõem o pavimento na área investigada.

Nas investigações identificaram-se 2 principais padrões de reflexão característicos de cada camada do pavimento (figura 07):

(a) PADRÃO DE REFLEXÃO 1 (PR1) – mostra refletores de média a alta amplitude, horizontais e refletores contínuos a descontínuos. A descontinuidade de refletores, bem como de amplitude são característicos de materiais heterogêneos vertical e horizontalmente (figura 7); e,

(b) PADRÃO DE REFLEXÃO 2 (PR2) – caracteriza-se pela presença de refletores contínuos, refletores horizontais a inclinados, com média a alta amplitude. Em pavimentos, a presença de refletores inclinados comumente é característica de camadas do sublastro do pavimento férreo.

É mostrado na figura 07, o radargrama gerado no estudo de caso da Ferrovia Norte-

Sul.

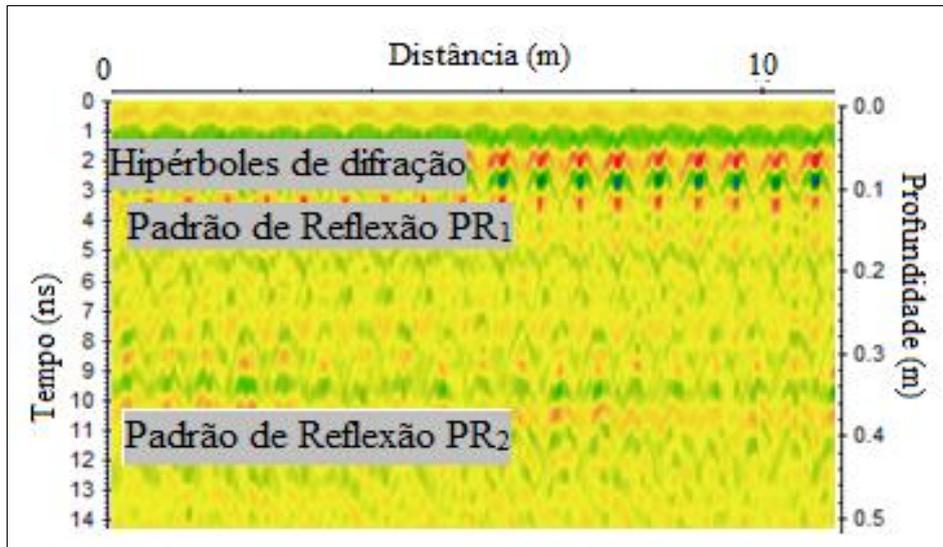


Figura 07 - Seção típica da estrutura do pavimento corresponde à interface lastro/sublastro
Organização: Autores, 2014

As interpretações resultantes do trabalho realizado por Pedrosa (2009), corroboram para as avaliações realizadas na ferrovia Norte-Sul. Paralelamente a reflexão dos trilhos, o aço da armação dos dormentes e a faixa de transição entre a 1ª reflexão e a 2ª reflexão, observam-se os mesmos comportamentos das mudanças das camadas que compõem o perfil estudado (figura 08).

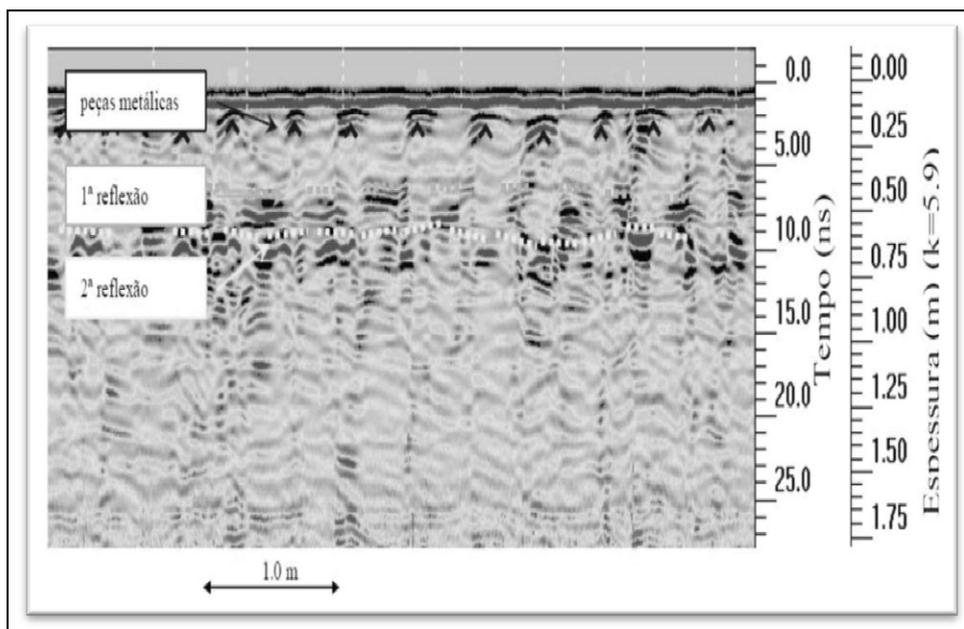


Figura 08 - Padrão reflexivo do ensaio de Pedrosa contendo a leitura de trilhos e pavimento ferroviário.
Fonte: Pedrosa, 2009

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi possível avaliar a aplicabilidade desse tipo de equipamento como ferramenta auxiliar à avaliação não destrutiva do sistema. Por meio da antena de 900 MHz foram determinados os padrões de reflexão das camadas do lastro, e sublastro.

Foi constatado que o uso do GPR representa uma poderosa ferramenta tanto na detecção/identificação rápida e contínua, sem interrupções de tráfego, assim como, na hierarquização/priorização racional e sistemática dos problemas da via, em função da gravidade de suas incidências.

Deve salientar que o resultado da análise com o GPR se refere a sintomas, não sendo possível a determinação de causas/origens das inadequações, bem como não é possível realizar uma análise quantitativa dos fatores mapeados.

Recomenda-se que sejam realizados outros perfis, ao longo da ferrovia, para verificar se existem variações nas espessuras estratigráficas dos pavimentos. Ademais, faz-se necessário, investigar as propriedades físicas dos materiais constituintes das camadas da estrutura dos pavimentos e, conseqüentemente, as velocidades de propagação das ondas eletromagnéticas nesses meios.

6. REFERÊNCIAS

ALVES, F. D. S. **O Uso do georradar para estudos de estratigrafia do subsolo**. 2011. 187 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

BALLARD, G. S. **Non-Destructive Assessment of Pavement Design and New Build Quality**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON NON-DESTRUCTIVE TESTING IN CIVIL ENGINEERING, Vol. 1, The British Institution of NDT, 1993. p. 391-404.

BORGES, W.R. **Caracterização Geofísica de Alvos Rasos com Aplicações no Planejamento Urbano e Meio Ambiente. Estudo sobre Sítio Controlado do IAG/USP**. 2007. 260 f. Tese (Doutorado em Geofísica) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

BRASIL. Ministério dos Transportes. **Estudos de viabilidade técnica, econômica e ambiental**. Brasília: VALEC, 2016. Disponível em: <<http://www.valec.gov.br/FerroviasEstudos.php>> Acesso em: 25/10/2016.

CARVALHO, D.S. E OKABE, R. Aplicação de GPR para Avaliação de Via Permanente em Estrada Férrea no Brasil. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE BRAZILIAN GEOPHYSICAL SOCIETY, 12, 2011, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBG, 2011. p. 01-06.

DANIELS, D. J. **Ground penetrating radar**. 2. ed. London: The Institute of Electrical Engineers- IEE, 2004.

GARTIN R. S. An Introduction to wave propagation in pavements and soils – Theory and practice. In: STATE OF ALASKA, DEPARTMENT OF TRANSPORTATION AND PUBLIC FACILITIES, 19, 1991, Alaska. **Proceedings...** Alaska: MIS, 1991.

MASER, k.R. Condition Assessment of Transportation Infrastructure Using Ground Penetrating Radar. In: JOURNAL OF INFRASTRUCTURE SYSTEMS, 2, 1996, Alaska. **Proceedings...** Alaska: ASCE, 1996.

MINISTÉRIO DO EXÉRCITO, DIRETORIA DO SERVIÇO GEOGRÁFICO – ME/SGE
Folha SE-22-X-B-II. Brasília: ME/SGE, 2002.

PEDROSA, M. J. **Caracterização de Fundação de Infraestruturas de Transporte com Recurso ao Georadar**. 2009. 86f. Dissertação (Dissertação em Geotecnia) – Faculdade de Engenharia do Porto, Universidade do Porto, Porto, 2009.

SANDMEIER, K.J. **Program for the processing of seismic, acoustic or electromagnetic reflection, refraction and transmission data**. Manual do Software 03, Karlsruhe, Germany, 2014.

ULRIKSEN, F. F. **Application of Impulse Radar to Civil Engineering**. 1982. 175f. Dissertation (Dissertation of Engineering Geology) - Department of Engineering Geology, Lund University of Technology, Sweden, 1982.

✓ **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem, ao Instituto de Geociências da Universidade de Brasília (UnB) e ao suporte técnico da estudante do Curso de Geofísica da UnB, Isabela Resende Almeida e apoio logístico do técnico Péricles de Brito Macedo.