

UTILIZAÇÃO DO RADAR DE PENETRAÇÃO NO SUBSOLO (GPR), NA AVALIAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

APPLICATION OF PENETRATION RADAR IN SUBSOLE (GPR), IN THE EVALUATION OF CONCRETE STRUCTURES

ANTONIO LÁZARO FERREIRA SANTOS

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

PEDRO HENRIQUE ROCHA

Graduando da UEG – CCET, Campus Henrique Santillo (Anápolis – GO)
pedro.h070@gmail.com

WELITOM RODRIGUES BORGES

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

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 de concreto, o método do Georadar possui várias aplicações, dentre elas: determinação da espessura, detecção/identificação de vazios no interior e/ou segregação na estrutura. O trabalho tem o objetivo determinar os diferentes padrões de reflexões, utilizando-se do GPR, a fim de avaliar a estrutura de concreto de uma placa experimental. Na aquisição de dados, realizado em uma placa de concreto, usou-se um sistema de GPR acoplado a uma antena blindada de 2600MHz. Os resultados obtidos com o GPR possibilitaram a identificação de dois principais padrões de reflexão característicos para os vazios e as ferragens. Neste trabalho foi possível avaliar a aplicabilidade desse tipo de equipamento como ferramenta auxiliar à avaliação não destrutiva da patologia da placa de concreto. Por meio da antena de 2600 MHz foram determinados os padrões de reflexão para os vazios e a posição dos vergalhões características na placa experimental de concreto.

Palavras-chave: GPR. Mapeamento. Investigar. Concreto.

Abstract: Despite the concrete is very durable, runtime errors or the environment in which it is exposed may cause serious damage to its structure before the end of its useful life. Moreover, many constructions are approaching the end of their design life. Thus, the constant monitoring of the structures is essential, since the early diagnoses allow the use of simpler and economical methods to correct the problem. Furthermore, the mapping of underground targets such as water or sewage pipes, drainage networks, optical cables, among other targets, to carry out interventions in a safe way in the urban environment is of extreme importance, especially in urban infrastructure. Due to its low cost, optimized execution of field surveys and not damaging the structure in analysis, the GPR method has shown to be an attractive strategy for investigating structures, mapping underground and locating buried targets. In this way, the present work aims to evaluate through a shielded antenna of 2600MHz the capacity of the method in the detection of pathologies as voids inside the concrete or segregation, as well the determination of the thickness of the plate and the position of the rebar inserted in three experimental concrete plates.

Key-words: GPR. Mapping. Investigating. Concrete.

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.

263

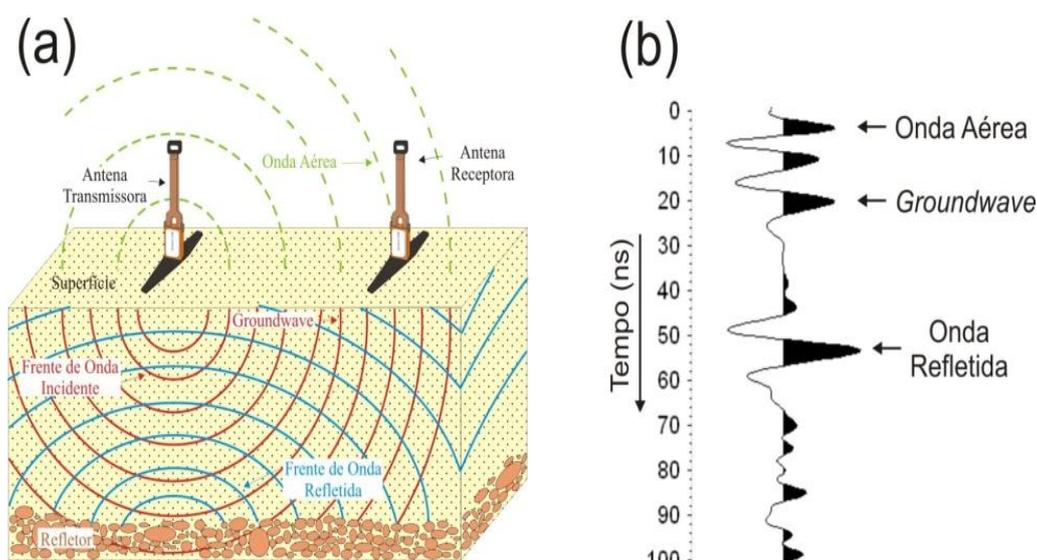


Figura 01 – (a) Diagrama de antenas GPR (modo biestático) ilustrando o comportamento das frentes de onda. (b) Traço esquemático mostrando as chegadas das principais frentes de onda do GPR.

Fonte: 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 (HÜLSMEYER, 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.

Dentre os trabalhos realizados no Brasil, uma das primeiras aplicações do GPR no Brasil, com a finalidade de se avaliar as condições de estruturas de concreto, ocorreu no Rio Grande do Sul. Na situação, o objetivo era avaliar um deck de uma ponte de concreto com a possibilidade de existir falhas de concretagem ou vazios devido ao uso de um concreto com trabalhabilidade reduzida. Essas falhas poderiam provocar sérios problemas de desempenho estrutural. Os resultados do radar demonstraram que a probabilidade de existência de vazios de grande porte, que compromettesse a capacidade estrutural do tabuleiro era muito pequena. Os resultados do radar demonstraram que a probabilidade de existência de vazios de grande porte, que compromettesse a capacidade estrutural do tabuleiro era muito pequena.

Matos (2009) mostrou que a antena de 400 MHz tem uma aplicação muito boa para identificar barras de aço e zonas de vazio, mas também que é muito limitada para delimitar as dimensões e a localização precisa destes alvos.

Dentre os fatores que podem levar o surgimento de patologias no concreto destaca-se as falhas de projeto, uso de dosagens incorretas, emprego de processos inadequados de mistura, transporte, lançamento, adensamento, cura e descimbramento (FIGUEREDO, 2005).

De acordo com Maierhofer (2003) o método GPR é bastante preciso na identificação de discontinuidades que surgem paralelamente à superfície de lajes. É possível também detectar a real profundidade de vazios causados por falhas durante o transporte, lançamento, adensamento do concreto, e que podem comprometer a estrutura do concreto.

Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo o levantamento e confecção de seções utilizando-se do radar de penetração (GPR) com uma antena de 2600MHz, tendo como experimento piloto, placas de concreto para determinação de vazios, segregação, localização de vergalhões e determinação da espessura.

Metodologia

- **Confecção das placa experimentais**

Tendo em vista, a vasta possibilidade de utilização do GPR no diagnóstico de estruturas de concreto, foram realizadas ensaios em três placas com características diferentes, com o intuito de avaliar as seções com o emprego do radar de penetração, no que se refere a espessura, vazios, armadura e descontinuidades no concreto.

Esses três modelos simulam problemas comuns na área de patologia da construção, tais como: determinação da espessura de lajes, localização de barras de aço e também avaliar a presença de manifestações patológicas como, por exemplo, a existência de vazios e a segregação. Situações que podem ser facilmente identificadas pelo GPR, o que seria de grande proveito em inspeções de obras e na resolução de diversos outros problemas relacionados a localização de interferências.

O concreto utilizado nas placas foi dosado de acordo com Método de dosagem da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), cuja resistência característica à compressão (f_{ck}) é de 20MPa.

O traço de acordo com o Método de Dosagem –ABCP, para o concreto foi: 1: 1,87: 2,10 e $A/C = 0,56$. Inseriu-se o concreto em três formas metálicas de dimensões 70 x 50 x 5 cm (C x L x P) e em dois corpos de provas de dimensões 10 cm x 20 cm (Diâmetro x Altura).

Na Placa 01 (Figura 02), adicionou-se bolas de tênis de mesa, cujo interior possui ar, com a finalidade de representar um alvo de plástico e também vazios no concreto, justamente com vergalhões espaçados de 10 cm.



Figura 02- Vergalhões e bolas de tênis de mesa inseridos na Placa 01.

Fonte: Acervo do autor

Na Placa 02 (Figura 03), além de se inserir os vergalhões, adicionou-se argila expandida, com área correspondente à metade da placa.

A argila expandida é um agregado leve de baixa massa específica. Na mistura fluida, o agregado tende a flutuar, ocorrendo a segregação do concreto, sendo esta uma das características causadoras da baixa qualidade da estrutura.



Figura 03 – A esquerda, aspectos das argilas expandidas, a direita o concreto com a argila expandida ocupando metade da placa.

Fonte: Acervo do autor.

Na placa 03 (Figura 04), adicionou-se apenas vergalhões juntamente com o concreto. Utilizou-se esta placa como referência para as demais, a fim de comparar os resultados com as outras placas, nas quais foram adicionados um agregado diferente e bolas de tênis de mesa, representando vazios, a fim de avaliar a capacidade do GPR em identificar as intervenções.



Figura 04 – Placa com vergalhões e concreto.

Fonte: Acervo do autor.

Após 14 dias de cura, utilizou-se o GPR. Para isso marcou-se linhas paralelas entre si e ortogonais ao menor lado da placa com o objetivo de marcar o traçado do equipamento. Para as Placas 02 e 03 essas linhas foram marcadas de 5 em 5 cm e para a Placa 01 a distância entre as linhas foi de 3 cm. Optou-se por diminuir o espaçamento das linhas de investigação da Placa 01 porque nesta placa estavam presentes alvos pontuais (bolas de tênis de mesa) que poderiam não ser localizados com o espaçamento de 5 cm.

267



Figura 5 - Processo de aquisição das linhas para leitura com o GPR.
Fonte: Acervo do autor

Processamento dos dados

Após a coleta dos dados brutos, utilizou-se o programa Reflexw, Version 7.5.9 (SANDMEIER, 2015) para processar os dados. As etapas para o processamento dos dados brutos, foram as seguintes:

- Ajuste do tempo zero: a onda emitida pelo equipamento GPR demora um certo tempo para alcançar a estrutura de investigação, este tempo altera a profundidade dos alvos investigados no radargrama. Isso foi corrigido por meio da função

StaticCorrection no software, na qual por meio da janela wiggle window se marca o primeiro pulso registrado;

- Filtragem de ruído instrumental de baixa frequência (DEWOW): este filtro foi utilizado para eliminar grande parte de frequências baixas relacionadas à saturação do sistema. Para isso, o intervalo da janela temporal foi ajustado para o tamanho do pulso principal;

- Remoção de ruído coerente (background removal): esta função foi utilizada como parte da filtragem 2D. Aplicou-se esta filtragem para todo o perfil em análise.

- Ganho (AGC-Gain): foi aplicada a função Automatic Gain Control para uma janela temporal de 2 ns, que consiste do tempo aproximado onde está localizada a placa experimental, considerando uma escada de ganho de 1,5.

Por meio do tratamento dos dados, foram gerados os perfis de investigação das placas, e assim, pode-se avaliar a capacidade de investigação do GPR diante dos problemas propostos.

Resultados e Discussão

Para melhor entendimento dos resultados, é mostrado na tabela 01, as alterações implementadas em cada placa e a finalidade de tal modificação.

Tabela 1 - Alterações realizadas em cada placa e sua finalidade.

	ALTERAÇÃO	OBJETIVO
Placa 01	Vergalhões e Bolinhas de tênis	Simular vazios no concreto
Placa 02	Vergalhões e agregado graúdo diferente em parte da placa de concreto	Simular segregação no interior do concreto
Placa 03	Somente vergalhões	Placa referência

Fonte: Elaboração do autor

É mostrado na Figura 6, modelo representativo da Placa 01 evidenciando em vermelho a linha de pesquisa escolhida para análise dos dados. Nesta placa foram inseridos alvos plásticos juntamente com vergalhões.

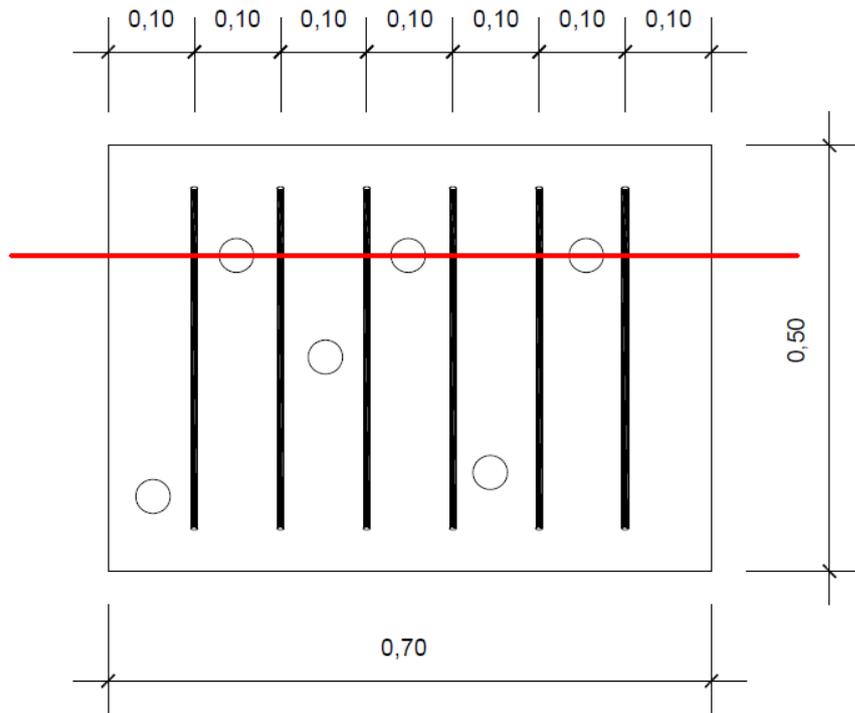


Figura 6 - Modelo da placa 01 evidenciando em vermelho a linha de pesquisa escolhida.
Fonte: Acervo do autor.

Após o processamento do perfil evidenciado acima através software ReflexW, gerou-se o radargrama da Figura 8.

É observado na Figura 8 que, tanto os vergalhões como as bolinhas de plástico foram facilmente identificadas no perfil de reflexão. Os seis vergalhões são representados pelas hipérbolas mais fortes, com cor branca, já as três bolinhas de plástico são evidenciadas pelas hipérbolas com brilho mais fraco, em cor preta.

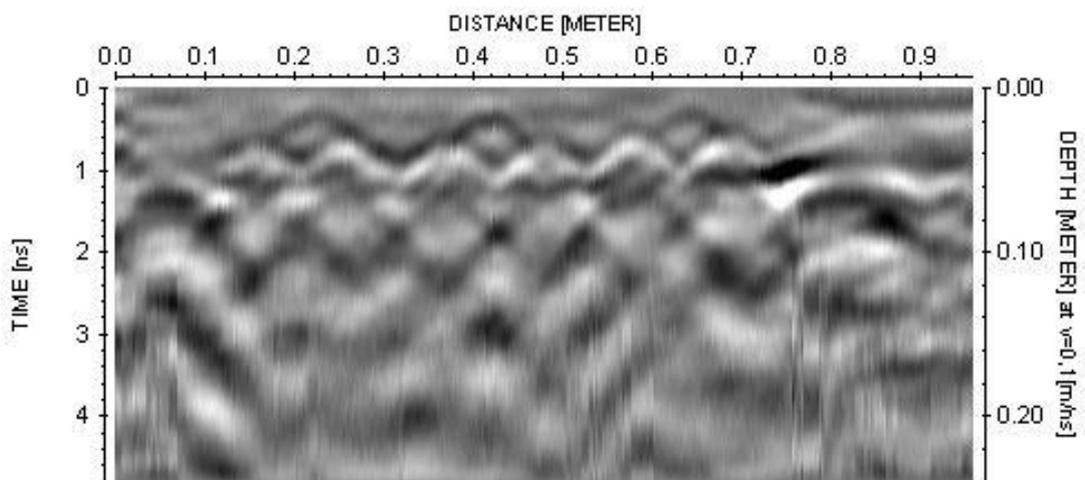


Figura 1 - Radargrama da Placa 01 após processamento.
Fonte: Exportado do ReflexW

É evidenciada na Figura 9, a localização de forma mais precisa das hipérboles geradas por cada alvo.

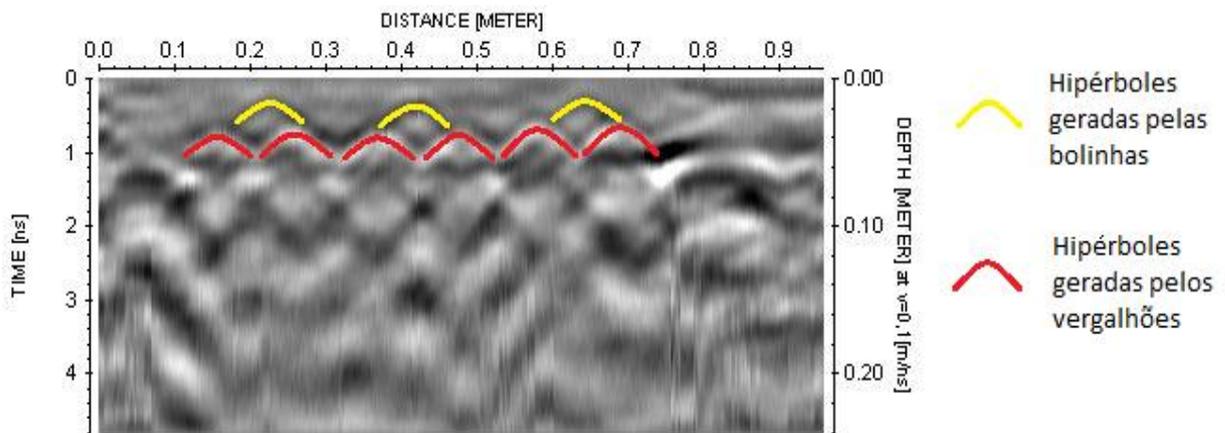


Figura 9 - Radargrama da Placa 01 após processamento, em amarelo hipérboles geradas pelas bolinhas e, em vermelho as hipérboles geradas pelos vergalhões.

Fonte: Exportado do ReflexW

De acordo com (GSSI, 2001), o formato de hipérboles dos alvos é evidenciado, quando a antena cruza com tubos, cabos, vergalhões em um ângulo. O resultado poderá ser um “U” ou “V” invertidos, uma hipérbole é o termo de descrição para essa forma. Isso acontece porque o feixe de radiação da antena tem a forma de um grande cone, assim o radar pode ver o alvo não somente quando está no topo, mas também em muitos scans antes e depois da posição. A forma de hipérbole revela a antena se aproximando do alvo e então se afastando. Seu cume é exatamente onde o alvo está. Sendo que objetos metálicos produzem reflexões claras e fortes, enquanto tubulação de PVC, por exemplo, terá a mesma forma, mas com amplitude mais baixa. O fato do radargrama das figuras apresentarem a forma de uma hipérbole, corrobora para hipótese mencionada pela GSSI.

A espessura da placa de concreto é determinada através do tempo de reflexão registrado pelo equipamento. Note que o fundo da placa de concreto, marcada em vermelho na figura 10, teve sua reflexão registrada no tempo de 1,1 ns aproximadamente. Este tempo representa o tempo duplo, ou seja, o tempo para a onda atingir o alvo e retornar para o equipamento, assim o tempo real que a onda demorou para atingir o alvo é metade deste valor, 0,55 ns.

A velocidade da onda foi determinada pelo método da superposição de hipérboles no software ReflexW, que forneceu uma velocidade de 0,1 m/ns. Multiplicando-se a velocidade pelo tempo, encontra-se o valor de 5,5 cm para espessura

da placa de concreto. Este valor é bem próximo da verdadeira espessura da placa (5cm), o que mostra a precisão do método na determinação de espessuras.

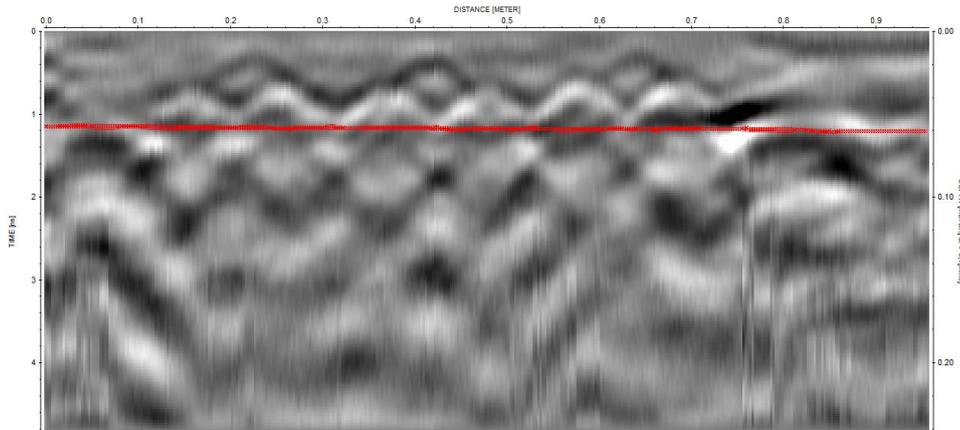


Figura 10 - Radargrama com marcação do fundo da placa 01.

Fonte: Exportada do ReflexW.

A placa 02 foi feita com o objetivo de se verificar a capacidade do equipamento em detectar diferentes granulometrias de concreto, ou uma patologia conhecida como segregação. No entanto, estas alterações não foram visualizadas no radargrama (Figura 11) da respectiva placa, indicando deficiência do método para tal finalidade.

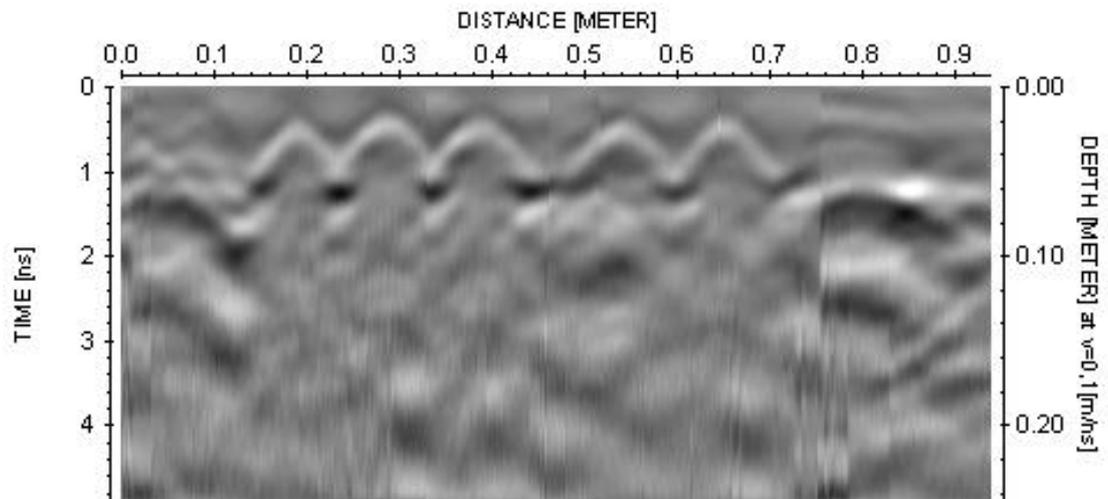


Figura 2 - Perfil de reflexão da placa 02.

Fonte: Exportado do reflexW.

Na placa 03 não foi feita qualquer alteração, servindo apenas como referência para as demais. Segue o perfil de reflexão tratado da placa em questão (figura 12).

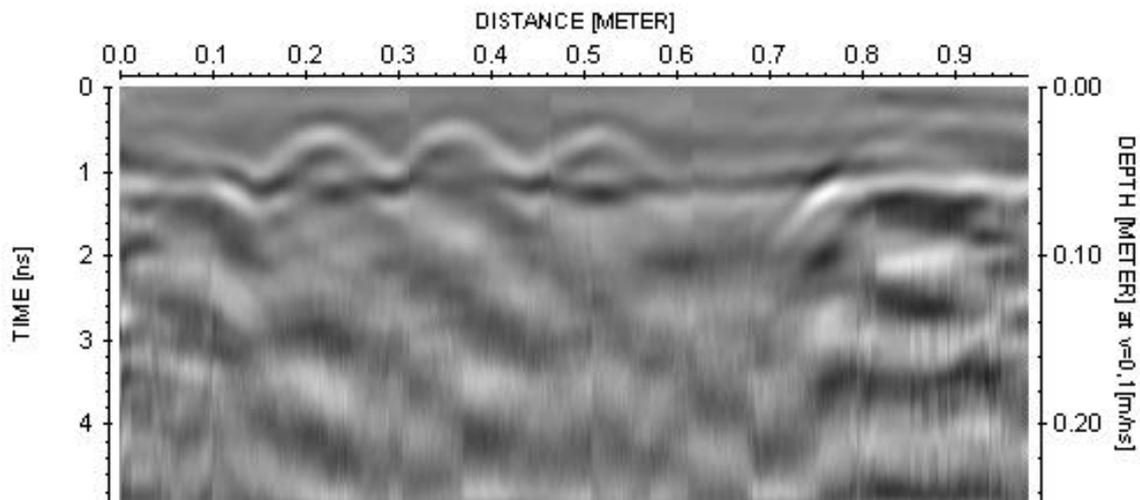


Figura 3 - Radargrama da placa 03.
Fonte: Exportado do reflexW.

Percebeu-se que em todas as placas a espessura da placa e a posição dos vergalhões foram muito bem identificadas pela antena de 2600Mhz, porém as bitolas dos não foram diferenciadas, já que tanto as barras de 6,3 mm quanto as barras de 8 mm, apresentaram o mesmo formato de hipérbole.

Os alvos e suas hipérboles podem ser mais facilmente visualizados, conforme a figura 13.

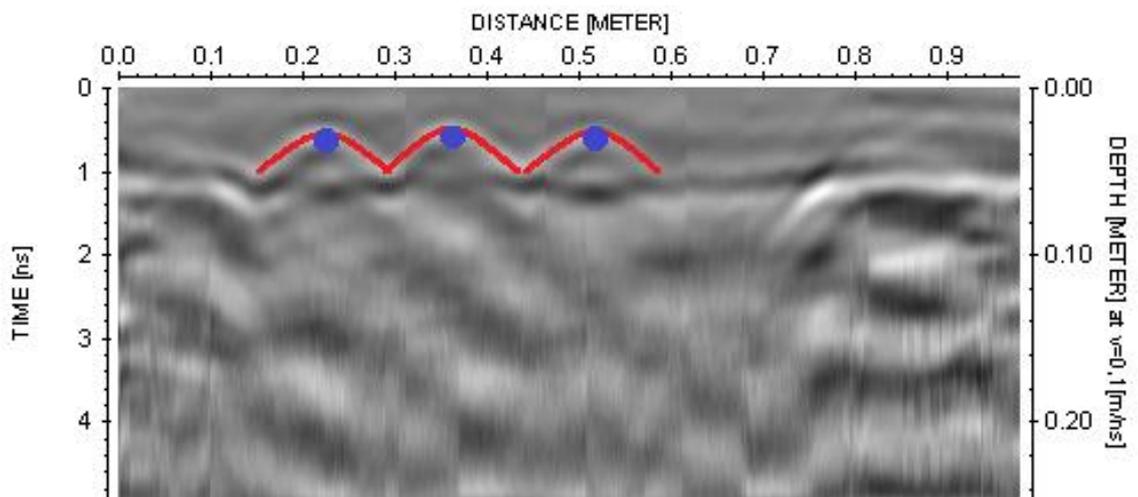


Figura 4 - Radargrama da Placa 02 após processamento, evidenciando em vermelho as hipérboles geradas pelos vergalhões e em azul a posição exata deles.
Fonte: Exportado do ReflexW.

Conclusão

Verificou-se que a antena de 2600 MHz, utilizada na pesquisa tem grande aplicação para estruturas de concreto, revelando-se ideal na detecção da posição de vergalhões, na determinação de espessura de concreto e para se localizar alvos plásticos

no interior da estrutura. Por outro lado, essa antena não foi capaz de determinar diferenças de granulometria do concreto como também não diferenciou os diâmetros dos vergalhões.

Além disso, não foi possível analisar-se a reflexão do vazio do interior das bolinhas de ténis, visto que a superfície de plástico das bolinhas ofuscou esta visualização. Apesar de alguns objetivos iniciais não serem alcançados, atingiu-se com sucesso o objetivo global, que era avaliar o potencial de aplicação da antena de 2600 MHz em estruturas de concreto, mostrando-se bastante útil e prático, pois é método não destrutivo e de baixo custo.

Agradecimentos

Os autores agradecem pelo suporte à pesquisa concedido e ao Instituto de Geociências da Universidade de Brasília (UnB) pelo fornecimento do equipamento para que este trabalho fosse possível de ser realizado.

Referências

BRANDWOOD, D. Fourier Transforms in Radar and Signal Processing. **Artech house**, London, p. 212p., 2003.

C. MAIERHOFER, E. A. Non-destructive characterization of mortar layers for concrete repair using radar and ultrasonics. **International Symposium on Non-Destructive Testing**, Frankfurt, 2003.

COOK, J. C. **Proposed monocyte-pulse very-high-frequêncy radar for air-born ice and snow measurement**. [S.l.]: AIEE Comm. Eletron, 1960.

FIGUEREDO, E. P. **Inspecção e Diagnóstico de Estruturas de Concreto com Problemas de Resistência, Fissuras e Deformações**. São Paulo: IBRACON, v. 2, 2005. 445-450 p.

GRANDJEAN, G.; BITRI, A. G. J. &. Evaluation of GPR techniques for civil-engineering applications: study on a test site, p. 141-156, 2000.

GSSI. **Handbook for Radar Inspection of Concrete**. [S.l.]: [s.n.], 2001.

MATOS, O. S. Jr. **Modelagem e levantamento GPR em estruturas de concreto com antena de 400 MHz**. 53p. Monografia (Graduação em Geofísica), Universidade Federal do Pará, Belém, 2009.

MESSINGER, J. Effective automatic picking of traveltime data with high precision. **Delft**, The Netherlands, p. 4p, 2004.

NUNES, C. M. F. **Aplicações do GPR (Ground Penetrating Radar) na caracterização de perfis de alteração de rochas gnáissicas do Rio de Janeiro.** Rio de Janeiro: Dissertação de mestrado, DEC, PUC-Rio, 2002.

PORSANI, J. L. Ground Penetrating Radar (GPR): proposta metodológica de emprego em estudos geológicos-geotécnicos nas regiões de Rio Claro e Descalvado-SP, Rio Claro, p. 145p., 1999.

PORSANI, J. L. et al. O sítio controlado de geofísica rasa do IAG/USP: instalação e resultados GPR 2D-3d. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 24, p. 43-61, 2006.

SANDMEIER, K.J. **Program for the processing of seismic, acoustic or electromagnetic reflection, refraction and transmission data.** Manual do Software 03, Karlsruhe, Germany, 2015.