



## Mapeamento com o GPR das interfaces geotécnicas do pavimento rígido do Aeroporto Santos Dumont, Rio de Janeiro/RJ

Luís Anselmo da Silva, IFMT, Cuiabá/MT, Brasil ([luis.anselmo@cba.ifmt.edu.br](mailto:luis.anselmo@cba.ifmt.edu.br))  
Welitom Rodrigues Borges, IG/UnB, Brasília/DF, Brasil ([welitom@unb.br](mailto:welitom@unb.br))  
Luciano Soares da Cunha, IG/UnB, Brasília/DF, Brasil ([lucianosc@unb.br](mailto:lucianosc@unb.br))  
Raimundo Mariano Castelo Branco, IG/UFC, Fortaleza/CE, Brasil ([marianogcb@gmail.com](mailto:marianogcb@gmail.com))  
Márcio Muniz de Farias, UnB, FT/UnB, Brasília/DF, Brasil ([muniz@unb.br](mailto:muniz@unb.br))

This paper was prepared for presentation during the 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 15-18, 2011. Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

### ABSTRACT

The use of geophysical methods, integrated with direct methods, allows the appropriate reconstitution of the subsoil profile, thus providing a fast, efficient e cost effective investigation tool. This paper presents the results of a surveillance using ground penetration radar (GPR) to evaluate the thickness of the pavement layers of Santos Dumont Airport, in Rio de Janeiro/Brazil. Shielded antennas with frequencies of 250 and 700 MHz were used, thus allowing the accurate definition of the thickness of the Portland cement layer, the asphalt macadam layer and the earth fill layer, as well as the identification of the top surface of an old earth fill layer existing on the site.

### INTRODUÇÃO

Um relatório da INFRAERO de março de 2010 apresenta um panorama crítico para os aeroportos do Brasil, que convivem com números muito próximos de 400 mil pousos e decolagens; 25 milhões de passageiros circulando nos saguões; 169 mil toneladas de carga e 17 mil toneladas de mala postal; números verificados para um período de apenas dois meses (janeiro e fevereiro de 2010). Obras de conservação, de reforma e de ampliação dessas estruturas são necessárias e urgentes (Infraero, 2010).

O conhecimento da estrutura das camadas que compõem o pavimento rígido de pistas de pouso de aeronaves é de grande importância para os trabalhos de manutenção e reabilitação contra desgastes prematuros, como por exemplo, trincas devido à fadiga dos materiais do revestimento, em função do excesso de carga, espessuras das camadas mal dimensionadas e compactação inadequada. Projetos de dimensionamento das estruturas de pavimento, projetos de drenagem, especificação de técnicas de controle tecnológico dos materiais, etc. são elaborados, porém, nem sempre criteriosamente seguidos durante a construção. Esses projetos, portanto, quando arquivados, nem sempre correspondem à obra executada e não é usual o registro

das condições que realmente foram implementadas (as *built*) na sua construção.

Nos aeroportos brasileiros, um dos principais problemas no transporte aéreo é a quantidade insuficiente de pistas de decolagem, pistas de aterrissagem e pátios de manobras de aeronaves. Todas essas estruturas são dependentes de projetos de dimensionamento do pavimento em função da carga das aeronaves e da resistência das camadas subjacentes. O Manual do DNIT (2006) define o termo PAVIMENTO como uma superestrutura constituída de camadas de espessuras finitas, assentados sobre um semi-espaço considerado teoricamente como infinito (infraestrutura ou terreno de fundação) a qual é designada de subleito. O pavimento tem finalidade: (a) estrutural, resistindo e transmitindo as cargas impostas pelo tráfego; (b) funcional, permitindo o conforto ao rolamento; (c) de segurança, fornecendo interação adequada entre pneu e o pavimento e (d) econômica, resultando em custos de construção e operação aceitáveis.

Os pavimentos podem ser classificados, basicamente em rígidos, semi-rígidos e flexíveis e sua estrutura pode ser decomposta em camadas superpostas, denominadas de: subleito, ou terreno natural; regularização, ou correção de falhas; reforço do subleito, ou camada adicional; sub-base, ou camada suplementar; base, ou suporte estrutural; e revestimento, ou capa de rolamento.

Pavimentos rígidos são aqueles em que o revestimento tem uma elevada rigidez em relação às camadas inferiores e, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado (DNIT, 2006). Esse revestimento é constituído por placas de concreto de cimento Portland.

Os pavimentos rígidos podem ser classificados em: pavimentos de concreto simples, e dentro desta classe podem ser incluídos os seguintes: placas de concreto simples; placas de concreto simples com barras de transferência; placas de concreto simples com armadura distribuída descontínua; e placa de concreto simples com armadura distribuída contínua; pavimentos tipo whitetopping; pavimentos estruturalmente armados; pavimentos de concreto rolado; pavimentos com peças pré-moldadas; e pavimentos sobre-laje em tabuleiros de obras de artes especiais.

Os materiais constituintes da camada de rolamento dos pavimentos rígidos são cimento portland (comum);

agregado graúdo (brita); agregado miúdo (areia); água (tratada); aditivos químicos (plastificantes); fibras (plásticas ou aço); selante de juntas (moldado); material de enchimento de juntas (fibras ou borracha) e aço (CA-25, CA-50, CA-60).

As juntas são utilizadas para o controle de fissuras, evitando-se a formação de fissuras aleatórias, e consistem de um enfraquecimento sistemático na placa de concreto, por meio de um corte ou ranhura com profundidade de 1/4 e 1/6 da altura da placa. Podem ser transversais ou longitudinais.

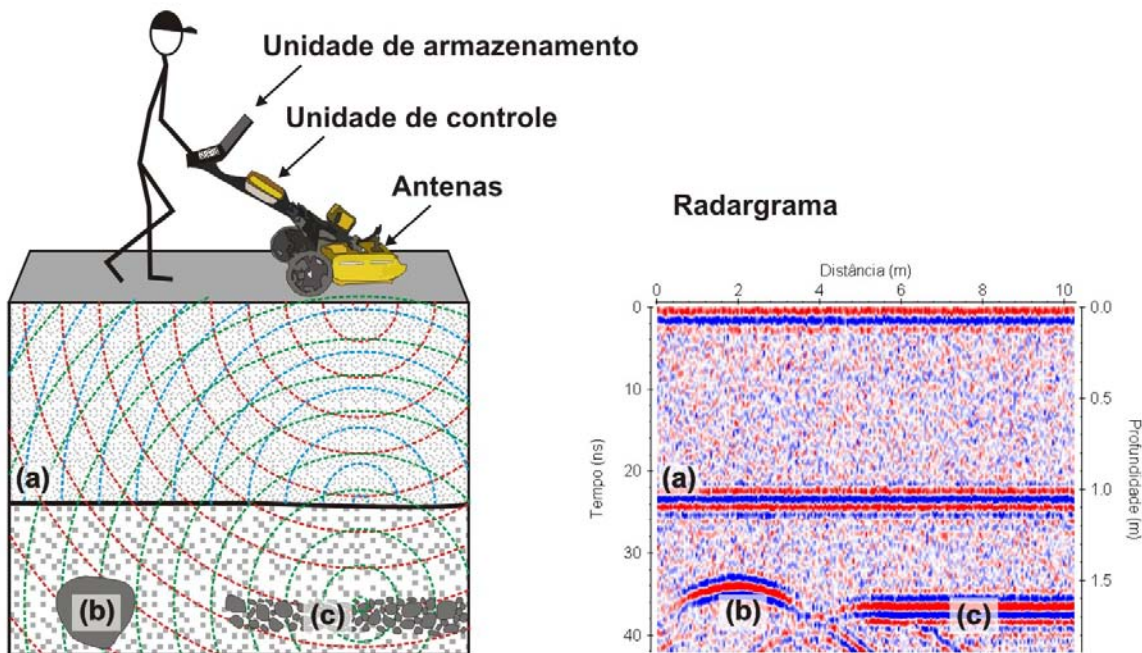
Para manter as placas unidas entre si, utilizam-se barras de ligação, e para transferir as cargas de uma placa para outra, usam-se barras de transferência.

Este trabalho mostra resultados de GPR (*Ground Penetration Radar*, em inglês) obtidos no Pátio de Manobra de Aeronaves, do Aeroporto Santos Dumont, no Rio de Janeiro/RJ. O principal objetivo é mostrar a eficiência da metodologia quando comparada com os métodos invasivos de investigação. CHANG (2009) usou o GPR para localização de barras de ligação/transferência em pavimento rígido, atestando que o método é válido, visto que permite estimar o raio das barras dentro de 7% do seu tamanho real. AL-QADI (2008) encontrou problemas na identificação de camadas de pavimentos, porque se trata de camadas muito finas, sujeitas a problemas com detecção de reflexos das múltiplas camadas no retorno para o GPR. LOIZOS (2007) atesta que o GPR é uma técnica não destrutiva capaz de adquirir dados de espessuras de camadas

contínuas de pavimento. HUGENSCHMIDT (2006) - a espessura do pavimento foi determinada em 95% das seções inspecionadas e a principal diferença entre os resultados de radar e a realidade foi de 9 mm. BARRILE (2005) comenta que o método é rápido (GPR) mas apenas aparentemente amigável. O método permite entender muitos aspectos dos elementos estruturais investigados: homogeneidade, defeitos, presença e número de barras de aço longitudinais e transversais.

### FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O GPR é atualmente o método geofísico de maior resolução espacial disponível no mercado, trabalhando na faixa de frequência de 10 MHz a 3000 MHz, o que lhe possibilita investigar estruturas geológicas ou objetos antrópicos em subsuperfície. Neste método as ondas eletromagnéticas são rapidamente radiadas para o meio, neste caso o solo, por intermédio de uma antena transmissora. Os contrastes entre as propriedades elétricas do meio fazem com que partes do sinal sejam refletidas para a superfície e partes continuem a se propagar em subsuperfície. Este sinal refletido é então captado, registrado e armazenado em uma unidade de controle. A antena é arrastada ao longo de uma linha reta, obtendo-se uma série de traços sucessivos justapostos, denominado de **radargrama**. Este radargrama representa a variação de amplitude do sinal eletromagnético em profundidade ao longo da linha de prospecção. O resultado é posteriormente analisado e processado com aplicações informáticas especializadas, permitindo a geração de uma imagem de alta resolução do meio (**Figura 1**).



**Figura 1** – Desenho esquemático do processo de aquisição de dados GPR (esquerda) e seção obtida.

### AQUISIÇÃO DOS DADOS

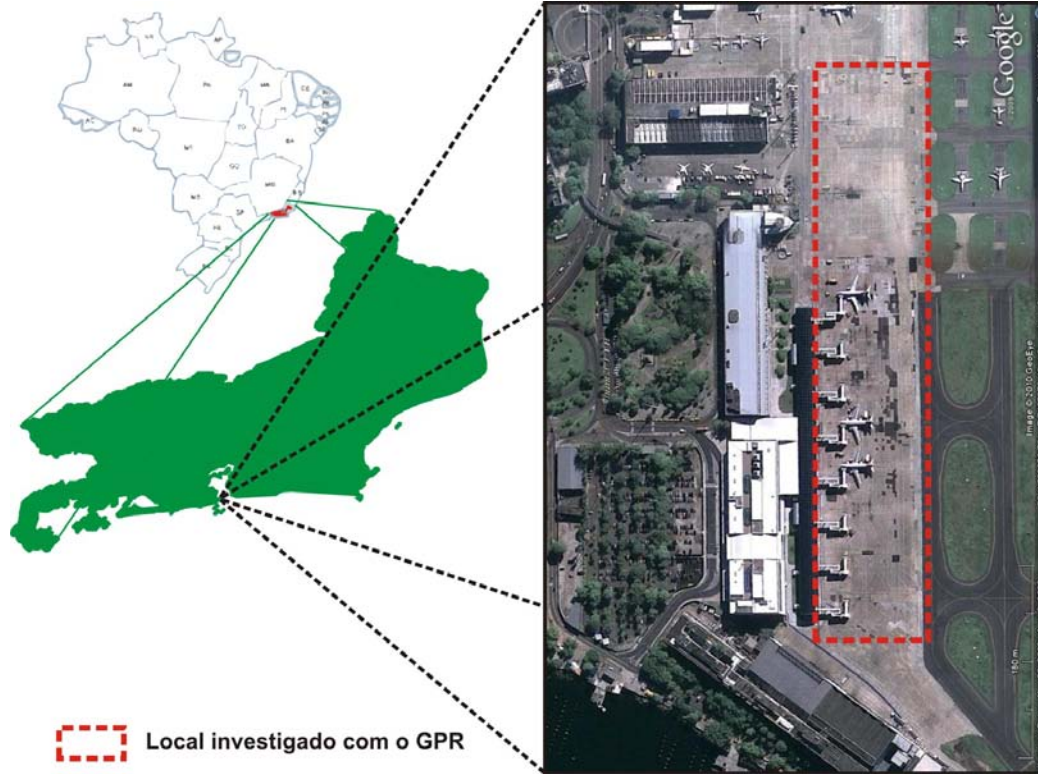
A área investigada localiza-se no pátio de manobras de aeronaves, do Aeroporto Santos Dumont, Praça Senador

Salgado Filho, s/n, bairro Centro, cidade do Rio de Janeiro/RJ (**Figura 2**).

## GPR applied to rigid pavement from Santos Dumont Airport, RJ

Durante a execução dos levantamentos foi utilizado o equipamento GPR Detector Duo (fabricado pela Ingegneria Dei Sistemi – IDS), que consiste de três módulos interligados por cabos: o primeiro módulo é composto por um conjunto de antenas blindadas (frequência central de 250 MHz e de 700 MHz); o segundo módulo por uma unidade de controle; e o terceiro módulo é composto por uma unidade de

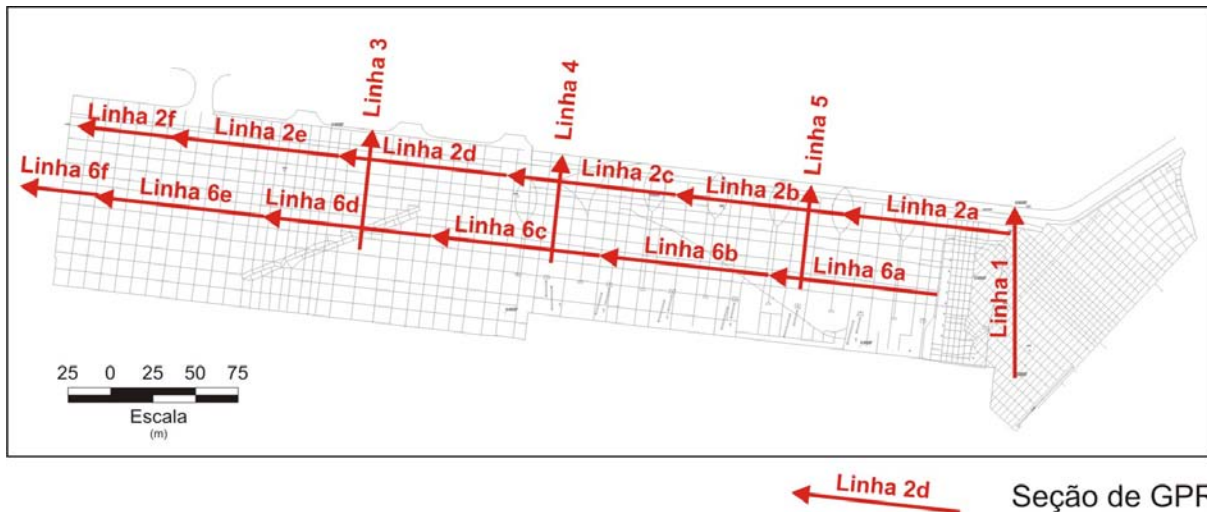
armazenamento (**Figura 3**). Os parâmetros de aquisição de dados foram: espaçamento entre os traços de 0,02 metros, janela temporal de 50 ns, e intervalo de amostragem temporal de 0,25 ns. Os dados foram adquiridos ao longo de 6 linhas, perfazendo um total de 1432 metros de GPR 2D (**Figura 4**) .



**Figura 2** – Localização da área investigada com o GPR, pátio de manobras de aeronaves do Aeroporto Santos Dumont, Rio de Janeiro/RJ.



**Figura 3** – Fotografias evidenciam a aquisição de dados de GPR no pátio de manobras de aeronaves do Aeroporto Santos Dumont, Rio de Janeiro/RJ.



**Figura 4** – Croqui com a localização dos perfis de GPR adquiridos no pátio de manobras de aeronaves do Aeroporto Santos Dumont, Rio de Janeiro/RJ.

### PROCESSAMENTO DOS DADOS

Os dados foram processados no software REFLEXW 5.0 (fabricado por Sandmeier, 2009). As etapas de processamento foram: correção estática ou ajuste do tempo zero; filtragem temporal do ruído de baixa frequência; aplicação de ganho de recuperação de amplitude perdida com o espalhamento geométrico do sinal eletromagnético (ganho de decaimento de energia – *energy decay*); e conversão dos perfis de tempo para profundidade.

Para a obtenção da velocidade eletromagnética no meio, foram consultados perfis de sondagens executados previamente na área. Os perfis foram realizados próximos das sondagens, permitindo assim correlacionar refletores com interfaces geotécnicas e geológicas, pois se conhecendo a profundidade real dos mesmos, bem como dos refletores relacionados, obteve-se a velocidade de propagação da onda eletromagnética no meio (0,09 m/ns), a qual foi utilizada na inversão dos dados (tempo para profundidade). Com a janela temporal de 50 ns foi possível investigar até a profundidade aproximada de 2,25 m.

### RESULTADOS

Ao longo da área mapeada foram verificados padrões distintos de reflexão nas seções de GPR, os quais podem ser relacionados a diferentes tipos de materiais.

Os refletores contínuos representam as interfaces geológicas e/ou geotécnicas presentes no terreno local (estratos de areia e argila, camadas de pavimentação) (Figura 5). Os refletores relacionados a interfaces

geológicas são comumente retilíneos e contínuos, podendo apresentar-se subhorizontais ou inclinados correlacionados a variações texturais e composicionais dos solos.

Os refletores pontuais, caracterizados por reflexões hiperbólicas, podem ser relacionados, em sua maioria, a interferências enterradas em subsuperfície. Tais feições podem ser encontradas ao longo de toda a extensão da área de forma bem clara e marcante e em diferentes profundidades, representando desde diversos tipos de tubulações (galeria de água pluvial), até blocos de rocha e pequenos vazios na subsuperfície (Figura 6).

As interfaces relacionadas com a camada de concreto, macadame e areia/aterro com entulho foram bem evidenciadas nas seções de GPR obtidas com as antenas de 700 e 250 MHz (Figura 7), possibilitando assim um nítido mapeamento das interfaces do pavimento dentro do pátio de manobra de aeronaves do aeroporto Santos Dumont.

### CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados das investigações geofísicas realizadas com o GPR possibilitaram o delineamento de anomalias geofísicas associadas a interfaces geotécnicas (espessura do pavimento de concreto e do macadame) e geológicas (areia/aterro com entulho).

Recomenda-se, em caso de escavação na área, cautela próxima às regiões onde foram localizadas anomalias hiperbólicas possivelmente associadas a interferências presentes no subsolo.

GPR applied to rigid pavement from Santos Dumont Airport, RJ

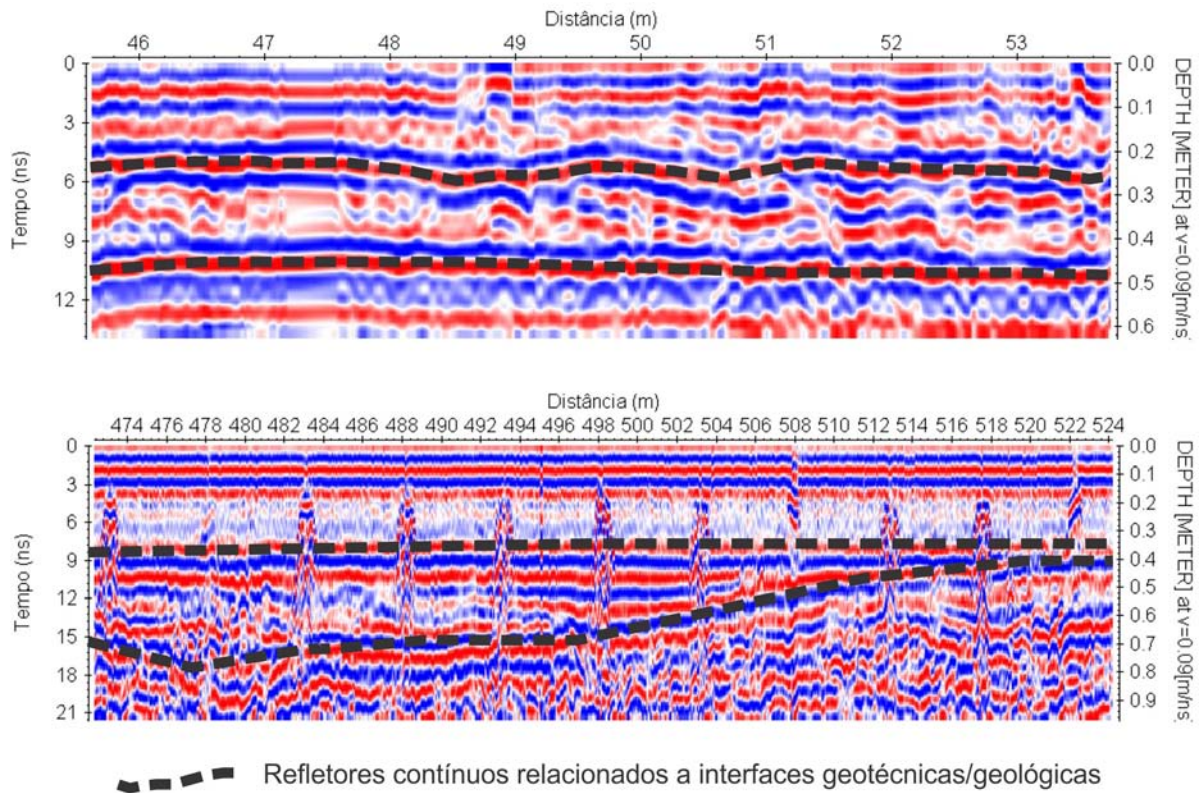


Figura 5 – Seções de GPR mostrando padrões de reflexão relacionados a interfaces geológicas e geotécnicas presentes na área.

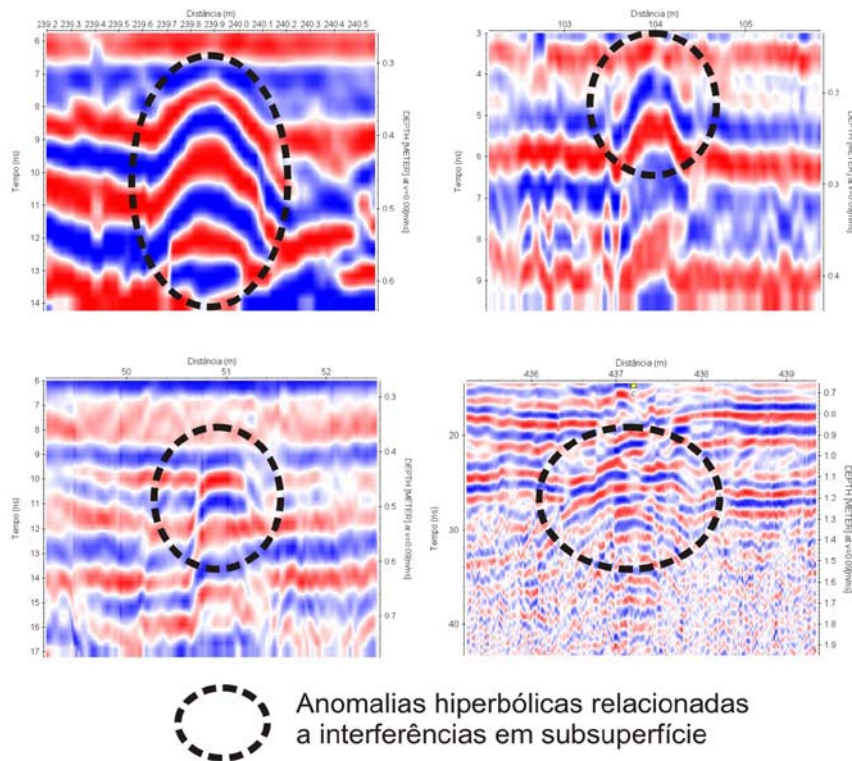


Figura 6 – Seções de GPR mostrando padrões hiperbólicos de reflexão (difrações) relacionados a interferências (tubos, blocos de rocha, vazios no solo, entre outros) presentes na área.

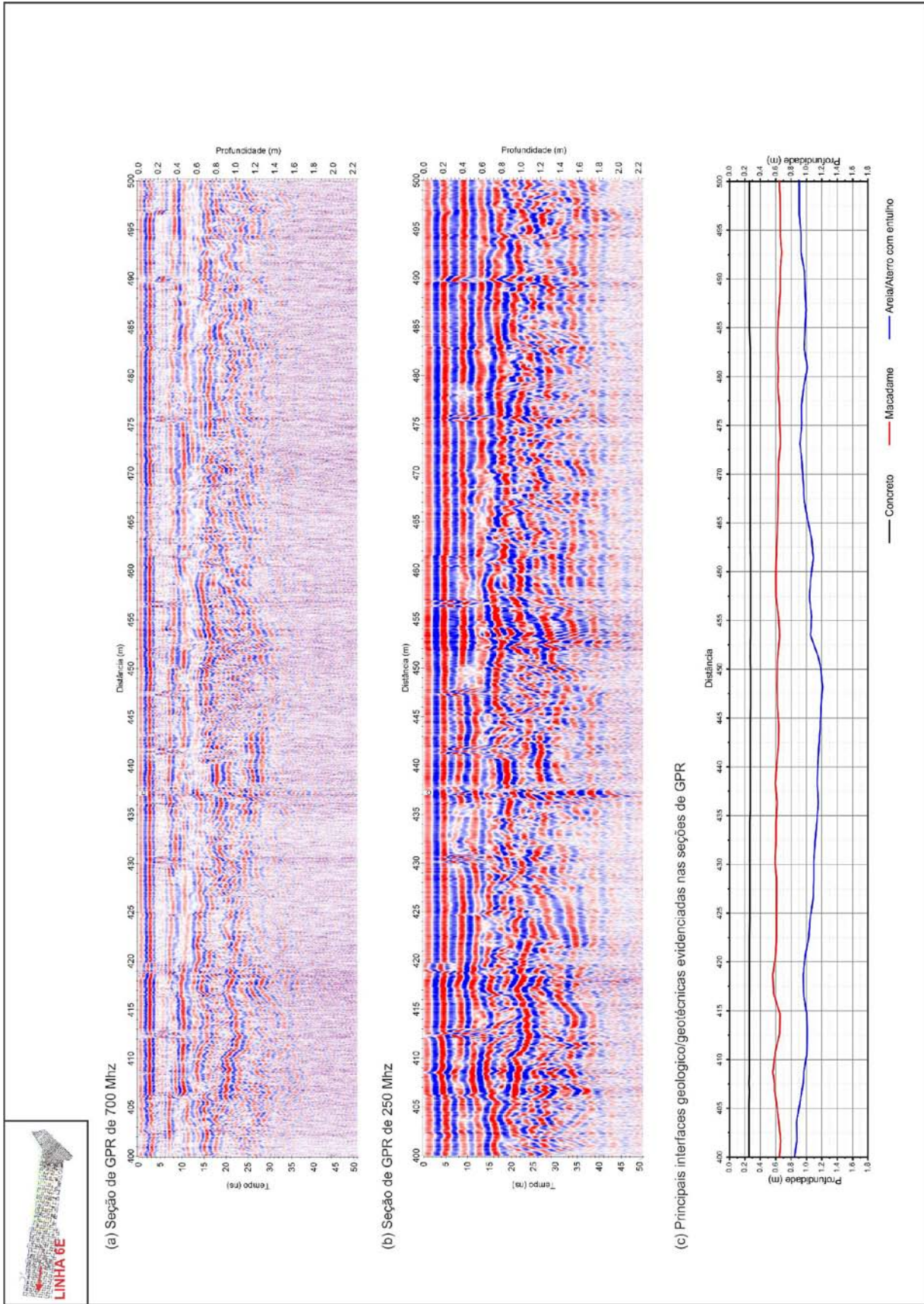


Figura 7 – (a) seção de GPR obtida com antena blindada de 700 MHz. (b) Seção de GPR obtida com a antena blindada de 250 MHz. (c) Interfaces geotécnicas interpretadas a partir das seções de GPR obtidas na área do pátio de aeronaves do Aeroporto Santos Dumont, Rio de Janeiro/RJ.

## REFERÊNCIAS

AL-QADI I.L. et al. 2008, Automatic detection of multiple pavement layers from GPR data, NDT&E International 41 (2008) 69–81

BARRILE V. et al. 2005, Application of radar technology to reinforced concrete structures: a case study, NDT&E International 38 (2005) 596–604

CHANG et al. 2009, Measurement radius of reinforcing steel bar in concrete using digital image GPR, Construction and Building Materials 23 (2009) 1057–1063

DNIT- Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de Pavimentação. 3.ed. – Rio de Janeiro, 2006. 274p. (IPR.Publ., 719).

HUGENSCHMIDT J. et al. 2006, GPR inspection of concrete bridges, Cement & Concrete Composites 28 (2006) 384–392

INFRAERO, SUPERINTENDÊNCIA DE PLANEJAMENTO AEROPORTUÁRIO E DE OPERAÇÕES – DOPL – Estatísticas dos Aeroportos, <http://www.infraero.gov.br/images/stories/JUL.pdf>, 2010.

LOIZOS A. et al. 2007, Accuracy of pavement thicknesses estimation using different ground penetrating radar analysis approaches, NDT&E International 40 (2007) 147–157

SANDMEIER, K.J., 2009. REFLEXW Version 5, Windows 9x/2000/NT. Program for the processing of seismic, acoustic or electromagnetic reflection, refraction and transmission data. Manual do Software, Karlsruhe, Germany, 209p.