



**Detecção de Tubulações Através do Método Radar de Penetração no Solo (GPR) na Cidade Universitária – Ilha do Fundão, Brasil**

Detection of Pipes Through the Penetration Radar Method in Soil (GPR) in University City - Fundão Island, Brazil

Gleide Alencar do Nascimento Dias & Paulo César Texeira Filho

*Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia,  
Av. Athos da Silveira Ramos, 274 – Bloco J1. Cidade Universitária, Ilha do Fundão,  
21941-916, Rio de Janeiro, RJ, Brasil*

*E-mails: [gleide@geologia.ufrj.br](mailto:gleide@geologia.ufrj.br); [paulin\\_ctf@yahoo.com.br](mailto:paulin_ctf@yahoo.com.br)*

Recebido em: 30/11/2016      Aprovado em: 30/01/2017

DOI: [http://dx.doi.org/10.11137/2017\\_1\\_171\\_179](http://dx.doi.org/10.11137/2017_1_171_179)

## Resumo

Este trabalho consistiu em verificar a aplicabilidade do método GPR (*Ground Penetrating Radar*) na localização de tubulações de ferro fundido utilizados para o escoamento de águas pluviais e de esgoto. A fim de alcançar este objetivo foram adquiridos 19 perfis dentro da área de estudo, utilizando-se uma antena de 200 MHz, em duas direções perpendiculares entre si, para detectar os dutos paralelos e transversais. Após o processamento dos dados, a análise de todos os radargramas, em geral, apresentou alguns bons resultados podendo ser identificada quase todas as tubulações subsuperficiais de ferro através da presença de feições hiperbólicas, formadas pela difração das ondas eletromagnéticas nestes materiais. Somente em alguns perfis não foi possível identificar alguns desses dutos, devido a presença de um forte ruído causado pela reverberação do sinal nas antenas (*ringing*), ruído este, que pode estar relacionado com o tipo de solo (aterro) e com o comprimento de onda utilizado. Após o estudo, podemos concluir que o método GPR é muito útil na localização de tubulações, podendo ser extrapolado para outras áreas onde não se detém nenhum conhecimento prévio da subsuperfície.

**Palavras-chave:** GPR; tubulação; UFRJ

## Abstract

This work was to verify the applicability of GPR (*Ground Penetrating Radar*) in locating pipes of cast iron used for stormwater runoff and sewage. In order to achieve this goal they were acquired profiles 19 within the study area, using a 200 MHz antenna, in two mutually perpendicular directions to detect the parallel and transverse ducts. After processing the data, the analysis of all radargrams generally showed some good results, which can be identified almost all subsurface pipes by the presence of hyperbolic features formed by diffraction of electromagnetic waves in these materials. Only in some profiles was not possible to identify some of these pipes, due to the presence of a strong noise caused by the antennas reverb signal (*ringing*), that noise, which may be related to the type of soil (fill) and the length wave used. After the study, we can conclude that the GPR method is very useful in locating pipes and can be extrapolated to other areas where it does not stop on prior knowledge of the subsurface.

**Keywords:** GPR; pipes; UFRJ

## 1 Introdução

Este trabalho tem como objetivo principal, a localização de tubulações de água e esgoto através da aplicação do método GPR, a fim da elaboração de um projeto de pesquisa para a instalação de uma área de testes controlados de geofísica rasa no Campus da UFRJ. O local de estudo possui uma área de aproximadamente 600 m<sup>2</sup>, sendo o acesso feito pelas Linhas Amarela e Vermelha, e posteriormente pela Avenida Athos da Silveira Ramos (Figura 1).

O método GPR foi selecionado para este estudo devido ao baixo custo, não destrutivo, fácil repetibilidade, agilidade e contraste geológico do meio com as tubulações. Em estudos com o método GPR para tubulações são verificados que a presença dessas são feitas através da presença de ondas difratadas caracterizadas por uma hipérbole e com respectivo valor de velocidade, como em Pinto (2010). Vários trabalhos de investigações com o método Radar de Penetração no Solo (GPR) para encontrar dutos enterrados de plástico, concreto ou metal tem sido realizados, Allred & Redman (2010) verificou a presença de tubos de drenagem agrícolas e se esses funcionam devidamente em relação ao fornecimento de água. Czarnowski *et al.* (1994) descrevem investigações de métodos

EM (eletromagnéticos), incluindo GPR, para a localização de um gasoduto de gás natural e outras linhas de serviço público. Graf (1989) ilustra a detecção direta GPR de vazamentos de gasodutos. Tong (1993) discute o uso de GPR para detecção de tubulações. GPR também é amplamente utilizado na infraestrutura de transporte público, construção e manutenção de ambientes urbanos com a finalidade de controlar a qualidade e a condição das estruturas.

## 2 Geologia Regional e Local

A baía de Guanabara, incluindo a maior parte de sua bacia hidrográfica contribuinte, corresponde a um compartimento estrutural tectonicamente rebaixado, de idade Cenozóica (zona fisiográfica denominada Baixada Fluminense). Segundo Ruellan (1944), a baía se originou de uma depressão de ângulo de falha entre dois grupos de blocos falhados: o da Serra dos Órgãos e dos pequenos maciços costeiros. As linhas estruturais que condicionaram a existência da Baixada seriam reativações Cenozóicas de linhas estruturais pré-cambrianas (Almeida, 1976). A esta região rebaixada, Ruellan (1944) denominou gráben da Guanabara e Almeida (1976) denominou rift da Guanabara. A estratigrafia

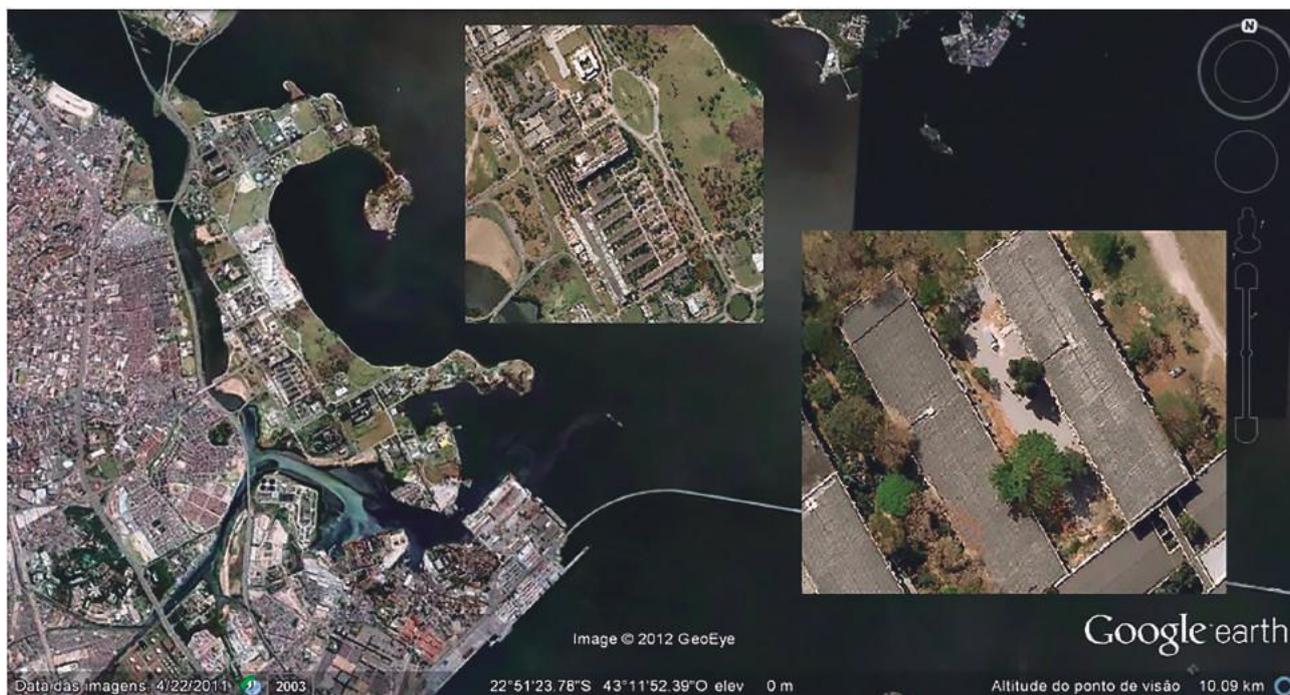


Figura 1 Localização da área de estudo entre os departamentos de Geologia e Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Google Earth-Mapas).

da Baía de Guanabara foi definida por Amador (1996), por sedimentos estuarinos holocênicos, correspondentes à sedimentação da baía após as transgressões; sedimentos fluviais da Formação Caceribu e embasamento cristalino, constituído por gnaisses e migmatitos diversos.

A Ilha do Fundão é quase toda ocupada pela Cidade Universitária e é uma das várias ilhas da Baía de Guanabara, e se localiza entre as coordenadas latitudinais 22°49'55"S-22°53'10"S e longitudinais 43°12'25"W-43°14'45"W. De acordo com Amador (1996) possui uma área superficial de 377 Km<sup>2</sup>, excluindo as ilhas e considerando seu limite pelas pontas de Copacabana e de Itaipu. A Ilha do Fundão foi criada a partir do processo de aterramento dos canais entre o arquipélago de nove ilhas (Cabras, Pindaí do Ferreira, Pindaí do França, Baiacu, Fundão, Catalão, Bom Jesus, Pinheiro e Sapucaia), localizadas no Estuário de Manguinhos, na Enseada de Inhaúma.

Estas ilhas são constituídas predominantemente por gnaisses variados e migmatitos, de idade Pré-Cambriana, denominados Gnaisses da Série Inferior por Helmbold *et al.* (1965). Quanto aos aterros são constituídos por areias dragadas da Baía

de Guanabara e solos de alteração de Gnaisses e migmatitos provenientes do desmonte da Colina do Fundão. De acordo com a Folha SF23-Z-B-IV - Baía de Guanabara (Figura 2), escala 1:100.000, do Programa Geologia do Brasil – CPRM, na área da Ilha do Fundão foram mapeadas nessa escala apenas duas unidades litoestratigráficas, Complexo Rio Negro (NP23γ1rn) e Depósitos Antropogênicos (Q2at). O Complexo Rio Negro é descrito pela própria folha como Quartzo-plagioclásio-biotita gnaisses mesocráticos de composição quartzo diorítica a diorítica, intensamente deformados e migmatizados, de espectro geralmente bandado (Figura 3); ortoclásio(microclina)-quartzo gnaisses acinzentados de composição granodiorítica; rochas anfibolíticas, todas de Idade U-Pb TIMS 792± 12 Ma.

De acordo com Santos (2000), na Ilha do Fundão foram mapeados e descritos cinco tipos de solos classificados de acordo com a avaliação do grau de fertilidade das amostras de aterros e/ou solos coletadas. Aterro solódico ou não (AT1), aterro com calhaus a 20cm (AT2), aterro com calhaus a 60cm ou 80cm (AT3), aterro gleizado (AT4) e Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico abrupto (PVAe), Figura 4.

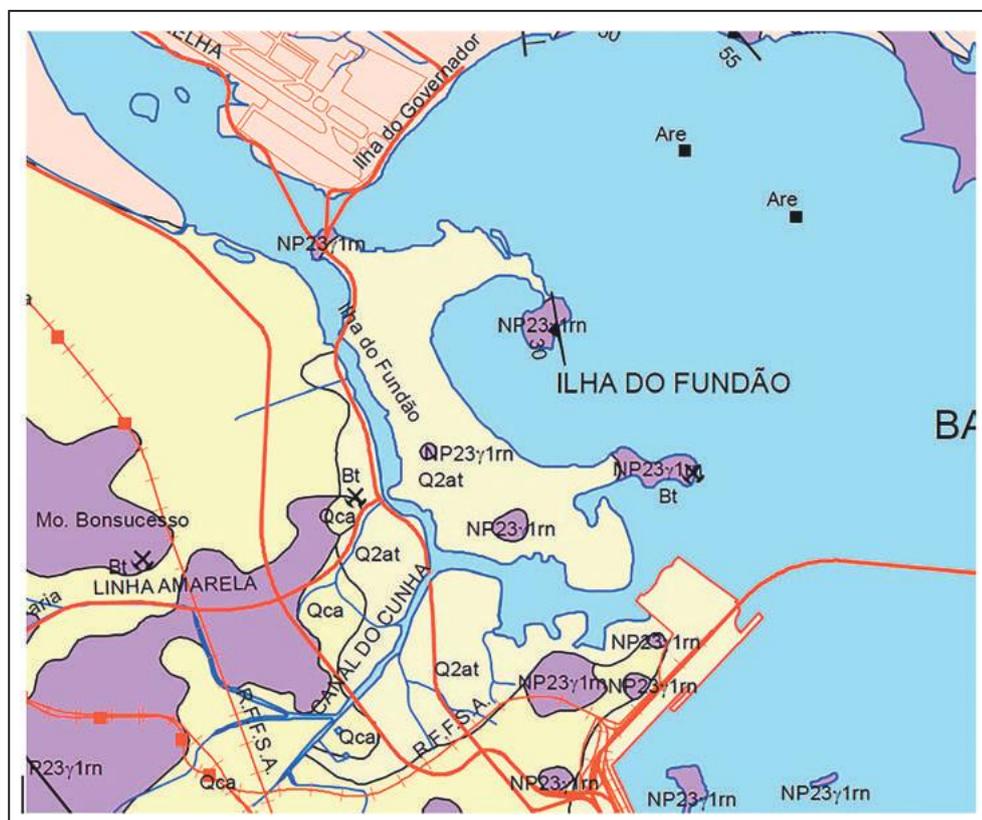


Figura 2 Mapa Geológico modificado da Ilha do Fundão em escala 1:100.000 (CPRM, 2012)



Figura 3 Afloramento de gnaisses bandados próximo à área de estudo.

### 3 Método

O GPR é um método geofísico não destrutivo e não invasivo, que produz perfis contínuos, com ou sem a possibilidade de aquisição de um grande volume de dados em um curto período de tempo (Knight, 2001). Este método eletromagnético emprega ondas de rádio em altas frequências (10-2500 MHz), que são emitidas para a subsuperfície através de uma antena (transmissora) em superfície, propagando para o interior do solo refletindo-se e/ou difratando-se nas feições de subsuperfície em

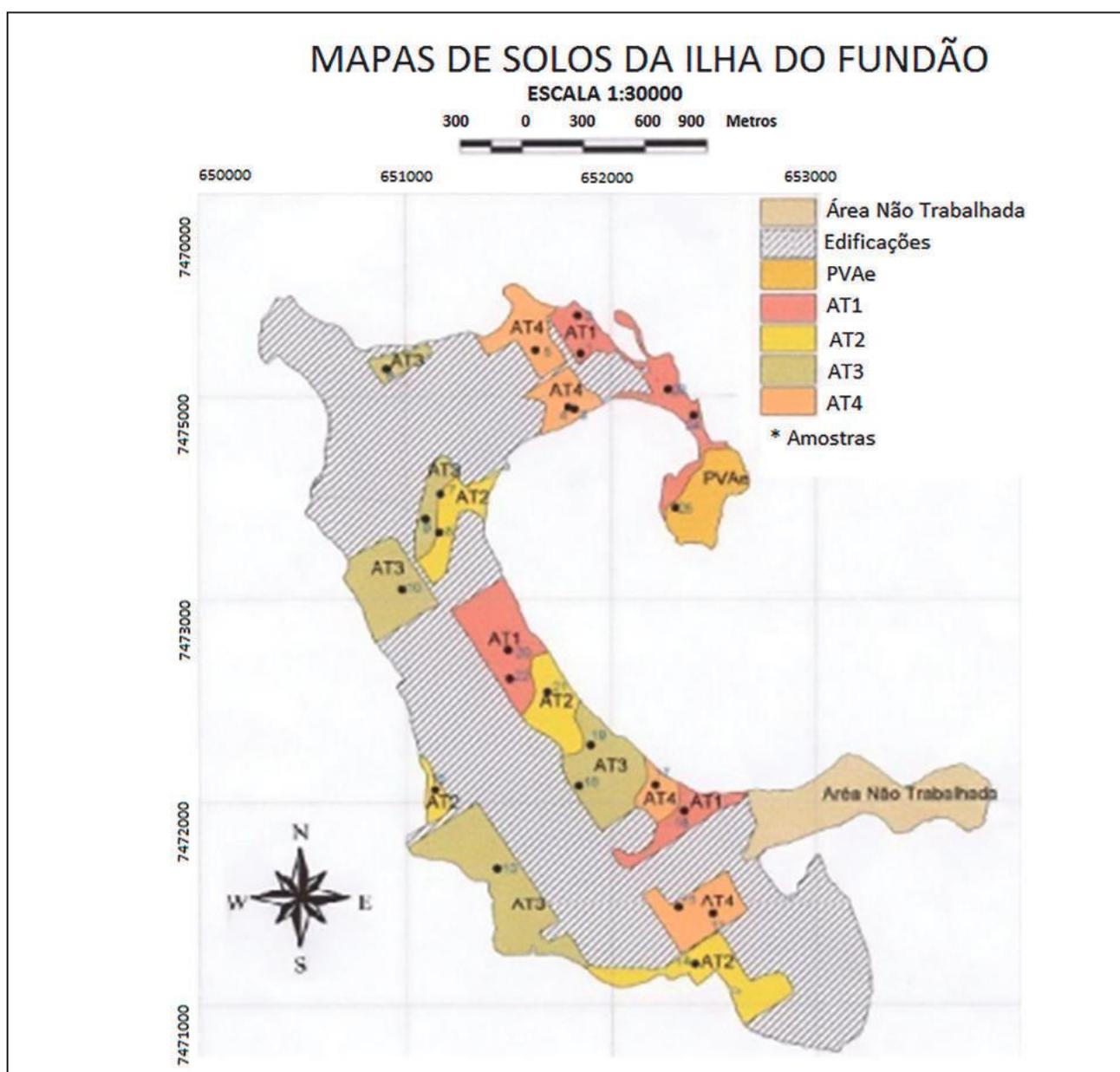


Figura 4 Mapa de distribuição dos solos baseada na avaliação da fertilidade. Modificado de Santos (2000).

meio contrastante de permissividade dielétrica. E retornando a superfície, sendo registrada numa antena (receptora). As antenas de GPR podem ser usadas dentro de um poço e em superfície, onde os dados são adquiridos de modo rápido o que se permite investigar grandes áreas. As ondas de radar não podem penetrar metais, devido à natureza das ondas eletromagnéticas, mas pode ser utilizadas para estruturas de concreto e alvenaria (Kanli *et al.*, 2015).

#### 4 Aquisição de Dados

Há inúmeros sistemas de GPR desenvolvidos no mercado mundial. As três maiores empresas fornecedoras do equipamento são: Geophysical Survey Systems Incorporated (GSSI) (Norte-Americana), Sensors and Softwares (Canadense)

e Mala Geosciences (Sueca). Estas empresas produzem vários modelos de sistemas de radar que podem operar em diversas faixas de frequências. Um sistema de radar consiste basicamente de quatro partes: um gerador de sinal (unidade transmissora), a unidade receptora, a unidade de controle digital e a unidade de visualização (*display*) (Figura 5). Para este trabalho foram realizados dezenove perfis com um equipamento do modelo TerraSIRch SIR (Subsurface Interface Radar) System-3000 fabricado pela Geophysical Survey Systems, Inc (GSSI), com antena blindada monoestática de 200 MHz.

Foram realizados dois perfis longitudinais com direção N30W, com um espaçamento de 5 metros. A posição zero está localizada a 1,30 m do piso de concreto do depósito de testemunhos. O perfil 01 passa a cerca de 2,50 m e está disposto paralelamente ao meio-fio mais próximo ao



Figura 5 Equipamento TerraSIRch SIR System-3000.

Departamento de Geografia. Os perfis latitudinais com direção N60E foram realizados com um espaçamento médio de 3,54 m. A posição zero está no meio-fio do Departamento de Geografia. O primeiro perfil longitudinal 03 passa a cerca de 1,30 m do piso de concreto do depósito de testemunhos e está disposto perpendicularmente ao meio-fio mais próximo ao Departamento de Geografia (Figura 6). O modelo esquemático da distribuição dos perfis ao longo da área em relação aos departamentos de Geologia e Geografia está representado na Figura

7. Levou-se em consideração algumas informações prévias da área tais como, pisos de concreto, bolsões de areia e cabeça de poços.

## 5 Processamento e Interpretação dos Dados

Os arquivos de dados, no formato de aquisição (\*.dzt) receberam processamentos dentro do software REFLEXW, versão 4.2 da empresa Sandmeier (Sandmeier, 2006). A rotina de processamento consistiu de : *Move starttime* (6,0), *Dewow* (30,0),

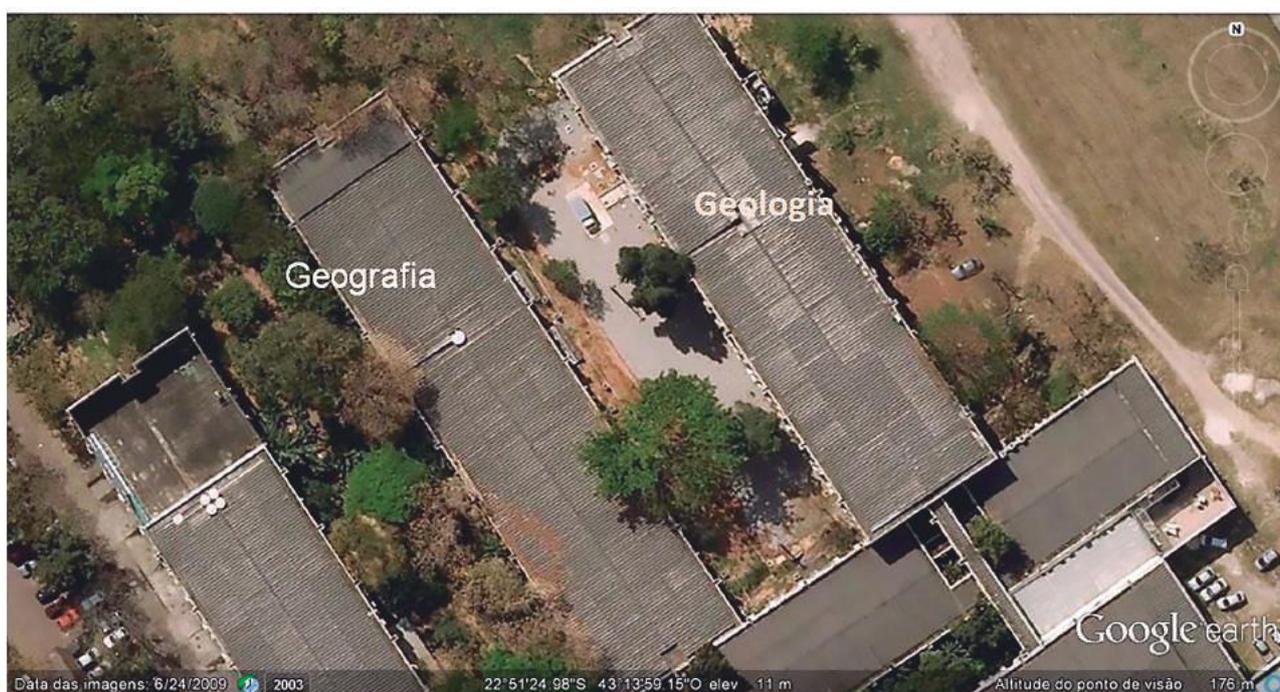


Figura 6 Localização da área de estudo.

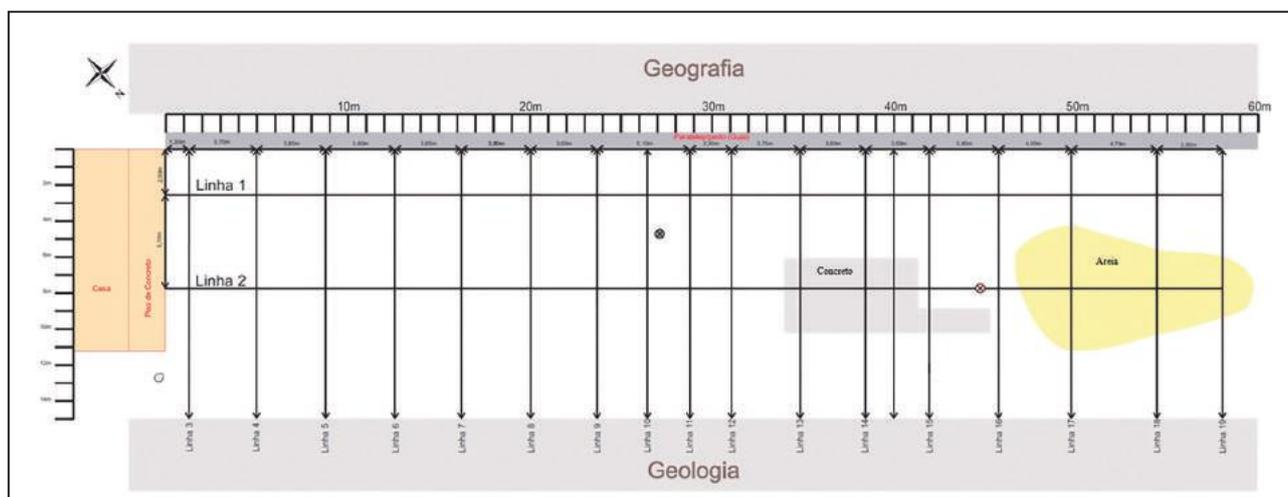


Figura 7 Modelo esquemático da distribuição dos perfis de GPR.

*Background Removal* (140,0), *Energy Decay* (1,44), *Bandpassfrequency* (120, 150, 250, 280), *Deconvolution(Predictive)*. (20, 70, 50, 25), *Background Removal* (140,0). Não foi necessária a realização da correção topográfica, devido à baixa inclinação do terreno. Nas Figuras 8 e 9 são demonstrados os dados sem processamento e com processamento respectivamente. Para interpretar a seção GPR, é necessário algum conhecimento dos padrões de reflexão de radar. Normalmente, reflexões horizontais indicam acamamento laminados em subsuperfície, reflexões não paralelas ou oblíquas podem representar inconformidades ou mergulho das camadas, e difrações (reflexões hiperbólicas) são causados por fontes pontuais ou descontinuidades. Para um vazio ou caverna, o padrão de reflexão geralmente é um fenômeno de reverberação, ou mais precisamente falando, um forte padrão de reflexão convexa no topo com frequência reduzida abaixo dela.

A Figura 10 correspondente ao perfil 03 (semelhante ao perfil 04), é possível observar algumas feições hiperbólicas cujos ápices se encontram a aproximadamente 1.40m, 8.60m, 9.80m, 10.20m e 11.70m de distância do início do perfil. Nessa figura também é possível observar um forte refletor horizontal contínuo, situado a aproximadamente

3.80 m de profundidade (80 ns), que corresponder a um contato aterro-solo. Esses são os perfis que obtivemos uma melhor resolução, em quase todos os perfis pode-se visualizar as tubulações mapeadas da área, duas tubulações de água pluvial e uma de esgoto do lado direito do perfil todas de ferro fundido e com 0.5 m de diâmetro. As hipérboles indicadas pelas setas em azul são representações de tubulações que não foram identificadas em visualização na superfície quando analisado os dados de campo.

Através dos perfis 16, 17 e 18 (a exemplo da figura 11), verificou-se a presença de outras duas tubulações cujos ápices das hipérboles apresentam-se em 5.40 m e 6.20 m na parte central do perfil. Nessas seções radargramas as hipérboles não são bem caracterizadas como as dos perfis 3 e 4.

Com base nos dados de radar adquiridos através do método GPR 2D e na interpretação de todos os seções radargramas supra apresentados, foi possível confeccionar um modelo esquemático 3D (figura 12) mostrando o posicionamento das tubulações.

## 6 Conclusões

A análise de todos os radargramas em geral apresentou bons resultados, e com isso pode-se

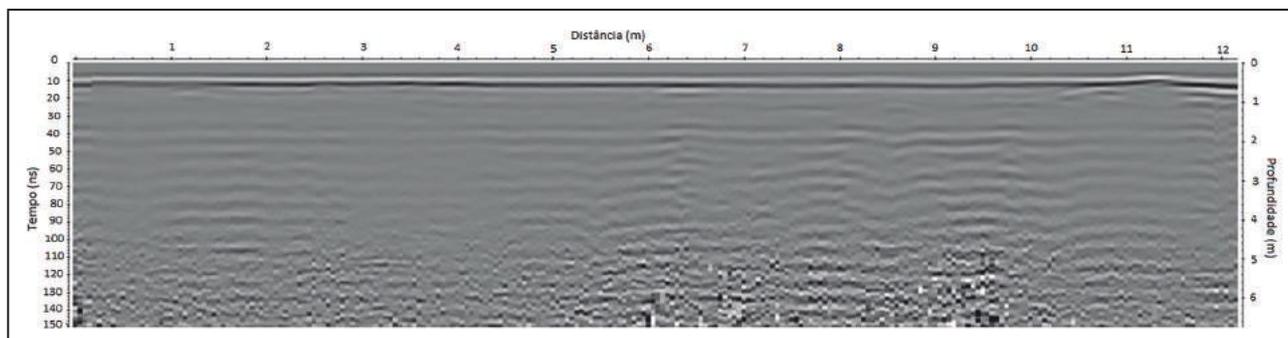


Figura 8 Seção radargrama sem processamento.

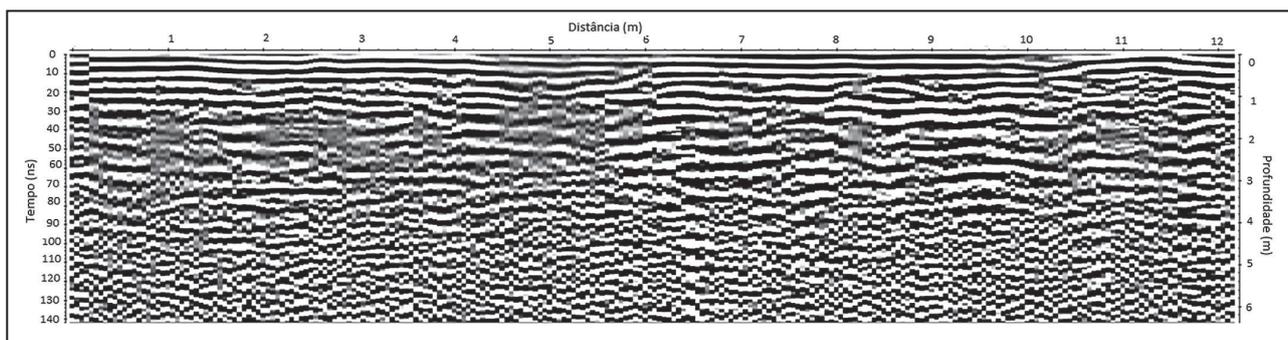


Figura 9 Seção radargrama com processamento.

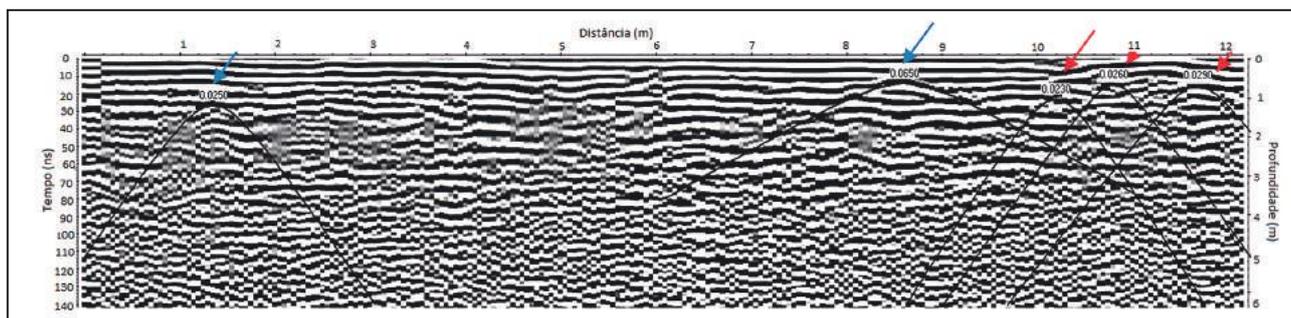


Figura 10 Seção radargrama do perfil 03.

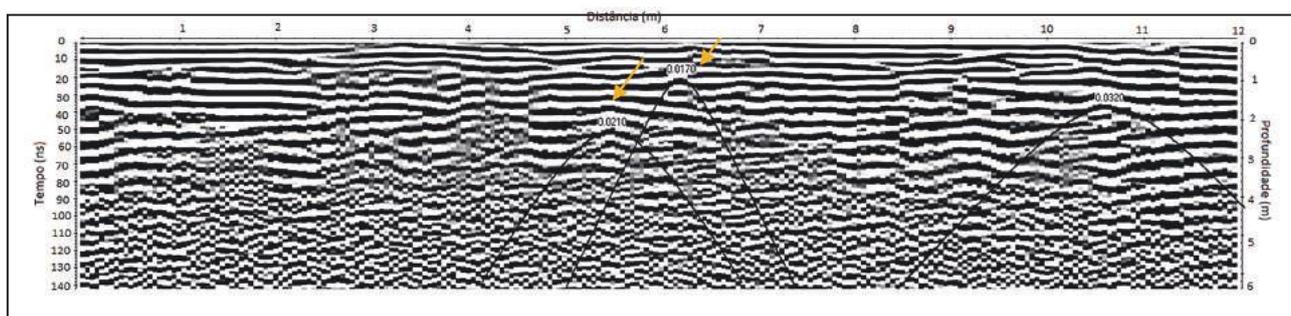


Figura 11 Seção radargrama do perfil 16

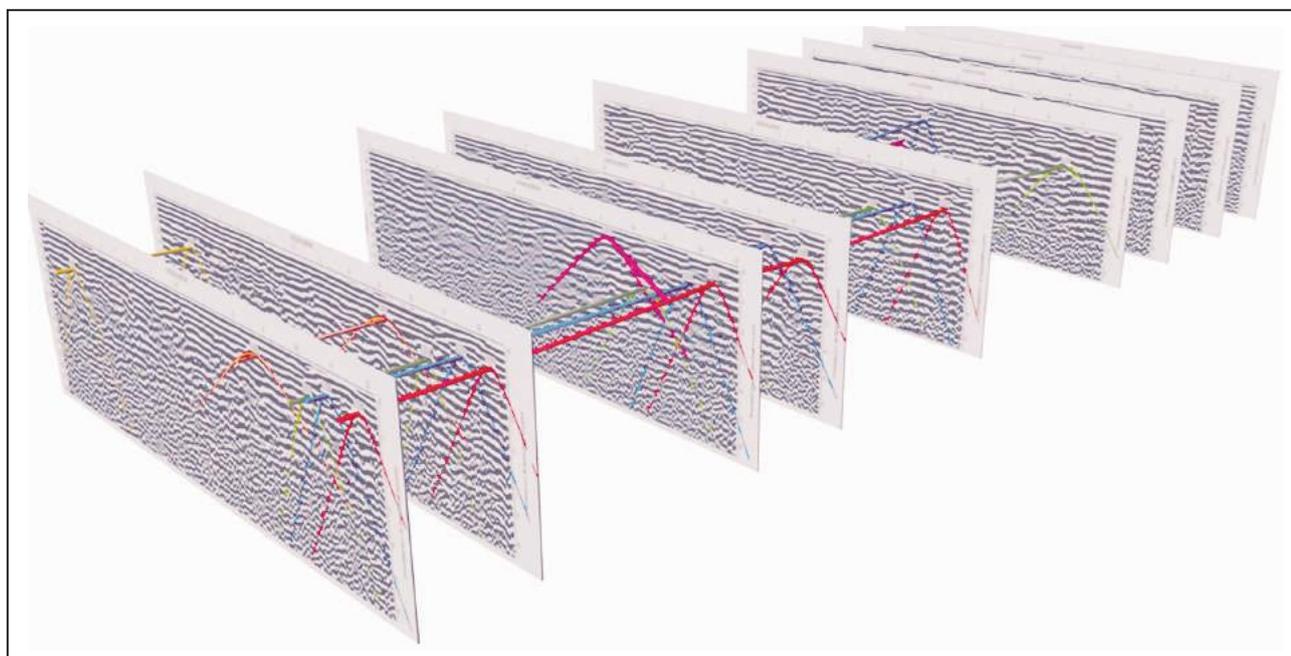


Figura 12 Seção radargrama em 3D, com mapeamento das tubulações.

concluir que o GPR é um método eficaz na detecção de contrastes bruscos. Isso é comprovado com os resultados obtidos nos perfis, onde foi possível detectar a existência de tubulações subsuperficiais de ferro fundido (o qual era usado para dutos na década de 50), representadas nos radargramas pelas hipérbolas, formadas pela difração das ondas EM

nestes materiais. Dentre os perfis realizados, aqueles que mais se destacam são 03 e 04. As tubulações verificadas na parte central e esquerda da seção radargrama 3D representa antigas tubulações abandonadas, provavelmente de ferro fundido também. A antena utilizada, de 200 MHz, não se apresentou tão nítida, devido à presença de um

forte ruído causado pela reverberação do sinal nas antenas (*ringing*). Esse ruído pode estar relacionado com o tipo de solo (aterro) e/ou com o comprimento de onda utilizado. Em geral através das seções radargramas pode-se detectar as tubulações em estudo verificando-se a direção, profundidade e continuidade das tubulações em 3D. Para se obter uma melhor resolução seria necessário utilizar um menor espaçamento entre os pontos de aquisições dos dados.

## 7 Agradecimentos

Ao funcionário José Roberto Delboni pelo apoio prestado na aquisição dos dados.

## 8 Referências

- Alfred B.J. & Redman J.D. 2010. Location of Agricultural Drainage Pipes and Assessment of Agricultural Drainage Pipe Conditions Using Ground Penetrating Radar. *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 15(3): 119-134.
- Almeida F.F.M. 1976. The System of Continental Rifts Bordering the Santos Basin, Brazil. In: *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 48: 15-26.
- Amador E.S. 1996. *Baía de Guanabara e Ecossistemas Periféricos: Homem e Natureza*. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 534p.
- Czarnowski J.; Heinze S.; Bruhl P.; Staib C.; Robeck M. & Frank G., Fruhwirth R. 1994. Pipeline projects in Germany using GPR. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GPR, *Expanded Abstracts*, 15, University of Waterloo, p.1107-1113.
- CPRM. 2012. Projeto Geobank.. Banco de dados de Geoinformações - Serviço Geológico do Brasil, Disponível em: <<http://geobank.sa.cprm.gov.br>>. Acesso em: 07 jul. 2012, 20:30:00.
- Graf F.L. 1989. Use of Ground-Penetrating Radar to Pinpoint Natural Gas Pipeline Leak, In: ANN. INTERNAT. MTG., SOC. EXPL. GEOPHYS., 59, *Expanded Abstracts*, p.226-228.
- Google Earth-Mapas. [Http://mapas.google.com](http://mapas.google.com). Consulta realizada em 22/04/2011.
- Helmbold R.; Valença J.G. & Leonardos J.O.H. 1965. Mapa geológico do Estado da Guanabara: folhas Baía da Guanabara - Ilha Rasa, Vila Militar - Pontal de Sernambetiba, Santa Cruz - Restinga de Marambaia. Rio de Janeiro: DGM: DNPM. Escala 1: 50.000.
- Kanlia A.L.; Tallerb G.; Nagyc P.; Tildyb P.; Pronayb Z. & Toro E. 2015. GPR Survey for Reinforcement of Historical Heritage Construction at Fire Tower of Sopron. *Journal of Applied Geophysics*, 112: 79-90.
- Knight R. 2001. Ground Penetrating Radar for Environmental Applications. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 29: 22-255.
- Pinto G. P. 2010. *O Método GPR Aplicado a Localização de Tubulações Utilizadas no Mestrado em Geofísica*, Programa de Pós-Graduação em Geofísica, Universidade Federal do Pará, Belém, Dissertação de Mestrado, 96p.
- Ruellan F. 1944. A Evolução Geomorfológica da Baía da Guanabara e das Regiões Vizinhas. *Revista Brasileira de Geografia*, 4(4): 445-508.
- Sandmeier K.J. 2006. REFLEXW Version 4.2 for Windows 9x/2000/NT/XP. Program for the Processing of Seismic, Acoustic or Electromagnetic Reflection, Refraction and Transmission Data.[S.l., s.n.], 192p.
- Santos R.D.; Agares F. & Noronha F. 2000. *Projeto Parque Frei Veloso: Levantamento Detalhado dos Solos Campus da Ilha do Fundão – UFRJ*. Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa, n. 19 p 69. Rio de Janeiro – RJ.
- Tong L.T. 1993. Application of Ground-Penetrating Radar to Locate Underground Pipes. *Terr. Atm. Ocean Sci.*, 4: 171–178