

## 6

### Avaliação na detecção de vazamentos no sistema de distribuição de água

O Parque Gráfico do Jornal O Globo, localizado no município de Duque de Caxias/RJ, fica instalado na rodovia Washington Luiz (BR-040) quilômetro 2,5, sentido Petrópolis. A Figura 6.1 apresenta uma vista aérea do Parque Gráfico onde se pode observar a proximidade de suas instalações com a Baía de Guanabara.



Figura 6.1 – Vista aérea do Parque Gráfico do Jornal O Globo (*EarthGoogle*)

A estrutura do Parque Gráfico (PG) possui uma área construída de  $28.750\text{m}^2$  que abriga todo o maquinário para impressão dos jornais além de matérias primas e produtos acabados. Em junho de 2004 foi construída uma área de lazer para os funcionários da empresa numa área adjacente à edificação do PG, situada ao norte da mesma. O empreendimento de lazer consta de um campo de futebol e um espaço coberto que abriga dependências sanitárias, churrasqueira e mesa de jogos diversos. A Figura 6.2 mostra uma vista superior da área de lazer construída.



Figura 6.2 – Vista superior da área de lazer do Parque Gráfico do Jornal O Globo

Segundo Nabuco (2004), o espaço escolhido para a construção da área de lazer funcionava como local para descarte dos materiais de escavação retirados na fase de construção do PG. Estes materiais pertenciam ao perfil de intemperismo da área construída. A regularização deste material alocado foi realizada utilizando-se uma motoniveladora, equipamento de terraplenagem normalmente utilizado para nivelamento de aterros. A compactação deste material foi realizada por meio do deslocamento de caminhões e guinchos que foram utilizados durante a fase de construção do PG, uma vez que esta área também era utilizada como canteiro de obras onde ficavam estacionados os caminhões e máquinas.

Em meados de 2002 foi constatada uma surgência de água próxima do local onde seria construído o campo de futebol. A empresa responsável pelos serviços de terraplenagem relatou que não ocorriam nascentes de água quando foram iniciados os trabalhos de construção do PG. Entretanto, quando retornaram ao local para a construção da área de lazer foi constatado este ponto de surgência de água. A área de lazer foi então construída e a água que surgia próxima ao campo de futebol foi desviada para uma canaleta de drenagem, vista na Figura 6.3.



Figura 6.3 – Surgência de água na área de lazer

Em junho de 2002, foi registrado um aumento de 100% na conta de água do PG referente ao valor médio mensal costumeiramente pago à Companhia Estadual de Águas e Esgotos – CEDAE. A partir daí, a direção do PG iniciou uma investigação à procura de vazamentos em seu sistema de distribuição de água. As tubulações metálicas de incêndio e gás foram submetidas a uma avaliação de corrosão externa provocada pelo solo e por correntes de fuga por uma empresa especializada no ramo. Segundo diagnóstico feito por esta empresa, o solo é agressivo em termos de corrosão, apresentando valores de resistividade inferiores a  $6.201,50\Omega.cm$  na profundidade onde as tubulações se encontram enterradas, *i.e.* cerca de 1,5m. Amostras de solo para análise de pH também foram coletadas nos mesmos locais de medição das resistividades elétricas do solo. Os resultados das análises revelaram um solo agressivo, com pH inferior a 6, na maioria das análises. A empresa recomendou a instalação de um sistema de proteção catódica a fim de minimizar o potencial de corrosão das instalações enterradas. A rede de incêndio foi interditada e observou-se um leve declínio no consumo de água.

Diversas iniciativas foram tomadas para a investigação de vazamentos nas redes de abastecimento de água e irrigação. A realização de sondagens próximas às referidas redes foi executada em diversas ocasiões. Porém, em nenhuma delas se obteve resultados satisfatórios.

A utilização de metodologia direta para pesquisar os possíveis pontos de vazamento se torna difícil, onerosa e, na maioria das vezes, não operacional. Seria necessária a execução de um número excessivo de perfurações em todo o caminamento da rede, em locais nem sempre disponíveis tampouco de fácil acesso.

Neste sentido, objetivou-se investigar a aplicabilidade do método geofísico de superfície, GPR, como ferramenta para detectar o suposto vazamento da rede de distribuição de água. A proposta inicial é delimitar as regiões saturadas que apresentam uma maior atenuação do sinal comparando-as com as respostas do sinal em regiões não saturadas. Uma vez mapeada a região que apresenta maior teor de umidade, o passo seguinte seria a instalação de furos de sondagem para a determinação pontual do(s) ponto(s) de vazamento.

## 6.1.

### **Descrição da geologia**

A região de Duque de Caxias se caracteriza geologicamente por formações do pré-cambriano representadas por rochas metamórficas e por sedimentos quaternários. O trabalho desenvolvido por Polivanov (1998) fornece toda a descrição detalhada da geologia desta região, de onde foram retiradas as informações de interesse para este trabalho, além das observações de campo.

O Parque Gráfico (PG), construído em 1997, está assentado sobre um aterro de altura variável, estando o empreendimento com uma elevação média de 16m em relação ao nível do mar. Inicialmente, a área selecionada para a construção do parque ficava situada num morrote adjacente à BR-040, que originalmente apresentava uma variação da elevação entre +15m a +35m. Foi então realizada uma terraplenagem para regularizar e atingir a elevação de interesse. As sondagens realizadas na época e na área de implantação do Parque Gráfico indicaram um terreno constituído em linhas gerais por quatro horizontes. O mais superficial, provavelmente coluvionar/residual maduro, de textura silto argilosa ou silto arenosa com espessura variável de 2 a 7m. O segundo horizonte é constituído de solo residual jovem ou solo saprolítico de gnaiss (de textura areia siltosa, micácea ou silte areno-argilosa) com espessura variável de 2 a 6m. Abaixo deste

material ocorre um saprolito de gnaiss ou gnaiss muito alterado com espessura atingindo até 6m, que fica sobrejacente ao topo rochoso são de gnaiss.

## 6.2.

### Aquisição de dados

#### 6.2.1.

#### Aquisições com o GPR

As aquisições com o GPR tiveram que ser realizadas em diversas etapas a fim de se conseguir um bom resultado. Na época em que foi iniciada a aquisição de dados, em fevereiro de 2005, o regime de chuvas era intenso e a presença de água no solo atenuava em muito o sinal da onda eletromagnética, por tornar o meio mais condutivo. Para que pudesse ser evitada a influência da umidade oriunda da chuva nos resultados a serem obtidos, esperou-se uma estiagem mínima de 5 dias para proceder-se a aquisição dos dados.

Os ensaios foram realizados com uma antena de 250 MHz blindada. A escolha desta antena foi feita em função da rapidez e facilidade na aquisição além de propiciar uma boa penetração do sinal, profundidade de aproximadamente 4m, que atendia a profundidade de interesse. Além disto, a antena é blindada e não sofre assim a interferência de ruídos externos.

A aquisição foi realizada utilizando-se o programa *GroundVision*<sup>®</sup>, sendo que dois conjuntos de parâmetros foram adotados:

	Conjunto 1:	Conjunto 2:
- número de amostras por <i>scan</i> (traço) -	512	968
- número de <i>stacks</i> (empilhamento) -	16	16
- <i>range</i> (janela temporal) -	180	200
- intervalo entre <i>scans</i> (traços) -	0.02	0.02
- sem ganho;		
- nenhuma filtragem.		

Estes dois conjuntos de parâmetros de entrada de dados foram testados para se avaliar qual seria a melhor resposta, uma vez que a aquisição de dados com o GPR foi realizada em etapas. A Figura 6.4 mostra um perfil GPR sendo adquirido na parte superior do talude, paralelo à rede de distribuição de água, e a Figura 6.5 mostra a localização em planta.



Figura 6.4 – Aquisição com o GPR no Parque Gráfico do Jornal O Globo

Foram realizadas diversas aquisições na parte superior do talude, aquisições paralelas e perpendiculares à direção das tubulações. Também foram adquiridos perfis GPR ao longo do talude e sobre sua berma de equilíbrio. Este talude corresponde ao elemento de separação da parte superior do PG à área de lazer. Finalmente, foram adquiridos perfis GPR em todos os lados nas proximidades do campo de futebol inclusive próximo ao ponto de surgência de água. A Figura 6.5 mostra a localização e direção dos perfis GPR que tiveram maior destaque.

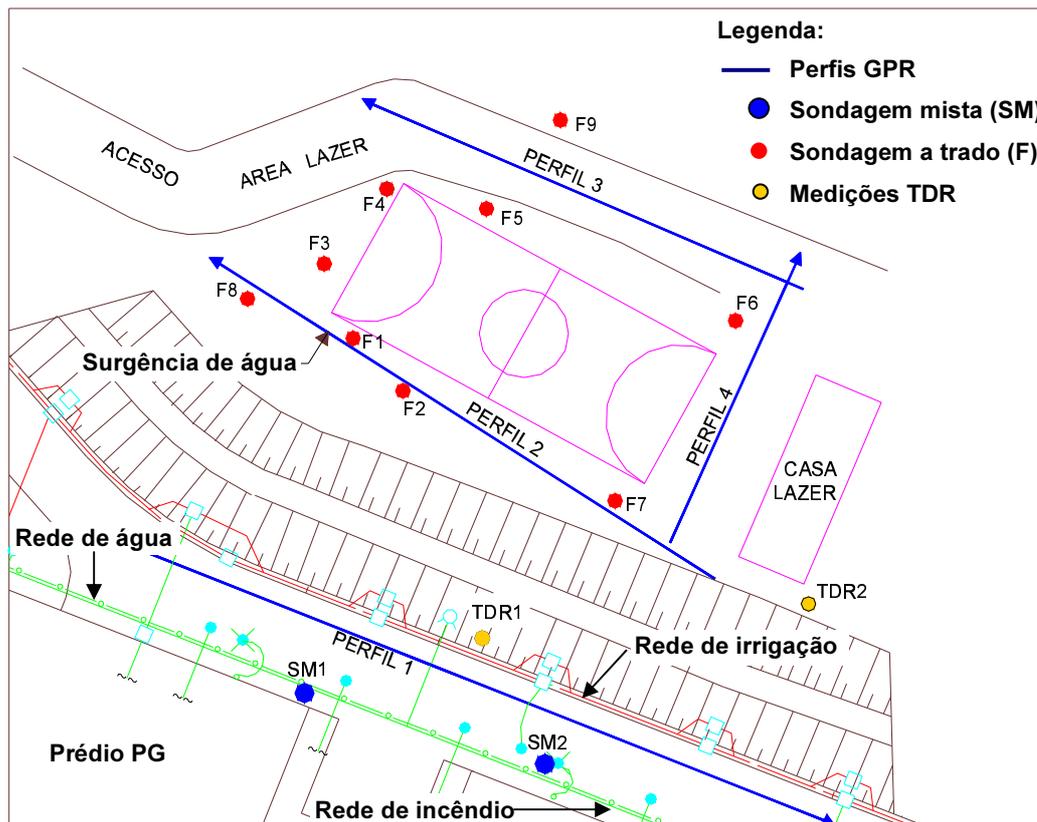


Figura 6.5 – Lay out com a localização e direção dos perfis GPR, das sondagens de Interesse e dos pontos de medição de TDR

### 6.2.2. Sondagens e amostragens

A empresa Tecnosolo realizou campanhas de sondagens a percussão na área de implantação do Parque Gráfico. Entretanto, não consta no relatório técnico apresentado à InfoGlobo a existência de sondagens na área de lazer. Os boletins das sondagens localizadas próximas à rede de distribuição de água estão apresentados no Apêndice C.1. A localização destas sondagens (SM) pode ser visualizada na Figura 6.5 e seus dados foram utilizados para a construção de uma seção geológica.

Para poder avaliar o resultado obtido com os radargramas da área onde ocorre a surgência de água, foram executados alguns furos de sondagens com trado manual. A profundidade de alcance destes furos foi variável, dependente da dificuldade de execução e/ou da disponibilidade de hastes. A Figura 6.5 também apresenta um esquema com a localização aproximada destes furos e no Anexo C.2 é apresentada a descrição dos materiais encontrados nestes furos.

Amostras de solo foram coletadas nas proximidades do ponto de surgência de água para análise e obtenção dos seguintes parâmetros: teor de umidade, condutividade, pH e sais solúveis. O propósito destas análises é fornecer parâmetros para uma melhor interpretação dos dados adquiridos com os levantamentos geofísicos. Os teores de umidade, apresentadas na Tabela 6.1, foram determinadas no Laboratório de Geotecnia e Meio Ambiente da PUC-Rio. Já as análises de condutividade, determinação do pH e sais solúveis foram realizadas na EMBRAPA, segundo os procedimentos estabelecidos em EMBRAPA (1997). A Tabela 6.2 apresenta os resultados destas análises.

Tabela 6.1 – Teor de umidade dos solos amostrados

Amostras	Profundidade de coleta (m)	Teor de umidade (%)
Furo 1	0,42	25,5
Furo 1	0,47	15,3
Furo 1	0,80	17,1
Furo 1	1,00	18,6
Furo 1	1,90	19,7
Furo 2	0,60	29,4
Furo 2	1,10	29,9

Tabela 6.2 – Resultados das análises de pH, condutividade e sais solúveis dos solos amostrados

Amostras	Profundidade de coleta (m)	Condutividade mS/m	pH	Sais solúveis (cmol/kg)	
				Na	K
Furo 1	1,13	22	5,16	0,003	0,001
Furo 1	1,90	29	4,97	0,002	0,001
Furo 2	1,00	98	5,89	0,008	0,002
Furo 4	2,20	70	6,53	0,004	0,001

Os resultados dos teores de umidade, apresentados na Tabela 6.1, revelam um ligeiro aumento ao longo da profundidade, em ambos os furos em que foram coletadas as amostras, com exceção para a primeira amostra do furo 1, que se apresenta mais úmida. Este ponto, indicado na Figura 6.5, está localizado em uma região caracterizada pela presença de argila vermelha que possivelmente retém mais água.

Nota-se uma leve dispersão nos resultados apresentados na Tabela 6.2. Apesar da proximidade dos furos 1 e 2, conforme pode ser visto no diagrama apresentado na Figura 6.5, os valores de pH e condutividade nas amostras analisadas se mostraram bem diferentes. Esta discrepância de valores pode ser

justificada pela composição do aterro presente nesta região, pois, conforme já mencionado, a área funcionou como depósito do material excedente de escavação que ali foi depositado sem nenhum tipo de controle. Entretanto, percebe-se uma relação nos furos 2 e 4, onde valores elevados de condutividade podem estar associados a maiores concentrações de sais solúveis, conforme pode ser observado na Tabela 6.2.

### 6.2.3. TDR para obtenção da constante dielétrica do meio

O valor da constante dielétrica do solo ( $k$ ) foi medido em campo por meio do equipamento de reflectometria no domínio do tempo (TDR). A Figura 6.6 mostra como a constante dielétrica foi medida.



Figura 6.6 – Valor da constante dielétrica sendo medido com ao auxílio do TDR

Foram medidas as constantes dielétricas em alguns pontos distribuídos na área do Parque Gráfico, na parte superior do talude e na sua base, conforme pode ser visto na Figura 6.5. Os valores adotados correspondem a uma média aritmética de 3 valores medidos em cada ponto, cujos resultados foram:

- Topo do talude:  $k = 9$ ;
- Base do talude:  $k = 10$ .

Vale ressaltar que estes valores estão próximos aos valores adotados para solo residual segundo algumas literaturas, *e.g.*, Nunes (2002) onde foi adotado 13 para a constante dielétrica do solo.

### **6.3. Processamento dos dados**

Assim como descrito no item 4.1.2, os dados adquiridos foram processados utilizando-se o programa *RADAN*<sup>®</sup>, sendo que em todos os perfis os mesmos recursos de processamento foram adotados. Primeiramente foi feita a correção do atraso da onda direta nos dados que apresentavam este efeito. Em seguida, a aplicação de um filtro vertical “*IRR Filter*”, corta baixa de 500MHz e corta alta de 125MHz para delimitar a faixa de frequência atingível pela antena. Uma função de ganho do tipo automática em 10 pontos foi aplicada e, na seqüência, um ganho linear foi aplicado com o objetivo de realçar as regiões de interesse. Para uma melhor visualização dos dados, utilizou-se o recurso de ajustar a escala horizontal, “*skipping*”, o qual permite especificar o número de *scans* (traços) a mostrar. Finalmente, para conversão da escala vertical em tempo (ns) para profundidade (m), adotou-se o valor 9 para a constante dielétrica do solo nos radargramas adquiridos no topo do talude e 10 para os adquiridos em sua base.

### **6.4. Análise dos resultados**

Inicialmente foi adquirido um perfil no topo do talude, denominado perfil 1, paralelo às tubulações, ao prédio do PG e aos pontos onde foram realizados os furos de sondagens SM1 e SM2, como pode ser visto no diagrama apresentado na Figura 6.5. O radargrama correspondente a esta aquisição pode ser visualizado na Figura 6.8. O objetivo desta aquisição seria identificar regiões saturadas que apresentassem uma atenuação do sinal do radar muito acentuada e, com isto, delimitar as regiões que poderiam apresentar vazamentos nas redes de distribuição, de irrigação e de incêndio. Analisando este radargrama, mesmo com a forte atenuação presente em algumas partes, pode-se notar a aparição de um refletor horizontal entre 40m e 80m da escala horizontal na profundidade de 3m. A interpretação deste refletor foi realizada com o auxílio da seção geológica

elaborada a partir dos dados de sondagem e mostrada na Figura 6.7. Nesta seção é mostrado um contato entre o aterro e o solo residual, sendo este constituído de material silto-arenoso variegado, que ocorre na profundidade de 3m nas proximidades da sondagem SM2. Este contato possivelmente corresponde ao refletor aparente no radargrama apresentado na Figura 6.8. Não é possível perceber este contato no extremo inicial do radargrama porque, conforme se pode observar na seção geológica, ele ocorre numa profundidade maior nesta região, profundidade esta não alcançada pela antena utilizada.

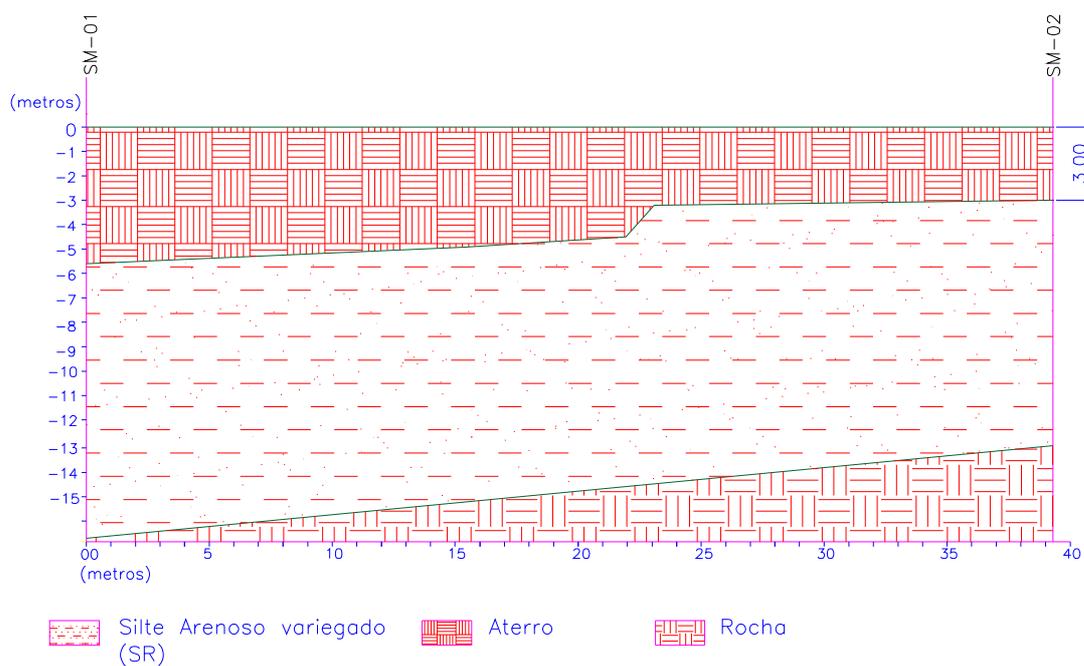


Figura 6.7 – Seção geológica na área do Parque Gráfico obtida com resultados de sondagem a percussão

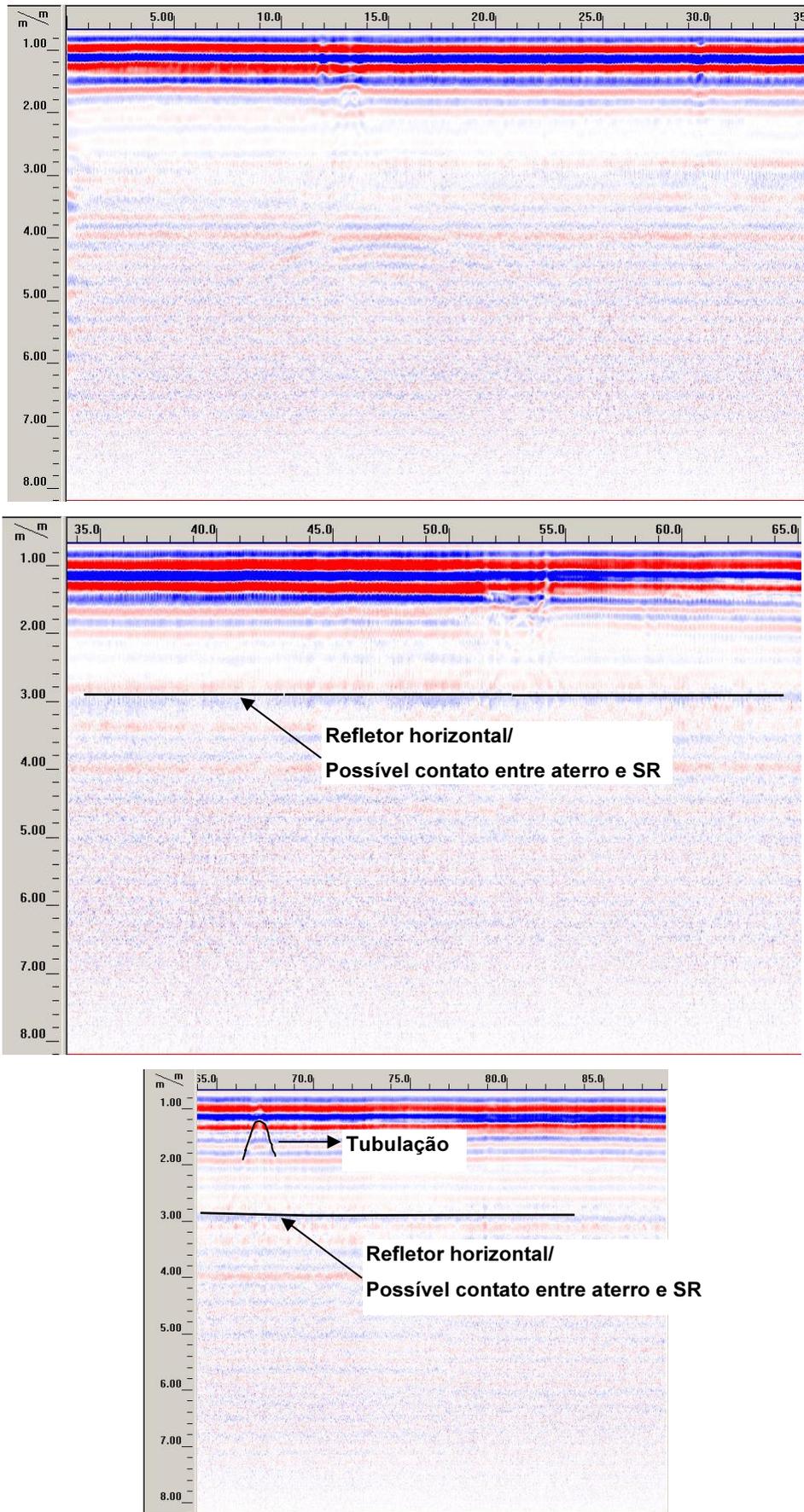


Figura 6.8 – Radargrama no topo do talude

É perceptível neste radargrama algumas regiões onde a atenuação do sinal é mais acentuada, principalmente em seu início. Entretanto, mesmo utilizando os diversos recursos do *software* de processamento dos dados, o *RADAN*<sup>®</sup>, não foi possível delimitar uma área em que a atenuação fosse muito significativa e que a amplitude do sinal fosse semelhante à amplitude do sinal onde ocorre a surgência de água.

A segunda aquisição foi realizada próxima ao campo de futebol, na base do talude, conforme pode ser vista sua localização no diagrama apresentado na Figura 6.5. O radargrama processado deste perfil é apresentado na Figura 6.9, no qual é possível perceber claramente algumas faixas de atenuações do sinal do GPR. A diferença de atenuação nítida aos 66m da escala horizontal corresponde à mudança de revestimento da superfície, passando de aterro para grama. Esta maior atenuação observada na parte referente ao revestimento de grama se explica pela maior umidade por ela retida. Também é possível perceber uma ampla faixa de atenuação do sinal aproximadamente uniforme em todo o perfil abaixo de 1,5m de profundidade.

A hipótese de que esta atenuação no sinal do GPR poderia ser proveniente de uma maior salinidade do solo foi descartada, uma vez que os resultados das análises de sais solúveis forneceram valores muito baixos, da ordem de grandeza 0,001cmol/kg, indicando uma presença reduzida de elementos químicos dissolvidos na água intersticial que poderia causar esta atenuação.

De acordo com a inspeção local, toda a região localizada próxima a este perfil se apresenta bem úmida e o furo realizado a trado nesta região, o qual atingiu 1,5m de profundidade, furo 1, mostrou que a partir desta profundidade o solo se encontra saturado. Portanto, é possível que esta atenuação do sinal seja causada pela presença de água.

Entretanto, apesar dessa forte atenuação, é possível notar a presença de um refletor horizontal a aproximadamente 2,60m de profundidade. Em nenhum dos furos realizados nesta região, conseguiu-se atingir tal profundidade. Contudo, é possível supor que este refletor corresponda a um contato existente entre camadas de diferentes propriedades elétricas, podendo ser, por exemplo, um contato de uma camada mais porosa onde se encontra a água, com um material de menor porosidade localizado abaixo desta.

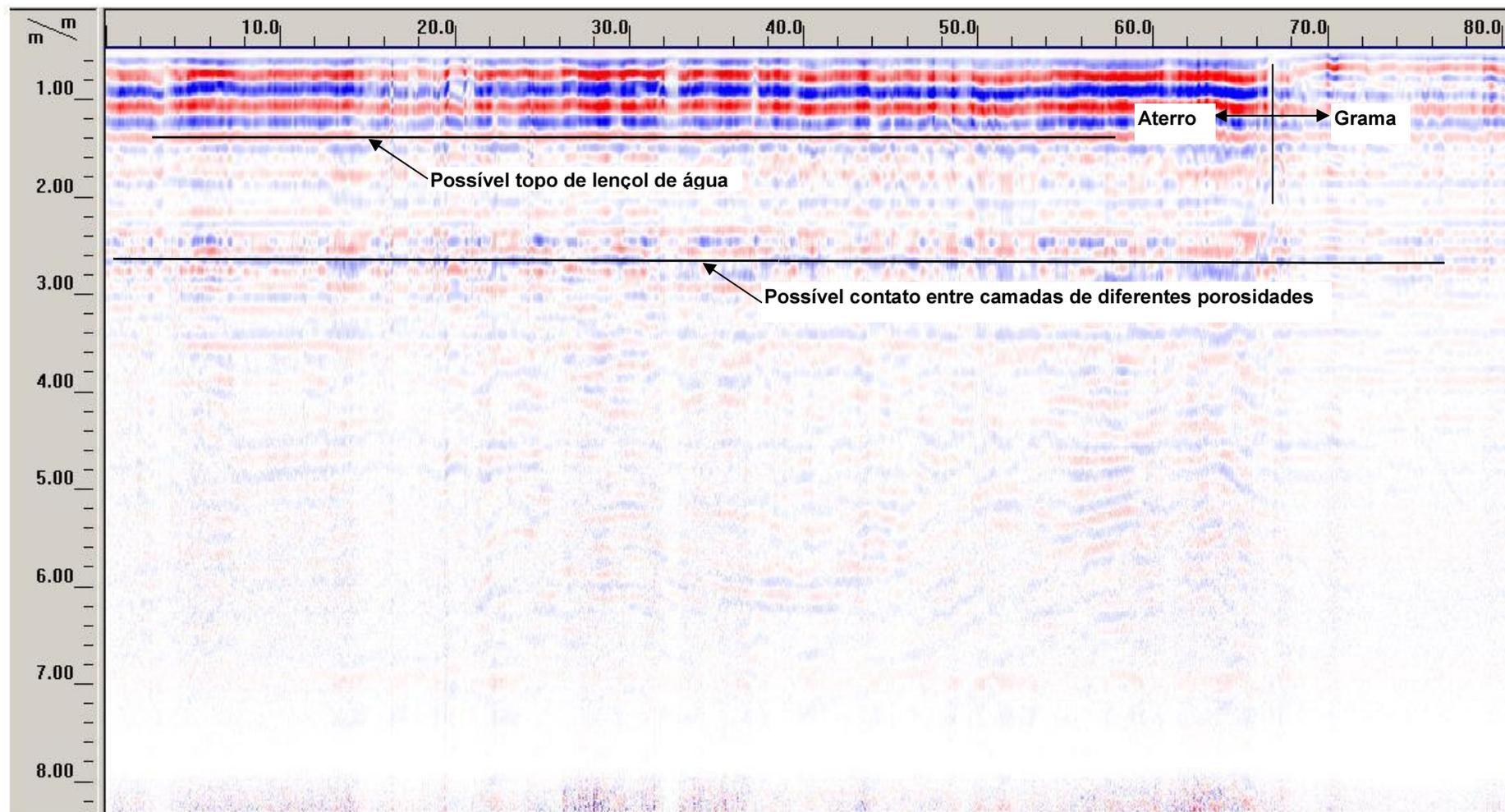


Figura 6.9 – Segundo perfil de GPR, na base do talude, próximo à surgência de água

Levando-se em consideração as informações passadas pela empresa contratada para a construção desta área de lazer sobre a metodologia empregada para compactação e regularização da área, é possível supor que o aterro nesta região tenha sido mal compactado. Esta área está localizada fora da zona de manobra dos caminhões que circulavam na época da construção do PG. Ademais, esta área está localizada muito próxima do pé do talude, o que pode ter dificultado o trabalho da motoniveladora que executou a regularização do aterro nesta região.

Conforme observado nos furos a trado realizados, uma camada menos porosa se encontra no horizonte mais superficial desta região, que por sua vez, pode estar sobrejacente a uma camada mais porosa proveniente da má compactação do aterro, e esta, localizada acima de uma camada menos porosa, contato representado pelo refletor horizontal a 2,60m de profundidade. Esta camada intermediária, mais porosa, pode estar armazenando água proveniente de vazamentos da rede de água do PG, uma vez que esta região se constitui numa bacia que pode receber contribuição de 3 dos seus 4 lados adjacentes, conforme pode ser observado na Figura 6.2.

Uma outra hipótese possível, concomitante ou não com a primeira hipótese levantada, está baseada nas informações passadas por esta empresa sobre a existência de uma nascente de água descoberta antes da construção da área de lazer. Como esta surgência só foi percebida após a construção do PG, é possível que a carga desta construção tenha propiciado seu aparecimento, sendo, portanto, este “bolsão” de água, correspondente a um aquífero confinado que pode ou não estar recebendo a contribuição de águas procedentes de vazamentos. Apesar de uma ligeira aleatoriedade nos resultados das análises químicas, observa-se que os resultados da condutividade e pH nas amostras dos furos 2 e 4 estão muito próximos dos valores normalmente registrados para águas de nascentes, valores de pH próximos de 6, conforme sugere Vaitsman (2005).

Com a finalidade confirmatória da existência deste “bolsão” de água, foram feitas mais duas aquisições de GPR. Uma delas, adquirida na rua de acesso à área de lazer e, a outra, adquirida na transversal do perfil 2, entre o campo de futebol e a casa de lazer, respectivamente perfis 3 e 4, que podem ser visualizados na Figura 6.5. Os respectivos radargramas processados são apresentados nas Figura 6.10 e 6.11.

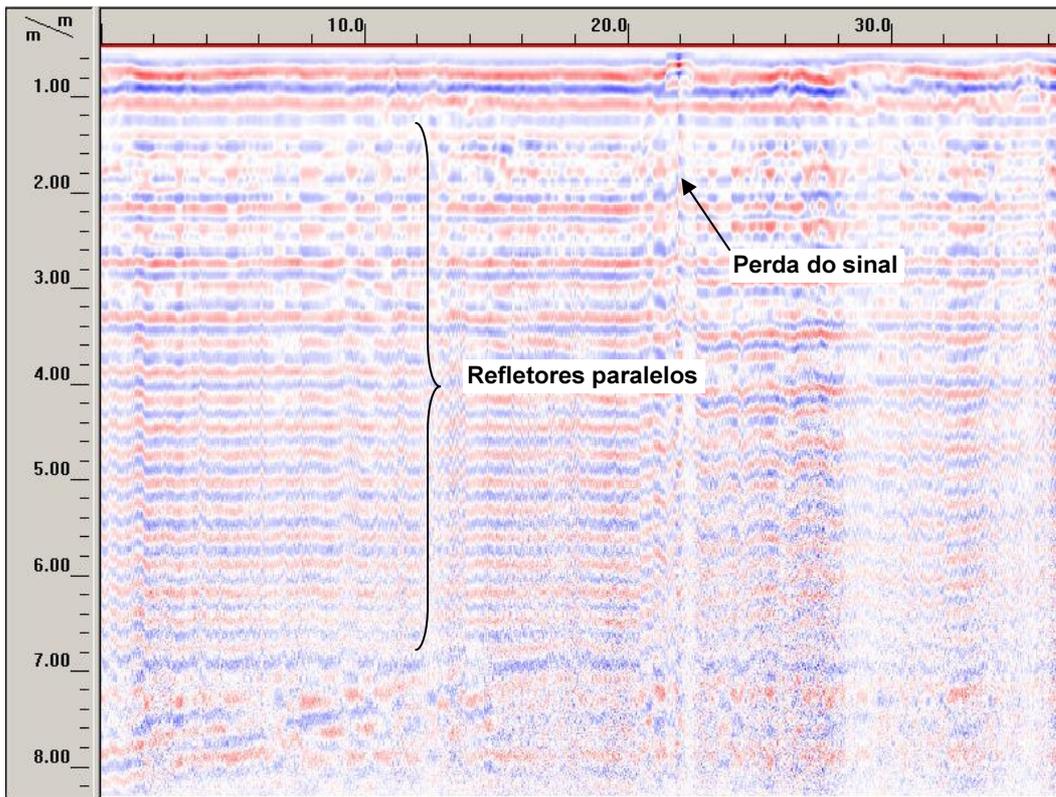


Figura 6.10 – Terceiro perfil de GPR adquirido na rua de acesso à área de lazer

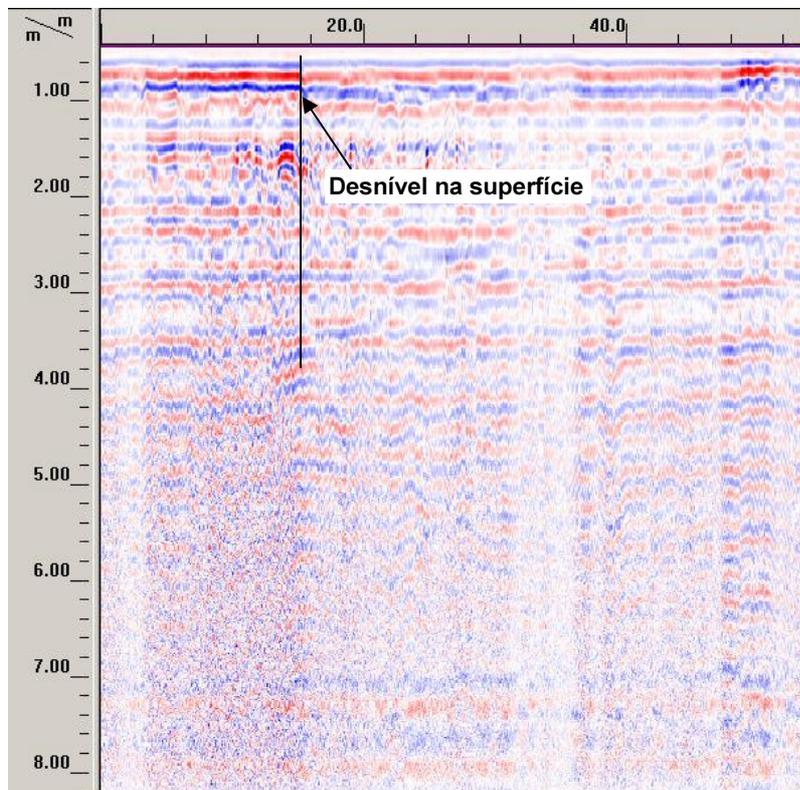


Figura 6.11 – Quarto perfil de GPR adquirido entre o campo de futebol e a casa de lazer

Em ambos os perfis apresentados não é perceptível a forte atenuação apresentada no perfil 2, correspondente à região de interesse, tampouco o refletor horizontal.

A aparência do sinal também se mostra diferente nestes perfis, mais nitidamente no perfil 3, quando comparado ao perfil traçado próximo ao local de surgência de água. Aparência de refletores paralelos superpostos pode ser decorrente das camadas de compactação que foram sendo gradativamente construídas ao longo do processo de deposição do material excedente da escavação seguido da compactação provocada pelo tráfego dos caminhões. Esta aparência de reflexão se assemelha muito aos perfis adquiridos sobre pavimentos que passaram por compactação controlada, como os apresentados em Grote *et al.* (2005).

Em novembro de 2004, após iniciados os trabalhos de pesquisa, a equipe do Globo encontrou um vazamento na portaria do Parque Gráfico, que depois de resolvido, ocasionou uma redução na conta de água do PG quase equivalente ao aumento anteriormente registrado. Analisando os resultados encontrados e sabendo da existência deste vazamento, supõe-se que o local onde ocorre a surgência de água pode estar ligado a um aquífero confinado que pode ou não estar recebendo contribuição de pequenos vazamentos da rede.

## **6.5. Considerações finais**

A investigação realizada à procura de vazamentos na rede hidráulica do Parque Gráfico do Jornal O Globo sugeriu a importância da execução de sondagens exploratórias para aumentar a confiabilidade da interpretação dos resultados. Embora o GPR identifique anomalias de sub-superfície, a exata identificação de feições geológicas (*e.g.*, posicionamento do nível d'água, contatos litológicos) só é possível por meio da realização de sondagens.

O emprego do TDR na determinação da constante dielétrica permite a determinação, com um grau de exatidão adequada, das profundidades das feições geológicas identificadas.

Além disto, a coleta de amostras para análises de propriedades físico-químicas (*e.g.*, teor de umidade, pH, condutividade elétrica, teor de sais solúveis) auxiliou a interpretação dos resultados das sondagens geofísicas.

A técnica *common offset* (CO) empregada com as antenas blindadas de 250MHz permitiu delimitar algumas regiões de atenuação do sinal do radar que aparentemente estão ligadas a regiões do solo que se encontram com maiores teores de umidade/porosidade.

Entretanto, a possibilidade da existência de um aquífero confinado não foi descartada. Os resultados das análises químicas e as informações coletadas junto à direção do Parque Gráfico sugerem que a surgência de água próxima ao campo de futebol pode estar relacionada à sua existência.