

**ORLANDO CAMPOS MACIEL JÚNIOR**

**ESTUDO DE MOVIMENTOS DE SUBSIDÊNCIA NA REGIÃO CENTRAL DE  
SÃO JOÃO DEL REI - MG**

Tese apresentada à  
Universidade Federal de Viçosa,  
como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia Civil, para  
obtenção do título de “Magister  
Scientiae”.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2001

**ORLANDO CAMPOS MACIEL JÚNIOR**

**ESTUDO DE MOVIMENTOS DE SUBSIDÊNCIA NA REGIÃO CENTRAL DE  
SÃO JOÃO DEL REI - MG**

Tese apresentada à  
Universidade Federal de Viçosa,  
como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia Civil, para  
obtenção do título de “Magister  
Scientiae”.

APROVADA: 03 de maio de 2001.

---

Prof<sup>a</sup> Aline W. B. de Carvalho

---

Prof. Enivaldo Minette  
Conselheiro

---

Prof. Frederico G. Sobreira

---

Prof. Waldyr L. de Oliveira Filho

---

Prof. Cláudio Henrique de Carvalho Silva  
Presidente

Aos meus pais e irmãos.

À minha namorada, Elza.

## **AGRADECIMENTO**

A Deus.

Ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa pela oportunidade de realizar este curso.

À Prefeitura Municipal de São João del Rei.

Ao secretário de Meio Ambiente da Prefeitura Municipal de São João del Rei, Marco Túlio Simões Coelho, pelo apoio dado a esse trabalho.

Ao Professor Paulo Roberto Antunes Aranha, da Universidade Federal de Minas Gerais, por viabilizar as investigações geofísicas.

Aos professores Eduardo Antonio Gomes Marques, Cláudio Henrique Carvalho Silva e Enivaldo Minette pela orientação.

Ao Professor Paulo Sérgio, pelas sugestões e apoio aos trabalhos de laboratório.

Ao funcionário do Laboratório de Engenharia Civil (LEC), Paulo Afonso da Silva, pelo apoio e companheirismo durante os trabalhos de campo.

Aos funcionários do LEC, Júlio e Paulo, pelo apoio aos ensaios de laboratório.

Aos amigos de república, Tatiana, Erisvaldo, Anderson, Camilo e Paulo, pela amizade e pelos bons momentos vividos durante esse período.

Aos companheiros de curso, Sérgio, Amaury e André.

## **BIOGRAFIA**

ORLANDO CAMPOS MACIEL JÚNIOR, filho de Maria Madalena César Maciel e Orlando Campos Maciel, nasceu em Barbacena, Minas Gerais, no dia 14 de junho de 1974.

Em 1992 ingressou na Universidade Federal de Viçosa, no curso de Engenharia Civil, tendo concluído o curso em dezembro de 1997.

Em abril de 1999, iniciou o curso de Mestrado em Engenharia Civil na UFV, submetendo-se à defesa de tese em maio de 2001.

## CONTEÚDO

<b>Resumo.....</b>	<b>VII</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>IX</b>
<b>1. Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1. Características do Problema.....	1
1.2. Objetivos.....	1
1.3. Delimitação da Área.....	2
1.4. Metodologia .....	2
<b>2. Aspectos Gerais do Problema .....</b>	<b>4</b>
2.1. Histórico do problema estudado .....	4
2.2. Geologia da área afetada .....	6
<b>3. Revisão de Literatura.....</b>	<b>9</b>
3.1. Oscilações induzidas no freático e suas conseqüências .....	9
3.2. Subsidência e colapso em áreas urbanas .....	12
3.3. GPR – “Ground Penetration Radar”: Princípios e Aplicações..	16
<b>4. Materiais e Métodos.....</b>	<b>28</b>
4.1. Cadastro da Área Afetada .....	29
4.2. Investigações de Campo .....	30
4.3. Ensaio de Laboratório .....	34
4.4. Monitoramento do Nível D’ Água (NA).....	36

<b>5. Resultados e Análises .....</b>	<b>37</b>
5.1. Cadastro da área afetada .....	37
5.2. Investigações de Campo .....	42
5.3. Ensaio de Laboratório .....	51
5.4. Monitoramento do nível d'água.....	52
<b>6. Conclusões e Sugestões.....</b>	<b>58</b>
6.1. Quanto à Geologia.....	58
6.2. Quanto à Variação do NA .....	58
6.3. Problemas de instabilidade encontrados .....	60
6.4. Sugestões.....	60
<b>7. Referências Bibliográficas .....</b>	<b>62</b>
<b>Anexo: Boletins de Sondagem SPT .....</b>	<b>64</b>

## RESUMO

MACIEL JÚNIOR, Orlando Campos, M. S., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2001. **Estudo de movimentos de subsidência na região central de São João del Rei - MG.** Orientador: Eduardo Antonio Gomes Marques. Conselheiros: Cláudio Henrique Carvalho Silva e Enivaldo Minette.

Este trabalho consta de uma investigação a respeito da origem de movimentos de terra na região central da cidade histórica de São João del Rei. A partir do ano de 1993, moradores do Bairro das Fábricas e adjacências, na região central de São João del Rei, começaram a notar, em suas residências, a presença de trincas que, em alguns casos, chegavam a medir mais de 3 cm de espessura, comprometendo a segurança de várias edificações. Estas movimentações começaram a ocorrer na época da instalação de um poço artesiano por parte do Departamento Autônomo Municipal de Água e Esgoto (DAMAE) e de poços artesanais nas fábricas de tecidos próximas à região afetada. Logo após a instalação do poço do DAMAE, a Escola Estadual Aureliano Pimentel, localizada em frente ao local de abertura do poço, teve de ser interditada devido à presença de grandes rachaduras que vieram a comprometer a sua estrutura. Foram realizadas sondagens com ensaio SPT e instalação de piezômetros, linhas de prospecção geofísica utilizando-se o GPR (ground penetration radar) e ensaios de laboratório (caracterização e adensamento). O GPR, aliado às sondagens, revelou um aluvião formado por uma camada de areia fina siltosa, com uma espessura média de 2 m, seguida de uma camada de silte argiloso mole variando entre 4 e 10 m. O monitoramento feito nos piezômetros

instalados indicou uma elevação do nível d'água durante os finais de semana nos piezômetros mais próximos à fábrica de tecidos e um cone de depressão em direção a esta fábrica, o que indica a influência do bombeamento na variação do nível d'água. Não foi possível testar o poço do DAMAE pois as bombas já haviam sido retiradas do local. No entanto, o histórico das movimentações e as características do aluvião indicam que este poço foi um dos principais responsáveis pelas movimentações, desencadeando um processo de subsidência que tende a se estabilizar com o tempo. Outro fator agravante foi que, segundo informações, há uma grande quantidade de poços clandestinos de baixa profundidade na região, que não nos foi possível cadastrar.

## ABSTRACT

MACIEL JÚNIOR, Orlando Campos, M. S., Federal University of Viçosa, March 2001. **Study about movements of subsidence in central part of São João del Rei City.** Adviser: Eduardo Antonio Gomes Marques. Committee members: Cláudio Henrique Carvalho Silva and Enivaldo Minette.

This report is on an investigation about the origins of small imperceptible earthquakes that affected the central part of historical São João del Rei City. From the year 1993 on, the habitants of a city district named Bairro das Fábricas and neighborhood, near downtown, started noticing fissures in the walls of their homes, some of them 3 or more centimeters wide, affecting the stability of several building. These earth movings started to happen when the installation of an artesian well by a Municipal Department (Departamento Municipal de Água e Esgoto – DAMAE) and other artesian wells in the fabric factories next to the affected region. Soon after the setting of the DAMAE's well, the State School Aureliano Pimentel, located in front of the place where the well was opened, had to be closed down owed to big fissures that came to damage its structure. SPT tests were done and so installation of meters of level of water, geophysical prospection lines, using GPR (Ground Penetration Radar) and laboratory tests (characterization and increase of density). The GPR, allied to soil drilling, revealed an alluvium constituted by a thin silty sand layer, with a medium 2 meters thickness, followed by a soft clayish silt layer that varies from 4 to 10 meters. The monitoring made by the settled meters of level of water had show an increasing in the water level during the weekends in the devices settled closer to the fabric

factory and a depression cone towards this factory, what means the influence of the bombings in the water level variations. It was not possible to test DAMAE's well since its bombs had already been taken away from their places. However, the history of the earth movements and the characteristics of alluvium show that this well was one of the main responsible for these movements, starting a process of subsidence which tends to become stable along the time. Another aggravating fact, according to some information, is that there are a lot of clandestine low deep wells in the neighborhood, what wasn't possible to certificate.

# **1. INTRODUÇÃO**

## **1.1. CARACTERÍSTICAS DO PROBLEMA**

A área em estudo trata-se de uma área urbana, com ocupação densa formada principalmente por edificações residenciais unifamiliares e comerciais, localizada na região central da cidade histórica de São João del Rei. Essas residências, em sua maioria, vêm sofrendo danos desde 1993, segundo moradores locais, tendo sido observadas ocorrências de trincas e rachaduras em pisos, paredes e lajes, ruptura de muros e abatimentos de pisos. As trincas observadas têm espessuras da ordem de 3 cm, com orientações aleatórias (verticais, diagonais ou acompanhando a argamassa da alvenaria), evidenciando quase sempre movimentos característicos de recalques diferenciais.

## **1.2. OBJETIVOS**

Este trabalho tem como objetivo investigar as causas do problema que vem ocorrendo nessas residências, com a elaboração de um parecer técnico-científico que possa servir de base para futuras iniciativas por parte da Administração Pública e do Ministério Público.

### 1.3. DELIMITAÇÃO DA ÁREA

A área afetada está situada no Centro do Município de São João del Rei, entre as ruas Professora Eugênia Veloso, Padre Faustino, Rodrigues de Melo e Coronel Tamarindo, se estendendo até o Bairro das Fábricas, entre a Rua João Costa e Avenida Leite de Castro, como mostra a Fig.1.1.

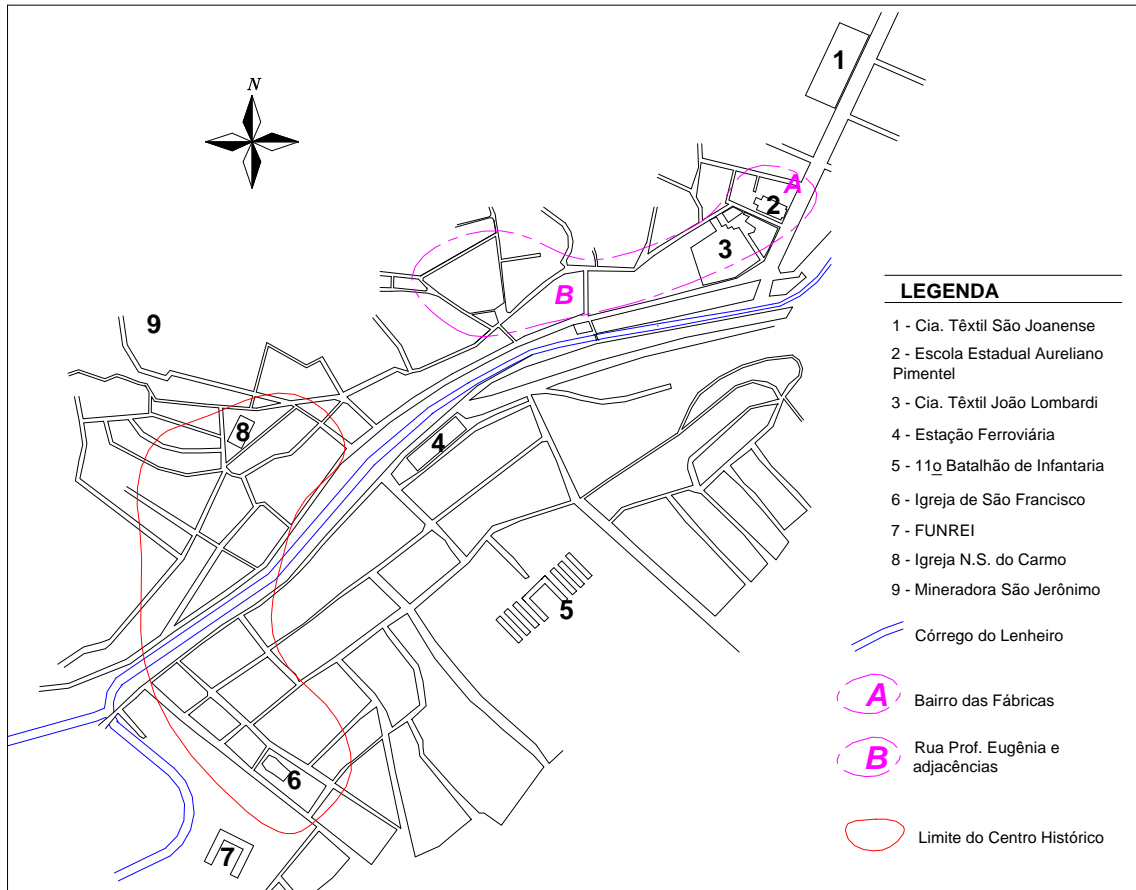


Figura 1.1: Localização da área afetada

### 1.4. METODOLOGIA

A execução deste trabalho seguiu uma seqüência metodológica dividida nas seguintes etapas:

- I. Inventário: coleta de material bibliográfico na Prefeitura Municipal de São João del Rei, Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM), no Departamento Municipal de Água e Esgoto (DAMAE) e em empresas privadas (Mineradora São Jerônimo e fábricas de tecidos São Joanense e João

Lombardi) que disponibilizaram dados de interesse à execução dos trabalhos previstos.

- II. Cadastro das casas afetadas na área de estudo: coleta de dados referentes às residências afetadas, a saber: presença de trincas, características das trincas (espessura e ocorrência), histórico do surgimento de trincas, localização, proprietário e grau de risco.
- III. Investigações de campo: locação, realização e descrição de sondagens a percussão com ensaio SPT, instalação de piezômetros e investigação geofísica utilizando-se o GPR (“Ground Penetration Radar”).
- IV. Monitoramento do nível d’água (NA): através de medições periódicas e sistemáticas do NA nos piezômetros e testes de bombeamento.
- V. Ensaio de laboratório: coleta e preparação de amostras e realização de ensaios de adensamento incremental e caracterização (LL, LP, granulometria e peso específico dos sólidos).
- VI. Tratamento e análise de dados e redação final.

## **2. ASPECTOS GERAIS DO PROBLEMA**

### **2.1. HISTÓRICO DO PROBLEMA ESTUDADO**

Segundo HORTA (1995), a população do Bairro das Fábricas, como também as fábricas de tecidos localizadas na região, era abastecida por uma nascente, localizada próxima à E. E. Aureliano Pimentel, onde foi construída uma captação superficial. Em novembro de 1993, esta nascente secou, motivo que induziu à construção dos seguintes poços artesianos:

- I. Poço da Tecelagem João Lombardi: com vazão de 24.000 l/h, perfurado em quartzito são, com diâmetro 15 cm (6 ") e profundidade de 48 m, em que foi observado um rebaixamento de 13,50 m no nível d'água do poço". Este poço foi perfurado em novembro de 1993 e encontra-se atualmente em operação;
- II. Poço 1, da Tecelagem São Joanense: com vazão de 14.400 l/h, perfurado em sedimentos aluvionares (até cerca de 20 m de profundidade), mica-xistos (entre 20 e 60m de profundidade), e quartzitos (entre 60 e 90m de profundidade), diâmetro 15 cm, e para o qual foi observado um rebaixamento de 20 m. Perfurado em junho de 1995 e encontra-se atualmente em operação;
- III. Poço 2, da Tecelagem São Joanense: com vazão de 31.000 l/h, perfurado em sedimentos aluvionares (até cerca de 28 m de profundidade), xistos (entre 28 e 36 m de profundidade) e quartzitos (entre 36 e 80 m de profundidade), diâmetro

de 15 cm, e para o qual foi observado um rebaixamento de apenas 1 m. Este poço foi perfurado em julho de 1995 e encontra-se, pelo que nos foi possível apurar, desativado;

IV. Poço do DAMAE: com vazão 40.000 l/h, situado à Avenida Leite de Castro, em frente à Escola Estadual Aureliano Pimentel, com diâmetro de 15 cm e profundidade de 29,60 m, para o qual foi anotado um rebaixamento de 5 m. Segundo informações, este poço foi perfurado em 1994, tendo sido desativado em 1995.

Após o início da atividade do poço do DAMAE, puderam ser observados os seguintes fatos:

- Rachaduras e trincas generalizadas nas edificações vizinhas ao poço;
- Esgotamento de três cisternas (poços tubulares) existentes na região afetada;
- Interdição da Escola Estadual Aureliano Pimentel, devido à presença generalizada de trincas que comprometiam a estrutura da edificação.

É importante salientar que o poço do DAMAE foi perfurado sem assistência técnica de uma empresa especializada no ramo (SILVA & CECÍLIO, 1997).

Outro fator que também levantou suspeitas quanto à influência no problema em questão foi o fato de haver, nesta cidade, a presença de antigas galerias de mineração de ouro (betas). No entanto, o que mais reforçou esta suspeita foi o início das atividades de pesquisa na mineradora São Jerônimo, que coincidiu com a época em que se iniciou o surgimento de trincas.

A Figura 2.1 mostra um mapa da região afetada com a localização das principais ruas do Bairro das Fábricas, indústrias, escolas e poços atualmente em operação.

## **2.2. GEOLOGIA DA ÁREA AFETADA**

A área afetada está situada na porção central da Província Geotectônica da Mantiqueira, constituída por rochas de idade Arqueana, intensamente reestruturadas durante o Proterozóico Superior (D'ELBOUX & DA SILVA, 2000).

As rochas subjacentes, que constituem o embasamento regional, pertencem ao Complexo Barbacena, em que predominam os ortognaisses, migmatitos e alguns prováveis enclaves de metaultrabásicas e metassedimentos pertencentes ao Grupo Rio das Velhas (D'ELBOUX & DA SILVA, 2000).

Sobre o embasamento, ocorre o Grupo São João del-Rei, pertencente ao Proterozóico Superior e constituído pelas Formações Carandaí, Tiradentes, Barroso e Prados.

Dentre essas, destacam-se os quartzitos da Formação Tiradentes e os filitos da Formação Prados. Os quartzitos pelo fato de ocorrerem em contato direto sob os filitos da Formação Prados e por serem as rochas em que ocorrem as mineralizações auríferas exploradas na região e os filitos por formarem o substrato rochoso da área afetada.

Na área afetada, a camada geológica mais superficial é constituída por um depósito aluvionar, caracterizado pela elevada heterogeneidade granulométrica, apresentando camadas ou lentes constituídas por areias, siltes e argilas, intercaladas. Este depósito aluvionar está diretamente assente sobre os filitos da Formação Prados e em contato com os quartzitos da Formação Tiradentes.

A existência de camadas e lentes intercaladas de areia e silte, com menores quantidades de argila, características de depósitos de rios (aluviões), é de extrema importância na caracterização e identificação da origem dos problemas que resultaram no surgimento de rachaduras e trincas dos imóveis afetados.

Os materiais aluvionares presentes caracterizam-se por apresentarem propriedades geotécnicas extremamente distintas, a permeabilidade e a compressibilidade. Enquanto as areias apresentam elevada permeabilidade e baixa compressibilidade, fazendo com que a retirada de água nestes materiais produza recalques rápidos e de pequeno valor, as argilas apresentam baixíssima permeabilidade e elevada compressibilidade, o que resulta em recalques

extremamente lentos, cujas magnitudes finais dependem das propriedades geotécnicas, da espessura de cada camada e das solicitações impostas ao longo do tempo. Os siltes, por sua vez, mostram características intermediárias entre estes dois materiais.

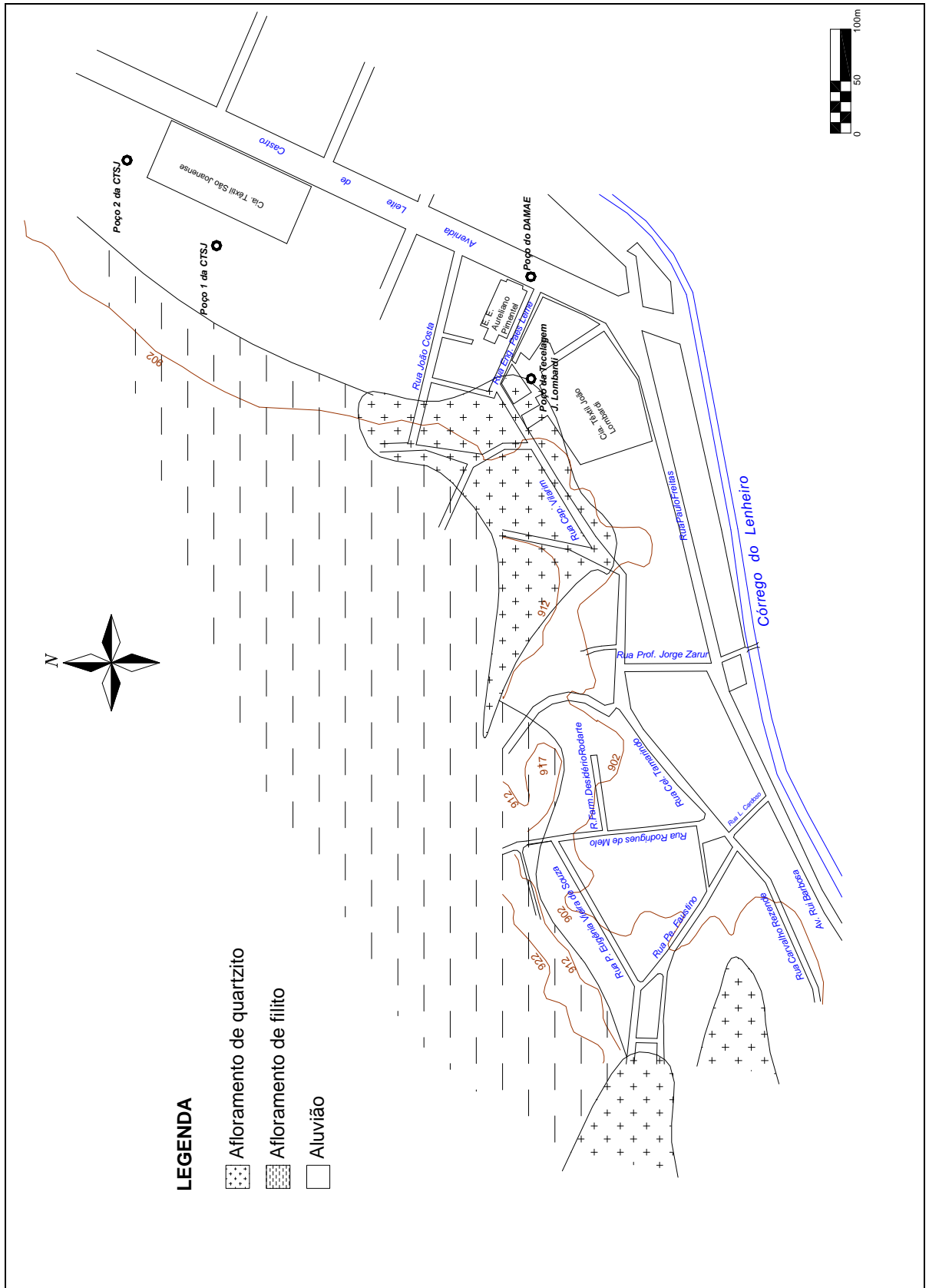


Figura. 2.1: Mapa da área afetada com a localização dos poços e esboço geológico.

## **3. REVISÃO DE LITERATURA**

### **3.1. OSCILAÇÕES INDUZIDAS NO FREÁTICO E SUAS CONSEQÜÊNCIAS**

#### **3.1.1. A água subterrânea**

Genericamente pode-se definir “água subterrânea” como sendo aquela que ocorre no subsolo e preenche os espaços vazios do solo ou rocha ali existentes. Quando formações geológicas armazenam água e a liberam em quantidade suficiente para uso em determinado fim, são denominadas aquíferos. Existem três tipos de aquífero, de acordo com o material que o constitui e com a forma como a água é armazenada:

- 1) Granulares: compostos por materiais granulares, em que a água ocorre ocupando os espaços intergranulares. Este caso ocorre quando o aquífero é uma camada de solo.
- 2) Fissurados: compostos por rochas duras, compactas, em que a água ocorre ocupando fissuras, fendas ou fraturas dessa rocha, como em quartzitos.
- 3) Cársticos: compostos por rochas duras ou por materiais granulares, em que a água ocorre ocupando os espaços vazios formados pela dissolução do material original, como em cavernas formadas em rochas calcáreas.

A superfície superior da água em um aquífero pode estar submetida a pressões iguais ou superiores à atmosférica. No primeiro caso, os aquíferos são ditos freáticos ou livres e, no segundo, confinados.

Estando sempre em movimento, a água ao se precipitar sobre um terreno tem uma parte escoada; outra evapora e uma última parte penetra no solo. Ao se infiltrar, uma porção de água fica retida na parte superior da camada de solo e o excedente alimentará o lençol freático. Sendo assim, os lençóis freáticos submetidos somente aos processos naturais do ciclo hidrológico oscilam sazonalmente, ascendendo em períodos de chuva e rebaixando nos períodos de estiagem para a sua posição natural (ALBUQUERQUE FILHO, 1995).

### 3.1.2. Rebaixamentos do lençol freático

A intervenção antrópica desorganizada, alterando quaisquer dos estágios do ciclo natural da água, seja pela retirada ou pelo acréscimo de água ao sistema, quer pelo truncamento do movimento natural das águas ou pela introdução de novos componentes no meio, poderá ocasionar conseqüências bastante danosas para o próprio uso e ocupação do solo estabelecidos no meio ambiente onde se insere o aquífero freático (ALBUQUERQUE FILHO, 1995).

A execução de poços de bombeamento (captação) de água subterrânea implica, para cada poço, o surgimento de um cone, denominado cone de depressão, resultante do rebaixamento do nível d'água próximo ao poço, para a vazão bombeada.

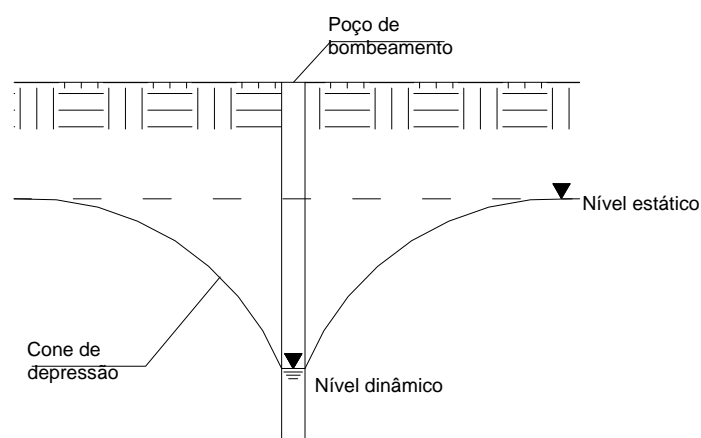


Fig. 3.1: Cone de depressão formado por um poço de bombeamento

Assim, para cada poço, as dimensões do cone de depressão dependem da vazão retirada em cada poço e das propriedades do material existente em subsuperfície, notadamente sua transmissividade hidráulica e seu coeficiente de armazenamento. A realização de poços próximos uns aos outros produz um efeito somatório destes cones, resultando em um rebaixamento geral do nível d'água.

O rebaixamento do lençol freático pode ocorrer também devido ao impedimento da reposição de água no subsolo. Isso pode se dar devido à impermeabilização da superfície ou a ações que diminuam o tempo de permanência da água oriunda de precipitação pluviométrica, como no caso de remoção da cobertura vegetal, conforme mostra o Quadro 3.1.

<b>Causa</b>	<b>Alterações no meio físico</b>	<b>Repercussões no uso e ocupação do solo</b>
Extração da cobertura vegetal	Redução na taxa de recarga natural Diminuição regional a espessura saturada	Aumento da dificuldade de acesso às águas subterrâneas Perdas de pontos de captação instalados Redução da disponibilidade de água para abastecimento.
Construção de canais superficiais	Diminuição da espessura saturada Decréscimo da umidade de solos superficiais Recalques em camadas	Aumento da dificuldade de acesso a águas subterrâneas Perda de pontos de captação instalados Redução da disponibilidade de água para abastecimento Danificação de construções e outros equipamentos instalados Perda de produtividade de áreas agriculturáveis
Impermeabilização da superfície do solo	Decréscimo na taxa de recarga natural Diminuição da espessura saturada	Aumento da dificuldade de acesso a águas subterrâneas Perda de pontos de captação instalados Redução da disponibilidade de água para abastecimento
Construção de túneis em áreas urbanas	Diminuição da espessura saturada Recalques em camadas drenadas	Perda de pontos de captação instalados Redução da disponibilidade de água para abastecimento Danificação de construções e outros equipamentos instalados

<b>Causa</b>	<b>Alterações no meio físico</b>	<b>Repercussões no uso e ocupação do solo</b>
Bombeamento de aquífero	<p>Diminuição da espessura saturada</p> <p>Recalques em camadas drenadas</p> <p>Subsidência acentuada do terreno</p> <p>Avanço da cunha salina (aquífero costeiro)</p>	<p>Restrição do uso de água subterrânea</p> <p>Esgotamento do manancial</p> <p>Perdas de pontos de captação instalados</p> <p>Danificação e/ou destruição de construções e outros equipamentos instalados</p>
Implantação de cavas ou túneis de mineração	<p>Diminuição da espessura saturada</p> <p>Diminuição da umidade dos solos</p>	<p>Aumento da dificuldade de acesso às águas subterrâneas</p> <p>Perdas de pontos de captação instalados</p> <p>Diminuição de volumes disponíveis para abastecimento</p> <p>Danificação e/ou destruição de construções e outros equipamentos instalados</p> <p>Perda de produtividade de áreas agriculturáveis</p>

*Quadro 3.1: possíveis alterações sobre o meio físico e repercussões no uso e ocupação do solo devidos ao rebaixamento do lençol freático (ALBUQUERQUE FILHO, 1995).*

## **3.2. SUBSIDÊNCIA E COLAPSO EM ÁREAS URBANAS**

### **3.2.1. Subsidência em argilas moles**

O rebaixamento do nível d'água provoca, no solo, em consequência do aumento do seu peso específico aparente – não mais sujeito ao empuxo hidrostático – um acréscimo de pressão entre as partículas constituintes do terreno (CAPUTO, 1987).

A pressão atuante nos contatos entre as partículas é denominada de tensão efetiva ( $\sigma'$ ), sendo responsável por todas as características de resistência e deformação do arcabouço sólido do solo.

Segundo TERZAGHI (1943), a tensão efetiva é definida pela seguinte expressão:

$$\sigma' = \sigma - u$$

Onde:

$\sigma'$  – tensão efetiva

$\sigma$  - tensão total

$u$  – tensão neutra

Um rebaixamento no nível d'água tem, como conseqüência, uma diminuição no nível de tensão neutra, o que leva a um aumento do valor da tensão efetiva. Um aumento no nível de tensões efetivas em um solo de elevada compressibilidade, como argilas moles, produzirá uma significativa diminuição no índice de vazios desse solo. Se os vazios desse solo estão completamente preenchidos por água, um aumento no nível de tensões efetivas terá como conseqüência uma expulsão da água contida neste solo. Este processo envolvendo uma diminuição da quantidade de água contida em um solo saturado sem a sua reposição é chamado de processo de adensamento (TERZAGHI, 1943).

### **3.2.1.1. O caso da Cidade do México**

É sabido que os mais sérios problemas de fundação, talvez em todo o mundo, ocorrem na Cidade do México, dadas as condições geológicas do seu subsolo. Ele é constituído, na sua camada superior, com mais de 30 m de espessura, por diversos horizontes de argila de consistência mole e elevado teor de umidade, entremeados por horizontes de areias vulcânicas. Subjacente a essa camada, e à medida que aumenta a profundidade, encontram-se horizontes de argilas, areias e pedregulhos, estes aglutinados por cimento vulcânico. Somente a 65 m de profundidade aparecem solos de alta resistência (CAPUTO, 1987).

É um fato comprovado que os aquíferos existentes na Cidade do México estiveram sujeitos a pressões artesianas, inclusive os relativamente pouco profundos. Hoje, o bombeamento produzido com fins de abastecimento de água para a zona urbana produziu abatimentos nos níveis piezométricos, em alguns casos superiores a 20 m (BADILLO & RODRÍGUEZ, 1979).

Tomando-se como referência os últimos anos do século 19, o recalque gerado pelo bombeamento foi da ordem de 5 m na Catedral, 6 m na Rua de

Tacuba e Alameda Central e de 7 m na zona próxima ao cruzamento das avenidas Juárez e Reforma. Atualmente os recalques ocorrem como uma função linear do tempo, mas é muito variável de um ponto a outro da cidade. A taxa de recalque anual varia entre 5 e 20 cm/ano. Os estratos argilosos encontrados em profundidades menores que 50 m são os principais responsáveis por esse fenômeno, principalmente os compreendidos entre 20 e 50 m de profundidade (BADILLO & RODRÍGUEZ, 1979).

### **3.2.1.2. Exemplo de um estudo de caso de subsidência: Bairro de Santo Amaro, São Paulo (MAGALHÃES et al, 1996)**

No Bairro de Santo Amaro, zona sul do município de São Paulo, verificou-se, na década de 70, o início de fenômenos de subsidência profunda, que em superfície atingiu a ordem de 30 cm de recalque, provocando sérios danos a construções industriais.

Foram realizados estudos que compreenderam a análise dos dados geológicos locais e regionais, levantamentos geofísicos por métodos geoeletricos, análises do comportamento do lençol freático e dos recalques ocorridos.

A área afetada apresenta, como substrato rochoso, gnaisses do complexo Gnáissico Migmatítico e espessuras de solos de alteração que variam de 30 a mais de 65 metros, sendo capeado por sedimentos modernos, com espessuras da ordem de 10 metros.

Foram observadas variações cíclicas no nível d'água em um piezômetro instalado na área afetada. No período noturno e fins de semana o nível d'água dinâmico mostrou uma recuperação (elevação) e no período diurno ocorreu um rebaixamento. Esta oscilação foi da ordem de 20 a 30 cm durante a semana, atingindo 70 cm nos finais de semana, o que mostrou uma clara ligação com o regime de trabalho das indústrias próximas e, conseqüentemente, com o regime de exploração dos seus poços.

Observou-se que toda a área sofreu recalques, sendo que os máximos se situaram próximos à zona de maior rebaixamento do nível d'água, onde se encontram maiores espessuras de solo.

Constatou-se então que o fator desencadeador dos recalques foi o rebaixamento do nível freático, causado pelo bombeamento dos poços profundos.

A velocidade dos recalques aumentou quando o poço de abastecimento instalado na área entrou em operação.

### **3.2.2. Subsidência e colapsos em áreas cársticas**

A evolução do carste coberto tem como condicionante básica e universal a existência, no subsolo, de calcários fraturados, que permitem a percolação de águas vindas de superfície. Em clima tropical, águas subterrâneas contêm ácidos orgânicos (húmico, tânico, fúlvico) e ácido carbônico, ambos gerados pela intensa atividade biológica nos solos, que as tornam muito mais agressivas e eficientes na dissolução dos carbonatos que em outros climas, mais frios e secos (JACKUSCS & BARANY citado por ALBUQUERQUE FILHO, 1995).

Esse efeito de dissolução alarga as fraturas, criando cavidades em rochas calcáreas, que se propagam pelo solo em contato com o maciço rochoso. O processo de carstificação se dá, primeiramente, pela formação de cavidades de dissolução no calcário, que muitas vezes se transformam em aquíferos. Posteriormente estas cavidades levam à formação de cavidades nos solos que capeiam o calcário, gerando cavidades no subsolo e movimentações em superfície (subsidência e colapso).

As variações de nível das águas de percolação e as conseqüentes variações de pressão e da velocidade de fluxo, juntamente com a ação da gravidade, formam um dos principais conjuntos de agentes da deflagração e evolução de cavidades em rochas calcárias. Essas oscilações podem ser mais atuantes na mobilização de solos quando adquirem intensidade e freqüências mais amplas, como as provocadas pela exploração de água subterrânea intensa e sistemática (NAKAZAWA et al, 1995).

Vibrações, como as originadas pelo uso de explosivos, podem ter um papel importante na evolução acelerada das cavidades em solo.

Um exemplo típico de colapso em áreas cársticas aconteceu em Cajamar, SP, onde foi descoberta, em agosto de 1996, uma caverna subterrânea que abriu uma cratera de 14 metros de diâmetro, causando rachaduras em várias casas e desabrigando 15 famílias (JORNAL DO BRASIL, 14/08/1986).

Em outubro de 1987 e março de 1988, a cidade de Sete Lagoas, MG, experimentou danos ligados à subsidência e colapso. Esta cidade está situada

sobre um terreno cárstico e, coincidentemente ou não, esses eventos se deram após a entrada em funcionamento de uma siderúrgica inteiramente abastecida por poços profundos (NAKAZAWA et al, 1995).

### **3.2.3. Subsidiência em solos colapsíveis**

Os recalques dos terrenos de fundação decorrentes do colapso do solo e suas conseqüências mais comuns, como danificação de edificações, de obras de infra-estrutura e de leitos viários, figuram como problemas importantes e cada vez mais freqüentes nas áreas urbanas e industriais (NAKAZAWA et al, 1995).

As subsidiências em áreas de solos colapsíveis ocorrem pelo abatimento do terreno decorrente do adensamento do solo quando inundado, em conseqüência do colapso de sua estrutura. Esses solos sofrem uma brusca variação do índice de vazios quando inundados.

## **3.3. GPR – “GROUND PENETRATION RADAR”: PRINCÍPIOS E APLICAÇÕES**

### **3.3.1. Introdução**

O GPR (“Ground Penetration Radar”) é um método de investigação geofísica, não destrutivo, que produz um perfil cruz-seccional contínuo ou registro de características de subsuperfície, sem perfurar, sondar ou cavar e se baseia na propagação de ondas eletromagnéticas no subsolo. O GPR é também denominado georadar, radar de penetração no solo ou radar de subsuperfície (OLHOEFT, 2000).

### **3.3.2. Aplicações do GPR**

O GPR tem provado ser uma técnica eficaz na obtenção de dados de subsuperfície importantes para a compreensão de muitos problemas ambientais e de geologia, incluindo:

- Determinação de profundidade, espessura e caracterização de solos e maciços rochosos;
- Locação/mapeamento de materiais enterrados;
- Locação/mapeamento de tanques enterrados, utilidades e trincheiras;

- Delineação de plumas de contaminantes e derramamentos de produtos;
- Locação/mapeamento de carstes e caracterização de canais subterrâneos;
- Descoberta de vazios e descontinuidades em pistas, barragens e fundações.

### **3.3.3. Histórico**

A primeira investigação de subsuperfície utilizando-se de um radar foi realizada na Áustria, em 1929, para sondar a profundidade de uma geleira. A tecnologia foi esquecida até os anos 50, quando radares da força aérea norte-americana sondaram áreas cobertas de gelo na Groelândia, à procura de possíveis locais propícios para aterrissagem de aeronaves. Isto deu início às investigações com radar na área, não só de sondagem de subsuperfície em gelo, mas também mapeando propriedades de subsolo e de nível d'água (OLHOEFT, 2000).

Antes de meados dos anos 70, não havia nenhuma empresa especializada na fabricação deste equipamento, tendo o pesquisador que fabricar o seu próprio GPR. Mas, em 1972, Rex Morey e Arte Drake fundaram a Geophysical Survey Systems Inc. para comercializar sistemas de radar penetrantes. Assim começou uma explosão de aplicações, publicações e pesquisa, nutrida em grande parte através de contratos de pesquisa com o Centro de Pesquisa Geológica do Canadá, o Laboratório de Pesquisa em Regiões Frias do Laboratório do Exército Norte Americano (CRREL) dentre outros. Foram desenvolvidos radares deste tipo primeiramente para aplicações militares, como localização de túneis no subsolo entre a Coreia do Norte e do Sul. O uso do GPR na localização e mapeamento em outras linhas de atividades foi o assunto de muitas pesquisas, conduzidas tanto pelo exército como por organizações comerciais (DOLPHIN, 2000).

Há hoje mais de 300 patentes relacionadas ao GPR em todo o mundo, várias companhias que fazem equipamentos em escala comercial, muitas companhias que oferecem o GPR como um serviço, além muitas instituições que executam pesquisas nesta área.

### **3.3.4. Descrição do processo**

O GPR opera transmitindo pulsações de ondas de rádio de altas frequências (pulsos eletromagnéticos) no subsolo por uma antena transmissora. A energia transmitida é refletida por vários objetos enterrados ou contatos distintos entre diferentes camadas de solo. A antena receptora recebe os sinais refletidos que são armazenados na unidade de controle digital. Quando o sinal transmitido penetra no solo, contata objetos ou estratos de subsolo com diferentes condutividades elétricas. Parte das ondas de radar penetrantes é refletida pelo objeto ou interface, enquanto o resto das ondas atravessa para a próxima interface. Os sinais refletidos são captados pela antena receptora e recebidos pela unidade de controle digital que registra a energia refletida versus o tempo de viagem de ida e volta, em nanosegundos, e então amplia os sinais. As produções de cumes de voltagem notáveis são plotadas no perfil como faixas de cor diferentes pela unidade de controle digital. Para cada onda refletida, o sinal de radar muda a polaridade duas vezes, produzindo três faixas no perfil para cada interface contatada pela onda de radar (DOLPHIN, 2000).

### **3.3.5. Alcance e Resolução**

O GPR pode alcançar profundidades até 30 metros em materiais de baixa condutividade como areia seca ou granito. Argilas, xistos, e outros materiais de condutividade elevada, podem atenuar ou absorver os sinais do GPR, diminuindo significativamente a profundidade de penetração para 1 metro ou menos (DOLPHIN, 2000).

A profundidade de penetração também é determinada pela antena de GPR usada. Antenas com baixas frequências, de 25 a 200 MHz, obtêm reflexões de subsuperfície em maiores profundidades (aproximadamente 10 a 30 m ou mais), mas têm baixa resolução. Estas antenas de baixa frequência são usadas tanto para investigar a geologia de um local, como para localizar fraturas e grandes objetos enterrados em grandes profundidades (DOLPHIN, 2000).

Antenas com frequências mais altas, de 300 a 1000 MHz, obtêm reflexões de profundidades rasas (0 a aproximadamente 10 metros) e têm resolução alta. Estas antenas de frequências altas são usadas na investigação de solos superficiais e na localização de objetos enterrados, pequenos ou grandes, em pequenas profundidades.

A resolução das reflexões do radar pode ser melhorada aumentando-se a frequência das ondas de radar transmitidas no solo. Isto é obtido usando-se antenas diferentes, disponíveis para o sistema de radar. Porém, há uma relação inversa entre resolução aumentada e profundidade de penetração. Em condições boas, numa frequência entre 900 e 500 MHz, os sinais emitidos pelas antenas são capazes de penetrar de 1,5 a 5 metros no solo com resolução na ordem de 15 a 60 cm. Antenas de 300 a 80 MHz podem atingir profundidades variando entre 9 e 24 m, com resolução na ordem de 0,15 a 1 m.

### **3.3.6. Influência das Propriedades Elétricas do Meio**

Profundidades para camadas de solo ou objetos enterrados são proporcionais ao tempo que leva a pulsação de radar para viajar da antena transmissora para o objetivo e voltar para a antena receptora. Este tempo é chamado tempo de viagem de ida e volta e depende das propriedades dielétricas do meio pelo qual viaja a pulsação do radar. Estas propriedades dielétricas são uma função complexa da composição, do conteúdo e da umidade do solo e da rocha. Em quase todos os casos, o teor de umidade tem grande influência porque a água tem uma constante dielétrica muito alta comparada à de solos e rochas. Quanto maior o grau de saturação, mais baixa é a velocidade da onda e maior será o tempo de viagem de ida e volta (OLHOEFT, 2000).

A velocidade de uma onda eletromagnética se relaciona com as propriedades elétricas do meio da seguinte forma:

$$Velocidade = v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

Onde:

$\epsilon$  = permissividade elétrica do material

$\epsilon_0$  = permissividade no vácuo =  $8,85 \times 10^{-12}$  F/m

$\epsilon_r$  = constante dielétrica ou permissividade relativa

$c$  = velocidade da luz no vácuo

O quadro 3.2 nos mostra a velocidade da onda eletromagnética e as propriedades elétricas em alguns materiais.

material	$\epsilon_r$	v (m/ns)
Ar	1	0,30
Água Dest.	80	0,033
Granito	4-6	0,11-0,13
Xisto	5-15	0,08-0,13
Argila	5-40	0,06-0,15
Silte	5-30	0,07
Areia Seca	3-5	0,15
Areia Sat.	20-30	0,06
Gelo	3-4	0,16

Quadro 3.2: Propriedades eletromagnéticas de alguns materiais.

### 3.3.7. Procedimentos de Campo

O GPR pode ser operado de duas maneiras distintas, no que diz respeito ao número de antenas:

- **Monostático:** utiliza apenas uma antena que primeiro envia e depois recebe o sinal do GPR.

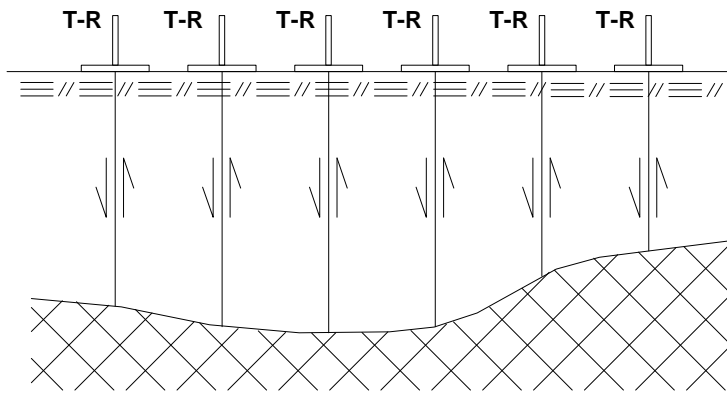


Fig. 3.2: Croqui esquemático da investigação com uma antena.

- **Biestático:** utiliza duas antenas, uma transmissora e uma receptora.

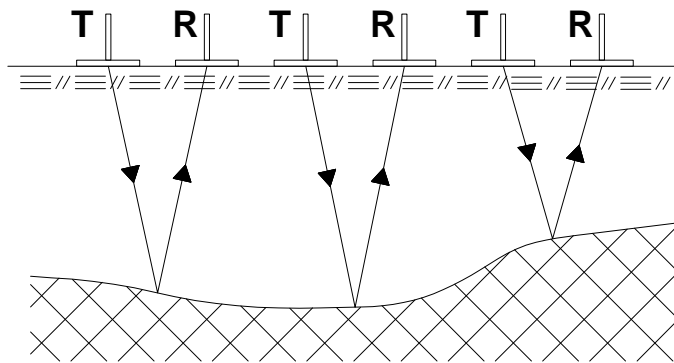


Fig. 3.3: Croqui esquemático da investigação com duas antenas.

Ambos os sistemas captam de cada vez um único ponto na subsuperfície. No caso do biestático, sendo constante a distância entre as duas antenas, o único ponto colecionado é o ponto médio entre antenas (na realidade isto acontece quando os objetivos são paralelos à superfície). Quando se usa o método com duas antenas, pode-se atingir o objetivo enterrado sob vários ângulos. Neste caso, o problema principal é a interação entre antenas transmissora e receptora (NEVES, 1997).

Os objetivos do projeto e as condições do local geralmente determinarão a configuração do radar usada para a pesquisa. Estas considerações incluem:

- Freqüência da antena: função da profundidade e resolução desejada;

- Movimento da antena: resolução lateral, comprimento do perfil.

Normalmente os fatores mais importantes são a resolução vertical e a profundidade de penetração do radar. Estes fatores são alcançados usando uma antena de frequência apropriada (80-900 MHz). Trabalhos detalhados em pequenas espessuras de concreto ou localização de objetos enterrados, tanques, ou pequenas fissuras requerem uma antena de 900 MHz.

#### **3.3.7.1. Modo de investigação contínua**

Este método é utilizado quando a antena, ou par de antenas, precisa ser movida continuamente ao longo de uma superfície rochosa ou pela superfície do solo. Pode ser dificultado se a superfície rochosa é muito irregular ou se o espaço a ser investigado for muito confinado.

É também muito importante que o operador mantenha uma velocidade constante. Em investigações de subsolo a antena deve ser movida em baixas velocidades por duas razões:

- O operador tem um melhor controle sobre o movimento da antena ou par de antenas;
- uma maior quantidade de dados é coletada em menores distâncias.

A localização de camadas profundas de argila ou canais enterrados requer uma antena de 80 a 120M Hz. Se a resolução lateral não for crítica, como em um mapeamento geológico de grandes áreas, uma antena de 80 a 300 MHz pode ser rebocada atrás de um caminhão.

Para aplicações críticas, a antena deve ser movida manualmente pelo local da investigação ou por um sistema de manivela lento e fixo. Este modo de aquisição proverá localizações precisas de tanques enterrados, tubos etc. Para perfis longos, a parte eletrônica pode ser movida em um carro juntamente com a antena (NEVES, 1997).

### 3.3.7.2. Modo de investigação passo a passo

Neste modo de investigação os dados são coletados ponto a ponto ao longo do comprimento do perfil. A vantagem deste método é que ele é menos turbulento e a antena fica imóvel durante a coleta de dados, o que faz com que a orientação da antena em relação ao perfil possa ser mais bem controlada.

É muito importante que os pontos de coleta de dados não sejam muito afastados, o que comprometeria a resolução lateral e a interpretação dos dados (NEVES,1997).

### 3.3.8. Métodos de investigação

Em vários casos, as propriedades elétricas do meio, solo ou rocha, onde está sendo feita uma investigação, não são conhecidas. Neste caso, essas propriedades podem ser determinadas através de dois métodos de investigação: Método do Ponto Médio Comum e Método da Tomografia. Ambos os métodos requerem o uso de duas antenas, uma transmissora e outra receptora.

Estes métodos assumem que o meio em estudo é homogêneo no que diz respeito às suas propriedades eletromagnéticas (NEVES, 1997).

#### 3.3.8.1. Método do Ponto Médio Comum

Este método requer a presença de uma superfície de reflexão plana que deve se estender por toda a distância ao longo do perfil. As antenas são movidas de forma simétrica em relação a um ponto central arbitrário. Isto garante que os sinais emitidos serão sempre refletidos por um mesmo ponto (NEVES, 1997).

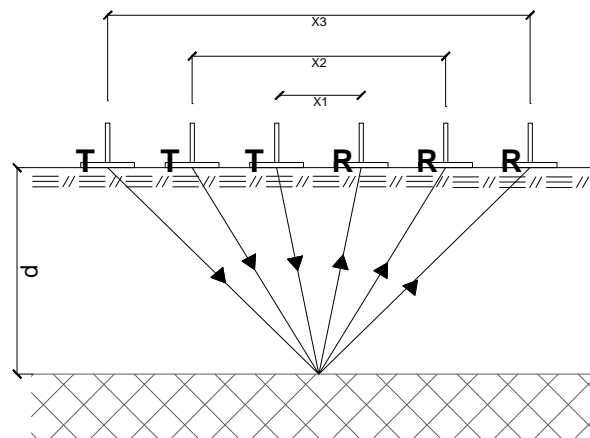


Fig. 3.4: Croqui esquemático do método do ponto médio comum.

O tempo de viagem da onda eletromagnética para cada distância  $x$  entre as antenas pode ser expresso da seguinte forma:

$$t = t_{(ida)} + t_{(volta)} = \frac{D_{(ida)} + D_{(volta)}}{v}$$

$$D_{(ida)} = D_{(volta)} = \left[ \left( \frac{x_n}{2} \right)^2 + d^2 \right]^{1/2} \therefore t_n = \frac{(x_n^2 + 4d^2)^{1/2}}{v} \quad (1)$$

A determinação da velocidade foi proposta por GREEN (1938), sendo conhecido como método  $x^2 - t^2$ . O quadrado do tempo de viagem pode ser colocado em função do quadrado das distâncias  $x_n$  entre as antenas segundo uma equação linear, do tipo  $y = mx+b$ .

$$t_n^2 = \frac{x_n^2 + 4d^2}{v^2} = \frac{x_n^2}{v^2} + t_0^2 \quad (2)$$

Onde  $m = 1/v^2$  e  $b=t_0^2$ .

Plotando-se os pares de valores  $(x_n^2, t_n^2)$  obtém-se o valor de  $t_0$ . Conhecido este valor e reescrevendo a equação (2) para  $x = 0$ , tem-se que:

$$t_0^2 = \frac{4d^2}{v^2} \therefore t_0 = \frac{2d}{v} \therefore v = \frac{2d}{t_0}$$

Pela equação deduzida do item 4.5, calcula-se a constante dielétrica:

$$\epsilon_r = \left( \frac{0,15t_0}{d} \right)^2$$

### 3.3.8.2. Método da Tomografia

Este método simplesmente envolve a medida da velocidade média de propagação de onda em uma rocha. É realizado em um local onde se possa colocar as antenas nos lados opostos de uma rocha ou estrutura. Para tal, é necessário conhecer a distância  $x$  entre as antenas.

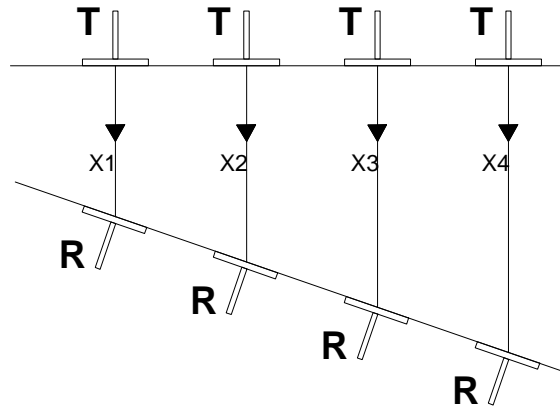


Fig. 3.5: croqui esquemático do método da tomografia.

Este método permite calcular tanto a velocidade de propagação de ondas eletromagnéticas em um determinado material como também a sua constante dielétrica. Calculando a velocidade média e usando a relação descrita no item 4.5, pode-se estimar a constante dielétrica do meio.

$$x_{(1-4)} = \frac{0,3 \cdot t_{(1-4)}}{\sqrt{\epsilon_r}} \therefore \epsilon_r = \left( \frac{0,3 \cdot t_{(1-4)}}{x_{(1-4)}} \right)^2$$

Na expressão acima  $x$  é dado em metros e  $t$  em nanosegundos (NEVES, 1997).

### 3.3.9. Processamento de Dados

Às vezes o problema em questão pode ser resolvido apenas pela observação dos dados colhidos em campo, como no caso de se localizar a posição de um tubo enterrado. Outras vezes, os dados têm artefatos associados com logística, antena ou características do sistema, ou outros problemas que precisam ser removidos. Os dados podem ter ruído de interferência de

radiofrequência, ruídos de desordem ou outros padrões que precisam ser filtrados em frequência, tempo ou espaço (OLHOEFT, 2000).

Os dados podem ter distorções, como logística de informação de posição, que precisa ser corrigida e remapeada, ou o tempo de viagem de ida e volta que precisa ser convertido em um modelo de profundidade, transformando-se uma pseudo-seção em um corte transversal geométrico. Os dados podem ter um contraste sutil que precisa ser aumentado ou simplesmente uma característica que precisa ser extraída para mostrar uma solução mais clara do problema (DOLPHIN, 2000).

Em cada um destes casos, o processamento de dados se faz necessário. No mínimo, alguns dados processados são exigidos para se transformar as gravações de campo de uma função de espaço e do tempo em localizações precisas, calibradas (DOLPHIN, 2000).

#### **3.3.9.1. Determinação de Profundidades**

Um perfil é gerado pelo radar através de uma série de pulsações de reflexão empilhadas lado a lado na direção do movimento de antena. Variações laterais são claramente discernidas ao longo do comprimento do perfil gráfico. Como reflexão sísmica, eventos de reflexão de radar são representados por várias pulsações negativas e positivas. A profundidade do objeto refletor é determinada medindo-se o tempo (em nanosegundos) entre a primeira pulsação na superfície e a primeira pulsação de reflexão no objeto e pela velocidade de propagação da onda no meio. Frequentemente essas velocidades são conhecidas para solos comuns e alguns tipos de rochas, sendo suficientes para calcular a profundidade para a reflexão designada.

Se forem requeridas velocidades mais precisas, estas podem ser determinadas partindo-se de um objetivo a uma profundidade conhecida ou através de testes de campo especiais, citados no item 3.3.8.

#### **3.3.9.2. Remoção de Interferências**

Quando um sinal de radar é introduzido no solo, reflexões não desejadas (conhecidas como "desordem") normalmente aparecem na exibição do radar, além de ecos da subsuperfície, não relacionados aos objetos alvo da investigação. A separação destes ecos também é um fator importante na

interpretação dos dados, que requer habilidade e experiência por parte do operador.

Filtros são usados para maximizar a sinalização útil do radar, o que promove a remoção de efeitos de frequência não desejada. Porém, a quantidade de sinais a serem filtrados durante a aquisição de dados deve ser controlada, de modo que sinais não reconhecidos não sejam inadvertidamente perdidos (DOLPHIN, 2000).

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo dos problemas da área afetada iniciou-se pelo levantamento de dados disponíveis nos processos judiciais que foram colocados à disposição pela Secretaria do Meio Ambiente da Prefeitura de São João del Rei. Nesses processos encontram-se relatos e laudos técnicos de estudos geológicos por solicitação do Ministério Público daquela cidade.

Após o estudo detalhado das informações contidas nesses documentos procedeu-se a uma vistoria preliminar da área afetada com a finalidade de identificação “in-situ” da evolução dos problemas historiados nos processos como também na identificação de novas ocorrências surgidas desde então.

Esta investigação preliminar mostrou um quadro generalizado de danos em residências, na maioria unifamiliares, com a identificação de trincas, fissuras e rachaduras de diferentes graus e magnitudes em toda a região mostrada no mapa da Figura 2.1. Conforme relatos dos proprietários, em várias construções foram executadas obras de recuperação da estrutura afetada logo após os relatos do processo datado de 1995, e na maioria dos casos os danos continuaram a ocorrer em época mais recente e mesmo após a interrupção do bombeamento do poço do DAMAE.

Com estas informações definiu-se a metodologia básica para o estudo e identificação dos problemas encontrados na área conforme será descrito nos itens subseqüentes.

#### 4.1. CADASTRO DA ÁREA AFETADA

Nesta fase inicial, foi realizado um cadastro de detalhe da área afetada, com indicação das construções afetadas (casas, lojas, edifícios, vias etc.), do grau de destruição e do padrão construtivo. Os dados coletados foram lançados em uma base topográfica de detalhe na escala 1:2.000.

Foram levantados os seguintes dados:

- Localização e endereço;
- Proprietário;
- Início das movimentações;
- Espessura e extensão das trincas;
- Distribuição das trincas no imóvel;
- Grau de Risco.

O grau de risco em cada edificação foi avaliado da seguinte forma:

- **Risco Mínimo:** presença de pequenas fissuras em pontos isolados da residência, sem nenhum dano à estrutura e à alvenaria.
- **Risco Baixo:** pequenas fissuras e trincas de no máximo 2 mm, com trincas maiores ocorrendo em pontos isolados e sem apresentar nenhum dano à estrutura.
- **Risco Médio:** trincas com espessuras maiores que 3 mm ocorrendo em quase toda a área de residência, trincas em pisos e paredes, problemas em esquadrias. Nenhum indício de maiores deformações e nenhum dano à estrutura.
- **Risco Alto:** trincas maiores que 10 mm ocorrendo em toda a área de residência, problemas com esquadrias, trincas em lajes; residências em situação precária, tendo toda alvenaria danificada com trincas de grande espessura atravessando paredes; indícios de grandes recalques diferenciais; estrutura comprometida.

Foram avaliados, ao todo, 107 imóveis divididos em duas áreas distintas:

- Bairro das Fábricas: compreende as ruas João Costa, Eng. Paes Leme, Trav. Águas Belas e Farmacêutico João de Assis.

- Rua Prof. Eugênia e adjacências: Rua Prof. Eugênia, Rua Cel. Tamarindo, Rua Rodrigues de Melo, Rua Padre Faustino, Rua Jorge Zarur.

## **4.2. INVESTIGAÇÕES DE CAMPO**

### **4.2.1. Sondagens a percussão e instalação de piezômetros**

Após a identificação, localização e classificação de acordo com os respectivos graus de risco, foi elaborado um plano de sondagens de simples reconhecimento com a realização de ensaios SPT para uma avaliação geológico-geotécnica do subsolo local (Figura 5.1).

Foram realizadas, ao todo, 12 sondagens a percussão tipo SPT, de acordo com a NBR 6484, com a instalação de 10 piezômetros. Essas sondagens se distribuíram pela Rua Cel. Tamarindo (3 sondagens, 3 piezômetros.), Rua Prof. Eugênia Vieira de Souza (5 sondagens, 3 piezômetros.), Rua João Costa (2 sondagens, 2 piezômetros.) e Rua Paulo Freitas (2 sondagens, 2 piezômetros.).

O equipamento utilizado no ensaio SPT foi o tripé convencional para sondagens a percussão. Os furos foram executados com o diâmetro nominal de 50,8 mm, utilizando-se de revestimento nas profundidades que se fizeram necessárias.

Os índices de resistência à penetração e a coleta de amostras foram feitas de metro em metro através do barrilete amostrador de 50,8 mm de diâmetro externo e 34,8 mm de diâmetro interno.

Os índices de resistência à penetração foram obtidos registrando-se o número de golpes de peso padrão de 65 kg caindo em queda livre de 75 cm, necessários para fazer o amostrador penetrar 45 cm no solo. Foram anotados os golpes dados a cada penetração de 15 cm, considerando-se o índice de resistência à penetração como sendo o equivalente à soma dos golpes correspondentes aos dois últimos segmentos de 15 cm.

Os piezômetros foram feitos em tubos de PVC de 20 mm, com uma extremidade drenante de 30 cm de comprimento, feita no próprio tubo, revestida com geotêxtil. Esses piezômetros foram instalados nos furos de sondagem a percussão, sendo que a extremidade inferior (drenante) foi revestida por uma

camada de areia fina, de modo a facilitar a drenagem e evitar a obstrução do piezômetro.

#### **4.2.2. Perfis Geofísicos com Radar de Penetração no Solo – GPR**

Todas as etapas da investigação GPR (coleta de dados, processamento e interpretação) foram feitas pelo Prof. Paulo Roberto Antunes Aranha, do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais.

##### **4.2.2.1. Aquisição de dados**

As investigações geofísicas através do Radar de Penetração no Solo (GPR) foram feitas através de cinco linhas de prospecção (Figura 5.1), listadas a seguir:

- L1 - Rua Coronel Tamarindo;
- L2 - Rua Rodrigues de Melo,
- L3 - Rua Padre Faustino;
- L4 – Rua Paulo Freitas/Av. Leite de Castro;
- L5 – Rua João Costa.

O modo de aquisição utilizado foi o levantamento com antenas em distância constante, conhecido como “common offset” onde as antenas, sempre se mantendo uma distância fixa entre elas, são transportadas ao longo de uma linha, obtendo-se um perfil das reflexões versus posição.

Os principais parâmetros definidos para a aquisição de dados foram:

- frequência central da antena: 100 MHz;
- janela de tempo: 400 ns;
- intervalo de amostragem temporal: aproximadamente 10 vezes a frequência central da antena;
- espaçamento entre as estações: 0,50 m;
- espaçamento entre antenas: 1,0 m;
- posição da linha: foram definidas em função do estudo geotécnico, dos furos de sondagem, e da posição de canalizações;
- equipamento utilizado: GPR Ramac - MalaGeoScience.

#### 4.2.2.2. Processamento e interpretação de dados

O processamento envolveu quatro estágios diferentes:

a) Edição de dados.

b) Processamento básico:

- “Declipping”: correção de amplitudes não registradas.
- “Dewow”: retirada de ruídos de baixa frequência;
- Edição: retirada de traços duplicados ou com problemas na aquisição;
- Localização do tempo zero nos perfis;
- Filtragem.

c) Processamento avançado:

- Conversão tempo versus profundidade: feito a partir da interpretação da velocidade no perfil CMP (ponto médio comum). A velocidade encontrada variou de 75 a 90 m/μs.

A interpretação foi baseada na forma gráfica das feições encontradas, tendo por base o padrão dos refletores, amplitude, atenuação, conteúdo de frequência e a continuidade lateral e forma geométrica dos mesmos. A interpretação está apoiada nos dados da sondagem a percussão. Os padrões foram identificados e correlacionados com os dados geotécnicos e a forma dos perfis foi baseada em um levantamento altimétrico feito ao longo das ruas pesquisadas, o que possibilitou a elaboração geométrica da subsuperfície.

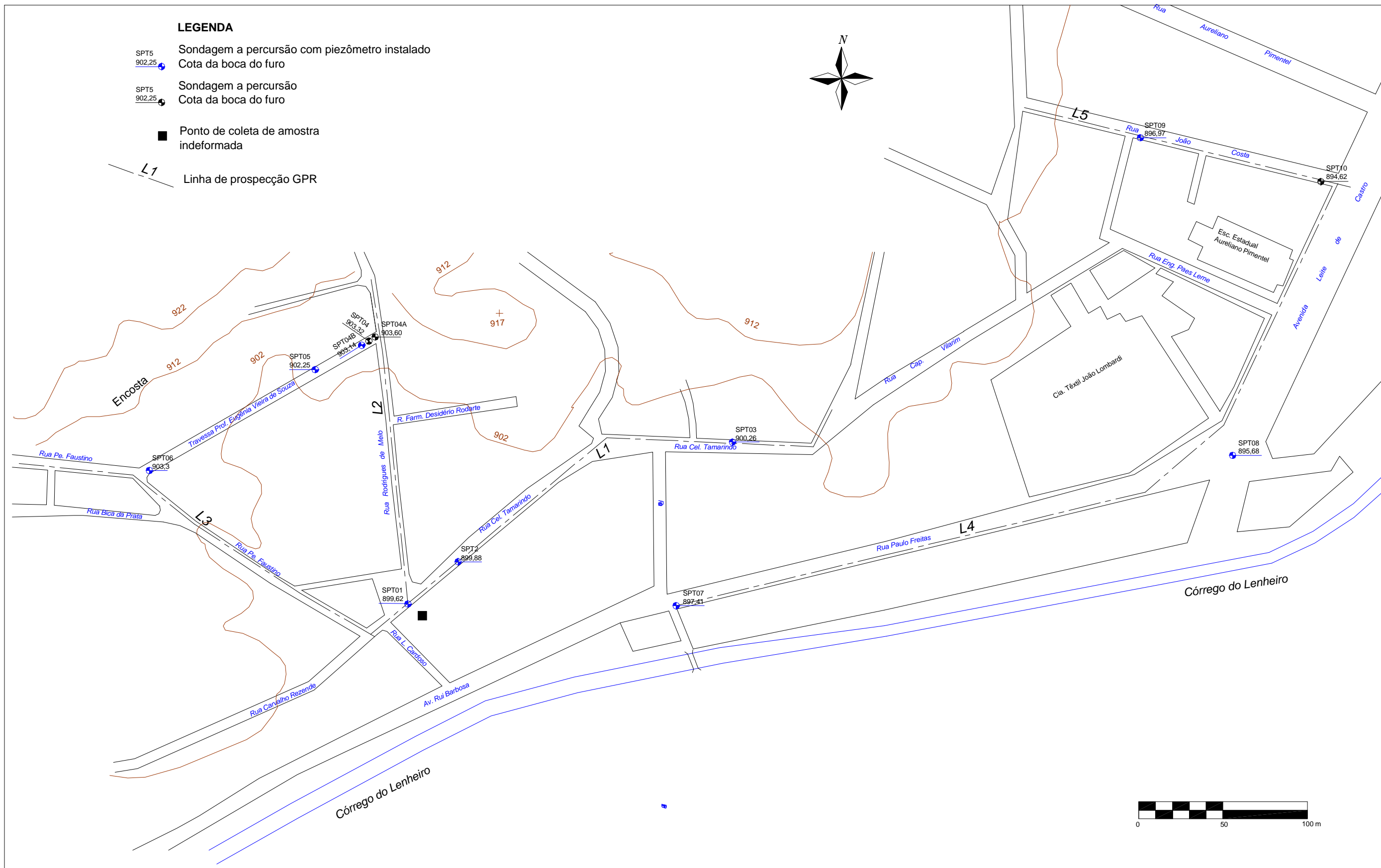


Figura 4.1: Localização das sondagens e linhas de prospecção geofísica - GPR

### **4.3. ENSAIOS DE LABORATÓRIO**

#### **4.3.1. Coleta de amostras**

Foram coletadas duas amostras de solo indeformadas nos fundos de uma residência situada à Rua Coronel Tamarindo, próxima à esquina com a Rua Luiz Cardoso, ponto onde foram observadas grandes movimentações. As amostras foram retiradas de um aluvião, a uma profundidade de 1,5 m.

Não foi possível coletar amostras da camada de silte argiloso mole, devido ao fato deste estar posicionado abaixo do nível d'água e não haver, na ocasião, a disponibilidade de equipamentos necessários para coleta de amostras de boa qualidade neste tipo de situação.

#### **4.3.2. Ensaio oedométrico**

Estes ensaios foram realizados no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa, seguindo-se os critérios da norma MB-3336/90.

Foi feito um ensaio em um corpo de prova inundado, em oito estágios de carregamento, com acréscimos de tensões de 6, 12, 25, 50, 100, 200, 400 e 800 kPa. A cada estágio foram feitas leituras de deformações imediatamente antes do carregamento (correspondente ao tempo zero) e nos intervalos de tempo de 1/8 min; 1/4 min; 1/2 min; 1 min, 2 min; 4 min; 8 min; 15 min; 30 min; 1 h; 2 h; 4 h; 8 h e 24 h ou até que as leituras se estabilizassem, contados a partir do instante de aplicação do incremento de carga.

Foi feito também um ensaio inundando-se o corpo de prova no estágio de 400 kPa, a fim de se verificar o colapso.

#### **4.3.3. Ensaio de permeabilidade**

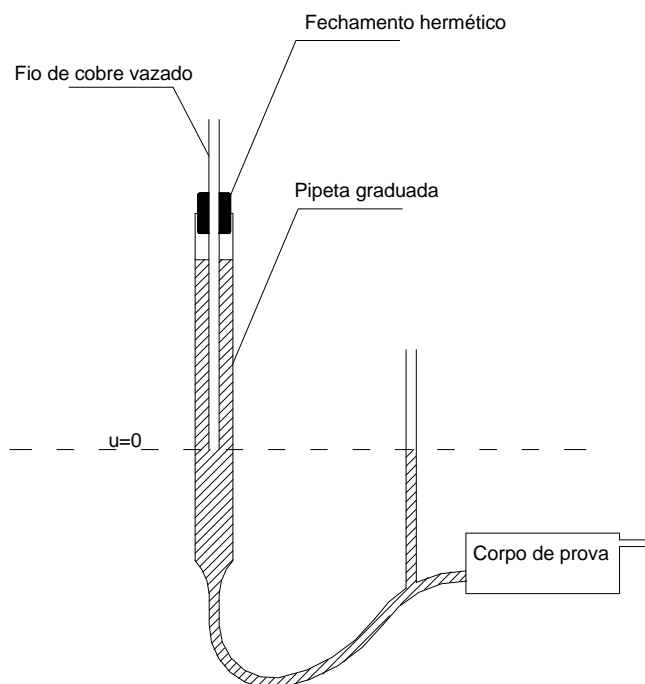
Juntamente com o ensaio oedométrico, foram realizados ensaios de permeabilidade nos estágios de 12, 25, 50 e 100 kPa. Esse ensaio foi feito a carga constante, conforme ilustra a Figura 5.2.

O coeficiente de permeabilidade foi determinado pela expressão:

$$k = \frac{v \times L}{A \times h \times t}$$

Onde:

- v: volume de água percolado;
- L: altura do corpo de prova
- A: área da base do corpo de prova;
- h: carga hidráulica;
- t: tempo de percolação.



*Figura 4.2: Montagem do ensaio de permeabilidade a carga constante.*

#### 4.3.4. Ensaio de caracterização

Todos os ensaios de caracterização foram feitos no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa, seguindo-se os critérios propostos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), cujas normas estão relacionadas no Quadro 4.1.

<b>Ensaio</b>	<b>Norma</b>
Massa Específica dos Sólidos	NBR 6508/82
Granulometria Conjunta	NBR 7181/82
Limite de Plasticidade	NBR 6459/82
Limite de Liquidez	NBR 7180/82

*Quadro 4.1: Ensaio de caracterização realizados.*

#### **4.4. MONITORAMENTO DO NÍVEL D' ÁGUA (NA)**

O monitoramento do NA foi feito através dos piezômetros instalados, medindo-se o NA todas as sextas e segundas-feiras, a fim de se verificar alguma variação durante o final de semana, que é quando os poços das tecelagens são desligados.

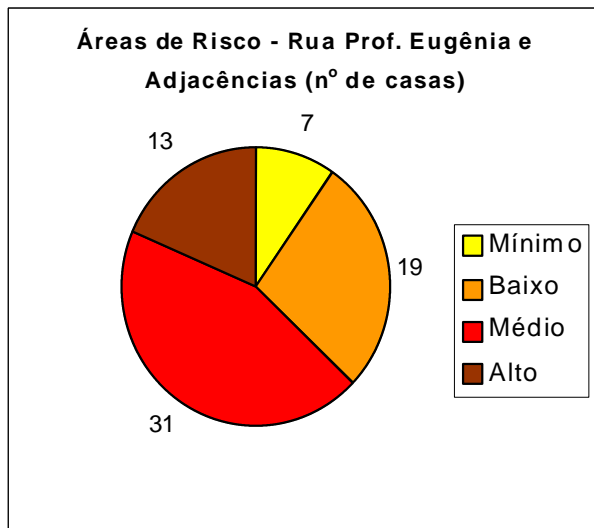
Foi feito também um teste de bombeamento na Mineradora São Jerônimo, ligando-se as duas bombas de 50 HP instaladas no local, com vazões de 149400 l/h e 132000 l/h. Este bombeamento teve início no dia 05/12/2000 sendo desligada a bomba de 132000 l/h no dia 29/01/2001. Durante o bombeamento, foram feitas leituras diárias nos piezômetros instalados na área afetada a fim de se verificar alguma variação significativa. Estas leituras foram feitas até oito dias após o desligamento de uma das bombas.

## 5. RESULTADOS E ANÁLISES

### 5.1. CADASTRO DA ÁREA AFETADA

#### 5.1.1. Rua Prof. Eugênia e Adjacências

Após o término do cadastro, o grau de risco foi avaliado para cada edificação, obtendo-se o seguinte quadro:



*Gráfico 5.1: risco nas edificações da Rua Professora Eugênia e adjacências.*

O grau de risco varia de acordo com o tipo de construção e com a localização do imóvel. Observou-se que há determinados pontos críticos, que concentram uma quantidade maior de imóveis com grau de risco médio e alto,

como na Rua Prof. Eugênia, junto à encosta e na Rua Cel. Tamarindo, próximo à esquina com a Rua Rodrigues de Melo.

Durante o cadastro, foram observadas também várias trincas características no solo, que se prolongam por várias residências, passando pelos pisos e subindo por paredes e lajes. O caso mais crítico dessas trincas foi encontrado na Rua Prof. Eugênia, próximo à encosta, que se estende por 6 residências, todas com grau de risco médio ou alto. As fotos a seguir mostram o efeito dessa trinca nas edificações próximas à encosta.



*Foto 5.1: Trinca da Rua Prof. Eugênia se propagando pela parede de uma residência. Esta residência foi considerada como sendo de risco alto.*



*Foto 5.2: Efeito desta trinca na mesma residência. Nota-se a alvenaria bastante danificada e a trinca se propagando por uma viga, comprometendo a estrutura.*

Além do efeito da subsidência, observou-se também um problema de instabilidade na encosta situada entre a Rua Prof. Eugênia e a Rua Ricardo Bonfenatti onde, durante as chuvas de janeiro de 2000, houve um deslizamento de terra, derrubando um muro de arrimo que destruiu parcialmente uma residência situada ao pé da encosta.



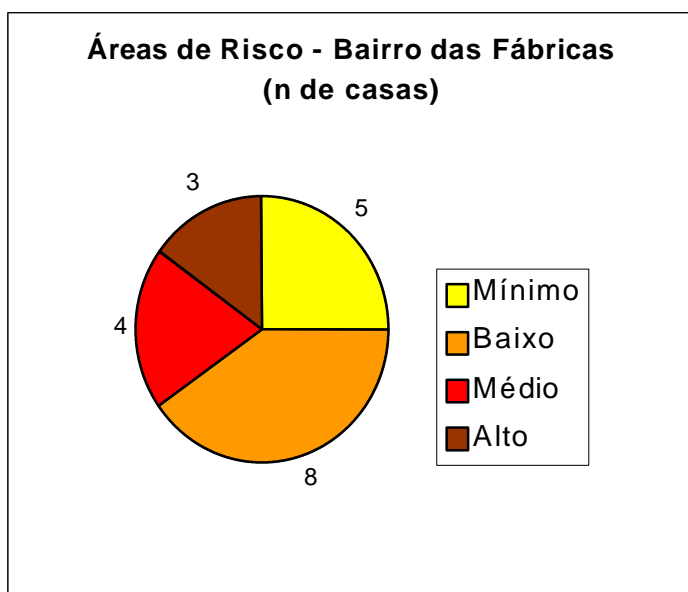
*Foto 5.3: Esta foto mostra a residência danificada pelo deslizamento de terra na encosta da Rua Prof. Eugênia.*



*Foto 5.4: residência situada à Rua Cel. Tamarindo, já bastante danificada pela presença de trincas.*

### 5.1.2. Bairro das Fábricas

Foi avaliado um total de 20 residências na região do Bairro das Fábricas, obtendo-se o seguinte quadro:



*Gráfico 5.2: risco nas edificações do Bairro das Fábricas.*

Durante o cadastro, observou-se que várias residências haviam sido reformadas, não sendo possível avaliar o seu grau de risco.

A figura 5.1 mostra a distribuição, em planta, das casas cadastradas durante o trabalho realizado, com seu respectivo grau de risco.



## 5.2. INVESTIGAÇÕES DE CAMPO

### 5.2.1. Sondagem SPT

As sondagens executadas na Rua Coronel Tamarindo mostraram a presença de uma camada de areia fina siltosa, com espessura variando entre 2 e 4 m, seguida por uma camada de silte argiloso mole, com espessura variando entre 6 e 9 m. Essas duas camadas constituem uma aluvião que, de acordo com os resultados das sondagens, está assente sobre o filito.

Os resultados das sondagens executadas na Rua Professora Eugênia apresentam características semelhantes aos da Rua Cel. Tamarindo. A camada de silte argiloso mole, nessa rua, apresentou uma espessura máxima de 11 m (SPT 05). Próximo à esquina com a Rua Rodrigues de Melo foi encontrado um afloramento de rocha recoberto por uma camada de pedregulhos de aproximadamente 1 m. Uma seqüência de furos (SPT 04, SPT 04A e SPT 04B) foi feita a fim de se obter uma maior precisão no perfil do substrato rochoso da Rua Professora Eugênia, como mostra a Figura 5.2.

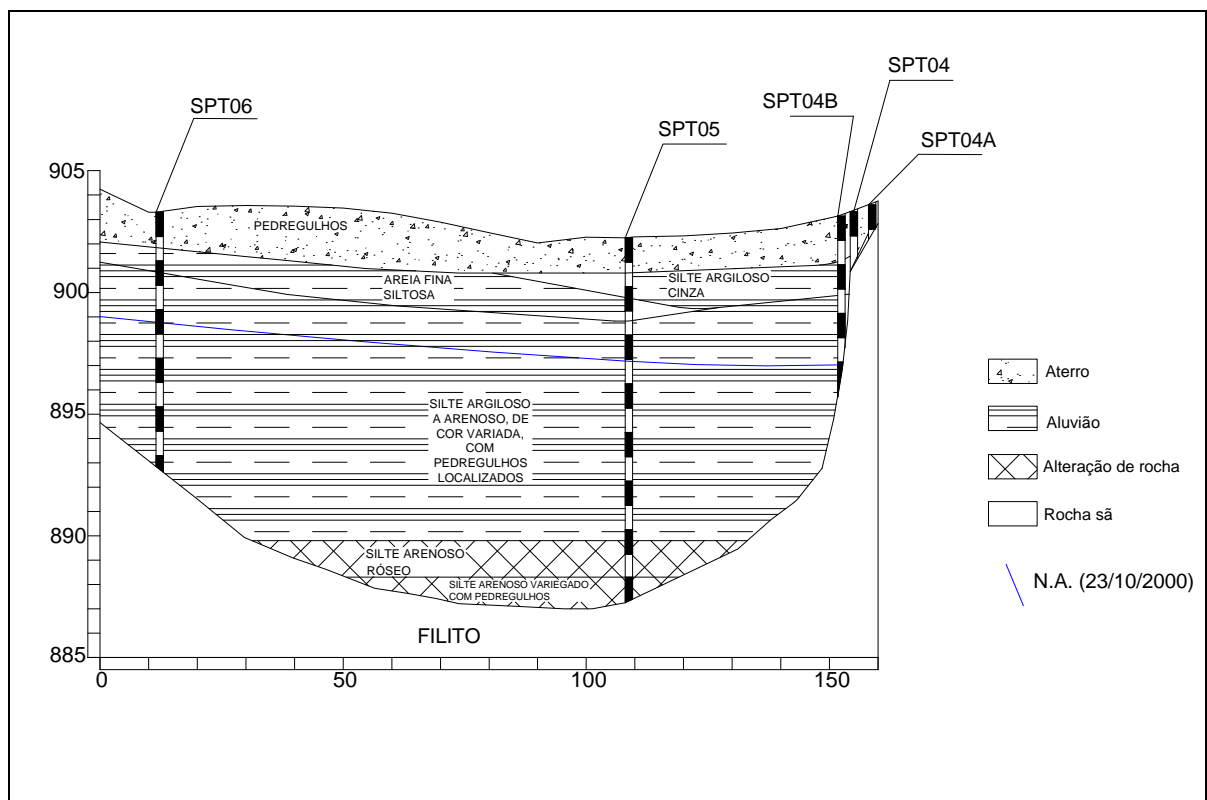


Figura 5.2: Perfil geotécnico da Rua Prof. Eugênia.

Nas Ruas João Costa, Paulo Freitas e Avenida Leite de Castro, o aluvião apresentou menores espessuras, variando entre 4 e 6 m. Na região mais próxima

ao poço do DAMAE, nota-se a ocorrência de uma seqüência de intercalações de camadas e/ou lentes de materiais arenosos e materiais siltosos, com lentes localizadas de argilas.

Chamaram a atenção os baixos valores de NSPT obtidos para a camada de solo mole situada abaixo do nível d'água, principalmente nas Ruas Cel. Tamarindo, que variaram entre 1 e 4, conforme os relatórios de sondagem mostrados no Anexo.

### **5.2.2. Investigação Geofísica - GPR**

Os padrões representados nos radargramas foram identificados e correlacionados com os dados geotécnicos, o que possibilitou a elaboração do perfil geotécnico da subsuperfície ao longo das ruas pesquisadas.

Nas camadas argilosas subjacentes, não foi possível identificar o nível d'água devido à ausência de uma zona bem definida que caracterizasse um aumento do grau de saturação, sem a qual não se consegue identificar o nível d'água.

#### **5.2.2.1. Rua Coronel Tamarindo**

O radargrama desta rua, Figura 5.3, apresenta padrões de reflexão bem distintos e facilmente correlacionados com os dados do SPT. A partir de 260 m é visível uma descontinuidade na reflexão indicando uma mudança lateral de material ou seja, o contato entre o aluvião e o quartzito. Na parte superior do radargrama têm-se refletores curvos, o que pode indicar a presença de material sedimentar. De fato, foi notada a presença de um aluvião formado por areia fina e pedregulhos neste local durante a abertura de um poço para coleta de material para ensaios de laboratório.

Foi construída uma seção geotécnica baseada no radargrama e nos dados das sondagens SPT, onde foi confirmada a presença do aluvião, constituído por uma camada de areia fina siltosa, seguida pela camada de silte argiloso mole, em toda extensão dessa rua.

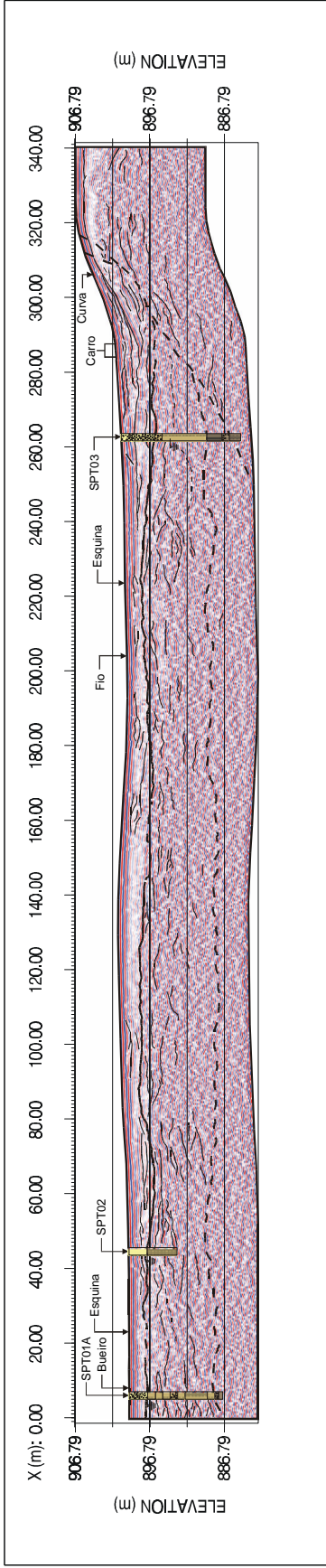


Figura 5.3: Radargrama da Rua Coronel Tamarindo.

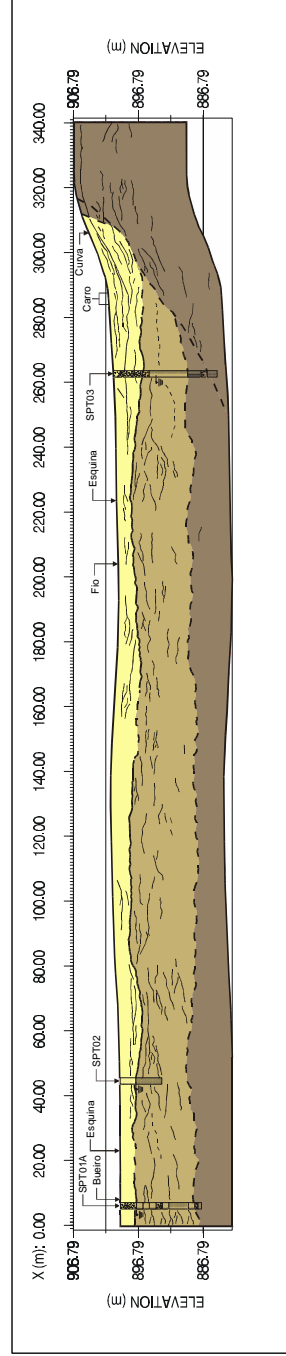
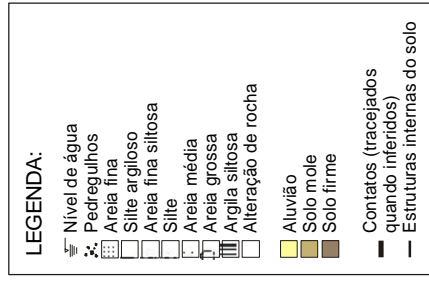


Figura 5.4: Seção geotécnica da Rua Coronel Tamarindo, baseado na interpretação do radargrama.

### 5.2.2.2. Rua Rodrigues de Melo

O radargrama obtido desta rua apresenta nitidamente, na sua porção superior, refletores contínuos e com fortes amplitudes. Este padrão está associado à camada de areia fina com pedregulhos, encontrada nas sondagens SPT. A partir da abscissa de 140 m, na Figura 5.4, aparecem refletores com características “on lap”, indicando uma deposição do material sobre uma superfície já existente. Na posição 76-78 m nota-se a presença de uma fratura no subsolo, correspondente a uma grande trinca existente no piso de uma residência localizada nesta posição. Estão presentes também fraturas à esquerda e à direita desta posição.

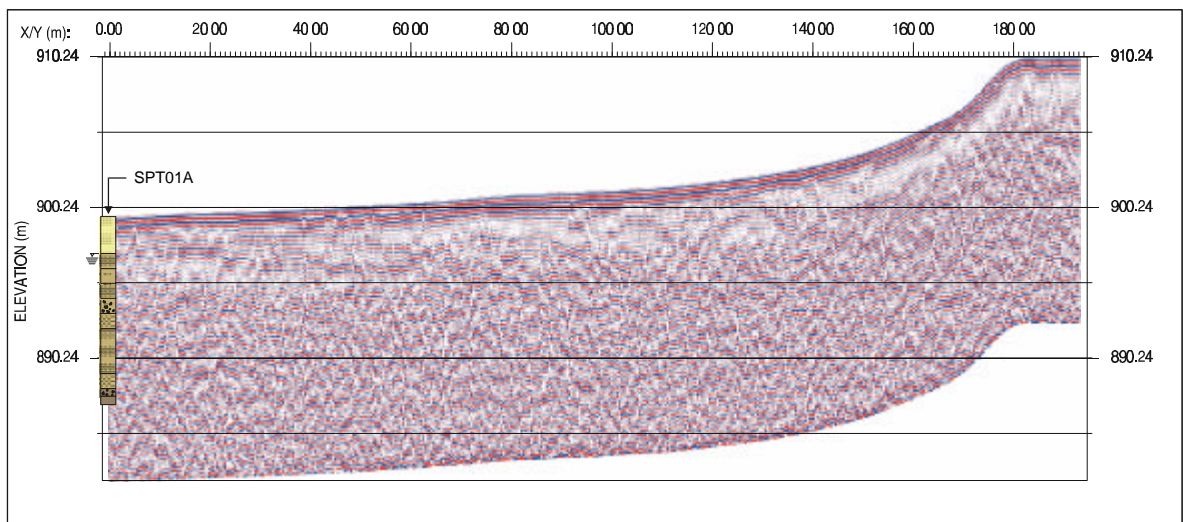


Figura 5.5: Radargrama da Rua Rodrigues de Melo.

A partir da abscissa de 120 m nota-se a presença de um contato ou fratura que, baseado nas sondagens realizadas na Rua Prof. Eugênia, próximo à esquina com a Rua Rodrigues de Melo, se trata do contato entre o aluvião e o filito, como mostra a Figura 5.6.

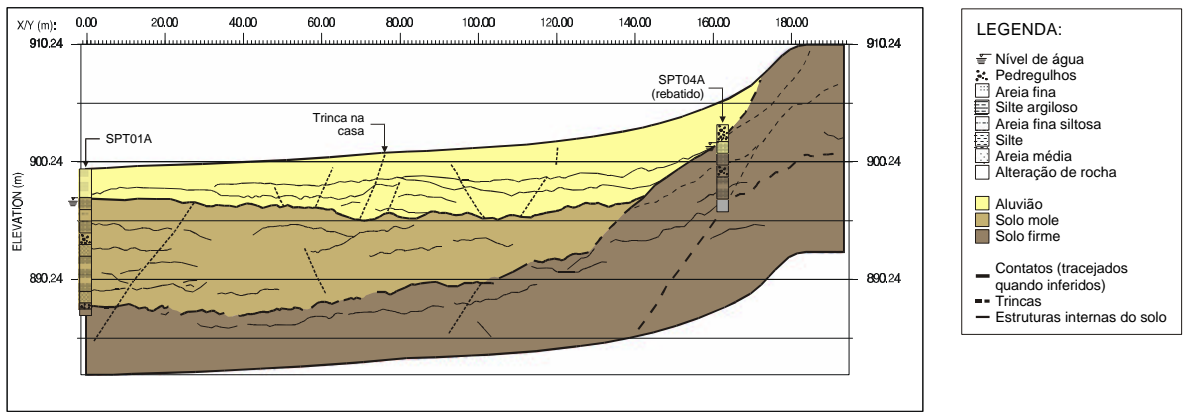


Figura 5.6: Seção geotécnica a Rua Rodrigues de Melo, baseado na interpretação do radargrama.

### 5.2.2.3. Rua João Costa

O radargrama desta rua, Figura 5.7, apresenta uma região anômala “A”, na posição 100-120 m, que não apresenta nenhuma correlação com os dados de sondagem SPT e com os padrões de reflexão presentes nas outras porções do perfil. A partir de 120 m até o final da seção, é visível um lineamento inclinado em profundidade que pode marcar um contato litológico ou uma fratura. Segundo dados de mapas geológicos e interpretações de fotos aéreas, este lineamento aparenta ser um contato entre o filito e o quartzito.

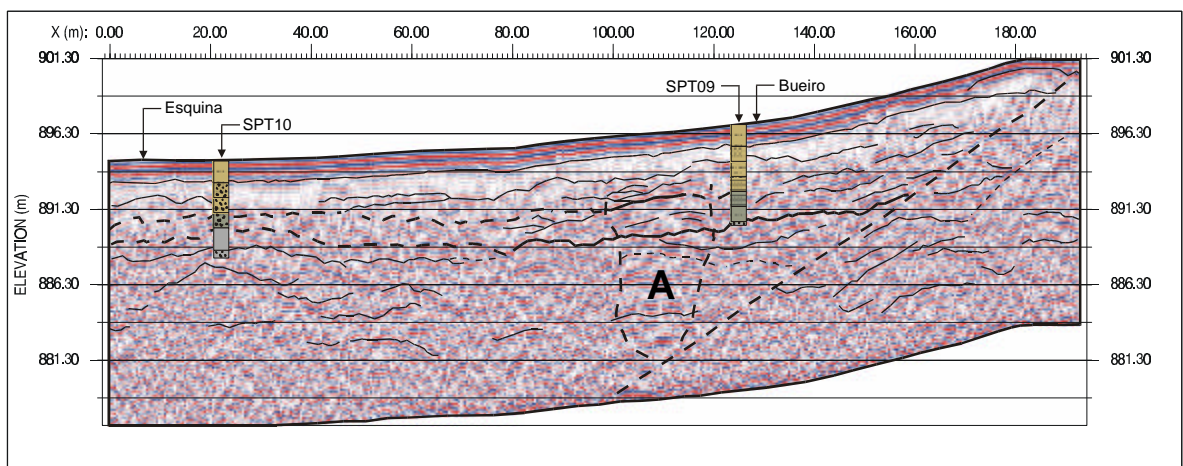
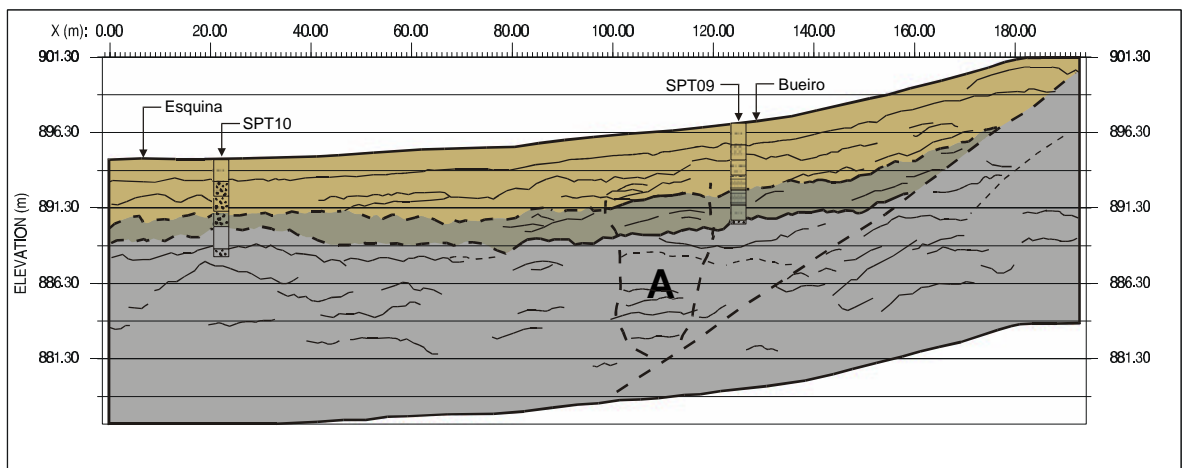
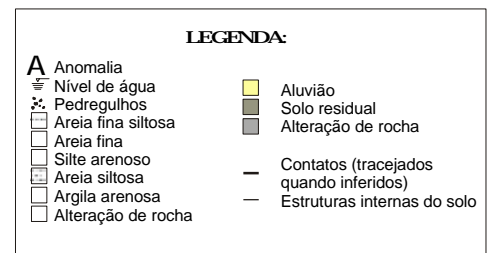


Figura 5.7: Radargrama da Rua João Costa.



*Figura 5.8: Seção geotécnica da Rua João Costa, baseado na interpretação do radargrama.*



#### 5.2.2.4. Rua Padre Faustino

O radargrama desta rua, Figura 5.9, apresenta padrões de reflexão bem distintos, o que permite interpretá-los com segurança e correlacioná-los com os dados de sondagem SPT. Na posição 230 m aparece em profundidade um lineamento inclinado bem marcante, indicando a presença de um contato litológico. Esse lineamento, segundo levantamentos de campo, se trata do contato entre o filito e um afloramento de quartzito existente na região.

#### 5.2.2.5. Rua Paulo Freitas/Av. Leite de Castro

O radargrama desta rua, Figuras 5.10 e 5.11, apresenta refletores bem marcantes na parte superior, acima de 10 m, indicando bem a variação do material com a profundidade. Entre as distâncias 480-500 m aparece novamente uma região anômala, cujo padrão de reflexão não é correlacionado com nenhum material. As variações laterais nas reflexões do radargrama em alguns pontos estão correlacionadas com a mudança de direção do levantamento ao longo da rua.

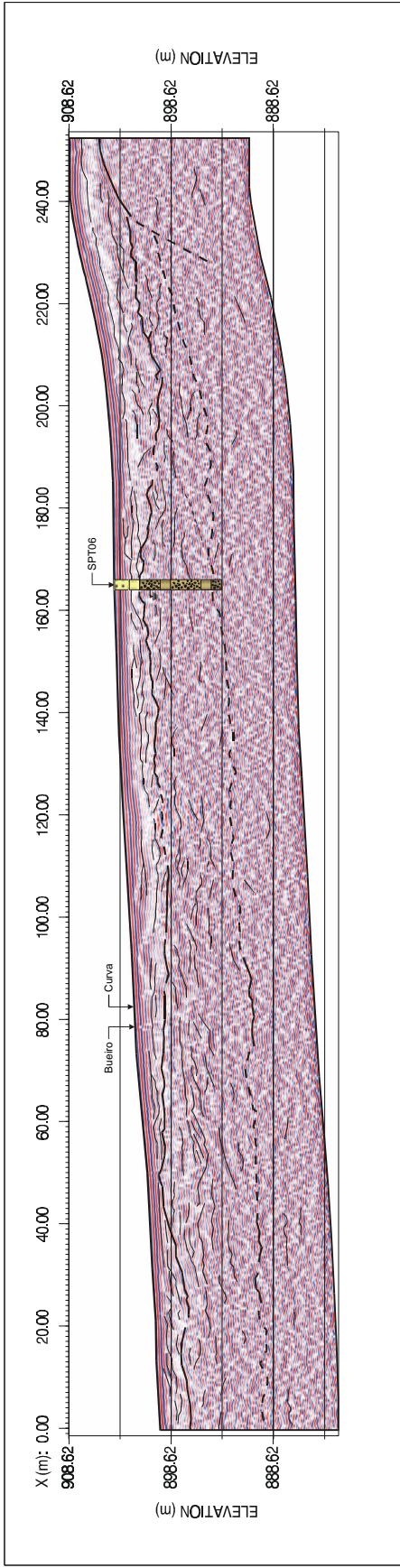


Figura 5.9: Radargrama da Rua Padre Faustino.

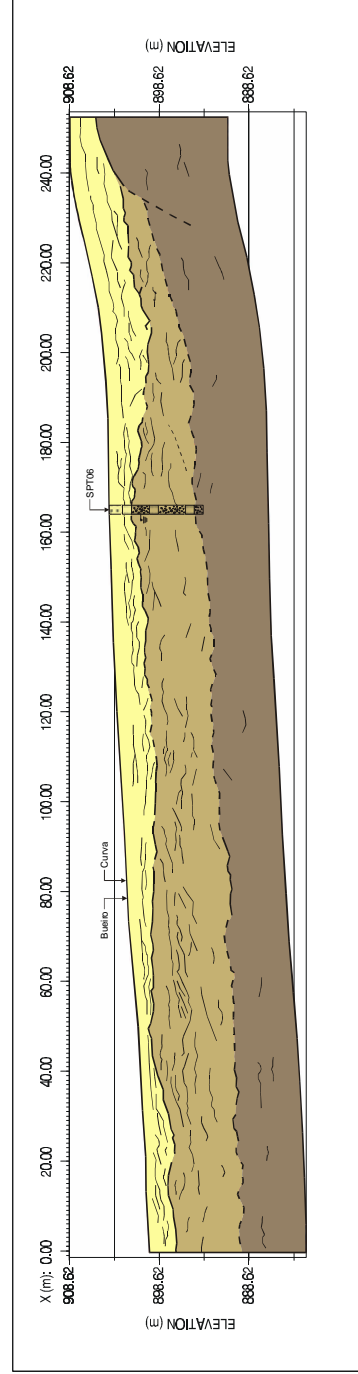
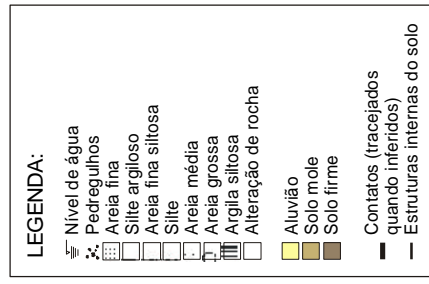


Figura 5.10: Seção geotécnica da Rua Padre Faustino, baseado na interpretação do radargrama.

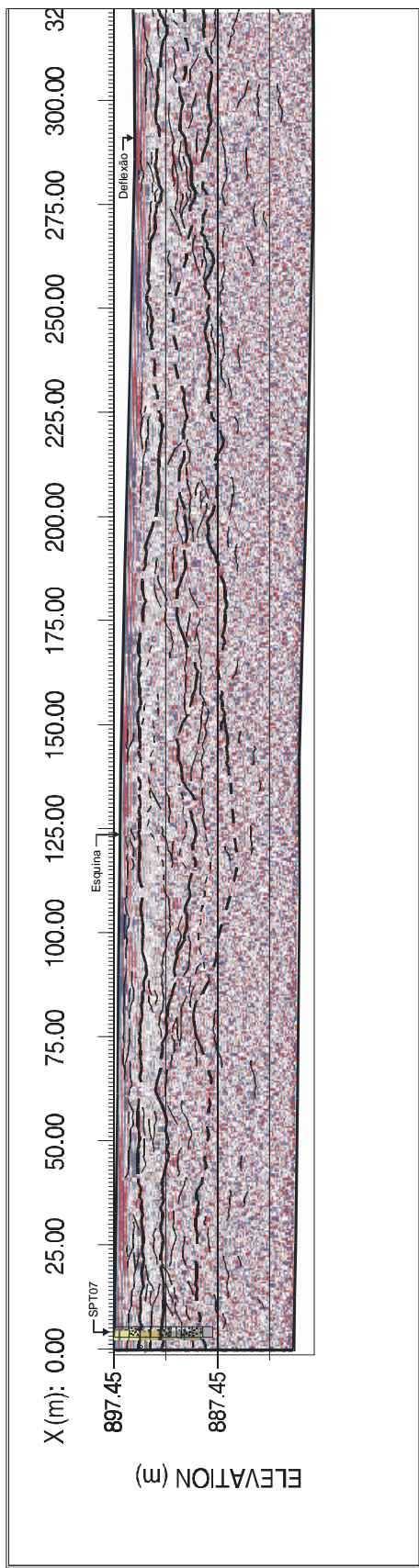


Figura 5.11: radargrama da Rua Paulo Freitas/Av. Leite de Castro (primeiros 300m).

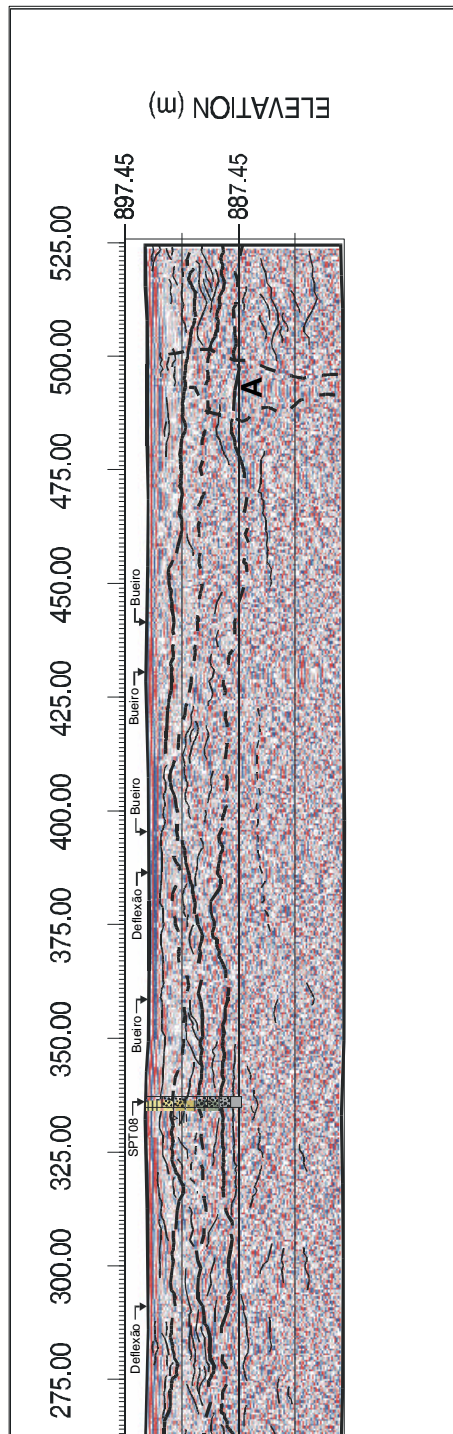


Figura 5.12: Radargrama da Rua Paulo Freitas/Av. Leite de Castro (continuação).

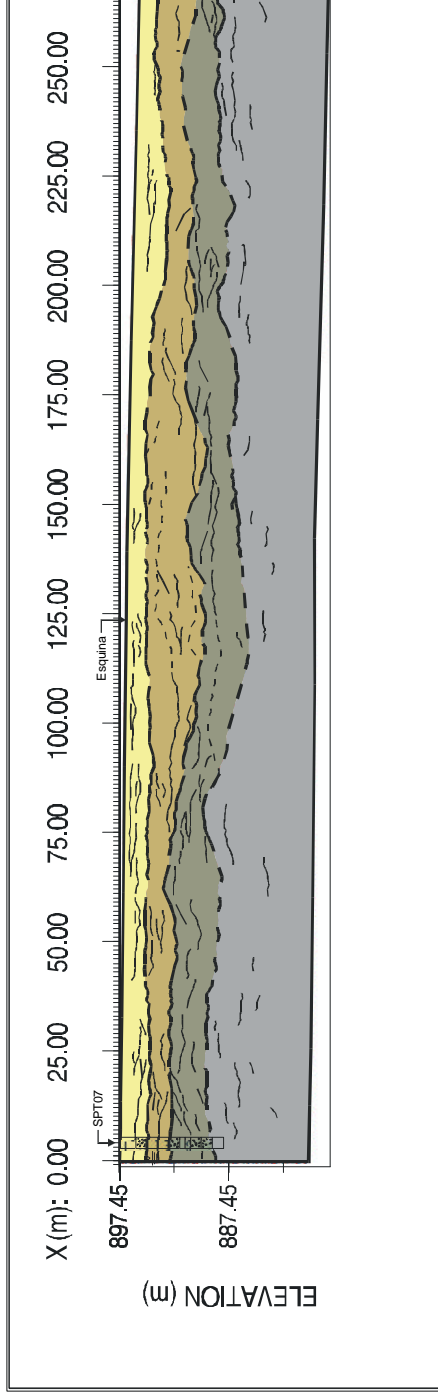


Figura 5.13: Seção geotécnica da Rua Paulo Freitas/Av. Leite de Castro (primeiros 270m).

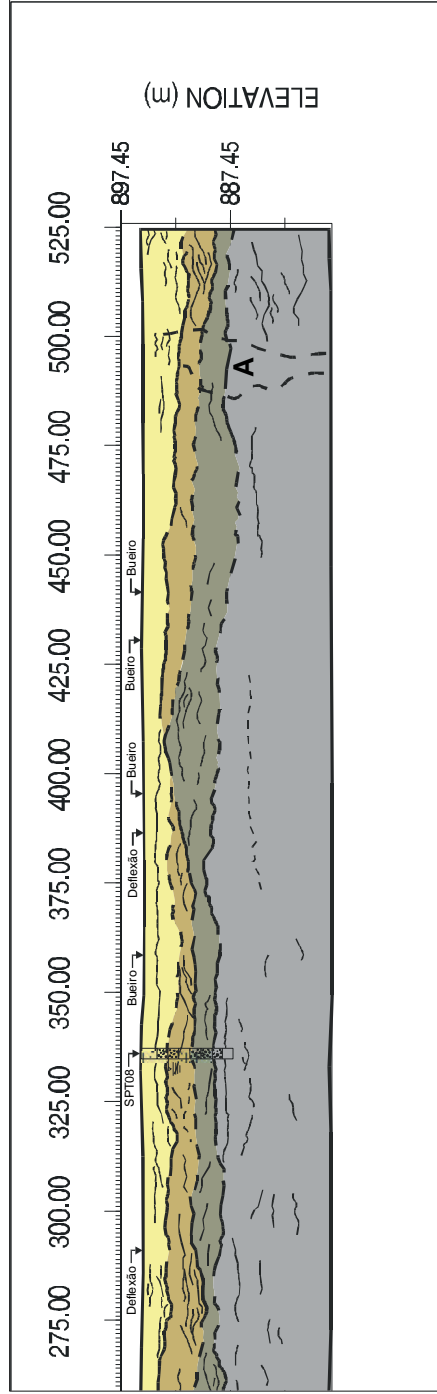


Figura 5.14: Seção geotécnica da Rua Paulo Freitas/Av. Leite de Castro (continuação).

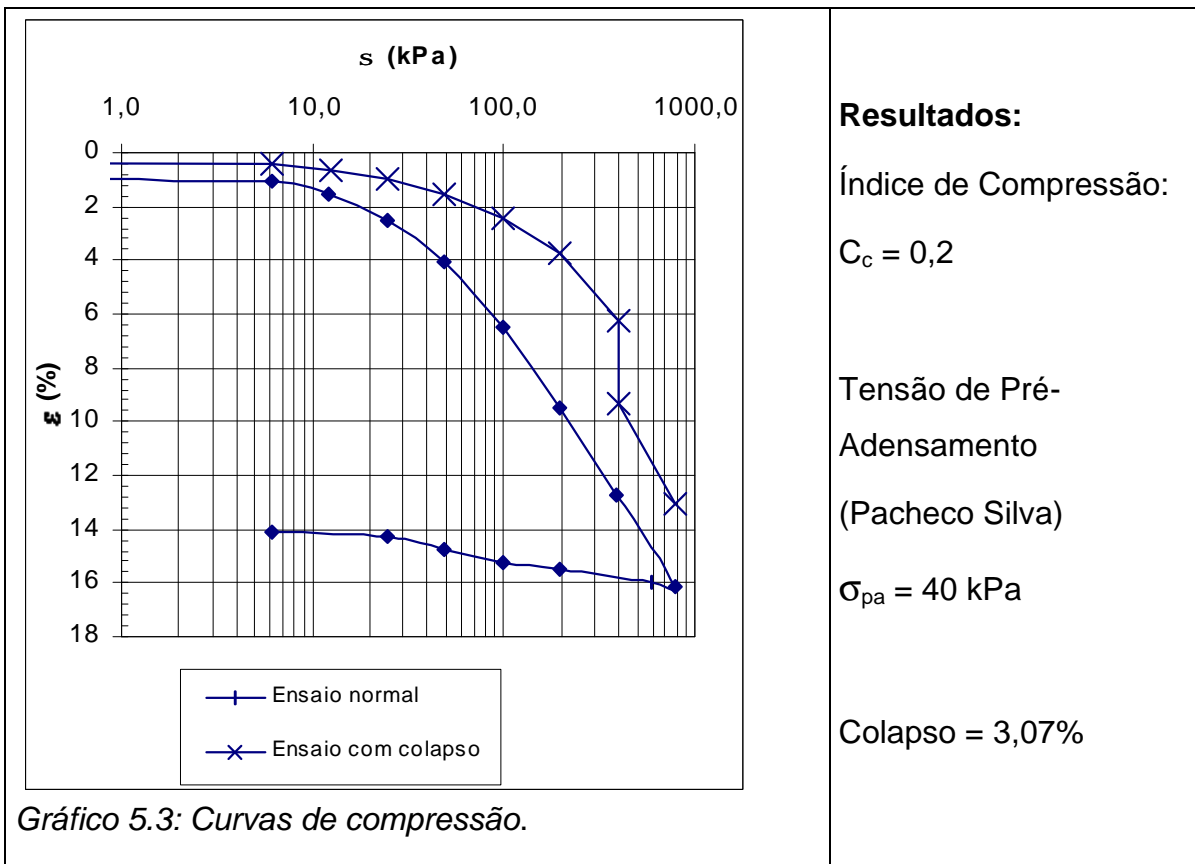
LEGENDA:

A	Anomalia
≡	Nível de água
⊗	Pedregulhos
□	Areia argilosa
□	Areia média
□	Silte
□	Areia fina siltosa
□	Areia fina argilosa
□	Silte arenoso
□	Alteração de rocha
■	Aluvião
■	Solo mole
■	Solo residual
■	Alteração de rocha
—	Contatos (traçados quando inferidos)
—	Estruturas internas do solo

### 5.3. ENSAIOS DE LABORATÓRIO

#### 5.3.1. Ensaaios oedométricos

Os ensaios oedométricos, realizados na amostra de solo coletada na Rua Coronel Tamarindo, apresentaram os seguintes resultados:

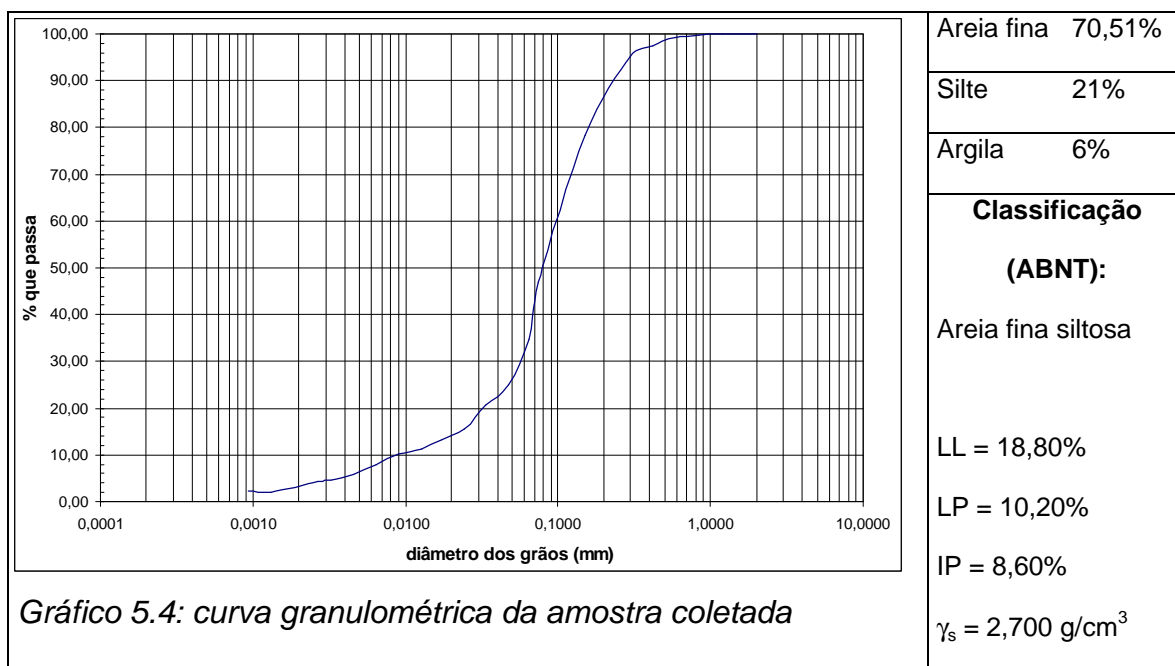


O ensaio de permeabilidade com carga constante, feito juntamente com o ensaio oedométrico, apresentou os seguintes resultados:

$s(\text{kPa})$	12,3	24,6	49,2	98,44
$K (10^{-4} \text{ cm/min})$	25,21	9,59	6,42	3,57

### 5.3.2. Ensaios de caracterização

Os ensaios de caracterização apresentaram os seguintes resultados, segundo classificação da ABNT:



### 5.4. MONITORAMENTO DO NÍVEL D'ÁGUA

Os resultados do monitoramento estão mostrados nos gráficos descritos a seguir. Nota-se, nos Gráficos. 5.5 e 5.6 que os piezômetros da Rua Prof. Eugênia (04B, 05 e 06) e Cel. Tamarindo (01, 02 e 03) apresentam comportamentos semelhantes no decorrer do tempo. O nível nesses piezômetros se elevou ligeiramente até o dia 25/09, decrescendo a partir daí e voltando a se elevar por volta do dia 06/11, quando se inicia o período de chuvas.

Porém, nota-se uma variação muito maior nos piezômetros da Rua Prof. Eugênia (Gráfico 5.6), o que se explica pelo fato desta rua estar localizada no limite do depósito aluvionar.

No Gráfico 5.5, nota-se uma queda brusca no nível d'água do piezômetro 03, a partir do dia 16/10/2000, que faz com que este tenha padrão de comportamento bem diferenciado dos demais piezômetros da mesma rua.

O fato de este piezômetro estar mais próximo do contato do aluvião com o quartzito e a ausência de chuvas foram os únicos fatores observados que poderiam justificar este comportamento.

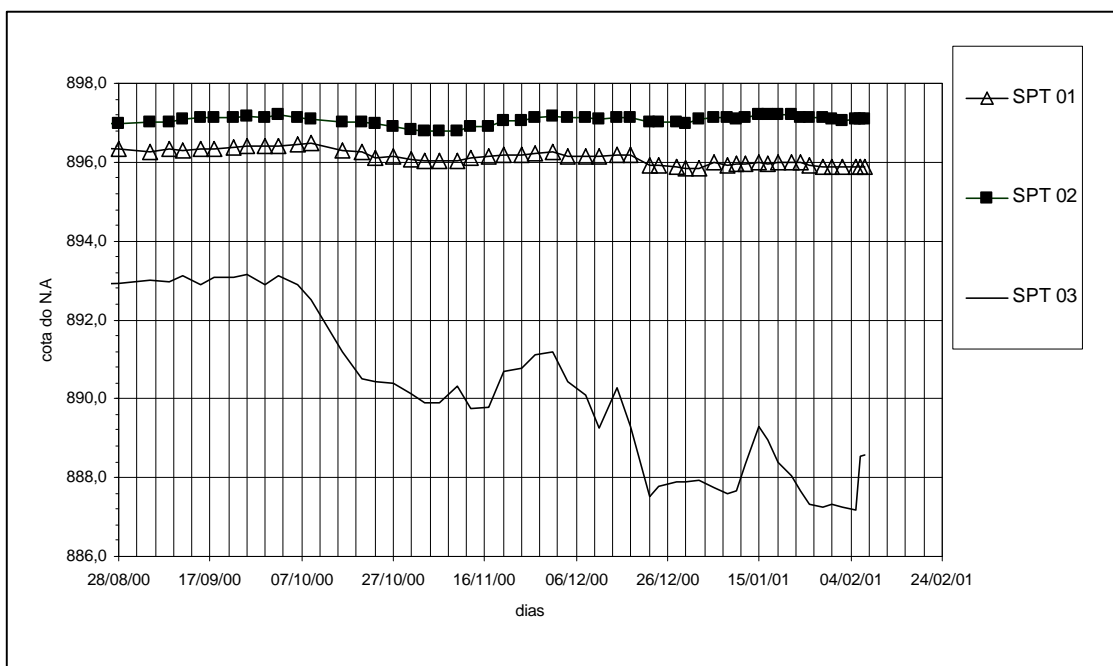


Gráfico 5.5: Variação do NA da rua Cel. Tamarindo.

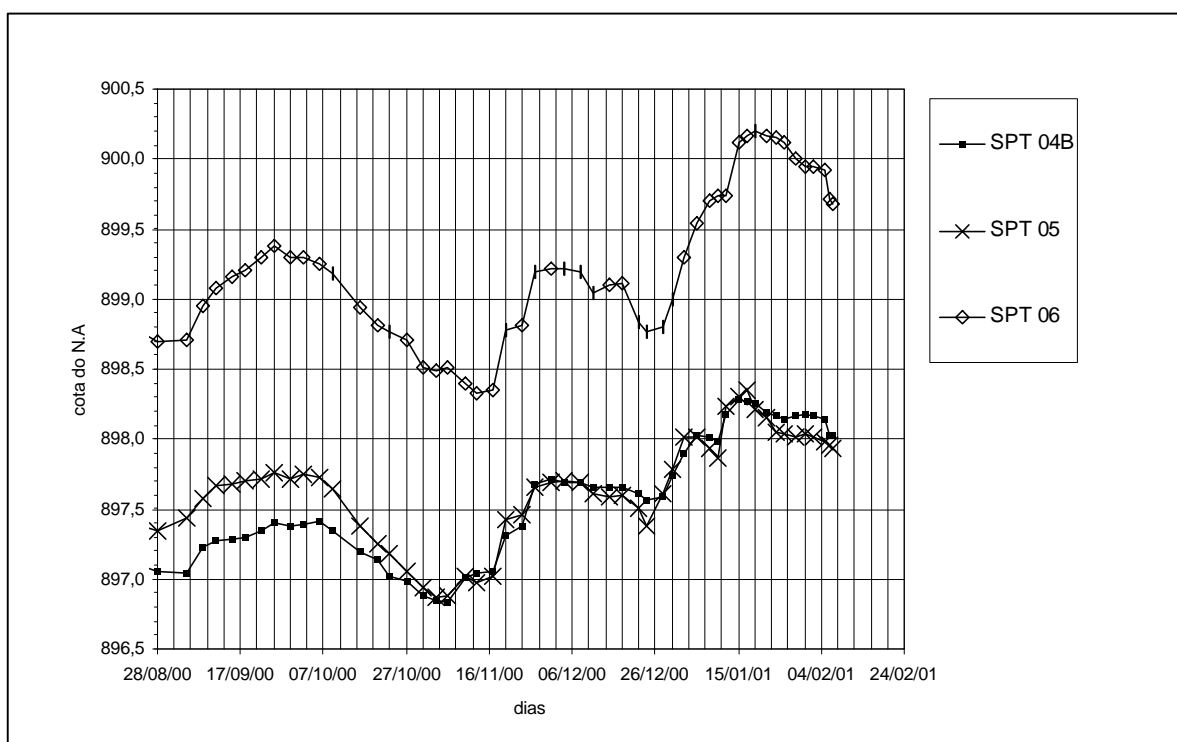


Gráfico 5.6: Variação do NA. na rua Prof. Eugênia

**Obs:** teste de bombeamento na Mineradora São Jerônimo: início, 5/12/200; término, 29/01/2001.

Nota-se também um comportamento diferenciado nos piezômetros 03, localizado no final da Rua Cel. Tamarindo, e 09, localizado na Rua João Costa (Gráfico 5.7). Nas leituras feitas até o dia 07/10/2000, eles apresentam uma elevação no N.A de aproximadamente 20 cm durante os finais de semana, voltando a se rebaixar no decorrer da semana. O piezômetro 09 foi danificado na primeira semana de novembro, não sendo possível obter mais leituras.

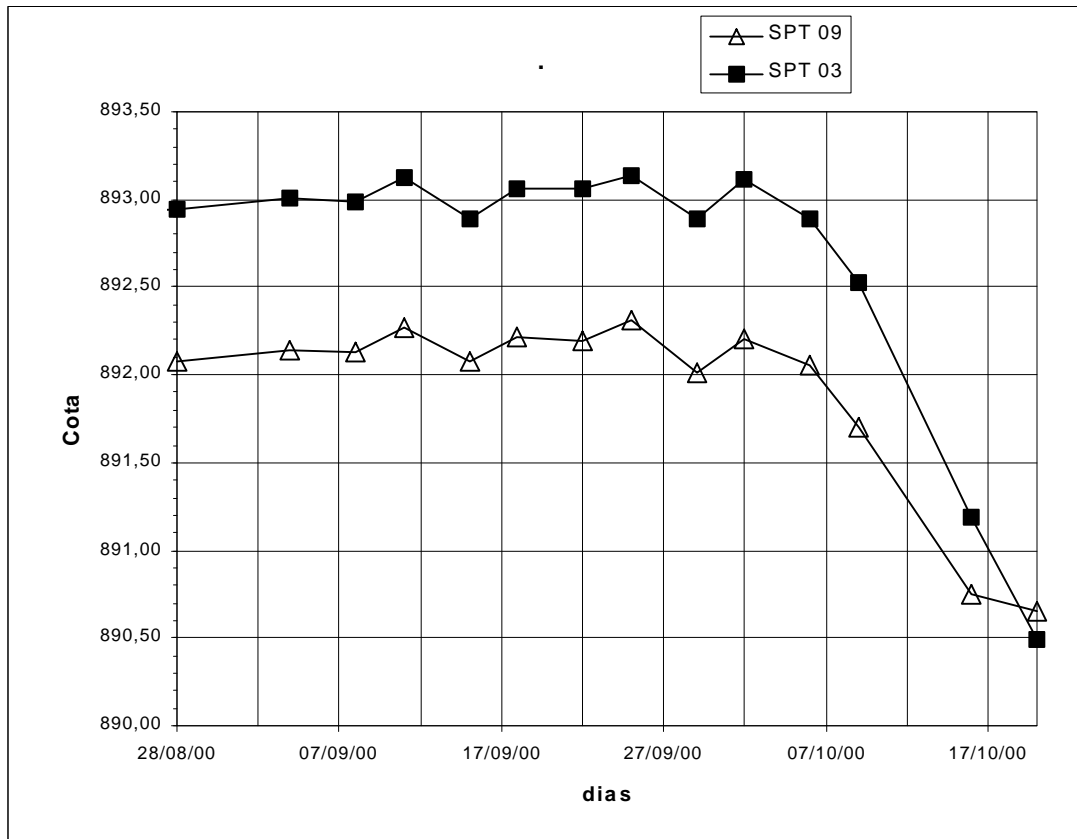


Gráfico 5.7: Variação do NA nos piezômetros 09 e 03.

Foi verificado também um cone de depressão na Rua Cel. Tamarindo, onde o NA se rebaixa na direção do poço artesiano da fábrica João Lombardi, como mostra a Fig. 5.15.

Os valores de nível estático e nível dinâmico do poço da Tecelagem João Lombardi, utilizados na construção desta figura, foram obtidos do boletim de perfuração do poço, realizado pela Hidropoços. Observa-se também nesta figura o rebaixamento do nível d'água entre os dias 15/09/2000 e 23/10/2000.

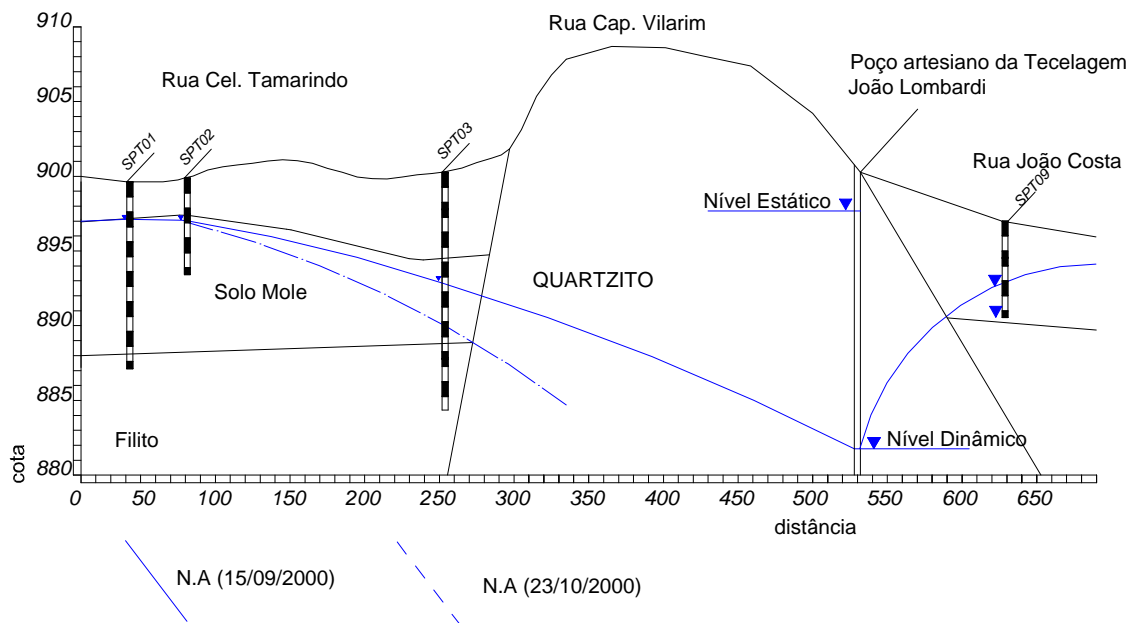


Figura 5.15: Cone de depressão na Rua Cel. Tamarindo

#### 5.4.1. Cálculo do recalque no ponto de maior variação do nível d'água

De posse dos resultados do ensaio de adensamento e do monitoramento do nível d'água, foi calculado o recalque em um ponto que sofresse um rebaixamento do NA igual ao máximo encontrado no piezômetro 03.

Esta camada compõe um aquífero superficial, do tipo granular, assente diretamente sobre o filito e em contato com o quartzito.

Como não foi possível, neste trabalho, caracterizar a camada de silte argiloso mole, considerou-se toda a camada de solo drenada como sendo homogênea, com características de compressibilidade iguais às encontradas para a camada superficial de areia fina siltosa. Neste caso, o recalque encontrado foi subestimado, já que o silte argiloso aparenta ser muito mais compressível que a camada superficial.

Os parâmetros utilizados nesta simulação foram:

- $c_c=0,2$
- $\gamma_{nat}=17,4 \text{ kN/m}^3$
- Profundidade inicial do NA.: 6,5 m
- Profundidade final do NA.: 13 m

- As tensões efetivas iniciais e finais foram calculadas para o centro de cada camada.

O recalque foi calculado dividindo-se a camada de solo em subcamadas de 0,5 m, utilizando-se a seguinte fórmula:

$$\Delta H = \frac{C_c}{1+e_0} \log\left(\frac{\sigma_2}{\sigma_1}\right)$$

Onde:  $\sigma_2 = \gamma h$  e  $\sigma_1 = \sigma' = \sigma_2 - u$

O cálculo do recalque é mostrado no quadro 5.1, onde foi encontrado um recalque total de 6 cm.

Prof. (m)	$s_2$ (kN/m <sup>2</sup> )	u (kN/m <sup>2</sup> )	$s_1$ (kN/m <sup>2</sup> )	$e_0$	Dh (cm)	Recalque (cm)
0,5	4,35	0	4,35	0,86	0,00	0,0
1	13,05	0	13,05	0,86	0,00	0,0
1,5	21,75	0	21,75	0,86	0,00	0,0
2	30,45	0	30,45	0,86	0,00	0,0
2,5	39,15	0	39,15	0,86	0,00	0,0
3	47,85	0	47,85	0,86	0,00	0,0
3,5	56,55	0	56,55	0,86	0,00	0,0
4	65,25	0	65,25	0,86	0,00	0,0
4,5	73,95	0	73,95	0,86	0,00	0,0
5	82,65	0	82,65	0,86	0,00	0,0
5,5	91,35	0	91,35	0,86	0,00	0,0
6	100,05	0	100,05	0,86	0,00	0,0
6,5	108,75	0	108,75	0,86	0,00	0,0
7	117,45	2,5	114,95	0,86	0,05	0,1
7,5	126,15	7,5	118,65	0,86	0,14	0,2
8	134,85	12,5	122,35	0,86	0,23	0,4
8,5	143,55	17,5	126,05	0,86	0,30	0,7
9	152,25	22,5	129,75	0,86	0,37	1,1
9,5	160,95	27,5	133,45	0,86	0,44	1,5

<b>Prof. (m)</b>	<b><math>s_2</math> (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>u (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b><math>s_1</math> (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b><math>e_0</math></b>	<b>Dh (cm)</b>	<b>Recalque (cm)</b>
10	169,65	32,5	137,15	0,86	0,50	2,0
10,5	178,35	37,5	140,85	0,86	0,55	2,6
11	187,05	42,5	144,55	0,86	0,60	3,2
11,5	195,75	47,5	148,25	0,86	0,65	3,8
12	204,45	52,5	151,95	0,86	0,69	4,5
12,5	2115	57,5	155,65	0,86	0,73	5,3
13	221,85	62,5	159,35	0,86	0,77	6,0

*Quadro 5.1: Cálculo do recalque.*

## **6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES**

### **6.1. QUANTO À GEOLOGIA**

Os resultados das sondagens de simples reconhecimento e do GPR mostram a presença, em toda a área estudada, de uma camada de areia fina siltosa de aproximadamente 2 m de espessura, seguida por uma camada de silte argiloso mole, com espessuras variando de 6 a 12 m. Ambos os materiais encontrados possuem elevada compressibilidade, o que favorece o processo de subsidência induzida por oscilações no nível d'água. Esta camada compõe um aquífero superficial do tipo granular.

O embasamento rochoso é formado por filitos, onde está assente o aluvião, nas partes baixas, sendo as partes altas constituídas por quartzitos que estão em contato com o aluvião no seu limite. Estes quartzitos são os aquíferos fissurados que, em conjunto com os aquíferos superficiais, abastecem os poços artesianos da região.

### **6.2. QUANTO À VARIAÇÃO DO NA**

Analisando-se os resultados do monitoramento do nível d'água, observa-se:

- a variação do NA, nos finais de semana, nos piezômetros 3 e 9;

- uma grande variação do NA nos piezômetros da Rua Professora Eugênia;
- a presença de um cone de depressão da Rua Cel. Tamarindo.

Estas informações levam a concluir que os bombeamentos realizados na região do Bairro das Fábricas influem diretamente no lençol d'água da área afetada, ocasionando o seu rebaixamento.

Os poços retiram água do quartzito que, por sua vez, possui fissuras que estão em contato com o solo em alguns pontos. Os piezômetros 03 e 09 por estarem mais próximos a este contato sofrem maiores variações no NA.

Vale lembrar também que o poço do DAMAE foi interditado no ano de 1995, devido ao surgimento de trincas na Escola Aureliano Pimentel, localizada à Av. Leite de Castro, em frente ao referido poço. A "limpeza" do poço do DAMAE, logo após a sua abertura, resultou no carreamento de partículas do solo, o que agravou ainda mais o processo de subsidência.

Segundo dados levantados no cadastro, as movimentações se iniciaram por volta do ano de 1993. A data de abertura do poço da Tecelagem João Lombardi (26/11/1993), a sua proximidade com a área afetada e o cone de depressão na Rua Coronel Tamarindo permitem concluir que este poço tem interferido na variação do nível do lençol freático e, conseqüentemente, contribuindo com as movimentações ocorridas em toda região afetada.

Quanto aos poços da Tecelagem São Joanense, foram observados os seguintes pontos:

- o limite da área afetada é a Rua João Costa, não havendo nenhum caso de movimentação entre essa rua e a Tecelagem São Joanense;
- a data de abertura dos poços da CTJS é posterior ao início das movimentações.
- são poços profundos, de 90 m de profundidade.

Baseado nessas evidências, é possível concluir que os poços da Tecelagem São Joanense não são responsáveis pelo rebaixamento do nível d'água nos aquíferos da região afetada pelas movimentações.

Outro fator que vem interferindo no rebaixamento do lençol freático é a presença de poços clandestinos em residências. Segundo informações, há vários

poços rasos nesta região, perfurados na maioria das vezes sem nenhuma responsabilidade técnica.

Não foi encontrada nenhuma relação entre o bombeamento na Mineradora São Jerônimo e a variação do nível d'água na região afetada. A instabilidade resultante das atividades de lavra de Ouro nas betas restringe-se à área imediatamente acima destas e suas vizinhanças. Este problema de estabilidade não foi objeto do estudo realizado, que procurou, isto sim, avaliar a influência tanto da lavra quanto do bombeamento de água nas betas sobre os recalques observados na área do Bairro das Fábricas e nas adjacências da Rua Profa. Eugênia de Castro. Assim sendo, o estudo realizado permite concluir que os recalques observados na área de estudo não têm relação com as atividades seja de lavra, seja de bombeamento de água, desenvolvidas pela Mineradora São Jerônimo.

### **6.3. PROBLEMAS DE INSTABILIDADE ENCONTRADOS**

Foi observada, durante o cadastro, a presença de um escorregamento de terra na encosta da Rua Prof. Eugênia, que em janeiro de 2000 destruiu quase totalmente uma residência. Trata-se de um talude instável, com uma contenção inadequada que cedeu durante o período de chuvas, pondo em risco a vida dos moradores daquela rua. Para evitar a evolução deste problema é necessário que se faça o projeto de uma contenção para aquela encosta.

### **6.4. SUGESTÕES**

Para melhor entendimento do problema, sugere-se um programa de monitoramento dos itens:

- Recalques, através da observação da evolução das trincas nas residências afetadas, principalmente nos meses de estiagem. Sugere-se também a instalação de "benchmarks" para o controle mais preciso da evolução dos recalques.
- Variação do nível d'água através dos piezômetros instalados.

Muito importante também é que se faça um cadastro de todos os poços residenciais da região, colhendo-se informações a respeito destes poços, como a profundidade, a vazão e a localização, a fim de se fazer um mapeamento do fluxo de água que é captado no aluvião.

Para estudos futuros, sugere-se que se faça uma caracterização da camada de silte argiloso mole, através de ensaios de campo (CPT, PMT e DMT), além de um programa mais detalhado de ensaios de laboratório.

Como medidas mitigadoras, sugere-se o planejamento do uso e ocupação da área afetada, criando-se restrições de uso, a fim de se evitar possíveis danos a futuras edificações e definição de critérios para projeto e execução de fundações.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE FILHO, J.L. Oscilações induzidas no freático e suas conseqüências. **Curso de geologia aplicada ao meio ambiente**. São Paulo, SP. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **MB-3336**; solo – ensaio de adensamento unidimensional. Rio de Janeiro, RJ. 1990. 13p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6459**; solo – determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, RJ. 1982. 7p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7180**; solo – determinação do limite de plasticidade e do índice de plasticidade. Rio de Janeiro, RJ. 1982. 3p.
- BADILLO, E. J. & RODRÍGUEZ, A. R. **Mecânica de suelos**, tomo II, 2ª ed. México, D.F. Editorial Limusa, S.A. 1979. 704p.
- CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**, vol. 2, 6ª ed. Rio de Janeiro, RJ. Livros Técnicos e Científicos Editora. 1987. 498p.
- D'ELBOUX, C. V. & DA SILVA, A. G. **Mapa geotécnico preliminar** – Área das betas e suas vizinhanças.. Sítio do Cabral – São João del Rei, MG. Condicionante, processo 156/91 14/março/2000.

DOLPHIN, L. **Ground penetration radars – usage and limitations**. Página da Web: <http://www.g-p-r.com>. 2000.

**HORTA**, F. M. Laudo Pericial. **Processo 13.628**, pág. 160. Comarca de São João del Rei. 1995.

JORNAL DO **BRASIL**. **Caverna afunda quintal perto de São Paulo**. 1º Caderno, pág. 17. Rio de Janeiro, RJ. 14/08/1986.

MAGALHÃES, F.S. et al. Estudos geotécnicos e geofísicos e áreas com fenômenos de **subsidência**. **8º Congresso brasileiro de geologia de engenharia**, vol 1. Rio de Janeiro, RJ. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. Setembro 1996.

NAKAZAWA, V. A. et al. Subsidiências e colapsos em áreas urbanas. **Curso de geologia aplicada ao meio ambiente**. São Paulo, SP. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. 1995.

NEVES, F. A. **Curso: Técnicas e aplicações de GPR (ground penetrating radar)** Rio de Janeiro, RJ. Departamento de geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 1997.

OLHOEFT, G. R. **Ground penetration radar – Georadar by Gary R. Olhoeft**. Página da Web: <http://www.g-p-r.com>. 2000.

SILVA, G. G. CECÍLIO, A.. E. Contestação. **Processo 13.628**, pág. 181. Comarca de São João del Rei. 1997.

TERZAGHI, K. **Theoretical soil mechanics**. John Wiley & Sons, New York. 1943. 510p.

## **ANEXO: BOLETINS DE SONDAGEM SPT**

Universidade Federal de Viçosa Departamento de Engenharia Civil Laboratório de Mecânica dos solos					SONDAGEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO (SPT) NBR 6484/80 - NBR 7250/82	
REVESTIMENTO..... $\varnothing = 2\ 1/2''$ AMOSTRADOR..... $\varnothing_{ext} = 2''$ PESO.....65 kg ALTURA DE QUEDA.....75 cm					SONDAGEM N <sup>o</sup> : SPT 01	
CLIENTE: Pref. Municipal de São João d'el Rey OBRA : LOCAL: Rua Cel. Tamarindo DATA Início: 06/07/2000      DATA Término : 07/07/2000					PROFUNDIDADE DO NÍVEL DE ÁGUA (m): INICIAL: 2,40 06/07/2000 FINAL:4,07 21/07/2000 PROFUNDIDADE DO REVESTIMENTO : 4 m PROFUNDIDADE TOTAL (m): 12,50 m	
A V A N Ç O	A M O S T R A	G O L P E S	CLASSIFICAÇÃO DO SOLO CONVENÇÕES	COTAS P/ BOCA DO FURO	N.A. (m)	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO N (SPT)
TH	1R	7	Areia fina amarela + pedregulho	Aluvião	1,45	
TH	2R	2	Areia fina amarela + pedregulho		2,45	
TH	3R	2	Silte argiloso bege	Solo Mole	3,45	
CA	4L	3	Sem amostra - Areia fina siltosa		4,45	
CA	5R	1	Silte argiloso bege		5,45	
CA	6R	3	Areia fina siltosa marrom + pedregulho		6,45	
CA	7L	2	Silte		7,45	
CA	8R	1	Silte argiloso bege		8,45	
CA	9L	1	Silte argiloso bege		9,45	
CA	10L	2	Silte argiloso bege		10,45	
CA	11L	3	Silte mole		11,45	
CA	12R	12	Areia média + pedregulho		Solo Firme	
CA	13	10/0	Alteração de rocha	12,50		

NOTAS:

- 1) **TC** = TRADO CONCHA      **TH** = TRADO HELICOIDAL
- 2) **CA** = CIRCULAÇÃO DE ÁGUA
- 3) **R** = AMOSTRA RECUPERADA
- 4) **L** = AMOSTRA RECUPERADA POR LAVAGEM

Quadro A-1: boletim de sondagem do furo SPT 01

Universidade Federal de Viçosa Departamento de Engenharia Civil Laboratório de Mecânica dos solos					SONDAGEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO (SPT) NBR 6484/80 - NBR 7250/82			
REVESTIMENTO..... $\varnothing = 2\ 1/2''$ AMOSTRADOR..... $\varnothing_{ext} = 2''$ PESO.....65 kg ALTURA DE QUEDA.....75 cm					SONDAGEM N.º: SPT 02		COTA (m): 899,9 10 cm DO MEIO-FIO	
CLIENTE: Pref. Municipal de São João d'el Rey OBRA : LOCAL: Rua Cel. Tamarindo DATA Início: 13/06/2000      DATA Término : 13/06/2000					PROFUNDIDADE DO NÍVEL DE ÁGUA (m): INICIAL: 2,40 06/07/2000 FINAL:4,07 21/07/2000 PROFUNDIDADE DO REVESTIMENTO : 4 m PROFUNDIDADE TOTAL (m): 12,50 m			
A V A N Ç O	A M O S T R A	G O L P E S	CLASSIFICAÇÃO DO SOLO CONVENÇÕES	COTAS P/ BOCA DO FURO	N.A. (m)	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO N (SPT)		
TH	1R	8	Areia fina siltosa cinza	Aluvião	1,45			
TH	2R	5	Areia fina siltosa					2,45
TH	3R	1	Silte argiloso mole	Solo Mole	3,45			
CA	4L	2	Silte argiloso mole					4,45
CA	5R	2	Silte argiloso mole					5,45
CA	6R	2	Silte argiloso mole					6,45

NOTAS:

- 1) **TC** = TRADO CONCHA      **TH** = TRADO HELICOIDAL
- 2) **CA** = CIRCULAÇÃO DE ÁGUA
- 3) **R** = AMOSTRA RECUPERADA
- 4) **L** = AMOSTRA RECUPERADA POR LAVAGEM

*Quadro A-2: boletim de sondagem do furo SPT 02*

Universidade Federal de Viçosa Departamento de Engenharia Civil Laboratório de Mecânica dos solos					SONDAGEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO (SPT) NBR 6484/80 - NBR 7250/82	
REVESTIMENTO..... $\varnothing = 2 \frac{1}{2}$ " AMOSTRADOR..... $\varnothing_{ext} = 2$ " PESO.....65 kg ALTURA DE QUEDA.....75 cm					SONDAGEM N <sup>o</sup> : SPT 03	
CLIENTE: Pref. Municipal de São João d'el Rey OBRA : LOCAL: Rua Cel. Tamarindo DATA Início: 15/06/2000      DATA Término :16/06/2000					PROFUNDIDADE DO NÍVEL DE ÁGUA (m): INICIAL: 4,0    16/06/2000 FINAL: 7,45    21/07/2000 PROFUNDIDADE DO REVESTIMENTO : 4 m PROFUNDIDADE TOTAL (m): 12,50 m	
A V A N Ç O	A M O S T R A	G O L P E S	CLASSIFICAÇÃO DO SOLO CONVENÇÕES	COTAS P/ BOCA DO FURO	N.A. (m)	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO N (SPT)
TH	1R	8	Areia fina siltosa + pedregulho	1,45		
TH	2R	8	Areia grossa + pedregulho	2,45		
TH	3R	12	Areia grossa + pedregulho	3,45		
TH	4L	6	Areia grossa + pedregulho	4,45		
TH	5R	4	Areia fina siltosa cinza + ped.	5,45		
TH	6R	3	Silte argiloso mole bege	6,45		
CA	7R	2	Silte argiloso mole bege	7,45		
CA	8R	3	Silte argiloso mole cinza	8,45		
CA	9L	3	Silte argiloso mole cinza	9,45		
CA	10L	3	Silte argiloso mole cinza	10,45		
CA	11L	3	Silte argiloso mole cinza	11,45		
CA	12R	32	Argila siltosa cinza claro	13,45		
CA	13R	19	Areia siltosa cinza claro + ped.	14,45		
CA	14R	24	Silte argiloso cinza claro	15,45		
CA	15R	15/1	Impenetrável à percussão	15,91		

NOTAS:

- 1) **TC** = TRADO CONCHA      **TH** = TRADO HELICOIDAL
- 2) **CA** = CIRCULAÇÃO DE ÁGUA
- 3) **R** = AMOSTRA RECUPERADA
- 4) **L** = AMOSTRA RECUPERADA POR LAVAGEM

*Quadro A-3: boletim de sondagem do furo SPT 03*

Universidade Federal de Viçosa Departamento de Engenharia Civil Laboratório de Mecânica dos solos						SONDAGEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO (SPT) NBR 6484/80 - NBR 7250/82				
REVESTIMENTO..... $\varnothing = 2\ 1/2''$ AMOSTRADOR..... $\varnothing_{ext} = 2''$ PESO.....65 kg ALTURA DE QUEDA.....75 cm						SONDAGEM N <sup>o</sup> : SPT 04		COTA (m): 903,3 10 cm DO MEIO-FIO		
CLIENTE: Pref. Municipal de São João d'el Rey OBRA : LOCAL: Rua Prof. Eugênia DATA Início: 19/06/2000      DATA Término : 19/06/2000						PROFUNDIDADE DO NÍVEL DE ÁGUA (m): INICIAL: FINAL: PROFUNDIDADE DO REVESTIMENTO : PROFUNDIDADE TOTAL (m): 2,45 m				
A V A N Ç O	A M O S T R A	G O L P E S	CLASSIFICAÇÃO DO SOLO CONVENÇÕES		COTAS P/ BOCA DO FURO	N.A. (m)	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO N (SPT)			
TH	1R	22	Aterro de pedregulho		1,45					
TH	2R	45	Alteração de Rocha		2,45					

Quadro A-4: boletim de sondagem do furo SPT 04

Universidade Federal de Viçosa Departamento de Engenharia Civil Laboratório de Mecânica dos solos						SONDAGEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO (SPT) NBR 6484/80 - NBR 7250/82				
REVESTIMENTO..... $\varnothing = 2\ 1/2''$ AMOSTRADOR..... $\varnothing_{ext} = 2''$ PESO.....65 kg ALTURA DE QUEDA.....75 cm						SONDAGEM N <sup>o</sup> : SPT 04 A		COTA (m): 903,6 10 cm DO MEIO-FIO		
CLIENTE: Pref. Municipal de São João d'el Rey OBRA : LOCAL: Rua Prof. Eugênia DATA Início: 19/06/2000      DATA Término : 19/06/2000						PROFUNDIDADE DO NÍVEL DE ÁGUA (m): INICIAL: FINAL: PROFUNDIDADE DO REVESTIMENTO : PROFUNDIDADE TOTAL (m): 1,45 m				
A V A N Ç O	A M O S T R A	G O L P E S	CLASSIFICAÇÃO DO SOLO CONVENÇÕES		COTAS P/ BOCA DO FURO	N.A. (m)	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO N (SPT)			
TH			Aterro de pedregulho		0,0					
TH	1R	88	Alteração de Rocha		1,45					

NOTAS:

- 1) **TC** = TRADO CONCHA      **TH** = TRADO HELICOIDAL
- 2) **CA** = CIRCULAÇÃO DE ÁGUA
- 3) **R** = AMOSTRA RECUPERADA
- 4) **L** = AMOSTRA RECUPERADA POR LAVAGEM

Quadro A-5: boletim de sondagem do furo SPT 04A

Universidade Federal de Viçosa Departamento de Engenharia Civil Laboratório de Mecânica dos solos				SONDAGEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO (SPT) NBR 6484/80 - NBR 7250/82	
REVESTIMENTO..... $\varnothing = 2 \frac{1}{2}$ " AMOSTRADOR..... $\varnothing_{ext} = 2$ " PESO.....65 kg ALTURA DE QUEDA.....75 cm				SONDAGEM N <sup>o</sup> : SPT 04 B	
CLIENTE: Pref. Municipal de São João d'el Rey OBRA : LOCAL: Rua Prof. Eugênia DATA Início: 19/06/2000      DATA Término : 20/06/2000				PROFUNDIDADE DO NÍVEL DE ÁGUA (m): INICIAL: 14/07/2000 FINAL: 5,29 21/07/2000 PROFUNDIDADE DO REVESTIMENTO : 2 m PROFUNDIDADE TOTAL (m): 7,45 m	
A V A N Ç O	A M O S T R A	G O L P E S	CLASSIFICAÇÃO DO SOLO CONVENÇÕES	COTAS P/ BOCA DO FURO	N.A. (m)
TH	1R	25	Pedregulho	Aluvião	1,45
TH	2R	8	Silte Argiloso		2,45
TH	3R	10	Silte argiloso variegado	Alt. Rocha/Solo residual/	3,45
TH	4R	9	Silte argiloso variegado + ped.		4,45
TH	5R	4	Silte argiloso bege		5,45
CA	6R	9	Silte argiloso cinza		6,45
CA	7R	15/1	Alteração de rocha		7,45

RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO  
N (SPT)

Profundidade (m)	Resistência N (SPT)
0	10
1,45	25
2,45	15
3,45	10
4,45	15
5,45	10
6,45	25
7,45	10

NOTAS:

- 1) **TC** = TRADO CONCHA      **TH** = TRADO HELICOIDAL
- 2) **CA** = CIRCULAÇÃO DE ÁGUA
- 3) **R** = AMOSTRA RECUPERADA
- 4) **L** = AMOSTRA RECUPERADA POR LAVAGEM

*Quadro A-6: boletim de sondagem do furo SPT 04B*

Universidade Federal de Viçosa Departamento de Engenharia Civil Laboratório de Mecânica dos solos						SONDAGEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO (SPT) NBR 6484/80 - NBR 7250/82	
REVESTIMENTO..... $\varnothing = 2\ 1/2"$ AMOSTRADOR..... $\varnothing_{ext} = 2"$ PESO.....65 kg ALTURA DE QUEDA.....75 cm						SONDAGEM N.º: SPT 05	
CLIENTE: Pref. Municipal de São João d'el Rey OBRA : LOCAL: Rua Prof. Eugênia DATA Início: 28/06/2000      DATA Término: 29/06/2000						PROFUNDIDADE DO NÍVEL DE ÁGUA (m): INICIAL:4,20    29/ 06 / 2000 FINAL: 4,56    21 / 07 / 2000 PROFUNDIDADE DO REVESTIMENTO : 4 m PROFUNDIDADE TOTAL (m): 15,0 m	
A V A N Ç O	A M O S T R A	G O L P E S	CLASSIFICAÇÃO DO SOLO CONVENÇÕES		COTAS P/ BOCA DO FURO	N.A. (m)	
TH	1R	3	Entulho/Aterro		1,45		
TH	2R	5	Silte argiloso cinza	Aluvião	2,45		
TH	3R	6	Areia fina siltosa bege		3,45		
TH	4R	3	Silte argiloso bege		4,45		
TH	5R	4	Silte argiloso bege	Solo Mole	5,45		
CA	6R	4	Silte argiloso bege		6,45		
CA	7R	2	Silte argiloso bege		7,45		
CA	8R	2	Silte argiloso bege		8,45		
CA	9R	3	Silte argiloso bege		9,45		
CA	10R	2	Silte argiloso bege		10,45		
CA	11R	3	Silte argiloso bege		11,45		
CA	12R	2	Silte argiloso bege		12,45		
CA	13R	5	Silte arenoso róseo		Alt. Rocha		13,45
CA	14R	16	Silte arenoso var. + pedregulho				14,45
CA	15R	81	Alteração de rocha	15,00			

NOTAS:

- 1) **TC** = TRADO CONCHA      **TH** = TRADO HELICOIDAL
- 2) **CA** = CIRCULAÇÃO DE ÁGUA
- 3) **R** = AMOSTRA RECUPERADA
- 4) **L** = AMOSTRA RECUPERADA POR LAVAGEM

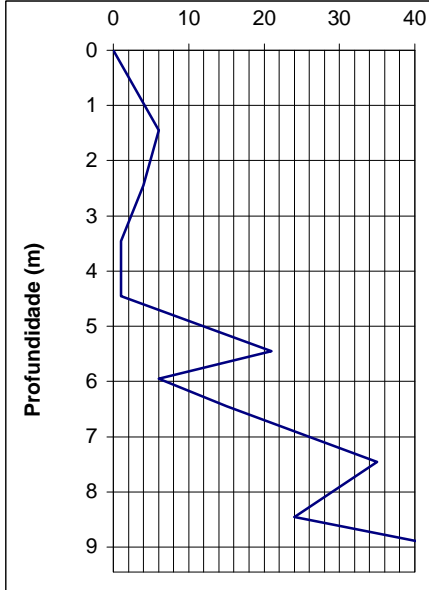
*Quadro A-7: boletim de sondagem do furo SPT 05*

Universidade Federal de Viçosa Departamento de Engenharia Civil Laboratório de Mecânica dos solos					SONDAGEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO (SPT) NBR 6484/80 - NBR 7250/82	
REVESTIMENTO..... $\varnothing = 2\ 1/2''$ AMOSTRADOR..... $\varnothing_{ext} = 2''$ PESO.....65 kg ALTURA DE QUEDA.....75 cm					SONDAGEM N.º: SPT 06	
CLIENTE: Pref. Municipal de São João d'el Rey OBRA : LOCAL: Rua Prof. Eugênia DATA Início: 30/06/2000      DATA Término: 01/07/2000					PROFUNDIDADE DO NÍVEL DE ÁGUA (m): INICIAL:3,9    29/06/2000 FINAL: 3,97    21/07/2000 PROFUNDIDADE DO REVESTIMENTO : 4 m PROFUNDIDADE TOTAL (m): 10,45 m	
A V A N Ç O	A M O S T R A	G O L P E S	CLASSIFICAÇÃO DO SOLO CONVENÇÕES	COTAS P/ BOCA DO FURO	N.A. (m)	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO N (SPT)
TH	1R		Entulho	Aterro	1,45	
TH	2R	7	Areia fina siltos var.		2,45	
TH	3R	5	Silte argiloso variegado + ped.	Aluvião	3,45	
TH	4R	5	Silte argiloso variegado + ped.		4,45	
TH	5R	6	Silte argiloso var.		5,45	
CA	6R	9	Silte arenoso cinza + pedregulho		6,45	
CA	7R	8	Silte arenoso cinza + pedregulho	7,45	Alt. Rocha	
CA	8R	7	Silte arenoso cinza + pedregulho	8,45		
CA	9L	4	Silte argiloso	9,45		
CA	10L	16	Silte arenoso cinza + pedregulho	10,45		

NOTAS:

- 1) **TC** = TRADO CONCHA      **TH** = TRADO HELICOIDAL
- 2) **CA** = CIRCULAÇÃO DE ÁGUA
- 3) **R** = AMOSTRA RECUPERADA
- 4) **L** = AMOSTRA RECUPERADA POR LAVAGEM

Quadro A-8: boletim de sondagem do furo SPT 06

Universidade Federal de Viçosa Departamento de Engenharia Civil Laboratório de Mecânica dos solos					SONDAGEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO (SPT) NBR 6484/80 - NBR 7250/82		
REVESTIMENTO..... $\varnothing = 2\ 1/2''$ AMOSTRADOR..... $\varnothing_{ext} = 2''$ PESO.....65 kg ALTURA DE QUEDA.....75 cm					SONDAGEM N <sup>o</sup> : SPT 07		
CLIENTE: Pref. Municipal de São João d'el Rey OBRA : LOCAL: Rua Cel. Tamarindo DATA Início: 11/07/2000      DATA Término : 12/07/2000					PROFUNDIDADE DO NÍVEL DE ÁGUA (m): INICIAL: 3,3 12/07/2000 FINAL: 2,76 21/07/2000 PROFUNDIDADE DO REVESTIMENTO : 4 m PROFUNDIDADE TOTAL (m): 9,45 m		
A V A N Ç O	A M O S T R A	G O L P E S	CLASSIFICAÇÃO DO SOLO CONVENÇÕES	COTAS P/ BOCA DO FURO	N.A. (m)	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO N (SPT)  	
TH	1R	6	Areia argilosa escura	Aluvião	1,45		N
TH	2R	4	Areia média + ped.		2,45		
TH	3L	1	Silte arenoso	Solo mole	3,45		
CA	4L	1	Silte mole bege.		4,45		
CA	5R	21	Areia média + ped.	Solo residual	5,45		
CA	6L	6	Areia.		5,95		
CA	7R	15	Areia fina siltosa variegada		6,45		
CA	8R	35	Areia fina argilosa + pedregulho		7,45		
CA	9R	24	Silte arenoso cinza + pedregulho		8,45		
CA		61	Alteração de rocha		9,45		

NOTAS:

- 1) **TC** = TRADO CONCHA      **TH** = TRADO HELICOIDAL
- 2) **CA** = CIRCULAÇÃO DE ÁGUA
- 3) **R** = AMOSTRA RECUPERADA
- 4) **L** = AMOSTRA RECUPERADA POR LAVAGEM

*Quadro A-9: boletim de sondagem do furo SPT 07*

Universidade Federal de Viçosa Departamento de Engenharia Civil Laboratório de Mecânica dos solos					SONDAGEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO (SPT) NBR 6484/80 - NBR 7250/82		
REVESTIMENTO..... $\varnothing = 2\ 1/2''$ AMOSTRADOR..... $\varnothing_{ext} = 2''$ PESO.....65 kg ALTURA DE QUEDA.....75 cm					SONDAGEM N.º: SPT 08		
CLIENTE: Pref. Municipal de São João d'el Rey OBRA : LOCAL: Praça Afonso Dalles DATA Início: 13/07/2000      DATA Término : 14/07/2000					PROFUNDIDADE DO NÍVEL DE ÁGUA (m): INICIAL: 2,7 14/07/2000 FINAL: 2,8 21/07/2000 PROFUNDIDADE DO REVESTIMENTO : 4 m PROFUNDIDADE TOTAL (m): 8,39 m		
A V A N Ç O	A M O S T R A	G O L P E S	CLASSIFICAÇÃO DO SOLO CONVENÇÕES	COTAS P/ BOCA DO FURO	N.A. (m)	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO N (SPT)	
TH	1R	7	Areia argilosa escura	Aterro	1,45		
TH	2R	23	Areia média + ped.		2,45		
TH	3R	2	Areia média + ped.	Aluvião	3,45		
CA	4R	5	Areia fina argilosa cinza		4,45		
CA	5R	19	Areia fina argilosa + ped.	Solo residual	5,45		
CA	6R	32	Silte arenoso bege + pedregulho		6,45		
CA	7R	41	Alteração de rocha + pedregulho		7,45		
CA	8R	61	Alteração de rocha		8,39		

NOTAS:

- 1) **TC** = TRADO CONCHA      **TH** = TRADO HELICOIDAL
- 2) **CA** = CIRCULAÇÃO DE ÁGUA
- 3) **R** = AMOSTRA RECUPERADA
- 4) **L** = AMOSTRA RECUPERADA POR LAVAGEM

Quadro A-10: boletim de sondagem do furo SPT 08

Universidade Federal de Viçosa Departamento de Engenharia Civil Laboratório de Mecânica dos solos					SONDAGEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO (SPT) NBR 6484/80 - NBR 7250/82	
REVESTIMENTO..... $\varnothing = 2\ 1/2''$ AMOSTRADOR..... $\varnothing_{ext} = 2''$ PESO.....65 kg ALTURA DE QUEDA.....75 cm					SONDAGEM N.º: SPT 09	
CLIENTE: Pref. Municipal de São João d'el Rey OBRA : LOCAL: Rua Cel. Tamarindo DATA Início: 18/07/2000      DATA Término : 19/07/2000					COTA (m): 897,0 10 cm DO MEIO-FIO  PROFUNDIDADE DO NÍVEL DE ÁGUA (m): INICIAL: FINAL: PROFUNDIDADE DO REVESTIMENTO : 4 m PROFUNDIDADE TOTAL (m): 6,70 m	
A V A N Ç O	A M O S T R A	G O L P E S	CLASSIFICAÇÃO DO SOLO CONVENÇÕES	COTAS P/ BOCA DO FURO	N.A. (m)	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO N (SPT)
TH	1R	4	Areia argilosa escura	Aluvião	1,45	
TH	2R	2	Areia média + ped.		2,45	
TH	3R	3	Areia média + ped.		3,45	
TH	4R	3	Areia fina argilosa cinza		4,45	
TH	5R	9	Areia fina argilosa + ped.	Solo residual	5,45	
TH	6R	18	Silte arenoso bege + pedregulho		6,45	
TH	7R	45	Alteração de rocha + pedregulho		6,70	

NOTAS:

- 1) **TC** = TRADO CONCHA      **TH** = TRADO HELICOIDAL
- 2) **CA** = CIRCULAÇÃO DE ÁGUA
- 3) **R** = AMOSTRA RECUPERADA
- 4) **L** = AMOSTRA RECUPERADA POR LAVAGEM

*Quadro A-11: boletim de sondagem do furo SPT 09*

Universidade Federal de Viçosa Departamento de Engenharia Civil Laboratório de Mecânica dos solos					SONDAGEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO (SPT) NBR 6484/80 - NBR 7250/82			
REVESTIMENTO..... $\varnothing = 2\ 1/2''$ AMOSTRADOR..... $\varnothing_{ext} = 2''$ PESO.....65 kg ALTURA DE QUEDA.....75 cm					SONDAGEM N <sup>o</sup> : SPT 10		COTA (m): 894,6 10 cm DO MEIO-FIO	
CLIENTE: Pref. Municipal de São João d'el Rey OBRA : LOCAL: Rua Cel. Tamarindo DATA Início: 19/07/2000      DATA Término : 19/07/2000					PROFUNDIDADE DO NÍVEL DE ÁGUA (m): INICIAL: FINAL: 5,23      21 / 07 / 2000 PROFUNDIDADE DO REVESTIMENTO : 2 m PROFUNDIDADE TOTAL (m): 6,7 m			
A V A N Ç O	A M O S T R A	G O L P E S	CLASSIFICAÇÃO DO SOLO CONVENÇÕES	COTAS P/ BOCA DO FURO	N.A. (m)	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO N (SPT)		
TH	1R	2	Areia fina pouco siltosa marrom	Aluvião	1,45			
TH	2R	5	Areia fina amarela + pedregulho		2,45			
TH	3R	4	Areia fina pouco siltosa + pedregulho		3,45			
CA	4R	36	Areia siltosa + pedregulho	Alteração de rocha	4,45			
CA	5R	23	Alteração de rocha		5,95			
CA	6R	67	Alteração de rocha + pedregulho		6,45			

NOTAS:

- 1) **TC** = TRADO CONCHA      **TH** = TRADO HELICOIDAL
- 2) **CA** = CIRCULAÇÃO DE ÁGUA
- 3) **R** = AMOSTRA RECUPERADA
- 4) **L** = AMOSTRA RECUPERADA POR LAVAGEM

*Quadro A-12: boletim de sondagem do furo SPT 10*