UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

EDUARDO DEL SENT SOARES

LEVANTAMENTO DE REDES DE INFRAESTRUTURA COM USO DE TÉCNICA REMOTA E TOPOGRAFIA

PORTO ALEGRE

2014

EDUARDO DEL SENT SOARES

LEVANTAMENTO DE REDES DE INFRAESTRUTURA COM USO DE TÉCNICA REMOTA E TOPOGRAFIA

Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Cartográfica apresentado na forma de monografia ao Departamento de Geodésia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Cartógrafo.

Orientadora: Dra. Andrea Lopes Iescheck
Co-orientador: Dr. Eduardo Guimarães Barboza

PORTO ALEGRE
2014

EDUARDO DEL SENT SOARES

LEVANTAMENTO DE REDES DE INFRAESTRUTURA COM O USO DE TÉCNICA REMOTA E DE TOPOGRAFIA

Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Cartográfica apresentado na forma de monografia ao Departamento de Geodésia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Cartógrafo.

Aprovado pela banca examinadora em 29 de agosto de 2014.

BANCA EXAMINADORA

_____.

MSc. Patrícia Andréia Paiola Scalco

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

_____.

Dra. Maria Luiza Correa da Camara Rosa

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família, por todo amor e carinho, e minha namorada Cris por todo incentivo nessa reta final do curso.

AGRADECIMENTOS

À professora e orientadora Andrea Lopes Iescheck por ter aceitado a orientação desse trabalho e incentivado sua conclusão, logicamente também pelo conhecimento ensinado durante o curso e realização deste trabalho;

Ao professor e co-orientador Eduardo Guimarães Barboza, fundamental no levantamento com Georadar, disponibilizando equipamento, laboratório e conhecimento;

Aos colegas de curso e de trabalho de conclusão Ismael Coelho e Márcio Leonel, parceiros de início de trabalho que por razões diversas não concluíram o trabalho, mas fundamentais para conclusão desse trabalho;

À equipe de topografia da Geosul Serviços Topográficos, por todo auxílio no levantamento topográfico da área piloto;

À professora Maria Luiza Correa da Camara Rosa,pelo auxílio nos levantamentos com o Georadar.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo analisar um método não destrutivo de levantamento de redes de infraestrutura que auxiliem na gestão e no planejamento de obras de engenharia na fase de projeto ou *"As Built".* Foi realizado um levantamento para avaliar a viabilidade deste método no mapeamento de redes subterrâneas de infraestrutura e o sua possível aplicação em cadastro multifinalitário. Para dar suporte ao levantamento da área piloto, foi um executado levantamento planialtimétrico resultando na geração de base cartográfica da área piloto e vizinhança; esse levantamento gerou um mapa da área. Com o objetivo de dar rigidez à base cartográfica gerada pelo levantamento, foram implantados pontos de apoio rastreados através de técnicas GNSS e materializados por chapas metálicas. Também foi gerado um Boletim de Informações Cadastrais (BIC) que abrange todas as benfeitorias existentes na área de levantamento. Com a metodologia utilizada para realização do levantamento com o georadar (Radar de penetração no solo) foram obtidas as respostas espectrais esperadas pelos objetos alvos do estudo.

Palavras-chaves: redes de infraestrutura, levantamento não destrutivo, Georadar, base cartográfica.

ABSTRACT

The study aims to analyze a non-destructive method of survey of infrastructure networks that assist in the management and planning of engineering works in the project phase or "As Built". A survey was conducted to evaluate the feasibility of this method in mapping underground infrastructure networks and their possible application in multipurpose cadastre. To support the survey of the pilot area, was executed a planialtimetric survey, resulting in the generation of cartographic base of the pilot area and neighborhood; this survey generated a map of the area. In order to give rigidity to the cartographic base map generated by the survey, support points were implanted tracked through GNSS techniques and materialized by metal plates. Also a Cadastral Information Bulletin which covers all existing improvements in the survey area was generated. With the methodology used to conduct the survey with GPR (Ground Penetrating Radar) were obtained spectral responses expected by the target objects of study

Keywords: network infrastructure, non-destructive survey, GPR, basemap.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 8

1.1 Considerações iniciais 8

1.1.1 Objetivo geral 9

1.1.2 Objetivo específico 10

1.2 Justificativa 10

2 REVISÃO TEÓRICA 11

2.1 Sistemas geodésicos de referência 11

2.2 Sistema global de navegação por satélites - GNSS 13

2.2.1 GPS 13

2.2.2 GLONASS 15

2.2.3 Observáveis e técnicas de posicionamento 16

2.2.3.1 Posicionamento relativo estático 17

2.2.3.2 Posicionamento relativo cinemático em tempo real - RTK 18

2.2.4 Redes GNSS 19

2.3 Levantamentos topográficos 20

2.3.1 Poligonação 21

2.3.2 Nivelamento geométrico 22

2.3.3 Nivelamento trigonométrico 23

2.3.4 Leap frog 25

2.4 Redes de infraestrutura 26

2.4.1 Sistema viário 27

2.4.2 Drenagem pluvial 28
2.4.3 Abastecimento de água 29
2.4.4 Esgotamento sanitário 29
2.4.5 Energia elétrica 30
2.4.6 Gás combustível 31
2.4.7 Comunicação 31
2.4.8 Cadastro de redes 31
2.5 Georadar 32
2.5.1 Fundamentos do método 33
2.5.2 Levantamento georadar 35
2.5.3 Processamento de dados 38

3 ÁREA DE ESTUDO 38

4 MATERIAIS E MÉTODOS 42
4.1 Receptor GNSS 42
4.1.1 Posicionamento relativo estático 43
4.1.2 RTK 43
4.2 Nível digital 44
4.3 Estação total 45
4.4 Georadar 45

5 METODOLOGIA 46
5.1 Definição da escala e da exatidão posicional 47
5.2 Definição da estrutura de feições e atributos a serem levantados 48

5.3 Geração da base cartográfica 48

5.4 Levantamento georadar 61

6 RESULTADOS 66

7 CONCLUSÕES E RECOMENTAÇÕES 90

REFERÊNCIAS 92

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

O sítio de notícias G1 relatou no dia 31/07/2013 a seguinte manchete: *"Retroescavadeira atinge tubulação de água e deixa rua da Zona Norte alagada".* Segue a notícia abaixo sobre o fato ocorrido no município do Rio de Janeiro:

> Uma retroescavadeira atingiu uma tubulação da Cedae na Avenida Vicente de Carvalho, na altura da Avenida Professor Martin Luther King J., próximo à estação de metrô de Vicente de Carvalho, na Zona Norte, na manhã desta quarta-feira. No local, a prefeitura realiza obras do corredor viário Transcarioca.

A figura 1 mostra o fato.

Figura 1 - Escavadeira rompe adutora

Fonte: http://www.terra.com.br

No mesmo dia, o mesmo sítio disponibilizou a notícia: *"Rompimento de adutora deixa criança morta em Campo Grande".* Abaixo segue o complemento da notícia:

> Nesta terça-feira, em Campo Grande, na Zona Oeste, o rompimento de uma adutora da Cedae provocou a morte de uma criança e feriu outras 13 pessoas. Uma obra de terraplanagem pode ter causado o acidente. Ainda neste mês (julho), no dia 12, outra tubulação de gás foi atingida por uma retroescavadeira usada em obras da Transcarioca. O incidente ocorreu na Avenida Ministro Edgard Romero, próximo ao Mercadão de Madureira

Estes são exemplos de que no Brasil não há a visão da execução de levantamentos de redes de infraestrutura para geração de cadastro multifinalitário. Isto muitas vezes resulta na negligência do uso de informações importantes referentes aos serviços disponíveis, quer sobre ou sob a superfície, principalmente em logradouros públicos.

A implementação e a utilização de uma base cadastral multifinalitária, obtida por métodos de levantamentos remotos, auxiliaria a evitar este tipo de imprevisto. Dessa forma, todas as informações pertinentes estariam à disposição e, quando confrontadas com futuros projetos, permitiriam avaliar a viabilidade de sua realização, seja para localização ou complementação do projeto em execução.

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar um método remoto de levantamento de redes de infraestrutura. Elaborar a base cartográfica cadastral multifinalitária de uma área piloto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Contido nesta área, executar um levantamento de redes subterrâneas, utilizando técnicas remotas.

1.1.2 Objetivo específico

Busca-se a elaboração de uma ferramenta que auxilia na gestão e planejamento. Para atingir o objetivo geral, deverão ser alcançados os seguintes objetivos específicos:

- Elaborar a modelagem conceitual do cadastro.
- Avaliação/atualização da Rede Geodésica da UFRGS, localizados no Campus do Vale;
- Gerar um mapa cadastral do Campus do Vale da Universidade Federal do Rio Grande do Sul;
- Em área piloto, executar levantamento utilizando técnica remota com georadar;

1.2 Justificativa

A realização de um cadastro multifinalitário e uma base cartográfica torna-se uma ferramenta indispensável para diversos projetos de engenharia e gestão. A vantagem deste cadastro é a possibilidade de integração de dados georreferenciados dos elementos de infraestrutura e seus respectivos atributos, que possibilitam por sua vez um conhecimento amplo sobre a obra.

Quanto à gestão, ou o planejamento da obra, um cadastro adequado possibilita, nas tomadas de decisão, a ampla análise das redes e benfeitorias, o que agiliza os processos pertinentes aos projetos de ampliação, de manutenção, de melhorias, entre outros.

A execução de projetos de engenharia sem nenhum estudo que dê aporte para a localização da obra pode ocasionar uma série de problemas, uma vez que sua implantação em um local não recomendado, como por exemplo, sobre uma rede de gás ou de água, poderia causar enormes desperdícios de mão de obra, financeiro e logístico. De maneira similar, a manutenção das redes de infraestrutura, devido a sua

complexidade, pode se tornar um processo custoso e demorado, caso não haja pleno conhecimento posicional e qualitativo sobre os elementos que as compõem.

2 REVISÃO TEÓRICA

2.1 Sistemas geodésicos de referência

Um sistema de referência é sempre vital em qualquer atividade de que faça uso de informações georreferenciadas. De maneira geral, o estabelecimento de um sistema geodésico de referência consiste em quatro etapas: conceituação, definição, materialização e densificação.

A conceituação do sistema é dada pela definição da origem e da orientação dos eixos. Os sistemas de referência terrestres podem ser classificados quanto às suas origens, sendo estes com origem geocêntrica, ditos absolutos, ou com origem topocêntrica em um ponto, ditos relativos. Os referenciais utilizados em geodésia por satélites são em geral globais e geocêntricos por natureza, visto que todos os satélites terrestres orbitam o centro de massa da terra (SEEBER, 1993).

A definição do sistema é a determinação dos parâmetros da origem, da escala e da orientação dos eixos. Esta definição está sempre associada a uma época, visto que a orientação dos vértices de um sistema de referência terrestre muda com o transcorrer do tempo.

A materialização é o estabelecimento de uma rede de pontos fixados no terreno através de marcos associados a um conjunto de coordenadas. E a densificação é o refinamento da rede, por meio da materialização de novos pontos.

No Brasil, informações geoespaciais são referidas ao Sistema Geodésico Brasileiro – SGB. Este sistema é mantido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, no seu departamento de Geodésia, e é composto pelas redes altimétrica, planimétrica e gravimétrica.

Na sua definição horizontal, o SGB já adotou diversos *Data* ao longo de sua história, como o *Datum* Córrego Alegre e o *Datum* Chuá. Atualmente, o SGB se encontra, até 2015, em um período de transição do *Datum* Sul Americano de 1969, SAD69, para o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas – SIRGAS 2000 (IBGE, 2005). O SIRGAS 2000 difere dos demais sistemas adotados pelo SGB por ser geocêntrico, ao contrário dos antigos sistemas topocêntricos, e por ser compatível com o World Geodetic System - WGS84, utilizado pelos sistemas de navegação por satélites. O IBGE disponibiliza os parâmetros de conversão do sistema SAD69 para o sistema SIRGAS 2000 e vice-versa, todavia conversões entre *Data* mais antigos devem ser primeiramente convertidos para o sistema SAD69 e depois para o sistema SIRGAS 2000.

Quanto à definição vertical, a rede altimétrica nacional adota altitudes ortométricas (H), caracterizadas como a distância entre um ponto na superfície terrestre e seu homólogo sobre o geóide. O geóide é uma superfície equipotencial gravitacional que se assemelha ao nível médio dos mares. Em nível nacional, a rede altimétrica é referida ao nível médio dos mares determinado pelo marégrafo de Imbituba (SC), a exceção do estado do Amapá, que é referido ao marégrafo do Porto de Santana (IBGE, 2011).

Os sistemas de navegação por satélites trabalham com altitudes geométricas ou elipsoidais (h), definidas pela distância entre um ponto na superfície terrestre e o seu homólogo sobre o elipsóide. A compatibilização entre estes sistemas se dá através da ondulação geoidal (N), da forma h = H + N, conforme apresentado na figura 2.

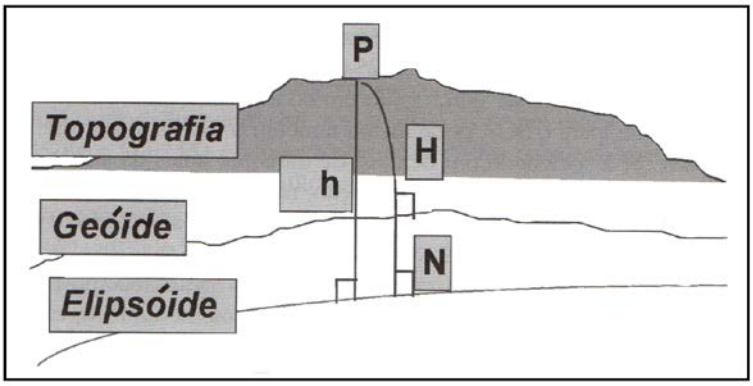

Figura 2 - Relação entre altitudes geométrica e ortométrica.

Fonte: Monico, 2008

2.2 Sistemas globais de navegação por satélites - GNSS

Os GNSS (*Global Navigation Satellite System*) são sistemas de navegação compostos por satélites artificiais que orbitam a terra, transmitindo neste processo sinais de rádio contendo parâmetros como as efemérides de suas posições e o tempo de transmissão destas. Estes sinais chegam ao observador que, munido de um receptor com tecnologia específica, recebe e processa estes dados para a determinação de sua posição espacial.

O princípio de funcionamento de um GNSS é a trilateração. Nesta, é transmitida a um observador a posição de um número de satélites, em relação a um referencial inercial, bem como a posição relativa do observador em relação a estes satélites. Com estas informações, o usuário deriva sua posição no sistema de referência.

Embora geometricamente sejam necessárias apenas observações de três satélites para a solução do sistema com três incógnitas de posição, é necessária uma quarta observação devido à defasagem entre o relógio de precisão atômica embarcado no satélite, que gera o sinal, e o relógio do receptor. Há dois principais GNSS disponíveis atualmente, o americano NAVSTAR-GPS (*Navigation System with Time and Ranging – Global Positioning System*) e o russo GLONASS (*Global Navigation Satellite System)*.

2.2.1 GPS

O NAVSTAR-GPS foi desenvolvido ao longo das décadas de 70 e 80 pelo departamento de defesa dos Estados Unidos, de forma a se tornar o sistema de navegação principal das forças armadas. O GPS surgiu como uma evolução do sistema TRANSIT, primeiro sistema de satélites para navegação desenvolvido pela Marinha dos Estados Unidos em 1964. O lançamento do primeiro satélite GPS foi realizado em 1978 e o sistema atingiu sua plena operacionalidade em 1993.

O GPS é composto por um mínimo de 24 satélites, dispostos em seis planos orbitais inclinados de 55° em relação ao equador com quatro satélites cada, a uma

altitude de 20.200 km (SEEBER, 1993). Esta configuração permite que a qualquer instante e em qualquer lugar do globo, um usuário tenha acima do seu horizonte pelo menos quatro satélites.

O GPS transmite sinais em duas ondas portadoras, geradas simultaneamente, denominadas L1 e L2. A frequência fundamental destes é de 10,23 MHz, que são multiplicadas por 154 para a portadora L1 e por 120 para portadora L2 (MONICO, 2008).

Sobre estas frequências são modulados códigos pseudo-aleatórios (ditos PRN, do inglês *pseudorandom number), m*odulações binárias, que, apesar de possuírem uma aparência aleatória, podem ser identificados por seus algoritmos. São empregados no GPS dois tipos de códigos PRN, o código C/A (*Coarse Acquisition,* de uso civil), na portadora L1, e o código P (*Proteced)*, mais precisa, porém criptografado para uso militar, em ambas portadoras. A cada satélite é associado um PRN, e estes códigos são produzidos de forma a apresentarem baixa correlação entre si, facilitando a distinção entre satélites. A atribuição de códigos PRN nas ondas portadoras permite com que todos os satélites possam transmitir na mesma frequência, podendo cada satélite ser distinguido pelo seu código. Esta técnica é conhecida como Divisão de código para acesso múltiplo, ou CDMA (MONICO, 2008).

As mensagens de navegação necessárias para o cálculo das coordenadas do receptor, como parâmetros orbitais e dados para correção de erros, também são modulados nas ondas portadoras. O sistema GPS se encontra, atualmente, em processo de modernização com o lançamento de um novo bloco de satélites, tendo como especificações a modulação de um código civil para L2 e a integração de uma nova onda portadora, a L5, de frequência 115 vezes a frequência fundamental, como mostrado na figura 3. As coordenadas do sistema GPS são fornecidas no sistema de referência WGS84.

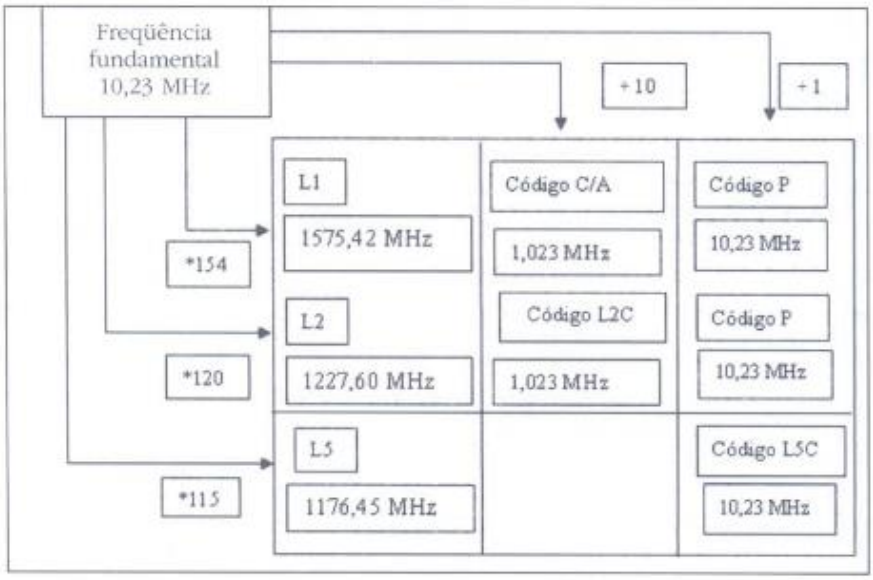

Figura 3 - Sinais GPS e suas modulações

fonte: MONICO, 2008

2.2.2 GLONASS

O GLONASS foi concebido na década de 1970 na antiga URSS pela Associação de Produção Científica de Mecânica Aplicada da União Soviética, segundo MONICO (2008). Da mesma forma que o GPS, o GLONASS é um sistema militar, disponibilizado pelo governo russo para uso civil.

O em 1996, todavia, devido à falta de manutenção e de novos lançamentos o número de satélites decresceu, atingindo um mínimo de 10 satélites em 2006. Desde então o governo russo adotou medidas para renovação do sistema visando o retorno a total operacionalidade. Atualmente, segundo a Agência Espacial Federal Russa (FSA, 2011), o sistema se encontra em quase plena totalidade, com 23 satélites.

Similarmente ao GPS, o GLONASS trabalha com dois códigos C/A e P modulados nas ondas portadoras. A onda portadora L1 é modulada somente com o código C/A, de frequência 0,511 MHz, enquanto a L2 é modulada com o código P, protegido, de frequência 5,11 MHz. Entretanto, ao contrário do sistema GPS, os códigos são os mesmos para todos os satélites, e estes são distinguidos entre si pela frequência dos

seus sinais, método chamado de Múltiplo Acesso por Divisão de Frequência (FDMA). As coordenadas do GLONASS são referidas ao referencial PZ90.

2.2.3 Observáveis e técnicas de posicionamento

O usuário de um GNSS pode trabalhar com duas observáveis fornecidas pelo sistema para o cálculo de sua posição: a pseudodistância e a fase da onda portadora. A pseudodistância é a distância dada pelo tempo de propagação do sinal do satélite ao receptor, multiplicada pela velocidade da luz no vácuo, adicionado de correções como efeitos atmosféricos e multicaminho.

A fase da onda portadora é dada pela diferença de fase da onda no instante de geração no satélite com seu instante de recepção. A medição de fase da onda portadora é mais precisa do que o uso da pseudodistância, sendo a observável básica para a maioria das atividades geodésicas. Todavia este método permite apenas a medição de uma parte fracionária da onda, não fornecendo conhecimento sobre o número inteiro de ciclos. Este número de ciclos é dito a ambiguidade da fase portadora. A ambiguidade de uma observação GNSS deve ser resolvida no ajustamento da mesma.

Diversas técnicas de posicionamento podem ser empregadas com estas duas observáveis para determinação das coordenadas do receptor. Segundo MONICO (2008), as principais técnicas de posicionamento são o posicionamento por ponto simples, posicionamento por ponto preciso, posicionamento relativo estático, posicionamento relativo estático rápido, posicionamento relativo semi-cinemático, posicionamento relativo cinemático. Destas, o posicionamento por ponto simples e por ponto preciso se utiliza da observável de pseudodistância, enquanto os métodos de posicionamento relativo se utilizam da fase da onda portadora.

As técnicas de posicionamento podem ser pós-processadas ou processadas em tempo real. O emprego de processamento em tempo real para a técnica de posicionamento relativo cinemático é chamado RTK (do inglês *Real Time Kinematic*).

No âmbito deste trabalho foram utilizadas as técnicas de posicionamento relativo estático e posicionamento relativo cinemático em tempo real (RTK).

2.2.3.1 Posicionamento relativo estático

O Posicionamento Relativo é um método de posicionamento onde as coordenadas do usuário são determinadas em relação a um referencial materializado de coordenadas conhecidas, ao contrário do posicionamento por ponto simples ou por ponto preciso (dito absolutos), onde as coordenadas são associadas diretamente ao geocentro.

Segundo IBGE (2011), nesta situação, é necessário que dois ou mais receptores GNSS adquiram dados de satélites visíveis, onde um dos receptores deve ocupar um ponto com coordenadas conhecidas, denominado de estação de referência ou estação base. Conhecendo-se as coordenadas da base, pode-se assim obter o comprimento da linha base entre esta e o receptor do qual se deseja conhecer a posição. A figura 4 mostra o princípio do posicionamento relativo.

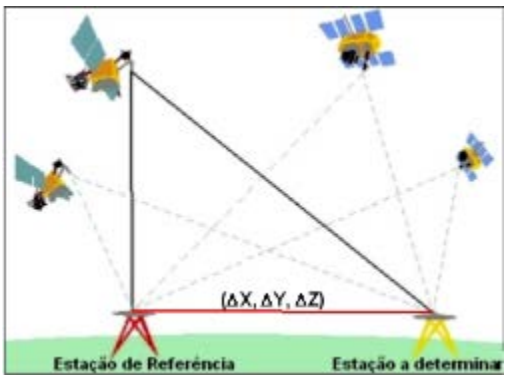

Figura 4 - Ilustração do posicionamento relativo

fonte: IBGE

Em posicionamento relativo o sistema GNSS trabalha com uma observável derivada de combinações lineares da fase da onda portadora, a dupla diferença (DD). A característica mais importante desta é que vários tipos de erros são praticamente eliminados, como o erro do relógio do satélite, erros orbitais e erro no relógio do receptor. Se a linha base é curta são também praticamente eliminados os efeitos atmosféricos. É importante ressaltar que para o emprego do método de posicionamento relativo, as coordenadas dos pontos conhecidos devem estar referenciadas ao sistema de referência WGS-84, ou a um sistema compatível.

O tempo de rastreio do posicionamento relativo estático pode variar de dezenas minutos até várias horas, conforme o comprimento da distância entre o par de receptores, dita linha base. Devido à alteração da geometria dos satélites durante o período de coleta de dados, as ambiguidades da fase da onda portadora podem ser facilmente solucionadas por injunção como um vetor de números inteiros no ajustamento. Segundo normas do IBGE, o tempo de coleta de dados relativo ao tamanho da linha base deve seguir o especificado na tabela 1.

Tabela 1 – Tempo de observação

Fonte: Adaptado de IGN – Instituto Geográfico Nacional da Espanha

Linha Base	Tempo de Observação	Equipamento Utilizado	Precisão
0-5km	5-10min	L1 ou L1L2	5-10mm=1ppm
5-10km	10-15min	L1 ou L1L2	5-10mm=1ppm
10-20km	15-30min	L1 ou L1L2	5-10mm=1ppm
20-50km	2-3h	L1L2	5mm = 1 ppm
50-100km	mínimo de 03h	L1L2	5mm = 1 ppm
100+km	mínimo de 04h	L1L2	5mm = 1 ppm

2.2.3.2 Posicionamento relativo cinemático em tempo real - RTK

No posicionamento relativo cinemático um receptor é mantido fixo (dito base) enquanto outro é móvel. Adota-se uma rápida taxa de coleta de dados usada, como por exemplo, um segundo. O emprego de processamento em tempo real na técnica de posicionamento relativo cinemático é chamada de *Real Time Kinematic* – RTK. O uso em tempo real é possível através da utilização de um link de comunicação, como um sistema de rádio, que transmita as correções da estação base para a estação móvel.

O método cinemático traz consigo algumas peculiaridades. As ambiguidades devem ser definidas no processo, sendo assim necessário um tempo mínimo total de rastreio da base. Os sinais de base e móvel devem ser continuamente rastreados e não devem sofrer obstrução no seu percurso, para que as ambiguidades determinadas

permaneçam válidas para a totalidade do levantamento. Perdas de ciclo degradam a acurácia do método, sendo necessário no receptor móvel um algoritmo para corrigir estes, bem como a solução em tempo real das ambiguidades. Há ainda uma restrição quanto à distância entre a base e o receptor, que deve ser no máximo da ordem de 4km (MONICO, 2008).

2.2.4 Redes GNSS

As redes GNSS se dividem em ativas, que possuem um receptor, ou passivas, as quais são necessárias ocupar, de maneira similar às redes clássicas. Quanto à hierarquia, as redes GNSS podem ser distinguidas hierarquicamente em três níveis (MONICO 2008), sendo estes, em ordem de importância, as redes nacionais, redes estaduais, e redes locais.

O IBGE possui e mantém uma rede GPS nacional ativa, a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo ou RBMC, criada em 1991, para apoio de atividades geodésicas e topográficas que façam uso de GPS. Uma das principais vantagens de uma rede ativa permanente nacional, como a RBMC, é o fornecimento de observações de estações de coordenadas conhecidas. Anteriormente ao advento da RBMC o usuário que deseja realizar um levantamento geodésico de um local necessariamente deveria possuir dois receptores, um para o seu ponto desejado e outro para um marco do SGB. Com a RBMC o usuário só necessita a possuir um receptor para o posicionamento geodésico, pois as estações estão munidas de receptores de dupla frequência (IBGE,2011). A RBMC é também a principal ligação com os sistemas de referência globais, através do *International GNSS Service* (IGS).

Alguns estados brasileiros desenvolveram redes estaduais, conectadas a rede nacional para suprirem suas demandas, como São Paulo, Rio de Janeiro, Paraná, Espírito Santo, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (IBGE,2011). No estado do Rio Grande do Sul a rede é composta por 50 estações, sendo duas ativas (Santa Maria - SMAR e Porto Alegre – POAL, que compõem a RBMC) e 48 passivas. As redes locais são aquelas desenvolvidas para apoiar determinados levantamentos específicos ou regiões específicas, como para controle obras, levantamento cadastrais, entre outros.

2.3 Levantamentos topográficos

Segundo ESPARTEL (1965) a topografia tem por finalidade determinar o contorno, dimensão e posição relativa de uma porção limitada da superfície terrestre, sem levar em conta a curvatura resultante da esfericidade terrestre. O conjunto de métodos para coletar dados para o traçado de uma planta subdivide-se em planimétrico, quando as projeções dos contornos e pontos medidos são representadas sobre um plano, e altimétrico quando são medidas as alturas desses pontos com relação a um plano de referência de nível (ESPARTEL, 1965).

Durante um levantamento topográfico, normalmente são determinados pontos de apoio ao levantamento (pontos planimétricos, altimétricos ou planialtimétricos), e a partir destes são levantados os demais pontos que permitem representar a área levantada. A primeira etapa pode ser chamada de estabelecimento do apoio topográfico e a segunda de levantamento de detalhes.

De acordo com a NBR 13133 (ABNT 1994, p.4) os pontos de apoio são definidos como “pontos, convenientemente distribuídos, que amarram ao terreno o levantamento topográfico e, por isso, devem ser materializados por estacas, piquetes, marcos de concreto, pinos de metal, tinta, dependendo da sua importância e permanência.”

O levantamento de detalhes é definido na NBR 13133 (ABNT 1994, p.3) como:

> Conjunto de operações topográficas clássicas (poligonais, irradiações, interseções ou por coordenadas sobre uma linha-base), destinado à determinação das posições planimétricas e/ou altimétricas dos pontos, que vão permitir a representação do terreno a ser levantado topograficamente a partir do apoio topográfico. Estas operações podem conduzir simultaneamente, à obtenção da planimetria, ou então, separadamente, se as condições especiais do terreno ou exigências do levantamento obrigarem à separação.

A determinação da cota/altitude de um ponto é uma atividade fundamental em Engenharia. Projetos de redes de esgoto, de estradas, planejamento urbano, entre outros, são exemplos de aplicações que utilizam estas informações. A determinação do valor da cota/altitude está baseada em métodos que permitem obter o desnível entre pontos. Conhecendo-se um valor de referência inicial é possível calcular as demais cotas ou

altitudes. Estes métodos são denominados de nivelamento. Existem diferentes métodos que permitem determinar os desníveis, diferenciando-se através das metodologias de operação, dos instrumentos de medição, do tipo de grandeza observada e dos modelos matemáticos utilizados, com precisões que variam de alguns centímetros até submilímetro. A aplicação de cada um deles dependerá da finalidade do trabalho.

Os métodos de nivelamento mais utilizados são o geométrico, trigonométrico e GNSS. Neste trabalho, foram aplicadas as metodologias de nivelamento geométrico e de nivelamento trigonométrico.

2.3.1 Poligonação

A poligonação é um dos mais empregados para determinação de coordenadas, principalmente para a definição de pontos de apoio planimétrico. Uma poligonal consiste em uma série de linhas consecutivas onde são conhecidos os comprimentos e direções, obtidos através de medições em campo.

O levantamento de uma poligonal é realizado através do método do caminhamento, percorrendo-se o contorno de um itinerário definido por uma série de pontos, medindo-se todos os ângulos, lados e uma orientação inicial. A partir destes dados e de uma coordenada de partida, é possível calcular as coordenadas de todos os pontos que formam esta poligonal. Utilizando-se uma poligonal é possível definir uma série de pontos de apoio ao levantamento topográfico, a partir dos quais serão determinadas coordenadas de outros pontos através do método de irradiação.

A NBR 13133 (ABNT, 1994) classifica as poligonais em:

- Poligonal principal: determina os pontos de apoio topográficos de primeira ordem;
- Poligonal secundária: aquela que, apoiada nos vértices da poligonal principal determina os pontos de apoio topográficos de segunda ordem;
- Poligonal auxiliar: poligonal que, baseada nos pontos de apoio topográfico planimétrico, tem seus vértices distribuídos na área ou faixa a ser levantada, de tal forma que seja possível coletar, direta ou indiretamente, por irradiação, interseção ou ordenadas

sobre uma linha de base, os pontos de detalhes julgados importantes, que devem ser estabelecidos pela escala ou nível de detalhamento do levantamento.

A poligonais levantadas em campo poderão ser:

- Poligonal fechada: parte de um ponto com coordenadas conhecidas e retorna ao mesmo ponto. Sua principal vantagem é permitir a verificação do erro de fechamento angular e linear.
- Poligonal enquadrada: parte de dois pontos com coordenadas conhecidas e acaba em outro dois pontos com coordenadas conhecidas. Permite a verificação do erro de fechamento e angular.
- Poligonal aberta: parte de um ponto com coordenadas conhecidas e acaba em um ponto cujas coordenadas deseja-se determinar. Não é possível determinar erros de fechamento.

Um dos elementos necessários para a definição de uma poligonal são os ângulos formados por seus lados. A medição destes ângulos pode ser feita utilizando técnicas como pares conjugados, repetição ou na forma de medição de ângulos. Normalmente são determinados os ângulos externos ou internos da poligonal. A partir dos dados medidos em campo (ângulos e distâncias), da orientação inicial e das coordenadas do ponto de partida, é possível calcular as coordenadas de todos os pontos da poligonal.

2.3.2 Nivelamento geométrico

O nivelamento geométrico consiste em uma técnica onde a determinação da diferença de altura entre pontos é feita por visadas horizontais e miras verticais.

Seguem algumas definições segundo BRASIL (1975) para facilitar o entendimento:

- *Estação do instrumento:* Posição do instrumento na tomada das leituras sobre as miras;
- *Visada:* Leitura da mira realizada numa estação do instrumento, podendo ser visada de ré e vante;
- *Secções:* São trechos nivelados da ordem de 2 a 3 km em cuja extremidades possuem RN;

- *Linhas:* São composições de seções.

Conforme a figura 2, a diferença de nível entre os pontos A e B pode ser estimada por:

$$dn_{A-B} = \Sigma h_i = \Sigma R_i - \Sigma V_i \quad (1)$$

e

$$h_i = R_i - V_i \quad (2)$$

Onde:

h_i: Diferença de nível entre visadas

R_i: Leitura na mira a ré;

V_i: Leitura na mira a vante

Devido à pequena distância e a equidistância entre o nível e as miras, pode-se negligenciar a convergência das superfícies equipotenciais, a variação na curvatura da superfície de nível que passa através do eixo óptico, bem como a influência sistemática da refração.

A precisão do nivelamento geométrico é obtida aplicando a lei de propagação de erro na equação (2), temos:

$$\sigma_{dnA-B} = \pm \sigma \cdot \sqrt{\frac{L}{S}} \quad (3)$$

Onde:

σ_{dnA-B}: erro do desnível de A a B (mm);

σ: erro aleatório de leitura de mira (mm);

L: comprimento total da linha ou seção nivelada (mm);

S: seção visada.

2.3.3 Nivelamento trigonométrico

O nivelamento trigonométrico é um método indireto para a determinação de desníveis que envolve a observação do ângulo zenital ou vertical e também a distância horizontal ou inclinada entre dois pontos. Pode ser executado por visadas unilaterais ou

visadas recíprocas, sendo que trataremos apenas do nivelamento trigonométrico unilateral.

O princípio do nivelamento trigonométrico está ilustrado na figura 5.

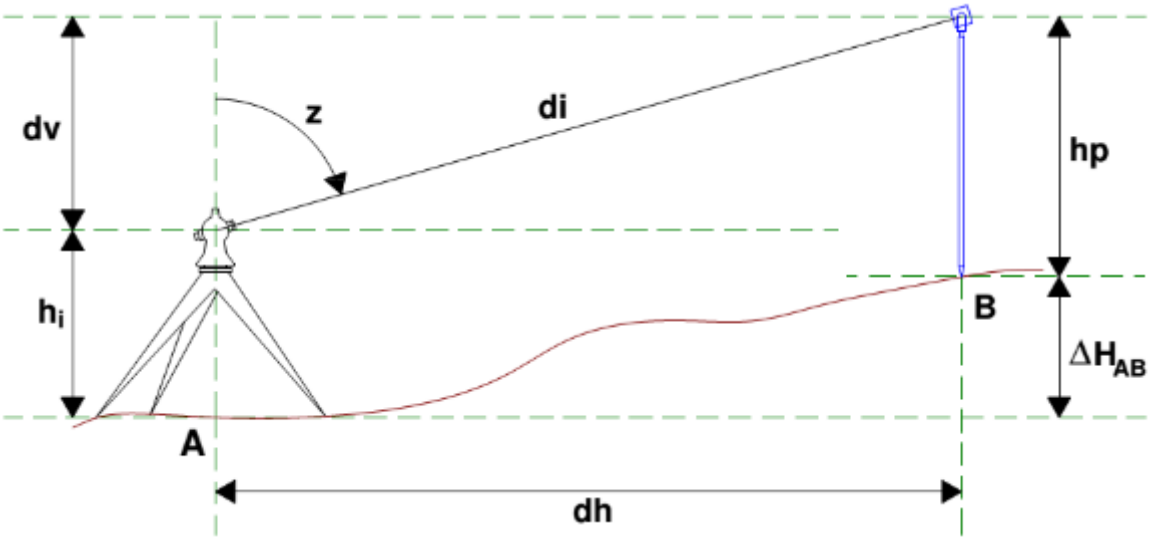

Figura 5 – Levantamento trigonométrico

Fonte: Moreira e Segantine

Onde:

d*i:* distância inclinada;

dh: distância horizontal

dv: distância vertical entre o centro óptico do equipamento e o centro do alvo;

z: ângulo zenital;

hi: altura do instrumento;

hp: altura do prisma;

ΔH_{AB}: desnível entre os pontos A e B.

Da figura tem-se a seguinte relação:

$dv + hi = hp + \Delta H_{AB}$

Isolando ΔH_{AB} temos:

$$\Delta H_{AB} = dv + hi - hp \qquad (4)$$

Utilizando-se os conceitos da trigonometria para triângulo retângulo pode-se expressar *dv* em função de *di* e *z,* grandezas já medidas:

$$dv = di.\cos(z) \quad (5)$$

Substituindo (5) em (4) temos:

$$\Delta H_{AB} = hi + di.\cos(z) - HP \quad (6)$$

2.3.4 Leap frog

Com o método de observações dos ângulos zenitais recíprocas e simultâneas, utilizando dois instrumentos de medição, consegue-se anular o efeito da curvatura e diminuir os erros advindos da refração. Esse método é mais exato que o nivelamento trigonométrico unilateral, porém necessitamos de mais equipamentos e é de difícil implementação em locais de difícil acesso.

O Leap frog é uma forma de executar o nivelamento trigonométrico com visadas unilaterais sem ter que medir a altura do instrumento nem aplicar as correções da curvatura e refração. Segundo CHRANOWSKI (1992), o leap-frog é uma modificação do nivelamento geométrico utilizando um MED, que proporciona uma acurácia melhor que 2mm$\sqrt{L(km)}$. O equipamento deve ser estacionado entre os pontos a serem nivelados de modo semelhante ao nivelamento geométrico.

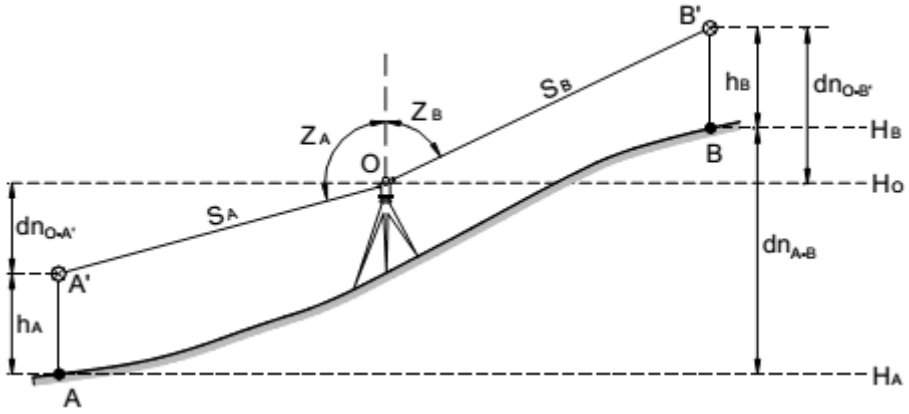

Figura 6 – Nivelamento trigonométrico leap-frog

Fonte: Fonte: Moreira e Segantine

Observando a figura 6, vemos que a equação para o desnível é:

$$dn_{A\text{-}B} = -S_A \,.\, \cos Z_A + S_B \,.\cos Z_B \qquad (7)$$

Em que:

S_A e S_B: distância inclinada para o ponto A e B;

Z_A e Z_B: ângulos zenitais para o ponto A e B;

$dn_{A\text{-}B}$: desnível entre A e B.

Admitindo que

$\sigma_{SB} = \sigma_{SA} = \sigma_S$ e $\sigma_{ZB} = \sigma_{ZA} = \sigma_Z$

2.4 Redes de infraestrutura

Em uma cidade, o espaço urbano não é constituído apenas de áreas edificadas separadas por vias de circulação. As redes de infraestrutura também fazem parte das mesmas, e o pleno desenvolvimento das cidades está diretamente ligado a elas.

Segundo Zmitrowicz e Neto (1997), a infraestrutura urbana pode ser conceituada como um sistema técnico de equipamentos e serviços necessários ao desenvolvimento

das funções urbanas, podendo estas funções serem vistas três aspectos: o social, visando melhoria nas condições de vida e em geral, econômico, visando o desenvolvimento de atividades de produção e institucional, oferecendo os meios necessários ao desenvolvimento das atividades político-administrativas da cidade.

A classificação de sistemas de infraestrutura, segundo os usos técnico setoriais pode ser dividida em seis sistemas, a saber: viário, de drenagem pluvial, de abastecimento de água, de esgoto sanitário, energético e de comunicações.

2.4.1 Sistema viário

O sistema viário é composto de uma ou mais redes de circulação, de acordo com o tipo de espaço urbano, e complementa-se com o sistema de drenagem de águas pluviais.

Segundo Mascaró (1987 apud Stuchi 2005), de todos os sistemas, o viário é o mais representativo, merecendo estudos cuidadosos pois:

- é o mais caro dos sistemas, já que normalmente abrange mais de 50% do custo total da urbanização;
- ocupa uma parcela importante do solo urbano (entre 20 e 25%);
- uma vez implantado é o que apresenta mais dificuldade para aumentar sua capacidade em função de sua área, custos e dificuldades operacionais da sua alteração;
- é o sistema a qual está vinculado mais usuários (conduz pessoas).

O sistema viário apresenta distintos padrões, em função do volume, velocidade, sentido e intensidade do tráfego, podendo ser classificados em ordem crescente em vias locais, coletoras, arteriais, e expressas.

Quanto ao tipo de usuário, as áreas urbanas atuais podem ser diferenciadas em leito carroçável, que visa o trânsito de veículos, passeio, que visa o trânsito de pedestres e ciclovias, destinadas ao trânsito de bicicletas.

2.4.2 Drenagem pluvial

O sistema de drenagem pluvial, segundo Zmitrowicz e Neto (1997), visa promover o escoamento de massas líquidas proveniente da chuva, atmosférica, assegurando a proteção de edificações, o trânsito público e minimizando efeitos de inundações.

Segundo Mascaró (1989) o sistema de drenagem de água pluvial contém os elementos meios-fios ou guias, sarjetas, sarjetões, bocas-de-lobo, galerias, poços de visita e bacias de estocagem.

Os meios-fios ou guias são elementos utilizados entre o passeio e o leito carroçável, dispostos paralelamente ao eixo da rua, formando um conjunto com as sarjetas. É recomendável que possuam uma altura aproximada de 15cm em relação ao nível superior da sarjeta, para assegurar a abertura das portas dos automóveis e, além disso, conduzir águas das vias.

As sarjetas são faixas do leito carroçável, situadas junto ao meio-fio, executadas geralmente em concreto moldado ou pré-moldado, formando com o meio fio canais triangulares para receber e dirigir as águas pluviais para o sistema de captação.

Os sarjetões são calhas geralmente construídos do mesmo material das sarjetas e em formato de “V”. Situam-se nos cruzamentos das vias e têm a função de dirigir o fluxo das águas no cruzamento.

As bocas-de-lobo são caixas de captação das águas, colocadas ao longo das sarjetas. Tem como função captar as águas pluviais de escoamento superficial e conduzi-las ao interior das galerias. São usualmente localizadas perto dos cruzamentos das vias a montante da faixa de pedestres ou em pontos intermediários quando a capacidade do conjunto meio fio sarjeta está esgotado.

Os poços de visitas são elementos do sistema de drenagem que possibilitam o acesso aos condutos para inspeção e limpeza. São necessários quando há mudança de direção ou declividade na galeria, junção de galerias, ou nas extremidades de montante.

As bacias de estocagem são reservatórios que, ao acumular o excesso de água proveniente de fortes chuvas, permite o escoamento pelas galerias e canais existentes, com fluxo compatível com suas capacidades.

2.4.3 Abastecimento de água

Um sistema de abastecimento de água visa prover para toda a população água sanitariamente pura e suficiente para as necessidades diárias dos habitantes. O sistema de abastecimento de água é composto, (STUCHI 2005) de captação, adutora, estação elevatória, estação de tratamento, reservatórios e rede de distribuição.

Destes, a rede de distribuição é a parte mais urbana e mais dispendiosa do sistema. Os ramais desta são usualmente instalados ao longo de ruas e logradouros públicos. Em si, a rede é constituída por uma sequência de tubulações com diâmetros decrescentes, iniciando no reservatório, com válvulas, registros, hidrantes, hidrômetros, dentre outros. Os materiais mais usuais para emprego em tubulações são o ferro fundido e o PVC, devido a seu fator custo/benefício.

De maneira geral as tubulações de abastecimento de água não são instaladas a grandes profundidades, já que o sistema de esgotamento sanitário deve estar sempre abaixo desta por motivo de segurança.

2.4.4 Esgotamento sanitário

O sistema de esgoto sanitário é um complemento necessário ao abastecimento de água. Enquanto a água potável é distribuída sob pressão, em conduto forçado de vazão decrescente o esgoto é recolhido sob pressão atmosférica, em dutos livres de vazão crescente (ZMITROWICZ e NETO, 1997)

O sistema de esgoto sanitário compreende, usualmente, os elementos de Rede de Esgoto Sanitário, Ligação Predial, Poço de Visita, Estação Elevatória e Estação de Tratamento (STUCHI 2005). A Rede de Esgoto Sanitário é um conjunto de condutos ramificados, com traçado similar a um sistema fluvial. O desenvolvimento das tubulações é sempre feito dos pontos mais altos, de menores dimensões, para os mais baixos, que são de maiores dimensões. As tubulações são usualmente de seção circular, feitas de materiais como cerâmica, concreto simples ou armado, PVC e ferro-fundido.

A ligação predial são os elementos que estabelecem a comunicação entre um edifício e o sistema público. O poço de visita é destinado a inspeção, limpeza e desobstrução dos coletores, construídos em pontos críticos ou convenientes, tais como mudanças de direção ou declividade.

A estação elevatória ajuda o fluxo a vencer a força gravitacional. É indispensável em cidades com pequena declividade ou de grande tamanho, onde o ponto de lançamento fica distante. A estação de tratamento é responsável pela recuperação total ou parcial das águas. Devido à problemática poluição dos rios, esse é um elemento que tem papel cada vez mais importante no sistema.

2.4.5 Energia elétrica

Segundo Zmitrowicz e Neto (1997), a generalização do uso da energia elétrica no fim do século XIX, entre outros fatores, fez com que as cidades mudassem de tamanho, morfologia e função. O sistema de energia elétrica se subdivide em sistema de geração, sistema de transmissão e sistema de distribuição. No ambiente urbano o sistema de distribuição é essencial, e este pode por sua vez pode ser dividido em redes de distribuição, sistema de postes e ligações prediais.

A rede de distribuição é dividida em duas partes fundamentais, uma rede primária que alimenta os usuários através de uma secundária, podendo ser aérea ou subterrânea dependendo da densidade populacional atendida. O sistema de postes é normalmente utilizado para a sustentação da rede aérea, feito de concreto tubular ou madeiral, tendo com altura, em geral, 9m para redes secundárias e 11 m para primárias. As ligações prediais estabelecem a comunicação entre a rede pública e os edifícios.

2.4.6 Gás combustível

A distribuição de gás combustível tem como uso principal a geração do calor, tanto para fins comerciais como industriais. Segundo Stuchi (2005), o sistema de gás combustível é parecido morfologicamente com o sistema elétrico, sendo composto de: usina de produção ou jazida, sistemas de extração, instalações de armazenamento, compressoras, odorizadoras, misturadoras e filtradoras, reguladores de pressão e rede de distribuição.

A rede de distribuição de gás é sempre subterrânea e apresenta estruturas, materiais e diâmetros de tubulações similares aos da rede de água. Devido a sua periculosidade, sua localização é a mais isolada possível em relação a demais redes e edificações.

2.4.7 Comunicação

O sistema de comunicação é o que mais se desenvolve atualmente, a grande velocidade. Ele é constituído fundamentalmente de dois tipos de rede: a rede telefônica e a rede de televisão a cabo. As conexões deste são feitas por condutores metálicos, cabos, fibra ótica ou satélites. Os cabos, fibras e fios têm especificações similares ao sistema elétrico.

2.4.8 Cadastro de redes

Para a elaboração de projetos executivos de redes de infraestrutura é necessário o uso do cadastro de interferências subterrâneas. As dificuldades de não haver cadastros dos elementos dos sistemas de esgotamento sanitário, drenagem pluvial, abastecimento

de água, gás natural, telecomunicações entre outros, pode levar a inviabilização de projetos, e até mesmo a elevação do custo da obra.

Um rigoroso levantamento cadastral das redes de infraestrutura permite definir as metodologias construtivas a serem utilizadas nas obras de forma a garantir que a implantação de projetos seja fidedigna ao projeto executivo. Visando a realização de levantamentos rigorosos de redes subterrâneas, equipamentos de detecção de dutos enterrados tornaram-se ferramentas indispensáveis. Esses equipamentos, por exemplo, minimizar as interrupções no trânsito e acidentes com rompimentos de redes, se comparados com métodos destrutivos. Eles permitem localizar tubulações metálicas ou não, indicando sua posição planimétrica e profundidade, tendo sua precisão atrelada ao equipamento e planejamento do levantamento. O Georadar é um exemplo de equipamento que pode ser utilizado para detecção de tubos metálicos e não-metálicos subsuperfície, sendo um método não destrutivo.

2.5 Georadar

Métodos geofísicos fornecem informações sobre algumas propriedades físicas do subsolo, suas condições e processos, sem a necessidade de escavação ou sondagem. O Radar de Penetração em Solo, Georadar ou GPR (*Ground Penetration Radar*), é um método geofísico de superfície que utiliza ondas EM (eletromagnéticas) de alta frequência, entre 10 e 2.500 MHz, para mapear estruturas e feições geológicas rasas e objetos enterrados (GSSI User’s Manual).

O método consiste na emissão de ondas EM, repetidamente enviadas ao solo por uma antena transmissora. A propagação do sinal e a profundidade em que as ondas chegam, dependerão da frequência do sinal emitido e das propriedades elétricas dos materiais (condutividade elétrica, permissividade dielétrica e permeabilidade eletromagnética). As variações nessas propriedades fazem com que parte do sinal seja refletido e parte dele difratado. Esse sinal refletido então é recebido por uma antena receptora como mostra a figura 6.

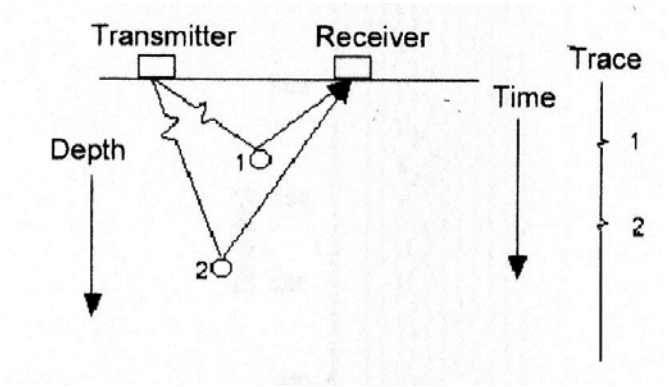

Figura 6– Princípio básico do método de funcionamento do georadar

Fonte: Travassos e Menezes

Os perfis de reflexão Georadar, chamados de radargramas, são obtidos movendo-se as antenas transmissora e receptora sobre uma superfície em um intervalo constante. O radargrama é resultado de variações em subsuperfície das propriedades elétricas em função do tempo duplo de retorno do pulso EM.

2.5.1 Fundamentos do método

O método Georadar é baseado na teoria de propagação das ondas eletromagnéticas, ou seja, nas equações de Maxwell. Porém, elas não possuem informações das propriedades elétricas do meio, onde campos elétrico e magnético atuam. Necessita-se introduzir as relações entre campo elétrico externo aplicado ao campo interno pelas propriedades elétricas e magnéticas dos materiais.

Segundo o Manual do Usuário da GSSI, as propriedades elétricas e magnéticas dependem da composição e da umidade dos materiais, ambos controlam a velocidade e atenuação das ondas EM. Três propriedades caracterizam os materiais geológicos: condutividade elétrica, permissividade dielétrica e permeabilidade magnética.

A condutividade elétrica relaciona densidade de corrente de condução ($\vec{J}$) ao campo elétrico ($\vec{E}$), dada por:

$$\vec{J} = \delta\vec{E} \tag{8}$$

Onde δ é a condutividade elétrica

Os principais fatores que afetam δ são o teor de umidade, a porosidade, a salinidade, a presença de argila e minerais condutivos.

A permissividade dielétrica relaciona o campo elétrico $(\vec{E})$ à corrente de deslocamento, ou a polarização $(\overrightarrow{D})$, e a constante de proporcionalidade é a permissividade dielétrica do material (ε), temos:

$$(\overrightarrow{D}) = \varepsilon(\overrightarrow{E}) \quad (9)$$

Condutividade elétrica e permissividade dielétrica afetam a atenuação e propagação das ondas EM.

Para a permeabilidade magnética, supõe-se que seja independente da frequência para a maioria dos materiais geológicos. Portanto, os efeitos dessa propriedade não são considerados.

Utilizando as relações descritas acima nas equações de Maxwell, temos as equações de propagação da onda em um determinado meio, obtém-se então:

$$V = \frac{c}{\sqrt{k}} \quad (10)$$

Onde:

c = velocidade da luz no vácuo = 2,997 x 10^8 m/s

k = permissividade dielétrica ou constante dielétrica dos materiais.

O sistema Georadar é especificado pela sua frequência central (f_c) e suas antenas, transmissora e receptora, são construídas para trabalhar numa faixa entre 0,5 e 1,5 vezes a f_c.

A f_c é de suma importância para a profundidade de penetração da onda EM. A tabela 2 mostra a profundidade de penetração para algumas f_c.

Tabela 2 – Frequência central da antena contra a profundidade

Porsani, 1999

Frequência (MHz)	Profundidade Máxima de Penetração (m)
1000	1
400	2
200	4
100	25
50	30
25	4
10	50

Aumentando-se a frequência, aumenta-se a resolução e diminui-se a profundidade. Do contrário, diminuindo-se a frequência, aumenta-se a profundidade e diminui-se a resolução. Na tabela 3 são apresentados exemplos da variação da resolução vertical para algumas f_{cts}

Tabela 3 – Frequência central versus resolução vertical

Porsani, 1999

Frequência Central (MHz)	Resolução Vertical Teórica (m)
200	0,125 - 0,25
100	0,25 - 0,5
50	0,5 - 1
25	1 - 2

A profundidade de penetração da onda também depende da condutividade elétrica e constante dielétrica. A resolução vertical é a habilidade de distinguir reflexões provenientes do topo e da base de camada de pequenas espessuras. A resolução horizontal é determinada pelo padrão de radiação da antena, ou seja, pelo número de pulsos gerados em determinado espaço percorrido (GSSI 3D QuickDraw).

2.5.2 Levantamento com georadar

O levantamento com o Georadar deve seguir linhas que formem um grid regular, mantendo o mesmo espaçamento entre todas as linhas paralelas e perpendiculares, gerando um quadriculado. Dessa forma obtemos dados para criar um sólido tipo cubo na interpolação 3D.

O trajeto do levantamento pode ser feito de duas formas: unidirecional, conforme figura 7 ou zig-zag como mostra a figura 8.

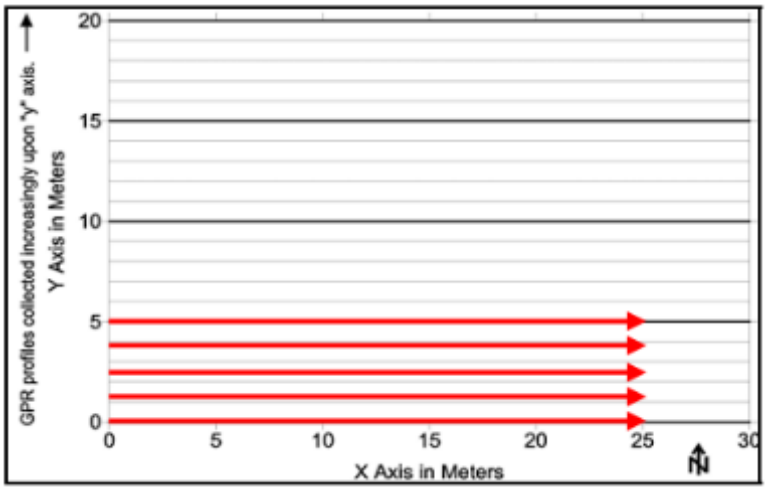

Figura 7– Levantamento Unidirecional

Fonte: GSSI™ RADAN 6.6 3D QuickDraw Manual

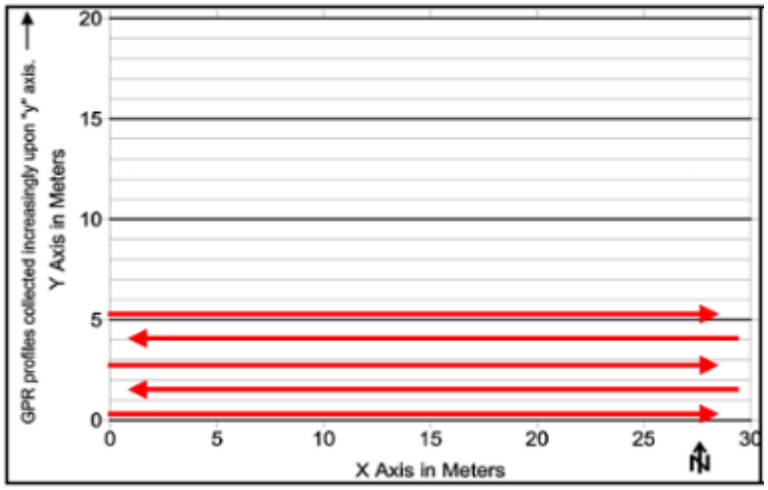

Figura 8 – Levantamento Zig-Zag

Fonte: GSSI™ RADAN 6.6 3D QuickDraw Manual

Todas as linhas de levantamento devem ser levantadas com as mesmas configurações do sistema Georadar (ganho, samples/scan, scan/sec, scan/m), visando que nenhuma faixa possua respostas diferentes para a mesma feição enterrada, evitando que crie-se objetos inexistentes ou dificuldades na interpretação.

O uso da roda de levantamento, a qual mede a distância da linha levantada produz ótimos dados para a modelagem 3D.

Abaixo seguem algumas configurações de coleta para diversos fins, sugerida pela fabricante GSSI™:

- Mapeamento de tubos

Assumindo que o diâmetro dos tubos estejam entre 7,5 e 15 cm, e a profundidade máxima de 4 m em solos argilosos, arenosos, aço, terracota e PVC. Os melhores parâmetros para levantamentos são:

- Antena de 400 MHz
- 512 samples/scan
- 50 scans/m
- Espaçamento do grid de 50 cm
- Levantamento perpendicular ao objeto a ser levantado.

- Mapeamento estrutural de fundações

Assumindo que o material esteja a uma profundidade de no máximo 4m em solo argiloso, os melhores parâmetros para levantamento são:

- Antena de 270 ou 400 MHz
- 512 samples/scan
- 20 scans/m
- Espaçamento do grid de 1 m
- Levantamento perpendicular ao objeto a ser levantado.

- Mapeamento de aterros

A melhor configuração é:

- Antena de 200 ou 100 MHz
- 512-1024 samples/scan

- 20 scans/m
- Espaçamento do grid de 3 m

A GSSI™ também disponibiliza, dentro das especificações de suas antenas, as resoluções para cada antena de f_c nominal, como segue na tabela 4.

Tabela 4 – Resoluções segundo especificações da GSSI™

Frequência Central (MHz)	Resolução Lateral (m)	Resolução Vertical (m)
1600	0,05	0,025
900	0,075	0,05
400	0,15	0,1
200	0,3	0,2
100	0,45	0,6

2.5.3 Processamento de dados

O processamento de dados do Georadar é composto por um conjunto de técnicas de tratamento de sinais aplicados aos dados digitalizados, objetivando torná-los propícios à interpretação visual, produzindo seções mais nítidas e com melhor resolução. Essa etapa inclui a filtragem de dados e a aplicação de ganhos.

A filtragem pode melhorar a razão sinal/ruído, permitindo delimitar uma banda de frequência atingível pela antena. A aplicação de ganhos tem como objetivo equalizar todas as amplitudes de cada traço, a fim de compensar a atenuação sofrida pelo sinal à medida que se propaga em subsuperfície.

Também, tem-se a etapa da migração que permite reconstruir uma imagem que melhor representa o subsolo. As reflexões podem ser recolocadas em suas verdadeiras posições espaciais.

3 ÁREA DE ESTUDO

O presente projeto foi realizado com dados de duas áreas de estudo, cada uma com um foco pré-determinado para a condução dos trabalhos. Na área de estudo um (área 1), de maior extensão, foram efetuados os levantamentos topográfico e o cadastral. E, na área de estudo dois (área 2), localizada dentro da área um, realizou-se o levantamento das redes subterrâneas com a utilização da tecnologia Georadar.

Para viabilizar as atividades de coleta de dados, buscou-se uma área de fácil acesso, próxima ao Instituto de Geociências da UFRGS, e que possuísse algum material disponível sobre redes subterrâneas existentes, como por exemplo, plantas do projeto de construção ou outros documentos. Seguindo essa premissa, as áreas de estudo adotadas para os levantamentos pertencem ao Campus do Vale da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, localizado na Avenida Bento Gonçalves 9500, no município de Porto Alegre, Estado do Rio Grande do Sul como mostra a figura 9.

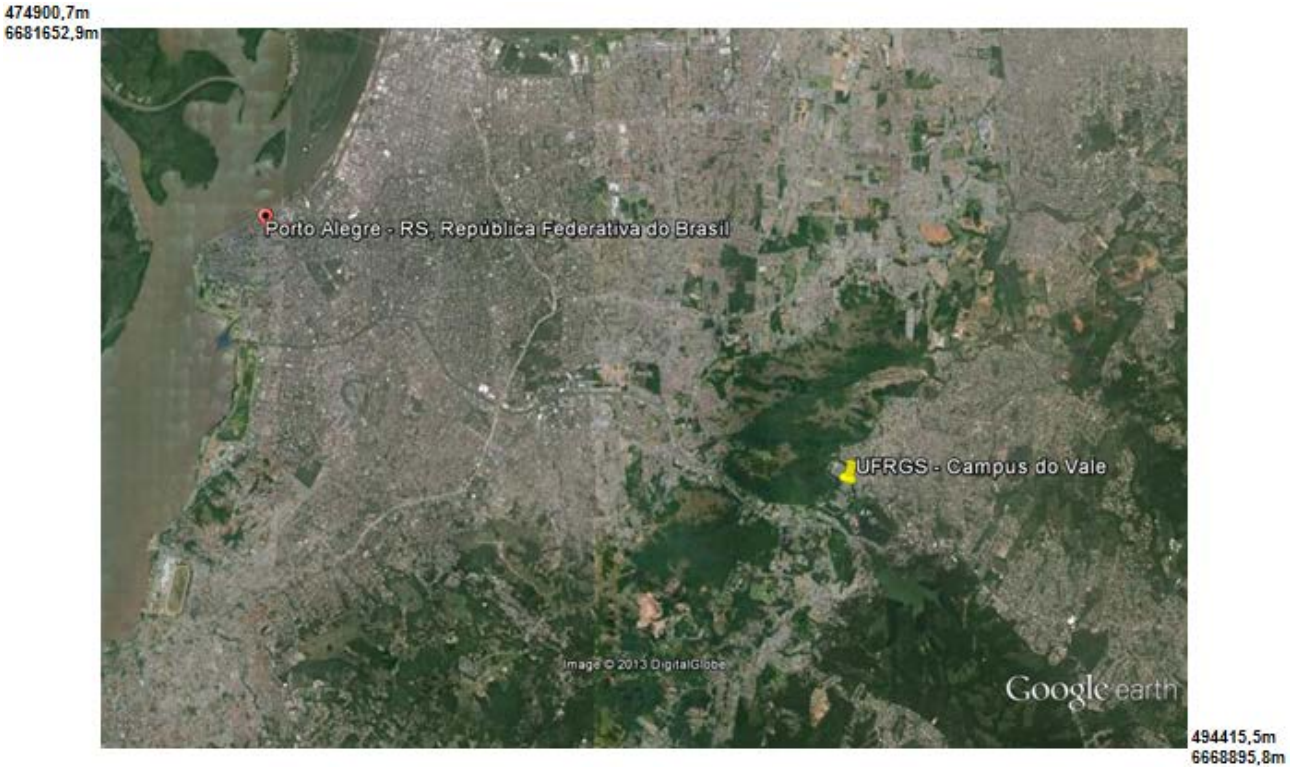

Figura 9 - Localização do Campus do Vale no município de Porto Alegre

Fonte: Google Earth, 2013

A área 1 tem extensão de aproximadamente de 3,3 hectares e é composta por prédios do Instituto de Geociências, do Instituo de Física, da Prefeitura do Campus do Vale, além de estacionamentos e um trecho do anel viário (Figura 10). Dentro desta área

1 foi definida a segunda área de estudo, de menor extensão, para o levantamento das redes subterrâneas por meio do Georadar (Figura 11).

Figura 10 - Imagem de satélite com a localização da área de estudo 1

Fonte: Google Earth, 2011

Figura 11 - Imagem de satélite com a localização da área de estudo 2

Fonte: Google Earth, 2011

Com o auxílio de duas plantas do projeto de construção do Campus do Vale, determinou-se a área 2, de forma que esta possuísse tubulações subterrâneas de diferentes diâmetros para facilitar sua identificação. A primeira destas plantas mostra a rede cloacal, na qual é possível visualizar tubulações de 150 mm de diâmetro, conforme destacado na figura 12. E na segunda planta, que apresenta a rede pluvial, são identificadas tubulações de 500 e de 300 mm de diâmetro (figura 13).

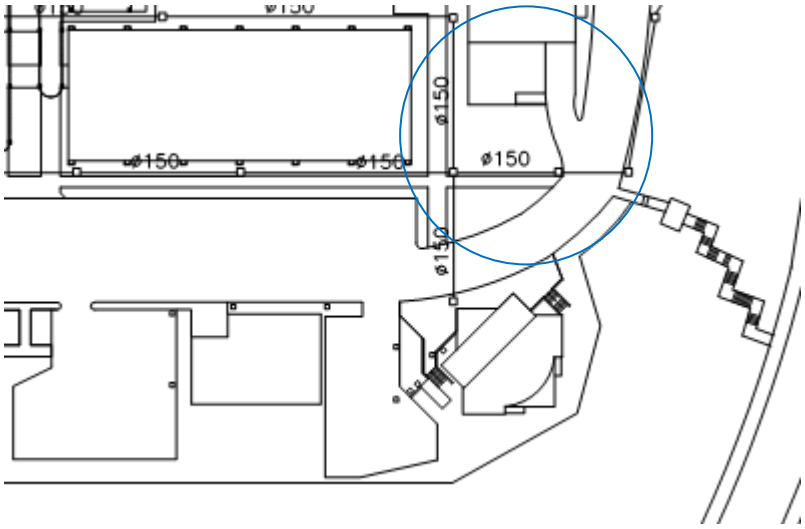

Figura 12 - Parte da planta da rede cloacal do Campus do Vale

Fonte: planta do projeto do Campus do Vale

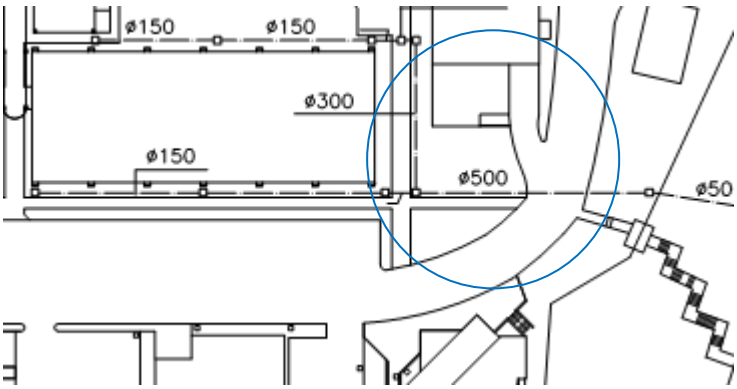

Figura 13 - Parte da planta da rede pluvial do Campus do Vale

Fonte: planta do projeto do Campus do Vale

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Receptor GNSS

Técnicas de GNSS foram utilizadas para a implantação dos pontos de apoio das poligonais enquadradas, mais tarde usadas para amarração dos pontos auxiliares de onde foram feitas irradiações e também para levantamento topográfico direto.

O equipamento utilizado foi um par de receptores (base e rover) geodésicos Leica Viva GS15, de propriedade da empresa Geosul Topografia. O equipamento é mostrado na figura 14.

Figura 14 - Receptor Leica Viva GS15

Fonte: Datasheet Leica

Algumas características do par de receptores:

- Proteção contra poeira e imersão a 1m;
- Construído para temperaturas extremas entre -40°C e 65°C;
- Rastreio de quatro constelações de satélites (GPS, GLONASS, Galileo e BeiDou);
- Para satélites da constelação GPS, rastreio de sinais L1, L2, L2C e L5;
- Dispositivo de comunicação substituível para estações e RTK móvel com cartões SIM;

O software utilizado para processamento dos dados GNSS foi o Leica Geo Office. Além do processamento, este software realiza ajustamento e análise de redes GNSS.

4.1.1 Posicionamento relativo estático rápido

Para a implantação dos pontos de apoio das poligonais, utilizou-se a técnica de Posicionamento Relativo Estático Rápido, com coordenadas obtidas por meio de ajustamento de dois vetores independentes, sendo que um dos vetores partiu da estação da RBMC de Porto Alegre (POAL) e o outro vetor do vértice número 22 da Rede Geodésica UFRGS. Este marco ficou ocupado pelo receptor base durante o rastreio dos seis pontos de apoio para as poligonais, assim como durante o rastreio de outros dois vértices da Rede Geodésica UFRGS, os marcos de número 13 e 17.

4.1.2 RTK

O levantamento topográfico de determinada região da área piloto foi executado utilizando-se a técnica RTK. A área escolhida foi a região do anel viário e estacionamento externo que faziam parte da área piloto, visto que procuramos uma área aberta para evitar perda de ciclos e dificuldades na fixação do ponto coletado. Durante a coleta, o receptor base estava ocupando o vértice 22 da Rede Geodésica UFRGS. Utilizando o rádio dos receptores, sendo assim, os dados coletados pela estação de referência que ocupou o marco 22 eram transmitidos para a estação móvel, possibilitando o processamento em tempo real, com solução quase instantânea do vetor de ambiguidades.

4.2 Nível digital

O nível eletrônico utilizado foi o DL-201, pertencente a UFRGS. Ele proporciona uma acurácia em altura de uma linha de nivelamento de 1km, ida e volta, de até 1,0 mm para leitura digital e 2,0 mm para leitura óptica. A acurácia do distanciômetro é de 10- mm para distâncias de até 10 m e para distâncias maiores que 10m é o valor da distância medida multiplicada pelo fator de 0,001, ou seja, a cada metro medido a incerteza aumenta em 1mm. Possui também memória para armazenamento de dados e compensador para nivelamento do equipamento.

A área piloto em que foi executado o nivelamento geométrico é mostrada na figura 15. Foram nivelados dos vértices 13 e 22 da Rede Geodésica UFRGS e os pontos auxiliares A1, A2, A6, A7 e A8, utilizados para amarração das poligonais.

O circuito de nivelamento partiu da RN 3093L, passando pelos pontos a serem nivelados e fechando na RN 3093F. Foram executados nivelamento e contranivelamento.

Figura 15 – Área de execução do nivelamento geométrico

Fonte: Google Earth, 2011

4.3 Estação total

No decorrer dos trabalhos de campo, foram utilizadas quatro estações totais, sendo que simultaneamente foram utilizadas no máximo duas estações totais, uma para cada equipe de topografia. Os modelos utilizados foram: Topcon GPT 7505, GTS-6, GTS-7 e GTS-310.

As estações totais foram utilizadas para determinação das poligonais enquadradas, irradiações e nivelamento trigonométrico “leap frog”.

4.4 Georadar

O equipamento Georadar é composto por uma unidade controladora, uma antena, uma roda de medição e o cabo de conexão unidade controladora/antena. A figura 16 mostra o equipamento utilizado.

Este Georadar é fabricado pela GSSI™ (*Geophysical Survey Systems, Inc.*). A unidade controladora é do modelo SIR-3000. Ela é responsável pelo processamento do sinal e permite sua visualização em campo. Nessa unidade são inseridas todas as configurações necessárias para cada espécie de levantamento. A antena possui f_c de 400 MHz. A figura 17 mostra o equipamento Georadar pronto para executar o levantamento.

Figura 16 – Equipamento Georadar, onde 1 - Roda de medição; 2 - Controladora; 3 – antena

Figura 17 – Equipamento Georadar montado

5 METODOLOGIA

A metodologia adotada para subsidiar as análises necessárias ao desenvolvimento deste trabalho compreende a definição da escala e da exatidão posicional, a definição da

estrutura de feições e atributos a serem levantados, a implantação da rede de marcos de apoio, nivelamento, levantamento de feições e levantamento utilizando Georadar. Essas etapas são descritas nos tópicos seguintes.

5.1 Definição da escala e da exatidão posicional

A escala de um mapa diz quão reduzida é representação da realidade, e esta pode ser definida como a relação da distância no mapa com a sua homóloga na superfície, conforme DEMERS apud Miranda (2010, p.106). Em estudos de urbanização, de redes de distribuição de água, de esgoto, de telefonia, de energia elétrica, dentre outros, deve-se utilizar escalas entre 1:2.000 e 1:1.000. No entanto, para projetos que requerem maior nível de detalhamento, torna-se necessário o uso de escalas superiores a 1:500, segundo CASACA (2007).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), em suas normativas NBR 12586 (Cadastro de Abastecimento de Água) e NBR 12587 (Cadastro de Sistema de Esgotamento Sanitário) sugerem que as escalas de representação estejam entre 1:200 a 1:2.000. Já o Departamento Municipal de Água e Esgoto de Porto Alegre instituiu a NS022 (Cadastramento de Redes de Água – DMAE) que exige a que a planta geral seja apresentada na escala 1:2.000. Como este trabalho tem uma área piloto restrita, buscou-se a melhor representação possível de detalhes. Portanto, adotou-se a escala 1:250 para a representação dos levantamentos realizados.

Segundo o Decreto n° 89.817 de 20 de junho de 1984, que estabelece as instruções reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional, a escala do produto cartográfico tem relação direta com a exatidão posicional da carta. O artigo 9° que rege sobre as classes das cartas, define como classe A, aquela cuja exatidão planimétrica do objeto mapeado seja de 0,5mm vezes a escala da carta. Sendo assim, neste projeto a exatidão posicional a ser atingida deverá ser melhor que 12,5cm.

5.2 Definição da estrutura de feições e dos atributos a serem levantados

Tendo em vista o nível de detalhamento implícito à escala da carta, teoricamente, todo objeto maior que 5 cm pode ser representado no produto. Porém, como o objetivo deste mapeamento são as redes subterrâneas, detalhes como altura de espelho de meio fio, altura de muretas (canteiros), estruturas complexas (pilares e escadas), entre outras, serão generalizadas na sua representação gráfica.

Para otimizar a etapa de levantamentos de campo, mais precisamente no instante da coleta das informações geométricas (coordenadas), utilizou-se um recurso de automação através de códigos de ligação automática do sistema topoGRAPH, o qual é baseado em rotinas de programação e possibilita a organização, o armazenamento e o desenho de feições lineares e pontuais através dos códigos atribuídos em campo.

Dado a capacidade do software topográfico utilizado e a necessidade primordial do conhecimento das feições a serem mapeadas, realizou-se um reconhecimento prévio da área a ser levantada, no qual todas as feições que deveriam fazer parte do levantamento cadastral foram registradas. Assim, elaborou-se uma planilha que contém as feições organizadas em grupos e subgrupos, seus respectivos códigos de levantamento, o número mínimo de pontos necessários à representação e as convenções cartográficas que serão utilizadas.

5.3 Geração da base cartográfica

O começo dos trabalhos do levantamento para a base cartográfica da área foi no dia 24/09/2011. Iniciou-se com a planialtimetria, seguindo o organograma da figura 18.

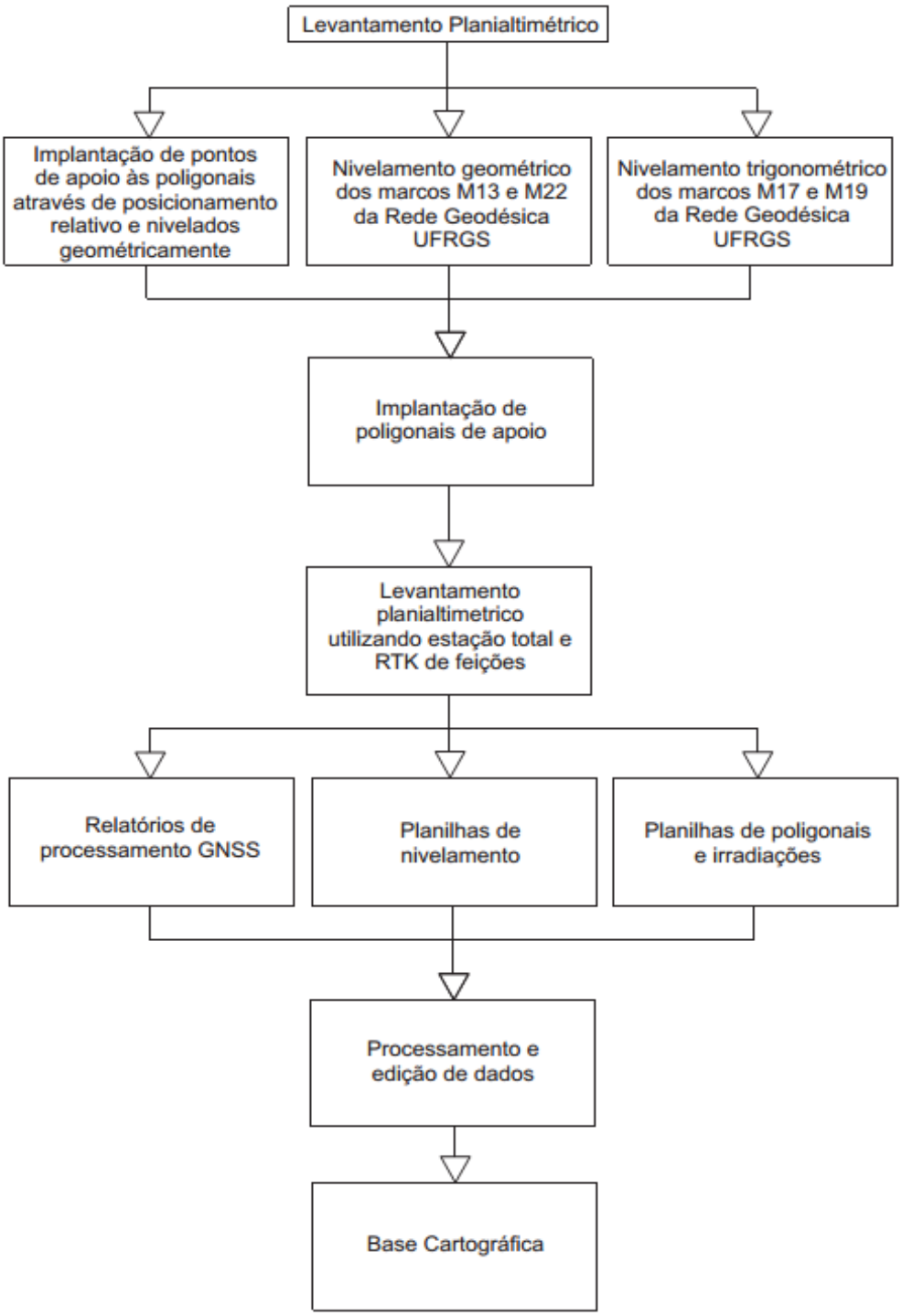

Figura 18 – Organograma dos trabalhos para geração da base cartográfica

A determinação da área do levantamento planialtimétrico foi especificada no capítulo 3, sendo essa área denominada área 1. Por possuir uma grande quantidade de edificações, corredores sem saída, de difícil acesso e com vegetação, os levantamentos topográficos foram realizados através da topografia convencional, ficando aqui subentendido o uso de estação total, visto que as condições do ambiente impossibilitam o uso de, por exemplo, receptor GNSS. Porém, por essa área não permitir a intervisibilidade de todos os pontos a serem levantados através de estações externas às edificações, materializadas através de GNSS, foram implantadas poligonais enquadradas nos corredores localizados entre as edificações e, a partir destas poligonais, foram implantados pontos de apoio de onde seriam coletadas todas as feições necessárias para a base cartográfica.

Um dos critérios adotados para a implantação das poligonais é que elas deveriam iniciar e terminar em pontos de apoio e/ou marcos geodésicos devidamente materializados por técnica que garantisse precisão superior a da topografia convencional, em nosso caso o posicionamento relativo por GNSS. Definido este quesito, percorreu-se a área do levantamento observando as regiões de pior acesso e menor intervisibilidade, e concluiu-se que 4 poligonais seriam suficientes para suprir as necessidades desse trabalho.

Tendo a localização das poligonais, foram implantados cinco pontos de apoio, identificados por uma chapa de alumínio padrão como mostrado na figura 19.

.

Figura 19 – Modelo de chapa utilizada

O processo de implantação e posterior rastreio foi realizado dia 24/09/2011. A linha base para o posicionamento relativo foi determinada pela estação da RBMC de sigla POAL, localizada no Departamento de Geodésia da UFRGS, e pelo marco M22 da Rede Geodésica UFRGS. O M22 foi ocupado pelo receptor base 2h18min durante a manhã e à tarde, durante 1h23min, conforme relatório de processamento.

Ao total foram utilizados 6 pontos de apoio, cada um rastreado durante 20min. Os pontos implantados foram denominados “A”, nossa abreviatura para sua função de apoio, sendo eles:

- A1: situado no meio fio do estacionamento interno do campus, próximo ao Instituto de Física.

Figura 20 – Ponto de apoio A1

Figura 21 – Rastreio do A1

- A2: situado no passeio atrás do prédio da Letras.

Figura 22 – Rastreio e localização do ponto de apoio A2

Figura 23 – Rastreio e localização do ponto de apoio A2

- A6: situado no meio fio do estacionamento da prefeitura do campus.

Figura 24 – Localização e rastreio do A6

- A7: localizado no meio fio próximo ao Restaurante Universitário.

Figura 25 – Ponto de apoio A7

Figura 26 – Rastreio e localização do A7

- A8: Situado no meio fio próximo a agência do Banco do Brasil.

Figura 27 – Rastreio e localização do A8

- A9: Localizado no meio fio do estacionamento externo ao campus.

Figura 28 – Rastreio e localização do A9

Também foram rastreados os marcos da Rede Geodésica UFRGS de identificação M13 e M17, como mostrado nas figuras 28 e 29.

Figura 29 – Rastreio do marco geodésico M13

Figura 30 – Rastreio do marco geodésico M17

Após a implantação dos pontos de apoio, realizou-se a determinação das altitudes destes pontos. Para garantir a qualidade altimétrica do trabalho, os pontos de apoio e os marcos geodésicos M13 e M22 utilizados nas poligonais foram nivelados geometricamente. Realizou-se o circuito de nivelamento partindo da RN3093L, localizada junto à escada próxima ao Departamento de Geodésia, de altitude ortométrica 63,1424 m, e finalizando na RN3093F, localizada na parede sul do prédio 43.136 (Departamento de Geodésia), de altitude ortométrica 62,7217 m. O circuito completo de nivelamento e contranivelamento seguiu a seguinte ordem:

RN3093L → M22 → A6 → A7 → A8 → A2 → A1 → M13 → RN3093F

Para a altimetria da área do estacionamento externo, utilizou-se uma técnica chamada de "*Leap Frog*", onde não há a necessidade da medição da altura da estação total e nem de realizar correções da curvatura e refração. O motivo da utilização desta técnica foi para averiguar o erro de fechamento para esta técnica.

Partiu-se com o nivelamento do M13 da Rede Geodésica UFRGS, o qual já fora nivelado geometricamente. O nivelamento seguiu em direção a RN3093E, localizada na ponte de acesso ao campus, passando pelos marcos M17 e M19.

Para evitar que as poligonais possuíssem muitos vértices, optamos pela implantação de mais pontos auxiliares, utilizados como partida e chegada das poligonais.

Esses pontos foram materializados e obtidos através de intersecção topográfica utilizando uma linha de base conhecida, base essa que obrigatoriamente foi obtida por posicionamento relativo. Necessitamos de 3 pontos extras, como mostrados na tabela 5:

Tabela 5 – Vértices obtidos por intersecção

Identificação	Id. Base 1	Id. Base 2
A5D2	A6	M22
A5	M22	M13
A4	M22	M13

A figura 31 mostra a obtenção do vértice A5D2, próximo à prefeitura do campus, através dos vértices já conhecidos, M22 pertencente à Rede Geodésica UFRGS e A6, materializado com uma chapa de alumínio.

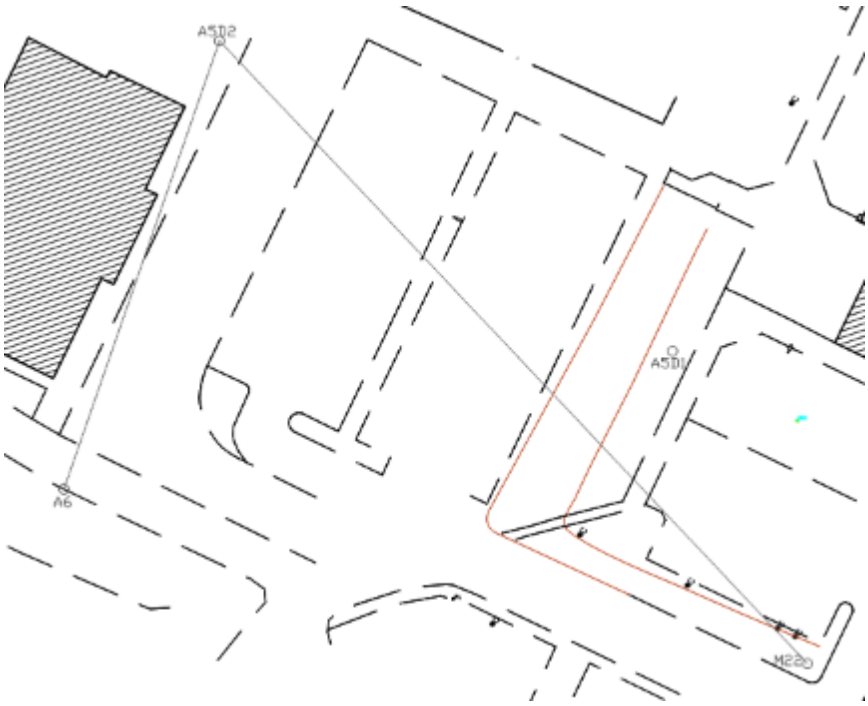

Figura 31 – Vértice A5D2

Fonte: Edição da base cartográfica gerada neste trabalho

Na figura 32 está representado o vértice A5, próximo ao M22, porém possibilita uma visibilidade maior do corredor a ser levantado.

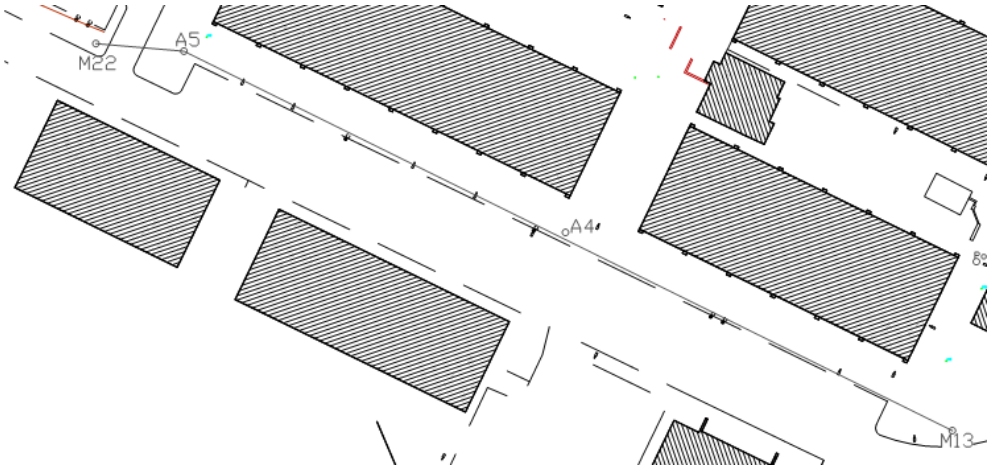

Figura 32 – Vértice A5

Fonte: Edição da base cartográfica gerada neste trabalho

Na figura 33, está representado a obtenção do vértice A4, próximo ao acesso do corredor entre os prédios da Geodésia e Paleontologia.

Figura 33 – Vértice A4

Fonte: Edição da base cartográfica gerada neste trabalho

Após iniciou-se a implantação das poligonais. A primeira poligonal denominamos Polig1. A estação de partida foi o vértice A1, sendo a estação de referência o vértice A2. Passando pelos vértices Poli1 e Poli2. Sendo a estação de chegada o marco M13, e a estação de referência M22. O traçado desta poligonal é visto na figura 34.

Figura 34 – Poligonal 1

Fonte: Edição da base cartográfica gerada neste trabalho

A segunda poligonal, Polig2, tem como estação de partida o vértice A4 e estação de referência M13. Passando pelos vértices A4B e A4C. Tendo como estação de chegada Poli2, um dos vértices da Polig1 e estação de referência de chegada M13.

Figura 35 – Poligonal 2

Fonte: Edição da base cartográfica gerada neste trabalho

A terceira poligonal, Polig3, tem como estação de partida A5 e sua referência é M13. Tendo como vértices A5B, A5C, A5D. Sendo A7 a estação de chegada e A8 sua referência.

A última poligonal, Polig4, tem como estação de partida A5D e sua referência A5C. Tendo como chegada A5D1 e referência A5D2.

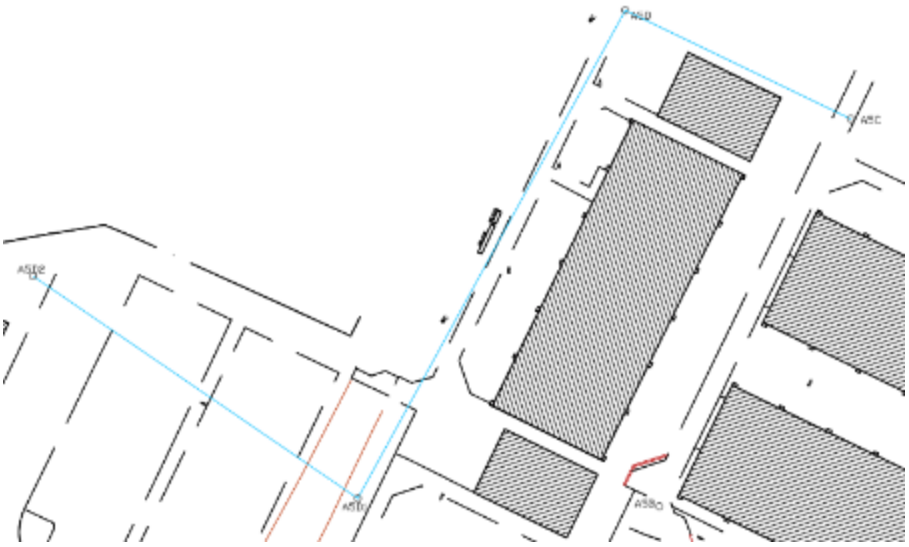

Figura 36 – Poligonal 4

Fonte: Edição da base cartográfica gerada neste trabalho

A irradiação do levantamento foi feita por meio de duas equipes de levantamentos para otimizar os trabalhos. No total foram coletados 2132 pontos em 24 instaladas. Somando-se a esses pontos coletados por meio de estações totais, incluem-se 54 pontos coletados por técnica de RTK coletados no dia 24/09/2011. Os trabalhos de coleta com estação total levaram 8 dias entre os meses de outubro e novembro de 2011.

Iniciou-se o processamento pelos dados de GNSS, por meio do software Leica Geo Office 7.0. A priori foi processada e ajustada a linha base formada pela estação da RBMC Poal e o marco da Rede Geodésica UFRGS M22. Dentre as opções de processamento foi selecionado ângulo de corte dos satélites de 15° e correção automática da ionosfera. Após isso, foram processados os dados das chapas implantadas para apoio e os 54 pontos coletados através de RTK.

Com o auxílio do software Microsoft Excel, foram calculadas as altitudes ortométicas dos marcos M22 e M13, assim como os vértices das poligonais, os quais cito A1, A2, A6, A7 e A8. As altitudes foram calculadas através dos desníveis obtidos pelo

nivelamento e contranivelamento, com partida da RN3093L e chegada na RN3093F. O cálculo do nivelamento trigonométrico dos marcos M17 e M19, assim como do ponto de apoio A9, também foi realizado em ambiente Excel.

As poligonais e irradiações foram calculadas no software Topograph 98 SE, utilizando-se coordenadas topográficas, sendo que para o M22 foi imputado o valor de 250.000 para a coordenada norte e o valor de 150.000 para a coordenada leste. Durante os trabalhos, todos os pontos foram coletados utilizando-se uma estrutura de aquisição de dados, ou seja, todos os pontos foram propriamente identificados. Isso resulta que, durante o processamento, a ligação dos pontos foi feita automaticamente pelo software.

Para obtenção das curvas de nível foi gerada, inicialmente, uma malha triangular irregular (TIN), utilizando os pontos já processados no Topograph, e então, nesse mesmo ambiente, foram interpoladas as curvas.

A carta gerada foi exportada em formato *dwg*, para utilização no software AutoCAD™ 2010. Nessa etapa foi realizada a edição final e a implementação da simbologia previamente definida no projeto cartográfico.

5.4 Levantamento com georadar

O início dos trabalhos do levantamento com o georadar da área piloto foi no dia 21/08/2012. O fluxo de trabalho foi planejado como mostra a figura 37.

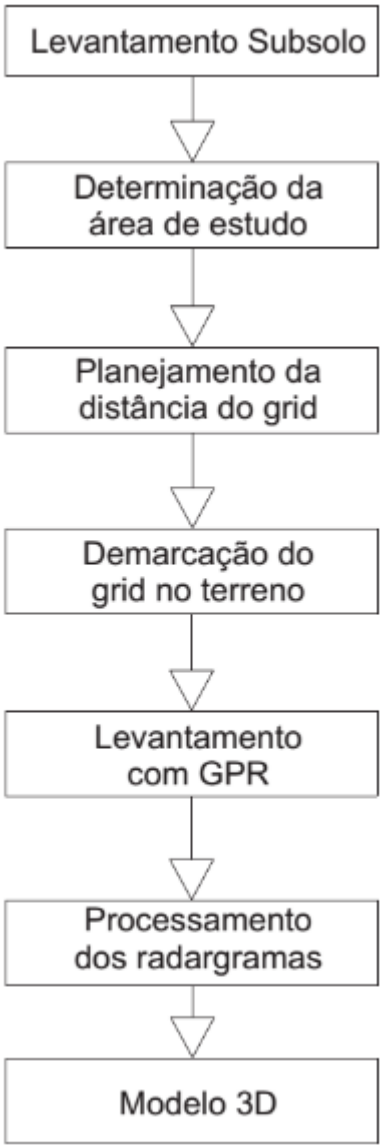

Figura 37 – Organograma dos trabalhos de Georadar

A determinação da área de levantamento do georadar foi demonstrada no capítulo 3, sendo a área piloto denominada área 2.

Como descrito nos fundamentos do método de levantamento por georadar, seguindo as orientações para mapeamento de tubos do fabricante do equipamento Georadar utilizado, a GSSI™, a antena utilizada foi a de frequência de 400 MHz, 1024 samples/scan, 50 scans/m e o espaçamento do grid utilizado na área piloto foi de 50 cm.

Partiu-se então para a demarcação do grid. Visto que o marco M13, pertencente a Rede Geodésica da UFRGS, possibilita uma visão privilegiada da área de levantamento,

ele foi utilizado como ponto de instalada da estação total. A coordenada de ré foi o marco M22.

Instalou-se três piquetes, materializando três vértices da área 2. Realizamos a coleta através da estação total desses vértices. Através de recursos de CAD, determinamos a coordenada do quarto vértice, fazendo com que a área 2 se aproxima-se da forma de um retângulo.

Tendo os vértices materializados, marcou-se nos lados do retângulo, com auxílio de uma trena, o espaçamento de 50 cm do grid. Sendo que no passeio a marcação foi com tinta amarela, já na grama com pregos com a cabeça pintada de tinta amarela.

Havía sido definido que o grid seria demarcado integralmente com cal branca, de forma que a antena do georadar seguiria sobre a cal durante o levantamento. Porém, constatou-se que seria mais viável que fosse mantida uma linha nylon esticada, entre o início e o fim da seção a ser levantada, e o georadar seguiria sobre esta.

6 RESULTADOS

Como primeira parte dos resultados obtidos durante a execução do trabalho, apresenta-se o BIC que foi criado para auxiliar na identificação e no cadastro dos detalhes a serem levantados, assim como facilitar a edição do mapa, já que nele constam os códigos de ligação automática dos pontos que devem ser inseridos no momento da coleta. Foi definida uma estrutura de coleta de dados que auxilie, futuramente, a criação de um banco de dados geográficos (SIG).

Foram criados oito grandes grupos de feições que fazem parte do cadastro, a constar: edificações, sistema viário, redes de infraestrutura, relevo, limite e equipamentos genéricos. Esses oito grupos foram divididos em subgrupos, visando dar mais especificidade a cada feição levantada. Os campos Primitiva gráfica e Atributos SIG são para auxiliarem futuros trabalhos com banco de dados. No campo Estrutura de aquisição, constam os códigos de ligação automática que são identificadores de cada ponto coletado e serão interpretados automaticamente pelo software topográfico, minimizando a intervenção do operador na edição gráfica e que são:

- IL : início de linha;
- FL : final de linha;
- PF: ponto fora
- P : ponto

Sendo que a ligação automática interpreta como um único objeto, por exemplo, a sequência de códigos a seguir: IL → P → P → FL, que poderia representar facilmente uma mureta. O código PF é um ponto isolado e único, como por exemplo, uma árvore. A lista completa de códigos é apresentada nas figuras .

Estrutura do banco de dados				Estrutura de aquisição		
Grupos	**Subgrupos**	**Primitiva gráfica**	**Atributos SIG**	**Atributo (campo)**	**Função Autom.**	**Código**
Edificações	Prédio	Polígono	Material	Alvenaria	IL	101
					FL	102
					PF	103
					PF	104
				Madeira	IL	111
					FL	112
					PF	113
					IL	114
			N° ar condicionado	-	-	-
			N° do prédio			
			N° pavimentos			
			Estado de conservação			
	Galpão	Polígono	Material	Alvenaria	IL	121
					FL	122
					PF	123
					PF	124
				Madeira	IL	131
					FL	132
					PF	133
					IL	134
			Conteúdo	-	-	-
			Estado de conservação			
	Muro de contenção	Linha	Material	Pedra	IL	141
					FL	142
					PF	143
					PF	144
				Concreto	IL	151
					FL	152
					PF	153
					IL	154
			Altura	-	-	-
			Espessura			

Figura 54 – Estrutura para coleta de dados para edificações

Estrutura do banco de dados				Estrutura de aquisição		
Grupos	**Subgrupos**	**Primitiva gráfica**	**Atributos SIG**	**Atributo (campo)**	**Função Autom.**	**Código**
Sistema viário	Via pavimentada	Polígono	Delimitante	Meio fio ou guia	IL	201
					FL	202
					PF	203
					PF	204
				Borda de pavimento	IL	211
					FL	212
					PF	213
					IL	214
			Tipo de pavimento	-	-	-
			Uso principal			
			Estado de conservação			
	Via não pavimentada	Polígono	Bordos	-	IL	221
					FL	222
					PF	223
					PF	224
	Eixo de via	Linha	Eixo	-	IL	231
					FL	232
					PF	233
					PF	234

Figura 55 – Estrutura para coleta de dados para sistema viário

Estrutura do banco de dados				Estrutura de aquisição		
Grupos	**Subgrupos**	**Primitiva gráfica**	**Atributos SIG**	**Atributo (campo)**	**Função Autom.**	**Código**
Relevo	Ponto cotado	Ponto	-	-	-	700
	Nível d'água	Ponto	-	-	-	701
	Crista de talude	Linha	-	-	IL	702
					FL	703
					PF	704
					P	705
	Pé de talude	Linha	-	-	IL	706
					FL	707
					PF	708
					P	709

Figura 56 – Estrutura para coleta de dados para relevo

Estrutura do banco de dados				Estrutura de aquisição		
Grupos	**Subgrupos**	**Primitiva gráfica**	**Atributos SIG**	**Atributo (campo)**	**Função Autom.**	**Código**
Redes de infraestrutura	Esgoto	Linhas e pontos	Poço de visita	N° identificador	PF	310
				Profundidade		
				Material		
				N° inserções		
			Caixa	N° identificador	IL	316
				Profundidade	FL	317
				Material	PF	318
				N° inserções	P	319
				Tubulação	IL	321
					FL	322
					PF	323
					P	324
				Diâmetro	-	-
				Profundidade		
				Material		
	Água	Linha e pontos	Elemento aparente	Hidrante	PF	325
				Registro	PF	326
			Elemento subterrâneo	Tubulação	IL	331
					FL	332
					PF	333
					PF	334
				Diâmetro	-	-
				Profundidade		
				Material		
	Energia	Linhas e pontos	Postes de iluminação	Altura	PF	335
				N° de lâmpadas		
				Material		
			Postes de eletrificação	Altura	PF	336
				N° de lâmpadas		
				Material		
			Caixa de inspeção elétrica	Profundidade	IL	337
					FL	338
				Material	PF	339
				N° de inseções	P	340
			Tubulação	Profundidade	IL	341
					FL	342
				Diâmetro	-	-
				Material	PF	343
					P	344

Figura 57 – Estrutura para coleta de dados para redes de infraestrutura (parte 1/3)

Estrutura do banco de dados				Estrutura de aquisição		
Grupos	**Subgrupos**	**Primitiva gráfica**	**Atributos SIG**	**Atributo (campo)**	**Função Autom.**	**Código**
Redes de infraestrutura	Telefonia	Linhas e pontos	Caixa de inspeção telefônica	N° identificador	IL	345
				Profundidade	FL	346
				Material	PF	347
				N° inserções	P	348
			Telefone público	-	PF	350
			Tubulação	Profundidade	IL	351
					FL	352
				Diâmetro	-	-
				Material	PF	353
					P	354
			Poço de visita	N° identificador	PF	355
				Profundidade		
				Material		
				N° inserções		
	Dados	Linhas e pontos	Caixa de inspeção de dados	N° identificador	IL	356
				Profundidade	FL	357
				Material	PF	358
				N° inserções	P	359
			Tubulação	Profundidade	IL	360
				Diâmetro	FL	361
				Material	PF	362
					P	363
			Poço de visita	N° identificador	PF	364
				Profundidade		
				Material		
				N° inserções		

Figura 58 – Estrutura para coleta de dados para redes de infraestrutura (parte 2/3)

Estrutura do banco de dados				Estrutura de aquisição		
Redes de infraestrutura	Drenagem	Linhas e pontos	Canaleta celular	Profundidade	IL	371
				Dimensões	FL	372
					PF	373
					P	372
			Canaleta em V	Profundidade	IL	381
				Largura	FL	382
					PF	383
					P	384
			Canaleta semi tubular	Dimensões	IL	391
					FL	392
					PF	393
					P	394
			Rápido	-	IL	401
					FL	402
					PF	403
					P	404
			Poço de visita	N° identificador	IL	411
				Profundidade	FL	412
				Material	PF	413
				N° inserções	P	414
			Bueiro tubular	Diâmetro	IL	421
					FL	422
				Material	PF	423
					P	424
			Bueiro celular	Diâmetro	IL	430
					FL	431
				Material	PF	432
					P	433

Figura 59 – Estrutura para coleta de dados para redes de infraestrutura (parte 3/4)

Estrutura do banco de dados				Estrutura de aquisição		
Grupos	**Subgrupos**	**Primitiva gráfica**	**Atributos SIG**	**Atributo (campo)**	**Função Autom.**	**Código**
Sinalização	Placa simples	Ponto	Tipo	-	PF	601
	Placa dupla	Ponto	Tipo	-	PF	602
	Redutor de velocidade	Linha	Tipo	-	PF	603
	Semáforo	Ponto		-	PF	604

Figura 60 – Estrutura para coleta de dados para sinalização

Estrutura do banco de dados				Estrutura de aquisição		
Grupos	**Subgrupos**	**Primitiva gráfica**	**Atributos SIG**	**Atributo (campo)**	**Função Autom.**	**Código**
Vegetação	Árvore genérica isolada	Ponto	Espécime	-	-	434
	Árvore imune	Ponto	Araucária	-	-	435
			Figueira			436
			Corticeira			437
	Mancha nativa	Polígono	-	-	IL	501
					FL	502
					PF	503
					P	504
	Mancha exótica	Polígono	-	-	IL	511
					FL	512
					PF	513
					P	514

Figura 61 – Estrutura para coleta de dados para vegetação

Estrutura do banco de dados				Estrutura de aquisição		
Grupos	**Subgrupos**	**Primitiva gráfica**	**Atributos SIG**	**Atributo (campo)**	**Função Autom.**	**Código**
Limite	Divisa de propriedade	Linha	Características	Material	IL	801
					FL	802
				Altura	PF	803
				Estado de conservação	P	804

Figura 62 – Estrutura para coleta de dados para limite

Estrutura do banco de dados				Estrutura de aquisição		
Grupos	**Subgrupos**	**Primitiva gráfica**	**Atributos SIG**	**Atributo (campo)**	**Função Autom.**	**Código**
Equipamentos genéricos	Compressores de ar condicionado	Linha	-	-	IL	901
					FL	902
					PF	903
					P	904
	Armário de alvenaria	Linha	-	-	IL	905
					FL	906
					PF	907
					P	908

Figura 63 – Estrutura para coleta de dados para equipamentos genéricos

Após a identificação da área 1 a ser levantada, como descrito na metodologia, foi executado o levantamento dos pontos de apoio utilizando posicionamento relativo GNSS. As coordenadas UTM dos pontos de apoio, referenciadas ao SIRGAS 2000, são apresentadas na tabela 7.

Tabela 7 – Coordenadas dos pontos de apoio

Point Id	Northing	Easting	Ellip. Hgt.	Posn. Qlty	Point Class	Sd. Northing	Sd. Easting
A1	6673059.7471	488540.6492	66.9839	0.0066	Measured	0.0052	0.0042
A2	6673148.6796	488564.9764	70.3522	0.0018	Averaged	0.0015	0.0009
A6	6673071.0092	488256.2102	63.1110	0.0085	Measured	0.0062	0.0059
A7	6673277.9829	488415.0827	67.6607	0.0088	Measured	0.0062	0.0063
A8	6673326.1622	488445.2909	68.1945	0.0099	Measured	0.0065	0.0075
A9	6672904.7320	488432.3712	55.5680	0.0070	Measured	0.0057	0.0040
M13	6672994.0432	488463.4459	67.9044	0.0067	Measured	0.0054	0.0040
M17	6672894.1666	488308.0426	49.2036	0.0085	Measured	0.0063	0.0057
M22	6673053.0980	488332.5605	67.7000	0.0000	Reference	0.0000	0.0000

Através do nivelamento geométrico realizado nos pontos de apoio mostrados na tabela 7, foram determinadas as altitudes apresentadas na tabela 8, com um erro de fechamento de 1mm para o circuito de nivelamento realizado. Nesta tabela, o campo Altitude (m) mostra o valor da altitude ortométrica corrigida, referente ao ponto identificado no campo Estação.

Tabela 8 – Altitudes ortométricas dos pontos de apoio

REDE DE APOIO BÁSICO - CÁLCULO ALTITUDES - NIVELAMENTO CLASSE IN - NBR 13.133/94 E LEAP FROG							OBRA:	PROJETO CARTOGRÁFICO		
							LOCAL:	CAMPUS DO VALE - UFRGS		
							TRECHO:	APOIO BÁSICO - M22 AO M13		
							DATA:	11/11/2011		
NIVELAMENTO GEOMÉTRICO										
ESTAÇÃO	P. VISADO	DN OBS (m)	d (mm)	λ (km)	DH (λ*1000) (m)	1/PESO -	CORREÇÃO (m)	DN CORRIG. (m)	ALTITUDE (m)	ek¹ (mm)
RN3093L	-	-			-	-	-		63,1424	-
RN3093L	M22	-0,627	1,200	0,091	91,00	0,0400	-0,0000280	-0,6270	62,5154	0,99
M22	A6	-4,596	-0,700	0,078	78,40	0,0297	-0,0000208	-4,5960	57,9194	-0,63
A6	A7	4,569	0,145	0,261	260,92	0,3290	-0,0002303	4,5688	62,4881	0,07
A7	A8	0,540	-1,200	0,057	56,87	0,0156	-0,0000109	0,5400	63,0281	-1,26
A8	A2	2,118	-0,600	0,214	214,07	0,2214	-0,0001550	2,1178	65,1460	-0,32
A2	A1	-3,327	0,000	0,092	92,20	0,0411	-0,0000288	-3,3270	61,8189	0,00
A1	M13	0,896	-0,300	0,101	101,38	0,0497	-0,0000348	0,8960	62,7149	-0,24
M13	RN3093F	0,007	0,300	0,015	15,00	0,0011	-0,0000008	0,0070	62,7217	0,61
	DN Obs:	-0,420			206952,2064	**0,728**	-0,001	-0,421		
	DN conh.:	-0,421	ek ¹ = lado direito da expressão (conforme item 6.6 NBR 13133/94)							
	Erro Fecham.:	0,001	d = Diferença entre o nivelamento e o contra-nivelamento							
	Tf (ABNT):	0,0114	ek = erro médio quilométrico = a +/- ek¹							
	Tf(k inst):	0,0104	a = incerteza da rede superior (0,05 m)							
			Tf = Tolerância de Fechamento			Tf=2,6 raiz(k) raiz(Soma 1/Peso)			k=0,00467	

Utilizou-se, também, o método de nivelamento trigonométrico chamado "*leap frog*" para realizar o nivelamento do estacionamento externo à área das edificações do campus. Este método foi utilizado devido ao grande desnível, de aproximadamente 10 m, entre o M13 e o estacionamento externo, o que tornaria dispendioso o método geométrico. Com este procedimento, alcançou-se um erro de fechamento de 3,7 mm. Os dados referentes a esse levantamento constam na tabela 9.

Tabela 9 – Nivelamento trigonométrico

REDE DE APOIO BÁSICO - CÁLCULO ALTITUDES - NIVELAMENTO CLASSE IN - NBR 13.133/94 E LEAP FROG						OBRA:	PROJETO CARTOGRÁFICO			
						LOCAL:	CAMPUS DO VALE - UFRGS			
						TRECHO:	APOIO BÁSICO - M22 AO M13			
						DATA:	11/11/2011			
NIVELAMENTO GEOMÉTRICO										
ESTAÇÃO	P. VISADO	DN OBS (m)	d (mm)	λ (km)	DH (λ*1000) (m)	1/PESO -	CORREÇÃO (m)	DN CORRIG. (m)	ALTITUDE (m)	$e_{k'}$ (mm)
NIVELAMENTO TRIGONOMÉTRICO - LEAP FROG										
M13	-	-			-	-	-		62,7149	-
M13	AUX	-9,892	0,069	0,053	53,00	0,0292	-0,0003	-9,8927	52,8222	0,08
AUX	M17	-8,814	0,383	0,214	214,00	0,4765	0,0014	-8,8121	44,0101	0,21
M17	M19	-3,924	-4,765	0,277	277,00	0,7984	0,0026	-3,9213	40,0888	-2,26
M19	RN3093E	-0,504	0,001	0,076	76,00	0,0601	-0,0002	-0,5041	39,5849	0,00
	DN Obs:	-23,134			96100,000	1,3643	0,0036	-23,130		
	DN conh.:	-23,130								
	Erro Fecham.:	-0,0037								
	Tf (ABNT):	0,0094								
	Tf(k inst):	0,0142								
AUX	A9	-2,4250	0,1560	156,0000	-	-	-	-	50,3972	-
M17	A9	6,3891	0,1250	125,0000	-	-	-	-	50,3992	-
								MÉDIA:	50,3982	

Em seguida, fez-se a implantação das quatro poligonais. As tabelas 10, 11, 12 e 13 apresentam as coordenadas locais (topográficas), as estações de partida e de chegada, e os erros das poligonais Polig1, Polig2, Polig3 e Polig4, respectivamente.

Tabela 10 – Dados da Polig1

PROJETO CARTOGRÁFICO - REDES SUBTERRÂNEAS **Data: 30/11/11 Hora: 18:19 Página:**

Poligonal: POLIG1_A1-M13 **Projeto: TCC Local: P**

Classe	Tipo	Nivel Ref.	a	b	c	d	e	f
I PA	2	62,5150	0°00'10"	0°00'15"	0,0140	0,1000		

	Estação de Partida	Referência de Partida
Nome	A1	A2
Norte	250.006,4314	250.095,3744
Este	150.208,1806	150.232,6119
Cota	61,819	65,146
Azimute	15°21'34"	
Distância	92,2374 m	

	Estação de Chegada	Referência de Chegada
Nome	M13	M22
Norte	249.940,7825	250.000,0000
Este	150.130,8762	150.000,0000
Cota	62,715	62,515
Azimute	294°20'43"	
Distância	143,6499 m	

	Observados	Compensados
Perímetro	129,5550 m	129,5275 m
Área		

	Erros	Tolerâncias	Fora
Angular	0°00'22"	0°00'40" (=a+b×N½)	
Relativo	1:3469	1:2591	
Linear	0,0373 m	0,0500 m(= c+d×L½)	
Eixo Norte	m	m	
Eixo Este	m		
Altimétrico	0,009 m		
erD(Máximo)	1:2.983	1:1.496	
eAz	0°00'06"	0°00'20"	
eV	0,0172 m	0,0289 m	

Tabela 11 – Dados da Polig2

PROJETO CARTOGRÁFICO - REDES SUBTERRÂNEAS **Data: 30/11/11 Hora: 18:19 Página: 1**

Poligonal: POLIG2_A4-POLI2 **Projeto: TCC Local: P**

Classe	Tipo	Nivel Ref.	a	b	c	d	e	f
I PA	2	62,5150	0°00'10"	0°00'15"	0,0140	0,1000		

	Estação de Partida	Referência de Partida
Nome	A4	M13
Norte	249.971,0830	249.940,7825
Este	150.071,7682	150.130,8762
Cota	62,712	62,715
Azimute	117°08'28"	
Distância	66,4220 m	

	Estação de Chegada	Referência de Chegada
Nome	POLI2	M13
Norte	249.966,5603	249.940,7825
Este	150.134,5830	150.130,8762
Cota	62,811	62,715
Azimute	188°10'59"	
Distância	26,0430 m	

	Observados	Compensados
Perímetro	162,1151 m	162,1132 m
Área		

	Erros	Tolerâncias	Fora
Angular	0°00'37"	0°00'40" (=a+b×N½)	
Relativo	1:78872	1:2987	
Linear	0,0021 m	0,0543 m(= c+d×L½)	
Eixo Norte	m	m	
Eixo Este	m		
Altimétrico	0,016 m		
erD(Máximo)	1:64.006	1:1.725	
eAz	0°00'11"	0°00'20"	
eV	0,0010 m	0,0313 m	

Tabela 12 – Dados da Polig3

PROJETO CARTOGRÁFICO - REDES SUBTERRÂNEAS **Data: 30/11/11 Hora: 18:19 Página: 1**

Poligonal: POLIG3_A5-A7 **Projeto: TCC Local: P**

Classe	Tipo	Nivel Ref.	a	b	c	d	e	f
I PA	2	62,5150	0°00'10"	0°00'15"	0,0140	0,0500		

	Estação de Partida	Referência de Partida
Nome	A5	M13
Norte	249.998,8061	249.940,7825
Este	150.013,4567	150.130,8762
Cota	62,665	62,715
Azimute	116°17'48"	
Distância	130,9736 m	

	Estação de Chegada	Referência de Chegada
Nome	A7	A8
Norte	250.224,8892	250.273,0561
Este	150.082,7940	150.113,0656
Cota	62,488	65,146
Azimute	32°08'54"	
Distância	56,8895 m	

	Observados	Compensados
Perímetro	269,6939 m	269,6837 m
Área		

	Erros	Tolerâncias	Fora
Angular	0°00'01"	0°00'44" (=a+b×N½)	
Relativo	1:13908	1:6748	
Linear	0,0194 m	0,0400 m(= c+d×L½)	
Eixo Norte	m	m	
Eixo Este	m		
Altimétrico	0,000 m		
erD(Máximo)	1:10.396	1:3.374	
eAz	0°00'00"	0°00'19"	
eV	0,0083 m	0,0200 m	

Tabela 13 – Dados da Polig4

PROJETO CARTOGRÁFICO - REDES SUBTERRÂNEAS **Data: 30/11/11 Hora: 18:19 Página: 1**

Poligonal: POLIG4_A5D-A5D2 **Projeto: TCC Local: P**

Classe	Tipo	Nivel Ref.	a	b	c	d	e	f
I PA	1	62,5150	0°00'00"	0°00'15"	0,0000	0,1000		

	Estação de Partida	Referência de Partida
Nome	A5D	A5C
Norte	250.102,0458	250.086,4046
Este	150.024,6270	150.056,9907
Cota	62,511	64,617
Azimute	115°47'39"	
Distância	35,9452 m	

	Estação de Chegada	Referência de Chegada
Nome	A5D2	
Norte	250.064,0243	
Este	149.939,6621	
Cota	57,587	
Azimute		
Distância		

	Observados	Compensados
Perímetro	136,2089 m	136,2244 m
Área		

	Erros	Tolerâncias	Fora
Angular			
Relativo	1:10831	1:3690	
Linear	0,0126 m	0,0369 m(= c+d×L½)	
Eixo Norte	m	m	
Eixo Este	m		
Altimétrico	0,003 m		
erD(Máximo)	1:7.635	1:2.610	
eAz	0°00'00"	117°40'39"	
eV	0,0118 m	0,0261 m	

Após a implantação das poligonais, fez-se o levantamento de detalhes pelo método da irradiação. Nesta etapa foram coletados 2132 pontos em 24 instaladas. Somando-se a esses pontos coletados por meio de estações totais, incluem-se 54 pontos coletados por técnica de RTK que deram origem a carta apresentada no Anexo 1.

Como resultados dos levantamentos com georadar, iniciamos com o grid determinado no capítulo 3, onde chegamos a relação de 31 x 22 (linhas por colunas), sendo os vértices do grid de coordenadas mostradas na tabela 6:

Tabela 6 – Coordenadas dos vértices do grid

	Vértice 1	Vértice 2	Vértice 3	Vértice 4
Leste	488458,8m	488464,1m	488471,8m	488476,2m
Norte	6673000,2m	6673011,0m	66722993,7m	6673004,4m

Partiu-se agora para o uso do georadar. Visto que a profundidade que o sinal da antena pode detectar um alvo depende da constante dielétrica do solo, executou-se um pequeno levantamento teste. Abriu-se uma caixa de inspeção e verificou-se a profundidade de uma tubulação com trena. Executou-se um levantamento perpendicular sobre esse tubo, tendo a profundidade do vértice da hipérbole de retorno analisado na coletora. A constante dielétrica utilizada foi 12.

Iniciou-se o levantamento sobre o grid, sendo que o início e o fim de cada seção era determinado através de um comando Start/Stop da coletora. Cada seção levantada gera um arquivo de extensão .dzt, cujo nome do arquivo refere-se ao número identificador da seção levantada.

Após executado o levantamento das 53 seções, deve-se processar os dados com auxílio do software Radan™ 6.6. A primeira etapa consiste em descarregar os dados do cartão de memória da controladora para o computador. Executou-se o software Radan™ 6.6 e para cada seção, executou-se as etapas abaixo:

- No o cabeçalho de informação do arquivo .dzt e elimina-se a onda direta alterando o campo Position(ns) para -12.
- No filtro FIR, onde determina-se a frequência de corte inferior de 200 MHz e a superior de 600 MHz.
- Aplica-se um ganho de tela para obter mais contraste no radargrama, facilitando assim a visualização das hipérboles de retorno.
- Salva-se a edição.
- A próxima etapa de edição é a Migração (Process Migration), onde as várias hipérboles fantasmas de retorno, que surgem devido a variação da constante dielétrica do solo, são eliminadas através da determinação de uma velocidade média de propagação.

Então executou-se o processo Run 2D, onde o software agrupa sequencialmente todos os radargramas ajustados. A figura 38 mostra os radargramas agrupados, onde deveria-se ver claramente as hipérboles.

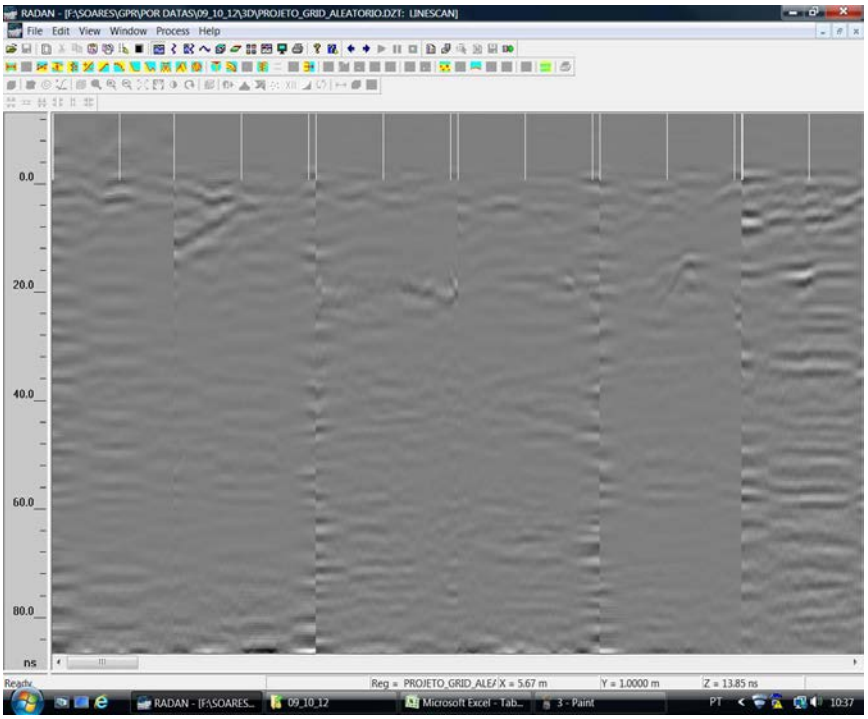

Figura 38 – Visualização do agrupamento dos radargramas

Mesmo não obtendo nenhum retorno de tubulação subterrânea como esperado, partiu-se para a criação do modelo 3D para facilitar a visualização. Para isso, abre-se até a aba File e em New 3D Project.

A principal etapa deste processo é gerar corretamente no software Radan™ 6.6 o grid de mesma dimensões criado em campo referente a área 2.

As figuras 39 e 40 mostram as telas onde são inseridos os dados referentes as dimensões aos eixos X e Y respectivamente. Dentro esses dados estão as coordenadas de partida do levantamento, números de seções, espaçamento e sentido de levantamento.

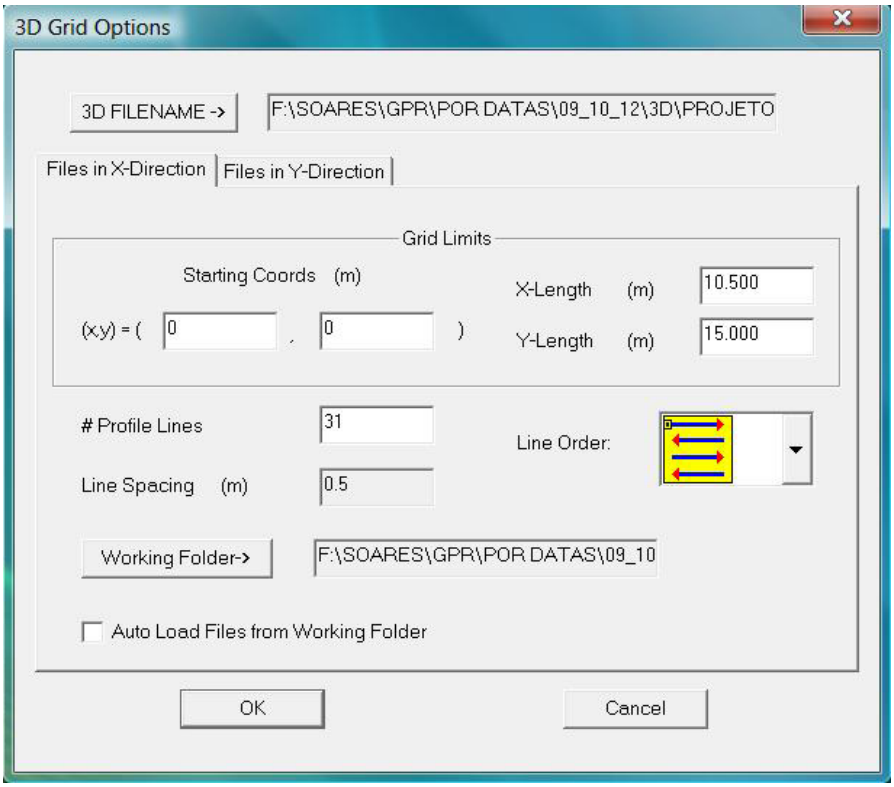

Figura 39 – Dimensões do grid X

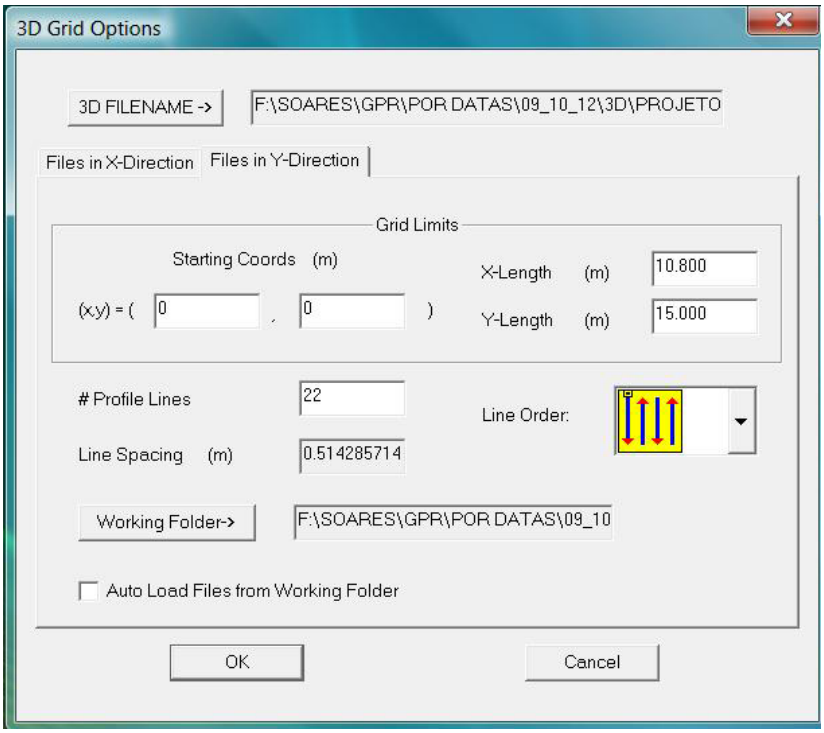

Figura 40 – Dimensões do grid Y

Após a inserção desses dados, é mostrada a representação gráfica do grid seguindo os dados inseridos assim como as coordenadas iniciais e finais de cada seção representada por um .dzt. A figura 41 mostra o grid gerado.

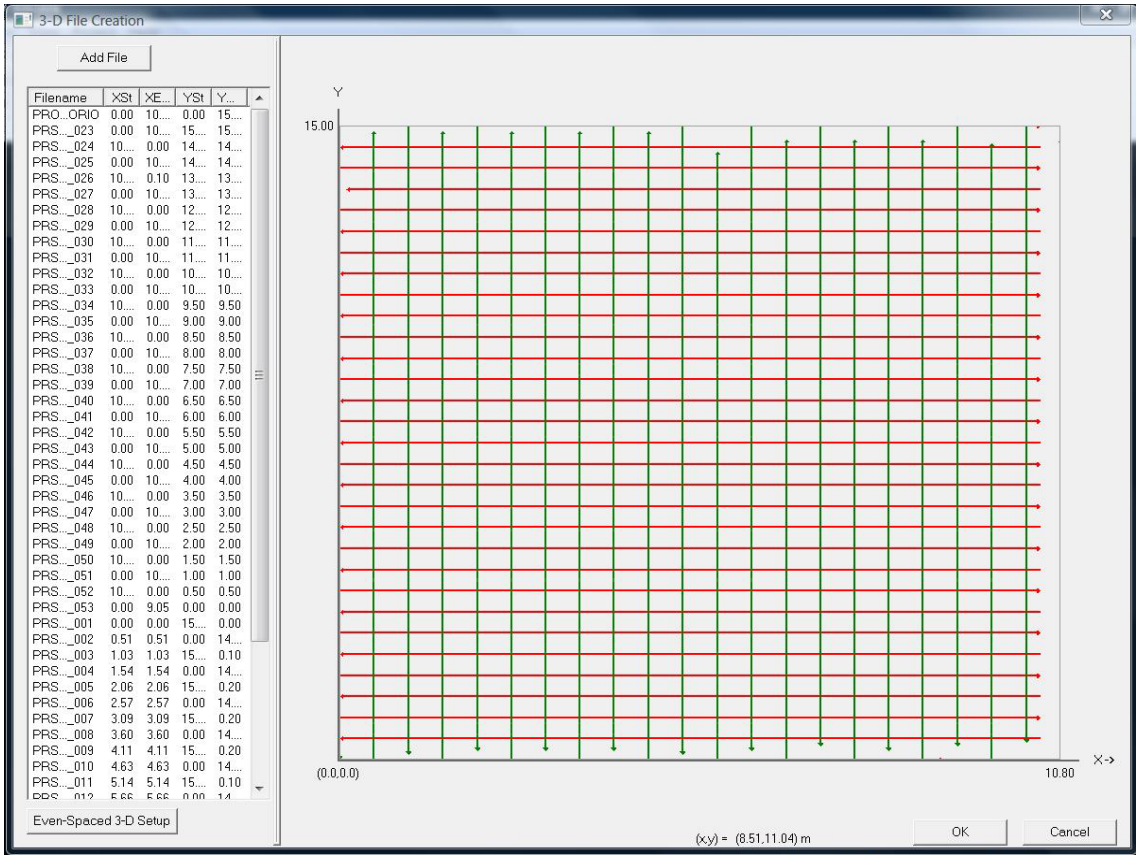

Figura 41 – Grid gerado

O que nos chama a atenção é a diferença entre as coordenadas de chegada. Elas diferem as dimensões da área levantada, o que acreditados ser decorrente ao erro vindo do método de medição da distância utilizada pelo georadar. Para corrigir isso, inseriu-se as coordenadas manualmente no campo onde é mostrada as coordenadas do arquivo, georrefenciando então o 3D nesse momento, porém o software não aceitou.

Executou-se o comando para software rodar a interpolação 3D. Na tela onde nos é mostrado o 3D, existe um comando em que pode-se mudar de plano de visualização, ou seja, mudar o corte do eixo X, Y e Z.

A figura 42, temos um corte no eixo Z em 0m, ou seja, estamos no nível em que a antena do georadar está em contato com o solo. Mesmo assim, temos um retorno muito grande como se houvesse uma tubulação na superfície, o que não é compatível com o que foi visto em campo.

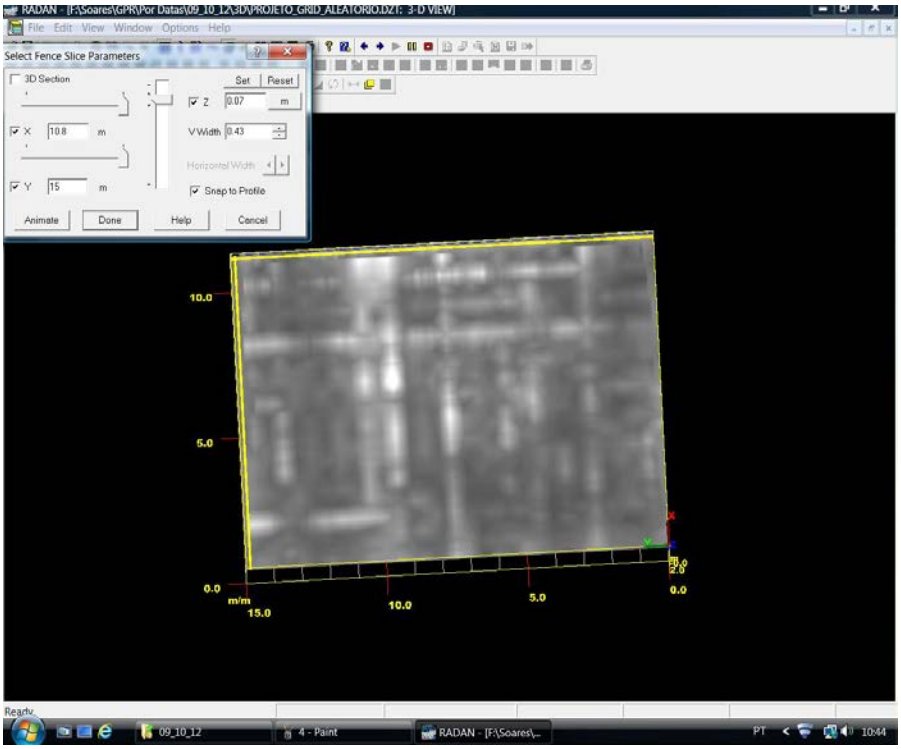

Figura 42 – Corte 3D com Z=0m

Aumentou-se o corte Z para 0,5 m e obtivemos respostas parecidas com Z em 0m, como mostra a figura 43.

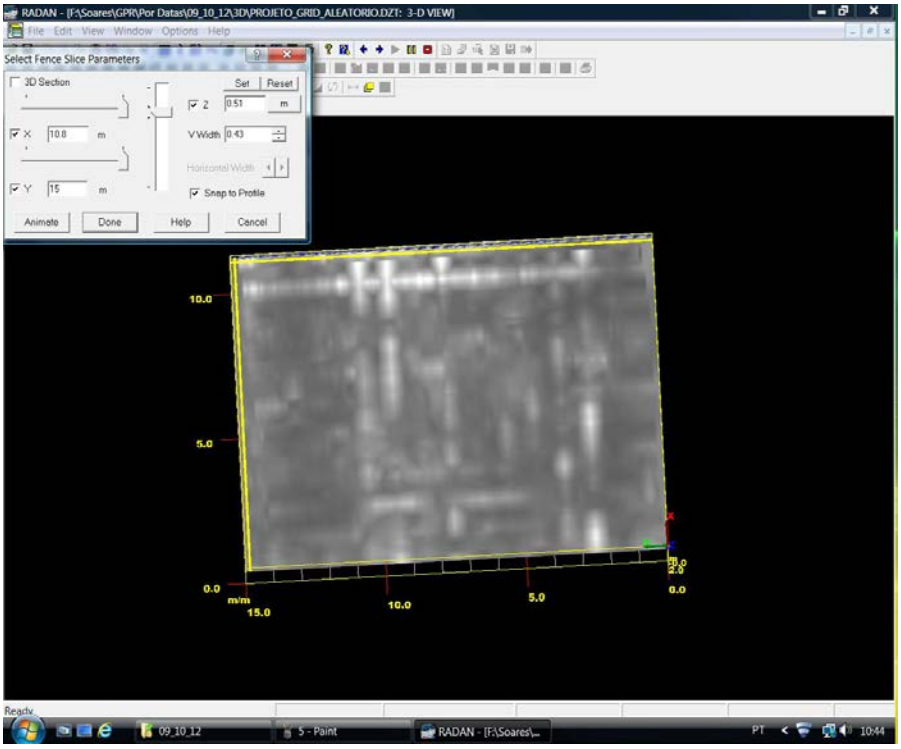

Figura 43 – Corte 3D com Z=0,5 m

O mesmo teste foi realizado para o eixo Z em 1, 1,5 e 3 m como mostrado nas figuras 44, 45 e 46.

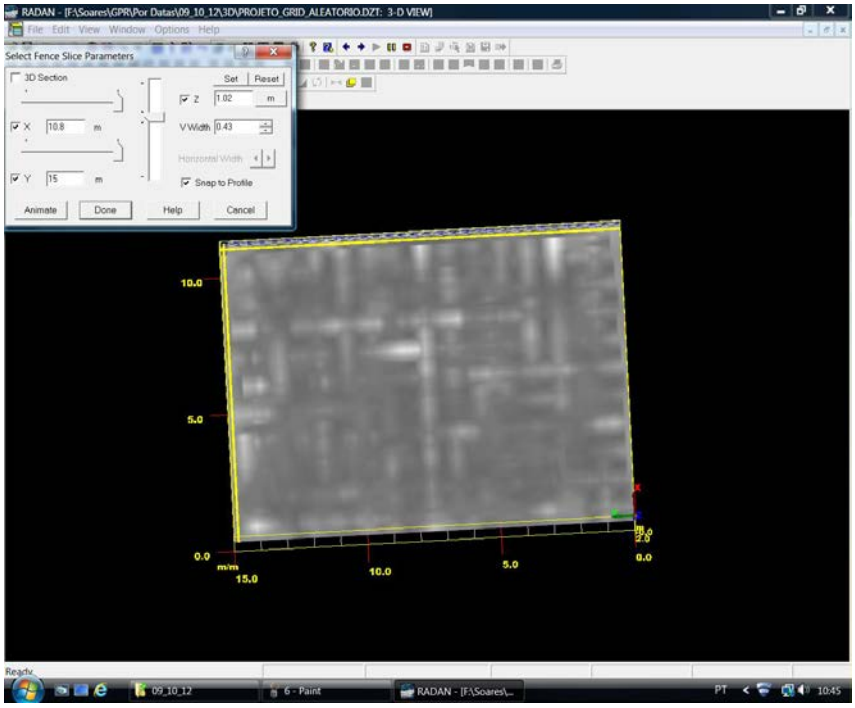

Figura 44 – Corte 3D com Z=1 m

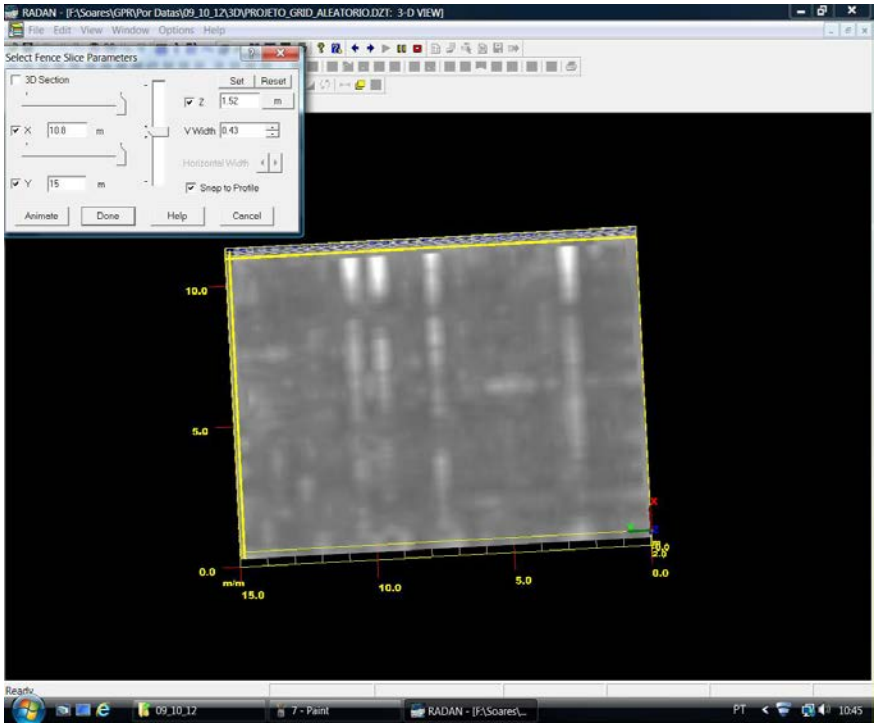

Figura 45 – Corte 3D com Z=1,5 m

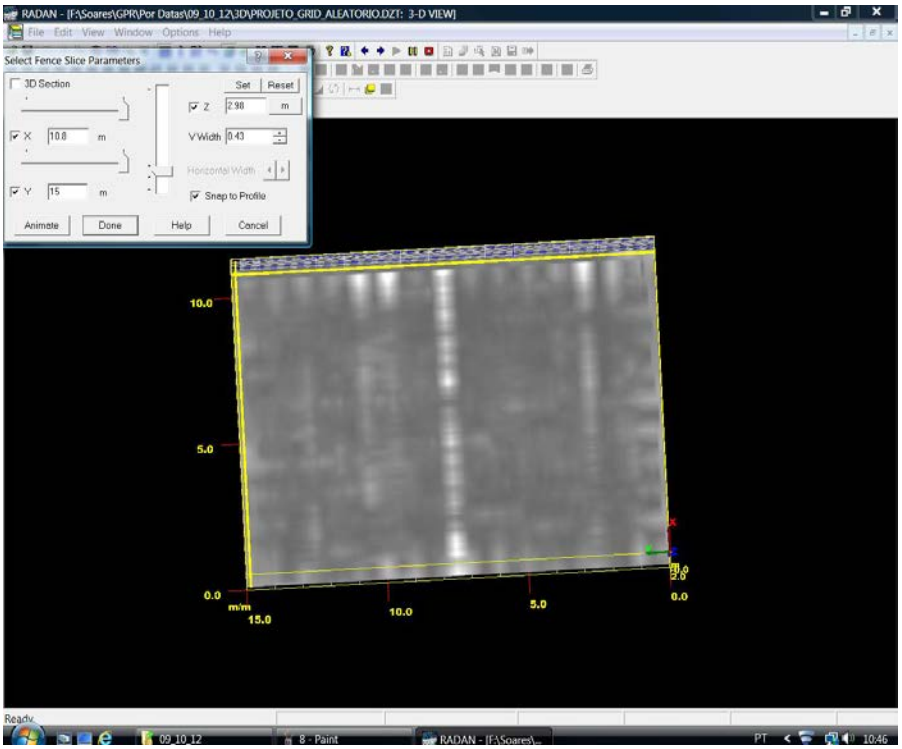

Figura 46 – Corte 3D com Z=3 m

Algumas respostas que obtivemos em Z=0,5 m estavam presentes em Z=3 m. Porém não há em campo tubulações com esse diâmetro. Analisando cada um dos cortes, vemos que as respostas obtidas são coincidentes com as seções de levantamento do grid, e que não há hipérboles de retorno de tubulações.

Voltou-se ao campo e abrimos algumas caixas de inspeção para tentar determinar a direção que seguiam as tubulações presentes nestas. E para nossa surpresa, a localização das tubulações da planta do projeto da UFRGS, a qual baseamos a determinação da área 2 estavam erradas. A tubulação considerada no momento de determinar a área estava localizada sob um passeio próximo. Na figura 46, a seta da direita mostra a localização de onde, segundo a planta do projeto da UFRGS, deveria passar a tubulação de 150 mm que era objeto do levantamento, mas a tubulação encontra-se sob o passeio indicado pela seta da esquerda.

Figura 47 – Localização dos levantamentos Georadar

Realizou-se um segundo levantamento com o georadar, tendo como área delimitante o passeio que é mostrado na figura 47, iniciando no meio fio que possui a rampa de acesso e terminando nos obstáculos que evitam fluxo de veículos e lateralmente pela divisa entre passeio e gramado.

A dimensão da nova área piloto foi de 3,5 por 29,5 m, totalizando uma área de 103,25 m^2. O que nos resultou em uma divisão do grid de levantamento de 7 seções por 59 seções.

Após o georadar montado, quero dizer, após acoplarmos a coletora, antena e roda de medição, testamos a constante dielétrica do solo passando com um equipamento perpendicularmente sobre a tubulação de 150 mm próxima a uma caixa de inspeção, já que dessa forma podemos medir a cota a qual se encontra o tubo e ajustar a constante dielétrica, como mostra a figura 48.

Figura 48 – Procedimento para determinação da constante dielétrica do solo

Após, iniciou-se o levantamento da área piloto como mostrado nas figuras 49 e 50.

Figura 49 – Processo de levantamento no sentido paralelo a tubulação de 150 mm

Figura 50 – Processo de levantamento no sentido perpendicular a tubulação de 150 mm

Durante o processo de levantamento, antes das etapas de processamento, é possível perceber a existência de alguma tubulação, visto que, quando se passa perpendicularmente sobre um alvo, a coletora mostra em tempo real a hipérbole de resposta. Sendo que esta resposta, torna-se constante nas seções levantadas que estiverem sobre esse alvo. A figura 51 mostra um exemplo de resposta vista na coletora.

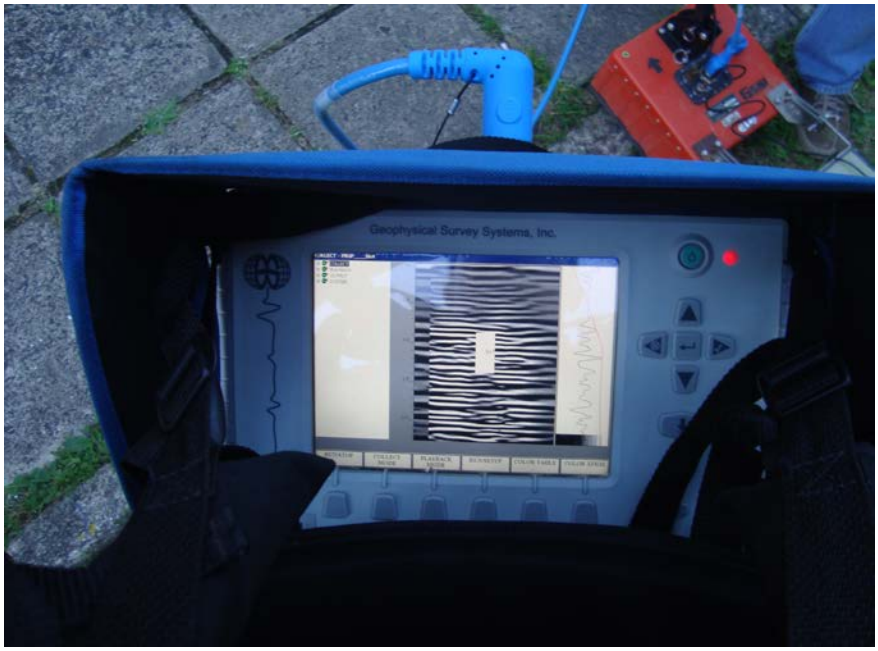

Figura 51 – Resposta do levantamento na coletora

Depois de finalizado o levantamento de todo o grid, iniciou-se a etapa de processamento dos radargramas. Todos os procedimentos aplicados aos dados referentes ao primeiro levantamento também foram aplicados a este.

Após o processamento, obteve-se radargramas como os que estão presentes na figura 52.

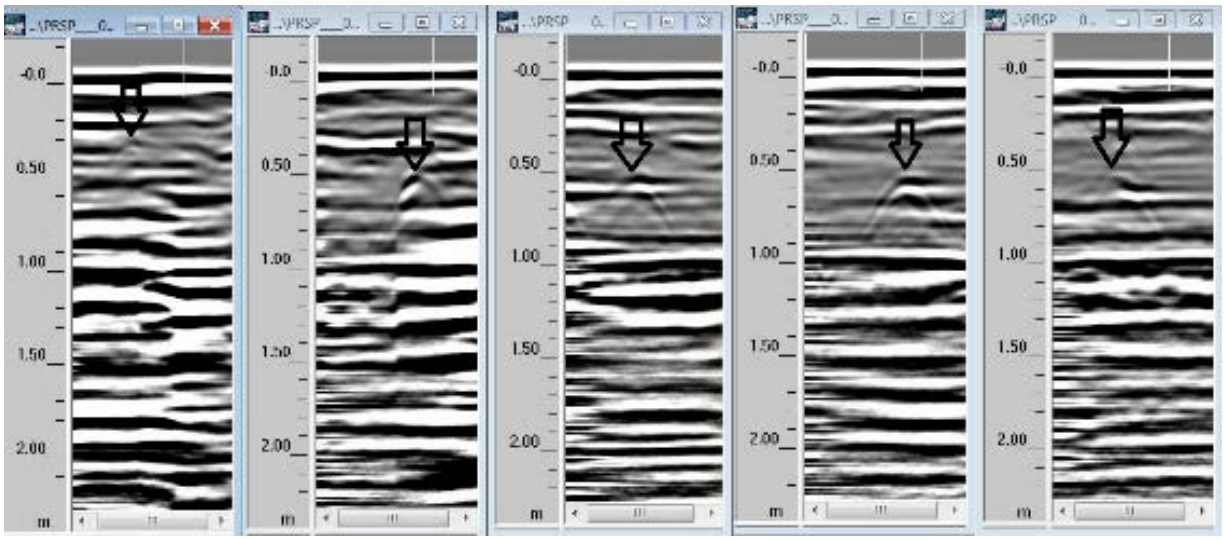

Figura 52 – Exemplos de radargramas obtidos nas seções perpendiculares

Na figura 52 pode-se ver claramente as hipérboles de retorno, sinalizadas por setas. Esses radargramas são referentes as cinco primeiras seções perpendiculares levantadas. Notamos que o retorno do radargrama mais a direita está menos profundo que os outros, isto deve-se a rampa de acesso ao passeio, que é inclinada e mais baixa que o passeio.

Seguindo orientações do manual de instruções do software Radan™ 6.6, realizou-se as etapas para que houvesse a interpretação automática das tubulações. Sendo assim, utilizamos a ferramenta Interactive Interpretation, onde deve-se assinalar todas as inflecções das hipérboles encontradas nos radargramas, individualmente, para que no momento que o software rode o algorítimo 3D, sejam feitas “ligações” entre as hipérboles próximas e sendo essas interpretadas como tubulações. A figura 53 mostra uma sequência de radargramas após marcadas as inflexões. Nela vemos além dos radargramas, uma pequena janela que disponibiliza layers que podem ser criados e que podem representar tubulações de diâmetros específicos ou qualquer outro tipo de alvo.

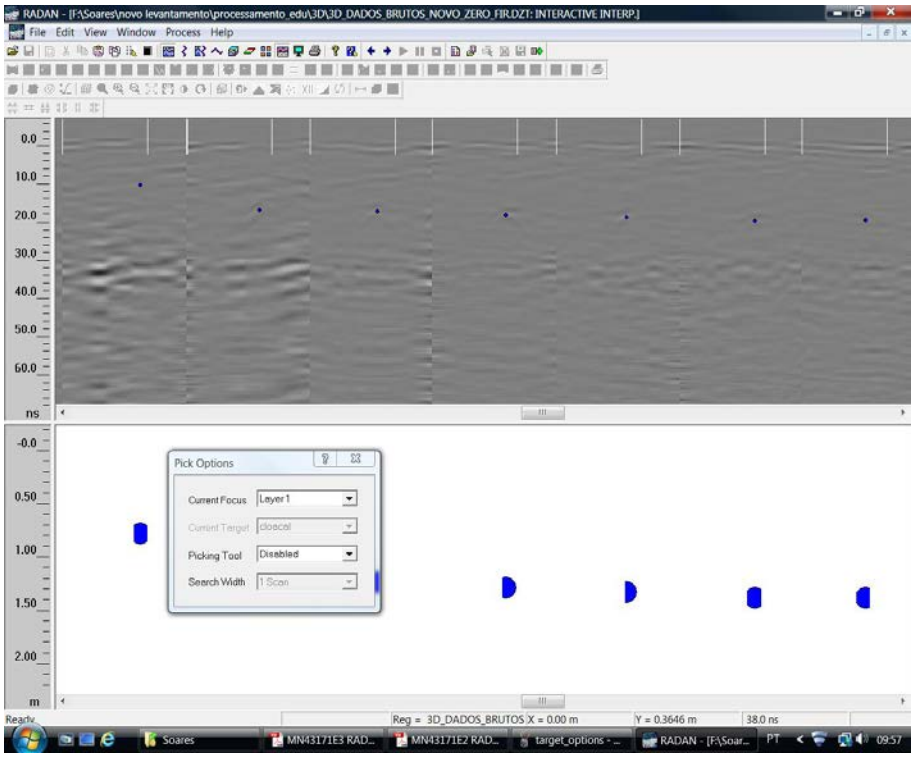

Figura 53 – Sequência de radargramas com hipérboles assinaladas

O próximo passo foi criar um Projeto Super 3D na aba File e instruir o Radan™ a rodar o arquivo com os radargramas ordenados e o arquivo contendo as hipérboles assinaladas. Porém o software não realizou essa etapa, ele travou em todas as tentativas. Com isso, concluiu-se que a versão utilizada do software não dispõe do módulo para interpretação automática das hipérboles representativas de tubulações ou estruturas.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com as etapas realizadas neste trabalho, elaborou-se uma base cartográfica de uma área piloto de aproximadamente 33.000 m^2 do Campus do Vale da Universidade Federal do Rio grande do Sul e, em uma área de 70 m^2 contida na de maior dimensão realizou-se o levantamento remoto de redes subterrâneas.

A planilha de feições e códigos foi de grande valia, visto que a estrutura de aquisição de dados utilizada durante os levantamento otimizou os trabalhos na etapa de edição da base cartográfica. Um problema detectado na utilização dos códigos de aquisição foi o levantamento de poços de visita, visto que haveria a necessidade de abrir a tampa de cada poço de visita para identificar a qual subgrupo do cadastro de redes de infraestrutura ele pertenceria. Durante a elaboração da planilha de feições e códigos de aquisição de dados procurou-se priorizar também a sua possível utilização em futuros trabalho em ambiente SIG, criando primitivas gráficas e atributos que devem ser usados em novos levantamentos.

Com a ocupação dos marcos da Rede Geodésica da UFRGS com técnicas GNSS obteve-se as coordenadas para o Datum SIRGAS 2000. Do nivelamento geométrico realizado nesses marcos obteve-se as altitudes ortométricas com um erro de 1 mm para o circuito realizado, visto que este circuito também inclui os pontos de apoio para as poligonais de levantamento. Para os marcos M17 e M19 obteve-se um erro de fechamento de 3,7 mm, visto que foi utilizado a técnica de nivelamento trigonométrico. A partir destes dados, coordenadas planimétricas e altimétricas, pode-se elaborar memoriais atualizados para os marcos da Rede Geodésica da UFRGS que foram visitados. Com as etapas de poligonação e irradiação gerou-se um mapa da área piloto na escala de 1:250.

Durante o levantamento com Georadar foram detectadas as hipérboles de retorno quando executava-se o levantamento sobre tubulações, porém o levantamento gerou os resultados esperados. O software não permitia a interpretação automática das hipérboles, não gerando o modelo tridimensional da rede subterrânea. O software Radan™ 6.6 possui outro grave problema para levantamento de precisão, a precisão do georrefenciamento das faixas é de 0,5 m. O software aceitava a coordenada de início da

faixa de levantamento imposta, porém, a coordenada final da faixa possuía precisão métrica, o que poderia gerar um erro de até 0,5 m após o arredondamento. O Radan permite a obtenção das coordenadas tridimensionais das inflexões das hipérboles em uma tabela, que pode vir a ser usada para modelagem em ambiente CAD e/ou SIG, desta forma contornando as dificuldades encontradas. Porém, visto que esse não é o proposito do trabalho desenvolvido, recomenda-se uma pesquisa para esse possível método. Para determinação da constante dielétrica do solo realizou-se um pequeno levantamento de uma rede subterrânea de conhecida profundidade. Visto a importância dessa constante para a precisão do levantamento e também o custo de equipamentos dedicados a obtenção da constante dielétrica, recomenda-se para futuros trabalhos a criação de uma metodologia específica para esse objetivo, como por exemplo, posicionar objetos em diversas profundidades conhecidas ao longo da área de levantamento obtendo-se uma constante dielétrica média do solo para o levantamento.

As plantas dos projetos de implantação cloacal e pluvial do Campus do Vale, utilizadas para determinação da área de levantamento remoto, mostraram-se ineficientes. Durante o primeiro levantamento com georadar, determinou-se com o auxílio da planta pluvial uma área onde deveria existir a rede pluvial subterrânea, porém, com a ausência de resultados no tratamento dos radargramas e após novos levantamentos, concluiu-se que a localização da rede pluvial procurada não era fidedigna com a planta existente.

Este empecilio mostra a necessidade da continuidade do desenvolvimento de métodos para levantamentos de redes subterrâneas que facilitem o mapeamento do subsolo. Um futuro projeto de expansão do Campus do Vale que utilizar as plantas existentes como subsídio pode tornar-se dispendioso, visto possíveis rompimentos de redes subterrâneas, como o exemplo mostrado na introdução do presente trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNES, Carlos. **Levantamentos topográficos** :Apontamentos de topografia. 130p. Faculdade de ciências. Universidade de Lisboa, Lisboa.1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13133:** informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12586:** informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12587:** informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 1992.

BRASIL, Ministério do Exército, Estado Maior do Exército. Manual Técnico – Serviço Geográfico. **Nivelamento Geométrico**. 1975.

CASACA, J. M. **Topografia Geral.** 4. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

CHRZANOWSKI, AVELLA, YONG-QI e SECORD. Adam, Saverio, Chen e James. **Existing resources, tandards, and procedures for precise monitoring and analysis of structural deformations**. 269p. Volume 2. Department of surveying engineering. University of New Brunswick. Canadá. 1992.

DEMERS, Michael N. **Fundamentals of Geographic Information Systems.** 4. Ed. New York: John Wiley & Sons, 2009. 443 p.

DMAE, Prefeitura Municipal de Porto Alegre, Departamento de Água e Esgotos. **NS022**: Cadastramento de Redes de Água. Rev. 7. 2013

ESPARTEL, Lélis. **Curso de Topografia**. Porto Alegre: Globo, 1965 .655 p.

FSA (Rússia). GLONASS constellation status. Disponível em: <www.glonass-ianc.rsa.ru/en>. Acesso em: 26 nov. 2011.

GSSI. **3D QuickDraw**. Salem, New Hampshire: GEOPHYSICAL SURVEY SYSTEMS, 2008. 69 p.

GSSI. **Interactive 3D Module**. Salem, New Hampshire: GEOPHYSICAL SURVEY SYSTEMS, 2008. 17 p.

GSSI, **User's Manual**. Salem, New Hampshire: GEOPHYSICAL SURVEY SYSTEMS, 2008. 149 p.

IBGE (Brasil) SGB - Sistema Geodésico Brasileiro. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 26 nov. 2011.

JORDAN, Wilhelm. **Tratado general de topografia**. Barcelona: Gustavo Gili, 1978. 1107 p.

MASCARÓ, Juan Luis. **Loteamentos Urbanos**. Porto Alegre: J.L. Mascaró, 2003. 207p.

MASCARÓ, Juan Luis. **Estudo Sobre pavimentos Urbanos.** UFRGS, 1989. 162 p.

MONICO, João Francisco Galera. **Posicionamento pelo GNSS**: Descrição, fundamentos e aplicações. 2. ed. São Paulo: UNESP, 2008. 476 p.

MOREIRA. Antônio Sérgio Bento. **Nivelamento trigonométrico e nivelamento geométrico classe IIN NBR 13.133**: limites e condições de compatibilidade. 120 p. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, USP. São Carlos. 2003.

MOREIRA e SEGANTINE, Antônio Sérgio Bento e Paulo Cesar Lima. **Nivelamento trigonométrico e nivelamento geométrico classe IIN:** limitações e condições de

compatibilidade. 9 p. Artigo. Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Transportes, USP. São Carlos.

SEEBER, Günter. **Satellite Geodesy**: foundations, methods, and applications. Berlim: Walter de Gruyter, 1993. 531p.

STUCHI, Eduardo Terenzi. **Interferências de Obras de Serviço de Água e Esgoto Sobre o Desempenho de Pavimentos Urbanos**. USP, São Carlos, 2005. Dissertação de Mestrado

VEIGA, ZANETTI e FAGGION**.** Luis A. K., Maria A. Z. e Pedro L. **Fundamentos de topografia**. UFPR, 2012.

ZMITROWICZ, Witold; NETO, Generoso De Angelis. **Infra-Estrutura Urbana**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade da USP, 1997 (Texto técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, TT/PCC/24).

TRAVASSOS e MENEZES, Jandyr Menezes e Paulo de Tarso Luiz. **A GPR survey for water exploration in a crystalline rock terrain.** I Joint World Congress on Groundwater, 31-7 to 04-08, 2000, Fortaleza, Ceará.