



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
ENGENHARIA CARTOGRÁFICA**

**Camila Zanette Bourscheid**

**GERAÇÃO DE BASE CARTOGRÁFICA PARA APOIO  
AO MAPEAMENTO GEOTÉCNICO: ESTUDO DE CASO  
DO MORRO SANTANA, PORTO ALEGRE/ RS.**

**Porto Alegre**

**2013**

**CAMILA ZANETTE BOURSCHEID**

**GERAÇÃO DE BASE CARTOGRÁFICA PARA APOIO  
AO MAPEAMENTO GEOTÉCNICO: ESTUDO DE CASO  
DO MORRO SANTANA, PORTO ALEGRE/ RS.**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento  
de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul, como requisito para obtenção do  
título de Engenheira Cartógrafa

**Orientador: Prof. Dr. Ronaldo dos Santos da Rocha**

**Orientador: Prof. Dr. Mário Luiz Lopes Reiss**

**BANCA EXAMINADORA**

**1ª Examinadora: Profa. Dra. Flávia Cristiane Farina**

**2ª Examinadora: Profa. Dra. Tatiana Silva da Silva**

**Porto Alegre**

**2013**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**

Reitor: Carlos Alexandre Netto

Vice-Reitor: Rui Vicente Oppermann

**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Bourscheid, Camila Zanette

Geração de base cartográfica para apoio ao mapeamento geotécnico estudo de caso do Morro Santana, Porto Alegre/ RS. / Camila Zanette Bourscheid. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2013. [92 f.] il.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso).- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Graduação em Engenharia Cartográfica. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2013.

Orientador: Ronaldo dos Santos da Rocha  
Coorientador: Mário Luiz Lopes Reiss

1. Áreas de Risco. 2. Deslizamento. 3. Cartografia Geotécnica. 4. Mapeamento. I. Título.

CDU 528

---

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS  
Alexandre Ribas Semeler CRB 10/1900

*Dedico o meu trabalho aos meus pais, João Pedro e Lia, por não medirem esforços para que eu chegasse onde estou hoje, ao meu irmão Pedro, por ser meu fiel companheiro e o melhor irmão que poderia existir e à nona, pelo exemplo de mulher.*

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), pela educação de excelência.

Aos laboratórios LAFOTO (Laboratório de Pesquisas em Fotogrametria) e LACAP (Laboratório de Cartografia Aplicada) cedentes do espaço e equipamentos necessários para execução do projeto.

Aos professores, pelo conhecimento, em especial, ao meu orientador, Prof. Ronaldo Rocha e à Profa. Andrea Iescheck, pela amizade e apoio.

Aos meus colegas de curso, pela companhia, brincadeiras e ajuda.

Aos seguranças, porteiros e auxiliares da UFRGS pela colaboração.

Aos meus familiares, vó Zaira, vô Fredolino (*in memorian*), nono (*in memorian*), tios e primos, por todo o amor, carinho e confiança na minha capacidade.

Aos meus amigos, em especial, Alessandra Coimbra, Cairos Augusto Kallenbach Pacheco, Fernanda Meneghetti Gomes, Mariana Ferraz de Abreu e Renata Lima Oliveira, por serem os melhores amigos.

À Veronildes Cenci Bittencourt, pela dedicação a mim e ao Pedro.

Aos meus cachorros, pela parceria incondicional.

*“Da vida não quero muito...  
Quero apenas saber que tentei tudo o que  
quis, tive tudo o que pude, amei tudo o que  
valia e perdi apenas o que no fundo,  
nunca foi meu...”*

Autor Desconhecido

## RESUMO

O tema ambiental vem ocupando nesta última década amplo espaço nos veículos de comunicação, devido às inúmeras catástrofes ocorridas em todo o mundo. A Constituição Federal Brasileira de 1988, capítulo VI, art. 225 define que “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”. Os graves desastres ambientais que vêm ocorrendo, são reflexos dos problemas gerados pelas atividades humanas. Milhares de vidas foram perdidas, municípios ficaram devastados e uma quantidade inestimável de verba foi gasta sem que houvesse melhoras à sociedade. Uma das ações mais importantes para a mitigação de eventos como os deslizamentos de terra é o mapeamento das áreas de risco, delimitando e identificando possíveis pontos com maior suscetibilidade para ocorrência destes fenômenos. Nesse contexto, para fundamentar os estudos geotécnicos, há necessidade de se construir uma base cartográfica de elevada qualidade, contendo informações geográficas detalhadas e precisas, que retratem com fidelidade a superfície topográfica da região estudada, o que foi o intuito deste trabalho. Esta base foi gerada utilizando métodos fotogramétricos, edição de mapas existentes, interpretação de imagens orbitais, processamentos e simulações em ambiente SIG. As fotografias utilizadas pertencem ao novo recobrimento aéreo do município de Porto Alegre e o método cartográfico estudado foi aplicado para a região do Morro Santana, zona leste do município, contemplando 16,14 km<sup>2</sup>. Com base nestas fotografias aéreas, foram restituídos detalhes planimétricos como sistema viário, torres de transmissão e comunicação, algumas edificações. Para a hidrografia, demarcaram-se os corpos d'água e as drenagens. Na vegetação, as áreas de mata nativa, campo, vegetação arbustiva e florestamento, além da erosão, afloramento rochoso, ocupação urbana e rural. As informações de altitude foram obtidas através do aproveitamento dos mapas altimétricos componentes do Sistema Cartográfico Municipal de 1982. As curvas de nível digitais foram editadas e corrigidas quanto às posições altimétricas e, após, foram gerados os modelos digitais do Terreno. Como produtos gerados obtivemos, os mapas topográfico, de cobertura e uso do solo, drenagem, hipsométrico e declividade, além do MDT. Além disso, foi feita uma simulação para apontar possíveis pontos críticos com potencialidade de deslizamento. Por fim, desenvolveu-se uma avaliação da qualidade geométrica da base cartográfica gerada. Esta avaliação da exatidão posicional planialtimétrica apontou uma qualidade da base cartográfica de 1,3m na planimetria e 0,5m na altimetria. Estes valores são necessários e suficientes para apoio aos projetos de mapeamento geotécnico urbano.

**Palavras - chave:** Áreas de Risco. Deslizamento. Cartografia Geotécnica. Mapeamento.

## ABSTRACT

The environmental issue has occupied this last decade a broad space in the media, due to the numerous disasters around the world. The Brazilian Constitution of 1988, Chapter VI, art. 225 defines that "All have the right to an ecologically balanced, asset of common use for the people essential to a healthy quality of life, imposing on government and society the duty of defending it and preserve it for the present and upcoming generations. " The serious environmental disasters that have been occurring, are reflections of the problems generated by the human activities. Thousands of lives were lost, counties were left desolate and a priceless amount of money was spent without any enhancements to the society. One of the most important actions to mitigate events like landslides is the mapping of risk areas, defining and identifying possible spots with a higher susceptibility to the occurrence of these phenomena . Within this context, to support the geotechnical surveys, there is a need to build a high quality cartographic database containing detailed geographic information, accurate, that faithfully portrays the surface topography of the region studied, which was the purpose of this work. This base was generated using photogrammetric methods, editing existing maps, satellite images interpretation, processings and simulations in GIS environment. The photographs used belong to the new air recoating the municipality of Porto Alegre and studied the cartographic method was applied to the region of Morro Santana, east of the city, covering 16.14 km <sup>2</sup>. Based on these air photographs, were reconstituted as details planimetric road system, transmission towers and communication, some buildings. Towards hydrography, were demarcated water bodies and drainage. In the vegetation areas of native forest, field, shrub vegetation and tree plantations, besides erosion, rocky outcrop, urban and rural occupation. The altitude information was obtained from the altimetry maps components Cartographic System Municipal 1982. The digital level curves were edited e corrected as the altimetric positions and after, were generated digital models of the Terrain. We obtained as products, topographical maps, of cover and land use, drainage, hypsometric slope steepness, and the MDT. Furthermore, a simulation was made to point out possible critical points with potentiality sliding. Finally, it was developed a evaluation of the geometrical quality cartographic database designed. This evaluation of positional accuracy planialtimetric pointed to a quality of the cartographic database of 1.3 m in planimetry and 0.5 m in altitude. These values are necessary and sufficient to support projects of urban geotechnical mapping.

**Keywords:** Risk Areas. Landslides. Geotechnical mapping. Cartographic Engineering. Mapping.



## **SIGLAS**

CAD - Computer Aided Design

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

DoD – Department of Defense

EPUSP – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

GLONASS – Global Navigation Satellite System

GNSS – Global Navigation Satellite System

GPS – Global Positioning System

h – altitude geométrica

H – altitude ortométrica

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IEAG - Associação Internacional de Geologia de Engenharia e Ambiental

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

ITRF – International Terrestrial Reference Frame

MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia

N – ondulação geoidal

OI – Orientação Interior

OE – Orientação Exterior

PP – Ponto Principal

RBMC – Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo

RN – Referência de Nível

RRNN – Referências de Nível

SGB – Sistema Geodésico Brasileiro

WGS84 - World Geodetic System 1984

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2-1: VISÃO DO MODELO ESTEREOSCÓPICO. (JENSEN, 2009)	19
FIGURA 2-2 ESTAÇÃO FOTOGAMÉTRICA DIGITAL DO LAFOTO. (FONTE: ARQUIVO PESSOAL)	21
FIGURA 2-3: EXEMPLO DE GRADE REGULAR	25
FIGURA 2-4: EXEMPLO DE GRADE IRREGULAR	26
FIGURA 2-5: REPRESENTAÇÃO DE QUEDA (A) TRANSLACIONAL E (B) ROTACIONAL. (FONTE: HIGHLAND; BROBOWSKY, 2007)	38
FIGURA 2-6: REPRESENTAÇÃO DE ENVERGAMENTO. (FONTE: HIGHLAND; BROBOWSKY, 2007)	39
FIGURA 2-7: REPRESENTAÇÃO DE ESCORREGAMENTO. REPRESENTAÇÃO DE ESCORREGAMENTO. (FONTE: HIGHLAND; BROBOWSKY, 2007)	40
FIGURA 2-8: REPRESENTAÇÃO DE ESPALHAMENTO. REPRESENTAÇÃO DE ESCORREGAMENTO. (FONTE: HIGHLAND; BROBOWSKY, 2007)	41
FIGURA 2-9: REPRESENTAÇÃO DE ESCOAMENTO. REPRESENTAÇÃO DE ESCORREGAMENTO. (FONTE: HIGHLAND; BROBOWSKY, 2007)	41
FIGURA 2-10: COMO FUNCIONA O DESLIZAMENTO. (FONTE: HOW STUFF WORKS, 2012)	42
FIGURA 3-1: LOCALIZAÇÃO DA ÁREA	45
FIGURA 3-2: PROCESSO DE RESTITUIÇÃO. (FONTE: ARQUIVO PESSOAL)	47
FIGURA 3-3: RECEPTOR GNSS INSTALADO NA ESTAÇÃO PASSIVA REGPS/RS NO PRÉDIO DO DEPARTAMENTO DE ASTROFÍSICA. FONTE: ARQUIVO PESSOAL	48
FIGURA 5-1: CLASSIFICAÇÃO DAS CARTAS (FONTE: BRASIL, 1984)	64
FIGURA 5-2: DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS	66

## LISTA DE TABELAS

TABELA 5-1: ANÁLISE DOS DADOS.....	66
------------------------------------	----

# SUMÁRIO

<b>SUMÁRIO</b>	<b>12</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
1.1 OBJETIVO GERAL	14
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.3 JUSTIFICATIVA	15
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	17
<b>2 REVISÃO TEÓRICA</b>	<b>18</b>
2.1 FOTOGRAMETRIA	18
2.1.1 ESTAÇÃO FOTOGRAMÉTRICA DIGITAL	20
2.1.2 RESTITUIÇÃO	21
2.1.3 GERAÇÃO DO MODELO 3D	23
2.2 GEODÉSIA	27
2.2.1 DEFINIÇÃO DO REFERENCIAL GEODÉSICO	28
2.2.2 MUDANÇAS DE REFERENCIAL - TRANSFORMAÇÃO DE COORDENADAS	29
2.2.3 ALTITUDE ORTOMÉTRICA X ALTITUDE GEOMÉTRICA	29
2.3 CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA	30
2.3.1 FUNDAMENTOS	32
2.3.2 APLICAÇÕES	33
2.4 CONCEITOS BÁSICOS	34
2.5 DESLIZAMENTOS DE TERRA	35
2.5.1 DEFINIÇÃO	35
2.5.2 CLASSIFICAÇÃO	37
2.5.3 OCORRÊNCIA E CAUSA	42
<b>3 METODOLOGIA</b>	<b>44</b>
3.1 SELEÇÃO DA REGIÃO	44
3.2 CARACTERIZAÇÃO	46
3.3 MATERIAIS E MÉTODOS	46
3.4 PRECISÃO E ESCALA	48
3.5 AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS	49
3.6 MÉTODO DE POSICIONAMENTO	50
3.7 TEMPO DE RASTREIO	50
<b>4 DESENVOLVIMENTO</b>	<b>52</b>
4.1 LEVANTAMENTO DOS DADOS	52

<b>4.2</b>	<b>ELABORAÇÃO CARTOGRÁFICA</b>	<b>53</b>
<b>4.3</b>	<b>OBTENÇÃO DO MODELO DIGITAL DO TERRENO</b>	<b>54</b>
<b>4.4</b>	<b>DETERMINAÇÃO DA ALTITUDE ORTOMÉTRICA COM RECEPTOR GNSS</b>	<b>56</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>58</b>
<b>5.1</b>	<b>MAPA TOPOGRÁFICO</b>	<b>58</b>
<b>5.2</b>	<b>MAPA HIPSOMÉTRICO</b>	<b>59</b>
<b>5.3</b>	<b>MAPA DE DECLIVIDADE</b>	<b>60</b>
<b>5.4</b>	<b>MAPA DE DRENAGEM</b>	<b>60</b>
<b>5.5</b>	<b>MAPA DE COBERTURA E USO DO SOLO</b>	<b>61</b>
<b>5.6</b>	<b>MAPA DE SIMULAÇÃO</b>	<b>62</b>
<b>5.7</b>	<b>MODELO 3D</b>	<b>63</b>
<b>5.8</b>	<b>QUALIDADE DAS CARTAS</b>	<b>63</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES</b>	<b>67</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>68</b>
	<b>ANEXO I</b>	<b>72</b>
	<b>ANEXOII</b>	<b>74</b>
	<b>ANEXO III</b>	<b>81</b>
	<b>ANEXO IV</b>	<b>85</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Os movimentos de massa são eventos naturais e fazem parte da dinâmica do planeta, cujas manifestações ocorrem independentemente da presença humana. Porém, com o desencadeamento do processo de urbanização, a ocupação do espaço urbano foi caracterizada pelo crescimento desordenado, moradias irregulares e degradação do meio físico. A ocupação das encostas dos morros, sem critérios técnicos, na construção das moradias e com infraestrutura urbana deficiente são aspectos que proporcionaram, dentre outros problemas, o surgimento das áreas de risco.

Atualmente, tem se tornado constante em noticiários, jornais, internet e outros meios de comunicação, reportagens envolvendo desastres ambientais de grandes proporções, sejam deslizamentos, enchentes, inundações, entre outros, nas mais diversas esferas da sociedade, em todo o mundo. Realizando um retrospecto dos últimos anos, podemos citar inúmeros exemplos marcantes que envolvam este tipo de catástrofes ambientais: os deslizamentos na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, em janeiro de 2011, resultou na morte de 779 pessoas e deixou milhares de desabrigados; Blumenau, em Santa Catarina, no final de 2008, com a morte de 137 pessoas.

As proporções causadas por estes desastres não ficam restritas aos danos sociais, ambientais e materiais. Segundo os cálculos do Tribunal de Contas do Estado do Rio de Janeiro, os prejuízos causados pelas chuvas de janeiro de 2011 somam mais de R\$ 614 milhões. Mas se, ao invés disso, parte deste montante tivesse sido revertido em investimento para a prevenção de desastres? Certamente seriam evitados estes enormes prejuízos, cuja vida nem podemos mensurar. E um dado alarmante preocupa: nos últimos 11 anos, entre os países da América Latina, o Brasil é o recordista em mortes deste gênero.

Em âmbito internacional, exemplos não faltam: em fevereiro de 2010, em Nametsi, leste de Uganda, um grande deslizamento tirou a vida de 388 vítimas e deixou milhares de desabrigados, além de destruir cidades e as plantações de banana, que é a principal atividade econômica popular da região. Neste

mesmo ano, fortes chuvas inundaram as províncias e regiões de Fujian, Jiangxi, entre outros, na China, resultando em 1.691 vítimas. Cerca de 10 milhões de pessoas foram afetadas e o prejuízo estimado foi de R\$ 10,9 bilhões.

Segundo a Força-Tarefa de Busca e Resgate dos Estados Unidos, os danos ocasionados pelos movimentos de terra custam, ao país, de US\$ 1 bilhão a US\$ 2 bilhões por ano, ultrapassando quaisquer outros desastres naturais juntos.

Uma das ações mais importantes para a mitigação de eventos deste gênero é o mapeamento das áreas de risco, delimitando e identificando possíveis pontos com maior suscetibilidade para ocorrência de fenômenos como o de escorregamento. Nesse contexto, a utilização de técnicas da geotecnia aliadas a dados mapeados permitirá a criação de mapas com temas variados, estabelecendo uma correlação entre representação espacial e informações disponíveis. Assim, poderá ser desenvolvido um banco de dados estruturado que servirá de apoio para tomadas de decisão dos gestores municipais, estudos geotécnicos, bem como para as demais áreas de geociências. Cabe ao Engenheiro Cartógrafo identificar as técnicas mais adequadas para cada tipo de produto, de acordo com a precisão esperada, os recursos financeiros disponíveis e as informações já existentes.

O intuito deste trabalho é realizar o mapeamento de uma área para elaboração de documentos cartográficos precisos que sirvam de suporte ao planejamento urbano e territorial, gestão ambiental, entre outros.

## **1.1 Objetivo Geral**

Desenvolver uma base cartográfica para avaliação dos riscos de deslizamentos de terra na região do morro Santana e arredores.

## 1.2 Objetivos Específicos

- Obter um quadro da atual situação da área em estudo;
- Elaborar um modelo cartográfico para apoio à elaboração de mapas geotécnicos;
- Avaliar a aplicação das técnicas utilizadas no projeto.

## 1.3 Justificativa

O aumento do número de moradias em áreas de risco é fruto de um crescimento desordenado, reflexo de uma série de fatores econômicos, políticos e socioculturais instalados, principalmente, nos centros urbanos. Isto demonstra que a velocidade em que se expande a população não acompanha o ritmo estimado pelas prefeituras, e esta, tem sido uma das características negativas no processo de urbanização e desenvolvimento das cidades brasileiras.

Diante dos tantos incidentes ocorridos, como aqueles mencionados anteriormente, algumas soluções estão intimamente relacionadas à proposta deste trabalho, o que demonstra a fundamental participação do mapeamento para o diagnóstico, prevenção ou redução de perdas futuras.

Demonstrando preocupação, o Governo Federal criou o Centro de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais, através do Decreto nº7.513/2011, coordenado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) e instalado em Cachoeira Paulista, interior de São Paulo. Este centro será responsável por gerenciar as informações emitidas por radares, pluviômetros e previsões climáticas das 25 cidades brasileiras que já possuem cartas geotécnicas. Os primeiros resultados estavam previstos para o mês de novembro do ano de 2011, mas poucas ações foram efetivamente realizadas.

Em um futuro próximo, as cartas geotécnicas serão obrigatórias em todos os municípios do país, possibilitando aos seus gestores deterem o



conhecimento da realidade local, buscando alternativas e soluções para os casos emergenciais (planos de ação), desenvolvendo programas socioambientais e conscientizando a população sobre a retirada das mesmas dos locais de risco.

O alicerce para avaliação das áreas e tomada das decisões, é baseada nas informações levantadas em campo e transcritas sob a forma de cartas ou mapas. Cabe ressaltar que, estes documentos cartográficos, são utilizados para os mais diversos fins, não somente para mapeamento de áreas de risco, mas também, projetos de engenharia, gestão ambiental, planejamento urbano, saneamento, etc., e reúnem informações pertinentes aos aspectos do meio físico, biótico e antrópico, representados seguindo os padrões e regras aplicadas à cartografia.

Segundo números divulgados do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), existem, no país, 1.386 municípios com suscetibilidade natural a eventos de deslizamentos e 1.413 com riscos de enchentes, porém, destes, somente 237 localidades tem a possibilidade de ocorrência de desastres maiores com envolvimento de vítimas, dos quais o município de Porto Alegre não consta entre os citados. Mas como devemos identificar estes pontos de risco? Será que a capital gaúcha realmente não corre o risco de ter um deslizamento de terra de proporções maiores?

Praticamente toda a extensão do Brasil esta suscetível a algum tipo de evento perigoso relacionado ao meio físico que exigirá, no futuro, grandes investimentos para recuperação da área, quando atingida. Por este motivo, trabalhos com o objetivo de prever acontecimentos dessa natureza deveriam ter prioridade. Dessa forma, seriam evitadas perdas econômicas e haveria a possibilidade da adoção de medidas preventivas no planejamento do processo de ocupação.

#### 1.4 Estrutura do trabalho

Este trabalho está estruturado da seguinte maneira: o capítulo 1 introduz o tema, apresenta os objetivos, geral e específico e a justificativa de escolha deste assunto.

O capítulo 2 traz a revisão teórica dividida entre os segmentos da engenharia cartográfica, tais como, fotogrametria, geodésia e cartografia. O capítulo que segue descreve um pouco sobre o tema central, os deslizamentos de terra, apontando sua definição, classificação e causa.

No capítulo 4, descreve-se toda a metodologia envolvida, desde a seleção da região e sua caracterização, os materiais utilizados, a avaliação das condições meteorológicas para escolha da melhor época para realização do trabalho, bem como o tempo de rastreamento do GNSS e o método de posicionamento do levantamento.

O capítulo seguinte traz o desenvolvimento do projeto em si, descrevendo desde o levantamento dos dados iniciais, interpretação das feições, elaboração cartográfica, obtenção do modelo digital de terreno e as dificuldades encontradas.

O capítulo 6 mostra os produtos cartográficos gerados, sob forma de mapas (topográfico e temáticos) e o MDT, simulações de possíveis pontos com maior risco de deslizamento e a avaliação da qualidade geométrica dos mapas.

Por fim, o capítulo 7 apresenta as considerações finais, seguidos das referências bibliográficas e anexos.

## 2 REVISÃO TEÓRICA

A revisão teórica aproxima os assuntos abordados no trabalho ao universo do leitor dando suporte no que tange os termos técnicos, esclarecendo eventuais dúvidas e facilitando um melhor entendimento do projeto desenvolvido.

### 2.1 Fotogrametria

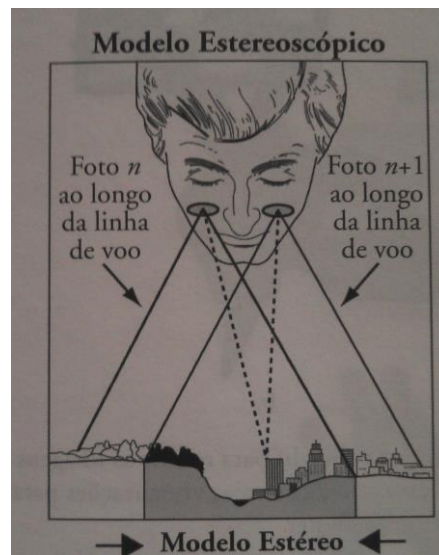
A palavra fotogrametria deriva da expressão em latim, cujos significados expressam: *photon* - luz; *grafos* - escrita; e, *metron* - medir, ou seja, medições executadas através de fotografias. Definimo-la como a ciência capaz de realizar medições precisas e extrair informações confiáveis utilizando fotografias métricas adquiridas por sensores (BRITO; COELHO, 2007).

Segundo a Sociedade Americana de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto (em inglês, *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing – ASPRS*), é “a arte, ciência e tecnologia de obtenção de informação confiável sobre objetos físicos e o meio ambiente, através de processos de gravação, medição e interpretação de imagens e padrões de energia eletromagnética radiante e outros fenômenos”. Embora apresente uma série de aplicações nos mais diferentes campos e ramos da ciência, como na topografia, astronomia, medicina, meteorologia e tantos outros, têm sua maior aplicação no mapeamento topográfico.

Tem por finalidade determinar a forma, dimensões e posição dos objetos contidos numa fotografia, através de medidas efetuadas sobre a mesma, ou seja, reconstruir um espaço tridimensional (espaço-objeto), a partir de um conjunto de imagens bidimensionais (espaço-imagem). Trata-se de uma transformação entre sistemas: um sistema bidimensional, chamado sistema fotogramétrico e um sistema tridimensional, espaço-objeto, que representa o sistema de coordenadas do terreno sob o qual as imagens são obtidas. Para que a transformação seja implementada é necessário um conjunto de pontos

de controle, que são identificados na foto e localizados no espaço–objeto. No mapeamento, medidas em fotografias substituem os levantamentos de campo, em parte ou por completo (BRITO; COELHO, 2007).

O princípio básico da fotogrametria é a visão estereoscópica (Figura 2.1), garantida pela sobreposição entre as imagens. Essa sobreposição é importante porque fornece no mínimo duas visadas fotográficas de cada objeto localizado no terreno, ou seja, duas posições diferentes de exposição no instante da aquisição. Há duas formas: longitudinal e lateral. A primeira varia entre 60 a 90% do recobrimento da foto anterior na mesma faixa (linha de voo), enquanto a segunda entre 30 a 60% em relação às fotos da faixa anterior. Múltiplas linhas de voo com sobreposição lateral é definida como bloco de fotos.



**Figura 2-1:** Visão do modelo estereoscópico. (JENSEN, 2009)

Um dos eventos mais importantes na história do sensoriamento remoto e da fotogrametria foi o desenvolvimento da fotogrametria digital (*soft-copy photogrammetry*). Seu mentor foi James Case, que concebeu o primeiro sistema digital no início da década de 1980. Atualmente, a maioria dos mapas ou cartas, em escalas média e grande, é produzida por meios fotogramétricos, por apresentarem vantagens em relação aos métodos tradicionais e, a esse processo de produção, dá-se o nome de restituição fotogramétrica (JENSEN, 2009).

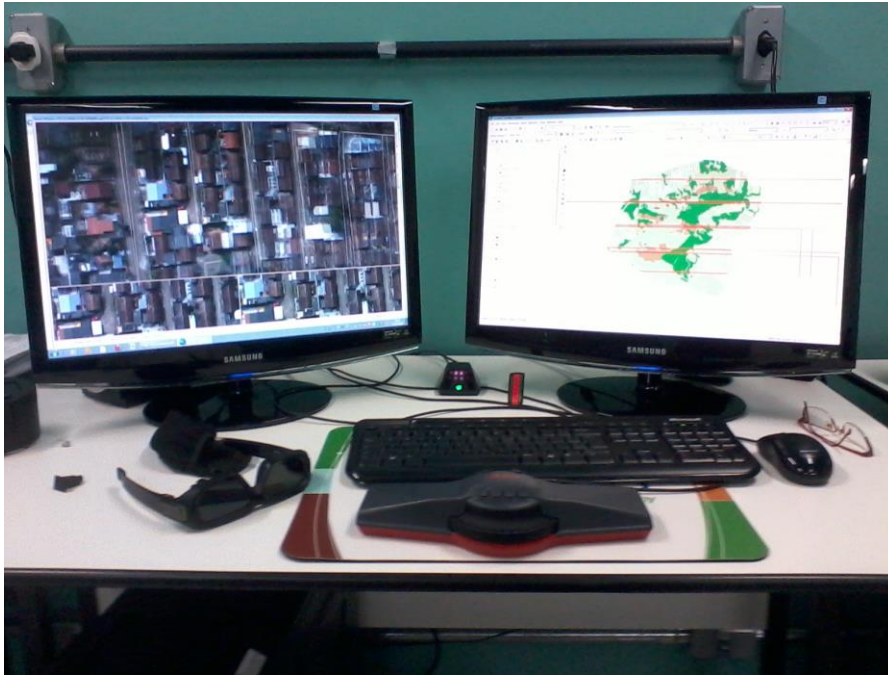
### 2.1.1 Estação fotogramétrica digital

Sistemas atuais de fotogrametria digital permitem ao analista processar imagens digitais em um computador pessoal, visualizar o estereomodelo em 3D na tela do computador, gerar modelos digitais, extrair curvas de nível, produzir ortofotos, além de extrair detalhes de atributos temáticos (JENSEN, 2009).

Segundo Andrade (1998, p.161), “os computadores dotados de periféricos específicos capazes de executar as tarefas fotogramétricas são conhecidos como estações de trabalho.” Estas estações são compostas por um computador dotado de placas de vídeo especiais, monitores de vídeo, dispositivo de visão estereoscópica (óculos polarizador, óculos de luz intermitentes e anaglifo), dispositivo de medição estereoscópica (topomouse) e módulos de softwares especiais para operação fotogramétricas (tais como, orientação interior, orientação relativa e absoluta ou orientação exterior, aerotriangulação, restituição, retificação, extração de MDT, geração de ortoimagens, integração com SIG).

Ainda segundo Andrade (1998), o melhor aproveitamento ocorre quando os programas fazem tarefas específicas, mas capazes de comunicar-se entre si, compartilhando arquivos. Se comparados aos restituidores analógicos e analíticos, apresenta inúmeras vantagens:

- O *hardware* necessário é relativamente simples e de baixo custo;
- Melhoria dos padrões de qualidade dos produtos gerados no equipamento como também na redução de tempo de edição;
- A mesma imagem digital pode ser distribuída para várias estações aumentando a produtividade; e,
- As etapas de restituição e edição podem ser realizadas simultaneamente.



**Figura 2-2** Estação Fotogramétrica Digital do LAFOTO. (Fonte: Arquivo pessoal)

### 2.1.2 Restituição

A restituição é a “reconstrução” do terreno fotografado a partir de fotografias da área imageada (ANDRADE, 1998). Nesse sentido, pode-se dizer que a restituição é um procedimento de transferência de informações contidas nas imagens para o mapa com o uso de instrumentos denominados restituidores (analógicos, analíticos ou digitais).

Em suma, é a operação de desenho tridimensional realizada sobre modelos fotogramétricos, a partir de fotografias aéreas e de pontos de controle geodésico, tendo como objetivo a representação geométrica de características geográficas. A fotointerpretação permite alguma discriminação temática das características geográficas representadas. Segundo Brito e Coelho Filho (2007), interpreta-se as diversas feições, naturais ou artificiais, manifestas no terreno extraindo-as geograficamente referenciadas ao espaço-objeto, de modo a compor a base cartográfica daquela região, em uma dada escala. Além de ser bastante eficaz é mais rápido e prático que os processos convencionais.

Há uma transformação da projeção cônica de cada fotografia para uma única projeção ortogonal sobre um plano, onde são traçados os detalhes planialtimétricos de interesse para o mapa. Essa transformação é realizada na área de sobreposição de duas fotos subsequentes, formando o estereomodelo. A restituição é executada nos estereomodelos, um de cada vez até que se tenha restituído por completo a área de interesse.

Ao colimar a marca estereoscópica ao terreno, na verdade está indicando ao sistema as coordenadas de determinado ponto nas duas imagens do par. Com os parâmetros da orientação interior e exterior conhecidos, estas coordenadas são traduzidas em coordenadas métricas da câmara e, através das equações de colinearidade, obtemos as coordenadas do terreno no sistema de referência adotado. No Brasil, utiliza-se principalmente, as coordenadas UTM aplicado no sistema de referência SIRGAS2000 (MONICO, 2008).

Na restituição, extraímos os atributos planialtimétricos das feições do terreno de maneira altamente confiável, porém, para que isso ocorra é necessário realizarmos as orientações interior (OI) e exterior (OE). A orientação interior é a reconstrução do feixe perspectivo, ou seja, colocamos as imagens nas posições em relação à câmara nas quais foram obtidas durante momento de sua captura. Este processo se inicia pela transformação de coordenadas entre o sistema da câmara e um sistema com origem no centro da imagem. Em seguida faz-se uma translação do ponto principal (PP) e então corrigidos os efeitos sistemáticos (distorção das lentes e refração atmosférica) (REISS, 2002).

Na orientação exterior obtemos a posição e atitude da câmara ao coletar cada fotografia, em relação ao referencial do espaço-objeto. São determinadas as coordenadas no espaço-objeto do centro perspectivo e os ângulos de rotação da câmara ( $\phi$ ,  $\omega$ ,  $\kappa$ ).

### 2.1.3 Geração do Modelo 3D

Em Andrade (1998), modelar um terreno significa reproduzir a sua forma, e esta, quando é realizada em meio digital denominamos modelo digital do terreno, derivação do inglês *Digital Terrain Model - DTM*. Desta forma, um MDT representa apenas as informações referentes ao terreno que está sendo modelado e o MDE pode conter informações do terreno, como também de elementos existentes sobre este, como edificações, vegetações, entre outros.

A topografia de determinada região pode ser representada através de um modelo digital de terreno. Os modelos são, na sua maioria, estruturas matriciais na forma de um *grid* regular de variações contínuas do relevo e são obtidos através de um conjunto de valores discretizados de elevações, como curvas de nível e/ou pontos cotados. Sua exatidão depende diretamente da distribuição, densidade e exatidão dos pontos de referência, bem como da escolha do método de interpolação, para que obtenhamos uma representação condizente com a realidade da superfície local.

Para a representação de uma superfície real no computador é indispensável a criação de um modelo digital, podendo ser por equações analíticas ou por uma rede de pontos na forma de uma grade de pontos regular ou irregular. A partir dos modelos pode-se calcular volumes, áreas, desenhar perfis e seções transversais, gerar imagens sombreadas ou em níveis de cinza, gerar mapas de declividade e exposição, gerar fatiamentos em intervalos desejados e perspectivas tridimensionais.

As amostras dos pontos levantados (X,Y,Z) são processados e por meio de interpolação são estimados os valores das coordenadas em cada ponto da grade. Em INPE (2002), no processo de modelagem do terreno podemos distinguir três fases: aquisição dos dados, geração de grades e elaboração de produtos representando as informações obtidas.

Dentre alguns usos do MDT pode-se citar (Burrough, 1986; INPE, 2002):

- Armazenamento de dados de altimetria para mapas topográficos;



- Na agricultura de precisão para informar a quantidade necessária de fertilizantes para determinada posição no terreno;
- Análises de corte-aterro para projeto de estradas e barragens;
- Maquetes eletrônicas;
- Elaboração de mapas de declividade e exposição para apoio à análise de geomorfologia e erodibilidade;
- Análise de variáveis geofísicas e geoquímicas;
- Ortorretificação de imagens de satélite;
- Representar informações do meio físico, tais como: poluição, temperatura, ruído, sondagens geológicas, etc.

### 2.1.3.1 Tipos de MDT

- Grade Regular Retangular:

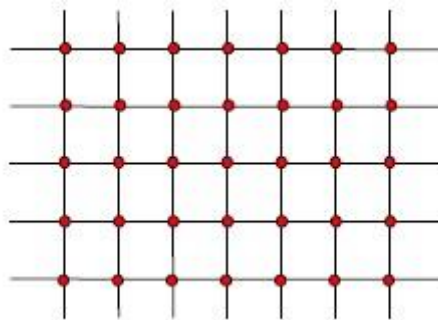
Matriz de pontos regularmente espaçados, em forma de um poliedro de faces retangulares, onde é associado o valor estimado da grandeza (altitude) na posição geográfica de cada ponto da grade. As grades regulares (Figura 2.3) são obtidas por interpolação das amostras ou, alternativamente, geradas por restituidores com saída digital ou por sensores de radar.

Por utilizar uma matriz que grava a cota Z de cada ponto, dispensa o armazenamento das coordenadas X e Y, que ficam implícitos na posição (i,j) do elemento da matriz, ocupando, assim, menos memória.

Para regiões com muita variação no relevo, este tipo de grade não é indicada, pois podem ocorrer perdas de detalhes importantes. Em regiões muito planas, o espaçamento entre os pontos fixos pode ser maior para reduzir o número de informações redundantes.

Uma vez obtida as coordenadas de cada ponto da grade, pode-se aplicar um dos métodos de interpolação (vizinho mais próximo, média simples,

média ponderada, entre outros tipos de interpoladores) para calcular o valor aproximado da elevação. De maneira alternativa, podemos gerar um grade regular a partir de uma outra grade regular ou através de uma irregular. Para a geração de uma nova grade regular a partir de outra retangular utilizamos os interpoladores linear e bicúbico. Para a geração de grade retangular a partir de um TIN (*Triangular Irregular Network*) pode-se ajustar uma superfície plana ou uma superfície de quinto grau, que garante suavidade ao modelo (INPE, 2002).



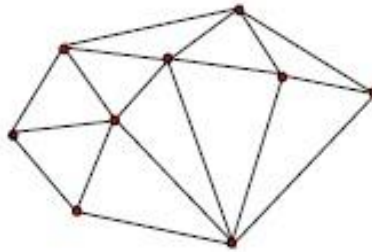
**Figura 2-3:** Exemplo de grade regular

- Grade Irregular Triangular – TIN (*Triangular Irregular Network*)

A TIN é formada pelos próprios pontos processados e extraídos durante o levantamento de campo sem a necessidade de utilização de interpoladores sobre os mesmos. São realizadas triangulações de Delaunay cujos vértices formam triângulos irregulares de formatos variados, dependendo da distância e posição entre os pontos coletados. A grade triangular (Figura 2.4) é uma estrutura topológica vetorial do tipo arco-nó, que forma um conjunto de recortes irregulares no espaço.

Este tipo de modelagem tem como vantagem melhor representar informações morfológicas com descontinuidades pois como os pontos não são extraídos segundo um padrão fixo permite que se possa preservar as características altimétricas das feições do terreno. Além disso, o número de redundâncias é bastante reduzido se comparado à grade retangular, uma vez que a malha é mais fina em regiões de grandes variações e mais espaçada em regiões quase planas (INPE, 2002).

Sua principal desvantagem é que os procedimentos para obtenção de dados derivados de grades triangulares tendem a ser mais complexos e conseqüentemente mais demorados que os da grade retangular.



**Figura 2-4:** Exemplo de grade irregular

### 2.1.3.2 Aquisição e representação do MDT

Os dados para elaboração de modelos podem ser adquiridos por métodos tradicionais de levantamentos de campo, digitalização de mapas, aerofotogrametria ou mais recentemente através de LASER, Radar (geram uma nuvem de pontos). Entretanto, as aplicações ou produtos gerados não são elaborados sobre os dados amostrados, mas nos modelos obtidos por pontos amostrados, no formato de grade regular ou irregular, ou através de um mapa de isolinhas (curvas de nível).

As fontes de dados para a representação do relevo podem ser expressas sob a forma de pontos cotados ou curvas de nível. Os pontos cotados são obtidos através de nivelamento (geométrico, trigonométrico ou GNSS), e representam, normalmente, picos de morros ou vales, cruzamentos de vias, por exemplo. É a forma mais simples de representação, pois possui um adensamento pequeno de pontos sobre a superfície podendo mascará-la quanto ao seu comportamento real.

As curvas de nível podem ser definidas como linhas que unem pontos com o mesmo valor de altitude (cota Z) e nunca se cruzam. Elas podem ser classificadas em curvas principais ou mestras (representadas por um traçado

mais forte, ou seja, uma pena mais grossa) e secundárias, mas todas são numeradas com sua altitude correspondente. Representam em projeção ortogonal a interseção da superfície do terreno com planos horizontais e, de acordo com a escala podem possuir diferentes intervalos, como por exemplo: para uma escala de 1: 50.000, as curvas são representadas de 20m. O que significa que a cada variação de 20 metros na cota do terreno uma nova linha (curva) é traçada.

## 2.2 Geodésia

O GPS (em inglês, *Global Positioning System* – Sistema de Posicionamento Global) é um sistema de radionavegação desenvolvido pelo Departamento de Defesa Norte-Americano (DoD) inicialmente para a segurança nacional, a fim de tornar-se o principal sistema de navegação das Forças Armadas, baseado numa rede de satélites que possui alta exatidão em navegação, posicionamento geodésico e topográfico entre outros fins. O seu princípio é simples, consiste na obtenção das distâncias entre o receptor e, no mínimo, quatro satélites bem distribuídos, simultaneamente.

Como sua abrangência era global possibilitando que em qualquer local do mundo pelo menos quatro satélites estariam “visíveis” para o rastreamento, este sistema rapidamente se propagou, fruto da alta acurácia proporcionada nos resultados, e transformou-se em uma tecnologia extremamente útil, com diversas aplicações que exijam conhecimento da sua posição (agricultura, posicionamento geodésico, navegação aérea, terrestre e marítima, geodinâmica, entre outros).

Atualmente o sistema é chamado GNSS (em inglês, *Global Navigation Satellite System* - Sistema Global de Navegação por Satélite) que é um termo genérico para referir-se aos sistemas de navegação por satélite, sendo que atualmente estão operando dois sistemas: o GPS, dos Estados Unidos, e o GLONASS, Russo. Encontram-se, ainda outros dois em desenvolvimento, o Galileo (Europeu) e o Compass (Chinês).

No posicionamento por satélites, os sistemas de referências adotados são, geralmente, globais e geocêntricos, haja vista que o movimento dos satélites é ao redor do centro de massa da Terra (MONICO, 2008). A rede de pontos materializados na superfície terrestre e fixados a Terra, formam um sistema de referência terrestre, diferente do anterior. O sistema de referência adotado pelo GNSS é o WGS 84 e, para que não haja confusão e incompatibilidade entre os resultados é necessário que quando realizado um posicionamento por satélite, a posição da estação e dos satélites sejam representadas em um mesmo referencial, por isso a necessidade de encontrar e utilizar relações matemáticas de transformação próprias entre eles.

No Brasil, como ainda a maioria dos trabalhos cartográficos (mapeamentos e bases cartográficas) estão referenciados a um sistema topocêntrico, conhecido como *SAD 69 – South American Datum of 1969* ou ao Córrego Alegre (CA), é necessária a obtenção dos parâmetros de transformação para que se possa compatibilizar o antigo produto aos novos dados inseridos do GNSS, em WGS 84. Para o desenvolvimento das atividades geodésicas de levantamento do território nacional, atualmente, é adotado o SIRGAS2000 (Sistema de Referência Geocêntrica para as Américas), proposto para ser o novo sistema geodésico de referência, unificado, moderno e de concepção geocêntrica, de modo a compatibilizá-lo com as mais modernas tecnologias de posicionamento (IBGE, 2013) e que ainda possui o mesmo elipsóide GRS80 que o WGS 84 e, portanto, são considerados compatíveis, não havendo a necessidade de transformação entre eles.

### **2.2.1 Definição do Referencial Geodésico**

O referencial geodésico adotado atualmente é o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas, SIRGAS2000 em sua 4ª realização. Este referencial possui como características: um Sistema de Referência Terrestre Internacional – ITRS (*International Terrestrial Reference System*), a figura geométrica para a Terra é o elipsóide do Sistema de Referência de 1980

(GRS80) e a origem encontra-se no centro de massa da Terra (MONICO, 2008). Este sistema de referência é compatível com o utilizado pelos GNSS, o WGS 84, conforme mencionado na seção anterior.

### **2.2.2 Mudanças de Referencial - Transformação de Coordenadas**

Transformação entre referenciais geodésicos oficiais em uso no Brasil, Córrego Alegre, SAD-69 e SIRGAS2000 são usuais, principalmente quando trabalha-se com bases cartográficas adquiridas de diferentes fontes. Para isso, aplicamos os parâmetros de transformação constantes conhecidos, para qualquer área de cobertura brasileira.

A Resolução 1/2005 do IBGE estabelece a caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro e apresenta os parâmetros de transformação necessários:

De SAD-69 para SIRGAS2000,4:

$$\Delta X = -67,35m$$

$$\Delta Y = 3,88m$$

$$\Delta Z = -38,22m$$

### **2.2.3 Altitude Ortométrica X Altitude Geométrica**

A utilização cada vez maior de GNSS para os trabalhos de levantamento em campo exige do usuário o conhecimento sobre a referência da superfície ao qual esta trabalhando. Este estudo gira em torno das altitudes. Nossa superfície é dividida em física, onde são realizados os levantamentos geodésicos; geoidal, equipotencial coincidente com o nível médio dos mares em repouso; e, elipsoidal, modelada matematicamente com a forma e dimensões próximas ao geóide, mas não coincidentes, e que é utilizada como referência dos dados coletados via GNSS.

A altitude aos quais os pontos são rastreados é dita geométrica (representada pela letra minúscula  $h$ ), enquanto à altitude referenciada ao nível médio dos mares é a altitude ortométrica (representada pela letra maiúscula  $H$ ). A diferença entre elas é denominada ondulação geoidal ( $N$ ) e pode ser obtida através de uma fórmula simples:

$$H = h - N \quad (1)$$

A ondulação geoidal possibilita que haja uma conversão confiável entre essas duas altitudes e pode ser obtida de duas maneiras: a primeira, através do MAPGEO2010, modelo concebido e produzido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE e pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - EPUSP ou através de nivelamento entre RRNN, que pode ser, geométrico, trigonométrico ou por GNSS, sendo os dois primeiros muito custosos.

### 2.3 Cartografia Geotécnica

Cartografia é a ciência que representa graficamente a superfície terrestre, tratando da concepção, produção, difusão, utilização e estudo dos mapas. A sua confecção necessita de técnicas para a representação de aspectos naturais e artificiais, trabalhos de campo e em laboratório, metodologia de trabalho e conhecimentos específicos para a obtenção de um trabalho eficaz.

Para cada caso há um objetivo, que pode ser geral ou específico, tomando-se o cuidado de buscar retratar as informações adequadas, sem que haja exageros ou ausência de informações, garantindo a utilidade dos propósitos aos quais foram criados. O produto cartográfico (mapa/carta topográfica ou cartográfica) deve ser claro, organizado e objetivo para facilitar o entendimento do usuário, empregando a utilização de simbologia caso necessário e, principalmente, fiel ao seu conteúdo informacional.

Nesse contexto, um mapa pode ser produzido para diversas finalidades e de várias formas, no entanto, um mapa com rigor métrico deve ser elaborado por meios topográficos/ geodésicos e/ou fotogramétricos.

A cartografia temática trata da parte da cartografia que diz respeito aos mapas elaborados sobre um fundo básico, ao qual serão anexadas informações visando atender às necessidades de um público específico. Ela ilustra o fato de que não se pode expressar todos os fenômenos num mesmo mapa e que a solução é, portanto, multiplicá-los. O seu objetivo é fornecer com o auxílio de símbolos qualitativos e/ou quantitativos dispostos sobre uma base de referência as informações referentes a um determinado tema ou fenômeno que esta presente (IBGE, 1998).

Dentre as diversas áreas da cartografia, uma se destaca pela sua aplicação em representar informações geotécnicas, denomina-se cartografia geotécnica. Ela tem desempenhado nas últimas décadas um importante papel no estudo, registro e interpretação de fenômenos geodinâmicos que atingem a humanidade em seus mais diversos aspectos, principalmente no que se refere a vidas e bens e mais recentemente dos danos ambientais.

O termo cartografia geotécnica é empregado de uma forma genérica para aqueles produtos cartográficos que expressam a prática do conhecimento geológico aplicado para enfrentar os problemas gerados pelo uso e ocupação do solo, orientando medidas preventivas e corretivas para minimizar os danos ambientais e os riscos aos próprios empreendimentos (Prandini et al. 1995) ou que busquem avaliar e retratar as características dos componentes e os comportamentos do meio físico frente aos diferentes tipos de ocupação, avaliando suas limitações e potenciais (Zuquette 1993). No Brasil, o geólogo Fernando Prandini representa um marco na Cartografia Geotécnica do Brasil e foi um dos responsáveis por sua difusão.

A Associação Internacional de Geologia de Engenharia e Ambiental (IEAG) através de sua Comissão n°1 "*Engineering Geology Maps*", classifica estes mapas e cartas geotécnicas em mapas de inventário, mapas de suscetibilidade e riscos e mapas para planejamento e uso do solo. Os primeiros mostram a distribuição de eventos associados a vários tipos de suscetibilidades e riscos, sendo o ponto inicial de muitos estudos, principalmente de caráter regional. Os mapas e cartas de suscetibilidade e risco (*hazard maps*) se



propõem a definir a natureza e extensão de fenômenos particulares, tendo uma gama variada de produtos, enquanto os mapas para planejamento e uso do solo buscam indicar que ações devem ser adotadas para tratar com os problemas específicos.

Dentro da denominação de cartografia geotécnica incluem-se diversos tipos de cartas e mapas, tais como: cartas de suscetibilidade, cartas de risco, cartas de aptidão e cartas de atributos ou parâmetros.

### **2.3.1 Fundamentos**

Os estudos que envolvem os componentes do meio físico podem estar voltados a diferentes objetivos, baseados em diversas associações de procedimentos e métodos. Porém, o mapeamento geotécnico caracteriza-se como um processo destinado à investigação e avaliação geológica/ geotécnica. Portanto, não está relacionado a uma finalidade isolada, o que exige um grupo de atributos ligados a um fim específico.

Os atributos geotécnicos são utilizados em diferentes etapas do processo de mapeamento e, portanto, exige que este não dependa de interpretações específicas de cada profissional. Cabe ressaltar, que o mapeamento em si pode ser descrito como o processo que busca avaliar e retratar as características dos componentes do meio físico, bem como os possíveis comportamentos frente às diferentes formas de uso do solo, processos naturais e induzidos. Ele considera o meio físico, com o objetivo de avaliar limitações e potenciais.

Para a metodologia de mapeamento geotécnico ser eficiente, ela deve atender a alguns pressupostos, tais como: atributos considerados, sua gama de heterogeneidade e considerar fatores fundamentais em sua classificação (escala, ordem de obtenção dos atributos, definições de como, onde e quanto amostrar; critérios para o nível de generalização das informações) e como este serão representados (ZUQUETTE; GANDOLFI, 2004).

Ainda segundo Zuquette e Gandolfi (2004), o processo de mapeamento tem como rotina a divisão de uma área em unidades, de acordo com a variação de seus atributos. É necessário considerar o produto gerado (mapa geotécnico) como um documento temporário quanto à quantidade de dados e, suscetível de ser enriquecido após sua realização. Todos os documentos que lhe serviram de base devem estar em um banco de dados para que se possa fazer uso deles na restituição de pontos para solucionar possíveis dúvidas ou ainda controlar a inserção de novos dados.

Os documentos elaborados a partir do mapeamento geotécnico poderão ser utilizados pelos órgãos públicos para fiscalizar as ações dos usuários que se interessam por ocupar o espaço planejado. Porém, para que os dados contidos nos documentos cartográficos sejam utilizados, é necessário que a apresentação retrate claramente as condições de adequação de cada unidade e que possibilite analisar as interferências de uma determinada atividade antrópica nas condições ambientais existentes.

### **2.3.2 Aplicações**

As cartas geotécnicas são direcionadas para as seguintes finalidades (CERRI, 1990; ZUQUETTE, 2004):

- Melhor utilização do espaço físico disponível;
- A conservação ambiental e a proteção dos recursos naturais;
- O estabelecimento de critérios técnicos para a expansão da ocupação e para a recuperação de áreas degradadas;
- A otimização da aplicação de recursos públicos e privados;
- Prevenção de riscos geológicos (naturais e induzidos);
- A orientação de estudos e ensaios específicos para projetos de engenharia;
- Rever o desempenho da interação entre a ocupação e o meio físico, bem como os próprios conflitos entre as diversas formas de uso territorial.

- Orientar medidas preventivas e corretivas no sentido de minimizar gastos excessivos e riscos nos empreendimentos de uso do solo.

Prandini *et al.* (1995) ressaltam ainda que dentro dos objetivos das cartas geotécnicas "é frequente e desejável considerar os impactos ambientais como parte integrante da análise do meio físico e um dos fatores de ponderação na avaliação de custos/benefícios de um determinado empreendimento".

Expressam, na prática, cartas para fundações, atividade agrícola, estocagem subterrânea, irrigação, movimentos de massas gravitacionais, escoamento artificial, vulnerabilidade relativa à poluição de águas subterrâneas, dentre outros.

## 2.4 Conceitos Básicos

Baseados em UN-ISDR (2004), IPT (2007) e JULIÃO *et al.* (2009), definimos:

Desastres Naturais: Podem ser definidos como resultantes dos desequilíbrios da natureza (fenômeno natural extremo ou intenso) e produzidos por fatores de origem externa que atuam independentemente da ação humana, mas tornam-se agravados devido à interferência antrópica.

Vulnerabilidade: Grau de perda de pessoas, bens ou ambiente, relacionada às condições sociais, fraquezas econômicas, culturais, demográficas e geográficas sujeitas a serem afetadas pela magnitude de determinado perigo. Os elementos em risco correspondem à população, propriedades, estruturas, atividades econômicas, serviços públicos e infraestruturas. Quanto maior a vulnerabilidade, maior o risco.

Perigo (*Hazard*): Evento, processo, ação ou fenômeno que pode causar danos físicos, perdas de vidas ou ferimentos, danos à propriedade, a perturbação social e econômica ou a degradação ambiental.

Suscetibilidade: Propensão para uma área ser afetada por um determinado perigo, em tempo indeterminado, sendo avaliada através dos fatores de predisposição para a ocorrência dos processos ou ações, expressando-se segundo classes de probabilidade de ocorrência.

Risco: Probabilidade de ocorrência de um processo ou ação perigosa e a respectiva estimativa das suas consequências sobre pessoas, bens ou ambiente, expressas em danos corporais e/ou prejuízos materiais e funcionais, diretos ou indiretos.

Considera-se o Risco (R) como uma função do Perigo (P), da Vulnerabilidade (V) e do Dano Potencial (DP), o qual pode ser expresso como:

$$R = P \times V \times DP$$

Talude: Compreende-se por qualquer superfície inclinada que limita um maciço de terra, rocha ou de ambos. Pode ser natural (encostas) ou artificial (talude de corte e aterros).

## **2.5 Deslizamentos de Terra**

### **2.5.1 Definição**

Deslizamento de terra é o deslocamento de solo e/ou rocha sob influência da gravidade, intensificado pela ação da água e atividade antrópica e, é somente um dos tipos de movimentos de massa existentes (IPT, 2007). Os outros tipos importantes de movimento identificados são o desmoronamento, o escorregamento e o fluxo. Entretanto, são todos considerados sinônimos para este tipo de evento.

Consideram-se fatores de influência na ocorrência dos deslizamentos: o tipo e cobertura do solo, declividade da encosta e água da embebição. No que se refere ao tipo de solo, sua constituição, granulometria e nível de coesão. A declividade, cujo grau define o ângulo de repouso em função do peso das camadas, da granulometria e do padrão de coesão.

Já a água de embebição contribui para aumentar o peso específico das camadas; reduzir o nível de coesão e o atrito (que garantem a consistência do solo) e lubrificar as superfícies de deslizamentos. A cobertura vegetal tem importante papel na estabilidade das encostas em função dos efeitos mecânicos e os relativos balanços hídricos.

A época de ocorrência dos deslizamentos coincide com o período das chuvas, intensas e prolongadas, visto que as águas escoadas e infiltradas vão desestabilizar as encostas. Nos morros, os terrenos são sempre inclinados e, quando a água entra na terra, pode acontecer um deslizamento e destruir as casas que estão embaixo. Os escorregamentos em áreas de encostas ocupadas costumam ocorrer em taludes de corte, aterros e taludes naturais agravados pela ocupação e ação humana.

Os processos de dinâmica superficial, como os movimentos de massa são eventos naturais e fazem parte da dinâmica do planeta e, como manifestações próprias da natureza ocorrem independentes da ação humana. Quando ocorrem em áreas ocupadas podem acarretar consequências econômicas e sociais de significativa dimensão, nestes casos são chamados de desastres naturais, e as áreas atingidas são chamadas de áreas de risco (CERRI, 1993).

A expansão urbana, que leva à ocupação das encostas dos morros sem critérios técnicos na construção das moradias e com infraestrutura urbana deficiente, tem como consequência o surgimento de áreas com perigos de movimentos de massa. Estudos que indiquem estas áreas são de fundamental importância para a previsão de desastres, auxiliando na definição de prioridades e na tomada de decisões ligadas a trabalhos de prevenção e de direcionamento de recursos para os locais mais afetados e/ou de maior risco.

Segundo o IBGE (2009), os movimentos de massa ou gravitacionais compreendem a remoção e o transporte, vertente abaixo, das formações superficiais e do material rochoso sob influência da gravidade. O deslizamento e o fluxo desses materiais devem-se à posição instável na vertente e às forças gravitacionais, mas o movimento de massa é intensificado pela ação da água.

Também são considerados movimentos de massa o rastejamento lento de solo e fragmentos rochosos, assim como os movimentos rápidos de grandes deslizamentos sobre longas distâncias.

Raramente um deslizamento pode ser associado a um único fator condicionante, devendo ser observado como um produto de uma cadeia de fatores e efeitos que acabam determinando sua deflagração (IPT, 2007).

### **2.5.2 Classificação**

De maneira geral, a classificação dos diferentes tipos de deslizamentos é caracterizada pelo movimento e o material (tipo de sedimento) envolvido. Resumidamente, o material em uma massa deslizante pode ser rocha ou solo, ou ambos. E o solo, por sua vez, subdividido em terra, composto principalmente por partículas granuladas como grãos de areia ou mais finos, e detritos, se composto por fragmentos maiores.

Há algumas divergências quanto à classificação dos escorregamentos de massa encontradas entre as bibliografias pesquisadas. Escolheu-se a maneira que se mostrou mais adequada para o momento. O tipo de movimento descreve a maneira como a massa se desloca: queda, envergamento, escorregamento, espalhamento ou escoamento (HIGHLAND; BROBOWSKY, 2008). Assim, podemos nomear o deslizamento de acordo com o tipo de movimento ocorrido e a caracterização das partículas componentes. Cada movimento possui propriedades e características específicas.

Segundo Highland e Broboswsky (2008), os tipos de movimento são classificados da seguinte forma:

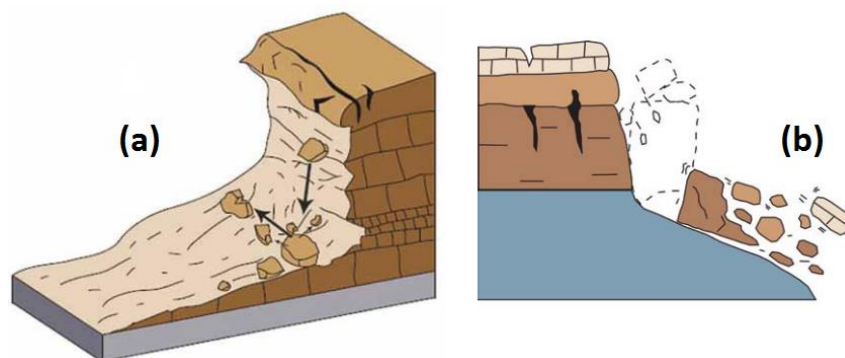
#### **2.5.2.1 Quedas**

Inicia-se com a separação do solo ou da rocha, ou de ambas, de talude íngreme, ao longo de sua superfície, na qual tenha ocorrido pouco ou nenhum

cisalhamento. A queda pode ser do tipo rolamento ou por tombamento (Figura 2.5).

Na primeira, os movimentos são repentinos para baixo, de pedras ou terra, que se desprendem de taludes íngremes ou de penhascos. Mais comuns em áreas de rochas graníticas, estes movimentos ocorrem quando processos erosivos removem o apoio de sua base (atuação dos agentes naturais) ou escavações e retirada do apoio decorrentes de ocupações humanas (ação antrópica). A velocidade de deslocamento varia de muito rápida a extremamente rápida. A inclinação do talude definirá a velocidade de rolamento.

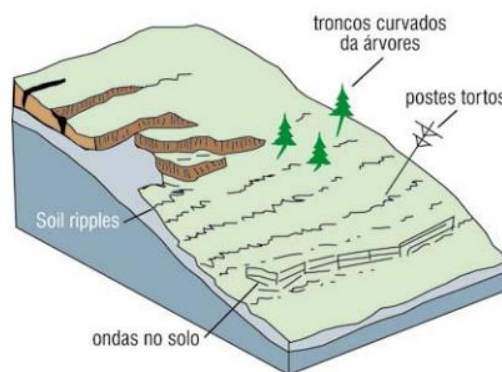
Os tombamentos ocorrem em taludes ou encostas íngremes formados por materiais rochosos com fraturas verticais, e ocorrem principalmente em taludes de corte, tais como rodovias e cursos de rios, cujas alterações na geometria provocam o movimento. Podem ser causados pela atuação da força da gravidade sobre o peso do material na parte superior da massa deslocada. Neles estão contidos rochas, detritos (material mais graúdo) ou terra (material de fina granulação). Podem ser extremamente destrutivos, especialmente quando a ruptura ocorre repentinamente. Há uma grande variação da velocidade de deslocamento que vai de extremamente lenta a extremamente rápida, e em muitos casos, ocorre um processo de aceleração do movimento que depende somente da distância do deslocamento.



**Figura 2-5:** Representação de queda (a) translacional e (b) rotacional. (Fonte: HIGHLAND; BROBOWSKY, 2007)

### 2.5.2.2 Envergamento

Fluxo lento e contínuo de terra que se move para baixo do talude, causado pela tensão de cisalhamento. Pode ser de três tipos diferentes: sazonal, contínuo ou progressivo. No tipo sazonal o movimento ocorre no interior do solo afetado por alterações sazonais, já no contínuo, a tensão exercida pelo cisalhamento ultrapassa a resistência do material, enquanto que no progressivo os taludes atingem o ponto de ruptura ocasionando outros movimentos de terra (Figura 2.6).



**Figura 2-6:** Representação de Envergamento. (Fonte: HIGHLAND; BROBOWSKY, 2007)

### 2.5.2.3 Escorregamento

O escorregamento é um movimento de uma massa ou rocha, em declive, que ocorre sobre superfícies em ruptura ou em zonas relativamente finas com intensa deformação por cisalhamento (HIGHLAND; BROBOWSKY, 2008). Podem ocorrer dois tipos de escorregamentos: o rotacional e o translacional (Figura 2.7). Os movimentos não ocorrem, inicialmente, de maneira simultânea.

No rotacional, a velocidade de deslocamento varia de extremamente vagarosa (menos de 0,3 metros ou 1 pé a cada 5 anos), à rápida e sua ocorrência está associada geralmente à existência de solos espessos e homogêneos, como os decorrentes da alteração de rochas argilosas. O início do movimento muitas vezes é provocado pela execução de cortes na base destes materiais, como na implantação de uma estrada, ou para construção de



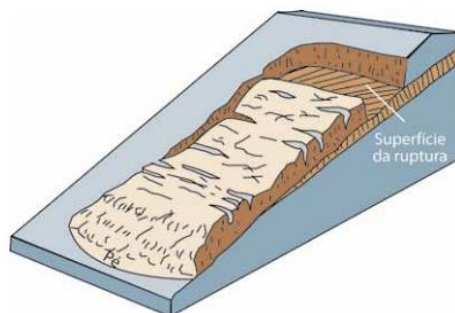
edificações, ou ainda pela erosão fluvial no sopé da vertente (Fernandes & Amaral, 1996).

Este tipo de escorregamento é bastante comum nas encostas do sudeste brasileiro e podem tornar-se processos catastróficos, com o deslizamento súbito do solo residual que recobre a rocha.

No translacional ou planar, o movimento pode ser inicialmente vagaroso (1,5 metros ou 5 pés por mês), moderado (1,5 metros a 5 pés por dia) ou extremamente rápido. Estes são os mais frequentes entre todos os tipos de movimentos de massa.

A ação da água nestes movimentos é mais superficial e as rupturas ocorrem em curto espaço de tempo, devido ao rápido aumento da umidade durante eventos pluviométricos de alta intensidade (Fernandes & Amaral, 1996).

A morfologia dos escorregamentos translacionais caracteriza-se por serem rasos, com o plano de ruptura, na maioria das vezes, de 0,5 a 5 metros de profundidade e com maiores extensões no comprimento. Ocorrem em encostas tanto de alta quanto de baixa declividade e podem atingir centenas ou até milhares de metros (Fernandes; Amaral, 1996).



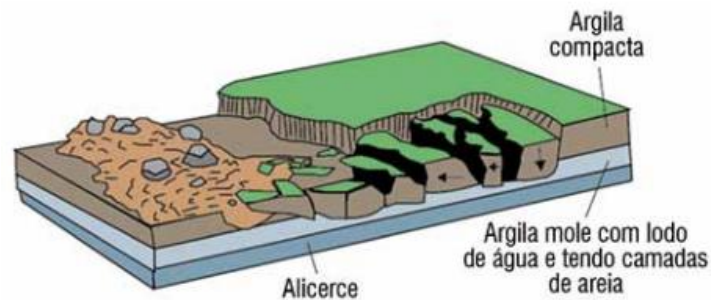
**Figura 2-7:** Representação de Escorregamento. Representação de Escorregamento. (Fonte: HIGHLAND; BROBOWSKY, 2007)

#### 2.5.2.4 Espalhamento

No processo de espalhamento (figura 2.8), a camada superior do solo (mais rígida) se estende e rompe, movendo-se da posição de estabilidade para cima da camada de superfície mais fraca e nos rígida. Seu espalhamento

dependerá da extensão de saturação de várias camadas do solo. Quanto ao tipo, podem ser em blocos, por liquefação ou laterais.

O seu movimento vai de vagaroso a moderado podendo atingir grandes velocidades decorrente de um fator desencadeador, tais como um terremoto.

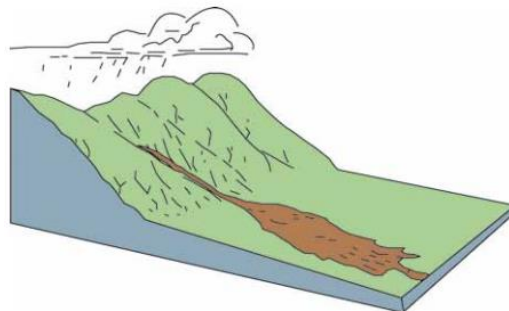


**Figura 2-8:** Representação de Espalhamento. Representação de Escorregamento. (Fonte: HIGHLAND; BROBOWSKY, 2007)

#### 2.5.2.5 Escoamento

Movimento rápido e contínuo em que solo, rochas e materiais orgânicos se misturam à água formando um líquido viscoso (lama). Frequentemente há uma transformação de escorregamento para escoamento, dependendo da quantidade de água presente (Figura 2.9).

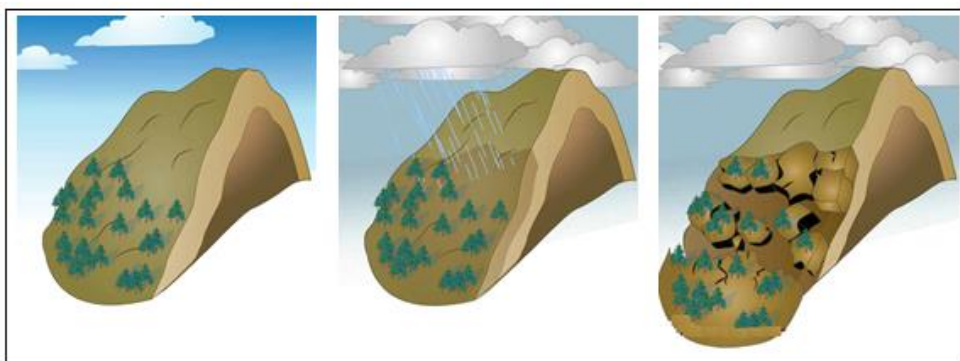
A massa deslocada pode atingir grandes distâncias com extrema rapidez, mesmo em áreas pouco inclinadas, com consequências destrutivas muito maiores que os escorregamentos (Fernandes; Amaral, 1996).



**Figura 2-9:** Representação de Escoamento. Representação de Escorregamento. (Fonte: HIGHLAND; BROBOWSKY, 2007)

### 2.5.3 Ocorrência e Causa

Um fator surpreendente é que um deslizamento pode ocorrer em praticamente qualquer lugar do mundo, fugindo à ideia tradicional, que diz que está restringido às áreas extremamente íngremes e terrenos inóspitos. A razão para tal amplitude está relacionada à existência de vários mecanismos desencadeadores.



**Figura 2-10:** Como funciona o deslizamento. (Fonte: How Stuff Works, 2012)

A causa dos deslizamentos está intimamente relacionada a dois fatores: a ação antrópica, influência natural, ou ambos. Quanto aos condicionantes naturais, podemos separá-los em dois grupos, os agentes predisponentes e os agentes efetivos (IPT, 2007). Os agentes predisponentes correspondem ao conjunto de condições geológicas, topográficas e ambientais da área, ou seja, referem-se às condições naturais dadas pelas características intrínsecas dos materiais, sem a ação do homem (TOMINAGA et al., 2009).

Os agentes efetivos referem-se ao conjunto de fatores diretamente responsáveis pelo desencadeamento dos movimentos de massa, incluindo-se a ação humana. Podem ser preparatórios (pluviosidade, erosão pela água ou vento, ação de animais e humana, etc.) e imediatos (chuva intensa, erosão, terremoto, ondas, vento, etc.) (IPT, 2007 e TOMINAGA et al., 2009).

A ação antrópica pode ser expressa através da perturbação ou alteração dos padrões de drenagem, desestabilização das encostas e remoção da cobertura vegetal. Como outros fatores podemos descrever a irrigação de

gramados, drenagem de reservatórios, ocupação imprópria de encostas, inclinação excessiva das mesmas, dentre outros.

A ocupação das encostas devido à necessidade de expansão territorial altera a paisagem e pode provocar a obstrução da drenagem natural, levando a saturação do solo e à redução de sua resistência, ocasionando empobrecimento do solo e sua instabilidade.

### 3 METODOLOGIA

Ao definirmos o tema do trabalho como sendo a elaboração de uma base cartográfica para auxiliar no mapeamento de áreas suscetíveis a deslizamentos de terra, selecionamos uma área-teste que serviu de referência ao estudo, compreendida entre o morro Santana ao Campus do Vale (área pertencente à UFRGS).

Com os objetivos definidos, o passo seguinte foi encontrar as respostas para as seguintes perguntas: qual a escala? Há bases existentes? Que técnicas utilizar? Que produtos gerar? Que precisão? Embora pareçam simples, essas questões quando bem esclarecidas definem o sucesso de um trabalho.

O planejamento cartográfico pressupõe, além da definição dos procedimentos, materiais, equipamentos e convenções cartográficas, o inventário de documentos informativos e cartográficos que possam vir a facilitar a elaboração dos originais cartográficos definitivos (IBGE, 1998).

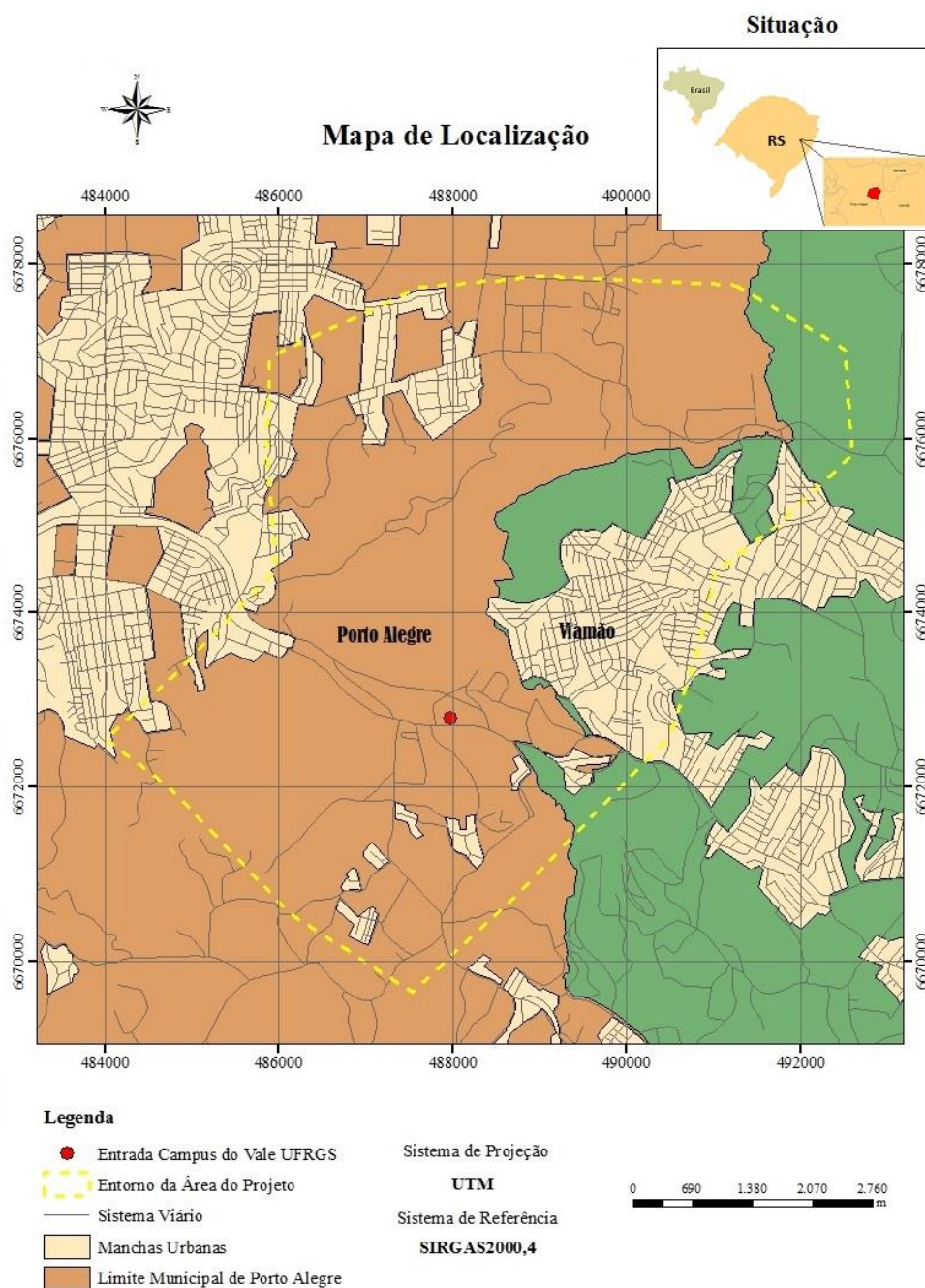
#### 3.1 Seleção da região

A escolha do Morro Santana baseou-se nos seguintes critérios (Figura 3.1):

- Facilidade de acesso e proximidade com o Instituto de Geociências;
- Entorno com grande variedade de interferências que pudessem influenciar diretamente na ocorrência de deslizamentos, tais como: áreas de mata nativa com presença de Mata Atlântica, campo, antiga área de exploração mineral abandonada, ocupações irregulares e pontos de erosão, o que garante o trabalho com maior riqueza de informações;
- A escolha das vias limítrofes do entorno da área do projeto correspondem às regiões de vales entre morros (pontos mais

baixos), aproximando-se da característica de delimitação de micro bacias; e,

- Aerolevanteamento atual do município de Porto Alegre-RS que resultou na obtenção das imagens aéreas necessárias ao projeto.



**Figura 3-1:** Localização da área

### 3.2 Caracterização

A maior parte da área de realização do projeto está contemplada no **Morro Santana**. Este foi escolhido por ser o ponto mais alto do município de Porto Alegre, com 311 metros acima do nível do mar, além de apresentar grande declividade, o que exige maior detalhamento no levantamento. É formado por rochas graníticas e ocupa uma área de aproximadamente mil hectares, dos quais cerca de 600 pertencem à UFRGS. Há a presença de duas pedreiras, desativadas nos anos de 1980.

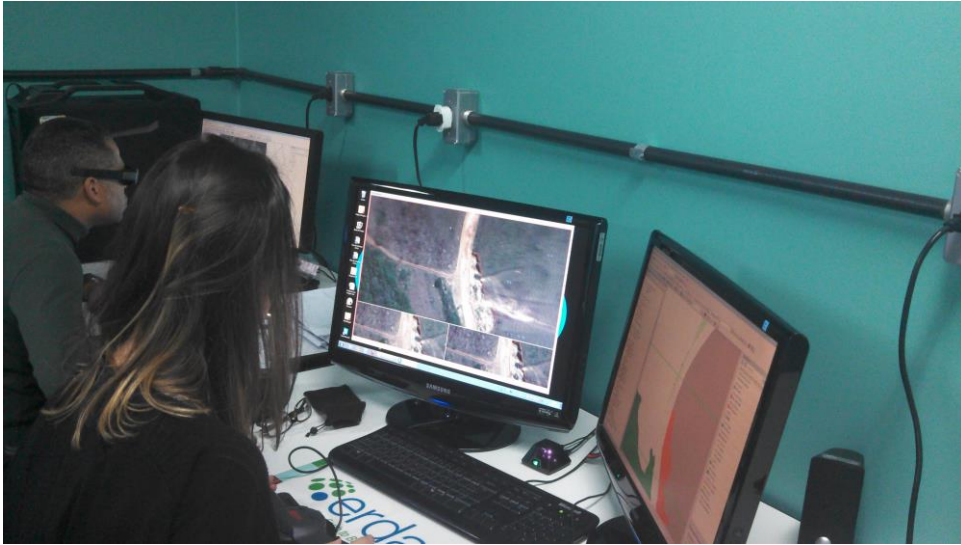
Delimita-se pelas avenidas Bento Gonçalves, Antônio de Carvalho e Protásio Alves no município de Porto Alegre e pelas ruas Moema, Amazonas e avenidas Liberdade e Senador Salgado Filho, pertencentes ao município de Viamão.

O morro (antiga Sesmaria Estância Senhora da Sant'Ana) tem importância histórica por ter abrigado, em 1740, uma sentinela de propriedade de Jerônimo de Ornellas, o fundador da cidade de Porto Alegre. Estas terras foram doadas ao mesmo para construção de sua fazenda. A Casa Branca, como era chamada a moradia, foi ponto de encontro de políticos e intelectuais, e localizava-se onde hoje esta a confluência das avenidas Protásio Alves e Antônio de Carvalho. Durante a Guerra dos Farrapos, a morada serviu de quartel-general para as forças rebeldes.

Por volta de 1762, Jerônimo de Ornellas a vendeu e, dez anos mais tarde, o governo da capitania da Vila de Porto Alegre a desapropriou com o intuito de renovar a demarcação para o assentamento de famílias açorianas.

### 3.3 Materiais e Métodos

Para a restituição, utilizou-se a Estação Fotogramétrica Digital disponibilizada pelo Laboratório de Fotogrametria – LAFOTO, da UFRGS, conforme mostra a figura 3.2 abaixo, bem como os *softwares* necessários para produção gráfica e elaboração dos mapas temáticos, ArcGIS 10.0 e AutoCAD 2007.



**Figura 3-2:** Processo de restituição. (Fonte: Arquivo Pessoal)

As fotografias utilizadas pertencem ao novo recobrimento aéreo do município de Porto Alegre realizado no ano de 2010 e contemplando uma área total de 545 km<sup>2</sup>, com imagens que possuem resolução espacial de 0,30m, escala 1:5.000, subdivididos em 7 blocos, dos quais foram utilizadas as faixas 14, 15, 16, 17 e 18 do bloco 3, abrangendo uma área de 16,14 km<sup>2</sup>.

Em campo, foram coletados os pontos de apoio para verificação e checagem da qualidade da restituição e dos mapas. Para isso, foram utilizados receptores GNSS de dupla frequência (L1/L2) (figura 3.3) e coletoras, marca Topcon modelo HiperLite. O processamento dos dados foi realizado no software Topcon Tools 8.2.





**Figura 3-3:** Receptor GNSS instalado na Estação Passiva REGPS/RS no prédio do Departamento de Astrofísica. Fonte: Arquivo Pessoal

Para elaboração de uma nova base cartográfica tem-se as seguintes opções de métodos: a) realizar uma compilação baseada na análise de documentação existente e segundo o qual mapas, cartas, fotografias aéreas, levantamentos dentre outros, são adaptados e compilados, adequando as escalas, sistemas de projeção, coordenadas e referência em um só; b) a partir da fotogrametria aérea aliada ao levantamento em campo.

Optou-se pela segunda opção, uma vez que se poderia aproveitar os dados do novo aerolevanteamento para realizar a restituição extraindo as informações planialtimétricas das feições, mas aproveitou-se as curvas de nível antigas existentes, que foram editadas, para a geração do modelo digital de terreno.

### 3.4 Precisão e Escala

A definição da escala é uma das principais questões a serem solucionadas na etapa de planejamento, pois ela está diretamente relacionada ao nível de detalhamento das informações e conseqüentemente à precisão esperada. Neste caso específico, o mapeamento foi realizado em escala

1:5.000, o que significa um erro tolerável de 2,5m. Somente para fins de impressão, os mapas são apresentados em escala 1:10.000.

Embora a restituição dependa da prática do operador, o método apresenta um grau de exatidão próximo à precisão gráfica de 0,2mm, que é o menor ponto que o olho humano consegue observar.

### **3.5 Avaliação das Condições Meteorológicas**

A ocupação desenfreada das áreas irregulares principalmente nas encostas dos morros acaba por influenciar diretamente na qualidade dos seus recursos hídricos, uma vez que a falta de planejamento do uso do solo altera a quantidade de água infiltrada, aumenta o escoamento superficial e erosão do solo, principalmente, além de enchentes, escorregamentos e outros danos. Cabe salientar, que o processo de infiltração da água no solo é o processo que garante o seu manejo e seu deslocamento até os rios.

Segundo o IPT (2007), no material de treinamento para o Mapeamento de Riscos em Encostas e Margens de Rios, o principal agente desencadeador dos movimentos de massa é a água, atuando na instabilidade do solo através da elevação do grau de saturação contribuindo para o seu encharcamento, decorrente de uma grande quantidade de chuvas no período, seja o tempo de ocorrência ou volume. Logo, os estudos sobre a dinâmica do solo em bacias hidrográficas são fundamentais para a compreensão das alterações geradas devido à falta de planejamento e as ocupações irregulares.

Uma das informações importantes que se deve ter conhecimento são as condições meteorológicas do município estudado. Os dados de precipitação máxima e mínima são fundamentais para determinação do escoamento superficial e outros indicadores, bem como aliado aos dados da temperatura influenciam na escolha do período mais adequado para realização dos trabalhos de campo, além de apontar os períodos de maior incidência de chuvas, um indicativo de possíveis casos de deslizamentos.

Para este trabalho especificamente, as informações foram disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia e adquiridas no site da prefeitura, no segmento de Defesa Civil, para auxiliar na identificação da melhor época do ano para o levantamento em campo (rastreamento com GNSS).

### 3.6 Método de posicionamento

Para este trabalho foi escolhido o método de posicionamento relativo estático rápido, também conhecido como pseudocinemático, uma vez que os pontos da linha-base não excediam os 10 km (valor limite) e desejava-se um levantamento de alta produtividade e qualidade geométrica. Neste tipo de posicionamento, dois ou mais receptores rastreiam simultaneamente os satélites visíveis, cujo período de ocupação varia entre 5 a 20 minutos. A escolha da duração de rastreamento de cada ponto é descrita na sessão 3.7 abaixo.

Neste método, um receptor permanece fixo como uma estação de referência (base), cujas coordenadas são conhecidas, coletando dados, enquanto o outro percorre os pontos de interesse (receptor móvel). Durante o deslocamento entre cada ponto utilizando o receptor móvel (*rover*), a coletora foi desligada, pois não havia necessidade de rastreamento dos dados durante este trajeto. Os dados coletados simultaneamente na estação base e nos pontos à determinar forma as linhas-base.

As estações base serão: POAL, pertencente à RBMC e do Instituto de Física, integrante da Rede Geodésica Estadual. Os memoriais descritivos destas estações constam nos anexos deste trabalho.

### 3.7 Tempo de Rastreamento

O tempo de rastreamento para o levantamento depende dos seguintes fatores:

- Precisão estipulada para os pontos;
- Distância da estação de referência;

- Equipamentos disponíveis;
- *Softwares* disponíveis para processamento.

Detendo essas informações, o tipo de posicionamento e a finalidade do levantamento, optou-se por um tempo de rastreamento para cada sessão de 10 minutos, com base em Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações (página 339 - MONICO/2008) e nas Recomendações para levantamentos relativos estáticos – GPS (2008) do IBGE (Figura 3.4).

Linha de Base	Tempo de observação	Equipamento Utilizado	Precisão
00 – 05 Km	05 – 10 min	L1 ou L1/L2	5 - 10 mm + 1 ppm
05 – 10 Km	10 – 15 min	L1 ou L1/L2	5 - 10 mm + 1 ppm
10 – 20 Km	10 – 30 min	L1 ou L1/L2	5 - 10 mm + 1 ppm
20 – 50 Km	02 – 03 hr	L1/L2	5 mm + 1 ppm
50 – 100 Km	mínimo. 03 hr	L1/L2	5 mm + 1 ppm
> 100 Km	mínimo. 04 hr	L1/L2	5 mm + 1 ppm

**Tabela 3-4:** Tempo de rastreamento. (Fonte: IGN - Instituto Nacional Geográfico)

## 4 DESENVOLVIMENTO

### 4.1 Levantamento dos Dados

A identificação de informações preliminares e a busca por bases cartográficas já existentes são uma das primeiras tarefas executadas em qualquer projeto. Com a verificação da consistência dos dados existentes (curvas de nível) utilizando o *software* AutoCAD foi constatada a necessidade de edição das mesmas, com a inserção dos valores altimétricos, uma vez que todas estavam com cota 0 (zero), além da junção das linhas para formação de polilinhas. Os valores de cada curva foram identificados nos textos adicionados às linhas. Outro problema identificado foi que as curvas não recobriam totalmente a região do projeto, pois parte pertencia ao município seguinte (Viamão), mas mesmo com esta perda de dados, optou-se por trabalhar com elas.

As curvas de nível existentes identificadas fazem parte do mapeamento detalhado do município de Porto Alegre em escala 1:1000 cujo levantamento aerofotogramétrico ocorreu em 1982. Estes dados foram digitalizados das cartas impressas e vetorizados pela 1ª Divisão de Levantamento do Exército Brasileiro (1ª DL), armazenados em formato .dwg, organizados em pastas subdivididas em blocos e separados por planimetria e altimetria. Além destes, tínhamos os pontos brutos do perfilamento a laser e as imagens do aerolevanteamento de 2010.

Geralmente as informações cartográficas oriundas de diversas fontes e recursos tecnológicos utilizam diferentes sistemas de referência, por isso, foi necessário trabalhar os dados a fim de convertê-los ao referencial adotado SIRGAS2000,4. As curvas de nível obtidas do aerolevanteamento antigo (1982) estavam em SAD-69, a nuvem de pontos do novo aerolevanteamento (2010) e feições restituídas em SIRGAS2000.

## 4.2 Elaboração Cartográfica

A restituição (figura 4.1) é a etapa mais demorada do processo e, possivelmente, a mais cara, dependendo da quantidade e dos tipos de elementos a serem restituídos. Ela foi realizada diretamente na tela do computador, utilizando uma estação fotogramétrica digital que permite manusear os modelos estereoscópicos e restituir as feições geométricas desejadas. Foram englobadas as faixas 14, 15, 16, 17 e 18 do bloco 3 para a região de interesse.

O processo de manuseio do topomouse e a definição exata do traçado rente à superfície observada através de um cursor flutuante requer um certo conhecimento e habilidade, além de experiência em restituir, para que se consiga obter os resultados esperados. As maiores dificuldades enfrentadas foram:

1. Identificação exata do cursor no ponto sem que ocorra flutuação ou afundamento quando no registro do mesmo;
2. O tempo gasto para cobrir uma pequena área, devido à complexidade que a restituição exige, pela interferência principalmente da vegetação, impossibilitando uma definição exata do traçado devido ao sombreamento; e,
3. Dúvidas de interpretação que são solucionadas na reambulação, ou seja, verificação *in loco*.

Inicialmente tínhamos duas opções (linhas de raciocínio) para a elaboração da base cartográfica: restituir utilizando um instrumento fotogramétrico em um modelo estereoscópico ou vetorizar sob ortofotos digitais. Escolheu-se a primeira pelas vantagens que a mesma traz. Embora seja mais custosa, ela garante melhor qualidade geométrica, uma vez que utilizamos a nosso favor a visualização 3D da superfície, garantindo maior precisão nos pontos identificados quanto a sua posição e altitude.

Para obtermos uma ortofoto necessitamos de um MDT além das fotos orientadas, e, muito embora tenhamos os dados do perfilamento a laser ou as

curvas de nível de metro em metro, o trabalho para corrigir imperfeições do modelo acaba sendo maior. A vetorização seria uma alternativa mais econômica, porém menos precisa.

Foram restituídas na planimetria, o sistema viário (eixos de logradouro, eixos de caminhos), torres de transmissão e comunicação, algumas edificações; e, na altimetria, curvas de nível e pontos cotados. Para a hidrografia, demarcaram-se os cursos e corpos d'água (açudes, lagos, córregos, arroio, etc.) e as drenagens. Na vegetação, as áreas de mata nativa, campo, vegetação arbustiva, reflorestamento e afloramento rochoso. Além da erosão, ocupação urbana e rural.



**Figura 4-1:** Trecho sendo restituído

#### 4.3 Obtenção do Modelo Digital do Terreno

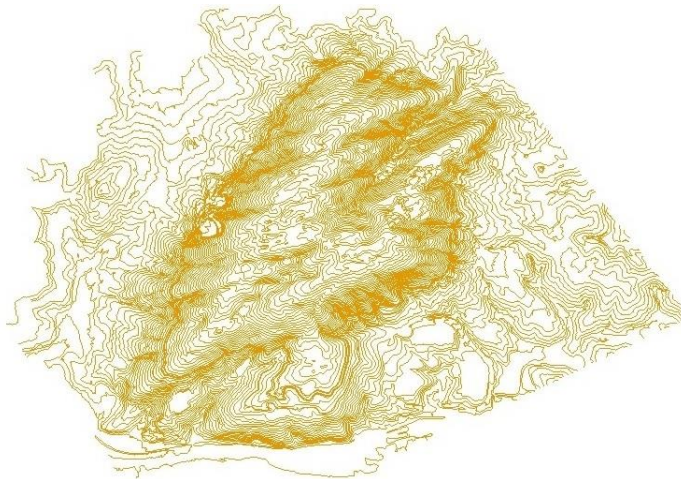
Para o MDT utilizou-se as curvas de nível já existentes (1982) adquiridas na Secretaria de Planejamento Urbano de Porto Alegre, no setor de Cartografia.

Inicialmente optou-se por trabalhar com as curvas de metro em metro que, embora apresentassem uma quantidade grande de informações, garantiriam maior fidelidade ao comportamento do relevo. Entretanto, devido à necessidade de tratamento de um grande número de linhas (junções) e a adição do valor das cotas em todas elas uma vez que elas vinham zeradas,

utilizou-se as curvas de 5m, que reduziram o tempo sem comprometer a qualidade exigida.

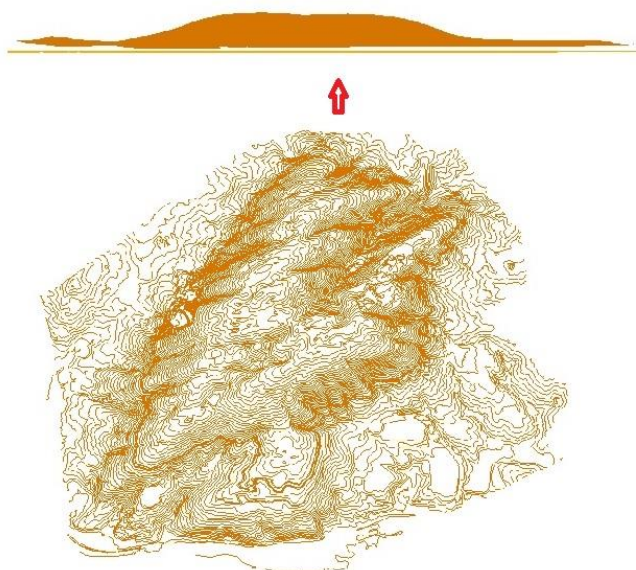
Para geração do MDT, as seguintes etapas foram realizadas utilizando o software AutoCAD2007:

**1ª Etapa:** Junção das linhas para formarem polilinhas (Figura 4.2).



**Figura 4-2:** Curvas sem valor de cota

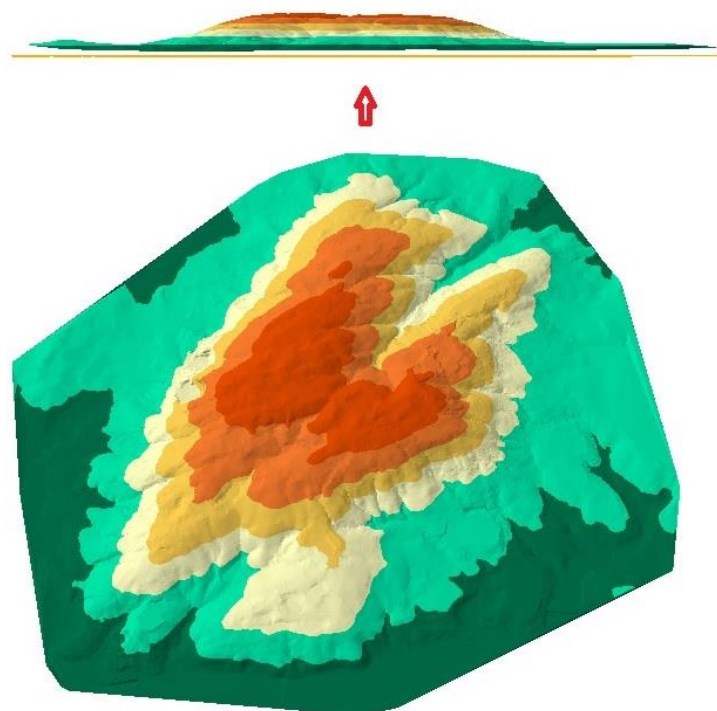
**2ª Etapa:** Inserir o valor da cota em cada uma delas (Figura 4.3).



**Figura 4-3:** Curvas com cotas



**3ª Etapa:** Gerar um TIN a partir das curvas editadas (Figura 4.4).



**Figura 4-4:** TIN

#### **4.4 Determinação da Altitude Ortométrica com Receptor GNSS**

Conforme explicado na seção 2.2.3 referente à altitude ortométrica versus altitude geométrica e, analisando as opções, utilizar o modelo de ondulação geoidal do MAPGEO2010 ou realizar um nivelamento por GNSS para determinar a altitude ortométrica, optou-se pela segunda opção. Para tanto, foi realizado um rastreamento em uma referência de nível – RN nº 3093F, localizada no Campus do Vale, próxima ao prédio da Geociências (o memorial descritivo encontra-se no anexo III no final do trabalho) por um período de tempo de 1 hora. Com as coordenadas obtidas neste rastreamento temos o valor de  $h$  (altitude geométrica) e diante da informação contida no memorial descritivo de  $H$  (altitude ortométrica) por nivelamento geométrico, substituímos na equação (1) e determinamos  $N$  igual a 5,2243.

Baseando-se pela estação da RBMC, POAL, a diferença encontrada entre o valor de N pelos dois métodos é de 15 cm. Esta informação é importante para a avaliação da qualidade da restituição, uma vez que obtemos os pontos de controle através de GNSS e o valor das altitudes das feições restituídas são referenciadas à superfície local.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como resultados esperados, foram gerados os mapas temáticos e topográfico, o MDT, além de uma simulação realizada a partir da sobreposição dos mapas criados, identificando possíveis pontos com maior suscetibilidade a deslizamentos de terra. Eles seguiram as normas cartográficas estabelecidas no Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984 e também do Manual de Noções Básicas de Cartografia do IBGE, quanto à padronização de cores, elementos de representação da planimetria (hidrografia, vegetação, sistema viário, etc.) e altimetria (curvas de nível, cores hipsométricas).

Para a elaboração dos mapas, foram adicionados os elementos gráficos básicos e indispensáveis para sua apresentação, tais como grade de coordenadas, norte, as convenções cartográficas, definição da projeção, sistema de coordenadas e referência, exatidão planialtimétrica, declinação magnética, convergência meridiana, escalas e o selo que identifica os autores, data, tipo de mapa, título e afins.

Quanto à nomenclatura utilizada para a interpretação do uso da terra, uma das mais importantes referências internacionais no que se refere à classificação do uso e cobertura do solo foi a revisão elaborada por Anderson *et al.* (1976) e apresentado na U.S. Geological Survey Circular 671, no qual baseou-se este trabalho.

### 5.1 Mapa Topográfico

Neste tipo de mapa representamos uma porção do espaço territorial contendo os acidentes naturais (lagos, rios, morros) e artificiais (interferências realizadas pelo homem, tais como vias, represas, edificações, etc.) da superfície terrestre, de forma mensurável e em escala, mostrando suas posições planimétrica (horizontal) e altimétrica (vertical). A posição vertical ou relevo é expresso sob a forma de curvas de nível e pontos cotados cujas altitudes referem-se ao nível do mar.

Para sua elaboração, foram utilizadas as curvas de nível e pontos cotados já existentes e as demais informações, construídas através da restituição feita manualmente. As curvas são apresentadas tradicionalmente na cor sépia e toda a hidrografia em azul. Quanto à localização espacial da região de estudo, foram apresentadas e nomeadas as vias limítrofes e demarcada a linha divisória que separa os municípios de Porto Alegre e Viamão, a fim de facilitar a localização da área no espaço físico.

Este mapa encontra-se no Anexo IV- Mapa Topográfico e serve de base cartográfica inicial no qual as outras informações são sobrepostas. Nele, tem-se uma noção geral de localização, comportamento do relevo e algumas características iniciais.

## **5.2 Mapa Hipsométrico**

O relevo é representado pelas curvas de nível e pontos cotados e suas altitudes tem origem no nível médio do mar, expresso em metros. Para a interpretação do seu comportamento pode-se utilizar a técnica da hipsometria que é a representação bidimensional da elevação em forma de cores.

Nesse método, as altitudes são separadas por diferentes cores graduais, conhecidas como cores hipsométricas e, obedecem uma convenção específica. Em um sistema de graduação, as cores frias (verde) representam uma baixa altitude enquanto as cores quentes (laranja e vermelho) altitudes mais altas. A cor branca só é utilizada para expressar grandes altitudes.

Como podemos observar no mapa hipsométrico (Anexo IV – Mapa Hipsométrico), há um aumento da altitude de maneira gradativa, havendo somente uma elevação mais abrupta nas áreas das pedreiras inativas, devido às atividades lá realizadas.

Foram definidas seis classes de altitudes com variação de 50 metros cada, com cores variando de verde escuro (0-50m), verde claro, amarelo,

alaranjado, laranja e vermelho (250-309m). O marco presente no topo do morro Santana é o ponto mais alto do município de Porto Alegre.

### 5.3 Mapa de Declividade

A declividade é a relação entre o valor do desnível de altura entre dois pontos no relevo e o valor da distância horizontal entre esses pontos. Pode ser expressa em percentual (%) ou graus.

Este mapa é importante para a compreensão do relevo, ou seja, identifica os pontos onde as encostas são mais acentuadas. Como a declividade é uma das características mais marcantes para a ocorrência de deslizamentos, este mapa quando sobreposto às outras informações já dá indicativos (sinaliza) das áreas com maior tendência.

No *software* ArcGIS onde foram montados os mapas, há uma ferramenta para criação automática do mapa de declividade, sendo necessário apenas como dado de entrada o *shape* com as curvas de nível. Foi selecionada a opção para representação em graus (*degrees*), dividida em cinco classes, de modo a dar maior destaque às regiões com grandes diferenças de declividade.

Como podemos observar no mapa gerado (Anexo IV – Mapa de Declividade), a maior parte da área estudada apresenta uma declividade menor que 41°.

### 5.4 Mapa de Drenagem

O ordenamento do escoamento das águas superficiais é uma das medidas estruturais mais importantes para a prevenção de acidentes de deslizamentos em áreas de risco (IPT, 2007). Segundo o Material de Treinamento de Equipes Municipais para o Mapeamento e Gerenciamento de Riscos, desenvolvido pelo IPT, as obras de drenagem têm por objetivo captar e conduzir as águas superficiais e subterrâneas das encostas, evitando a erosão,

infiltração e o acúmulo da água no solo, responsáveis pela deflagração de deslizamentos.

O mapa de drenagem (Anexo IV – Mapa de Drenagem) possibilita a visualização e identificação dos caminhos traçados pelo deslocamento das águas superficiais. Se aliarmos este mapa à cobertura e uso do solo e ao MDT, obtemos um padrão da drenagem da superfície e possíveis características. Os solos com cobertura vegetal e com pouca declividade são mais permeáveis.

A melhor base para elaboração deste documento cartográfico são as fotos aéreas, por meio das quais é possível obter a rede dos canais de drenagem superficial detalhadamente.

Traçado o curso dos canais de drenagem, podem ser delimitadas as áreas de acúmulo de água (temporário) e as áreas úmidas permanentes. Estas informações são importantes, pois colaboram com análises geotécnicas, ambientais ou de previsão de processos naturais relacionados ao meio físico, tais como erosão, movimentos de massas gravitacionais, inundações, etc.

## **5.5 Mapa de Cobertura e uso do solo**

A vegetação é uma parte integrante da maioria das paisagens e tem um papel importantíssimo na estabilização de taludes e na proteção do solo contra a erosão. (HIGHLAND; BROBOWSKY, 2008). A cobertura corresponde ao revestimento natural que recobre a superfície da terra enquanto o uso da terra refere-se à atividade do homem na terra (Clawson; Stewart, 1965) relacionado ao seu uso socioeconômico (agricultura, urbano, extração mineral, etc.).

O levantamento de uso e cobertura da terra consiste na elaboração de mapas indicativos da distribuição geográfica dos usos através da identificação de padrões homogêneos da cobertura terrestre (IBGE, 2006). Para sua interpretação utilizou-se Anderson *et al* (1976), definindo as seguintes classes:

- Área urbana mista: área de uso intensivo, com grande parte coberta por estruturas com a presença de usos. Neste caso,

residencial, comercial e serviços. A área residencial segue um padrão de espaçamento e tamanho uniforme das estruturas, vias e áreas gramadas, enquanto na comercial, há uma tendência de apresentar construções de diferentes tamanhos e espaçamento. Esta classe (área urbana mista) foi caracterizada com uma coloração avermelhada;

- Área de cultivo
- Banhado
- Campo Limpo
- Mata Nativa
- Reflorestamento

Segundo Highland e Brobowsky (2008), uma área com percentual de cobertura florestal de cobertura 0% tem um escoamento superficial de 35 a 40%, enquanto uma região com cobertura de 30%, seu escoamento superficial chega à zero. O que significa que este tipo de mapa permite identificar as regiões de maior e menor escoamento superficial (Anexo IV – Mapa de Uso e Ocupação do Solo).

## **5.6 Mapa de Simulação**

Como a parte de geotecnia é fundamental e não foi considerada, uma vez que os dados referentes a ela já existentes possuem uma escala menor que a trabalhada, seria errôneo transformá-lo para a escala trabalhada, pois manipularíamos os resultados e perderíamos a sua qualidade posicional. Este é um erro constantemente realizado quando se utilizam dados de diferentes fontes em diferentes escalas, onde deve-se empregar o de maior valor de denominador.

Sendo assim, tendo posse dos mapas acima (topográfico, drenagem, declividade e uso e cobertura) sobrepostos, identificaram-se os possíveis

pontos com maior risco a deslizamentos, levando em consideração somente as informações elaboradas e interpretadas neste trabalho. Os critérios para escolha destes pontos foram baseados nos locais que apresentaram maior declividade (valores maiores a 41°), presença de erosão, afloramento rochoso e as áreas limítrofes entre mata nativa e ocupação urbana mista. Como resultado encontramos o mapa no Anexo IV – Simulação.

### 5.7 Modelo 3D

No *ArcMap* criou-se o MDT do tipo TIN automaticamente utilizando a ferramenta *3D Analyst* a partir das curvas de nível editadas. Eles servem de base para elaboração no computador de uma série de produtos cartográficos como o mapa de declividades.

As cores foram definidas de maneira gradual do verde escuro, passando pelo amarelo, alaranjado até o vermelho para facilitar a identificação do comportamento do relevo. A troca gradual das cores facilita a interpretação das diferentes altitudes.

O MDT (Anexo IV) pode ser aplicado para diversos fins, uma vez que a visualização tridimensional é mais facilmente compreendida que uma mesma representação bidimensional, como é o caso do mapa hipsométrico. Além do que, é possível identificar facilmente o traçado da drenagem superficial, considerando que, se observarmos somente as fotografias aéreas temos uma grande dificuldade de interpretação da mesma uma vez que há cobertura vegetal impede este processo.

### 5.8 Qualidade das Cartas

Os atuais padrões estabelecidos para a Cartografia Nacional na classificação das cartas quanto à exatidão estão contidos no Decreto nº 89.817/84, conforme observado na tabela 5.7 abaixo. Neste decreto são definidas as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia



Nacional, que normatizam os procedimentos e padrões a serem obedecidos na elaboração das cartas, como produtos cartográficos.

O PEC definido na legislação cartográfica vigente não pode ser considerado quanto à avaliação da qualidade de cartas digitais e somente para o formato analógico. O avanço das tecnologias trouxe à cartografia novos conceitos e práticas. O novo usuário das cartas digitais encontra dificuldade em obter uma relação de escala fixa, uma vez que não há limites quanto ao número de informações que podem ser consideradas. Deve-se compreender qual a finalidade do mapeamento, quais informações serão consideradas e sua respectiva exatidão posicional (ROCHA, 2002).

Os termos acurácia, exatidão e precisão são comumente confundidos quanto ao seu significado, mas todos eles são encontrados na qualidade da carta. No contexto cartográfico, precisão é entendida como a média das medidas repetidas possui grande aproximação do valor esperado ou correto. A acurácia refere-se à proximidade de um valor esperado quanto a um valor verdadeiro, e, exatidão relaciona-se à dispersão das observações.

Na concepção de uma carta, a qualidade geométrica deve ser definida em função da necessidade posicional de representação das feições ligadas às atividades executadas pelo usuário. Ele deve definir qual a tolerância máxima aceita na representação cartográfica que não comprometa a execução do serviço. Nas cartas digitais, a importância da posição das feições registradas é dada pela sua exatidão.

CLASSE DE CARTAS				
CLASSE	PLANIMETRIA		ALTIMETRIA	
	PEC	EP	PEC	EP
A	0,5 mm x E	0,3 mm x E	3/5 EQ	2/5 EQ
B	0,8 mm x E	0,5 mm x E	3/5 EQ	2/5 EQ
C	1,0 mm x E	0,6 mm x E	3/4 EQ	1/2 EQ

Onde :  
 PEC = PADRÃO DE EXATIDÃO CARTOGRÁFICA = 1,6449.EP  
 EP = ERRO PADRÃO ( $1\sigma$ )  
 E = escala da carta  
 EQ = equidistância das curvas de nível

Fonte Decreto 89.817 - 20/06/84 - Instruções Reguladoras de Normas Técnicas da Cartografia Nacional

**Figura 5-1:** Classificação das Cartas (Fonte: BRASIL, 1984)

As cartas, quanto à sua exatidão, devem obedecer ao padrão estabelecido pelo PEC, segundo os critérios já definidos:

1º) Pelo menos 90% dos pontos bem definidos na carta, quando testados no terreno não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica Planimétrico, estabelecido;

2º) Pelo menos 90% dos pontos isolados de altitude, obtidos pela interpolação das curvas de nível, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica Altimétrico, estabelecido;

Cabe salientar que o PEC é um indicador estatístico de dispersão relativo a 90% de probabilidade, e que este valor corresponde a 1,6449 multiplicado o erro padrão. Caso os valores encontrados sejam superiores aos estabelecidos, deve-se informar que esta carta não se encontra em nenhuma das três classes definidas.

Para a verificação da qualidade das cartas elaboradas no presente trabalho, foram coletados 18 pontos bem distribuídos (Figura 5.2) para análise e comparação dos resultados, entre os valores obtidos através da restituição e aqueles rastreados com GNSS no local, e assim, avaliamos sua exatidão altimétrica e planimétrica. As informações altimétricas encontradas na carta digital são relacionadas a uma RN (referência de nível) referenciadas ao Sistema Geodésico Brasileiro. A exatidão planimétrica refere-se à posição das coordenadas planimétricas em relação a uma rede geodésica (municipal, estadual ou nacional), neste caso, a Rede Geodésica Brasileira, estação POAL.

A planilha abaixo apresenta uma análise dos 18 pontos rastreados em campo (ocorreu a eliminação do ponto 9, devido aos valores apresentados serem muito dispersos em relação aos demais) e aqueles extraídos da restituição.

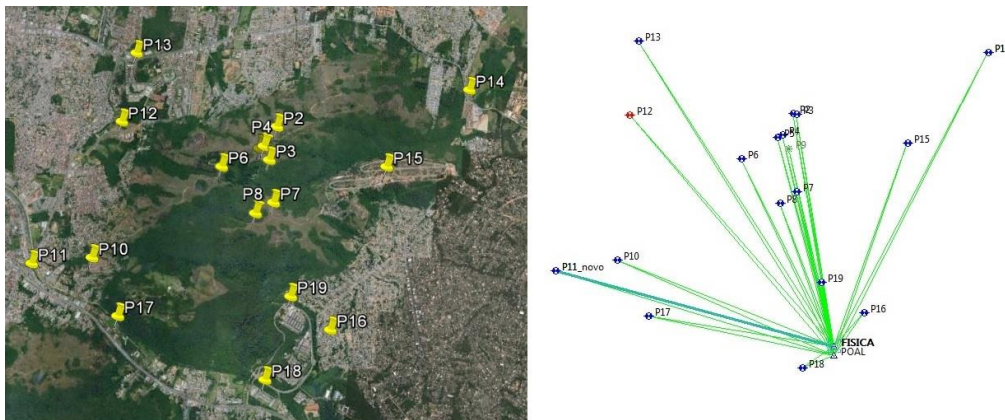


Figura 5-2: Distribuição dos pontos

Ponto	Pontos coletados em campo			Pontos da restituição			Diferença		
	N	E	H	N	E	H	$\Delta N$	$\Delta E$	$\Delta H$
P1	6675542,4714	488022,89933	293,1387	6675542,82	488022,56	292,502	-0,3486	0,33933	0,6367
P2	6675534,77309	488056,82947	293,2337	6675535,31	488057,38	293	-0,53691	-0,55053	0,2337
P3	6675313,53283	487908,46618	308,8227	6675314,74	487908,91	309,135	-1,20717	-0,44382	-0,3123
P4	6675292,21967	487860,62693	309,8877	6675291,00	487860,75	309,735	1,21967	-0,12307	0,1527
P5	6675060,83767	487478,08966	285,3897	6675061,58	487477,99	285,208	-0,74233	0,09966	0,1817
P6	6674723,24986	488061,91099	285,9647	6674722,87	488062,27	286	0,37986	-0,35901	-0,0353
P7	6674595,81258	487881,01218	276,2077	6674595,71	487880,93	276,335	0,10258	0,08218	-0,1273
P8	6674003,09176	486164,54603	97,9297	6674002,99	486165,19	97,552	0,10176	-0,64397	0,3777
P10	6673890,44899	485512,45565	30,8287	6673890,42	485512,57	30,594	0,02899	-0,11435	0,2347
P11	6675520,86257	486301,55064	57,2337	6675520,4	486302,13	57,15	0,46257	-0,57936	0,0837
P12	6676293,85008	486386,12743	92,0517	6676293,68	486386,25	91,803	0,17008	-0,12257	0,2487
P13	6676184,04312	490081,64077	90,0307	6676183,6	490082,27	90	0,44312	-0,62923	0,0307
P14	6676184,00277	490081,60358	89,9997	6676184,09	490081,7	89,753	-0,08723	-0,09642	0,2467
P15	6675228,31358	489231,04356	199,4827	6675228,66	489231,3	199	-0,34642	-0,25644	0,4827
P16	6673451,83629	488772,26544	67,9677	6673452,15	488771,38	67,894	-0,31371	0,88544	0,0737
P17	6673409,84185	486498,35839	31,4997	6673410,85	486499,14	31,438	-1,00815	-0,78161	0,0617
P18	6672875,26047	488125,008	39,0177	6672875,08	488125,01	39,194	0,18047	-0,002	-0,1763
P19	6673768,0772	488322,15617	91,2057	6673767,9	488322,04	91,238	0,1772	0,11617	-0,0323
							<b>-0,07357</b>	<b>-0,176644</b>	<b>0,1312</b>

Tabela 5-1: Análise dos dados

A partir dessa análise, é possível afirmar que 90% dos pontos tem um erro de, no máximo, de 1,3m para a planimetria e 0,5m para a altimetria. Estes valores são necessários e suficientes para o apoio a projetos de mapeamento geotécnico urbano.

## 6 CONSIDERAÇÕES

Através deste trabalho foi possível compreender melhor o universo da cartografia geotécnica, tema muito pouco explorado pela Engenharia Cartográfica, mas que demonstra ser um mercado em crescimento. A escolha das técnicas foi apropriada para a situação, muito embora a prática com restituição fosse praticamente inexistente e o processo ser cansativo e trabalhoso, este demonstrou ser bastante preciso e mais rápido que os métodos de levantamento tradicionais.

As curvas de nível, embora sejam existentes e de uso geral, demandaram mais tempo que o esperado, pois vieram incompletas, sem os valores da altimetria e necessitavam de edição, mas conseguiram satisfazer a necessidade do projeto que era a obtenção do modelo digital de terreno. Recomenda-se para projetos futuros a utilização da nuvem de pontos do perfilamento a laser que garantirão uma representação ainda melhor do terreno recoberto.

Para a elaboração do mapa de cobertura e uso do solo houve uma dificuldade de identificação e interpretação de algumas feições, principalmente no limite entre elas, muito embora se tenha a referência e descrição do sistema de classificação de Anderson *et al.* (1976). Mas, os resultados demonstraram que tanto a base cartográfica desenvolvida e o MDT gerado são capazes de auxiliar, de maneira precisa e confiável, os técnicos na tomada de decisões, para elaboração de planos de prevenção ou até mesmo para ações emergenciais, pois descrevem as interferências provocadas pela ação do homem, caracterizam a área de fiel à realidade, identificam o comportamento do relevo, além de permitir a adição de novas feições e informações futuras.

As técnicas de fotogrametria tendem a ocupar uma área cada vez maior no mercado de mapeamento e de simulações, pois consegue aliar alta qualidade dos resultados, redução do tempo de trabalho e dos custos do projeto e garantir atualização das informações de maneira mais simples.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, J. B. de. **Fotogrametria**. Curitiba: SBEE, 1998.

BIGARELLA, J. J. **Segurança Ambiental: uma questão de consciência... e muitas vezes de Segurança Nacional**. Curitiba: ADESG-PR, 1974.

BRASIL. Decreto n. 89.817, de 20 de junho de 1984. Instruções Reguladoras e Normas Técnicas da Cartografia Nacional.

BRITO, Jorge Nunes; COELHO, Luiz. **Fotogrametria Digital**. Ed. UERJ. Rio de Janeiro, 2007.

CERRI, Leandro E. da Silva. Riscos Geológicos associados a escorregamentos: uma proposta para prevenção de acidentes. **Tese**. Doutorado em Geociências e Meio Ambiente. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1993.

CERRI, Leandro E. da Silva. Carta geotécnica: contribuições para uma concepção voltada às necessidades brasileiras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 6, 1990, Salvador. Anais... Salvador, ABGE, v.1, p. 309-317.

DIAS, Leonardo S. de Oliveira. **Identificação de áreas suscetíveis a deslizamento de terra utilizando sistema de informações geográficas**, 2006.

FERNANDES, N. F. & AMARAL, C. P. Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (orgs.). Geomorfologia e Meio Ambiente. Bertrand, 1996, Rio de Janeiro, p. 123-194.

HASENACK, H. **Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre**. Disponível em [http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/arquivos/Publicacoes/Livros\\_ou\\_capitulos/diagnostico\\_ambiental\\_de\\_Porto\\_Alegre.pdf](http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/arquivos/Publicacoes/Livros_ou_capitulos/diagnostico_ambiental_de_Porto_Alegre.pdf). Acessado em 18/11/2012.

HASENACK, H, Weber, E.J, Lucatelli, L.M.L, 2010. Base altimétrica vetorial continua do município de Porto Alegre-RS na escala 1:1000 para uso em

sistemas de informação geográfica. Porto Alegre, UFRGS-IB-Centro de Ecologia. Disponível em <http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo>.

HIGHLAND, Lynn M.; BROBOSWSKY, Peter. **The landslide handbook – A guide to understanding landslides**: Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular 1325, 129p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. “Recomendações para Levantamentos Relativos Estáticos – GPS”. Abril de 2008.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Departamento de Cartografia – DECAR. Apostila de Noções Básicas de Cartografia. Julho de 1998.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Manual Técnico de Uso da Terra. 2ª ed. Rio de Janeiro, 2006.

IGN - Instituto Nacional Geográfico (Espanña) - Curso GPS en Geodesia y Cartografia.

JENSEN, John R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. Ed. Parêntese, São José dos Campos, 2009.

LOPES, Jocasta. Avaliação geotécnica de área de moradias irregulares de Porto Alegre: estudo na Vila Pedreira. **Dissertação**. Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. Mapeamento de Riscos de Encostas e Margem de Rios. Celso Santos Carvalho; Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura (orgs.). Brasília, 2007.

MARCHETTI, Delmar A.B.; GARCIA, Gilberto J. **Princípios de fotogrametria e fotointerpretação**. São Paulo.

MONICO, J. F. G. Posicionamento pelo GNSS: Descrição, Fundamentos e Aplicações. 2.ed. São Paulo, Unesp, 2008, 476p.

PISANI, Maria Augusta J. ; ZMITROWICZ, Witold. Áreas de Risco (Associado a Escorregamentos) para a ocupação Urbana: Detecção e Monitoramento com Auxílio de Dados de Sensoriamento Remoto. São Paulo: EPUSP, 1998.

PRANDINI, F.L.; NAKAZAWA, V.A.; FREITAS, C.G.L. & DINIZ, N.C. Cartografia geotécnica nos planos diretores regionais e municipais. In: BITAR, O.Y. (Coord.). Curso de geologia aplicada ao meio ambiente. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 1995. cap. 4.4, p.187-202.

RECKZIEGEL, Elisabete Weber. Identificação e mapeamento das áreas com perigo de movimento de massa no município de Porto Alegre, RS. **Dissertação**. Mestrado em Geografia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

REISS, Mário Luiz L. Restituição fotogramétrica flexível de imagens à curta distância: estudo de métodos e desenvolvimento de protótipo. **Dissertação** (mestrado). Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2002.

ROCHA, Ronaldo dos Santos da. Exatidão cartográfica para cartas digitais urbanas. **Tese**. Doutorado em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

TOMINAGA, Lídia Keiko. Avaliação de metodologias de análise de risco a escorregamentos: aplicação de um ensaio em Ubatuba/SP. **Tese**. Doutorado em Ciências – Geografia Física. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

TOMINAGA, Lídia Keiko; SANTORO, Jair; AMARAL, Rosângela do (orgs.) Desastres Naturais: conhecer para prevenir. São Paulo: Instituto Geológico, 2009.

VANACÔR, Roberto Nunes. Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicados ao mapeamento das áreas susceptíveis a movimentos de massa na região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. **Dissertação**. Mestrado em Sensoriamento Remoto. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

ZAIDAN, Ricardo; FERNANDES, Nelson. Zoneamento de suscetibilidade a escorregamentos em encostas aplicado à bacia de drenagem urbana do Córrego do Independência – Juiz de Fora (MG). Revista Brasileira de Geomorfologia. Vol. 10, nº2, 2009.

ZUQUETTE, Lázaro; GANDOLFI, Nilson. **Cartografia Geotécnica**. Ed. Oficina de Textos. São Paulo, 2004.

ZUQUETTE, Lázaro; PEJON, Osni José. **Cartografia Geotécnica e Geoambiental: Conhecimento do meio físico. Base para a sustentabilidade**. Ed. Suprema Gráfica Editora. São Carlos, 2004.

International Association for Engineering Geology and the environment. No site <http://www.iaeg.info/>, acessado em 12 de setembro de 2012.

INPE e IPT montam Projeto para Monitorar Riscos de Deslizamento. Reportagem encontrada no site <http://www.seesp.org.br/site/cotidiano/545-inpe-e-ipt-montam-projeto-para-monitorar-risco-de-deslizamentos.html>, acessado em 22 de setembro de 2012.

How stuff Works, pelo link <http://ambiente.hsw.uol.com.br/desastres-ambientais-canal.htm>, acessado em 21 de novembro de 2012.

METROCLIMA. Dados de precipitação, encontrado no <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/metroclima/>, acessado em 21 de novembro de 2012.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO REGIONAL. Integraregio. Reportagem Governo cria Centro de Monitoramento e Alerta a Desastres Naturais. Em <http://www.integraregio.integracao.gov.br/mod/forum/discuss.php?d=60705/11/2011>.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, através do link [http://www.ipt.br/noticia/632-chuvas\\_e\\_deslizamentos.htm](http://www.ipt.br/noticia/632-chuvas_e_deslizamentos.htm), acessado em 04 de janeiro de 2013.



**ANEXO I**  
Ficha cadastral sugerida

## FICHA DE CADASTRAMENTO DE PONTO DE PESQUISA

## IDENTIFICAÇÃO

Localização:

Bairro:

Município:

Cadastrador:

Dia:

## CARACTERIZAÇÃO GERAL DA LOCALIDADE

Modo de Ocupação		Categoria de Ocupação		Padrão das Edificações	
<input type="checkbox"/>	Espontânea (Informal)	<input type="checkbox"/>	Consolidada	<input type="checkbox"/>	Alvenaria
<input type="checkbox"/>	Planejada (Formal)	<input type="checkbox"/>	Parcialm. Consolidada	<input type="checkbox"/>	Madeira
<input type="checkbox"/>	Parcialmente Planejada	<input type="checkbox"/>	Parcelada	<input type="checkbox"/>	Outros materiais
		<input type="checkbox"/>	Área Mista		

Relevo		Hidrografia		Vegetação	
<input type="checkbox"/>	Tabuleiros e Vertentes	<input type="checkbox"/>	Rede Fluvial Esparsa	<input type="checkbox"/>	Rasteira Natural
<input type="checkbox"/>	Morros	<input type="checkbox"/>	Rede Fluvial Densa	<input type="checkbox"/>	Gramínea
<input type="checkbox"/>	Microbacia aberta	<input type="checkbox"/>	Alta Concentração de Águas	<input type="checkbox"/>	Arbusto
<input type="checkbox"/>	Planície Alagável	<input type="checkbox"/>	Nível Freático Alto	<input type="checkbox"/>	Árvores de grande porte
<input type="checkbox"/>	Campo	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	

Tipo de Talude		Minas d'água no barranco		Sinais de Movimentação	
<input type="checkbox"/>	Talude natural	<input type="checkbox"/>	No pé	<input type="checkbox"/>	Trincas
<input type="checkbox"/>	Corte	<input type="checkbox"/>	No meio	<input type="checkbox"/>	Paredes "embarrigadas"
		<input type="checkbox"/>	Topo do talude ou aterro	<input type="checkbox"/>	Inclinação árvore/muro
				<input type="checkbox"/>	Cicatriz de deslizamento

Caracterização do Local		Tipos de Deslizamento	
<input type="checkbox"/>	Presença de blocos de rocha	<input type="checkbox"/>	Rastejo
<input type="checkbox"/>	Presença de lixo/entulho	<input type="checkbox"/>	Deslizamento planar
<input type="checkbox"/>	Ocupação em cabeceira de drenagem	<input type="checkbox"/>	Deslizamento circular
<input type="checkbox"/>	Erosão em aterros	<input type="checkbox"/>	Deslizamento em cunha
<input type="checkbox"/>	Erosão superficial	<input type="checkbox"/>	Queda
<input type="checkbox"/>	Erosão severa (voçorocas)	<input type="checkbox"/>	Corrida de Massas

## Coordenadas dos Pontos

	Sistema Cartesiano		Latitude/Longitude		UTM
X		Lat		E	
Y		Long		N	
Z					

## **ANEXOII**

Relatório de Processamento dos pontos de verificação da qualidade geométrica dos mapas

## Project Summary

Project name: 31.07.ttp

Surveyor:

Comment:

Linear unit: Meters

Projection: UTMSouth-Zone\_22 : 54W to 48W

Geoid:

## Adjustment Summary

Adjustment type: Plane + Height, Constraint

Confidence level: 95 %

Number of adjusted points: 21

Number of plane control points: 2

Number of used GPS vectors: 41

A posteriori plane UWE: 1,816265 , Bounds: ( 0,7914994 , 1,207975 )

Number of height control points: 2

A posteriori height UWE: 6,966808 , Bounds: ( 0,7064636 , 1,292988 )

## GPS Occupations

Point Name	Original Name	Start Time	Stop Time
FISICA	FISICA	31/07/2013 14:30	31/07/2013 16:54
P11_novo	log0731oa_UUIO	31/07/2013 14:45	31/07/2013 14:56
P14_novo	log0731p_UUIO	31/07/2013 15:17	31/07/2013 15:31
FISICA	FISICA	19/07/2013 12:12	19/07/2013 20:49
POAL	POAL	19/07/2013 00:00	20/07/2013 00:00
P5	P5	19/07/2013 14:21	19/07/2013 14:34
P6	P6	19/07/2013 14:49	19/07/2013 15:00
P7	P7	19/07/2013 15:12	19/07/2013 15:23
P8	P8	19/07/2013 15:30	19/07/2013 15:41
P9	P9	19/07/2013 15:57	19/07/2013 16:07
P10	P10	19/07/2013 18:04	19/07/2013 18:14
P11	P11	19/07/2013 18:21	19/07/2013 18:31
P12	P12	19/07/2013 18:44	19/07/2013 18:54
P13	P13	19/07/2013 19:03	19/07/2013 19:14
P14	P14	19/07/2013 19:28	19/07/2013 19:39
P15	P15	19/07/2013 19:56	19/07/2013 20:06
P16	P16	19/07/2013 20:20	19/07/2013 20:31
P2	P2	19/07/2013 13:16	19/07/2013 13:26
P3	P3	19/07/2013 13:32	19/07/2013 13:46
P4	P4	19/07/2013 14:00	19/07/2013 14:16
POAL	POAL	25/07/2013 00:00	26/07/2013 00:00
FISICA	FISICA	25/07/2013 17:55	25/07/2013 20:55

P17	P17	25/07/2013 19:29	25/07/2013 19:42
P18	P18	25/07/2013 19:58	25/07/2013 20:09
P19	P19	25/07/2013 20:19	25/07/2013 20:29
POAL	POAL	31/07/2013 00:00	01/08/2013 00:00

Name	Used GPS Observations			Horz RMS (m)	Vert RMS (m)
	dN (m)	dE (m)	dHt (m)		
FISICA-P2	2442,964	-433,591	219,627	0,006	0,009
FISICA-P3	2435,264	-399,657	219,726	0,002	0,003
FISICA-P4	2214,009	-548,032	235,325	0,007	0,012
FISICA-P5	2192,709	-595,863	236,371	0,002	0,005
FISICA-P6	1961,324	-978,4	211,874	0,002	0,004
FISICA-P7	1623,738	-394,576	212,453	0,002	0,004
FISICA-P8	1496,3	-575,476	202,702	0,003	0,007
FISICA-P10	903,576	-2291,942	24,426	0,003	0,007
FISICA-P11	790,801	-2944,013	-42,683	0,002	0,004
FISICA-P11_novo	790,934	-2944,032	-42,687	0,003	0,007
FISICA-P12	2421,348	-2154,933	-16,272	0,006	0,009
FISICA-P13	3194,34	-2070,361	18,529	0,003	0,006
FISICA-P14	3084,529	1625,153	16,515	0,004	0,006
FISICA-P14_novo	3084,492	1625,114	16,485	0,002	0,005
FISICA-P15	2128,803	774,557	125,961	0,004	0,007
FISICA-P16	352,325	315,776	-5,543	0,001	0,002
FISICA-P17	310,334	-1958,132	-42,016	0,004	0,008
FISICA-P18	-224,252	-331,481	-34,488	0,002	0,003
FISICA-P19	668,561	-134,338	17,702	0,003	0,005
FISICA-POAL	-95,459	1,056	-2,018	0,001	0,001
FISICA-POAL	-95,457	1,057	-2	0,001	0,001
FISICA-POAL	-95,458	1,058	-1,994	0	0,001
P2-POAL	-2538,417	434,645	-221,616	0,002	0,003
P3-POAL	-2530,717	400,717	-221,715	0,001	0,002
P4-POAL	-2309,485	549,075	-237,297	0,005	0,006
P5-POAL	-2288,163	596,919	-238,373	0,002	0,003
P6-POAL	-2056,783	979,455	-213,881	0,002	0,003
P7-POAL	-1719,196	395,635	-214,447	0,001	0,003
P8-POAL	-1591,757	576,533	-204,697	0,003	0,009
P10-POAL	-999,041	2293	-26,423	0,005	0,011
P11-POAL	-886,26	2945,073	40,695	0,002	0,004
P11_novo-POAL	-886,396	2945,09	40,683	0,002	0,006
P12-POAL	-2516,807	2156	14,28	0,006	0,011
P13-POAL	-3289,793	2071,417	-20,541	0,002	0,004
P14-POAL	-3179,99	-1624,095	-18,522	0,004	0,006
P14_novo-POAL	-3179,948	-1624,059	-18,483	0,001	0,003
P15-POAL	-2224,259	-773,498	-127,966	0,002	0,003
P16-POAL	-447,78	-314,72	3,539	0,001	0,003

P17-POAL	-405,778	1959,183	40,007	0,005	0,008
P18-POAL	128,798	332,537	32,475	0,003	0,006
P19-POAL	-764,028	135,383	-19,692	0,003	0,006

## GPS Observation Residuals

Name	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Horz RMS (m)	Vert RMS (m)
FISICA-P2	2442,964	-433,591	219,627	0,006	0,009
FISICA-P3	2435,264	-399,657	219,726	0,002	0,003
FISICA-P4	2214,009	-548,032	235,325	0,007	0,012
FISICA-P5	2192,709	-595,863	236,371	0,002	0,005
FISICA-P6	1961,324	-978,4	211,874	0,002	0,004
FISICA-P7	1623,738	-394,576	212,453	0,002	0,004
FISICA-P8	1496,3	-575,476	202,702	0,003	0,007
FISICA-P10	903,576	-2291,942	24,426	0,003	0,007
FISICA-P11	790,801	-2944,013	-42,683	0,002	0,004
FISICA-P11_novo	790,934	-2944,032	-42,687	0,003	0,007
FISICA-P12	2421,348	-2154,933	-16,272	0,006	0,009
FISICA-P13	3194,34	-2070,361	18,529	0,003	0,006
FISICA-P14	3084,529	1625,153	16,515	0,004	0,006
FISICA-P14_novo	3084,492	1625,114	16,485	0,002	0,005
FISICA-P15	2128,803	774,557	125,961	0,004	0,007
FISICA-P16	352,325	315,776	-5,543	0,001	0,002
FISICA-P17	310,334	-1958,132	-42,016	0,004	0,008
FISICA-P18	-224,252	-331,481	-34,488	0,002	0,003
FISICA-P19	668,561	-134,338	17,702	0,003	0,005
FISICA-POAL	-95,459	1,056	-2,018	0,001	0,001
FISICA-POAL	-95,457	1,057	-2	0,001	0,001
FISICA-POAL	-95,458	1,058	-1,994	0	0,001
P2-POAL	-2538,417	434,645	-221,616	0,002	0,003
P3-POAL	-2530,717	400,717	-221,715	0,001	0,002
P4-POAL	-2309,485	549,075	-237,297	0,005	0,006
P5-POAL	-2288,163	596,919	-238,373	0,002	0,003
P6-POAL	-2056,783	979,455	-213,881	0,002	0,003
P7-POAL	-1719,196	395,635	-214,447	0,001	0,003
P8-POAL	-1591,757	576,533	-204,697	0,003	0,009
P10-POAL	-999,041	2293	-26,423	0,005	0,011
P11-POAL	-886,26	2945,073	40,695	0,002	0,004
P11_novo-POAL	-886,396	2945,09	40,683	0,002	0,006
P12-POAL	-2516,807	2156	14,28	0,006	0,011
P13-POAL	-3289,793	2071,417	-20,541	0,002	0,004
P14-POAL	-3179,99	-1624,095	-18,522	0,004	0,006
P14_novo-POAL	-3179,948	-1624,059	-18,483	0,001	0,003
P15-POAL	-2224,259	-773,498	-127,966	0,002	0,003
P16-POAL	-447,78	-314,72	3,539	0,001	0,003
P17-POAL	-405,778	1959,183	40,007	0,005	0,008

P18-POAL	128,798	332,537	32,475	0,003	0,006
P19-POAL	-764,028	135,383	-19,692	0,003	0,006

## Control Points

Name	WGS84 Latitude	WGS84 Longitude	WGS84 Ell.Height (m)	Code
FISICA	30°04'23,45140"S	51°07'11,18890"W	78,72	
POAL	30°04'26,55280"S	51°07'11,15320"W	76,75	

## GPS Observations

Name	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Horz RMS (m)	Vert RMS (m)
FISICA-P2	2442,964	-433,591	219,627	0,006	0,009
FISICA-P3	2435,264	-399,657	219,726	0,002	0,003
FISICA-P4	2214,009	-548,032	235,325	0,007	0,012
FISICA-P5	2192,709	-595,863	236,371	0,002	0,005
FISICA-P6	1961,324	-978,4	211,874	0,002	0,004
FISICA-P7	1623,738	-394,576	212,453	0,002	0,004
FISICA-P8	1496,3	-575,476	202,702	0,003	0,007
FISICA-P9	2071,084	-480,536	228,044	0,011	0,022
FISICA-P10	903,576	-2291,942	24,426	0,003	0,007
FISICA-P11	790,801	-2944,013	-42,683	0,002	0,004
FISICA-P11_novo	790,934	-2944,032	-42,687	0,003	0,007
FISICA-P12	2421,348	-2154,933	-16,272	0,006	0,009
FISICA-P13	3194,34	-2070,361	18,529	0,003	0,006
FISICA-P14	3084,529	1625,153	16,515	0,004	0,006
FISICA-P14_novo	3084,492	1625,114	16,485	0,002	0,005
FISICA-P15	2128,803	774,557	125,961	0,004	0,007
FISICA-P16	352,325	315,776	-5,543	0,001	0,002
FISICA-P17	310,334	-1958,132	-42,016	0,004	0,008
FISICA-P18	-224,252	-331,481	-34,488	0,002	0,003
FISICA-P19	668,561	-134,338	17,702	0,003	0,005
FISICA-POAL	-95,459	1,056	-2,018	0,001	0,001
FISICA-POAL	-95,457	1,057	-2	0,001	0,001
FISICA-POAL	-95,458	1,058	-1,994	0	0,001
P2-POAL	-2538,417	434,645	-221,616	0,002	0,003
P3-POAL	-2530,717	400,717	-221,715	0,001	0,002
P4-POAL	-2309,485	549,075	-237,297	0,005	0,006
P5-POAL	-2288,163	596,919	-238,373	0,002	0,003
P6-POAL	-2056,783	979,455	-213,881	0,002	0,003
P7-POAL	-1719,196	395,635	-214,447	0,001	0,003
P8-POAL	-1591,757	576,533	-204,697	0,003	0,009
P9-POAL	-2166,555	481,572	-230,004	0,019	0,034
P10-POAL	-999,041	2293	-26,423	0,005	0,011
P11-POAL	-886,26	2945,073	40,695	0,002	0,004

P11_novo-POAL	-886,396	2945,09	40,683	0,002	0,006
P12-POAL	-2516,807	2156	14,28	0,006	0,011
P13-POAL	-3289,793	2071,417	-20,541	0,002	0,004
P14-POAL	-3179,99	-1624,095	-18,522	0,004	0,006
P14_novo-POAL	-3179,948	-1624,059	-18,483	0,001	0,003
P15-POAL	-2224,259	-773,498	-127,966	0,002	0,003
P16-POAL	-447,78	-314,72	3,539	0,001	0,003
P17-POAL	-405,778	1959,183	40,007	0,005	0,008
P18-POAL	128,798	332,537	32,475	0,003	0,006
P19-POAL	-764,028	135,383	-19,692	0,003	0,006

## Point Summary

Name	WGS84 Latitude	WGS84 Longitude	WGS84 Ell.Height (m)	Code
FISICA	30°04'23,45140"S	51°07'11,18890"W	78,72	
P2	30°03'04,06906"S	51°07'27,28577"W	298,363	
P3	30°03'04,32036"S	51°07'26,01896"W	298,458	
P4	30°03'11,50282"S	51°07'31,56865"W	314,047	
P5	30°03'12,19354"S	51°07'33,35612"W	315,112	
P6	30°03'19,69684"S	51°07'47,65211"W	290,614	
P7	30°03'30,68551"S	51°07'25,86200"W	291,189	
P8	30°03'34,81931"S	51°07'32,62340"W	281,432	
P9	30°03'16,14900"S	51°07'29,05423"W	306,787	
P10	30°03'54,01011"S	51°08'36,75809"W	103,154	
P11	30°03'57,64681"S	51°09'01,11865"W	36,046	
P11_novo	30°03'57,64244"S	51°09'01,11931"W	36,053	
P12	30°03'04,70600"S	51°08'31,57052"W	62,458	
P13	30°02'39,59638"S	51°08'28,37637"W	97,276	
P14	30°02'43,29187"S	51°06'10,38048"W	95,255	
P14_novo	30°02'43,29318"S	51°06'10,38187"W	95,224	
P15	30°03'14,31598"S	51°06'42,17906"W	204,707	
P16	30°04'12,01571"S	51°06'59,38020"W	73,192	
P17	30°04'13,29715"S	51°08'24,31728"W	36,724	
P18	30°04'30,72556"S	51°07'23,57983"W	44,242	
P19	30°04'01,72642"S	51°07'16,18021"W	96,43	
POAL	30°04'26,55280"S	51°07'11,15320"W	76,75	

## Adjusted Points

Name	WGS84 Latitude	WGS84 Longitude	WGS84 Ell.Height (m)	Std Dev n (m)	Std Dev e (m)	Std Dev Hz (m)	Std Dev u (m)
P2	30°03'04,06906"S	51°07'27,28577"W	298,363	0,003	0,003	0,004	0,024
P3	30°03'04,32036"S	51°07'26,01896"W	298,458	0,002	0,002	0,003	0,016
P4	30°03'11,50282"S	51°07'31,56865"W	314,047	0,006	0,005	0,007	0,04
P5	30°03'12,19354"S	51°07'33,35612"W	315,112	0,002	0,002	0,003	0,021
P6	30°03'19,69684"S	51°07'47,65211"W	290,614	0,002	0,002	0,003	0,019



P7	30°03'30,68551"S	51°07'25,86200"W	291,189	0,002	0,002	0,003	0,019
P8	30°03'34,81931"S	51°07'32,62340"W	281,432	0,003	0,003	0,004	0,038
P10	30°03'54,01011"S	51°08'36,75809"W	103,154	0,003	0,004	0,005	0,041
P11	30°03'57,64681"S	51°09'01,11865"W	36,046	0,002	0,002	0,003	0,021
P11_novo	30°03'57,64244"S	51°09'01,11931"W	36,053	0,003	0,003	0,004	0,034
P12	30°03'04,70600"S	51°08'31,57052"W	62,458	0,006	0,005	0,008	0,05
P13	30°02'39,59638"S	51°08'28,37637"W	97,276	0,003	0,002	0,004	0,027
P14	30°02'43,29187"S	51°06'10,38048"W	95,255	0,004	0,004	0,005	0,032
P14_novo	30°02'43,29318"S	51°06'10,38187"W	95,224	0,002	0,002	0,003	0,02
P15	30°03'14,31598"S	51°06'42,17906"W	204,707	0,003	0,002	0,004	0,024
P16	30°04'12,01571"S	51°06'59,38020"W	73,192	0,002	0,002	0,002	0,015
P17	30°04'13,29715"S	51°08'24,31728"W	36,724	0,005	0,004	0,006	0,04
P18	30°04'30,72556"S	51°07'23,57983"W	44,242	0,002	0,002	0,003	0,02
P19	30°04'01,72642"S	51°07'16,18021"W	96,43	0,003	0,003	0,004	0,031

**ANEXO III**

Memoriais Descritivos das estações de referência



**RBMC - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS**  
**Relatório de Informação de Estação**  
**POAL - Porto Alegre**

## 0. Formulário

Preparado por: Centro de Controle Eng. Kátia Duarte Pereira - RBMC  
 Data: 04/01/1999  
 Atualização: 14/05/2013 - Troca de equipamento

## 1. Identificação da estação GPS

Nome da Estação: PORTO ALEGRE  
 Ident. da Estação: POAL  
 Inscrição no Monumento: Não há inscrição  
 Código Internacional: 91850  
 Informações Adicionais: Esta estação pertence à Rede de Densificação do IGS e à Rede de Referência do SIRGAS

## 2. Informação sobre a localização

Cidade: Porto Alegre  
 Estado: Rio Grande do Sul  
 Informações Adicionais: Estrutura de ferro, parafusada na parede de proteção da laje do prédio. Foi instalado um dispositivo de centragem forçada do tipo padrão do IBGE. Possui uma chapa, estampada: SAT 91850. Na viga de concreto, no alto do prédio do Departamento de Geodésia, no campus da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, situado na Av. Bento Gonçalves, 9500, em Porto Alegre.

## 3. Coordenadas oficiais

### 3.1. SIRGAS2000 (Época 2000.4)

Coordenadas Geodésicas			
Latitude:	- 30° 04' 26,5528"	Sigma:	0,001 m
Longitude:	- 51° 07' 11,1532"	Sigma:	0,002 m
Alt. Elip.:	76,75 m	Sigma:	0,002 m
Alt. Orto.:	71,85 m	Fonte:	GPS/MAPGEO2010
Alt. Orto.:	72,0000 m	Fonte:	Nivelamento Geométrico
Coordenadas Cartesianas			
X:	3.467.519,405 m	Sigma:	0,001 m
Y:	-4.300.378,537 m	Sigma:	0,001 m
Z:	-3.177.517,734 m	Sigma:	0,001 m
Coordenadas Planas (UTM)			
UTM (N):	6.673.004,053 m		
UTM (E):	488.457,545 m		
MC:	-51		

## 4. Informações do equipamento GNSS

### 4.1. Receptor

- 4.1.1 Tipo do Receptor - TRIMBLE NETR8  
 Número de Série - 4923K35528  
 Versão do Firmware - 4.70 (Principal)  
 Data de Instalação - 14/05/2013 às 15:02
- 4.1.2 Tipo do Receptor - TRIMBLE NETRS  
 Número de Série - 4644124542  
 Versão do Firmware - 1.2-0 (Principal)  
 Data de Instalação - 26/03/2008 às 00:00  
 Data de Remoção - 14/05/2013 às 15:02



## Relatório de Estação Geodésica

Estação :	91899	Nome da Estação :	91899	Tipo :	Estação Planimétrica GPS
Município :	PORTO ALEGRE			UF :	RS
Última Visita:	6/11/2003	Situação Marco Principal :	Bom		
Conexões :	RN : 3093J				

DADOS PLANIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	30 ° 04 ' 21,6566 " S	Altitude Ortométrica(m)	73,5415	Gravidade(mGal)	
Longitude	51 ° 07 ' 09,3217 " W	Fonte	Nivelamento Geométrico	Sigma Gravidade(mGal)	
Fonte	GPS Geodésico	Sigma Altitude (m)	0,06	Precisão	
Origem	Ajustada	Datum	Imbituba	Datum	
S Datum	SAD-69	Data Medição	6/11/2003	Data Medição	
A Data Medição	15/11/2001	Data Cálculo	15/6/2011	Data Cálculo	
D Data Cálculo	15/9/2002			Correção Topográfica	
6 Sigma Latitude(m)	0,004			Anomalia Bouguer	
9 Sigma Longitude(m)	0,010	Altitude Ortométrica(m)	73,95	Anomalia Ar-Livre	
UTM(N)	6.673.143,286	Altitude Geométrica(m)	75,89	Densidade	
UTM(E)	488.506,377	Sigma Altitude Geométrica(m)			
MC	-51	Fonte	GPS Geodésico		
		Data Medição	15/11/2001		
		Data Cálculo	28/6/2010		
		Modelo Geoidal	MAPGEO2010		
Latitude	30 ° 04 ' 23,4514 " S	Altitude Ortométrica(m)	73,82	Gravidade(mGal)	
S Longitude	51 ° 07 ' 11,1889 " W	Altitude Geométrica(m)	78,72	Sigma Gravidade(mGal)	
I Fonte	GPS Geodésico	Fonte	GPS Geodésico	Precisão	
R Origem	Ajustada	Data Medição	15/11/2001	Datum	
G Datum	SIRGAS2000	Data Cálculo	28/6/2010	Data Medição	
A Data Medição	15/11/2001	Sigma Altitude Geométrica(m)	0,012	Data Cálculo	
S Data Cálculo	23/11/2004	Modelo Geoidal	MAPGEO2010	Correção Topográfica	
2 Sigma Latitude(m)	0,002			Anomalia Bouguer	
0 Sigma Longitude(m)	0,002			Anomalia Ar-Livre	
0 UTM(N)	6.673.099,515			Densidade	
0 UTM(E)	488.456,489				
MC	-51				

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 15/06/2011 - Relatório em <ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/relatorioajustamento.pdf>
- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em [ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/rel\\_sirgas2000.pdf](ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/rel_sirgas2000.pdf)
- Ajustamento Planimétrico Global SAD-69 em 15/09/1996 - Relatório em [ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/rel\\_sad69.pdf](ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/rel_sad69.pdf)
- Dados Planimétricos para Fonte carta nas escalas menores ou igual a 1:250000, valores SIRGAS2000 = SAD-69

### Localização

No centro do terraço do prédio do Instituto de Física da UFRGS-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Campus do Vale, situado na Av. Bento Gonçalves, nº 9500, na Praça Prefeito Luis Martins, na cidade de Porto Alegre-RS.

### Descrição

Bloco quadrangular de concreto, medindo 0,30 m X 0,30 m, com 1,27 m de altura. No topo do marco existe um dispositivo de centragem forçada com rosca padrão universal. Próximo ao marco principal existem 8 (oito) marcos secundários.

### Observação

Não foi fixada chapa com código internacional.

Foto(s)



Mantenha-se atualizado consultando periodicamente o BDG.  
Agradecemos a comunicação de falhas ou omissões.  
Para entrar em contato conosco, utilize os recursos abaixo :  
Fale conosco: 0800 218181 Email: [ibge@ibge.gov.br](mailto:ibge@ibge.gov.br)



## Relatório de Estação Geodésica

Estação :	3093F	Nome da Estação :	3093F	Tipo :	Estação Altimétrica RN
Município :	PORTO ALEGRE			UF :	RS
Última Visita:	27/10/2006	Situação Marco Principal :	Bom		
Conexões :	EG : 8061786				

DADOS PLANIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	30 ° 04 ' 25 " S	Altitude Ortométrica(m)	62,7217	Gravidade(mGal)	979.298,39
Longitude	51 ° 07 ' 09 " W	Fonte	Nivelamento Geométrico	Sigma Gravidade(mGal)	
Fonte	GPS Navegação	Sigma Altitude (m)	0,06	Precisão	E <= 0,05 mGAL
Origem		Datum	Imbituba	Datum	RGFB
S Datum	SAD-69	Data Medição	6/11/2003	Data Medição	27/10/2006
A Data Medição	6/11/2003	Data Cálculo	15/6/2011	Data Cálculo	22/11/2011
D Data Cálculo				Correção Topográfica	
6 Sigma Latitude(m)				Anomalia Bouguer	-15,33
9 Sigma Longitude(m)				Anomalia Ar-Livre	-8,31
UTM(N)	6.673.040			Densidade	2,67
UTM(E)	488.515				
MC	-51				
Latitude	30 ° 04 ' 27 " S			Gravidade(mGal)	979.298,39
S Longitude	51 ° 07 ' 11 " W			Sigma Gravidade(mGal)	
I Fonte	GPS Navegação			Precisão	E <= 0,05 mGAL
R Origem	Transformada			Datum	RGFB
G Datum	SIRGAS2000			Data Medição	27/10/2006
A Data Medição	6/11/2003			Data Cálculo	22/11/2011
S Data Cálculo				Correção Topográfica	
2 Sigma Latitude(m)				Anomalia Bouguer	-19,09
0 Sigma Longitude(m)				Anomalia Ar-Livre	-12,07
0 UTM(N)	6.672.990			Densidade	2,67
0 UTM(E)	488.462				
MC	-51				

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 15/06/2011 - Relatório em <ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/relatorioajustamento.pdf>
- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em [ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/rel\\_sirgas2000.pdf](ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/rel_sirgas2000.pdf)
- Ajustamento Planimétrico Global SAD-69 em 15/09/1996 - Relatório em [ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/rel\\_sad69.pdf](ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/rel_sad69.pdf)
- Dados Planimétricos para Fonte carta nas escalas menores ou igual a 1:250000, valores SIRGAS2000 = SAD-69

### Localização

Chapa cravada em um muro de concreto ao sul do prédio N°. 43176, junto a uma curva 28 m a nordeste do prédio do departamento de Geodésia da U.F.R.G.S., em frente ao prédio do centro de microscópio eletrônico no Campus da U.F.R.G.S. em Porto Alegre-RS.

### Descrição

Chapa padrão IBGE, estampada: RN 3093-F.

Mantenha-se atualizado consultando periodicamente o BDG.  
Agradecemos a comunicação de falhas ou omissões.  
Para entrar em contato conosco, utilize os recursos abaixo.  
Fale conosco: 0800 218181 Email: [ibge@ibge.gov.br](mailto:ibge@ibge.gov.br)

**ANEXO IV**  
Produtos Cartográficos Gerados