

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia
CEPSRM
Programa de Pós Graduação em Sensoriamento Remoto
MESTRADO

MODELO CARTOGRÁFICO DIGITAL
TEMÁTICO PARA SIMULAÇÃO E
PREVISÃO DE INUNDAÇÕES NO
MUNICÍPIO DE
PORTO ALEGRE - RS.

Autor: Eduardo da Silva Valenti – Engenheiro Cartógrafo
Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Silvia Beatriz Alves Rolim
(01/12/2009 a 28/09/2010)
Orientador: Prof. Dr. Ronaldo dos Santos da Rocha
(03/03/2008 a 30/11/2009)

Porto Alegre, RS
2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia
CEPSRM
Programa de Pós Graduação em Sensoriamento Remoto
MESTRADO

MODELO CARTOGRÁFICO DIGITAL TEMÁTICO PARA
SIMULAÇÃO E PREVISÃO DE INUNDAÇÕES NO MUNICÍPIO DE
PORTO ALEGRE - RS.

Autor: Eduardo da Silva Valenti – Engenheiro Cartógrafo
Orientadora: Prof^a. Dr^a. Silvia Beatriz Alves Rolim
(01/12/2009 a 28/09/2010)
Orientador: Prof. Dr. Ronaldo dos Santos da Rocha
(03/03/2008 a 30/11/2009)

Banca Examinadora:

Prof^a. Dr^a. Silvania Maria Netto (UNIP)

Prof^a. Dr^a. Andréa Lopes Iescheck (IGEO/ UFRGS)

Prof^a. Dr^a. Tânia Marques Strohaecker (IGEO/ UFRGS)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós
Graduação da Universidade Federal do Rio
Grande do Sul para obtenção do título de Mestre
em Sensoriamento Remoto.

Porto Alegre – RS
Setembro de 2010

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus de Meu coração, ao Deus de minha compreensão, por mais esta oportunidade de trabalhar em favor de algo útil e engrandecedor a serviço da humanidade e do planeta. Agradeço a minha tão doce e querida esposa, que dona de uma paciência fora do comum soube me entender e relevar minhas faltas de humor e dificuldades no desenvolvimento desta dissertação. Esteve sempre ao meu lado apoiando e incentivando meu caminhar nesta jornada que não foi fácil. Gostaria de te dizer que: “Te Amo Xuxu”. Aos meus pais que me proporcionaram uma infância e uma formação de qualidade, dando-me a oportunidade de vencer mais esta etapa de minha vida. Ao professor Dr. Ronaldo dos Santos Rocha que me incentivou a começar esta jornada um tanto desconhecida para mim. A professora Dra. Silvia Beatriz Alves Rolim, que me apoiou desde o início e com sua força, habilidade e incrível senso de grandeza, fez com que eu continuasse e persistisse na minha trajetória de concluir este trabalho. Ao colega Eng. Cartógrafo Jefferson Martins, que esteve sempre junto nas horas boas e ruins, incentivando e ajudando constantemente. A Universidade Federal do Rio Grande do Sul, por nos proporcionar um centro de estudo de referência. Ao Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia - CEP SRM, que nos proporcionou a possibilidade de realizarmos esta especialização. Ao LABGEO, pelo professor Mestre Heinrich Hasenack e ao Eng. Cartógrafo Lucio Lucatelli que muito me ajudaram com a obtenção de dados para este trabalho. E aos demais colegas que direta ou indiretamente contribuíram nesta caminhada. Aos colegas da Prefeitura que contribuíram com dados muito importantes a execução deste trabalho. Enfim a todos que de uma forma ou outra participaram deste processo.

"Rompi as amarras que me prendiam, paguei as minhas dívidas, e a minha porta se abriu. Vou-me embora para todos os lugares!

Eles continuam em seu canto, encolhidos, tecendo a pálida roupa de suas horas, ou tornam a sentar-se no chão e me chamam de volta.

Mas eu já forjei a minha espada, vesti a minha armadura, e o meu cavalo se impacienta. Vou conquistar o meu reino!"

Do livro "A Colheita" - Rabindranath Tagore.

RESUMO

Desastres naturais sempre fizeram parte da vida dos seres humanos, porém nos últimos anos devido ao crescimento dos grandes centros urbanos, da dificuldade de aplicação e cumprimento de políticas de preservação ambiental e de alterações climáticas crescentes, as catástrofes naturais estão se tornando comuns, e no caso particular deste estudo os danos causados por cheias têm afetado as populações próximas aos leitos hídricos, causando prejuízos materiais, mortes, desaparecimentos, flagelados e desalojados.

Para se conhecer melhor o comportamento destes eventos extremos e aumentar a segurança evitando com isto a perda de vidas e minimizando o prejuízo econômico que advém destes desastres, se faz necessário um estudo das possíveis áreas afetadas identificando os locais de risco e quantificando a criticidade de um evento de grande magnitude.

Com base em estudos de eventos anteriores, como os registros de grandes enchentes, e utilizando técnicas modernas de posicionamento por GPS (*Global Positioning System*), processamento digital de imagens geradas por satélites e representação temática do nivelamento geométrico destas cheias, pode-se reproduzir em modelos estes eventos e quantificá-los com uma boa precisão de seus efeitos nos dias atuais.

A simulação destes eventos extremos em um modelo de base confiável que, disponibilizado à defesa civil, traz um conhecimento prévio dos possíveis efeitos de uma ocorrência deste tipo, onde poderão ser planejadas rotas de fugas e ações mitigadoras, minimizando perdas de vidas e grandes prejuízos econômicos. Os mesmos modelos servem também de ferramenta de análise de impacto e planejamentos para melhoria do plano diretor de desenvolvimento social, econômico, ambiental e pesquisas na área acadêmica.

Os modelos apresentados contemplam apenas uma pequena parte das possibilidades que um trabalho como este viabiliza na área da pesquisa. Os mapas temáticos com as curvas de nível, médias das enchentes registradas, área destinada à preservação ambiental da orla do rio e o mapa das regiões onde o evento extremo de 41 atingiu, ficam disponibilizados para livre utilização.

Palavras-chave: evento meteorológico extremo; imagem de alta resolução espacial; mapa digital temático; rota de fuga.

ABSTRACT

Natural disasters have always been part of the human lives, but in recent years due to growth of large urban centers, the difficulty of implementation and compliance of environmental preservation policies and increasing climate change, natural disasters are becoming common, and in the particular case of this study the damage caused by floods have affected populations beds near the water resources, causing material damage, deaths, disappearances, flagellates and homeless.

To better understand the behavior of these extreme events and increase safety avoiding the lives loss and minimizing the economic losses that arise from these disasters, it is necessary to study the possible affected areas identifying the risk sites and quantifying the criticality of an event of great magnitude.

Based on studies of past events, as the records of large floods, and using modern techniques of GPS positioning, digital image processing generated by satellites and thematic representation of capping geometry of these floods, we can play in these models events and quantify them with a good accuracy of its effects today.

The simulation of these extreme events in a confident base model that available to bring the civil defense prior knowledge of the possible effects of an event this kind, which may be planned escape routes and mitigating actions minimizing loss of life and large economic losses. The same models also serve as analysis impact tool and planning for improvement of the master plan for social development, economic, environmental and research in the academic area.

The models presented cover only a small part of the possibility that a work like this enables on research area. Thematic maps with contour lines, medium flood recorded, for environmental conservation area bordering the river and the map of the regions where the extreme event of 41 hit, are available for free use.

Keywords: extreme weather event, a high resolution image space; digital thematic map; escape route.

Lista de Figuras

Figura 1 - Nivelamento Geométrico (Barbosa, 2003)	17
Figura 2 - Nivelamento Geométrico Simples (Barbosa, 2003)	18
Figura 3 - Nivelamento Geométrico Composto (Barbosa, 2003).....	18
Figura 4 - Imagem ilustrativa de um sensor remoto mostrando as partes que o constituem ...	25
Figura 5 - Imagem ilustrativa mostrando a relação tamanho do pixel e resolução	26
Figura 6 - Imagem do campo instantâneo de visada - IFOV	27
Figura 7 - Distorções nas imagens dos satélites em função da plataforma.....	28
Figura 8 -Aplicação da Transformação Linear.....	29
Figura 9 -Interpolação por vizinho mais próximo.....	30
Figura 10 -Ilustração da Plataforma do Sensor Ikonos.....	31
Figura 11 - Ilustração da constelação de Satélites GPS.....	33
Figura 12 -Estrutura básica do sinal GPS	34
Figura 13 -Estações do Sistema de Controle GPS.....	34
Figura 14 -Imagem GPS L1 ProMark3 - Thales	36
Figura 15 - Imagem da determinação da Ondulação Geoidal – MAPGEO2010	43
Figura 16 - Mapa do Rio Grande do Sul – IBGE.....	47
Figura 17 – Ilustração do Mapa da Cidade de Porto Alegre	48
Figura 18 - Imagem ilustrativa da área de estudo, retirada do Google Earth.....	49
Figura 19 - Picos das enchentes ocorridas em cada Ano	53
Figura 20 - Ilustração da área ocupada pela enchente e representação do sistema de proteção de cheias	54
Imagem obtida na disciplina de Ocupação do Espaço Urbano – Graduação em Engenharia Cartográfica.	54
Figura 21 – Croqui da régua de medida de nível do rio.....	56
Figura 22 - Croqui Nivelamento e Contranivelamento Geométrico	58
Figura 23 - Croqui do nivelamento geométrico de transporte de altura da RN1782Z	59
Figura 24 – Ilustração da imagem fornecida durante Graduação Engenharia Cartográfica. ...	61
Figura 25 - Imagem da contagem de pixels no campo de Atletismo, SOGIPA.....	62
Figura 26 - Imagem da medida realizada do comprimento do campo no software AUTOCAD MAP.....	62
Figura 27 - Recorte da imagem original para imagem da área utilizável	63
Figura 28 – Ilustração da imagem produto do recorte no ENVI	64
Figura 29 - Pontos selecionados no <i>Google Earth</i>	66
Figura 30 - Croqui dos Pontos de Controle Jefferson Martins.....	68
Figura 31 – Ilustração do arquivo com as curvas de nível em UTM e SAD69.....	70
Figura 32 - Imagem das curvas de nível fornecidas pelo LABGEO	71
Figura 33 - Curvas coloridas acompanhando o avanço das águas	72
Figura 34 - Eliminação das curvas de 0m	73
Figura 35 - Eliminação das curvas de 1m	74
Figura 36 - Eliminação das curvas de 2m	75
Figura 37 - Eliminação das curvas de 3m	76
Figura 38 - Eliminação das curvas de 4m	77
Figura 39 - Eliminação das curvas de 5m	78
Figura 40 - Imagem do MDE gerado a partir das curvas de nível.....	79
Figura 41 – Ilustração dos pontos selecionados para georeferenciamento da Imagem.....	80
Figura 42 - Imagem do resultado do registro dos 21 pontos de controle selecionado para imagem.....	82
Figura 43 - Construção do arquivo RPC.....	84
Figura 44 - Imagem de parte do processamento de ortorretificação de Imagem	85

Figura 45 – Ilustração da imagem ortorretificada da área de estudo	86
Figura 46 - Imagem da Superfície 3D resultado da ortorretificação	87
Figura 47 - Recorte da coleta dos dados na imagem e comparação com o ponto	87
Figura 48 - Imagem da separação das curvas por cota de 2m a 5m	88
Figura 49 - Imagem da separação das curvas por cota de 2m a 15m	89
Figura 50 - Representação das áreas abrangidas pelas cotas de 4 e 5m.....	90
Figura 51 - Imagem de uma planta da área central de Porto Alegre no ano de 1772.....	91
Figura 52 - Gráfico com alturas de enchentes na cidade de Porto Alegre	92
Figura 53 - Curva de nível de 3m, provável linha do leito maior.....	93
Figura 54 - Imagem com as áreas cobertas pelas cheias por níveis altimétricos	104
Figura 55 - Imagem mostrando a proximidade das curvas de 4m e 5m	105
Figura 56 - Imagem com a área limite de preservação de 200m.....	106
Figura 57 - Imagem com a curva que representa o limite máximo do leito maior.....	107
Figura 58 - Curvas de nível de enchentes históricas.....	111
Figura 59 - Linha da média das cheias normais já ocorridas	112
Figura 60 - Linha limite de 200m da região que abrange a área de preservação ambiental ..	113
Figura 61 - Níveis de inundação e curva limite de 15m	114
Figura 62 - Cópia da ficha da praça da Harmonia.....	140

Lista de Fotos

Fotografia 1: EDU PT 13 - 2/6/2010 - 19:37 - Canteiro Av. Plínio Brasil Milano com Av. Alfredo Correa Daudt	131
Fotografia 2: EDU PT 17 - 2/6/2010 - 20:21 - Canteiro AV. Dr. Nilo Peçanha com Av. João Wallig.....	131
Fotografia 3: EDU PT 06 - 3/6/2010 - 06:47 - Canteiro Av. Edivaldo Pereira Paiva - Gasômetro	131
Fotografia 4: EDU PT 08 - 3/6/2010 - 07:23 - Rótula Av. Edivaldo Pereira Paiva com Av. Aureliano de Figueiredo Pinto.....	132
Fotografia 5: EDU PT 02 - 3/6/2010 - 08:03 - Canteiro da Av. Praia de Belas com Av. Borges de Medeiros	132
Fotografia 6: EDU PT 07 - 3/6/2010 - 08:41 - Canto espelho d'água Monumento da Marinha - Parque Marinha do Brasil.....	132
Fotografia 7: EDU PT 21 - 3/6/2010 - 09:21 - Canto da ponte dos Açorianos lado da Av. Loureiro da Silva	133
Fotografia 8: EDU PT 05 - 3/6/2010 - 10:03 - Canto espelho d'água Praça Central Chafariz - Parque Farroupilha.....	133
Fotografia 9: EDU PT 04 - 3/6/2010 - 10:48 - Canteiro Central da Av. da Azenha com Av. Ipiranga	133
Fotografia 10: EDU PT 03 - 3/6/2010 - 11:25 - Canteiro Central da Av. Cel Gastão Haslocher Mazon com Av. Cascatinha.....	134
Fotografia 11: EDU PT 11 - 3/6/2010 - 12:11 - Canto do contorno Av. Salvador França com Av. Ipiranga.....	134
Fotografia 12: EDU PT 10 - 3/6/2010 - 12:56 - Canto Av. Cel Corte Real com Av. Ipiranga	134
Fotografia 13: EDU PT 15 - 3/6/2010 - 13:47 - Canteiro Av. Sertório com Rua Santos Pedroso	135
Fotografia 14: EDU PT 16 - 3/6/2010 - 14:22 - Esquina Rua Conde de Porto Alegre com Rua do Parque.....	135
Fotografia 15: EDU PT 18 - 3/6/2010 - 15:17 - Dormente número 39 amarração de navios, Cais do Porto - Vão central	135
Fotografia 16: EDU PT 14 - 3/6/2010 - 16:02 - Ponto ao lado do banco de praça - Parque Moinhos de Vento.....	136
Fotografia 17: Rastreamento RN 1788 B.....	136
Fotografia 18: Rastreamento RN 1788 B.....	136
Fotografia 19: Rastreamento RN 1782 Z.....	137
Fotografia 20: Rastreamento RN 1782 Z.....	137

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Dados fornecidos pelo IBGE sobre a RN1788A	57
Tabela 2 - Dados fornecidos pelo IBGE sobre a RN1782Z.....	59
Tabela 3 - Tabela com o os dados de rastreio dos Pontos de Controle.....	67
Tabela 4 - Pontos de Controle cedidos pelo Colega Jefferson Martins	68
Tabela 5 - Dados fornecidos pelo IBGE sobre a RN1782Z e RN1788B.....	69
Tabela 6 - Pontos selecionados para o georeferenciamento da imagem.....	81
Tabela 7 - Resumo dos pontos registrados.....	82
Tabela 8 - Tabela com Resultado do Cálculo do Nivelamento e Contranivelamento.....	94
Tabela 9 - Cota da RN 1782Z.....	95
Tabela 10 - Tabela com valores planialtimétricos ajustados.....	98
Tabela 11 - Comparação da Ondulação Geoidal do levantamento e fornecida no MAPGEO	99
Tabela 12 - Tabela com correção para altitudes Ortométrica dos pontos rastreados	100
Tabela 13 - Diferenças entre as coordenadas de campo e na imagem.....	101
Tabela 14 - Diferenças entre coordenadas das curvas de nível e pontos na imagem	102

Lista de Siglas

AAF:	<i>American Air Force</i>
AS:	<i>Anti-spoof flag</i>
BIH:	<i>Bureau International de l'Heure</i>
BANRISUL:	Banco do Estado do Rio Grande do Sul
C/A:	<i>Coarse Acquisition</i>
CAFF:	Centro Administrativo Fernando Ferrari
CCD:	Charge Coupled Device
CTP:	<i>Conventional Terrestrial Pole</i> – Pólo Terrestre Convencional
DAER:	Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem
DEM:	<i>Digital Elevation Model</i>
DoD:	Department of Defense
DN:	Diferentes Níveis
DNOS	Departamento Nacional de Obras de Saneamento
EP:	Erro Padrão
GIS:	<i>Geographic Informatio System</i>
GPC:	<i>Ground Point Control</i>
GPS:	<i>Global Positioning System</i>
IAG:	Associação Internacional de Geodésia
IBGE:	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFOV:	<i>Instantaneuos Field of View</i>
IPERGS:	Instituto de Previdência do Estado do Rio Grande do Sul
IPGH:	Instituto Pan-Americano de Geografia e História
INCRA:	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
MAPA:	Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento
MARGS:	Museu de Artes do Rio Grande do Sul
MDE:	Modelo Digital de Elevação
MDT:	Modelo Digital do Terreno
MMQ:	Método dos Mínimos Quadrados
NAVSTAR-GPS:	<i>NAVigation Satellite with Time And Ranging</i>
NIMA:	National Imagery and Mapping Agency
NMM:	Nível Médio dos Mares
PAN:	Pancromático

PC:	Pontos de Controle
PD:	Pseudodistâncias
PDI:	Processamento Digital de Imagens
PEC:	Padrão de Exatidão Cartográfico
PIXEL:	<i>Picture element</i>
PMRG:	Projeto Mudança do Referencial Geodésico
PROCERGS:	Centro de Processamento do Estado do Rio Grande do Sul
RBMC:	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
REM:	Radiação Eletromagnética
RGB:	<i>Red, Green, Blue</i>
RPC:	<i>Rational Polynomial Camera</i>
RMS:	<i>Root Mean Square</i>
RN:	Rede de Nivelamento
SAD69:	<i>South America Datum 1969</i>
SERPRO:	Serviço Federal de Processamento de Dados
SIRGAS2000:	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas 2000
SGE:	Serviço Geográfico do Exército
SPH:	Superintendência de Portos e Hidrovias
SMOV:	Secretaria Municipal de Obras e Viação
TIFF:	<i>Tagged Image File Format</i>
TIN:	<i>Triangular Irregular Network</i>
UTM:	<i>Universal Transversa</i> de Mercator
WGS:	<i>World Geodetic System</i>

Lista de Anexos

1.	ANEXO – Pontos de Controle.....	119
2.	ANEXO – Nivelamento Geométrico	130
3.	ANEXO – Levantamento GPS L1	131
4.	ANEXO – Criação Arquivo RPC - ENVI.....	138
5.	ANEXO – Ficha 1941	140

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. Motivação	15
1.2. Objetivo Geral.....	16
1.3. Objetivos Específicos	16
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1. Nivelamento Geométrico.....	17
2.1.1. O nivelamento geométrico simples ou composto.....	18
2.1.2. Referencial de Nível	19
2.2. Cartografia	19
2.3. Cartografia Temática.....	20
2.4. Cartografia Digital.....	20
2.5. Controle e Avaliação da Qualidade Cartográfica	21
2.5.1. Classificação de uma Carta quanto à Exatidão:	21
2.5.2. Classes de Cartas:	21
2.5.3. Erros de Levantamento	22
2.6. Sensoriamento Remoto.....	23
2.6.1. Sistema sensor.....	24
2.6.2. Resolução Espacial da Imagem no Sensoriamento Remoto	26
2.7. Correção Geométrica da Imagem.....	27
2.7.1. Distorções da Imagem	28
2.7.2. Correção Geométrica.....	28
2.7.3. Reamostragem.....	29
2.8. Imagens IKONOS II.....	30
2.8.1. Características do sensor IKONOS II.....	31
2.9. Sistema de Posicionamento Global	32
2.9.1. Sistema de Controle.....	34
2.9.2. Receptores GPS.....	35
2.9.3. Técnicas de Processamento do Sinal GPS	35
2.10. Exemplo de Receptor GPS	36
2.11. Modelo Digital do Terreno	37
2.12. Sistema Geodésico de Referência	38
2.13. Pontos de Controle da Imagem - Georeferenciamento	39
2.14. Ajustamento de Observações.....	41
2.15. Ortorectificação	42
2.16. Determinação da Ondulação Geoidal.....	42
2.17. Processamento Digital de Imagem.....	43
2.18. Áreas de Preservação Ambiental	44
2.19. Alterações Causadas pela Urbanização Desordenada	46
2.20. Inundação Urbana	46
3. MATERIAIS E MÉTODO.....	47
3.1. Caracterização Da Área De Estudo.....	47
3.2. Materiais	50
3.2.1. Recursos computacionais.....	50
3.2.2. Banco de Dado Computacionais	50
3.2.3. Equipamentos Utilizados	50
3.3. Procedimentos Metodológicos.....	51
3.3.1. Fluxograma do Método.....	51
3.3.2. Pesquisa de Enchentes Ocorridas em Porto Alegre.....	52

3.3.3. A enchente de 41	53
3.3.4. Pesquisa Histórica de Referências da Enchente de 1941.....	55
3.3.5. Nivelamento Geométrico	56
3.3.6. Imagem IKONOS II	60
3.3.7. Determinação do Tamanho do Pixel da Imagem	61
3.3.8. Recorte da Imagem.....	63
3.3.9. Pontos de Controle para o Georeferenciamento da Imagem	64
3.3.10. Determinação da Ondulação Geoidal	69
3.3.11. Modelo Digital de Elevação.....	70
3.3.12. Ortoretificação da Imagem	80
3.3.13. Avaliação da Ortoretificação	87
3.3.14. Composição da Imagem com as Curvas de Nível.....	88
3.3.15. Áreas de Incidências de Enchentes.....	91
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	94
4.1. Nivelamento das placas da Enchente de 1941	94
4.2. Nivelamento da RN 1782Z.....	94
4.3. Definição da Cota Atual da Enchente	95
4.4. Aquisição e Ajustamento dos Pontos de Controle.....	97
4.5. Avaliação da Ondulação Geoidal.....	99
4.6. Resultado da Ortoretificação da Imagem IKONOS II	101
4.7. Montagem do Modelo e Análise das Áreas Atingidas por Enchente.....	102
4.7.1. Outros modelos obtidos deste trabalho se dividem assim	105
5. CONCLUSÕES	108
5.1. Mapa Temático das Curvas de Inundação	111
5.2. Mapa Temático das Médias das Enchentes	112
5.3. Mapa Temático da Área de Preservação Ambiental	113
5.4. Mapa Temático das Áreas de Risco de Enchente	114
6. BIBLIOGRAFIA	115

1. INTRODUÇÃO

A humanidade, desde seus primeiros agrupamentos, sempre teve seus assentamentos localizados às margens de rios, por serem fontes de água, transporte, alimentação, etc. Estes assentamentos sempre ocorreram de forma pouco planejada, tendo normalmente como área ocupada o leito maior dos rios e também suas planícies de inundação. Com os períodos chuvosos há uma tendência natural dos rios extravasarem seu leito menor e ocasionarem principalmente às populações de baixa renda problemas de saúde e danos patrimoniais, podendo inclusive inviabilizar o dia a dia desta comunidade (Eckhardt, 2008).

Eventos meteorológicos extremos remetem a história da cidade de Porto Alegre onde, no passado, inundações do delta do Jacuí atingiram as áreas mais baixas e planas da cidade. O maior evento de cheia registrado do rio Guaíba e de inundação da cidade foi no ano de 1941, em que grande parte da área urbana central foi atingida. Após este evento foram planejadas e executadas obras de construções de diques e bombeamento de água no entorno da área urbana de Porto Alegre, procurando evitar ou minimizar os impactos de um novo evento desta magnitude. Como este sistema de proteção nunca chegou a ser testado, a posse de um bom plano de emergência por parte dos órgãos de defesa civil pode facilitar em muito os trabalhos de prevenção e evitar perdas de vidas. Para a preparação de um bom plano de emergência, é necessário partir de uma base de informações bem fundamentada e precisa da região geográfica de interesse, proporcionando uma estimativa sobre as possíveis consequências de eventos desta natureza. Com o estudo do evento extremo ocorrido em 1941 e a simulação do mesmo nos dias atuais, utilizando uma base cartográfica e imagens de satélite de alta resolução, gera-se mapas que identificam as áreas de risco caso ocorra um novo evento desta natureza, e possibilita uma rápida tomada de decisão para proteção da população.

1.1. Motivação

Em 1941 entre os meses de abril e maio, o ano da grande enchente do Guaíba, as chuvas atingiram a marca de 791mm, deixando a cidade de Porto Alegre com cerca de 70 mil flagelados (um quarto da população), sem energia elétrica, água potável, estabelecimentos comerciais foram fechados, fábricas pararam, o Mercado Público fechou, alagaram-se os Correios e Telégrafos, a Estação Ferroviária e o Aeroporto Municipal pararam de funcionar. O prejuízo econômico calculado na época pela Comissão de Restauração Econômica formada

pelo Governo do Estado foi de 30 milhões de dólares. O prejuízo social e humano foi incalculável.

Caso ocorra outro evento desta magnitude, nos dias atuais, mesmo com a proteção do muro da Mauá e todo sistema de taludes e polders que circundam e protegem parte da cidade, os órgãos públicos estariam preparados? Se a mesma enchente ocorresse nos dias de hoje, em quais ruas e avenidas seriam atingidas? Os sistemas de transportes como o trem metropolitano, o aeroporto, a estação rodoviária, os terminais de ônibus urbanos seguiriam funcionando? Haveria desabastecimento de água potável e energia elétrica? O comércio e os Hipermercados abasteceriam a população? Como ficaria Porto Alegre nos dias de hoje?

1.2. Objetivo Geral

Recriar situações pretéritas de eventos extremos de inundação, bem como simular os mesmos para cenários futuros com base na fusão de imagens de satélite de alta resolução em modelos digitais de terreno equivalente.

1.3. Objetivos Específicos

- Modelagem topográfica com modelo digital de elevação gerado a partir de dados planialtimétricos da cidade de Porto Alegre com ajustamento de todo este conjunto às RRNN de referência altimétrica (RN IBGE).
- Fusão de modelo digital de elevação com imagens IKONOS de alta resolução.
- Simulação de cenários com modelagem numérica dinâmica.
- Viabilizar uma ferramenta adequada ao planejamento ágil na tomada de decisões no caso de uma nova enchente na cidade aos órgãos de defesa civil e à comunidade.
- Disponibilizar uma base de informações, a partir de mapas digitais temáticos com precisão planimétrica de 4m e altimétrica de 1m;

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Nivelamento Geométrico

Conhecer e determinar a diferença de altitudes de pontos na superfície da Terra é uma necessidade para desenvolver qualquer tipo de trabalho de engenharia. Dentre os vários métodos de nivelamento, a saber, o geométrico, o trigonométrico, o barométrico, fotogramétrico e com GPS, o nivelamento geométrico é usado devido a sua grande precisão na obtenção de dados refinados (Moreira, 2003).

O nivelamento Geométrico é uma técnica usada a partir do seguinte princípio: um nível óptico, devidamente nivelado em relação à normal de um ponto do local (prumo vertical), descreve um plano paralelo a superfície a ser levantada (plano perpendicular ao vetor gravidade), sendo este plano a referência das medidas de distâncias do solo até o mesmo, utilizando-se para isto miras (réguas verticais com graduações centimétricas e ou milimétricas). As distâncias verticais referenciadas ao nível médio dos mares (N.M.M.) são denominadas de Altitudes, já as medidas realizadas em um ponto qualquer da superfície em questão são denominadas de Cotas (Barbosa, 2003).

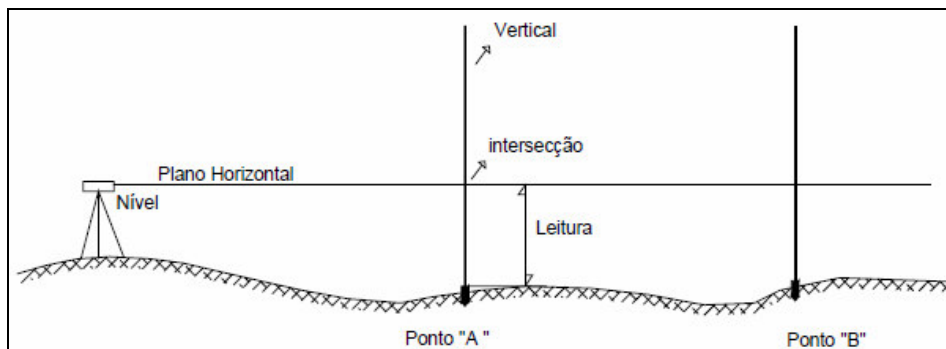


Figura 1 - Nivelamento Geométrico (Barbosa, 2003)

O nivelamento geométrico clássico proporciona exatidão e precisão da ordem de décimo de milímetros e por isso é o método utilizado em trabalhos como a implantação de redes altimétricas de 1ª ordem, controles de obras, locação de máquinas entre outros (Moreira, 2003).

2.1.1. O nivelamento geométrico simples ou composto.

Na figura 2 o instrumento de medida, a saber, o nível óptico, fica posicionado numa única estação, e as miras eqüidistantes no máximo 50m do instrumento, evitando assim os problemas da curvatura da Terra.

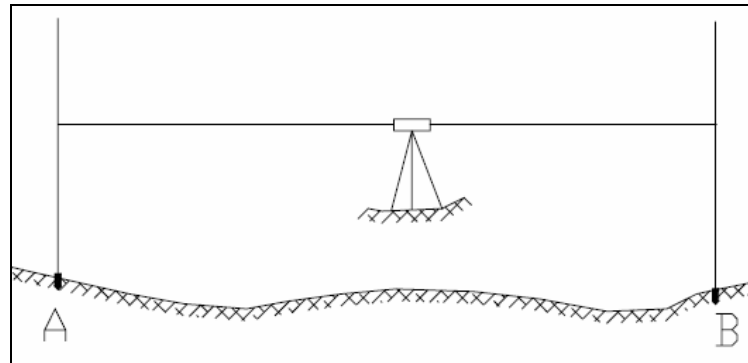


Figura 2 - Nivelamento Geométrico Simples (Barbosa, 2003)

Na figura 3 devido aos desníveis do terreno e das distâncias a serem niveladas, torna-se necessário que o instrumento seja colocado em várias estações, particionando assim os trechos em seções menores de nivelamentos simples.

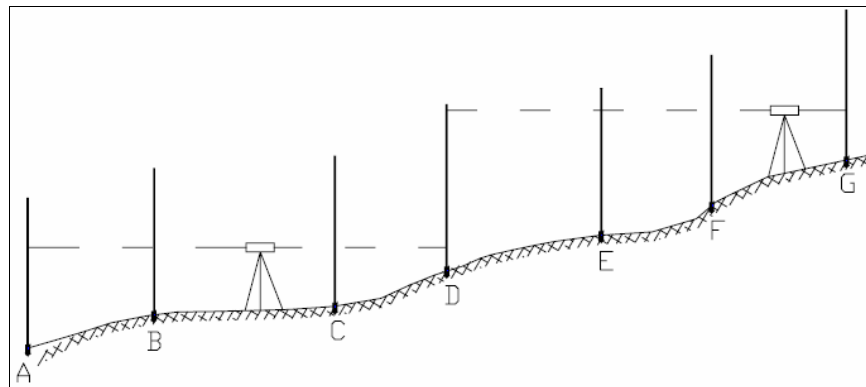


Figura 3 - Nivelamento Geométrico Composto (Barbosa, 2003)

O nivelamento geométrico pode ser realizado na forma de poligonais abertas ou fechadas. No caso de poligonais abertas deve ser realizado o contranivelamento, ou seja, o retorno ao ponto de partida para fazer o fechamento das diferenças de nível, aferindo e distribuindo assim os erros do levantamento. No caso de poligonais fechadas, concluí-se o nivelamento no mesmo ponto onde se iniciou o trabalho (Barbosa, 2003).

2.1.2. Referencial de Nível

A Altitude ou a Cota do ponto de partida, dever ser conhecida ou arbitrada para que se possa realizar o cálculo das verticais niveladas. Com o nível estacionado e nivelado num ponto qualquer, denominado de Estação, é feita a primeira visada à ré (Leitura de Ré) no ponto de referência do nivelamento. A próxima leitura será a visada a Vante (Leitura de Vante). Quando é necessário realizar medidas em distâncias maiores, faz-se uma leitura a Vante de Mudança, o qual servirá de referencial de partida para um novo plano de nivelamento, sendo utilizado como de leitura a ré (Barbosa, 2003).

2.2. Cartografia

O termo cartografia é definido de um modo geral como o estudo, conceituação e aplicação de técnicas artísticas e científicas que têm como objetivo final gerar representações planas e precisas de objetos da superfície da Terra ou outra superfície qualquer a ser modelada (Associação Cartográfica Internacional, 1966). Representações estas, que proporcionam ao ser humano, realizar planejamentos em várias áreas do conhecimento, principalmente transformando e até preservando o meio ambiente onde habita.

A cartografia durante muito tempo teve seus mapas e cartas registradas em papel, peles de animal, pedras ou outros materiais destinados a registrar o modelo da superfície que se propunha a representar. Ainda hoje, a maioria das cartas e mapas está armazenada sob a forma de produtos analógicos (papel). Este produto analógico traz algumas conseqüências limitantes, como a de amarrar a escala à quantidade de informações a representar e o grau de precisão com que estas informações são registradas.

Com o advento da cartografia digital, abriu-se um novo campo de possibilidades e técnicas que favorecem em muito a aplicação versátil das informações físicas do espaço a ser representado.

As técnicas cartográficas são aplicadas em várias áreas da vida humana como:

- Cadastro Urbano e Rural
- Planejamento Urbano e Rural
- Gerenciamento Urbano e Rural
- Redes de Água, Esgoto, Telefonia, Energia Elétrica e Gás Natural
- Definição de Áreas de Preservação Ambiental, etc.

2.3. Cartografia Temática

A técnica que agrega informações de interesse a uma dada área específica de estudo é a Cartografia Temática, pois permite representar um dado de interesse direto de forma qualitativa e quantitativa. A informação Cartográfica de representação do espaço físico serve de base para a inserção do dado específico para o usuário a que se destina (Oliveira, 1993).

Mapas temáticos tratam-se de documentos em quaisquer escalas em que sobre um fundo geográfico básico, são representados os fenômenos geográficos, geológicos, demográficos, econômicos, agrícolas, etc., visando ao estudo, à análise e à pesquisa dos temas, no seu aspecto espacial (Martinelli, 1991).

2.4. Cartografia Digital

Conforme Rocha (2002), onde cita Brandão (2001):

“O termo mapa digital ou modelo cartográfico digital, deve ser compreendido como o conjunto de registros das informações cartográficas, através de entidades gráficas e alfanuméricas armazenadas na forma digital, cuja interpretação por programas específicos permite a sua apresentação na forma cartográfica e, também, a realização de análises espaciais a partir da estrutura topológica construída e da vinculação das entidades gráficas com os dados alfanuméricos”.

A Cartografia Digital ou Cartografia Assistida por computador deve ser vista não apenas como um processo de automação de métodos manuais, mas sim como um meio para se buscar ou explorar novas maneiras de lidar com dados espaciais (Taylor, 1991). Um Sistema de Cartografia Digital pode ser compreendido como um conjunto de ferramentas, incluindo programas e equipamentos, orientado para a conversão para o meio digital, armazenamento e visualização de dados espaciais. Um sistema de Cartografia Digital tem como ênfase a produção final de mapas (Filho, 2000).

Com estas mudanças melhoraram as formas de obtenção de dados independentemente da escala de representação, e a capacidade de acrescentar informações de várias características do terreno em camadas que podem ser selecionadas de acordo com o objetivo de uma pesquisa específica, sem, no entanto, ter um conjunto de informações, poluindo o cenário

geral, e também dispensando a necessidade de particionar um mapa em várias cartas, muitas vezes dispersando a informação e criando zonas de conflito e descontinuidade do registro.

2.5. Controle e Avaliação da Qualidade Cartográfica

Um produto cartográfico tem sua exatidão e qualidade geométrica definidas conforme o decreto 89.817 de 20 de junho de 1984. Através deste decreto são estabelecidas as instruções reguladoras das normas técnicas da Cartografia Brasileira, definindo assim os padrões sobre a precisão de um trabalho cartográfico a ser utilizado no território nacional, e também a classificação de cartas quanto a sua exatidão.

O Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), e o Erro Padrão (EP) são dois conceitos definidos por este decreto e devem seguir os seguintes critérios, extraídos do decreto (BRASIL, 1984):

2.5.1. Classificação de uma Carta quanto à Exatidão:

1 - Noventa por cento (90%) dos pontos bem definidos numa carta, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica Planimétrico estabelecido.

2 - Noventa por cento (90%) dos pontos isolados de altitude, obtidos por interpolação de curvas de nível, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica Altimétrico estabelecido.

- a. Padrão de Exatidão Cartográfica é um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% de probabilidade, que define a exatidão de trabalhos cartográficos.
- b. A probabilidade de 90% corresponde a 1,6449 vezes o EP ($PEC = 1,6449 EP$).
- c. O EP isolado num trabalho cartográfico, não ultrapassará 60,8% do PEC.
- d. Para efeito das presentes instruções, consideram-se equivalentes as expressões Erro Padrão, Desvio Padrão e Erro Médio Quadrático.

2.5.2. Classes de Cartas:

As cartas, segundo sua exatidão, são classificadas em três classes denominadas de A, B e C, seguindo os seguintes critérios (extraído do decreto):

Classe A:

- a. Padrão de Exatidão Cartográfica Planimétrico: 0,5 mm, na escala da carta, sendo de 0,3 mm na escala da carta o Erro Padrão correspondente.
- b. Padrão de Exatidão Cartográfica Altimétrico: metade da equidistância entre as curvas de nível, sendo de um terço desta equidistância o Erro Padrão correspondente.

Classe B:

- a. Padrão de Exatidão Cartográfica Planimétrico: 0,8 mm na escala, da carta, sendo de 0,5 mm na escala da carta o Erro Padrão correspondente.
- b. Padrão de Exatidão Cartográfica Altimétrico: três quintos da equidistância entre as curvas de nível, sendo de dois quintos o Erro Padrão correspondente.

Classe C:

- a. Padrão de Exatidão Cartográfica Planimétrico: 1,0mm na escala da carta, sendo de 0,6mm na escala da carta o Erro Padrão correspondente.
- b. Padrão de Exatidão Cartográfica Altimétrico: três quartos da equidistância entre as curvas de nível, sendo de metade desta equidistância o Erro Padrão correspondente.

Um mapeamento só deve ser utilizado como fonte fidedigna de informação quando associado aos processos de avaliação da qualidade dos dados que o compõem (Rocha, 2002).

A exatidão está associada aos efeitos aleatórios e sistemáticos com relação à dispersão dos valores medidos em relação ao valor exato a ser determinado, enquanto que a precisão está diretamente ligada aos efeitos aleatórios com relação à dispersão de valores referentes à média das observações feitas (Gemael, 1984).

2.5.3. Erros de Levantamento

Nos levantamentos realizados pelos técnicos em campo, as observações sempre estão sujeitas a erros inerentes ao próprio processo de observação. Estes erros podem ser definidos como:

- erros grosseiros: provenientes da leitura errada dos resultados causados por falha humana, podendo ser facilmente identificados e corrigidos, não trazendo grande prejuízo;
- erros sistemáticos: devidos a imperfeições, falta de aferição ou até defeitos de instrumentos de medida, e em geral são acumulativos e podem ser corrigidos por modelagem matemática devido ao seu comportamento previsível, sendo assim, anulados;

- erros aleatórios: provenientes de condições e influência do local ou do ambiente, muitas vezes, sem causa conhecida; podem ser evitados quando há uma grande quantidade de dados ou informações levantadas, favorecendo assim, uma boa estimativa da amostra de dados colhida.

Para avaliar a exatidão e até estimar o erro associados a uma observação, pode-se utilizar o princípio da propagação de erros ou estimativa de exatidão a priori, onde se tem consciência que toda a observação ou levantamento de dados está sujeito a influência de erros e podem-se criar mecanismos, testes estatísticos que determinam a margem de erro que pode ser considerado antes mesmo de se obter os dados. Após a obtenção dos dados, a avaliação da exatidão a posteriori, mostrará com o processamento dos dados o erro total alcançado, validando com isto a observação, ou então definindo qual padrão os dados poderão ser classificados. A avaliação dos levantamentos devem sempre ser realizadas para termos uma confiabilidade no produto final e saber se atendeu a necessidade a que se propunha. Segundo Rocha (2002), as avaliações de qualidade dos processos devem ser realizadas durante todas as etapas do mesmo, sempre observando critérios de precisão que garantam a exatidão dos dados cartográficos conforme o PEC.

2.6. Sensoriamento Remoto

O Sensoriamento Remoto pode ser definido como a técnica ou o conjunto de procedimentos que possibilita a obtenção de informações sobre objetos que estão na superfície da terra sem que haja contato direto com os mesmos. Esta técnica envolve a detecção da energia eletromagnética emitida ou refletida pelos objetos na superfície terrestres por equipamentos sensores que registram e armazenam estas informações.

Esta energia eletromagnética também chamada de radiação eletromagnética é produzida por qualquer corpo com temperatura acima de zero grau absoluto, sendo o planeta Terra e o Sol as principais fontes desta radiação. A capacidade dos sensores remotos de medirem a qualidade e a quantidade da radiação eletromagnética resultante das interações ocorridas entre a energia eletromagnética e as propriedades físico-químicas dos objetos determina a quantidade de informação que é possível obter. A função principal do sensoriamento remoto é dispor de ferramentas que tornem possível a extração e identificação de dados, informações e padrões contidos nas imagens, permitindo uma boa interpretação do fenômeno a ser observado.

2.6.1. Sistema sensor

Os sensores remotos são equipamentos que tem a capacidade de registrar a quantidade e a faixa do comprimento de onda da energia eletromagnética proveniente de um ou mais objetos, convertendo esta informação em um sinal elétrico e após armazenando como um dado digital que servirá para extração de informação para descrever e representar as feições dos objetos. Os sistemas sensores podem ser classificados como ativos e passivos. Os sensores passivos apenas registram a energia eletromagnética refletida dos objetos provenientes de fontes externas ao sensor, como o Sol. Os sensores ativos produzem eles mesmos sua fonte de energia eletromagnética, como os radares.

Os sistemas sensores são compostos das seguintes partes:

- coletor: é um componente óptico ou mecânico que concentra o fluxo de energia eletromagnética proveniente do objeto;
- filtro: é um componente físico capaz de selecionar a faixa do espectro eletromagnético a ser detectado;
- detector: é um componente eletrônico sensível aos efeitos da radiação eletromagnética capaz de produzir variação de correntes elétricas que podem ser quantificadas em níveis distintos e armazenados em forma de dados digitais;
- processador: é um componente eletrônico que tem a capacidade de avaliar e classificar a qualidade do sinal produzido pelo detector e aplicar correções no sinal recebido;
- unidade de saída: é um componente eletrônico que converte os sinais elétricos captados pelo detector em informações úteis para análise.

A figura 4 mostra as partes que compõem o sensor remoto e descreve o seu funcionamento a partir da coleta de dados, as etapas do processamento desta informação no próprio sensor e sua transmissão para uma estação receptora em solo.

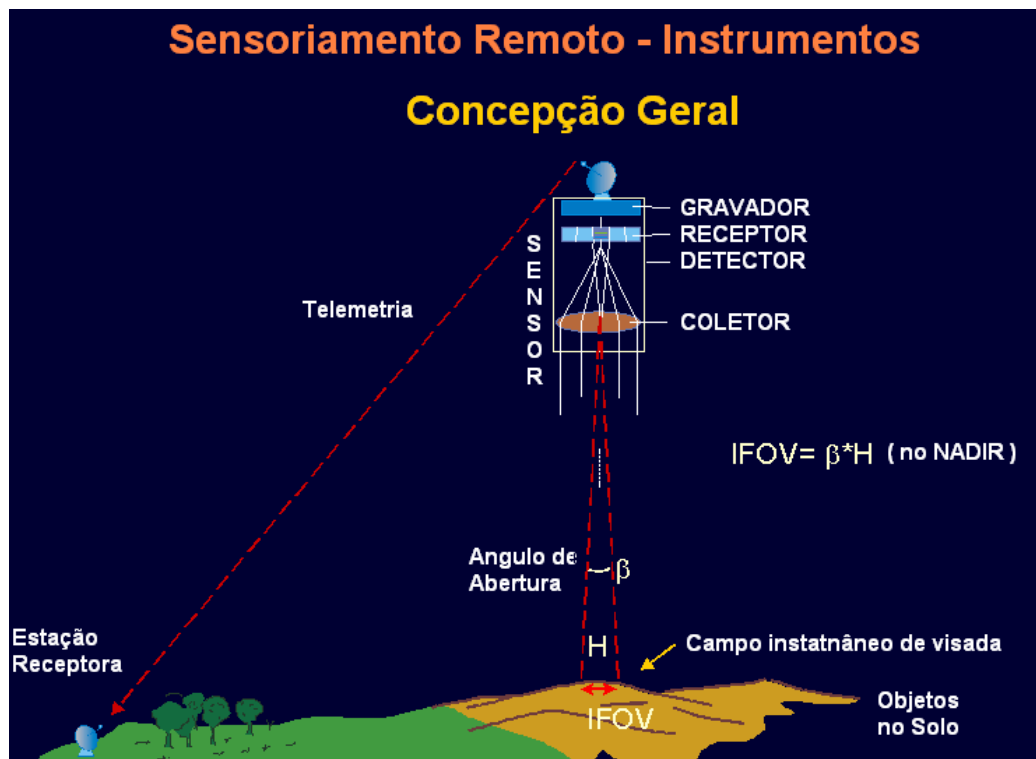


Figura 4 - Imagem ilustrativa de um sensor remoto mostrando as partes que o constituem

A qualidade de um sensor depende de sua capacidade de registrar a energia eletromagnética proveniente do objeto e é definida por resolução espectral, radiométrica, temporal e espacial.

A resolução espectral depende da capacidade do sensor em medir a largura espectral da radiação eletromagnética, ou seja, quanto maior for o número de medidas numa faixa de comprimento de onda maior será a resolução espectral do sensor.

A resolução radiométrica de um sensor se define pela capacidade de detectar pequenas variações na quantidade de sinais eletromagnéticos provindas do objeto.

A resolução temporal de um sensor está relacionada com a repetitividade com que o sensor pode fazer uma leitura informações de um meso objeto.

A resolução espacial está relacionada com a capacidade do sensor em distinguir as menores porções de um objeto na superfície. Quanto menor for a porção de superfície registrada maior será o grau de distinção do objeto observado.

2.6.2. Resolução Espacial da Imagem no Sensoriamento Remoto

A resolução espacial é a habilidade que o sensor possui de identificar o menor tamanho de um objeto em relação aos outros objetos ao seu redor, ou também a capacidade de separar objetos estreitamente espaçados em um alvo que está sendo detectado. A figura 5 mostra as relações entre os vários tamanhos de *pixels* e suas resoluções.

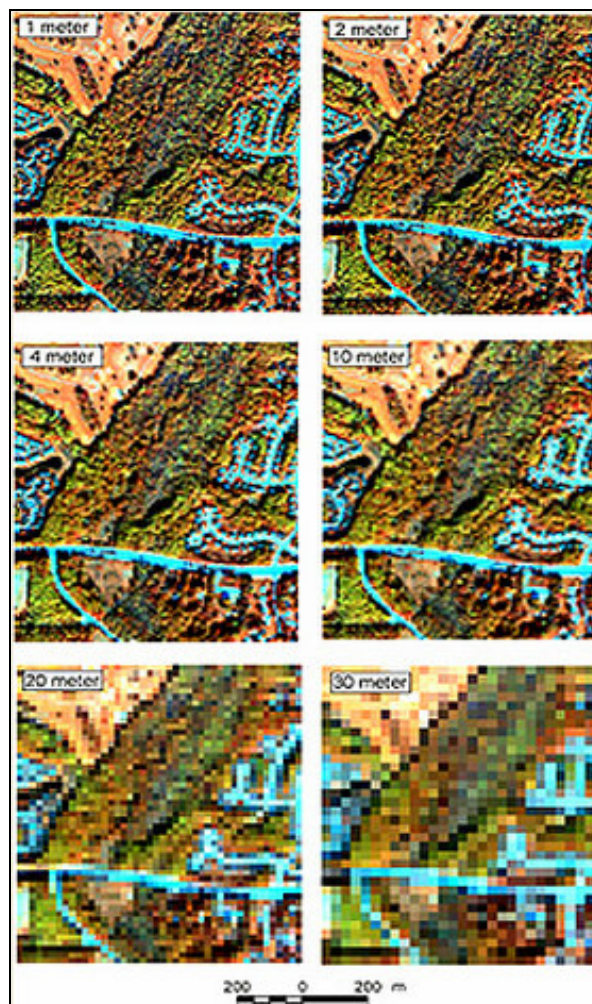


Figura 5 - Imagem ilustrativa mostrando a relação tamanho do pixel e resolução

A capacidade de resolução do sensor está baseada nas propriedades geométricas do sistema sensor em relação a uma dada altitude e pelas dimensões da área visada do terreno. O ângulo desta projeção é denominado de campo instantâneo de visada ou IFOV (do inglês *instantaneous field of view*), e representa o tamanho do pixel da imagem. A figura 6 ilustra o

campo de visada no terreno de um sensor colocado a bordo de um avião, estando a uma dada altitude de vôo.

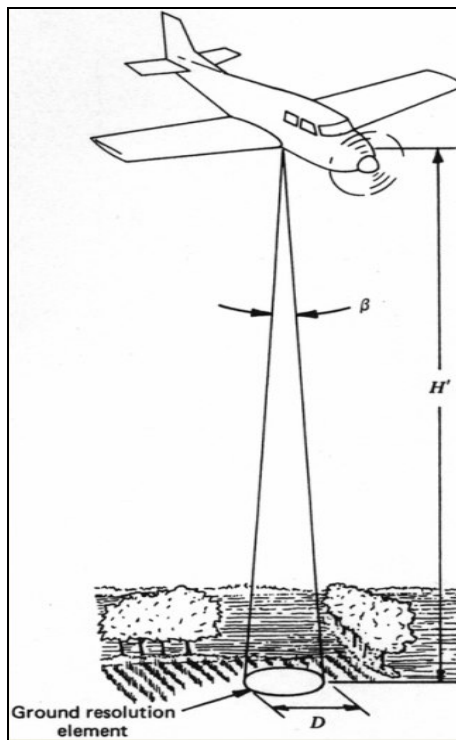


Figura 6 - Imagem do campo instantâneo de visada - IFOV

2.7. Correção Geométrica da Imagem

As imagens ou fotografias produzidas no sensoriamento remoto estão sujeitas a distorções geométricas, as quais precisam ser corrigidas. Também devem estar referenciadas a um sistema de projeção cartográfica, que tentará preservar na representação plana um tipo de característica específica do terreno. Por isto também é necessário que esta imagem seja integrada a um sistema de coordenadas referenciadas ao terreno, o qual ele representa e siga um sistema de informações cartográficas. A este conjunto de operação dá-se o nome de Correção Geométrica da Imagem.

2.7.1. Distorções da Imagem

Estas distorções ocorrem em função da instabilidade da plataforma onde está localizado o sensor e pelo movimento de rotação da Terra. Seis componentes estão relacionadas à instabilidade da plataforma:

- Rotação da Terra;
- Variação da Altitude;
- Variação da Velocidade;
- Variação nos três eixos de rotação do satélite: “*roll*”, “*pitch*” e “*yaw*”

Na figura 7 estão ilustradas as distorções relacionadas as instabilidades da plataforma.

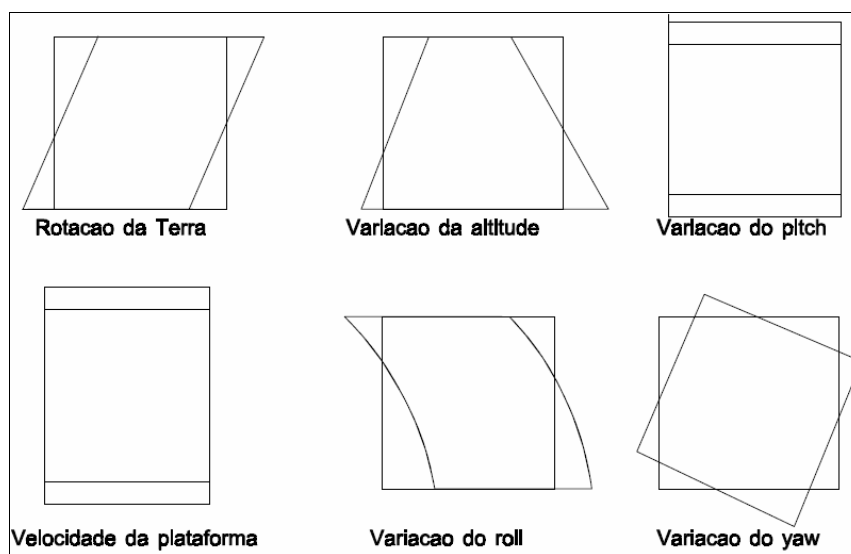


Figura 7 - Distorções nas imagens dos satélites em função da plataforma

2.7.2. Correção Geométrica

A correção da geometria da imagem pode ser feita de dois modos. Um está baseado no conhecimento prévio dos fatores de amostragem do sensor, das características da órbita do satélite e da rotação da Terra. Os tipos de distorções corrigidos são a mudança de escala, ângulo de inclinação da órbita em relação ao eixo norte e sul da Terra e a correção do efeito de rotação da Terra. As imagens comerciais já são fornecidas com estas correções aos usuários finais.

Outro método é baseado na obtenção de pontos de controle no terreno que serão identificados na imagem. Este método aumenta a precisão na transformação geométrica. Para

aplicação desta técnica é necessário ter um mapa confiável da região, estar numa escala compatível e ter coordenadas precisas de feições que podem ser identificadas na imagem. Uma das formas de obter pontos de campo é rastrear utilizando-se aparelhos GPS para a determinação de suas coordenadas. A quantidade dos pontos rastreados irá variar em relação à precisão que se necessita no trabalho. A transformação de coordenadas na imagem é realizada por um polinômio linear e ajustado pelo método dos mínimos quadrados. A figura 8 mostra a relação que deve haver entre os pontos colhidos em um mapa e relacionados a imagem.

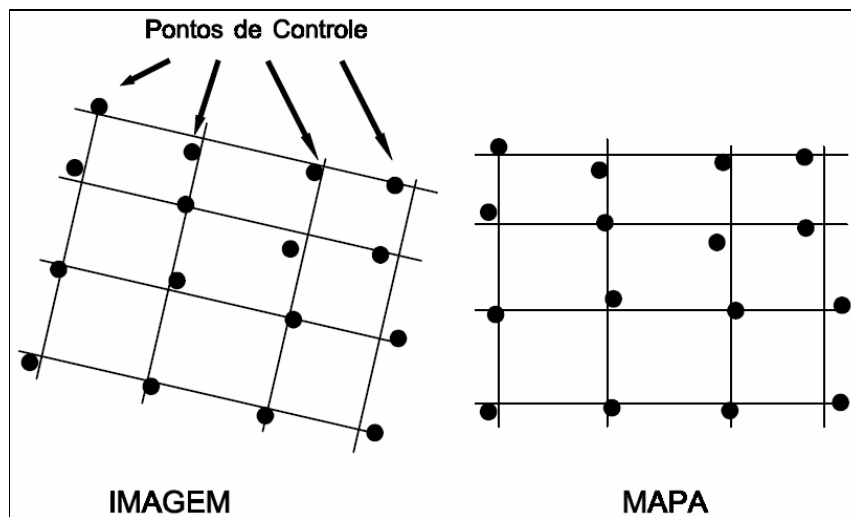


Figura 8 -Aplicação da Transformação Linear

2.7.3. Reamostragem

A aplicação das correções a uma imagem produz uma nova imagem a partir da original, fazendo com que alguns pixels da imagem original se sobrepõem aos da nova imagem, para isto é necessário determinar um novo DN para os pixels resultantes. Para se determinar o valor do pixel corrigido utiliza-se a técnica de interpolação. A interpolação pode ser feita por métodos diferentes como o vizinho mais próximo, bilinear ou convolução cúbica. Esta reamostragem irá produzir uma imagem completamente nova. Na figura 9 está representada a interpolação pelo método do vizinho mais próximo.

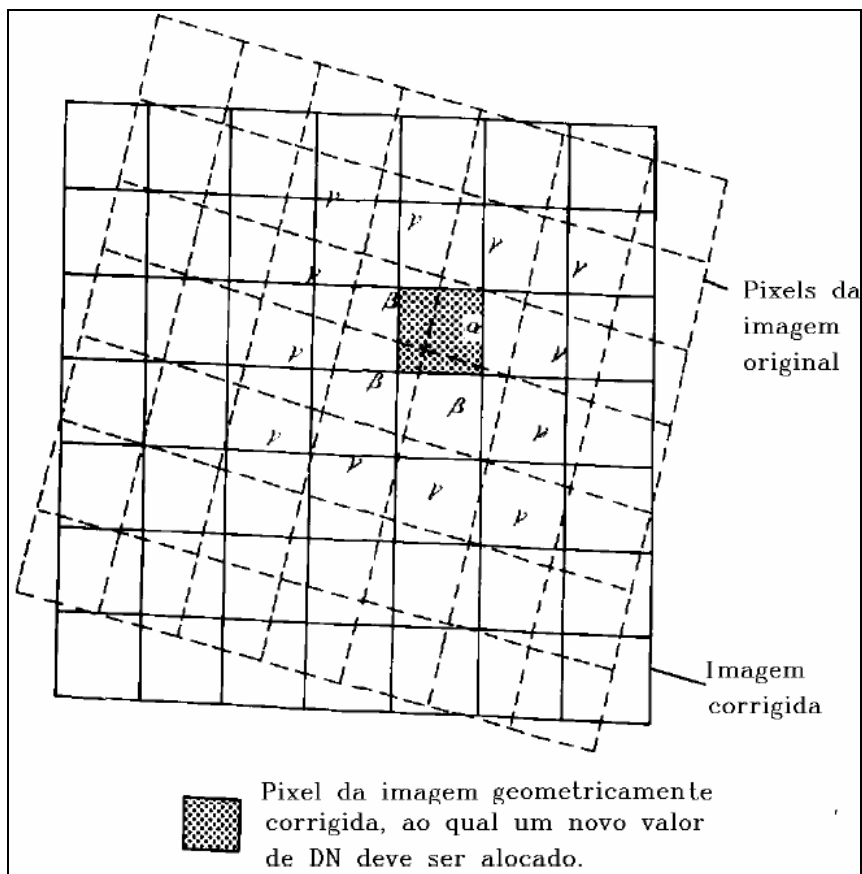


Figura 9 - Interpolação por vizinho mais próximo

2.8. Imagens IKONOS II

O satélite IKONOS II cuja ilustração da plataforma está representada na figura 10, produz imagens de alta resolução espacial e foi inicialmente concebido para utilizações militares. Ele foi lançado no dia 24 de Setembro de 1999, e tornou-se operacional no início de janeiro de 2000. É operado pela empresa SPACE IMAGING.

O IKONOS II pode efetuar visadas no sentido de sua órbita e também perpendicularmente a esta, com isto é possível ter um número maior de revisitas, permitindo assim, a aquisição de imagens de pares estereoscópicos, podendo ser utilizados para a restituição altimétrica.

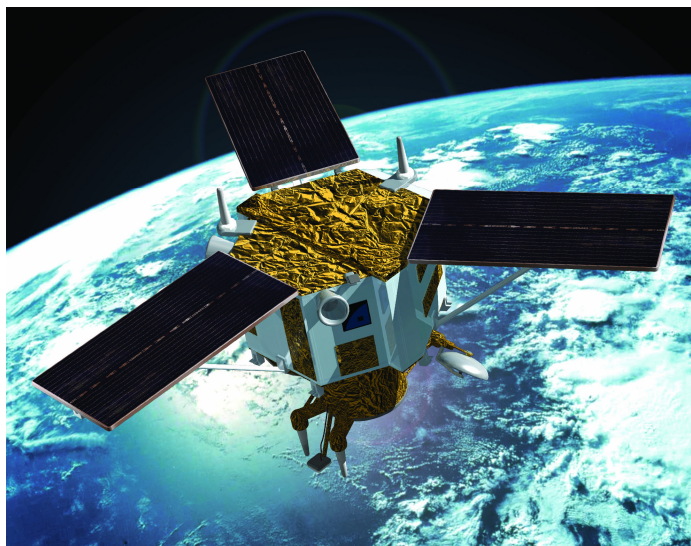


Figura 10 -Ilustração da Plataforma do Sensor Ikonos

2.8.1. Características do sensor IKONOS II

Altitude	680 km
Inclinação	98,1°
Velocidade	7 km / s
Sentido da Órbita	descendente
Duração da Órbita	98 minutos
Tipo de Órbita	Sol-síncrona
Resolução Espacial	Pancromática: 1m / Multiespectral: 4m
Bandas espectrais:	
	Pan 0.45 - 0.90 μ
	Azul 0.45 - 0.52 μ
	Verde 0.52 - 0.60 μ
	Vermelho 0.63 - 0.69 μ
	Infravermelho próximo 0.76 - 0.90 μ
Imageamento	13 km na vertical (cenas de 13km x 13km)
Capacidade de Aquisição de imagens:	
	Faixas de 11 km x 100 km até 11 km x 1000 km
	Mosaicos de até 12.000 km ²
	20.000 km ² de área imageada numa passagem
Frequência de Revisita	PAN 2.9 dias a 1m de resolução
	Valores validos para latitude de +/- 40°
	A frequência de revisita para latitudes maiores.

A alta resolução das imagens geradas pelo IKONOS II com 1m de resolução espacial no modo PAN (Pancromático), aliada a grande precisão cartográfica permite discriminar

objetos de 1m² de área ou mais. As imagens podem ser usadas para traçar com exatidão mapas planimétrico e de outros tipos, em escalas de 1:2.500 a 1:50.000.

São inúmeras as áreas de aplicações das imagens IKONOS, como:

- GIS (redes, telecomunicações, planejamento, meio ambiente)
- Elaboração de Mapas Urbanos
- Cadastro urbano e rural
- Apoio em GPS
- Uso e ocupação do solo
- Meio Ambiente em escalas grandes
- Arquitetura/Urbanismo/Paisagismo
- Fundiário (regularização de propriedades, demarcação de pequenas glebas)
- Engenharia em escalas da ordem 1:5.000 até 1:2.500
- Agricultura convencional e Agricultura de Precisão
- Florestal (projetos de desenvolvimento sustentável, censo de árvores)
- Turismo (mapas de localização de atrativos turísticos)
- Perícias em questões ambientais

2.9. Sistema de Posicionamento Global

O Sistema de Posicionamento Global, do inglês *Global Position System* (GPS), ou também NAVSTAR-GPS (*NAVigation Satellite with Time And Ranging*), é um sistema de radionavegação desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América – DoD (*Department of Defense*), com o objetivo de ser o principal sistema de navegação das forças armadas americanas, sendo o resultado da união de dois outros sistemas do governo norte americano, sendo eles o *Timation* e *System 621B*, sob responsabilidade da Marinha e da Força Aérea (Monico, 2000).

Com o surgimento do sistema GPS, com sua alta precisão e acurácia, e a liberação, de certa forma, desta tecnologia de ponta ao usuário do segmento civil, produziu novos campos para seu emprego e utilização. Esta tecnologia provocou um salto de qualidade em diversas áreas, principalmente, para o mapeamento e posicionamento de pontos sob sua cobertura.

O sistema conta com uma rede de no mínimo vinte e quatro satélites distribuídos em seis planos orbitais, com quatro satélites em cada plano, numa órbita de 20.200km. Estes planos orbitais são inclinados 55° em relação ao Equador e o período orbital é de

aproximadamente 12 horas siderais. Assim, a posição dos satélites se repete, a cada dia, 4 minutos antes que a do dia anterior. Essa configuração garante que, no mínimo, quatro satélites GPS sejam visíveis em qualquer local da superfície terrestre, a qualquer hora (Monico, 2000). A figura 11 ilustra esta constelação de satélites que orbita o Terra.

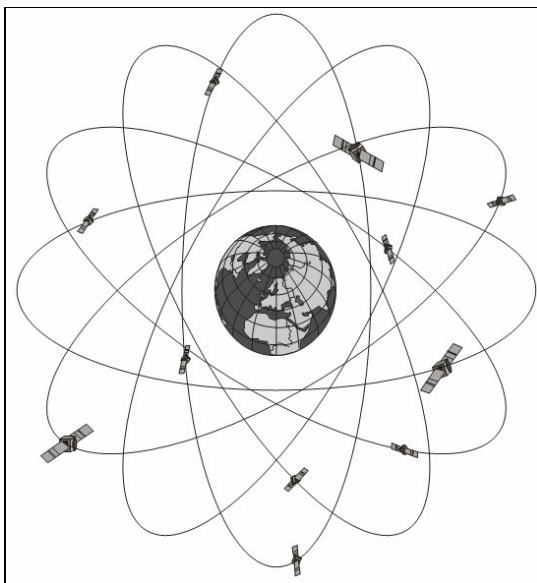


Figura 11 - Ilustração da constelação de Satélites GPS

Cada satélite GPS transmite duas ondas portadoras: L1 e L2, que são geradas a partir de uma frequência fundamental de 10,23 MHz, a qual é multiplicada por 154 e 120, respectivamente. Gerando as frequências (L) e os comprimentos de onda (λ) L1 e L2:

$$L1 = 1575,42 \text{ MHz e } \lambda = 19 \text{ cm; } L2 = 1227,60 \text{ MHz e } \lambda = 24 \text{ cm.}$$

Os códigos PRN que são modulados sobre essas duas portadoras permitem realizar medidas de distâncias a partir da medida do tempo de propagação da modulação (Leick, 1995).

O código C/A (*Coarse Acquisition*- fácil aquisição), possui comprimento de onda por volta de 300m. Cada satélite transmite um código C/A diferente, dentre os 37 definidos no ICD-GPS-200C (Spilker, 1996).

O código P (*Precise or Protected* - preciso ou protegido) tem sido reservado para uso dos militares americanos e dos usuários autorizados (Monico, 2000).

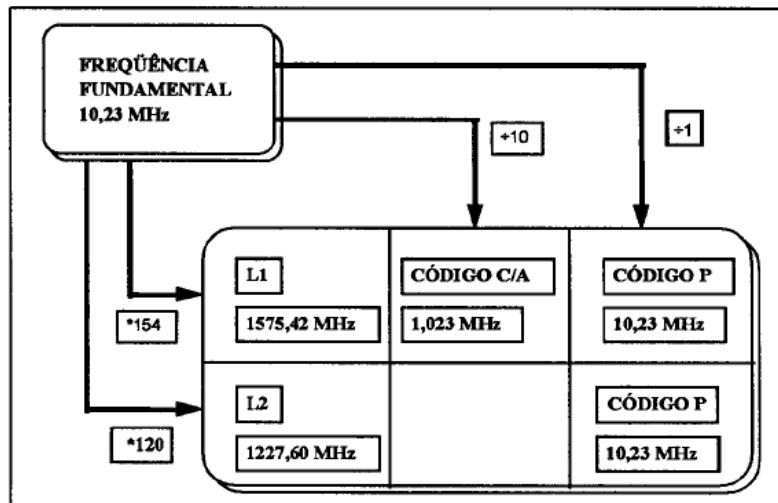


Figura 12 -Estrutura básica do sinal GPS

Da imagem acima, conclui-se que o GPS é composto por três tipos de sinal envolvidos: as frequências portadoras L1 e L2, os códigos C/A e P e os dados de navegação e relógio, sendo estes modulados em ambas as portadoras.

2.9.1. Sistema de Controle

Este sistema tem a função de monitorar e controlar toda a constelação de satélites, determinando o tempo GPS e predizendo as efemérides, calcular as correções dos relógios dos satélites e atualizar as mensagens de navegação de cada satélite. Este sistema é composto por cinco estações terrenas de monitoramento pertencentes à AAF (*American Air Force*).

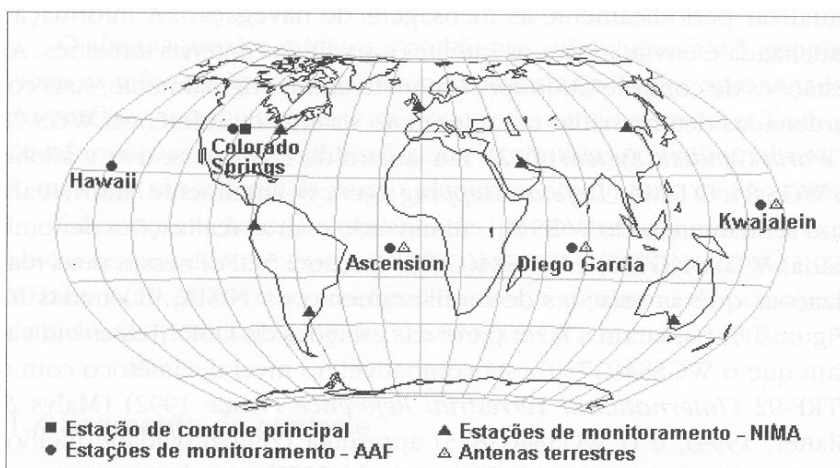


Figura 13 -Estações do Sistema de Controle GPS

2.9.2. Receptores GPS

Existem diferentes modelos de receptores GPS para segmentos diferentes de usuários. Estes modelos são apropriados ao tipo de utilização que se destinam como navegação, posicionamento geodésico, etc. Exemplos:

- Receptor Militar;
- Receptor de Navegação;
- Receptor Geodésico;
- Receptor de SIG;
- Receptor de Aquisição de Tempo;

2.9.3. Técnicas de Processamento do Sinal GPS

O GPS Geodésico é utilizado na aplicação de redes com bases longas ou em regiões com forte atividade ionosférica, onde é essencial o uso das duas portadoras L1 e L2 e acesso ao código P (Monico, 2000).

A técnica de correlação de código é usada quando o AS (*Anti-spoof flag*) não está em operação e consiste na obtenção de todos os componentes envolvidos no sinal do satélite como a leitura do relógio do satélite, a mensagem de navegação e a portadora sem modulação. Esta técnica envolve duas fases: primeiramente é gerada uma réplica do código PRN conhecido e correlacionado com o sinal recebido do satélite; numa segunda fase a portadora L2 é reconstruída e é possível extrair as mensagens de navegação.

Na técnica de quadratura do sinal, este é multiplicado por ele mesmo gerando assim uma nova portadora. A vantagem desta técnica é que permite acessar a portadora L2 quando o AS está ativo.

Na técnica de Correlações Cruzadas, supõe-se que o código Y modulado na portadora L1 é idêntico ao da L2. O atraso devido à ionosfera faz com que o sinal L1 alcance a antena antes que o sinal L2. Observando o que há no sinal L1, pode-se usar tal informação para correlacionar com o sinal L2, que chega um pouco mais tarde.

Dessa forma, o código Y do sinal L1 é alimentado por um dispositivo no receptor, até que haja máxima correlação com o código Y da portadora L2. O atraso ocorrido é equivalente à diferença entre as pseudodistâncias (PD) que seriam geradas a partir do código P em L1 e L2, caso fossem disponíveis, o que se obtém é o atraso do código Y nas duas portadoras. Esse

valor é adicionado à pseudodistância gerada a partir do código C/A para gerar a pseudodistância em L2 (Monico, 2000).

Na técnica Z Tracking, considera-se que o código Y pode ser dividido em duas componentes: o código P, original, e o código W, o qual é usado na criptografia do código P. Então, supõe-se que o código Y é o mesmo nas portadoras L1 e L2, e usa-se o conhecimento de que o código W é gerado numa frequência bem mais baixa (50bps) se comparada com a do código P. Uma réplica do código P é correlacionada com o código Y (P+W) das portadoras L1 e L2. Usando técnicas de filtragem de sinal, o código W é estimado e removido do sinal que é recebido. Após a eliminação do código W os sinais se tornam iguais como quando o AS não está ativado. Essa técnica proporciona, então, três pseudodistâncias (C/A, Y1 e Y2) e duas medidas de fase da onda portadora (L1 e L2), ambas com comprimentos de onda iguais ao original (Ashjaee & Lorenz apud Monico 2000).

2.10. Exemplo de Receptor GPS

O GPS L1 ProMark3, fabricado pela Thales Navigation, proporciona um uso profissional nas áreas de topografia, mapeamento e geodésia, fazendo levantamentos estáticos, Stop&Go e cinemáticos. Sintoniza até 14 canais de satélites com portadora L1 e código C/A.

Precisão em levantamentos estáticos:

- Horizontal: 0,005m + 1ppm
- Vertical: 0,010m + 2ppp
- Azimute: <1 arco de segundo
- Tempo de observação: de 4 a 40 min em função da distância entre receptores.



Figura 14 -Imagem GPS L1 ProMark3 - Thales

2.11. Modelo Digital do Terreno

O Modelo Digital do Terreno (MDT) ou Modelo Digital de Elevação (MDE) é uma representação matemática computacional da distribuição espacial que descreve a característica de um fenômeno na superfície de uma região terrestre (Felgueiras e Câmara).

Esta modelagem é feita a partir de equações analíticas ou por uma rede de pontos com coordenadas x , y , z , onde a coordenada z (cota) será modelada em função das coordenadas planimétricas xy , gerando com isto uma malha de pontos que pode ser um modelo de grade regular (malha retangular) ou grade irregular (malha aleatória ou triangular). O processo para gerar um MDT é composto de 3 etapas: amostragem, modelagem e aplicação (Felgueiras e Câmara).

A amostragem é etapa de aquisição de um conjunto de informações representativas, amostras, de uma região de interesse. Geralmente essas amostras estão representadas por curvas de isovalores e pontos tridimensionais (Felgueiras e Câmara).

A obtenção de dados para uma rede de pontos pode ser feita de vários modos:

- medidas fotogramétricas de pares estereoscópicos;
- digitalização de mapas;
- levantamentos de campo por técnicas de nivelamento;
- levantamento de pontos com GPS.

A modelagem ocupa-se da estruturação dos dados e a definição da superfície de ajuste, com o objetivo de obter uma representação contínua do fenômeno a partir das amostras. As aplicações são procedimentos de análise executados sobre os modelos digitais. As análises podem ser qualitativas ou quantitativas, as quais permitem visualizar o modelo em projeção planar, gerar imagens em níveis de cinza, sombreadas, temáticas, calcular volumes de corte e aterro, analisar perfis sobre trajetórias predefinidas, gerar mapas de declividade e exposição, drenagem, de curvas-de-nível e de visibilidade (Felgueiras e Câmara apud Radde, 2007).

O modelo de grade triangular denominado de *Triangular Irregular Network* (TIN), é um dos modelos mais usados, sendo cada um dos vértices o próprio ponto levantado formando assim um poliedro de face triangular. Este tipo de distribuição permite uma melhor representação das feições do terreno como picos, vales, pontos de drenagem (Felgueiras e Câmara).

2.12. Sistema Geodésico de Referência

O sistema geodésico de referência é um sistema de coordenadas que possibilitam a representação e a localização de feições da superfície Terrestre em mapas. No Brasil atualmente estão em vigor dois sistemas de referência, são eles o SAD69 (*South American Datum 1969*) e o SIRGAS2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas). Estes dois sistemas estão vigentes devido ao Projeto Mudança do Referencial Geodésico (PMRG), que objetiva promover a adoção no País, de um novo sistema geodésico de referência, unificado, moderno e de concepção geocêntrica, de modo a compatibilizá-lo às mais modernas tecnologias de posicionamento (IBGE, 2009). Neste trabalho serão citados apenas os sistemas de referência WGS84 (*World Geodetic System 1984*) e SIRGAS2000, por serem similares e considerados praticamente iguais pelo IBGE.

O *World Geodetic System 1984* (WGS84) é um sistema geodésico de referência geocêntrico e caracteriza-se pela origem do elipsóide de referência coincidir com o centro do referencial cartesiano terrestre, ou seja, utiliza as orientações do referencial e não possui Datum de controle horizontal, por não haver translação do elipsóide de referência.

O WGS84 é definido da seguinte forma (Radde, 2007):

- É geocêntrico, e o centro de massa é definido usando a Terra toda, incluindo oceanos e atmosfera;

- A escala corresponde à de um sistema de referência terrestre, no sentido relativista da teoria da gravitação, onde sua orientação é dada pelo BIH em determinada época; sua evolução temporal em orientação não pode criar rotação residual global com relação à crosta;

- O eixo Z aponta na direção do CTP;
- O eixo X na direção média do meridiano de Greenwich;
- O eixo Y na direção de modo a tornar o sistema dextrógiro;

Recomenda a utilização de um elipsóide de referência caso se queira coordenadas cartesianas ou geodésicas.

Latitude Geodésica de um ponto da superfície física da Terra é o ângulo f que a normal do elipsóide, passante pelo ponto, forma com a sua projeção equatorial;

Longitude geodésica é o ângulo l que mede o diedro formado pelos meridianos geodésicos do ponto considerado e de Greenwich, contada a partir deste, positivamente por leste; Altitude Geométrica h é o segmento da normal compreendido entre o ponto considerado e o elipsóide.

Outro sistema geodésico de referência é o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS). Este sistema foi criado na Conferência Internacional para Definição de um Referencial Geocêntrico para América do Sul, realizada em outubro de 1993, em Assunção, Paraguai, a partir de um convite feito pelas seguintes instituições: Associação Internacional de Geodésia (IAG); Instituto Pan-Americano de Geografia e História (IPGH) e *National Imagery and Mapping Agency* (NIMA).

O desenvolvimento do Projeto SIRGAS compreende as atividades necessárias à adoção, no continente, de um sistema de referência de precisão compatível com as técnicas atuais de posicionamento, notadamente as associadas ao Sistema de Posicionamento Global. A Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) é a instituição responsável pela geodésia e pela cartografia no Brasil, tendo sido selecionada como escritório central do projeto SIRGAS com o objetivo de prestar sua contribuição para a geodésia do continente. Com este propósito, desde o início do projeto o Brasil vem participando ativamente de suas atividades, nas campanhas, na condução da responsabilidade do banco de dados, no cumprimento das recomendações e na cooperação técnica.

2.13. Pontos de Controle da Imagem - Georeferenciamento

O processo de georeferenciamento de uma imagem passa por uma transformação geométrica onde são relacionadas coordenadas de uma imagem utilizando pontos homólogos com coordenadas conhecidas em um sistema de referências. O georeferenciamento é fundamental na área do sensoriamento remoto, pois se atribui à imagem um sistema geodésico de referência e uma projeção cartográfica e com isso ocorre a integração entre uma imagem e uma base de dados já existentes em um Sistema de Informação Geográfico (SIG), permitindo a fusão de imagens entre sensores diferentes, etc.

A relação entre dois sistemas de coordenadas como uma imagem e um mapa pode ser calculada através do conhecimento exato dos parâmetros da órbita do satélite e do modelo da geometria orbital, ou através do cálculo da relação entre dois sistemas de coordenadas, utilizando pontos homólogos ou Pontos de Controle (PC) entre os dois sistemas. Os Pontos de Controle são feições bem definidas que podem ser acuradamente identificadas nos diferentes sistemas. O uso de pontos de controle levantados no terreno permite a obtenção de uma melhor precisão no processo de correção geométrica em uma imagem. Conseqüentemente essa precisão será diretamente proporcional à identificação, localização, precisão, distribuição e quantidade dos pontos de controle.

Para se ter uma relação matemática entre os pontos do terreno e os correspondentes na imagem é necessário ter um mapa planialtimétrico confiável em uma escala adequada da área a ser levantada. Os pontos de controle terão que ser identificados tanto na imagem como no mapa. No caso da não utilização de mapas confiáveis, pela sua inexistência ou porque estão desatualizados, uma das alternativas a que se pode recorrer é a realização de um levantamento geodésico no terreno em pontos identificáveis nas imagens, usando o GPS (*Global Positioning System*), o que por outro lado representa um custo elevado (Matsuoka, 2006 citando Patrocínio, 2004).

Para a aplicação deste método é necessário conhecer a quantidade mínima de pontos a serem levantados. Para se determinar o tamanho da amostra mínima para definir a qualidade planimétrica da imagem orbital, utiliza-se a fórmula apresentada por Rocha (2000) que foi adaptada de Pereira (1978):

$$n = \frac{Z^2 * \gamma^2 * N}{(N - 1) * \varepsilon_r^2 + Z^2 * \gamma^2}$$

Onde:

n = Tamanho da Amostra

N= Tamanho da População (quantidade de pixels na imagem)

Z= Intervalo de Confiança

$\gamma = \mu/\sigma$

σ = Desvio Padrão Amostral

μ = Média Amostral

ε_r = Erro Amostral Relativo

Para se calcular o tamanho da amostra é preciso definir o intervalo de confiança e o erro amostral relativo, e também aplicar valores referentes à média da amostra e seu respectivo desvio padrão. Os valores do intervalo de confiança (Z) e do erro amostral podem ser atribuídos dependendo da precisão que se deseja, do custo econômico e do tempo disponível para a execução do levantamento.

2.14. Ajustamento de Observações

Citando Patrocínio (2004), o problema do método dos mínimos quadrados é determinar o valor dos coeficientes do modelo de transformação, que minimizam a soma dos quadrados dos resíduos.

$$\Sigma = V^t P V = \text{mínimo}$$

Σ = soma dos quadrados dos resíduos;

V = vetor dos resíduos;

P = matriz peso.

Vale como exemplo utilizar a transformação afim (polinômio de 1º grau) para mostrar como os valores dos coeficientes são calculados.

$$x = aX + bY + c + v$$

$$y = dX + eY + f + v$$

x, y = coordenadas dos pontos de controle na imagem (linhas e colunas);

X, Y = coordenadas dos pontos de controle medida numa carta ou GPS;

a, b, c, d, e, f = coeficientes do modelo de transformação (6 parâmetros para uma transformação afim).

Levando em conta que são necessários vários pontos para o cálculo dos coeficientes da transformação recorre-se ao uso de matrizes. Desta forma, o modelo linear será:

$$AX + L = V$$

A = matriz retangular com derivadas parciais das observações em relação aos parâmetros;

X = vetor das correções aos parâmetros aproximados;

V = vetor dos resíduos;

L = representa a diferença entre os valores observados pelo valor das observações obtidas com o modelo matemático a partir dos parâmetros aproximados;

A solução com aplicação do método dos mínimos quadrados obtém-se com a expressão:

$$X = N^{-1}U$$

$$X_a = X_o + X$$

X = vetor com as correções aos parâmetros aproximados;

X_o = vetor com os parâmetros aproximados;

X_a = vetor com os parâmetros ajustados;

$N = AtPA$ representa uma matriz quadrada e simétrica com os coeficientes das equações normais;

$V = AtPL$ representa os termos independentes do sistema de equações lineares.

Segundo Ford (1985), um bom ajustamento para um determinado modelo de transformação pode ser avaliado pela soma dos quadrados dos resíduos para as coordenadas X e Y . Essas somas têm uma distribuição qui-quadrado com $n-p$ graus de liberdade, onde n é o número de observações (pontos de controle) e p é a quantidade de parâmetros que depende do modelo matemático. A região de confiança a um nível de significância α é:

$$\chi^2_{\alpha/2, n-p} < VtV < \chi^2_{- \alpha/2, n-p}$$

Onde $\chi^2_{\alpha/2, n-p}$ é o valor da distribuição qui-quadrado a um nível de significância α e $n-p$ graus de liberdade. Se a soma dos quadrados das coordenadas não ficar dentro da região de confiança, existe algum problema no que concerne sobre a escolha do modelo de transformação.

2.15. Ortoretificação

Ortoretificar significa eliminar as distorções introduzidas pela variação da altitude do sensor durante a tomada de imagens, além de corrigir as distorções referentes ao relevo (Andrade, 1998). O procedimento para a eliminação dessas deformações, a fim de tornar a imagem isenta de distorções é chamado de ortoretificação, transformando assim, a imagem fotográfica de uma projeção cônica em uma projeção ortogonal, e mantendo a constância da escala em toda a imagem ortoretificada (Radde, 2007, citando Brito, 2002).

2.16. Determinação da Ondulação Geoidal

Os pontos de controle rastreados em campo com GPS apresentam como resultado altitudes elipsoidais ou geométricas (h), que são referenciadas ao modelo elipsoidal escolhido para um determinado levantamento. A altitude ortométrica (H), por sua vez está referenciada

ao geóide ou ao nível médio dos mares. A diferença entre estas duas altitudes é chamada de ondulação geoidal (N) (MAPGEO2010).

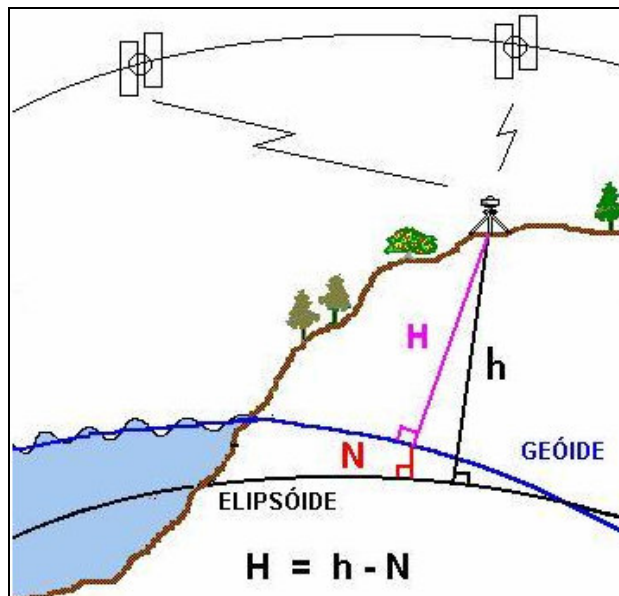


Figura 15 - Imagem da determinação da Ondulação Geoidal – MAPGEO2010

Para se obter a altitude ortométrica que está relacionada ao Nível Médio dos Mares, de pontos rastreados com GPS numa dada região é necessário conhecer a ondulação geoidal (N) desta mesma região. A partir da altitude ortométrica de um ponto de coordenadas conhecidas, por exemplo, uma RN do IBGE, onde é feito um levantamento com GPS se obtêm a altitude geométrica deste mesmo ponto. Com o conhecimento das duas altitudes em um mesmo ponto se obtêm através desta diferença, a Ondulação Geoidal, que serve de parâmetro de correção dos demais levantamentos com GPS feitos em pontos da região próximos.

2.17. Processamento Digital de Imagem

O processamento digital de imagens (PDI) em sensoriamento remoto envolve a técnica de manipulação numérica de dados computacionais utilizando algoritmos para o tratamento de imagens digitais, possibilitando assim ferramentas que permitam a manipulação, extração e a identificação de informações contidas em imagens brutas. Os produtos desse processamento são novas imagens com informações específicas das propriedades e padrões dos objetos que a compõem atendendo a necessidade que se destinam. Parte do processamento das informações obtidas depende do fator humano que analisa e interpreta a informação resultante, logo, o

processamento digital se encaixa como um estágio preparatório e obrigatório no processo de interpretação das imagens de sensoriamento remoto.

2.18. Áreas de Preservação Ambiental

A lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, em seu artigo primeiro define (BRASIL, 1965):

As florestas existentes no território nacional e as demais formas de vegetação, reconhecidas de utilidade às terras que revestem, são bens de interesse comum a todos os habitantes do País, exercendo-se os direitos de propriedade, com as limitações que a legislação em geral e especialmente esta Lei estabelecem.

E trata na seção II:

- área de preservação permanente – APP é a área protegida nos termos dos arts. 2º e 3º desta Lei, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas.

Art. 2º Consideram-se de preservação permanente, pelo efeito desta Lei, as florestas e demais formas de vegetação natural situadas:

a) ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água desde o seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima será:

- a) de 30 (trinta) metros para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;
- b) de 50 (cinquenta) metros para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;
- c) de 100 (cem) metros para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;
- d) de 200 (duzentos) metros para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;
- e) de 500 (quinhentos) metros para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros;

b) ao redor das lagoas, lagos ou reservatórios d'água naturais ou artificiais;

c) nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados "olhos d'água", qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 (cinquenta) metros de largura;

d) no topo de morros, montes, montanhas e serras;

e) nas encostas ou partes destas, com declividade superior a 45°, equivalente a 100% na linha de maior declive;

f) nas restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues;

g) nas bordas dos tabuleiros ou chapadas, a partir da linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 (cem) metros em projeções horizontais;

h) em altitude superior a 1.800 (mil e oitocentos) metros, qualquer que seja a vegetação;

i) nas áreas metropolitanas definidas em lei;

Parágrafo único. No caso de áreas urbanas, assim entendidas as compreendidas nos perímetros urbanos definidos por lei municipal, e nas regiões metropolitanas e aglomerações urbanas, em todo o território abrangido, observar-se-á o disposto nos respectivos planos diretores e leis de uso do solo, respeitados os princípios e limites a que se refere este artigo.

Art. 3º Consideram-se, ainda, de preservação permanente, quando assim declaradas por ato do Poder Público, as florestas e demais formas de vegetação natural destinadas:

a) atenuar a erosão das terras;

b) fixar as dunas;

c) formar faixas de proteção ao longo de rodovias e ferrovias;

d) auxiliar a defesa do território nacional a critério das autoridades militares;

e) proteger sítios de excepcional beleza ou de valor científico ou histórico;

f) asilar exemplares da fauna ou flora ameaçados de extinção;

g) manter o ambiente necessário à vida das populações silvícolas;

h) assegurar condições de bem-estar público.

Art. 4º A supressão de vegetação em área de preservação permanente somente poderá ser autorizada em caso de utilidade pública ou de interesse social, devidamente caracterizados e motivados em procedimento administrativo próprio, quando inexistir alternativa técnica e locacional ao empreendimento proposto.

§ 2º A supressão de vegetação em área de preservação permanente situada em área urbana, dependerá de autorização do órgão ambiental competente, desde que o município possua conselho de meio ambiente com caráter deliberativo e plano diretor, mediante anuência prévia do órgão ambiental estadual competente fundamentada em parecer técnico.

2.19. Alterações Causadas pela Urbanização Desordenada

A falta de infraestrutura de planejamento na ocupação urbana que ocorre de forma desordenada não leva em consideração o tratamento dos efluentes hídricos, o que altera a quantidade e a qualidade das águas. O desmatamento e a substituição da cobertura vegetal modificam os ciclos hidrológicos. Estes fatores provocam modificações na redução do tempo de concentração, ocasionando com isto aumento no volume e na velocidade do escoamento superficial. A impermeabilização do solo também ocasiona o aumento no escoamento superficial e uma drástica redução na infiltração das águas pluviais mudando totalmente o regime de uma bacia hidrográfica, (Marques, 2006).

2.20. Inundação Urbana

A inundação urbana é uma ocorrência tão antiga quanto as cidades ou qualquer aglomeramento urbano. A inundação ocorre quando as águas dos rios, riachos, galerias pluviais saem do leito de escoamento devido a falta de capacidade de transporte de um destes sistemas e ocupa áreas onde a população utiliza para moradia, transporte (ruas, rodovias e passeios), recreação, comércio, indústria, entre outros. Estes eventos podem ocorrer devido ao comportamento natural dos rios ou ampliados pelo efeito de alteração produzida pelo homem na urbanização pela impermeabilização das superfícies e a canalização dos rios. Os rios geralmente possuem dois leitos, o leito menor onde a água escoar na maioria do tempo e o leito maior, que é inundado com risco geralmente entre 1,5 e 2 anos (Tucci e Bertoni, 2003).

Os alagamentos ocorrem normalmente pelo acúmulo de águas em ruas, locais de moradia ou áreas urbanas devido ao grande volume de precipitações e deficiência no sistema de escoamento.

As construções à prova de enchente como diques e *polders*, são definidas como o conjunto de medidas projetadas para reduzir as perdas de prédios localizados nas várzeas de inundação durante a ocorrência das cheias (Tucci e Bertoni, 2003).

3. MATERIAIS E MÉTODO

3.1. Caracterização Da Área De Estudo

O trabalho foi desenvolvido na área urbana de Porto Alegre, no estado do Rio Grande do Sul (figura 16), Brasil. Coordenadas geográficas Latitude 30° 01' 59" S, Longitude 51° 13' 48" W. De acordo com informações obtidas no site do IBGE APENAD, população estimada no município conta com 1.420 mil habitantes.

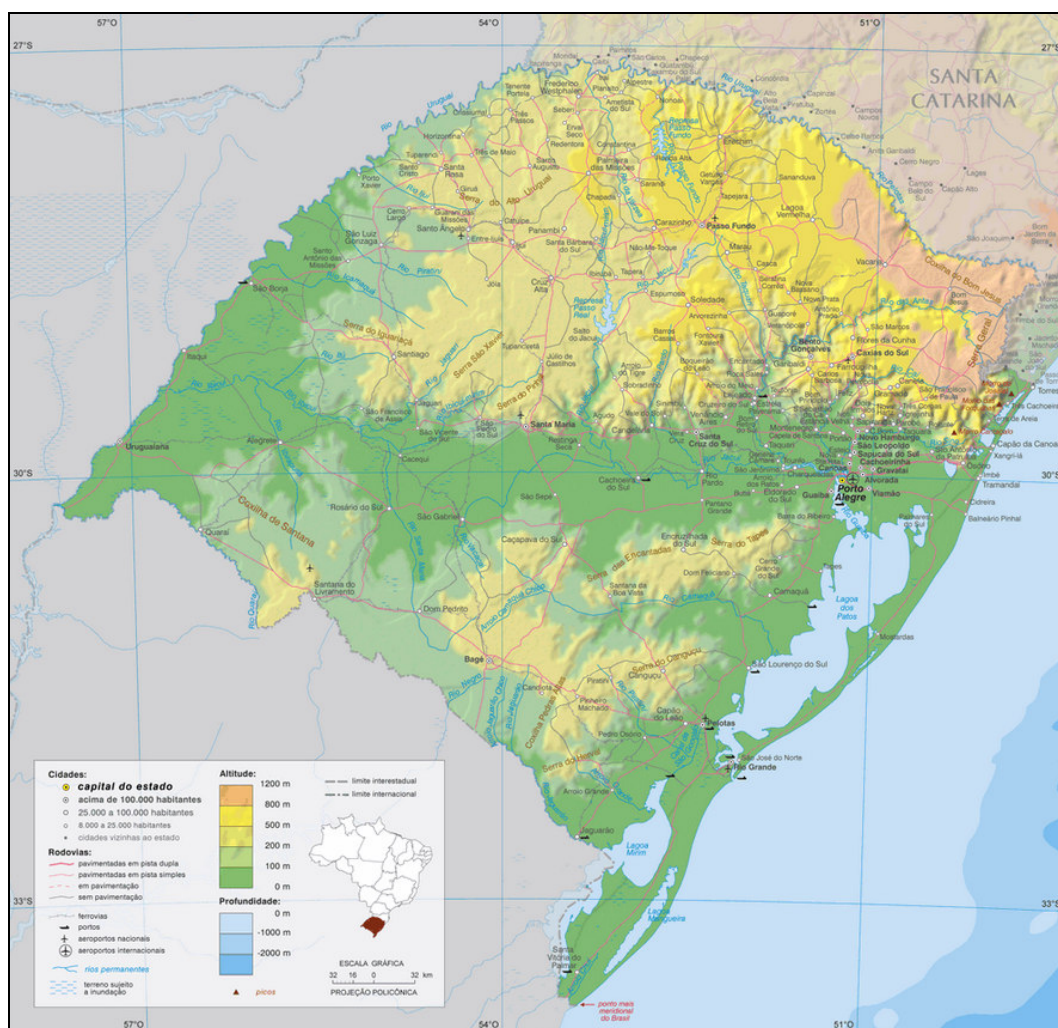


Figura 16 - Mapa do Rio Grande do Sul – IBGE

A figura 17 ilustra a região da cidade de Porto Alegre e está representada na região central, a imagem satélite da área de estudo desta dissertação. A área de trabalho tem

103.536.371,0 m² e está compreendida entre as coordenadas 29° 57' 48''S – 51° 08' 59''W e 30° 03' 55''S – 51° 14' 40''W.

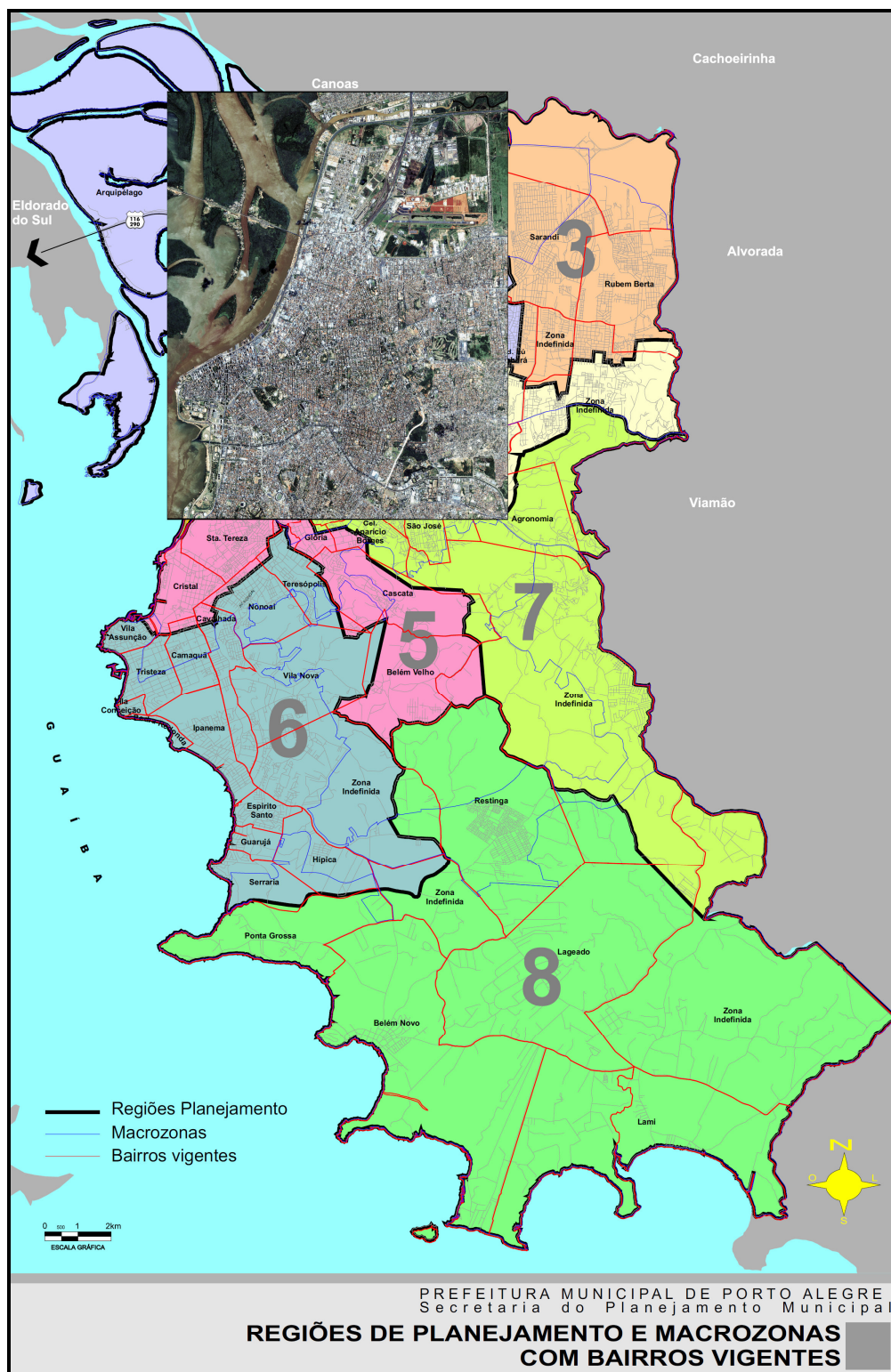


Figura 17 – Ilustração do Mapa da Cidade de Porto Alegre

A área de estudo foi definida por se tratar da área da inundação do Guaíba atingida na enchente de 1941, e está compreendida entre os seguintes limites: A divisa norte se dará pela linha de costa fluvial do rio Gravataí, divisa entre a cidade de Porto Alegre e as cidades de Canoas e Cachoeirinha; a oeste pela linha de costa do rio Guaíba e seu respectivo cais do porto; a sul pelas cercanias do contorno do arroio dilúvio, a leste no contorno da cota 15m em relação ao marco zero da praça da prefeitura de Porto Alegre, a nordeste pelo alinhamento da Avenida Sertório e Avenida Carlos Gomes no cruzamento com a Avenida Ipiranga, seguindo a cota altimétrica de 15m.



Figura 18 - Imagem ilustrativa da área de estudo, retirada do Google Earth.

Observação: a cota sugerida de 15m está baseada numa estimativa de três vezes o valor do nível mais alto encontrado nas pesquisas sobre os eventos de inundações ocorridas nos relatos históricos de Porto Alegre, sendo este valor de 4,91m.

3.2. Materiais

Para o desenvolvimento desta dissertação foram utilizados recursos próprios e também disponibilizados pelo Centro de Sensoriamento Remoto CEPSRM.

3.2.1. Recursos computacionais

Software ENVI 4.1 (*The Environment for Visualizing Image*);

Software ENVI 4.5 (*The Environment for Visualizing Image*);

Software ESRI ARCGIS 9.2;

Software AutoCadMAP 2004;

Software pacote Microsoft Office 2003;

Softwares de processamento GpsSurvey, TGO Trimble, Astech Solution;

Software Google Earth;

Software MAPGEO2010 versão 1.0;

Software Topcon Tools v 7.5.1

Impressora HP laserjet;

Scaner Genius;

LapTop Acer Centrino;

3.2.2. Banco de Dado Computacionais

Arquivo com curvas de nível equidistantes de 1m em format shapfile CAD (LABGEO);

Arquivo de informações sobre rastreo GPS de RN's IBGE;

Imagem IKONOS II da cidade de Porto Alegre – RS, ano 2000;

3.2.3. Equipamentos Utilizados

Máquina fotográfica Sony;

GPS Topográfico Promark III - L1;

Bi-pé, Tripé, Mira;

Nível óptico Kolida KL-22A;

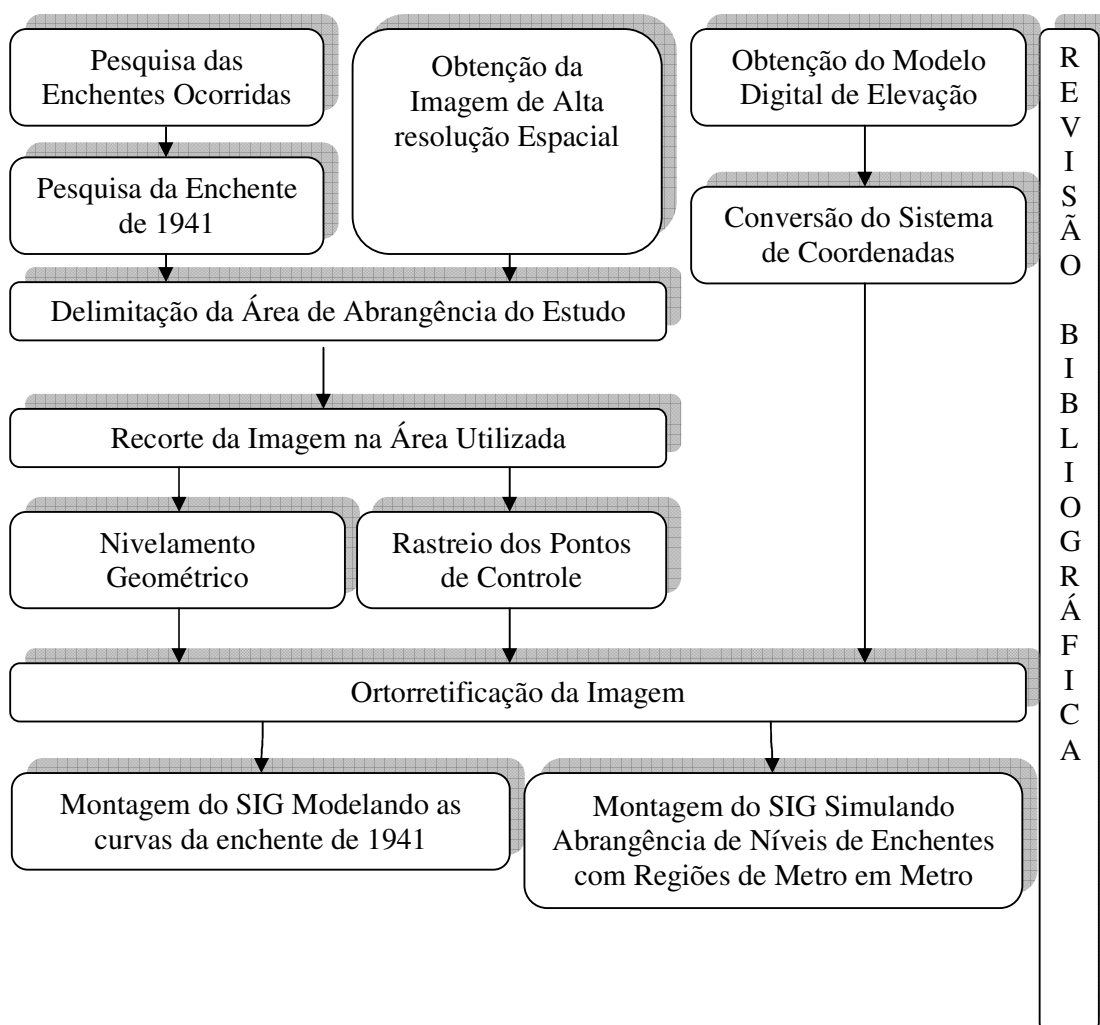
Trena Laser Bosch DLE 50;

Calculadora HP 48G;

3.3. Procedimentos Metodológicos

3.3.1. Fluxograma do Método

O fluxograma a seguir mostra a os passos que foram seguidos para a sistematização e montagem desta dissertação. Apresenta de forma concisa, as etapas de pesquisa e obtenção de dados, bem como o desenvolvimento do trabalho nos seus pontos principais. E conclui com a geração do Sistema de Informação Geográfica, ou Mapa, objeto desta pesquisa e produto cartográfico resultante.



3.3.2. Pesquisa de Enchentes Ocorridas em Porto Alegre

A cidade de Porto Alegre, na sua parte mais plana, encontra-se em média a quatro metros acima do nível do Mar e à beira do Rio Guaíba, que recebe as águas de quatro outros grandes rios: Jacuí, Sinos, Caí e Gravataí. Juntos eles correspondem a aproximadamente 30% da bacia hidrográfica do estado do Rio Grande do Sul. Por este motivo as enchentes sempre estiveram presentes na vida dos porto-alegrenses, especialmente na dos moradores das áreas mais baixas da cidade.

A grande maioria das enchentes ocorre nos meses de setembro e outubro, em decorrência do fenômeno “*El Nino*”, que provoca o aumento das chuvas na região sul do país. Pelo fato das cheias ocorrerem nesta época ficaram conhecidas como “Enchentes de São Miguel”, santo guerreiro cujo dia de devoção é 29 de setembro. No fim do século XIX, em 1873, uma grande enchente castigou Porto Alegre devido às intensas precipitações ocorridas no final de setembro e começo de outubro na Bacia do Jacuí. Foi registrada uma cheia que atingiu a cota de 3,50 metros, a primeira, a ser medida. Depois desta ocorreram outras:

- Em 1899, chuva intensa volta a provocar uma cheia na cidade. No mês de outubro, a altura da enchente teria chegado a 2,65 metros além da cota normal do Guaíba.
- Em 1914 o Guaíba ficou 2,60 metros além da cota normal.
- Em setembro de 1928 o Guaíba chegou a ficar 3,20 metros além da cota.
- No começo do ano de 1936 uma nova enchente foi registrada na capital, o Guaíba atingiu 3,22 metros além da cota.
- No ano de 1941, o Guaíba atingiu 4,75 metros além da cota normal. Após 1941, o Arroio Dilúvio foi canalizado, o Muro da Mauá foi construído e iniciou-se a construção de um sistema de drenagem.
- Em 1967 ocorre uma nova enchente, o Guaíba ficou 3,13 metros além da cota.
- Em 1983 o Guaíba ficou 2,32 metros acima da cota.
- Em 2001 o Guaíba ficou 2,40 metros acima da cota.

A figura 19 apresenta um gráfico mostrando os picos das enchentes ao longo dos anos.

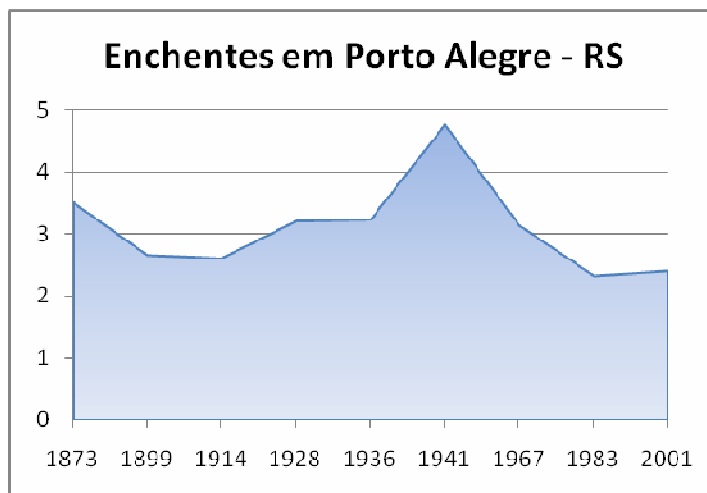


Figura 19 - Picos das enchentes ocorridas em cada Ano

3.3.3. A enchente de 41

As águas começaram a subir no dia 22 de abril, quando o céu ficou escuro, anunciando um terrível temporal que assolaria a cidade, após quase 20 dias seguidos de chuva as águas atingiram seu ápice no dia 08 de maio, quando finalmente parou de chover. Mas apesar do término da chuva as águas não baixaram tão rapidamente como se esperava, o vento que soprava do sul, vindo da Lagoa dos Patos, represou o Guaíba e empurrou suas águas de volta para a cidade. Neste ínterim o caos instalou-se na cidade, os serviços públicos ficaram paralisados, primeiro os transportes hidroviários, depois os trens, a população ficou sem luz e água potável, os gêneros de primeira necessidade foram inventariados e tabelados, para que os comerciantes não cometessem abusos. Muitos tiveram que deixar suas casas e procurar abrigo em casa de parentes, amigos ou albergues improvisados. A solidariedade do povo gaúcho se mostrou em toda a sua extensão, a mobilização para auxiliar os flagelados foi geral. Quando as águas baixaram, chegou a hora de calcular os prejuízos, muitas fábricas fecharam suas portas e a taxa de desemprego aumentou. O governo e os empresários se reuniram e chegaram a um acordo, foi criada uma linha de financiamento a longo prazo com juros baixos e pagamento parcelado para a reconstrução da cidade. A figura 20 ilustra a área que teria sido atingida na enchente de 1941 em Porto Alegre.

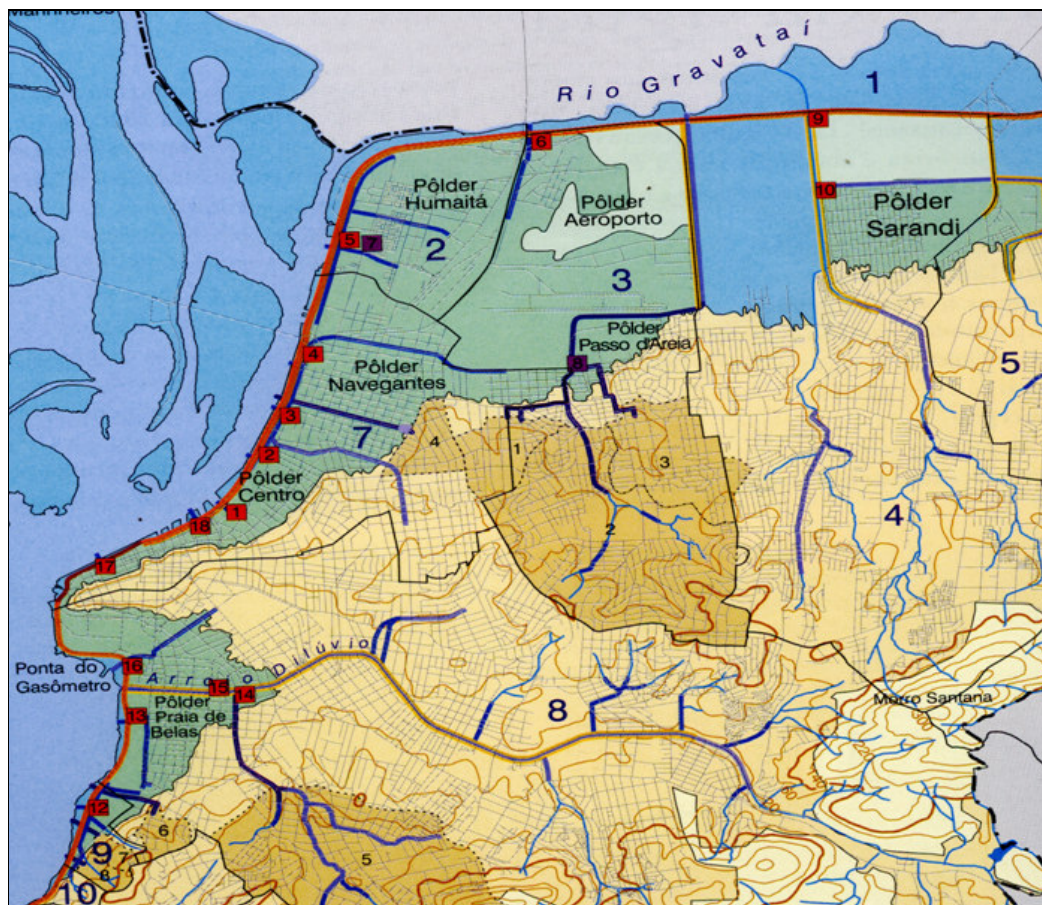


Figura 20 - Ilustração da área ocupada pela enchente e representação do sistema de proteção de cheias. Imagem obtida na disciplina de Ocupação do Espaço Urbano – Graduação em Engenharia Cartográfica.

O medo de que uma nova enchente ocorresse fez com que se pensasse em formas de proteger a cidade da invasão das águas do Guaíba. Muitas propostas foram apresentadas, até que, finalmente, no início da década de 70 iniciou-se a construção do “Muro da Mauá”. A chamada “Cortina de Proteção” conhecida como “Muro da Mauá” é formado por um muro de concreto e comportas, onde parte deste muro está três metros acima do solo, e outra parte a três metros abaixo do solo. Tem uma extensão de 2.647m e faz parte do Sistema de Proteção Contra as Cheias, formado por um total de 68 quilômetros de diques, compostos pelas Avenidas Castelo Branco, BR 290 (*Free-Way*), Avenida Assis Brasil, ao norte, e Edvaldo Pereira Paiva (Beira-rio) e Diário de Notícias, ao sul (Soares 1999). A eficácia deste sistema ainda não foi testada, pois desde sua construção não ocorreram grandes enchentes no Guaíba e a polêmica sobre sua utilidade está sempre presente nos debates políticos da cidade.

3.3.4. Pesquisa Histórica de Referências da Enchente de 1941

A partir da leitura de registros históricos encontrados em livros, recortes de jornais da época, fotografias, páginas na Internet, visitas a locais como o cais do porto da cidade e conversa com comerciantes antigos na região central, identificaram-se cinco referências que marcam o nível máximo a que chegou a enchente de 1941. Quatro destas referências são placas de bronze fixadas em paredes de alvenaria. Três estão localizadas no cais do porto de Porto Alegre, vão central; uma quarta está fixada na entrada de funcionários no prédio da Secretaria da Fazenda; uma quinta placa de latão polido está fixada na parede interna da entrada principal do Mercado Público de Porto Alegre pelo Largo Glênio Peres. Este último referencial não foi utilizado para este trabalho por que a placa indicativa da enchente é nova, e o local passou por uma restauração recentemente, o que pode ser um indicativo de que não viesse a representar um dado real da época e com isto aumentar a incerteza na média obtida com os valores mais antigos.

Em visita à Superintendência de Portos e Hidrovias (SPH) recebeu-se a informação de que a cota das medidas do nível do rio feitas naquela época estava materializada no armazém do cais do porto localizado no ponto mais próximo à Usina do Gasômetro e estaria referenciada a um marco do Serviço Geográfico do Exército (SGE). Fez-se uma visita ao local no dia 8 de julho na companhia de técnicos do SPH, e não foi possível localizar o marco do SGE, pelo fato do local ser de difícil acesso e estar cercado, assim não foi possível identificar o marco de referência da cota normal do Guaíba, o qual serviu de referência para as enchentes anteriores. Também com ajuda do pessoal da SPH, foi obtida uma cópia da ficha de Hidrologia da Praça da Harmonia em Porto Alegre, datada com início em 1941. Entre as anotações da ficha, uma delas feita em 1967 faz referências à enchente de 1941:

Observações feitas pelo Dr. Candiota: em 22-2-1967: Verificou-se a diferença de nível entre o zero da escala da Praça da Harmonia e a marca da enchente de 1941 existente no Portão Central e achou-se 4,62m. Somado a cota de +0,29m temos 4,91m referidos ao zero do Mar.

Em 22-2-1967: o linígrafo R. Fuess número 10.204 do 3º espigão das Docas, do porto de Porto Alegre, fiscalização dos portos do Rio Grande do Sul, Departamento Nacional de Portos e Navegação, registrou em maio de 1941 a máxima de 4,63m. Na época a cota do capeamento do cais era +3,00m em relação ao zero da linígrafo. Deve-se supor que o zero da escala, quando de sua instalação, coincidiu com o zero

do linígrafo, sendo posteriormente referido ao zero do mar (S.G.E.) com a cota +0,29m. Para verificar teremos que nivelar o capeamento do cais.

Uma cópia desta ficha está no ANEXO 05.

Foi obtido um croqui das cotas e da régua de medida no nível do rio e sua correspondência aos referenciais de níveis atuais, mostrado na figura 21. Neste desenho é apresentada a régua de medida no nível do rio com a cota de 3,00m referenciada e nivelada ao plano do piso do cais do porto. O marca zero (0,00m) desta régua está colocado 0,2249m abaixo do marco do SGE e 0,5215m abaixo do marco RN 1788A do IBGE.

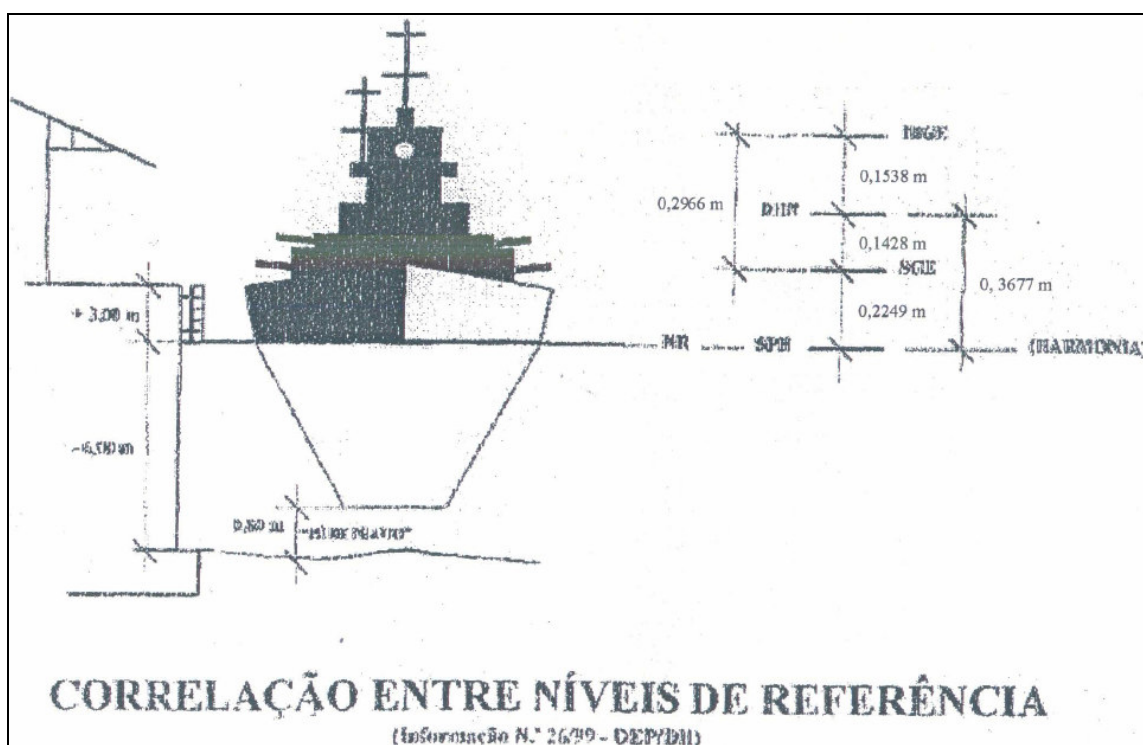


Figura 21 – Croqui da régua de medida de nível do rio

3.3.5. Nivelamento Geométrico

3.3.5.1. Nivelamento Geométrico das Marcas da Enchente de 1941

Com a finalidade de obter informações mais concretas e avaliar dados informados, foi realizado um trabalho de sentido inverso para estabelecer o nível a que chegou a enchente na época. A partir de quatro dos cinco referenciais bem definidos da enchente de 1941 foi realizado um nivelamento geométrico para estimar o valor mais próximo do verdadeiro nível

desta em relação a um referencial de nível atual. Este nivelamento geométrico foi amarrado a um referencial de nível conhecido e confiável, a saber, a RN1788A do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que por sua vez está referenciada a Rede Maregráfica Permanente para Geodésia – RMPG, estação de Imbituba, Santa Catarina.

O nivelamento cobriu quatro referências da enchente de 1941, dois marcos GEOPINOS do Município de Porto Alegre, como o, GEOPINO 5039 e o GEOPINO 5040 e mais o ponto de rastreamento GPS L1 identificado como EDU PT18, sendo este utilizado para georeferenciamento da imagem IKONOS II. O nivelamento geométrico foi realizado com o posicionamento do nível em três estações (Est. I, II, III), a terceira estação foi utilizada para realizar o contranivelamento. Foram visados e medidos os locais onde estão fixadas as placas de marcação da enchente. As placas de número 01, 02 e 04 foram medidas duas vezes, e a placa 03 e o ponto EDU PT 18 foram medidos apenas uma vez. O nivelamento iniciou e terminou na RN1788A do IBGE, cujas coordenadas são apresentados na tabela 1:

Estação	Município	última visita	Latitude	Longitude	Datum	Data Medição	UTM(N)	UTM(E)	Altitude Ortométrica (m)	Fonte	Classe	Datum	Data Medição
1788A	POA	12/4/2008	30 1 38 S	51 13 51 W	Sirgas2k	12/4/2008	6678176	477743	2,9344	NG	Alta P	Imbituba	29/9/1982

Tabela 1 - Dados fornecidos pelo IBGE sobre a RN1788A

A figura 22 apresenta um croqui do trabalho em campo mostrando os passos da metodologia aplicada no nivelamento geométrico:

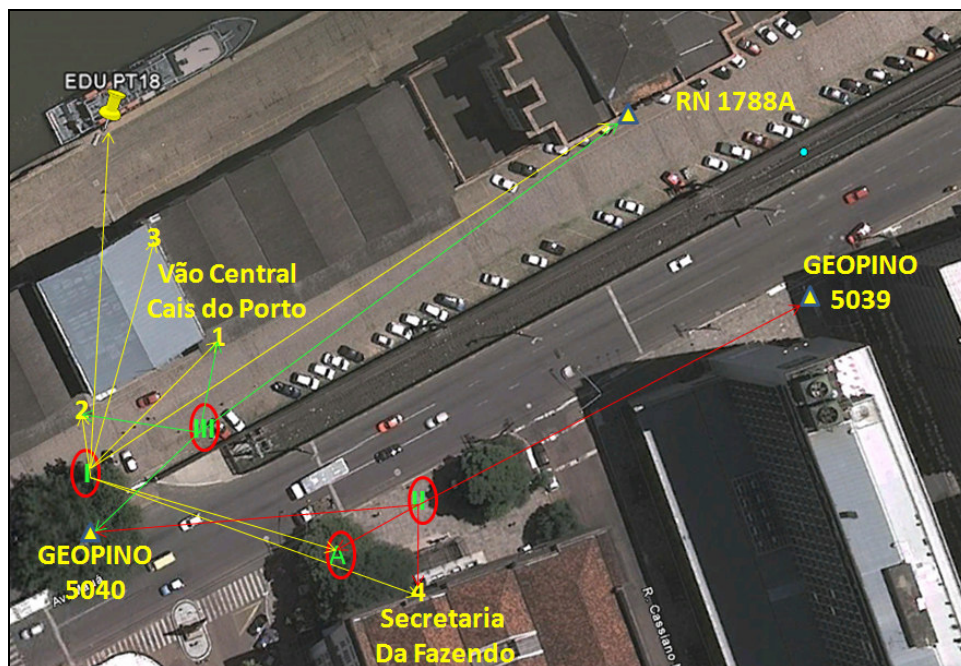


Figura 22 - Croqui Nivelamento e Contranivelamento Geométrico

- Na estação I, foi visada a ré na RN1788A, e lidas as alturas das placas 01, 02, 03 e 04, do ponto EDU PT18 e da vante de mudança A.
- Na estação II, foi visada a ré no ponto A, e lidas as alturas da placa 04, do GEOPINO 5039, e da vante de mudança no GEOPINO 5040.
- Na estação III, foi visada a ré no GEOPINO 5040, e lidas as alturas das placas 02 e 01, foi visada a vante de fechamento na RN 1788A (contranivelamento).

Os dados coletados em campo foram digitados em planilha do Excel. Os valores do nivelamento foram calculados e o erro determinado. O erro tolerável também foi calculado. Com o valor do erro cometido, fez-se a distribuição dos erros para determinar a altura das placas. Com os valores corretos foi realizada uma média das alturas das placas da enchente. Conhecendo a altitude da RN1788A em relação ao Nível Médio dos Mares, referenciado ao marégrafo da cidade de Imbituba - SC, sendo igual a 2,9344m, e somando este valor a média da altura das placas, foi encontrando o valor de 4,1654m acima do Nível Médio dos Mares, em dados atuais, como nível máximo da enchente de 1941.

3.3.5.2. Nivelamento Geométrico Para Transporte de Altura de RN1782Z

Para a avaliação da Ondulação Geoidal na região do trabalho foram rastreadas com GPS dupla frequência, duas RN's do IBGE, a saber RN 1782Z e RN 1788B. Devido ao marco da RN1782Z do IBGE estar localizado debaixo de árvores, não foi possível fazer o rastreamento das coordenadas do mesmo com o GPS neste ponto. Foi preciso fazer o rastreio de um ponto próximo (piquete) e fazer o transporte da altura do ponto para o marco da RN1782Z. Para este transporte foi feito um nivelamento geométrico.

A figura 23 mostra um croqui do trabalho em campo e os passos seguidos na metodologia aplicada no nivelamento geométrico:

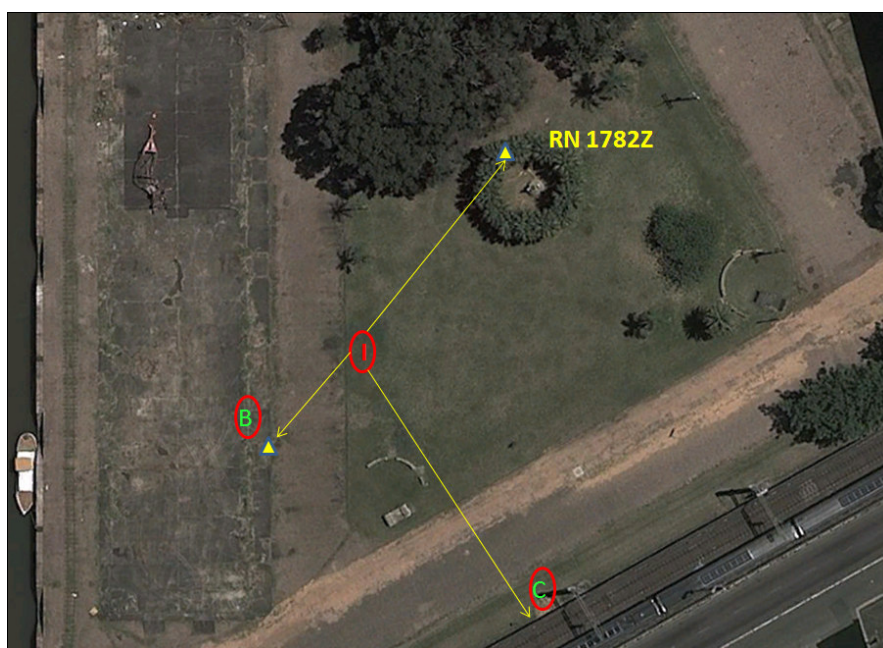


Figura 23 - Croqui do nivelamento geométrico de transporte de altura da RN1782Z

- Na estação I, foi visada a ré no ponto B, e lidas as alturas da RN1782Z e do ponto C.

Nivelamento feito na RN1782Z do IBGE, cujas coordenadas são:

Estação	Município	última visita	Latitude	Longitude	Datum	Data Medição	UTM(N)	UTM(E)	Altitude Ortométrica (m)	Fonte	Classe	Datum	Data Medição
1782Z	POA	29/9/1982	30 1 20S	51 13 10W	Sirgas2k	29/9/1982	6678732	478840	2,8837	NG	Alta P	Imbituba	29/9/1982

Tabela 2 - Dados fornecidos pelo IBGE sobre a RN1782Z

Neste nivelamento geométrico a altura do ponto B, que foi rastreada com o GPS, foi transportada para a RN1782Z, e também foi medida a altura do muro de contenção na

Avenida Mauá, ponto C deste nivelamento. Não foi realizado contranivelamento nesta leitura, por se tratar apenas de um ponto de estação do nível óptico.

3.3.6. Imagem IKONOS II

A utilização de uma imagem de satélite de alta resolução espacial neste trabalho tem como propósito específico mostrar, com informações atuais e com uma precisão planimétrica melhor que 10m, quais locais e ruas de Porto Alegre ficariam inundados caso eventos extremos como as enchentes de 1873 e de 1941 voltassem a ocorrer e o sistema de proteção criado no entorno da cidade não funcionasse.

A imagem deste trabalho, IKONOS II do ano de 2000, foi recebida para a prática de georeferenciamento em sala de aula durante a graduação na cadeira de Cartografia Digital. A imagem é um recorte da área do centro de Porto Alegre, com correções padrões do sensor feitas pelo fornecedor da imagem (*Image Basic*), sem georeferenciamento e produto de uma fusão IHS da pancromática de 1m com 3 bandas multiespectrais de 4m, gerando uma imagem colorida (RGB) no padrão TIFF com resolução espacial com tamanho de *pixels* de 2m por 2m e sua dimensão é de 8041 por 7976, conforme manipulação da mesma no software ENVI, totalizando 64.135.016 *pixels*. As imagens deste tipo, *Basic Imagery*, possuem as correções radiométricas e as do sensor mas não possuem correção geométrica. As únicas correções aplicadas a estas imagens são de resposta radiométrica relativa entre os detectores, preenchimento de possíveis detectores que falharam e correções da geometria interna do sensor, distorções ópticas e distorções do “*scanner*”. Foi grande a dificuldade para obtenção da imagem apropriada a este trabalho devido à dimensão da área abrangida, à resolução espacial do pixel e ao fato de ser colorida (para uma melhor visualização). Anteriormente testou-se e avaliou-se a possibilidade de se utilizar uma imagem HRC do sensor CBERS II com 2,6m de resolução espacial, mas após esta avaliação optou-se por usar uma imagem IKONOS II, pois a imagem CBERS apresentava uma falta de nitidez e muitas nuvens na área de estudo deste trabalho.

A imagem IKONOS por ser um arquivo TIFF *basic*, não possuía o arquivo com informação da orientação exterior e interior do sensor, e sem estes dados a imagem não poderia ser ortorretificada. Em consulta ao professor Dr. Sérgio Florêncio do Instituto de Geociências da UFRGS, foi dado a saber que o *software* ENVI 4.5 possuía uma ferramenta interna que geraria as informações de orientação do sensor a partir de dados padrões do sensor e pontos de controle coletados em campo. No *HELP* do *software* ENVI 4.5 estão descritos

todos os passos a serem seguidos para a criação do cabeçalho com as informações RPCs para a imagem. Tanto a aquisição da imagem como a construção destes parâmetros de orientação foram bem difíceis de conseguir e tiveram muitas horas de pesquisa e colaboração de várias pessoas. Está ilustrada na figura 24 a imagem e sua a área de abrangência.



Figura 24 – Ilustração da imagem fornecida durante Graduação Engenharia Cartográfica.

3.3.7. Determinação do Tamanho do Pixel da Imagem

Para a determinação do tamanho do pixel da imagem recebido procedeu-se o seguinte método de análise. A partir do *Software* ENVI, foi escolhida na imagem do trabalho o campo da pista de atletismo da SOGIPA, feição que está bem definida na imagem, com a ferramenta

de *Measurement Tool* do próprio *software* foi medida a quantidade de *pixels* que representava a maior largura deste campo. O valor encontrado foi de 77,02 *pixels*.

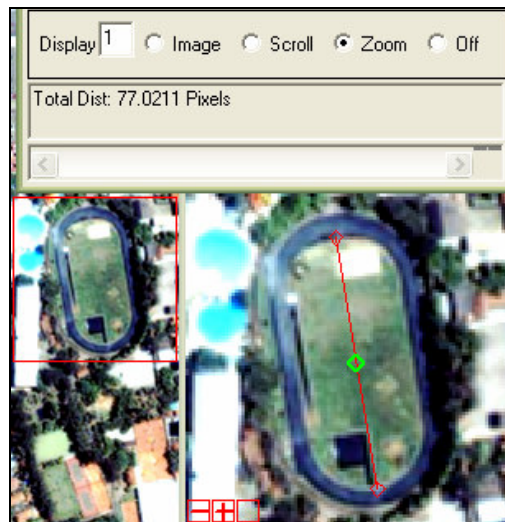


Figura 25 - Imagem da contagem de pixels no campo de Atletismo, SOGIPA.

Utilizando cartas digitais na escala de 1:1000 do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental, PDDUA, da cidade de Porto Alegre, foi medida largura do mesmo campo de atletismo da SOGIPA.

O valor medido foi de 150,27m.

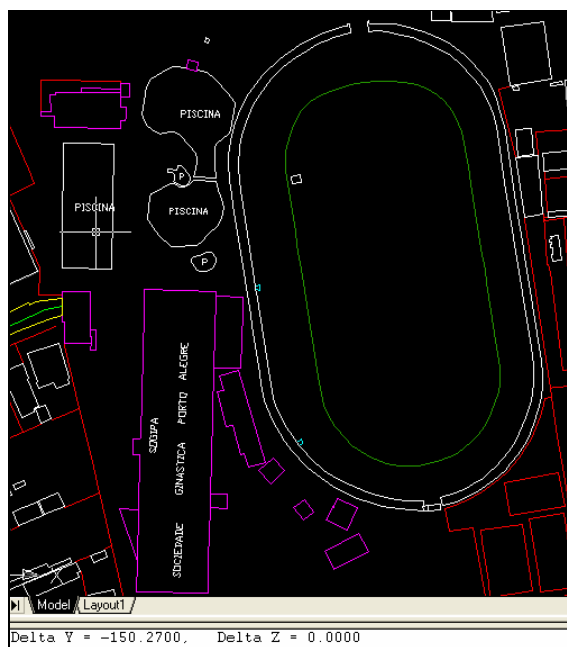


Figura 26 - Imagem da medida realizada do comprimento do campo no software AUTOCAD MAP.

Calculando a razão entre a medida do campo pela quantidade de *pixels* obteve-se o valor de 1,95m por *pixel* da imagem. A razão entre a distância e a quantidade de *pixels* ficou muito próxima a 2m por *pixel*. Após mais duas medidas de estimativas, chegou-se a conclusão que o tamanho do pixel da imagem era de 2m.

3.3.8. Recorte da Imagem

Esta imagem foi recortada utilizando o *software* ENVI nos limites da área foco do trabalho, gerando assim uma nova imagem também no formato TIFF. A figura 27 mostra um dos passos seguidos para o recorte da imagem.

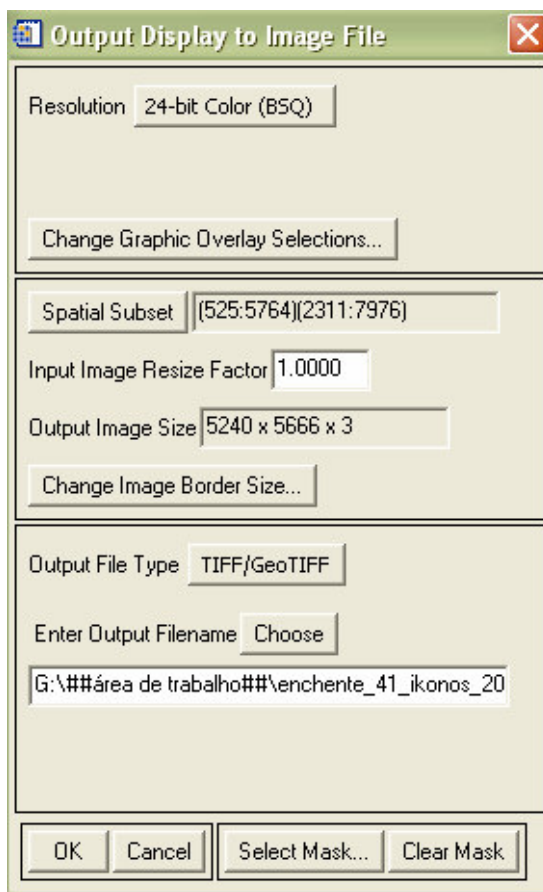


Figura 27 - Recorte da imagem original para imagem da área utilizável

Após o recorte da imagem esta foi salva com a dimensão de 5240 por 5666 totalizando uma imagem com 29.689.840 *pixels*, mostrada na figura 28.



Figura 28 – Ilustração da imagem produto do recorte no ENVI

A esta imagem foram aplicadas as correções e o georeferenciamento necessários a sua utilização.

3.3.9. Pontos de Controle para o Georeferenciamento da Imagem

Na imagem IKONOS II utilizada não haviam coordenadas e nem sistema de projeção cartográfico. Para que ela pudesse ser referenciada às curvas de nível do modelo digital de elevação foi preciso levantar, em campo, os pontos de controle que foram reconhecidos para definir com precisão as coordenadas da imagem.

3.3.9.1. Cálculo dos Pontos de Controle

Para o georeferenciamento da imagem IKONOS II, segundo a fórmula proposta por Rocha (2002) e validada por Patrocínio (2003), 20 pontos bem distribuídos na imagem garantem um intervalo de confiança de 90% de exatidão. O cálculo desta quantidade foi feito da seguinte forma:

Foi usada a fórmula de Rocha (2002).

$$n = \frac{Z^2 * \gamma^2 * N}{(N - 1) * \varepsilon_r^2 + Z^2 * \gamma^2}$$

Fórmula para o cálculo da quantidade de pontos de controle

Foi definido o número total de pixels da imagem recortada igual a $N = 29689840,00$.

O intervalo de confiança foi definido entre 90% com $Z = 1,6994$ e o erro amostral relativo igual a $\varepsilon_r = 12,5\%$, isto posto para minimizar o custo de tempo e financeiro com GPS L1 alugado. E a razão entre o desvio padrão amostral e a média amostral igual a: $\gamma = \sigma / \mu = 0,33$.

Aplicado a fórmula chegou-se a valor para n igual a 20,13 pontos.

3.3.9.2. Levantamento dos Pontos de Controle

O levantamento em campo com GPS L1 de simples frequência foi utilizado para adquirir pontos de controle para georeferenciar a imagem e foram coletados 17 pontos ao total. Para este trabalho foi realizada uma pesquisa dos locais que fossem facilmente reconhecidos na imagem e estivessem bem distribuídos. A logística do rastreamento dos pontos foi cuidadosamente planejada para haver a coleta no menor tempo possível, com permanência de no máximo 30min em cada estação, também evitando a perda de tempo no deslocamento entre as estações. Para a escolha dos pontos de controle foram utilizadas a imagem do trabalho IKONOS II em formato TIFF e imagens do *Google Earth* para determinar os locais a serem rastreados com GPS L1. O trabalho iniciou-se na noite do dia 02 de junho de 2010 por volta das 20h e encerrou-se dia 03 de junho de 2010 por volta das 17h. Ele foi realizado em conjunto com minha esposa, Carmen Valenti, que participou ativamente como equipe de apoio e logística. Teve um período de duração de 24h e utilizou-se apenas um receptor GPS

topográfico de uma frequência, L1 Promark III, com tempo de coleta igual a 5 segundos e a antena fixada na altura de 1,5m. O roteiro deste levantamento encontra-se no ANEXO 03.

A figura 29 mostra a imagem capturada do *Google Earth* com a marcação dos pontos escolhidos para o rastreio.

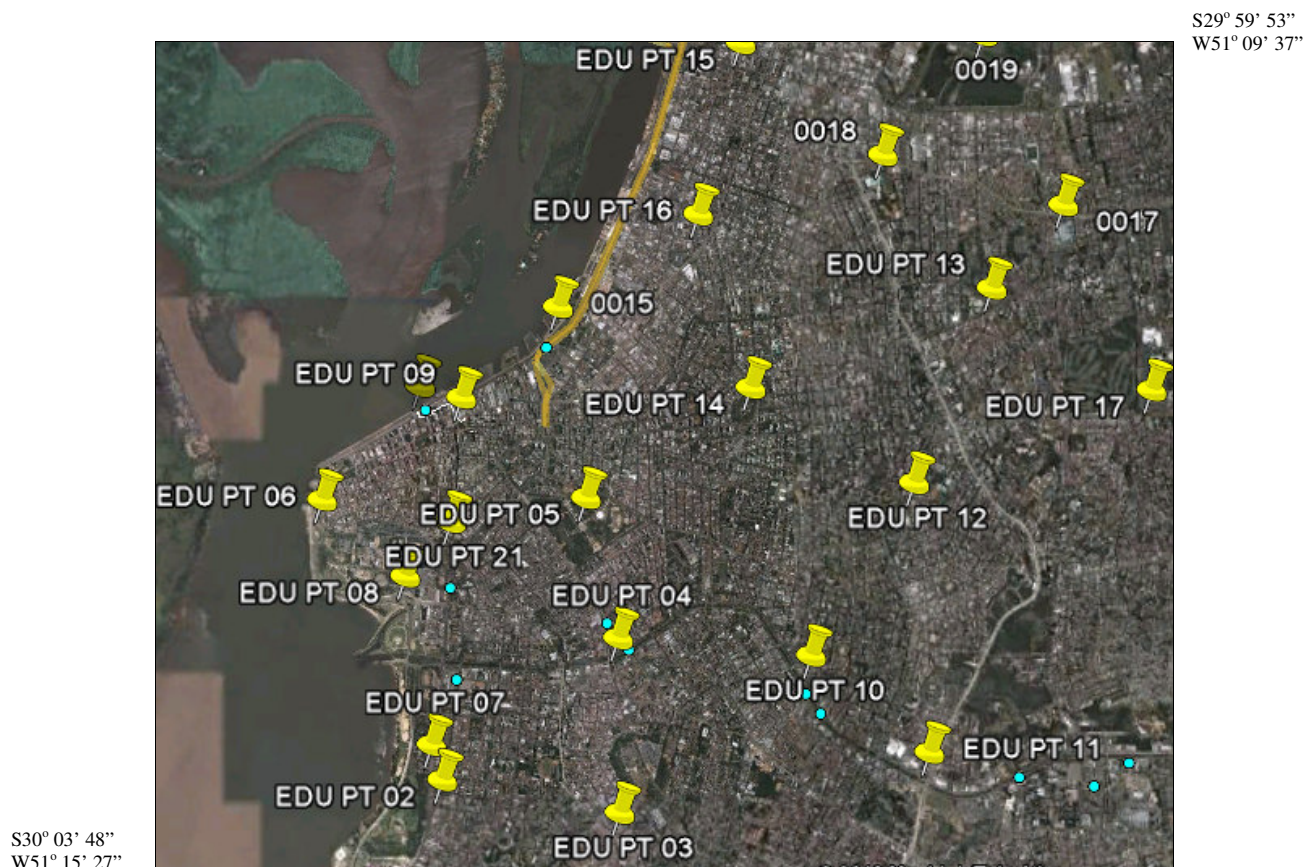


Figura 29 - Pontos selecionados no *Google Earth*

Após o trabalho de rastreamento os pontos foram digitados em planilha do Excel e identificados os arquivos, estações e horários do rastreio. Durante o trabalho de rastreio foi cometido um erro na anotação da localização no EDU PT01, sendo que este teve a identificação alterada para EDU PT21. Durante o levantamento o ponto EDU PT09 foi abandonado por ser inseguro e de difícil permanência, estava localizado no Largo Glênio Peres em frente ao Mercado Público de Porto Alegre.

A tabela 3 mostra os locais e endereços de cada ponto de controle.

Nome do Ponto	Data	Hora Local	Nome Arquivo Bruto	Rinex	Localização
EDU PT 21	3/6/2010	09:21	R0001F10.154	00011546.100	Canto da ponte dos Açorianos lado da Av. Loureiro da Silva
EDU PT 02	3/6/2010	08:03	R0001D10.154	00011544.100	Canteiro da Av. Praia de Belas com Av. Borges de Medeiros
EDU PT 03	3/6/2010	11:25	R0001I10.154	00011549.100	Canteiro Central da Av. Cel Gastão Haslocher Mazon com Av. Cascatinha
EDU PT 04	3/6/2010	10:48	R0001H10.154	00011548.100	Canteiro Central da Av. da Azenha com Av. Ipiranga
EDU PT 05	3/6/2010	10:03	R0001G10.154	00011547.100	Canto espelho d'água Praça Central Chafariz - Parque Farrroupilha
EDU PT 06	3/6/2010	06:47	R0001B10.154	00011542.100	Canteiro Av. Edivaldo Pereira Paiva - Gazômetro
EDU PT 07	3/6/2010	08:41	R0001E10.154	00011545.100	Canto espelho d'água Monumento da Marinha - Parque Marinha do Brasil
EDU PT 08	3/6/2010	07:23	R0001C10.154	00011543.100	Rótula Av. Edivaldo Pereira Paiva com Av. Aureliano de Figueiredo Pinto
EDU PT 09	3/6/2010				Ponto Abandonado por reavaliação do levantamento - Mercado Público
EDU PT 10	3/6/2010	12:56	R0001K10.154	0001154K.100	Canto Av. Cel Corte Real com Av. Ipiranga
EDU PT 11	3/6/2010	12:11	R0001J10.154	0001154J.100	Canto do contorno Av. Salvador França com Av. Ipiranga
EDU PT 12	2/6/2010	21:07	R0001A10.154	00011541.100	Rótula Av. DR. Nilo Peçanah com Rua Carazinho
EDU PT 13	2/6/2010	19:37	R0001A10.153	00011531.100	Canteiro Av. Plínio Brasil Milano com Av. Alfredo Correa Daut
EDU PT 14	3/6/2010	16:02	R0001O10.154	0001154O.100	Ponto ao lado do banco de praça - Parque Moinhos de Vento
EDU PT 15	3/6/2010	13:47	R0001L10.154	0001154L.100	Canteiro Av. Sertório com Rua Santos Pedroso
EDU PT 16	3/6/2010	14:22	R0001M10.154	0001154M.100	Esquina Rua Conde de Porto Alegre com Rua do Parque
EDU PT 17	2/6/2010	20:21	R0001B10.153	00011532.100	Canteiro AV. Dr. Nilo Peçanha com Av. João Wallig
EDU PT 18	3/6/2010	15:17	R0001N10.154	0001154N.100	Dormite número 39 amaração de navios, Cais do Porto - Vão central

Tabela 3 - Tabela com o os dados de rastreo dos Pontos de Controle

3.3.9.3. Ajustamento dos pontos de controle

Os pontos rastreados em campo foram processados pelo método de ajustamento de posicionamento absoluto ou irradiação, utilizando como referência a estação Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo - RBMC POAL situada no Campus da UFRGS. Foi utilizado o *software Astec Solution* para este processamento. O ponto mais distante da RBMC encontrava-se a aproximadamente 12km.

O descritivo com todo o processamento dos dados encontra-se no ANEXO 01.

3.3.9.4. Obtenção de Outros Pontos de Controle

Cedido pelo Engenheiro Cartógrafo Jefferson Martins, em sua dissertação com o título “Utilização de Imagens de Alta Resolução Para Gerenciamento de Zonas de Proteção de Aeródromos” (2010), foi obtido pontos de controle de campo usados naquele trabalho que estavam localizados na mesma área de abrangência deste trabalho. A figura 30 mostra a distribuição dos pontos de controle levantados naquele trabalho.

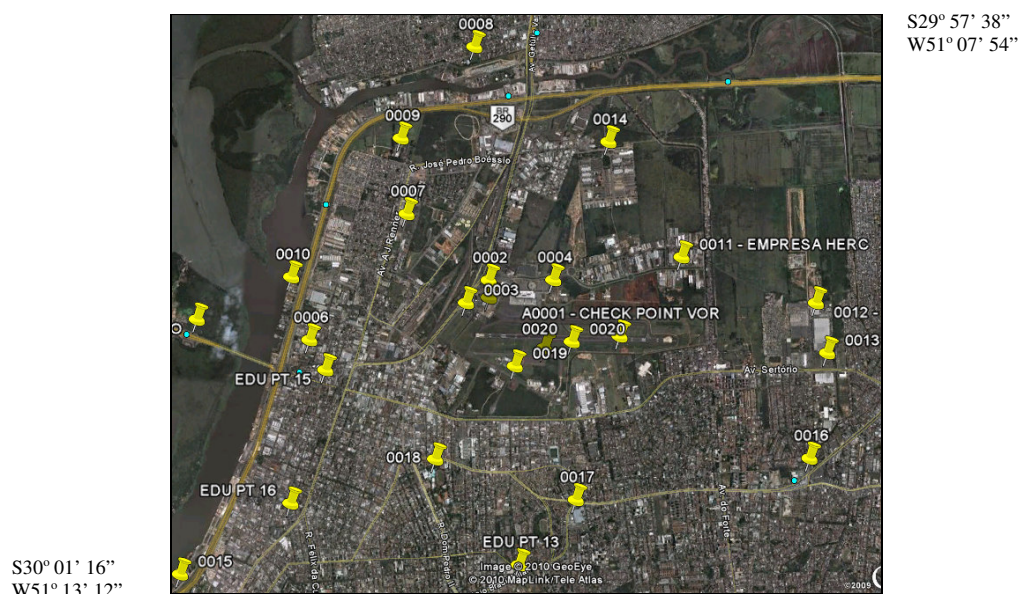


Figura 30 - Croqui dos Pontos de Controle Jefferson Martins

A tabela 4 mostra os pontos de controle de georeferenciamento da imagem cedidos para utilização neste trabalho já processados e prontos para uso.

COORDENADAS UTM:								
Ponto	E(m)	sigma_E(m)	N(m)	sigma_N(m)	MC	FUSO	h(m)	sigma_h(m)
POAL	488457,5445	5,7001E-10	6673004,0565	5,6977E-10	22	-51		
A0001	483969,3843	5,7008E-10	6681664,2733	5,6974E-10	22	-51	7,1248	2,3877E-05
0001	483098,8187	5,7018E-10	6681522,8270	5,6986E-10	22	-51	4,0675	2,3877E-05
0002	482448,0089	5,7019E-10	6682302,7256	5,6984E-10	22	-51	3,8731	2,3877E-05
0003	482186,1044	5,7020E-10	6682039,5690	5,6983E-10	22	-51	4,3999	2,3877E-05
0004	483197,2668	1,0193E-10	6682311,1491	1,0187E-10	22	-51	10,0949	1,0095E-05
0005	479061,4132	1,2688E-08	6681824,6646	1,2680E-08	22	-51	4,7151	1,1264E-04
0006	480372,6199	1,2690E-08	6681601,4972	1,2681E-08	22	-51	3,3781	1,1264E-04
0007	481491,4884	1,2690E-08	6683066,1492	1,2682E-08	22	-51	4,4439	1,1264E-04
0008	482267,1977	3,6581E-10	6685002,4683	3,6559E-10	22	-51	2,9582	1,9094E-05
0009	481420,6780	3,6583E-10	6683940,5853	3,6559E-10	22	-51	3,9491	1,9094E-05
0010	480157,3174	5,9958E-10	6682331,9628	5,9918E-10	22	-51	3,2652	2,4484E-05
0011	484684,7075	5,9942E-10	6682582,4791	5,9887E-10	22	-51	3,7181	2,4484E-05
0012	486243,1196	2,0875E-09	6682059,7213	2,0863E-09	22	-51	5,3254	4,5690E-05
0013	486376,6658	2,0876E-09	6681482,7551	2,0864E-09	22	-51	7,1011	4,5690E-05
0014	483829,3165	2,0875E-09	6683910,5372	2,0863E-09	22	-51	4,3927	4,5690E-05
0015	478885,8783	2,4804E-09	6678884,0269	2,4785E-09	22	-51	3,4973	4,9804E-05
0016	486175,2964	7,6624E-09	6680265,7611	7,6588E-09	22	-51	18,8862	8,7525E-05
0017	483471,1259	7,6536E-09	6679771,5348	7,6362E-09	22	-51	15,7294	8,7525E-05
0018	481841,4699	7,0149E-09	6680235,4122	7,0104E-09	22	-51	21,1199	8,3746E-05
0019	482757,8337	1,8124E-09	6681310,8106	1,8112E-09	22	-51	3,1663	4,2573E-05
0020	483416,2634	1,8124E-09	6681596,0495	1,8110E-09	22	-51	3,0097	4,2573E-05

Tabela 4 - Pontos de Controle cedidos pelo Colega Jefferson Martins

Com os 17 pontos levantados em campo, somados aos 20 pontos disponibilizados, obteve-se 37 pontos de coordenadas conhecidas disponíveis para georeferenciamento da imagem e controle da mesma após a ortorretificação.

3.3.10. Determinação da Ondulação Geoidal

Para conhecer o valor da ondulação geoidal, corrigir as altitudes dos pontos colhidos para o georeferenciamento da imagem e comparar com as altitudes das curvas de nível de metro em metro obtidas para este trabalho, foram rastreadas duas RN do IBGE, 1782Z e 1788B, com GPS L1/L2 (dupla frequência) permanecendo em média 20min em cada ponto:

- Rastreio dia 08/07/2010 às 15:50 – RNN 1782Z, altura da Antena = 1,412m
- Rastreio dia 08/07/2010 às 16:31 – RNN 1788B, altura da Antena = 1,252m

As coordenadas destes levantamentos foram ajustadas em relação à RBMC POAL pelo método de irradiação, no software *Topcon Tools Demo* e foi atribuído um valor padrão de altura da antena do GPS igual a 1,50m. As altitudes ajustadas foram comparadas com os valores das altitudes geométricas das duas RN. Da altitude geométrica obtida deste ajustamento subtraído do valor de altitude ortométrica fornecida no Relatório de Estação Geodésica do IBGE de cada RN, obteve-se um valor para a ondulação geoidal.

No *software* MAPGEO2010 versão 1.0 (sistema de Interpolação Ondulação Geoidal), obteve-se a Ondulação Geoidal para cada uma das RN's rastreadas. Estes Valores de Ondulação Geoidal foram comparados entre si.

Na tabela 05 estão descritos os dados dos Relatórios de Estação Geodésica das duas RN do IBGE.

Estação	Município	última visita	Latitude	Longitude	Datum	Data Medição	UTM(N)	UTM(E)	Altitude Ortométrica (m)	Fonte	Classe	Datum	Data Medição
1782Z	POA	29/9/1982	30 1 20 S	51 13 10 W	Sirgas2k	29/9/1982	6678732	478840	2,8837	NG	Alta P	Imbituba	29/9/1982
1788B	POA	30/9/1982	30 2 30 S	51 13 43 W	Sirgas2k	30/9/1982	6676576	477960	3,3843	NG	Alta P	Imbituba	30/9/1982

Tabela 5 - Dados fornecidos pelo IBGE sobre a RN1782Z e RN1788B

Foi utilizado também o *software* MAPGEO2010, para calcular a Ondulação Geoidal de cada ponto de controle levantado em campo no município de Porto Alegre. De posse deste dado foram corrigidas todas as alturas dos levantamentos feitos com o GPS L1.

3.3.11. Modelo Digital de Elevação

As curvas de nível para a geração do Modelo Digital de Elevação foram fornecidas pelo Laboratório da Geografia (LABGEO – UFGRS), como um recorte em *shapefile* CAD da área de estudo. As curvas estavam na projeção *Universal Transversa de Mercator* (UTM), e no sistema de coordenadas *South America Datum 1969* (SAD 1969), com curvas de nível de 1m em 1m. Estas curvas estão baseadas no trabalho de sistematização e atualização de curvas feitas por iniciativa do LABGEO e são provenientes do levantamento aerofotogramétrico realizado em Porto Alegre no ano de 1982, com curvas de metro em metro e precisão altimétrica de 0,50m. A figura 31 mostra estas curvas de nível.

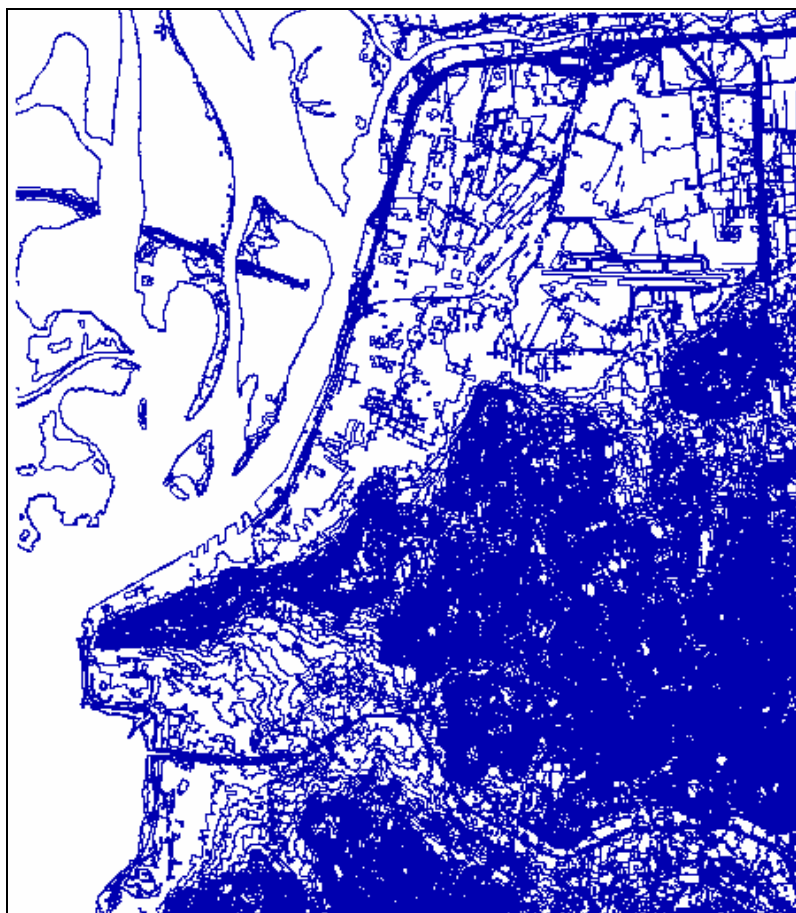


Figura 31 – Ilustração do arquivo com as curvas de nível em UTM e SAD69

As curvas de nível foram convertidas do sistema de coordenadas SAD69 para o sistema SIRGAS2000, esta conversão foi realizada com o *software ArcCatalog*. Esta transformação foi necessária para compatibilizar os sistemas de projeção e coordenadas da imagem, o modelo digital de elevação e dos pontos de controle levantados em campo. Após a conversão das coordenadas das curvas de metro em metro, mostrado na figura 32, as mesmas foram analisadas no *software* ENVI para uma avaliação e pesquisa de verificação da continuidade das mesmas.

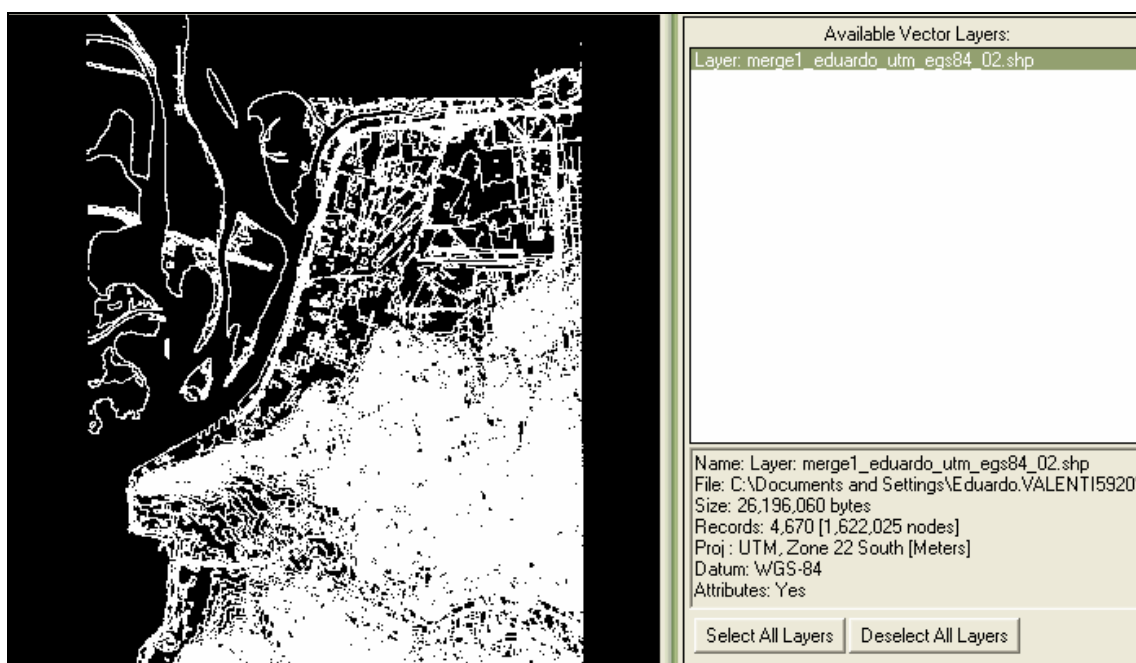


Figura 32 - Imagem das curvas de nível fornecidas pelo LABGEO

Durante a verificação das curvas de nível no *software* ENVI, foi feita uma simulação aplicando cores e mais tarde eliminando as curvas de nível até a cota 5m, para verificar o comportamento da ocupação das águas no contorno geográfico da área de estudo. A figura 33 ilustra um teste representativo, primeiro com a coloração da curvas conforme sua cota e segundo com eliminação das curvas.

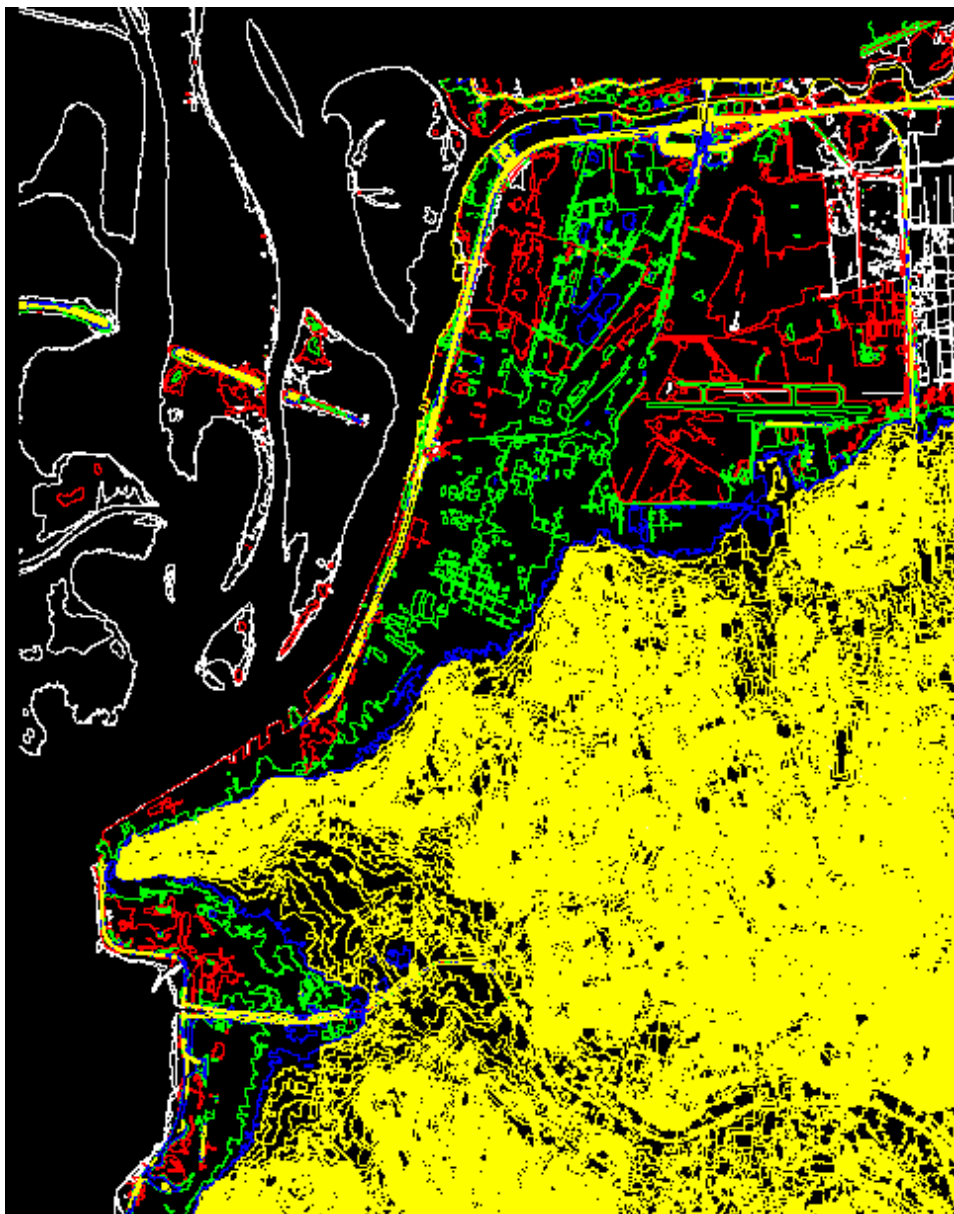


Figura 33 - Curvas coloridas acompanhando o avanço das águas

Para este ensaio não foi definida uma escala e nem criado uma legenda, serve apenas para análise visual.

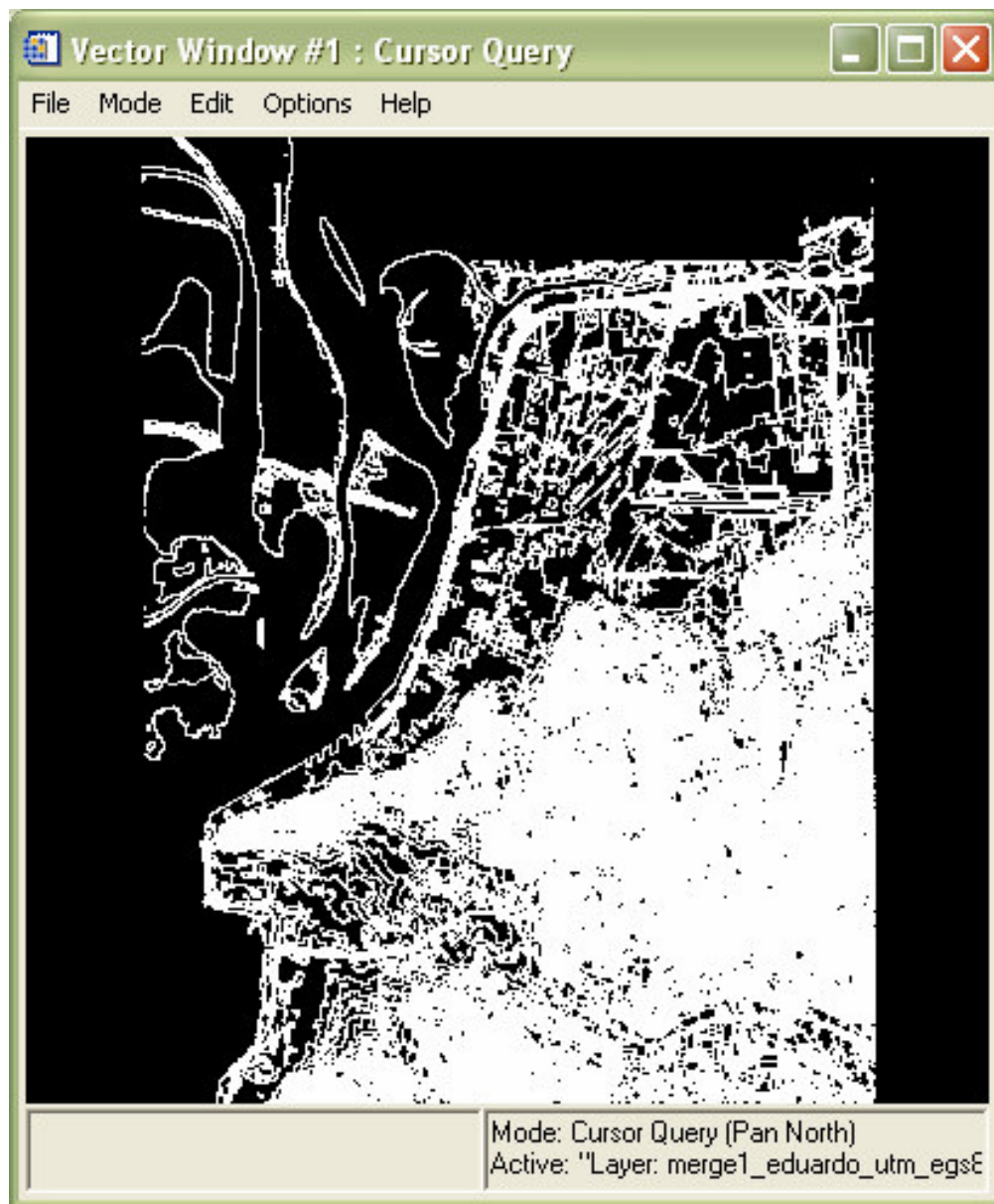


Figura 34 - Eliminação das curvas de 0m

Início do processo; eliminação da curva de 0m.

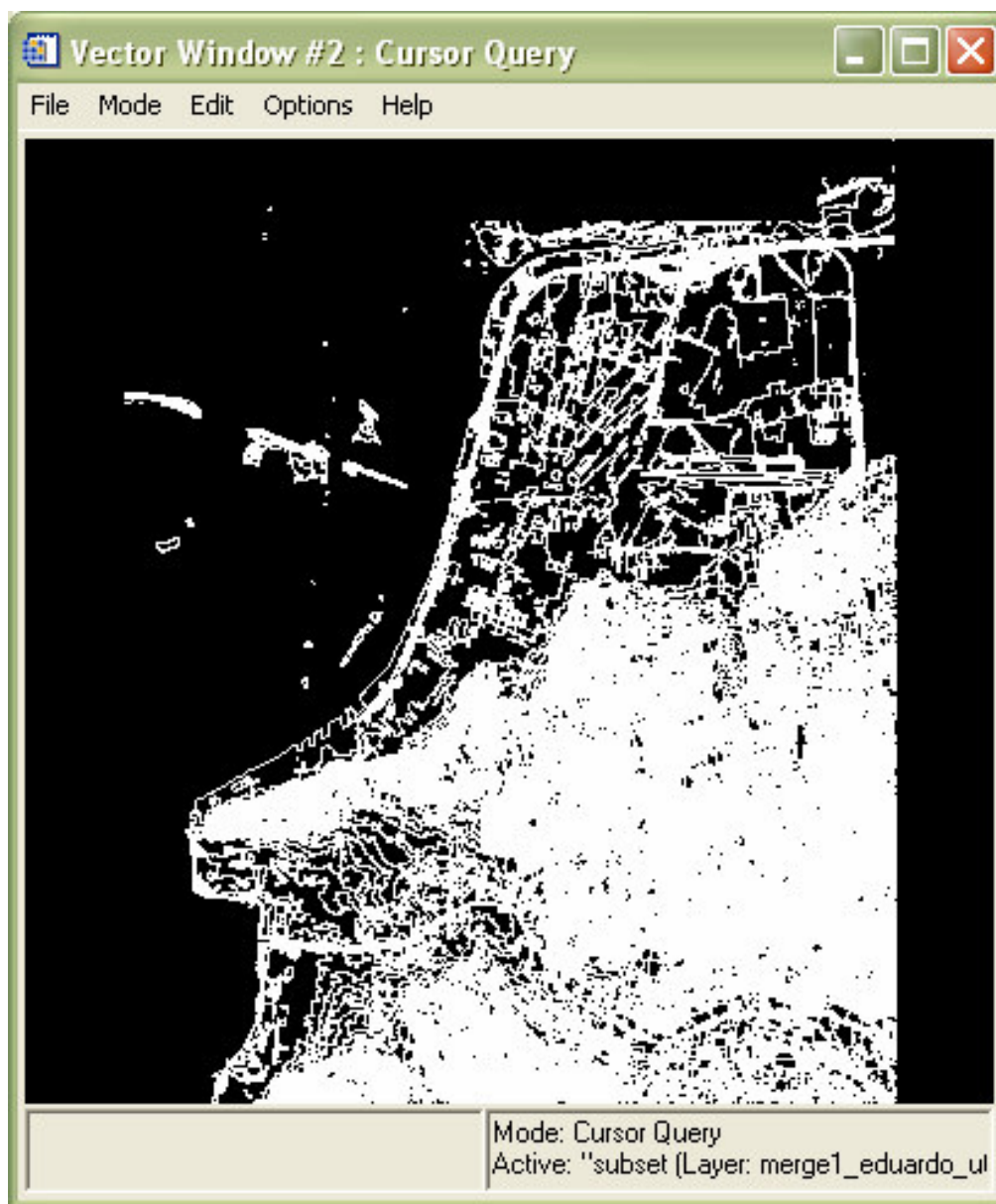


Figura 35 - Eliminação das curvas de 1m

Com a retirada das curvas de 1m o contorno das ilhas do Guaíba desaparece, a linha do cais do porto permanece visível, a cheia não atinge a área central da cidade.

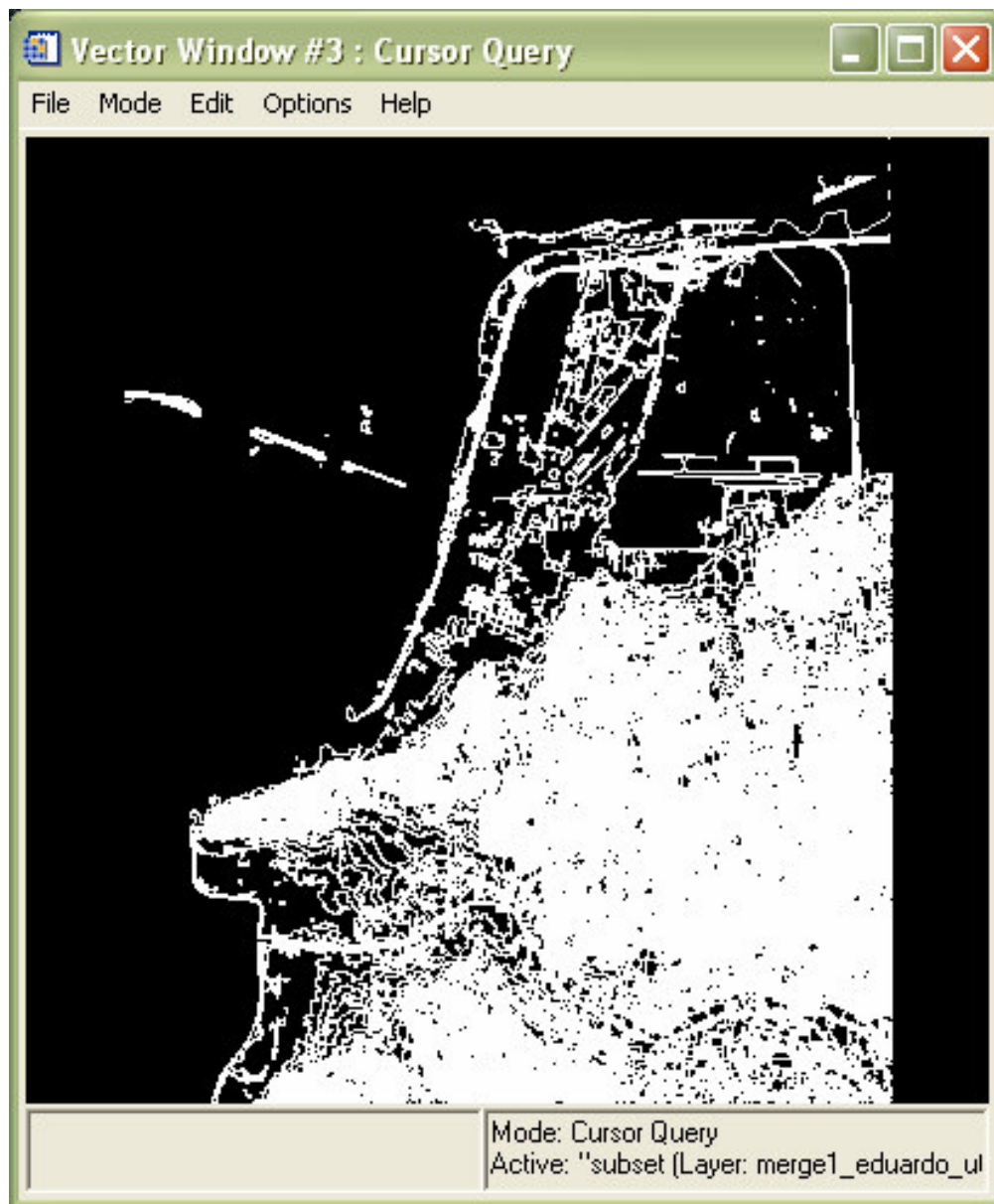


Figura 36 - Eliminação das curvas de 2m

Na figura 36 são representadas as curvas de nível a partir de 3m, a curva de 2m foi retirada.

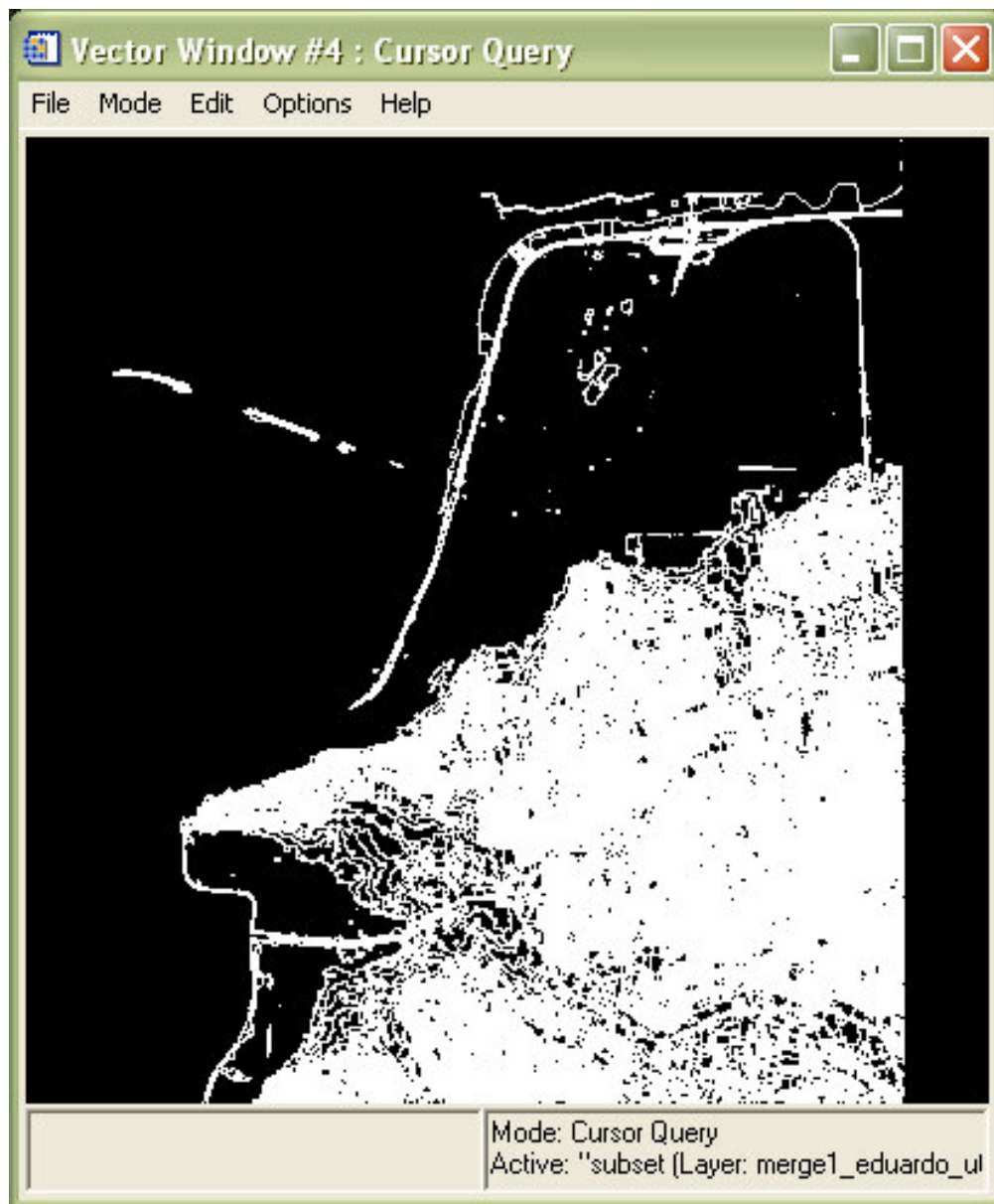


Figura 37 - Eliminação das curvas de 3m

Com a retirada da linha de 3m, representado na figura 37, grande parte da planície norte da cidade desaparece.

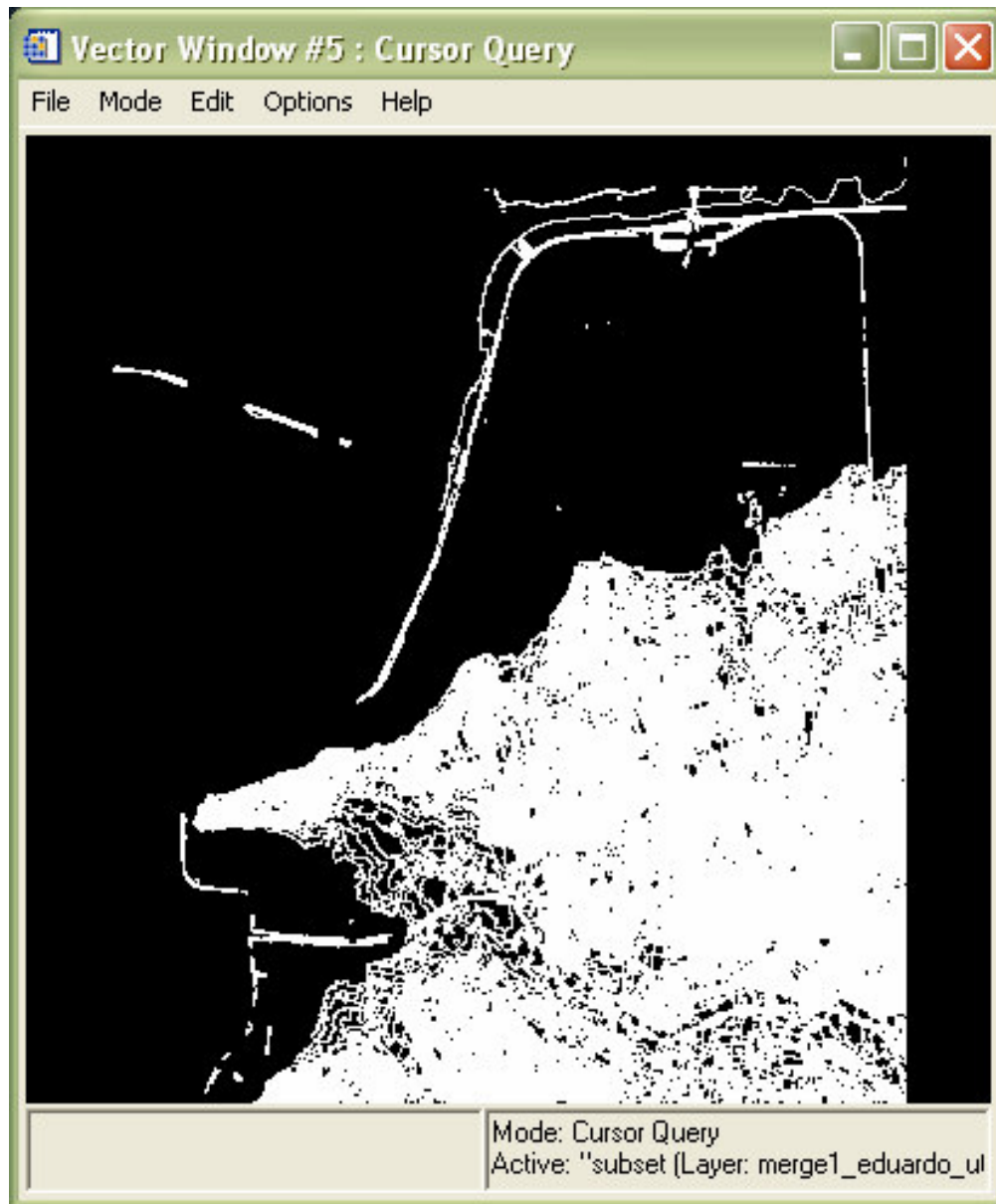


Figura 38 - Eliminação das curvas de 4m

A figura 38 foi retirada a curva de 4m.

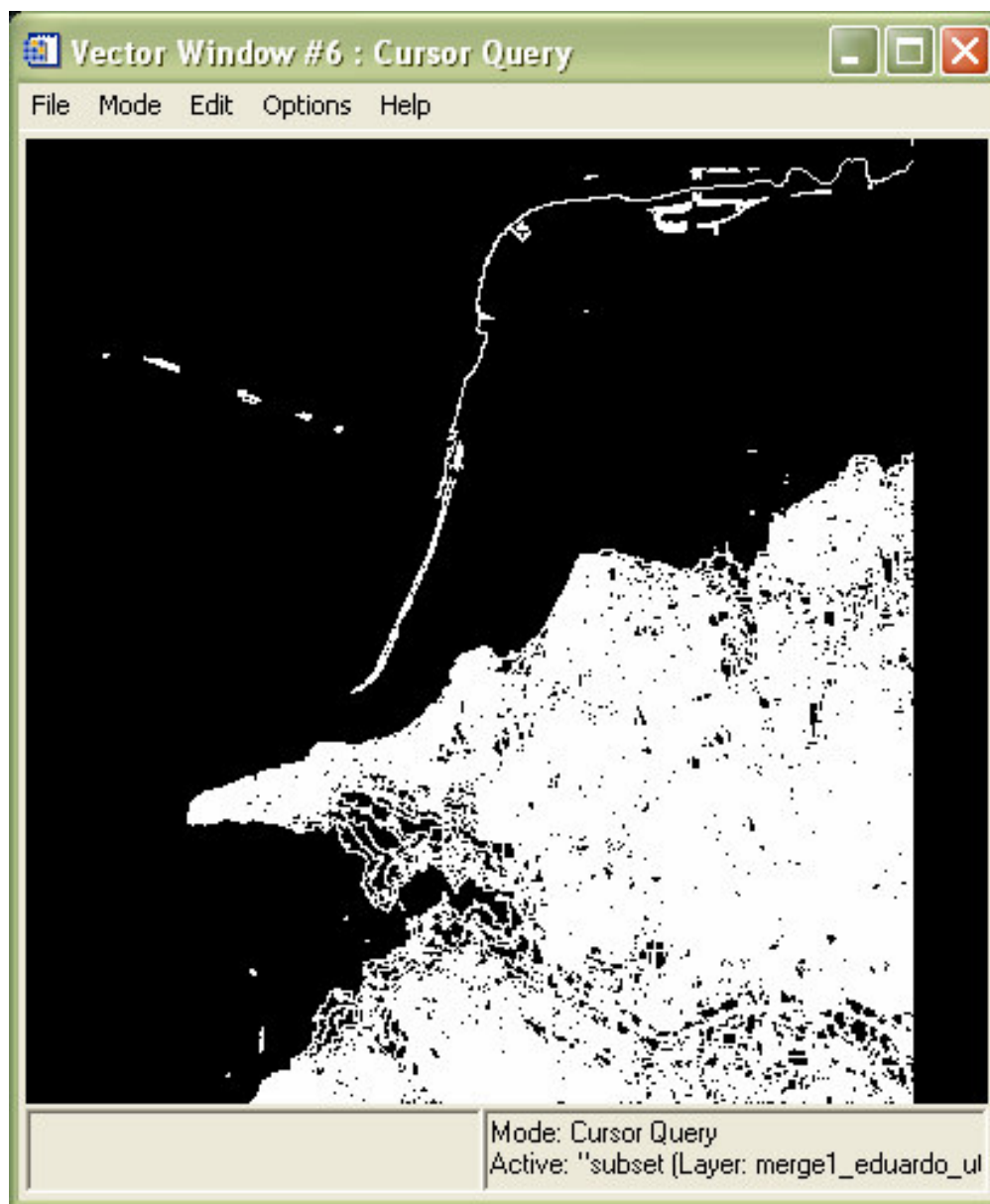


Figura 39 - Eliminação das curvas de 5m

Na figura 39 como uma pré-análise é possível observar que a BR 290 e a Avenida Castelo Branco até próximo a rodoviária de Porto Alegre ficam ilhadas, e a entrada norte da cidade e a via para a região sul do estado ficam completamente submersas. Após esta análise a partir do *software* ENVI utilizando estas curvas de nível foi gerado o Modelo Digital de Elevação com curvas de 1m por 1m. No *software* ENVI 4.5, foi selecionado o arquivo contendo as curvas de nível de 1m em 1m e foi gerado a partir destas o modelo digital de elevação também para 1m por 1m com interpolação linear. Este procedimento gerou um

arquivo conforme a imagem ilustrada na figura 40. Nesta imagem do MDE a bacia do Arroio Dilúvio tornasse bem visível.

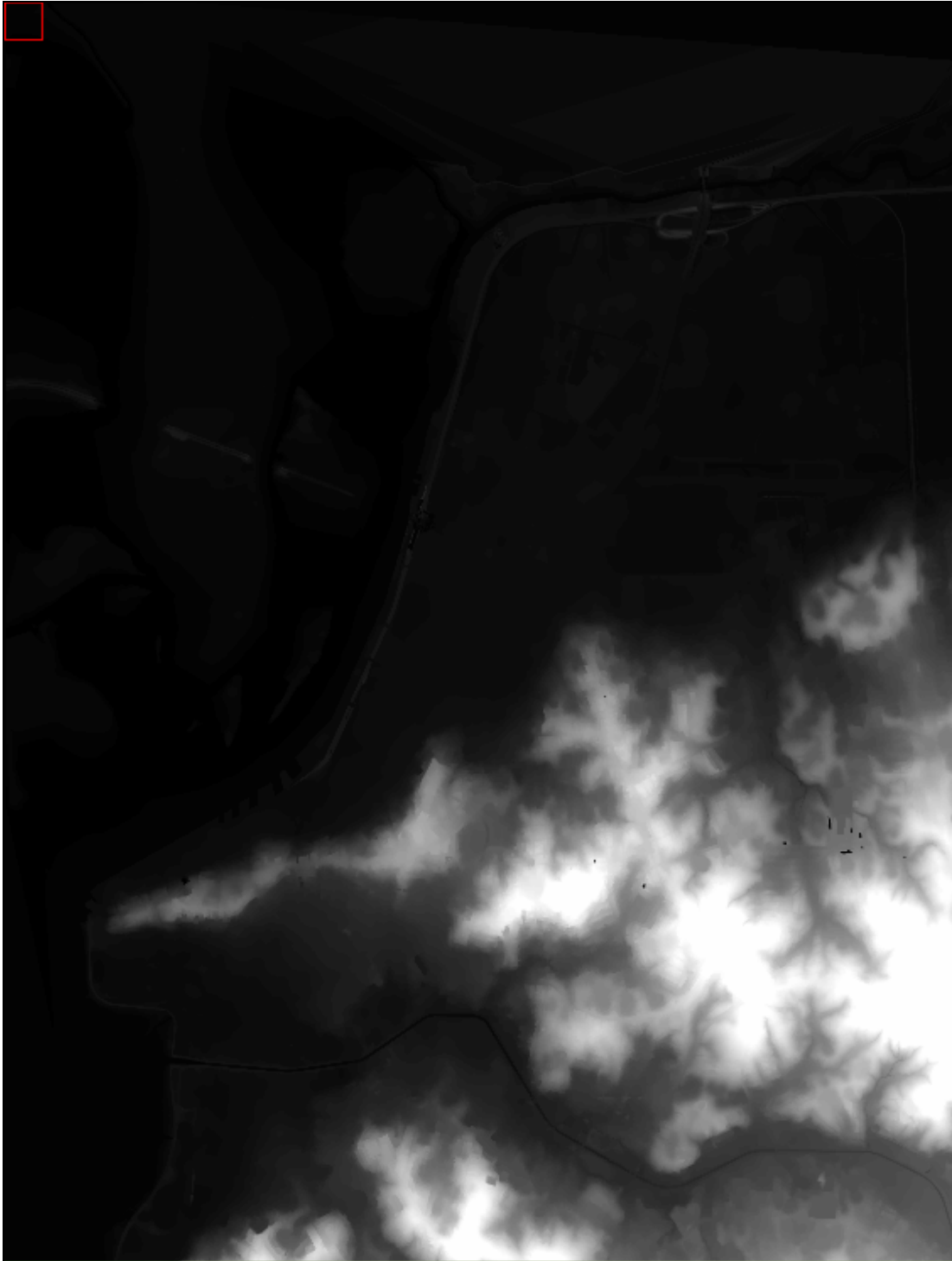


Figura 40 - Imagem do MDE gerado a partir das curvas de nível

3.3.12. Ortorretificação da Imagem

3.3.12.1. Seleção dos Pontos de Campo para o Georeferenciamento

Para o georeferenciamento e ortorretificação da imagem foram selecionados 21 do total de 37 pontos disponíveis para o georeferenciamento. Por se tratar de uma imagem que cobriu uma área muito grande e parte desta área ser dentro da região de inundação do delta do Guaíba, os pontos não ficaram bem distribuídos em todas as regiões da imagem. No procedimento de levantamento dos pontos foi tomado o cuidado de fazer uma boa distribuição na região principal do estudo, como está representado na figura 41.

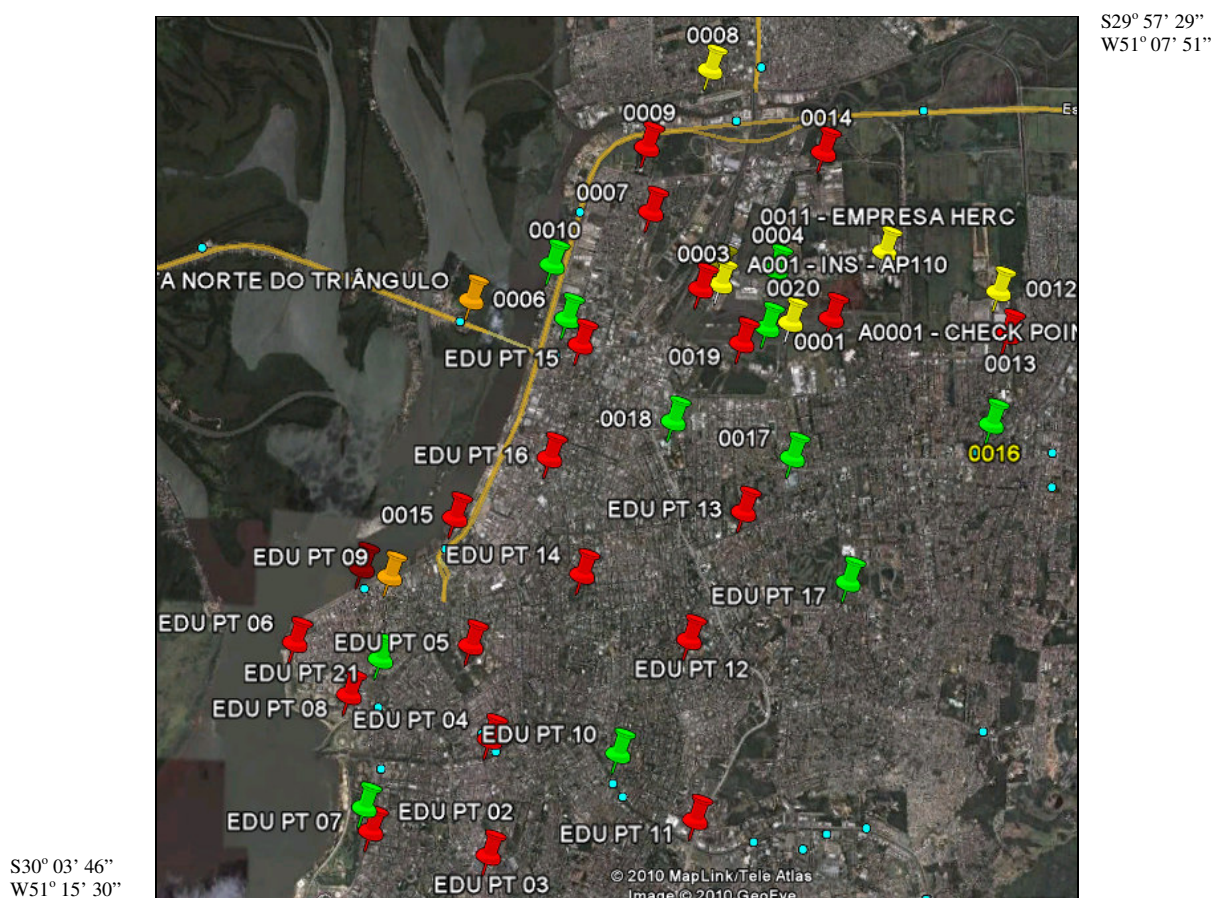


Figura 41 – Ilustração dos pontos selecionados para georeferenciamento da Imagem

- Pontos marcados na cor vermelha foram utilizados para georeferenciamento;
- Pontos marcados na cor verde foram utilizados para aferição do georeferenciamento;
- Pontos marcados na cor amarela, não foram utilizados por falta de definição;

- Pontos marcados na cor laranja foram abandonados e ou rejeitados;

Os pontos foram selecionados dentro do critério de comparação entre as feições visíveis na imagem e a referência em campo. Os 21 pontos selecionados foram separados em uma nova tabela (tabela 6).

	Estação	E	erro (E)	N	erro (N)	Elevação	erro (Elev)
1	A0001	483969,3843	5,7000E-10	6681664,2733	5,6974E-10	7,1248	2,3877E-05
2	0003	482186,1044	5,7020E-10	6682039,5690	5,6983E-10	4,3999	2,3877E-05
3	0007	481491,4884	1,2690E-08	6683066,1492	1,2682E-08	4,4439	1,1264E-04
4	0013	486376,6658	2,0876E-09	6681482,7551	2,0864E-09	7,1011	4,5690E-05
5	0014	483829,3165	2,0875E-09	6683910,5372	2,0863E-09	4,3927	4,5690E-05
6	0009	481420,6780	3,6583E-10	6683940,5853	3,6559E-10	3,9491	1,9094E-05
7	0015	478885,8783	2,4804E-09	6678884,0269	2,4785E-09	3,4973	4,9804E-05
8	0019	482757,8337	1,8124E-09	6681310,8106	1,8112E-09	3,1663	4,2573E-05
9	EDU PT02	477807,0020	2,3000E-02	6674620,8940	2,1000E-02	2,5087	3,4000E-02
10	EDU PT03	479415,5330	1,5000E-02	6674315,4030	1,6000E-02	15,3357	2,9000E-02
11	EDU PT04	479410,7950	1,3000E-02	6675889,7250	1,7000E-02	4,7527	3,0000E-02
12	EDU PT05	479131,0050	1,5000E-02	6677159,4440	1,3000E-02	9,0607	4,0000E-02
13	EDU PT06	476734,3370	1,8000E-02	6677156,2310	1,4000E-02	4,7687	4,0000E-02
14	EDU PT08	477482,3740	2,1000E-02	6676461,9770	1,9000E-02	5,5617	3,4000E-02
15	EDU PT11	482224,9070	1,3000E-02	6674841,4240	1,1000E-02	12,9027	2,2000E-02
16	EDU PT12	482090,4510	9,0000E-03	6677267,6320	1,2000E-02	34,7257	2,7000E-02
17	EDU PT13	482817,4170	1,3000E-02	6679022,8370	1,4000E-02	43,0337	3,1000E-02
18	EDU PT14	480631,5870	1,3000E-02	6678143,6290	1,5000E-02	25,5427	3,4000E-02
19	EDU PT15	480559,5190	2,0000E-02	6681255,7830	2,4000E-02	3,0727	3,8000E-02
20	EDU PT16	480164,0030	1,0700E-01	6679714,9910	8,7000E-02	2,9217	1,1900E-01
21	EDU PT18	477629,8020	2,3000E-02	6678180,9700	1,8000E-02	3,3927	4,3000E-02

Tabela 6 - Pontos selecionados para o georeferenciamento da imagem

Após a seleção dos pontos de controle, foi utilizado o *software* ENVI, para que sobre a imagem usada fossem registrados os *Ground Control Points* (GPC). Estas coordenadas foram aplicadas aos *pixels* correspondentes na imagem e foi verificado o Erro Médio Quadrático – *Root Mean Square* (RMS) calculado pelo *software*. A avaliação do erro médio quadrático (RMS) teve um valor de 0,48 (figura 42), o que confirma uma boa distribuição e ajustamento dos pontos na imagem, onde são esperados valores menores que 1.

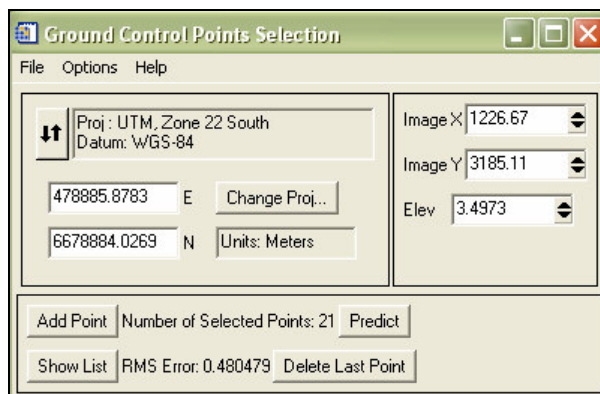


Figura 42 - Imagem do resultado do registro dos 21 pontos de controle selecionado para imagem

A tabela 7 mostra os pontos de controle e o resultado do RMS por ponto aplicado a imagem.

	Map X	Map Y	Elev	Image X	Image Y	Predict X	Predict Y	Error X	Error Y	RMS
#1+	-51.17	-30.00	7.12	3767.25	1794.25	3767.9396	1794.5356	0.6896	0.2856	0.7464
#2+	-51.18	-29.99	4.40	2876.00	1607.00	2876.5887	1606.9528	0.5887	-0.0472	0.5906
#3+	-51.19	-29.98	4.44	2530.00	1094.00	2529.5204	1093.7179	-0.4796	-0.2821	0.5564
#4+	-51.14	-30.00	7.10	4971.25	1885.00	4971.2282	1884.9497	-0.0218	-0.0503	0.0548
#5+	-51.17	-29.98	4.39	3699.00	672.25	3698.3836	672.3931	-0.6164	0.1431	0.6328
#6+	-51.18	-30.00	3.17	3162.00	1971.00	3162.2537	1971.1641	0.2537	0.1641	0.3021
#7+	-51.23	-30.06	2.44	686.50	5318.00	687.0153	5318.0056	0.5153	0.0056	0.5153
#8+	-51.21	-30.06	15.26	1491.00	5470.00	1490.7940	5469.6529	-0.2060	-0.3471	0.4036
#9+	-51.21	-30.05	4.73	1489.00	4682.50	1488.5979	4682.2775	-0.4021	-0.2225	0.4595
#10+	-51.22	-30.04	9.04	1348.75	4047.00	1348.9038	4047.3552	0.1538	0.3552	0.3870
#11+	-51.24	-30.04	4.72	151.50	4049.44	151.1123	4049.7891	-0.3877	0.3491	0.5218
#12+	-51.23	-30.04	5.51	525.00	4397.11	524.9152	4396.9586	-0.0848	-0.1514	0.1736
#13+	-51.18	-30.06	12.91	2894.56	5204.22	2894.7602	5204.3751	0.2002	0.1551	0.2533
#14+	-51.19	-30.04	34.76	2828.44	3992.22	2827.9760	3991.9008	-0.4640	-0.3192	0.5632
#15+	-51.18	-30.02	43.11	3192.00	3114.80	3191.6186	3114.4472	-0.3814	-0.3528	0.5195
#16+	-51.20	-30.03	25.57	2098.80	3554.10	2098.9890	3554.6320	0.1890	0.5320	0.5646
#17+	-51.20	-30.00	3.14	2063.10	1998.30	2063.3847	1998.6135	0.2847	0.3135	0.4235
#18+	-51.21	-30.01	2.96	1865.63	2768.50	1865.4885	2769.0405	-0.1415	0.5405	0.5588
#19+	-51.23	-30.03	3.38	598.33	3537.00	598.7127	3536.7595	0.3827	-0.2405	0.4520
#20+	-51.19	-29.98	3.95	2494.22	657.11	2494.2547	656.5882	0.0347	-0.5218	0.5230
#21+	-51.22	-30.02	3.50	1226.67	3185.11	1226.5630	3184.8012	-0.1070	-0.3088	0.3268

Tabela 7 - Resumo dos pontos registrados

3.3.12.2. Construção do arquivo RPC

As imagens do satélite IKONOS II no formato *Basic Imagery* são fornecidas ao usuário com correções radiométricas relativas entre os detectores, com preenchimento de possíveis detectores que falharam e correções da geometria interna do sensor, distorções

ópticas, Matsuoka (2006). Os dados de calibração do sensor, das efemérides, de orientação exterior e de orientação interior não são fornecidos juntos com a imagem aos usuários, diminuindo assim o custo na aquisição da mesma. Os parâmetros que permitem a ortorretificação das imagens, no caso do sensor IKONOS são chamados de Coeficientes Polinomiais Racionais (RPC – *Rational Polynomial Coefficient*), e são fornecidos em arquivos separados da Imagem. Estes coeficientes podem ser calculados a partir do modelo físico com a utilização de Pontos de Controle em Campo (GPC – *Ground Point Control*), sendo capazes de resgatar a geometria da imagem no instante de sua captura.

Os RPCs são calculados no *software* ENVI 4.5 utilizando uma técnica de fotogrametria digital que usa a equação de colinearidade para construir a geometria do sensor, onde o objeto ponto central, ponto de vista e ponto de imagem estão todos no mesmo espaço linha. A técnica envolve uma série de transformações que envolvem pixel, câmera, imagem do espaço e coordenadas dos sistemas de terra. Para ortorretificação de imagem única, a técnica inclui duas etapas de pré-processamento para construir a geometria do sensor:

- orientação interior, que transforma o sistema de coordenadas de pixel para a câmara de coordenadas sistema;
- orientação exterior, que determina a posição e parâmetros de orientação angular associados com a imagem.

Depois que os RPCs são processados, a informação RPC é adicionada ao cabeçalho do arquivo de entrada da imagem para que se possa usá-lo no processo de ortorretificação no *software* ENVI.

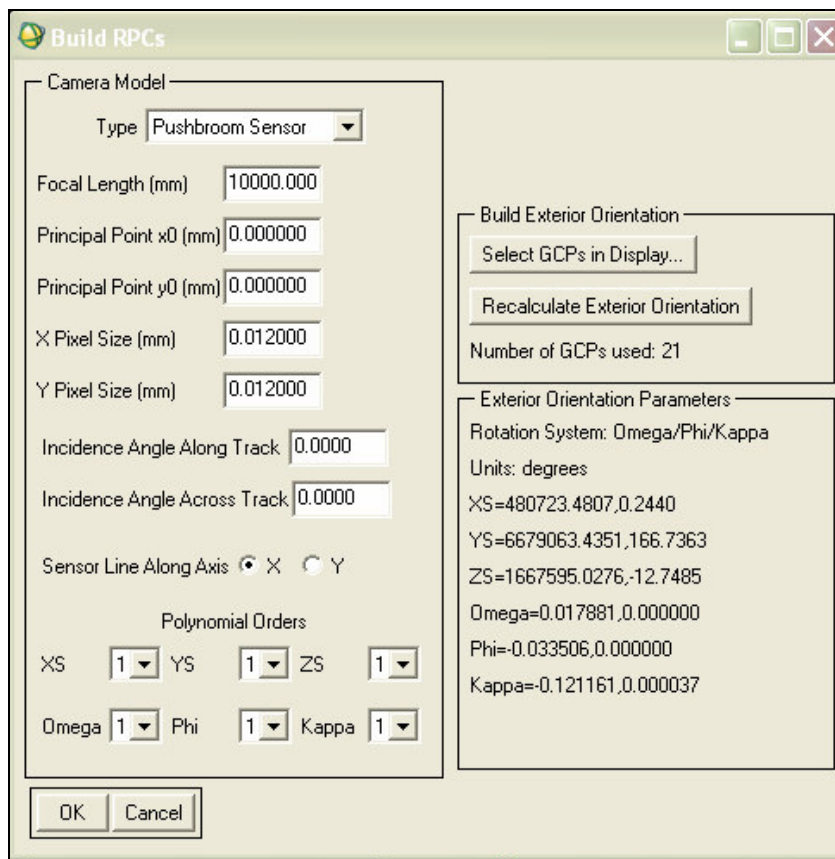


Figura 43 - Construção do arquivo RPC

A figura 43 ilustra a tela de digitação dos dados, o procedimento para a geração do RPC genérico a partir do *software* ENVI 4.5 para a imagem IKONOS II está descrito no ANEXO 04.

3.3.12.3. Ortorretificação da Imagem

O processo de ortorretificação da imagem mostrado na figura 44, e foi iniciado logo após a criação do arquivo RPC genérico com as informações de orientação do sensor padronizadas para o sensor IKONOS II. No *software* ENVI 4.5 à imagem recortada foram acrescentados os GPCs e aplicado o modelo digital de elevação gerado a partir das curvas de nível de metro em metro.

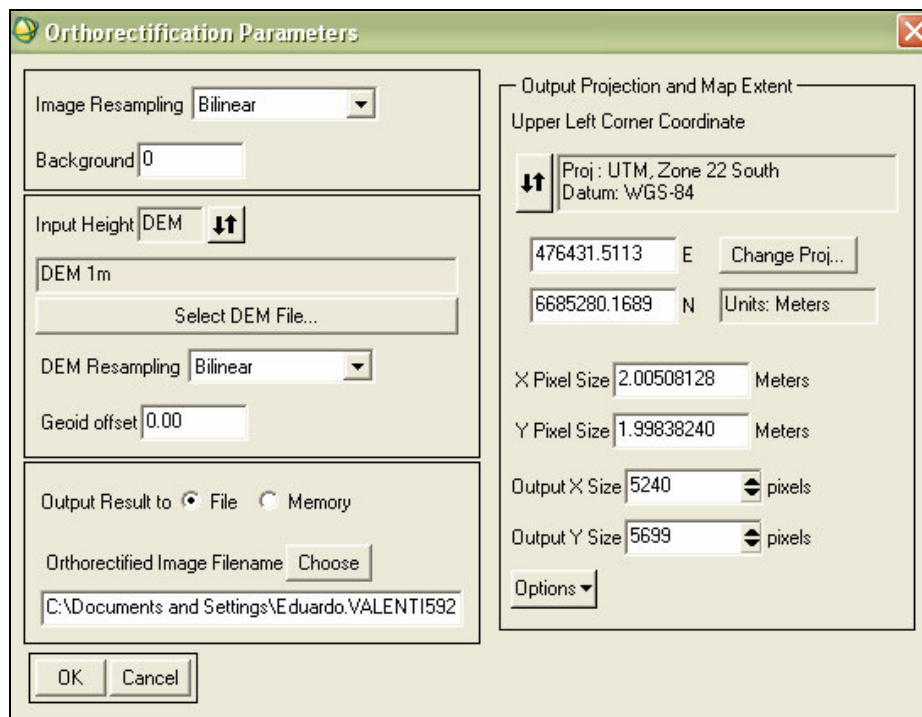


Figura 44 - Imagem de parte do processamento de ortorretificação de Imagem

Após a ortorretificação foi gerada uma nova imagem com sistema de projeção UTM e com coordenadas geográficas no sistema SIRGAS2000, devidamente corrigidas. A imagem está ilustrada na figura 45.



Figura 45 – Ilustração da imagem ortorretificada da área de estudo

Uma superfície 3D foi gerada a partir do *software* ENVI 4.5 para análise visual e exagero vertical, conferindo o resultado da ortorretificação e representado na figura 46.



Figura 46 - Imagem da Superfície 3D resultado da ortorretificação

3.3.13. Avaliação da Ortorretificação

Com a imagem georeferenciada e ortorretificada, foram selecionados 10 pontos do total de 37, para avaliação da qualidade do georeferenciamento. Estes pontos também foram selecionados com base na comparação da imagem e na precisão do levantamento e foram utilizados na verificação da qualidade da ortorretificação da imagem. A figura 47 mostra o processo de identificação dos pontos.

14	EDU PT07	477713.2100	2.1000E-02	6674937.3900	1.8000E-02	7.9980	3.2000E-02
15		477714.2900		6674938.7400			
16	EDU PT21	477903.2450	1.7000E-02	6676950.6850	1.6000E-02	9.3270	4.0000E-02
17		477904.2900		6676951.7400			
18	EDU PT05	479131.0050	1.5000E-02	6677159.4440	1.3000E-02	14.0240	4.0000E-02
19							
20							

Figura 47 - Recorte da coleta dos dados na imagem e comparação com o ponto

3.3.14. Composição da Imagem com as Curvas de Nível

No *software* ArcGis 9.2 foi montada a composição das curvas de nível do MDE mais a imagem ortoretificada com as 3 bandas espectrais com tamanho de pixel de 2m.

Uma avaliação visual foi realizada percorrendo-se a imagem e verificando o contorno da curva de nível com a imagem formada pelos pixels de fundo, o que mostrou uma boa correspondência entre os dois modelos. Após esta verificação final, o arquivo contendo as curvas de nível que formava um único *shape*, foi separado em *layers* de metro em metro até a cota de 15m, com isto possibilitando a manipulação dos dados de forma discreta e parcial. Na figura 48 são mostradas as curvas de 2m a 5m, a partir da linha do cais do porto e a região que teria sido coberta pelas águas na enchente de 1941.

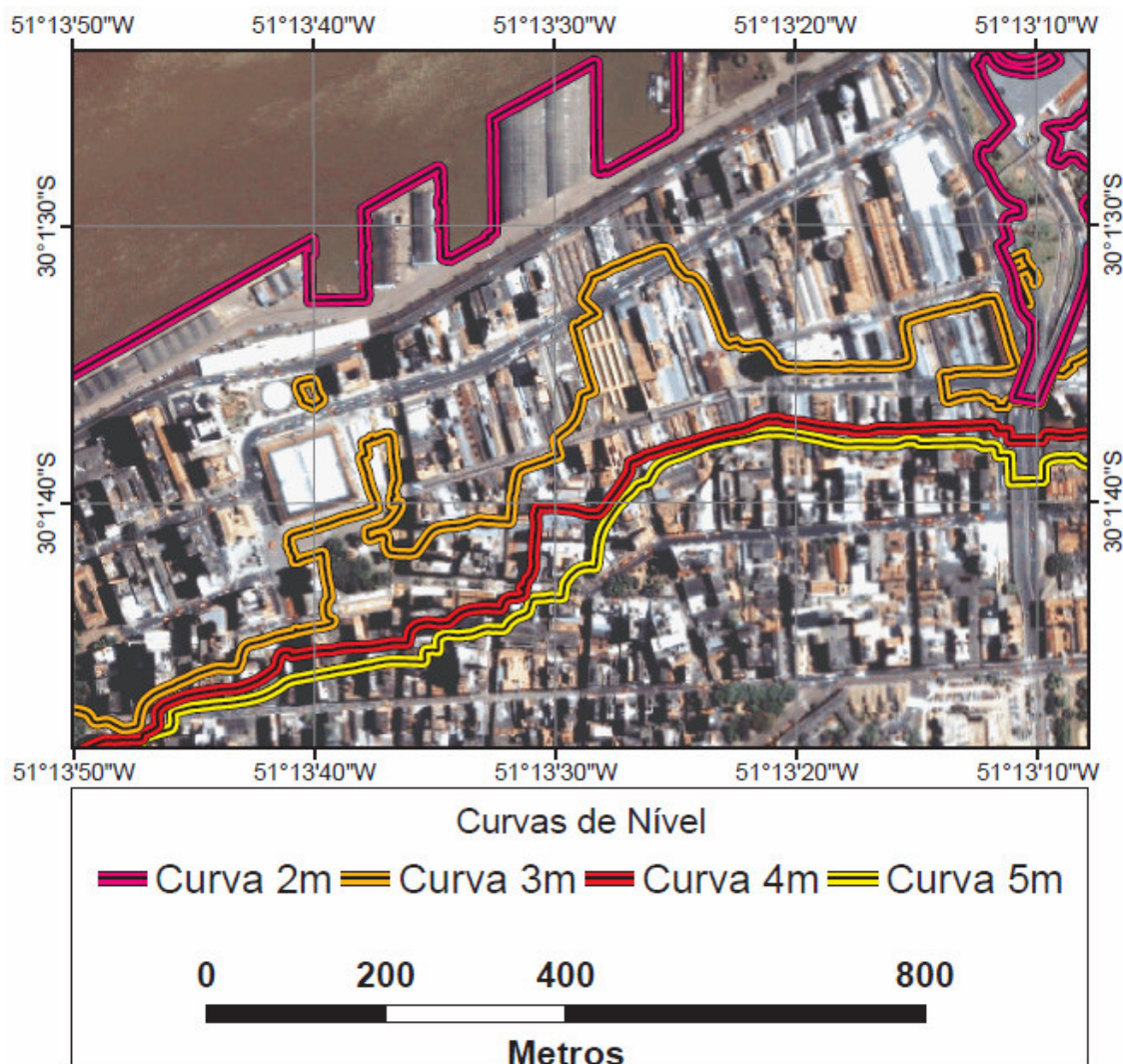


Figura 48 - Imagem da separação das curvas por cota de 2m a 5m

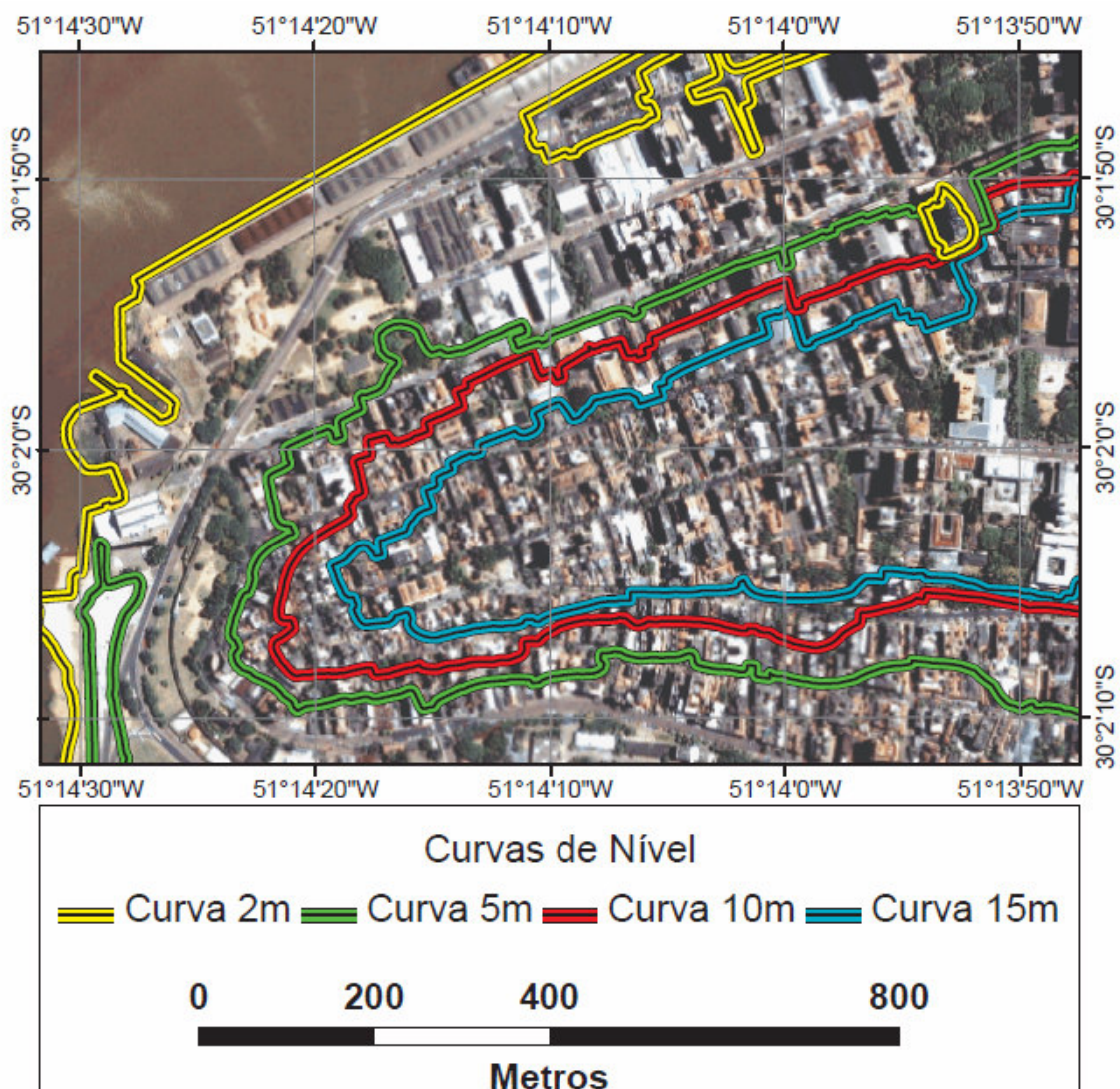


Figura 49 - Imagem da separação das curvas por cota de 2m a 15m

A figura 49 mostra a distribuição e a proximidade das curvas até a cota de 15m. Nesta imagem foram detalhadas as curvas de 2m, 5m, 10m e 15m apenas, para não causar uma poluição visual devido a sua proximidade.

Na ilustração da figura 50 são mostradas as curvas de 4m e 5m, a proximidade entre elas e sua área de abrangência ou longo de toda área de estudo.

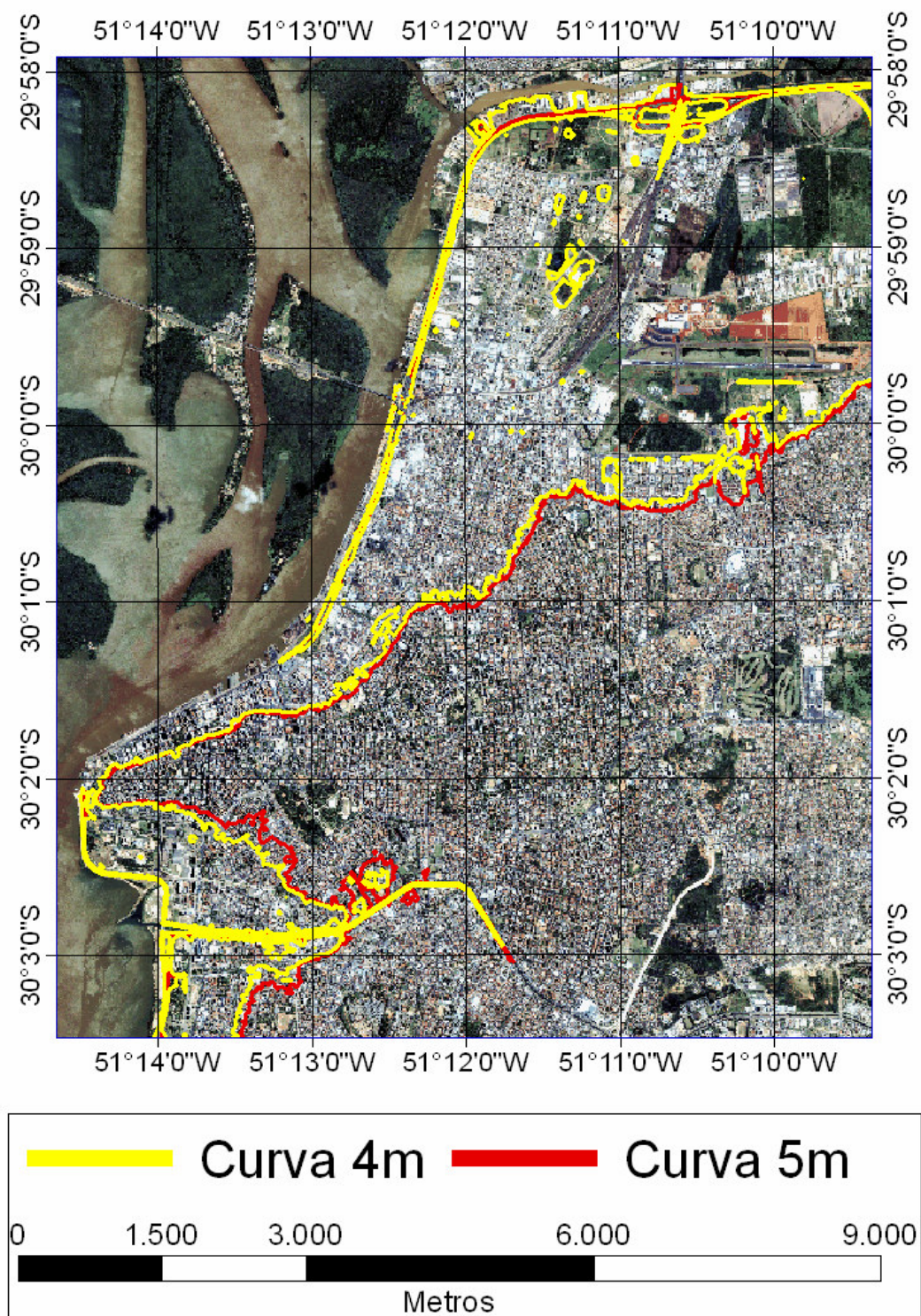


Figura 50 - Representação das áreas abrangidas pelas cotas de 4 e 5m.

3.3.15. Áreas de Incidências de Enchentes

As enchentes em áreas urbanas são decorrentes de processos naturais que ocorrem em grandes bacias onde normalmente o rio ocupa seu leito maior. Algumas destas enchentes são provocadas devido a eventos extremos quando às grandes quantidades de chuva que ocorrem em uma bacia numa região urbana, como é o caso do Arroio Dilúvio, onde o desenvolvimento urbano provocou a impermeabilização do solo com ruas, estacionamentos, telhados, calçadas, etc. Os impactos causados por enchentes nestes locais são principalmente agravados devido a falta de planejamento urbano como ausência de restrições quanto ao loteamento de áreas em locais de risco de inundação, ou então a invasão de áreas ribeirinhas.

No caso da cidade de Porto Alegre, mais propriamente a área central da cidade, com a necessidade de crescimento do centro urbano, vários aterros foram invadindo uma região que pertencia ao leito menor do rio ou sua própria calha de vazão, tornando o mesmo mais estreito e com menor poder de drenagem em eventos extremos. Exemplo disto pode ser observado na figura 51, onde a atual Rua dos Andradas era conhecida como Rua da Praia, pois as margens do rio costeavam seu perímetro.



Figura 51 - Imagem de uma planta da área central de Porto Alegre no ano de 1772

Nos dias atuais o ponto mais estreito do rio encontra-se próximo a ponte sobre o Rio Guaíba que dá acesso a parte sul do estado. A largura neste ponto tem aproximadamente 350m. A lei nº 4.771, que define em seu artigo primeiro as Áreas de Preservação Permanente, diz que: ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água desde o seu nível mais alto em faixa marginal a largura mínima deverá ser de 200 (duzentos) metros para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura. Por esta lei grande parte da área urbana, incluindo moradias, comércios, vias principais de acesso à cidade de Porto Alegre estão dentro da zona destinada a preservação ambiental.

O cálculo da média das enchentes ocorridas em Porto Alegre, excetuando-se a de 1941, que foi um evento extremo, foi estimada em 2,8775m referenciada a régua do cais do porto. Na figura 52 é mostrado o gráfico com a curva média das enchentes.

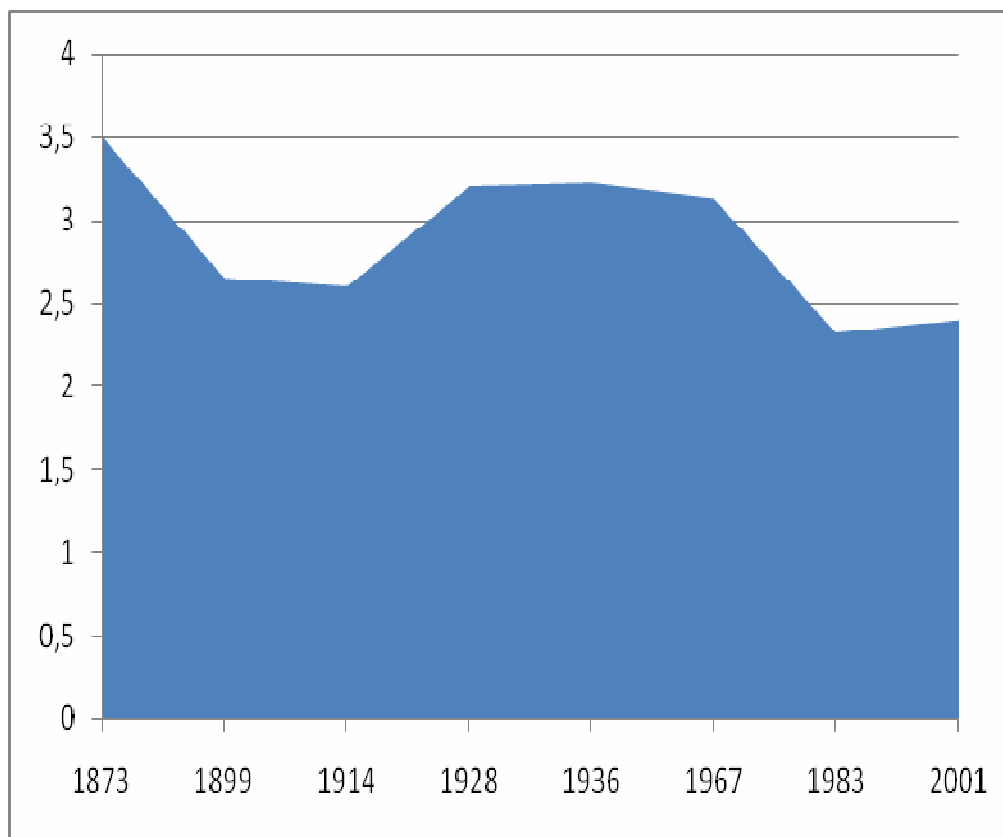


Figura 52 - Gráfico com alturas de enchentes na cidade de Porto Alegre

Através do valor calculado pode-se afirmar que a média está entre as cotas de 2m e 3m, atualmente referenciada a Imbituba, SC. Com isto pode-se dizer que a linha de nível próxima a 3m (figura 53), pertence ao leito maior do rio Guaíba e estaria sujeito a inundações normais do rio em épocas de grandes volumes de chuvas.

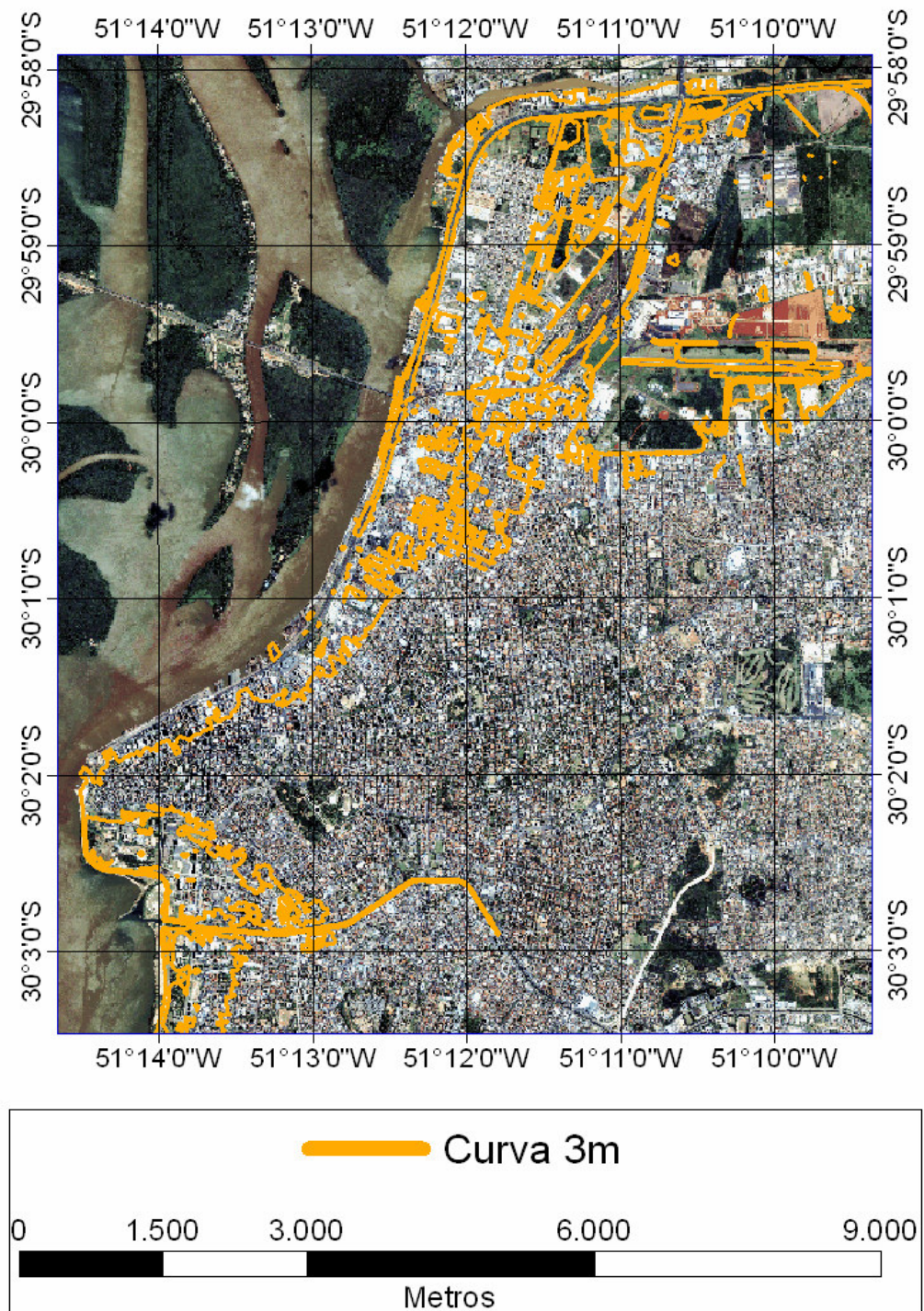


Figura 53 - Curva de nível de 3m, provável linha do leito maior

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Nivelamento das placas da Enchente de 1941

Os valores das alturas do nivelamento geométrico foram calculados em planilha do Excel, e o resultado do erro encontrado é igual a 0,0060m. O erro tolerável foi calculado e obteve-se um valor igual a 0,0063m. Portanto o erro cometido ficou dentro da margem esperada para este nivelamento.

Sabendo-se o valor do erro cometido, fez-se a distribuição dos erros para determinar a altura de cada placa. Com os valores corrigidos foi realizada uma média das alturas das placas da enchente. Conhecendo a altitude da RN1788A em relação ao Nível Médio dos Mares, referenciado ao marégrafo da cidade de Imbituba - SC, sendo igual a 2,9344m, e somando este valor a média da altura das placas, foi encontrando o valor de 4,1621m acima do Nível Médio dos Mares, em dados atuais, como nível máximo da enchente de 1941.

RN 1788A (m)=	2,9344	Desvio padrão
Média da Altitude da Enchente em relação a NMM RN 1788A	4,1621	0,0143

Tabela 8 - Tabela com Resultado do Cálculo do Nivelamento e Contranivelamento

A planilha de cálculos está descrita no ANEXO 02.

4.2. Nivelamento da RN 1782Z

Os valores encontrados neste nivelamento foram definidos assim:

A cota encontrada neste levantamento para a RN 1782Z em relação ao ponto rastreado foi igual a 1,2500m.

		Leituras			Todas as medidas estão em metros (m)					
Est.	P.N.	Ré	Vante Int.	Vante Mud.	APV	Alt. Muro	Cotas Altitude	Correção das Cotas	Diferença Altitude	OBS:
I	C	1,287			4,171			NA		Ponto Rastreio GPS L1/L2
	RN 1782Z		1,250				2,921	NA	0,037	RN do IBGE - 1782Z - altitude = 2,8837
	Muro Mauá		1,560			2,985	2,611	NA		Ponto no Muro da Mauá

Tabela 9 - Cota da RN 1782Z

Estando o marco da RN 1782Z mais alto que o piquete onde foi realizado o rastreo com o GPS, obteve-se a diferença na altura de 0,0370m. Este valor foi subtraído da altura Geoidal obtida no levantamento com o GPS.

4.3. Definição da Cota Atual da Enchente

A busca por informações e dados sobre a maior enchente já ocorrida, segundo registros históricos, foi, sem dúvida, uma tarefa difícil e trabalhosa. Mesmo os registros físicos encontrados para a execução deste trabalho nos trazem incertezas e cabe a nós apenas avaliar o seu erro e apresentar um dado mais preciso por métodos científicos modernos.

Informações obtidas em páginas da internet de órgãos públicos, privados, de conhecimento geral, livros antigos e publicações novas, informam uma inundação que chegou a marca de 4,75m acima da cota normal do Guaíba, cota esta registrada pelo DNOS. Mas o que seria esta cota normal naqueles anos?

Com a ajuda de técnicos da Superintendência de Portos e Hidrovias, foi possível saber que havia uma régua graduada, que nivelada ao piso da borda do cais do porto de Porto Alegre, referencia as varia es da altura do nível do rio ao longo do tempo. Esta régua marcava 3,00m ao nível do piso do porto, e sua gradua o decrescia verticalmente para baixo até chegar a zero. Esta régua estava localizada na ponta mais ao Sul do cais do porto, próximo ao Gas metro. Nos dias atuais uma régua similar, localizada próximo ao prédio da SPH, faz as marca es diárias do nível do rio e está colocada nos mesmos moldes da antiga régua.

Em um documento fornecido pelos técnicos do SPH, há a descri o do levantamento feito no ano de 1967 sobre a enchente de 1941. O documento cita o que parece ser um nivelamento geométrico feito entre a marca existente no portão central do cais do porto e o zero da escala de uma régua que existia na Praça da Harmonia, localizada, na época, na Rua

dos Andradas próximo aos quartéis do Exército e da Brigada Militar. Neste registro consta que foi obtido o valor de 4,62m para a enchente. Ainda observo-se nesta ficha que à cota do zero da escala deveria ser somada mais 0,29m para ter-se a cota da enchente em relação ao nível do Mar, ou seja, um total de 4,91m.

No nivelamento geométrico realizado no vão central do cais do porto, foi obtido um valor médio de 4,1621m acima do nível médio dos mares, em valores atuais, segundo o IBGE, referenciado ao marégrafo de Imbituba, Santa Catarina. No trabalho de medição das alturas das quatro marcas da enchente de 1941 foi constatada uma diferença entre os níveis das quatro placas de no máximo 0,034m.

Levando-se em consideração as referências atuais da régua adotada pelo SPH em relação ao marco do SGE, estando este a 0,2249m acima do zero da régua, e o marco 1788A do IBGE, estando 0,5215m acima do zero da régua e somando-se esta diferença do marco do IBGE em relação à régua ao valor médio encontrado no nivelamento geométrico realizado, chega-se a 4,6836m.

Este valor, referenciado à régua atual, difere em relação ao valor de 4,62m informado na régua da Praça da Harmonia em 1967 em mais 0,0636m, lembrando que aqui não estamos levando em consideração os 0,29m a mais que se sugere como acréscimo à régua da época para atingir o nível do Mar. Em relação ao valor informado pelo DNOS de 4,75m, esta diferença é negativa (-0,0664m), segundo supõe-se que também estava referenciada à mesma régua que media a cota normal do Guaíba.

Avaliando os valores de cota informados entre 4,75m e 4,62m, tem-se uma diferença de 0,13m. Ao calcular a média entre estes dois valores chega-se a 4,6850m portanto, muito próximo ao valor calculado de 4,6836m pelos dados atuais em relação a régua do cais. A diferença verificada entre a média teórica daquela época e a média proposta atual é de 0,0014m.

Outra medida de verificação foi realizada no vão central do cais do porto, esta realizada durante o nivelamento geométrico que mostra uma diferença de altura entre a RN1788A do IBGE e o nível da borda do cais do porto, sendo esta diferença igual a -0,3840m. A borda do cais está 2,5504m acima do Nível Médio dos Mares em relação a Imbituba. Somado este valor de 2,5504m encontrado para o piso do cais com 0,5215m da diferença entre a régua atual do cais em relação ao valor NMM, tem-se 3,0719m, ou seja, tem-se 0,0719m de diferença entre o piso do cais e a altura do zero da régua, isto deve ter correspondência com o valor já calculado que está muito próximo ao dado de 0,0693m encontrado a mais na régua da Praça da Hamonia.

Como a proposta do trabalho é mostrar de forma temática a área de abrangência planimétrica da enchente de 1941, a partir de curvas de nível de 1m em 1m de altura e precisão de 0,50m, e a diferença entre a maior e a menor medida informada em registros antigos ser menor que 1/3 do valor de precisão da altura entre curvas de nível, a média obtida satisfaz plenamente o propósito desta pesquisa.

Por este motivo todo o trabalho foi baseado no dado atual obtido em campo com o nivelamento geométrico e será usada a referência atual do IBGE para o nível médio dos mares somados a diferença de 0,5215 da régua utilizada pelo SPH nos dias atuais como 4,6836m.

4.4. Aquisição e Ajustamento dos Pontos de Controle

Após a realização dos cálculos da quantidade de pontos necessários a um bom georeferenciamento da imagem, seguindo a fórmula apresentada por Rocha (2002), determinou-se um valor de 20,13 pontos, com isso foi definido que 21 pontos seriam usados no georeferenciamento.

A partir de 20 pontos de georeferenciamento localizados na parte norte da cidade, dados estes obtidos da dissertação de Martins 2010, cuja área se sobrepunha à deste trabalho, foi decidido levantar apenas 18 pontos na parte sul da cidade para completar um total de 38 pontos disponíveis para serem utilizados no georeferenciamento da imagem. Destes 18 pontos um foi abandonado somando um total de 17 pontos de controle para este trabalho.

Na tabela abaixo podem ser observados os pontos com suas coordenadas ajustadas. O tamanho do *pixel* da imagem foi determinado em 2m por 2m e o valor aceitável de erro do ajustamento dos pontos levantados deve ser menor que 0,6660m ficando dentro da margem de erro de 95%, (coluna erro 95%).

Processamento Pontos de Controle - GPS L1						
Estação	Desc. da Estação		Posição (m)	erro 95%	Fixo	Posição
1 ED11		E =	482224,907	0,013		Ajustado
		N =	6674841,424	0,011		
		Elev.	17,866	0,022		
2 ED10		E =	481159,133	0,024		Ajustado
		N =	6675722,962	0,018		
		Elev.	13,347	0,028		
3 ED15		E =	480559,519	0,02		Ajustado
		N =	6681255,783	0,024		
		Elev.	8,036	0,038		
4 ED16		E =	480164,003	0,107		Ajustado
		N =	6679714,991	0,087		
		Elev.	7,885	0,119		
5 ED18		E =	477629,802	0,023		Ajustado
		N =	6678180,97	0,018		
		Elev.	8,356	0,043		
6 ED14		E =	480631,587	0,013		Ajustado
		N =	6678143,629	0,015		
		Elev.	30,506	0,034		
7 ED13		E =	482817,417	0,013		Ajustado
		N =	6679022,837	0,014		
		Elev.	47,997	0,031		
8 ED17		E =	484256,048	0,379		Ajustado
		N =	6678097,876	0,287		
		Elev.	45,873	0,28		
9 ED12		E =	482090,451	0,009		Ajustado
		N =	6677267,632	0,012		
		Elev.	39,689	0,027		
10 ED06		E =	476734,337	0,018		Ajustado
		N =	6677156,231	0,014		
		Elev.	9,732	0,04		
11 ED08		E =	477482,374	0,021		Ajustado
		N =	6676461,977	0,019		
		Elev.	10,525	0,034		
12 ED02		E =	477807,002	0,023		Ajustado
		N =	6674620,894	0,021		
		Elev.	7,472	0,034		
13 ED07		E =	477713,21	0,021		Ajustado
		N =	6674937,39	0,018		
		Elev.	7,998	0,032		
14 ED21		E =	477903,245	0,017		Ajustado
		N =	6676950,685	0,016		
		Elev.	9,327	0,04		
15 ED05		E =	479131,005	0,015		Ajustado
		N =	6677159,444	0,013		
		Elev.	14,024	0,04		
16 ED04		E =	479410,795	0,013		Ajustado
		N =	6675889,725	0,017		
		Elev.	9,716	0,03		
17 ED03		E =	479415,533	0,015		Ajustado
		N =	6674315,403	0,016		
		Elev.	20,299	0,029		
18 POAL		E =	488457,545	0	Fixo	Ajustado
		N =	6673004,056	0	Fixo	
		Elev.	76,75	0	Fixo	

Tabela 10 - Tabela com valores planialtimétricos ajustados

4.5. Avaliação da Ondulação Geoidal

As altitudes Geométricas das três RN do IBGE foram planilhadas em Excel conforme tabela abaixo:

Name	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Antenas com 1,50				Correções			Alt Geoid	Alt Ortom IBGE	DH	Ond Geoid MAPGEO	Dif Ond Geoid	
			Elevation (m)	Std Dev n (m)	Std Dev e (m)	Std Dev u (m)	Std Dev Hz (m)	Alt Antena	Difer Alt Ant						Transp Coord
RN 1788B TREM	6677069,1710	477260,1660	8,369	0,006	0,004	0,025	0,008	1,252	0,248		8,121	3,3843	4,7367	5,01	0,2733
RN 1782Z CAIS	6678579,3710	478474,5910	7,985	0,003	0,002	0,009	0,003	1,412	0,088	0,037	7,86	2,8837	4,9763	4,97	-0,006
Terraço FÍSICA	6673099,5120	488456,4910	77,32	0,001	0,001	0,003	0,002								
RBMC POAL	6673004,0560	488457,5450	76,75	0	0	0	0								
RN 3093U Pal Pol	6675968,6230	479618,8190	12,012	0,011	0,027		0,026					6,9222	5,0898	4,99	0,0998

Tabela 11 - Comparação da Ondulação Geoidal do levantamento e fornecida no MAPGEO

Na coluna verde tem-se os valores de Altitude Geométrica das duas RN's. A elas foram subtraídas as Altitudes Ortométricas fornecidas pelo IBGE que resultou na coluna amarela onde esta diferença é a Ondulação Geoidal. No MAPGEO2010 obteve-se a Ondulação Geoidal para cada RN, e subtraindo-se os dois valores, tanto o calculado como o obtido no software, encontrou-se resultados diferentes nos resíduos.

A RN 1782Z, o rastreamento com GPS teve um tempo de 30min, já na RN 1788B o tempo de rastreamento foi menor, aproximadamente 20min, sendo esta a provável causada de maior incerteza na precisão da Altitude do ponto.

A empresa Gauss Engenharia cedeu informação de rastreamento da RN 3093U localizada próximo ao Palácio da Polícia. O mesmo procedimento anterior foi realizado, subtraindo-se a Altitude Ortométrica fornecida pelo IBGE da Altitude Geométrica obtida, resultando assim na Ondulação Geoidal, este valor aparece em amarelo na coluna DH. A diferença encontrada entre as duas Ondulações ficou muito próxima a 0,10m.

Analisados os três dados obtidos e comparados com a precisão altimétrica de 0,5000m das curvas de nível utilizadas neste trabalho, pode-se dizer que o resultado de duas das RN's ficaram com valores muito Bons, uma com diferença de 0,0060m e a RN cedida pela Gauss com 0,0998m que resulta em 1/5 da precisão estimada de 0,5000m. A RN onde o rastreamento teve um tempo menor e a diferença entre as Ondulações ficou em 0,2733m, também pode ser aceita como um dado válido pois ficou com o valor próximo a metade da precisão das curvas de nível, levou-se em consideração que se o tempo de rastreamento tivesse sido de 30min teria sido alcançado em resultado bem melhor.

Com a análise de todas estas comparações, fica claro que o dado obtido no MAPGEO2010 é aceitável e será utilizado nas correções das Altitudes Geométricas deste trabalho.

Da mesma forma que o MAPGEO2010 foi utilizado para comparar os valores das RN's do IBGE, foram obtidos os valores para cada ponto de controle levantado em campo com GPS L1. Estes valores óbitos de Ondulação Geoidal foram aplicados as correções das altitudes Geométricas destes pontos.

A tabela com as coordenadas corrigidas está descrita abaixo:

Processamento Pontos de Controle - GPS L1							
	Estação	E =	N =	Elev.	Elev. Corrigida	Ond. Geod.	Ondulação Geoidal
1	ED11	482224,9070	6674841,4240	17,8660	12,9060	4,9600	média =
2	ED10	481159,1330	6675722,9620	13,3470	8,3970	4,9500	
3	ED15	480559,5190	6681255,7830	8,0360	3,1360	4,9000	4,9700
4	ED16	480164,0030	6679714,9910	7,8850	2,9650	4,9200	Desvio Pad.
5	ED18	477629,8020	6678180,9700	8,3560	3,3760	4,9800	0,0519
6	ED14	480631,5870	6678143,6290	30,5060	25,5660	4,9400	
7	ED13	482817,4170	6679022,8370	47,9970	43,1070	4,8900	
8	ED17	484256,0480	6678097,8760	45,8730	40,9930	4,8800	
9	ED12	482090,4510	6677267,6320	39,6890	34,7590	4,9300	
10	ED06	476734,3370	6677156,2310	9,7320	4,7220	5,0100	
11	ED08	477482,3740	6676461,9770	10,5250	5,5150	5,0100	
12	ED02	477807,0020	6674620,8940	7,4720	2,4420	5,0300	
13	ED07	477713,2100	6674937,3900	7,9980	2,9680	5,0300	
14	ED21	477903,2450	6676950,6850	9,3270	4,3270	5,0000	
15	ED05	479131,0050	6677159,4440	14,0240	9,0440	4,9800	
16	ED04	479410,7950	6675889,7250	9,7160	4,7260	4,9900	
17	ED03	479415,5330	6674315,4030	20,2990	15,2590	5,0400	
18	POAL	488457,5450	6673004,0560	76,7500	71,8500	4,9000	

Tabela 12 - Tabela com correção para altitudes Ortométrica dos pontos rastreados

Com uma quantidade maior de dados foi encontrada uma média para a variação da Ondulação Geoidal onde se obteve o valor de 4,9700m e desvio padrão de 0,0519m. O desvio neste caso mostra uma tendência de variação de 1/10 da precisão altimétrica das curvas.

A altimetria do trabalho foi baseada nas curvas de nível fornecidas pelo LABGEO que estão referenciadas a estação maregráfica de Imbituba Santa Catarina, e conferidas juntamente com a avaliação planimétrica da imagem, onde a correspondência das alturas do cais do porto de Porto Alegre em sua borda apresenta uma diferença de 0,5000m em relação a curva de nível referenciada naquele mesmo ponto. Esta diferença confere com a diferença também encontrada na régua de medida do nível do Guaíba no próprio cais do porto.

4.6. Resultado da Ortorretificação da Imagem IKONOS II

Na tabela 13 estão listadas as informações das coordenadas dos pontos levantados e as coordenadas identificadas na imagem. Em negrito aparecem os resultados das diferenças encontradas entre os pontos levantados e os pontos na imagem após o georeferenciamento.

	Estação	E Rastreo	E Imagem	E Diferença	N Imagem	N Rastreo	N Diferença
1	0001	483098,8187	483098,4100	0,4087	6681522,8270	6681523,7100	-0,8830
2	0004	483197,2668	483196,6600	0,6068	6682311,1491	6682310,5700	0,5791
3	0006	480372,6199	480373,5000	-0,8801	6681601,4972	6681601,0500	0,4472
4	0010	480157,3174	480156,6500	0,6674	6682331,9628	6682332,9500	-0,9872
5	0017	483471,1259	483472,1500	-1,0241	6679771,5348	6679772,6500	-1,1152
6	0018	481841,4699	481841,1200	0,3499	6680235,4122	6680234,2500	1,1622
7	EDU PT10	481159,1330	481159,4900	-0,3570	6675722,9620	6675723,9000	-0,9380
8	EDU PT07	477713,2100	477714,2900	-1,0800	6674937,3900	6674938,5400	-1,1500
9	EDU PT21	477903,2450	477903,9500	-0,7050	6676950,6850	6676951,9900	-1,3050
10	EDU PT17	484256,0480	484255,3400	0,7080	6678097,8760	6678094,9900	2,8860
				Média			0,6754
				Desvio Padrão			0,2764
							0,9519
							0,2817

Tabela 13 - Diferenças entre as coordenadas de campo e na imagem

O ponto EDU PT17 apresentou um valor 1,44 vezes maior que o tamanho determinado para o *pixel* que é de 2m, por este motivo o referido ponto foi retirado da avaliação. Restaram ainda 9 pontos, o que representa 90% da confiabilidade obtida na avaliação:

- A média das diferenças nas coordenadas E é de 0,6754m ou 1/3 do tamanho do *pixel* com desvio padrão de 0,2764m.
- A média das diferenças nas coordenadas N é de 0,9519m ou 1/2 do tamanho do *pixel* e desvio padrão igual a 0,2817m.

A qualidade da ortorretificação foi obtida utilizando-se os pontos apresentados na tabela 13, dispostos para esta finalidade.

A Legislação Cartográfica Brasileira apresenta o PEC como estimador de exatidão posicional, informando que 90% dos pontos utilizados para a avaliação, bem identificados no terreno, medidos com elevada exatidão, e comparados com as coordenadas obtidas no mapa (ortoimagem), não deverão apresentar erro superior ao PEC (Erro máximo admissível).

Desta forma, excluindo-se o ponto EDUPT17, todos os demais pontos possuem erro inferior a 1,476m, ou seja, aproximadamente 1,5m. Desta forma, com um nível de confiança de 90% pode-se concluir que a exatidão posicional da ortorretificação é de 1,5m, compatível com a escala de referência de 1/3.000.

Foi realizado também um indicador de tendência da qualidade entre as coordenadas dos vértices das curvas de nível que eram identificadas com coordenadas de pontos do terreno

na imagem. Estas leituras foram feitas com a curva de 2m que percorre parte da borda do cais do porto.

	Curva	E curva	E pixel	Diferença em E	N curva	N pixel	Diferença em N
1	2m	477483,4350	477483,1150	0,3200	6676466,6810	6676466,1490	0,5320
2	2m	476718,2960	476718,3970	-0,1010	6677582,6630	6677582,9660	-0,3030
3	2m	476746,0500	476746,5440	-0,4940	6677658,7360	6677659,9950	-1,2590
4	2m	476764,1480	476765,0950	-0,9470	6677690,2180	6677694,7640	-4,5460
5	2m	478035,8010	478035,9810	-0,1800	6678407,6150	6678410,6110	-2,9960
6	2m	478093,5680	478093,0890	0,4790	6678440,8730	6678442,7910	-1,9180
7	2m	478176,6500	478177,4140	-0,7640	6678486,5910	6678489,0630	-2,4720
8	2m	478238,0500	478237,5780	0,4720	6678415,4970	6678417,9240	-2,4270
9	2m	478236,0370	478236,0370	0,0000	6678541,9770	6678544,6760	-2,6990
10	2m	478351,2350	478351,2350	0,0000	6678602,9840	6678606,9620	-3,9780
11	2m	478440,0120	478440,5800	-0,5680	6678680,5400	6678684,2330	-3,6930
12	2m	478573,5590	478572,4410	1,1180	6678751,3530	6678754,8690	-3,5160
13	2m	478650,8490	478650,6090	0,2400	6678836,6370	6678839,6930	-3,0560
14	2m	479987,6820	479988,0010	-0,3190	6681661,1220	6681662,4810	-1,3590
15	2m	480033,0490	480031,6640	1,3850	6681885,6200	6681886,6860	-1,0660
		Média		0,3960			1,6385
		Desvio Padrão		0,3954			0,9356

Tabela 14 - Diferenças entre coordenadas das curvas de nível e pontos na imagem

Da análise a partir da tabela 14, 5 pontos (grifados em amarelo) foram excluídos por apresentarem valores muito maiores que o tamanho do *pixel* na coordenada N.

- A média obtida na coordenada E foi de 0,3960m ou 1/3 do tamanho do *pixel* com desvio padrão de 0,3954m.
- A média obtida na coordenada N foi de 1,6385m ou 1/2 do tamanho do *pixel* e desvio padrão igual a 0,9356m.

Esta segunda análise, menos precisa mostra uma tendência de um erro maior na coordenada Norte, sendo que nos dois casos o desvio padrão maior ocorreu exatamente em N.

4.7. Montagem do Modelo e Análise das Áreas Atingidas por Enchente

A composição da Imagem com as curvas de nível no software ArcGis 9.2 possibilitou o início da verificação de quais ruas e locais ficariam inundados caso duas das piores enchentes voltassem a ocorrer na cidade de Porto Alegre. A maior enchente registrada foi a de 1941 com 4,75m e a segunda grande enchente que se tem conhecimento ocorreu em 1873 com a marca de 3,50m, as duas referenciadas a régua de nível do cais do porto. A partir destes dois dados históricos e o valor estimado de 4,1621m referenciado ao NMM em Imbituba, e 4,6836m referenciados a régua de nível do cais do porto, e supondo um erro altimétrico de 0,50m nas curvas de nível adotou-se a faixa entre as curvas de 3m a 5m para a verificação dos

possíveis locais atingidos pela enchente. Também foi constatado que as duas curvas de nível, 4m e 5m estão muito próxima uma da outra em praticamente toda a região, a figura 55 mostra esta proximidade. Isto pode ser comparado ao limite do leito maior do rio, porém para esta afirmação caberia outro estudo a parte deste, para confirmar esta suposição.

Seguem abaixo os locais analisados:

- Avenida Padre Cacique, via de acesso à zona sul da cidade, ficaria interditada;
- Avenida Ipiranga até a altura da Avenida Azenha, inclusive, seria alagada, impedindo o acesso e o trânsito em toda esta região;
- Parte da Rua General Lima e Silva estaria alagada;
- O encontro da Avenida Loureira da Silva com a Rua José do Patrocínio estaria totalmente inundado;
- Avenida Borges de Medeiros e a Rua Washington Luiz estariam inundadas;
- Avenida Mauá, Rua Siqueira Campos, Rua Sete de Setembro e Avenida dos Andradas até o meio da quadra entre as Ruas General Câmara e Rua Uruguai estariam inundadas;
- Rua Voluntários da Pátria e Avenida Farrapos estariam inundadas;
- Partes das Avenidas Cristovão Colombo e Benjamim Constant estariam alagadas;
- Avenida Sertório até a altura da Central de Distribuição da Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos estaria inundada;
- Acesso à cidade de Canoas, pela BR116, e ligação com a Avenida dos Estados estaria inundado;
- Avenida Presidente Castelo Branco e Rodovia BR290 estariam ilhadas;
- Estações do Metrô (Centro e Rodoviária), a Estação Rodoviária de Porto Alegre, o terminal de ônibus urbanos do Mercado Público, os terminais de ônibus municipais e intermunicipais próximos à Avenida Julio de Castilhos e também o Aeroporto Salgado Filho estariam todos inundados.

Os habitantes destas regiões teriam de ser evacuados, o trânsito de veículos ficaria paralisado, os trens de transporte de passageiros ficariam paralisados, o Aeroporto deixaria de operar, os acessos à capital pelas BRs 116 e 290 ficariam ilhados, imobilizando totalmente os meios de transportes.

As possíveis rotas de fuga e salvamento se dariam pela:

- Avenida Ipiranga a partir das Avenidas João Pessoa, Protásio Alves, Bento Gonçalves e Independência;

A figura número 54 mostra a região próxima a rodoviária e o quanto seria ocupado pelas águas.

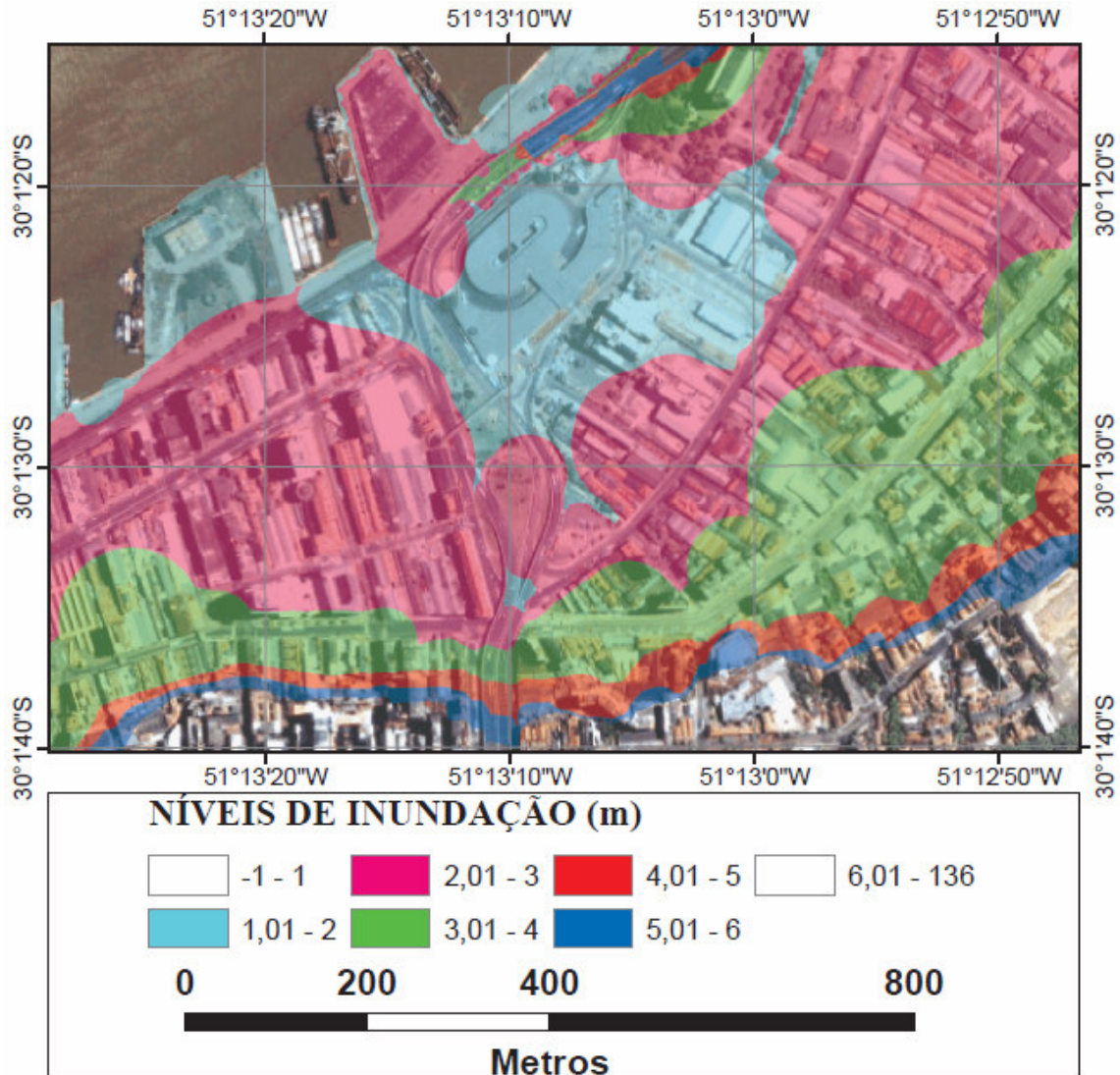


Figura 54 - Imagem com as áreas cobertas pelas cheias por níveis altimétricos

A figura 55 mostra a qualidade visual que se pode ter entre a curva de nível e sua localização no solo pela imagem. Na mesma figura é possível verificar a proximidade entre as curvas de nível de 4m e 5m.

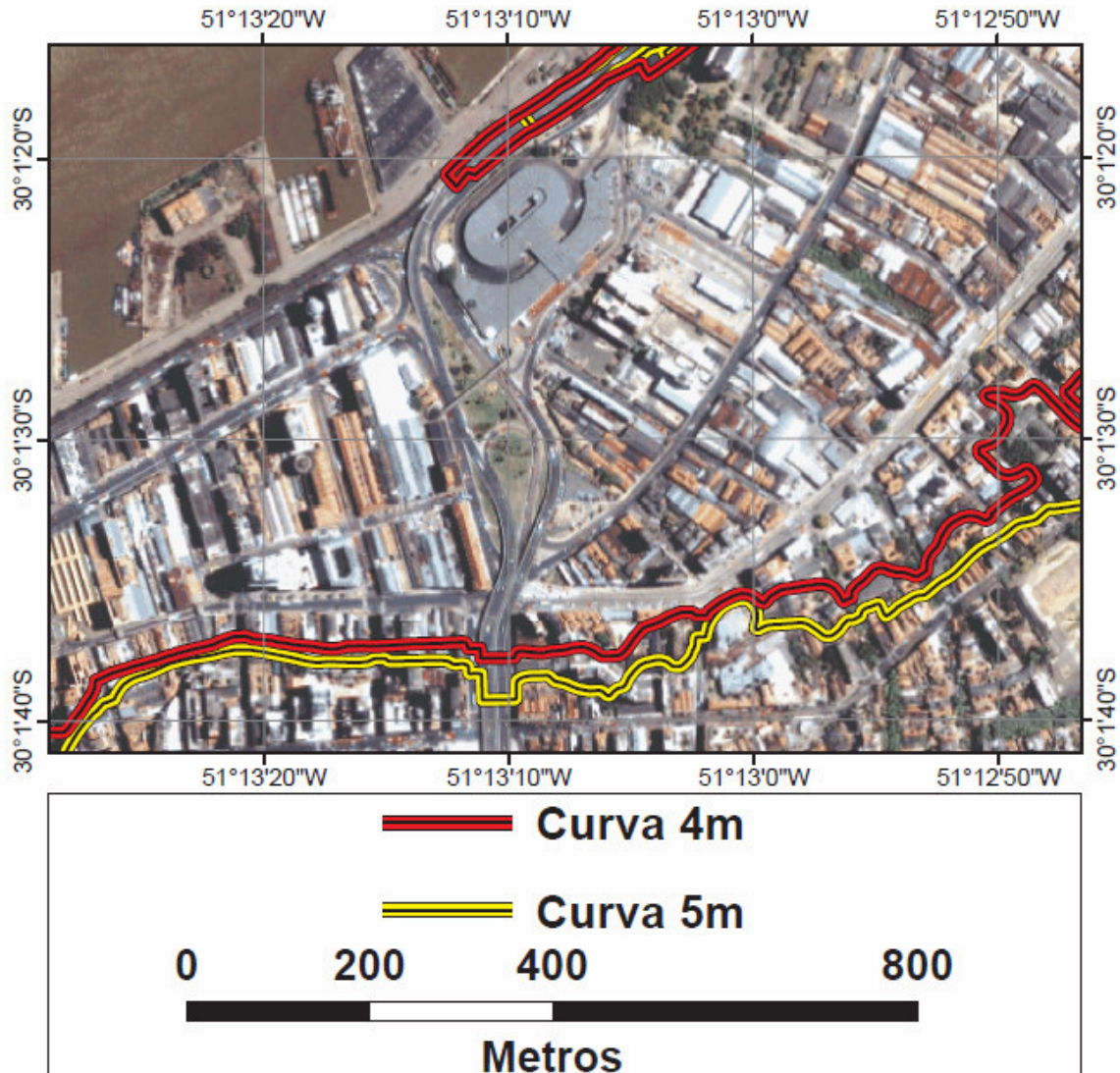


Figura 55 - Imagem mostrando a proximidade das curvas de 4m e 5m

4.7.1. Outros modelos obtidos deste trabalho se dividem assim

Mapa temático representando a linha divisória da Área de Preservação Permanente prevista em lei para este tipo de corpo hídrico. Na figura 56 pode-se verificar onde a linha de 200m de distância a partir do nível normal do rio, corta a cidade mostrando a área que deveria ser destinada à preservação Ambiental segundo institui o novo Código Florestal, Lei N° 4.771, De 15 De Setembro De 1965.



Figura 56 - Imagem com a área limite de preservação de 200m

Mapa temático com curva de nível representando as médias das enchentes ocorridas na cidade de Porto Alegre, excetuando-se a de 1941 por ter sido um evento extremo, servindo de referência para identificação do leito maior do rio nesta região. Na figura 57 é mostrado uma área próxima a rodoviária de Porto Alegre.

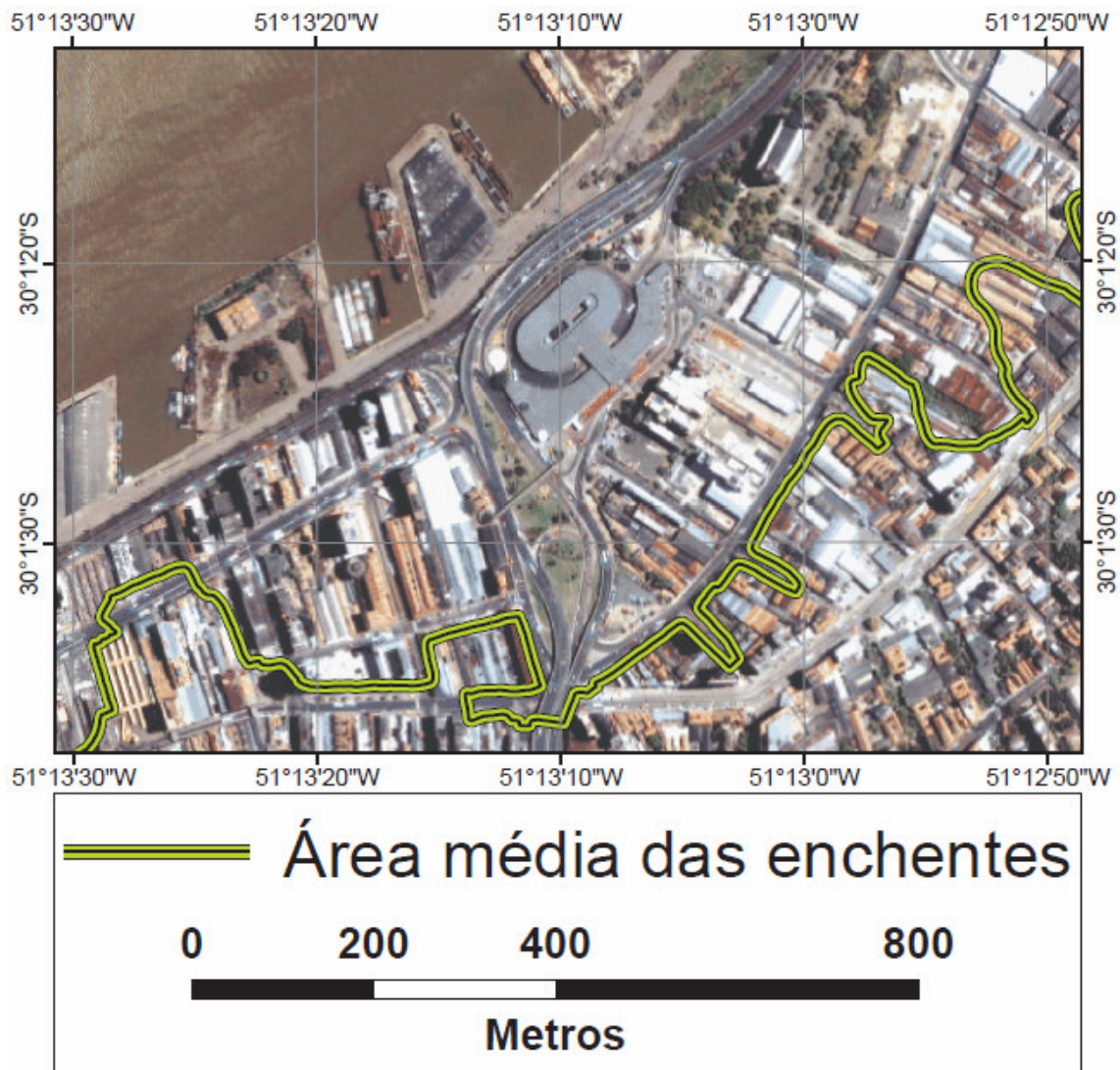


Figura 57 - Imagem com a curva que representa o limite máximo do leito maior

5. CONCLUSÕES

A enchente de 1941 foi com certeza a maior enchente já registrada na memória da cidade. Ela ocorreu devido a uma conjunção de fatores climáticos, tais como longos períodos de chuva e ventos fortes. A cidade estava despreparada e vulnerável para o tipo de evento extremo que ocorreu, o que causou grandes perdas materiais e paralisou a cidade. Diante de tantos fatos que ficaram registrados em fotos, jornais, filmes, relatos e registros em órgãos públicos não é possível simplesmente esquecer o passado e desconsiderar que tal catástrofe possa vir a se repetir.

A questão a ser levantada agora é: como enfrentaríamos um novo evento desta magnitude caso ele ocorresse nos dias atuais? Em 1941 a população de Porto Alegre contava com 272 mil habitantes e cerca de 70 mil foram atingidos pela enchente. Isto representava na época aproximadamente $\frac{1}{4}$ da população de Porto Alegre. Hoje a cidade conta com 1420 mil habitantes que dependem da movimentação econômica gerada por este grande centro.

No caso de ocorrência de um novo evento extremo de enchente com magnitude equivalente a de 1941, simulou-se a representação no mapa temático das cotas de 4m e 5m, as quais mostram perfeitamente que ruas e avenidas como Mauá, Farrapos, Castelo Branco, dos Estados, Borges de Medeiros, Érico Veríssimo, João Pessoa, Ipiranga, entre outras, estarão ilhadas ou inundadas, ou seja, o transporte rodoviário ficará paralisado na região central. A rodoviária de Porto Alegre estará inundada, não será possível o transporte de passageiros, os terminais de ônibus do Largo Glênio Peres deixarão de funcionar, as linhas urbanas que chegam ao centro da cidade ficarão impedidas de circular. O sistema de metrô Metropolitano será paralisado juntamente com o sistema ferroviário, as estações Mercado e Rodoviária do TRENSURB ficarão inundadas. O aeroporto Salgado Filho também ficará paralisado. Os grandes hipermercados e shoppings localizados nesta cota deixarão de funcionar e terão um grande prejuízo econômico. Prédios públicos como a Câmara Municipal, o Centro Administrativo Fernando Ferrari (CAFF), o Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem (DAER), o Tribunal de Justiça do Rio Grande do Sul, o Instituto de Previdência do Estado do Rio Grande do Sul (IPERGS), a Secretaria Municipal de Obras e Viação (SMOV), o Tribunal Regional do Trabalho, o Hospital Mãe de Deus, a Polícia Federal, a Receita Federal, o Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), o Tribunal Regional Federal da 4ª Região, o Ministério Público do Estado do Rio Grande do Sul, o Serviço Federal de Processamento de Dados (SERPRO), o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Centro de

Processamento do Estado do Rio Grande do Sul (PROCERGS), o Palácio da Polícia, O Hospital Ernesto Dornelles, a Secretaria da Fazenda, a agência central da Caixa Econômica Federal, a agência central do Banco do Estado do Rio Grande do Sul (BANRISUL), o Museu de Artes do Rio Grande do Sul (MARGS), o Centro de Cultura Mario Quintana, a Prefeitura, o Mercado Público, o Tribunal de Contas do Estado, a agência central da Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos, entre outros ficarão impedidos de funcionar por estarem tomados pelas águas.

A cidade de Porto Alegre ficará cercada pelas águas e praticamente isolada do restante do estado.

Rotas de fuga terão de seguir pelas partes mais altas da cidade, como por exemplo as Avenidas Protásio Alves, Independência, Carlos Gomes. As populações flageladas terão de ser deslocadas para abrigos em regiões altas. A distribuição de alimentos terá de ser bem planejada para se evitar o racionamento. Deverá ser providenciado transporte fluvial para socorro as vítimas atingidas pelas águas.

A modelagem topográfica e planimétrica usada para gerar os mapas temáticos resultados deste trabalho, serve de base de referencia cartográfica tanto planimétrica como altimétrica para a tomada de decisão por órgão de defesa civil na eventual ocorrência de uma nova enchente no molde da ocorrida em 1941; possibilita o início de estudos realizando simulações com cenários de modelagem numérica dinâmica.

Também serve como base de referencia altimétrica para estudos na área de hidrologia na orla do Guaíba e na bacia do Arroio Dilúvio, bem como em projetos ambientais de preservação do meio Ambiente. Pode subsidiar o planejamento urbano quanto ao Plano Diretor da Cidade levando em consideração áreas de risco eminente de enchentes e plano de manejo Ambiental.

Atualizações desta base com imagens de satélites mais recentes, redes de pontos e isolinhas atualizadas, melhoram a informação, e a aplicação de bandas espectrais fusionadas a imagens de alta resolução permite análise de micro áreas de preservação mesmo dentro de um núcleo urbano.

A altura verdadeira a que chegou a enchente de 1941 pode ser estimada e fixada a partir de dois referenciais, o primeiro em relação a NMM como sendo 4,1621m, e em relação a régua de medida do nível do rio no cais do porto com o valor de 4,6836m, os dois referenciados ao marégrafo de Imbituba - SC. A utilização de curvas de nível de metro em metro do levantamento aerofotogramétrico de 1982 referenciados ao marégrafo de Imbituba e os ajustes das alturas com o cálculo da Ondulação Geoidal das leituras feitas com GPS

confirmando um erro de 0,5000m nas alturas das curvas, sendo este valor aceitável na proposta deste trabalho que visa uma qualidade de 1m de altura para representação planimétrica dos locais inundáveis.

Foram produzidos mapas temáticos que mostram as áreas por níveis de metro em metro de risco de inundação e serviços públicos que ficarão paralisados, acessos viários ao centro da cidade que estarão obstruídos, regiões que ficam fora da área de risco e servem de rotas de fuga para movimentação da população flagelada. Mapas com curvas de nível de metro em metro identificando com precisão planimétrica de 4m os locais aonde o evento extremo da enchente de 1941 chegou fisicamente. Também são disponibilizados mapas mostrando a área que seria atingida a partir de uma média das enchentes normais que ocorreram e que possivelmente represente o leito maior do rio; mapa com a linha de 200m destinado a área de preservação ambiental ao longo da costa do Guáiba e parte do Gravataí.

Este material disponibilizado a defesa civil servirá de ferramenta para o planejamento de uma ação preventiva e efetiva de evacuação de pessoas de locais públicos e privados, na constatação da possível ocorrência de um evento desta magnitude. É possível também antever e planejar sistemas de proteção contra inundações e até propor em projetos municipais modificações em obras de segurança pública.

5.1. Mapa Temático das Curvas de Inundação

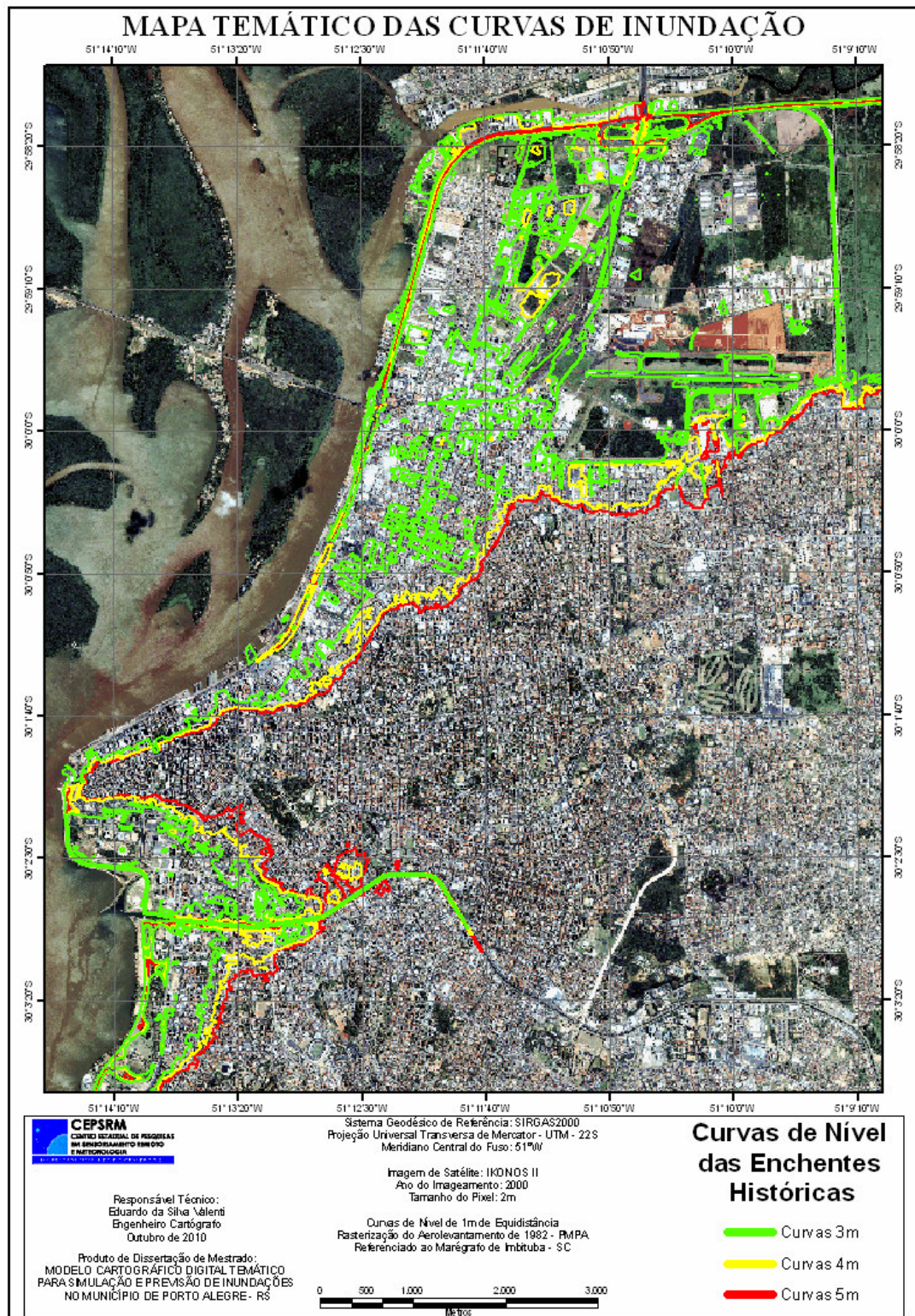


Figura 58 - Curvas de nível de enchentes históricas

5.2. Mapa Temático das Médias das Enchentes

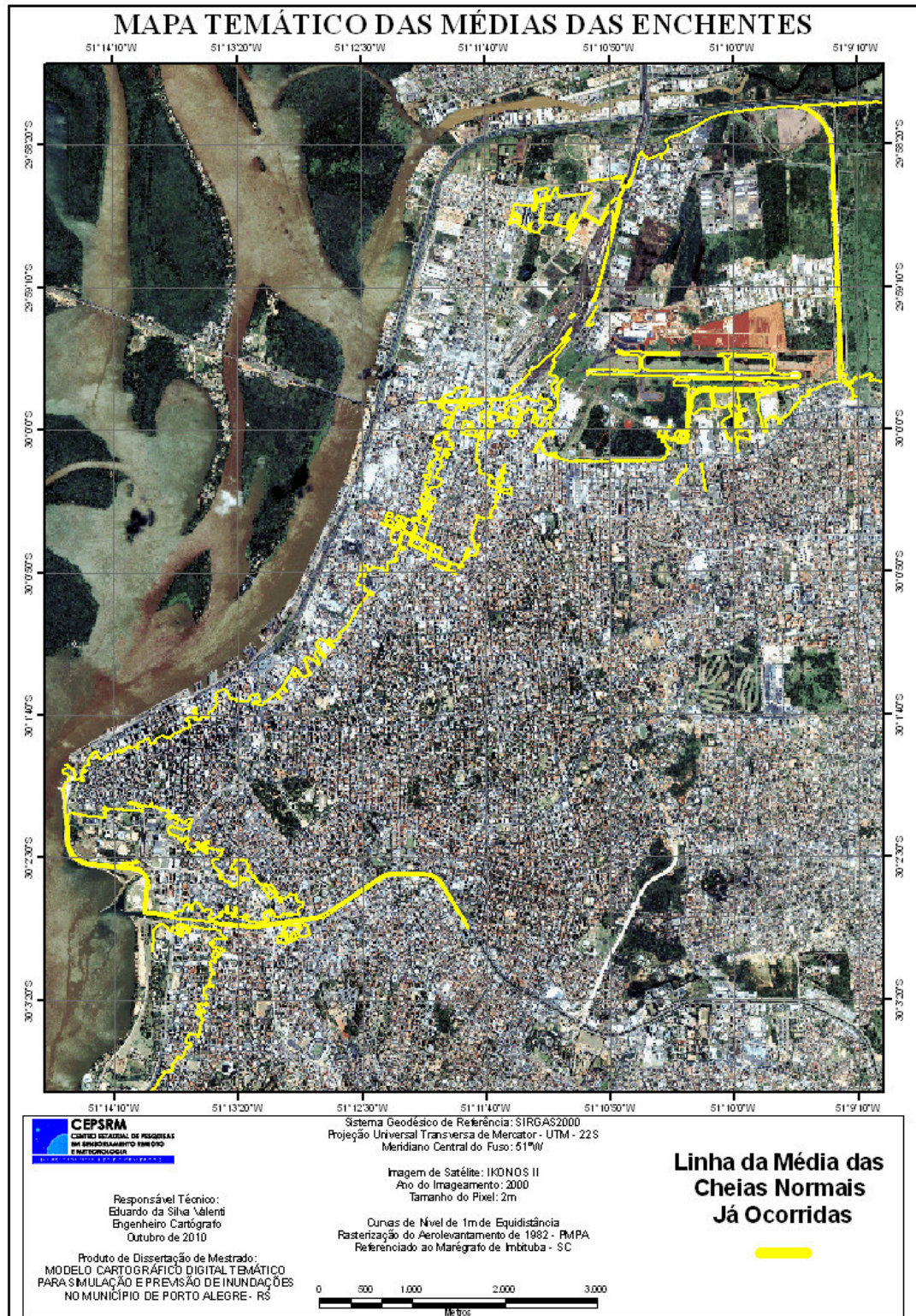


Figura 59 - Linha da média das cheias normais já ocorridas

5.3. Mapa Temático da Área de Preservação Ambiental

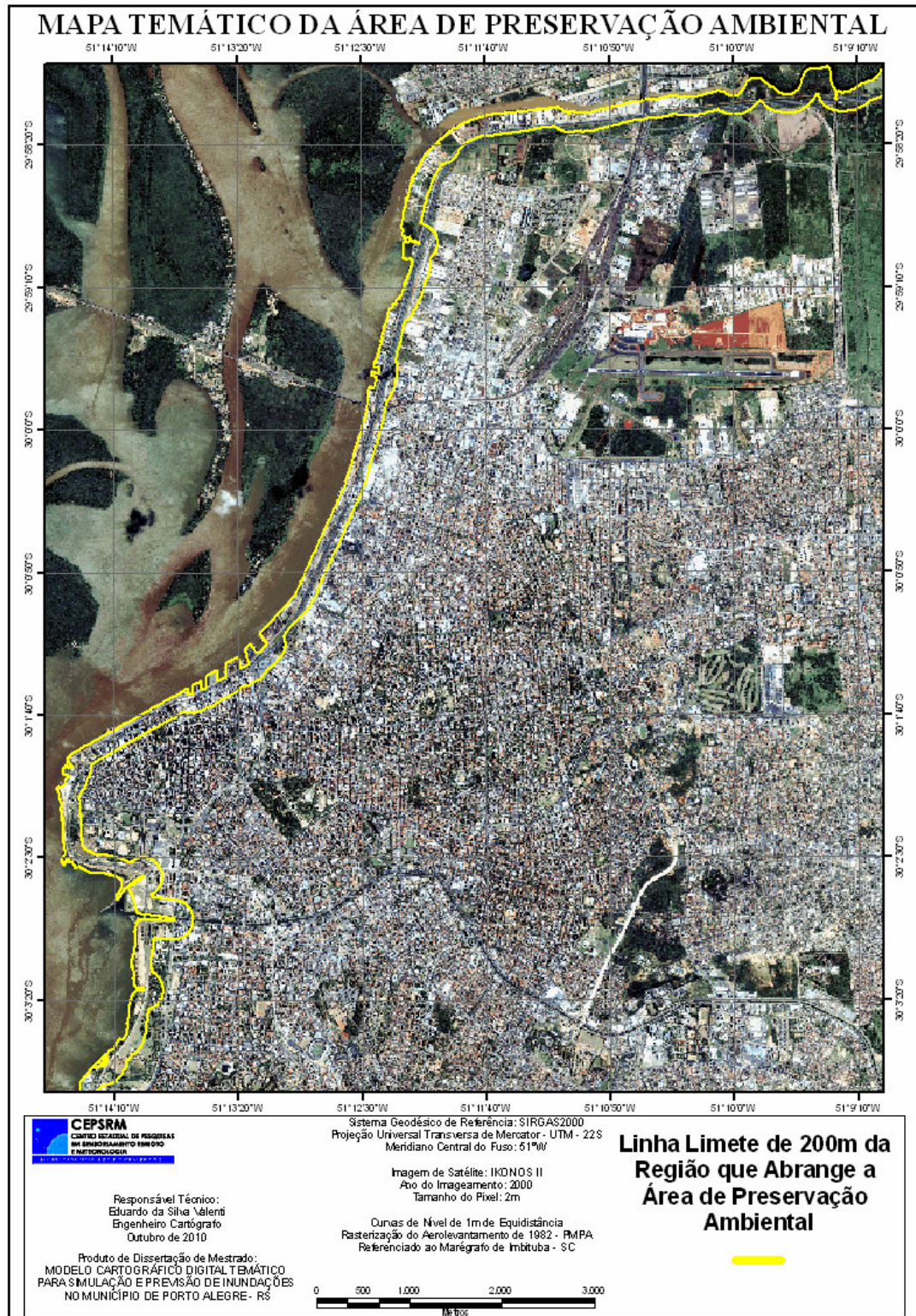


Figura 60 - Linha limite de 200m da região que abrange a área de preservação ambiental

5.4. Mapa Temático das Áreas de Risco de Enchente

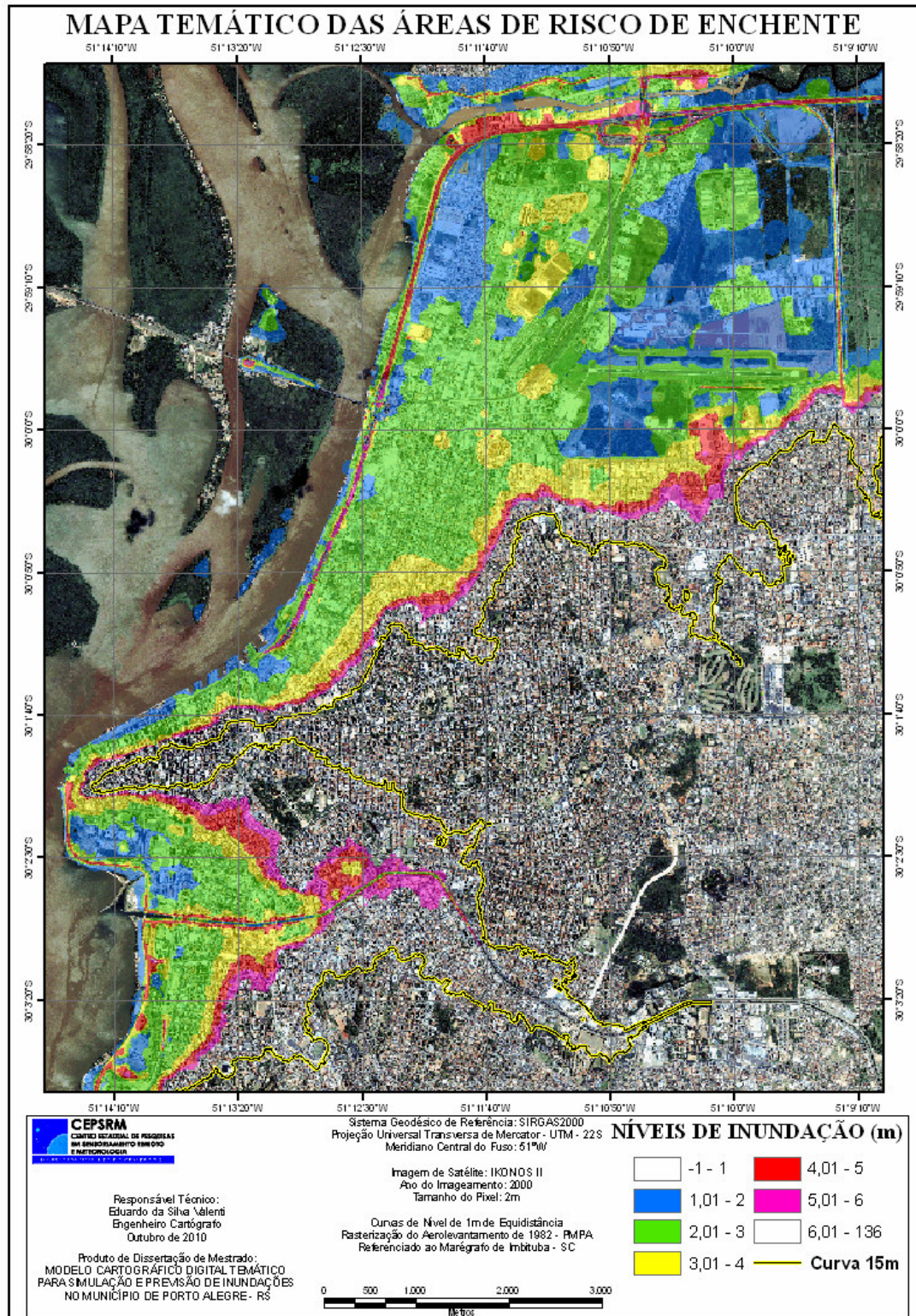


Figura 61 - Níveis de inundação e curva limite de 15m

6. BIBLIOGRAFIA

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

ASSOCIAÇÃO CARTOGRÁFICA INTERNACIONAL – ICA. Disponível em <<http://icaci.org/>>. Acesso em set.2009.

BARBOSA, J. L. S., **Nivelamento Geométrico**. Anotações de Aula de Topografia – Departamento de Geociências - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2003

BRASIL, DECRETO Nº 89.817 DE 20 DE JUNHO DE 1984. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D89817.htm> e <ftp://geofpt.ibge.gov.br/documentos/geodesia/pmrg/legislacao/Decreto_89817_nova_redacao.pdf>. Acesso em maio.2009.

BRASIL, LEI Nº 4.771, DE 15 DE SETEMBRO DE 1965. Institui o novo Código Florestal. Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L4771.htm>. Acesso em maio.2010.

BURROUGH, P. A. - **Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment** 1986;

CAMPANA, Nestor A. **Previsão de Vazão Em Macrobacias Urbanas: Arroio Dilúvio em Porto Alegre**. Avaliação e Controle da Drenagem Urbana – Vol 1 pg 53 – 77/556 A945 Biblioteca IPH – UFRGS, 1999.

CORREIO DO POVO, Porto Alegre, 1941.

CROSTA, A.P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas: UNICAMP, 1992.

DIÁRIO DE NOTÍCIAS, Porto Alegre, 1941.

ECKHARDT, R. R. **Modelo Cartográfico Aplicado ao Mapeamento Das Áreas Urbanas Sujeitas Às Inundações Na Cidade De Lajeado / RS**. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2008

ECKHARDT, R. R. **Modelo Cartográfico Aplicado ao Mapeamento Das Áreas Urbanas Sujeitas Às Inundações Na Cidade De Lajeado / RS**. Porto Alegre, 2008. Revista Brasileira de Cartografia No 60/03, outubro 2008. (ISSN 1808-0936).

FELGUEIRAS, C. A.; CÂMARA, G. **Capítulo 7: Modelagem Numérica de Terreno**. In: Introdução à Ciência da Geoinformação. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap7-mnt.pdf>>. Acesso em: 04 mar. 2009.

FILHO B. S. S. Cartografia Assistida Por Computador – Conceitos e Métodos. Departamento de Cartografia, Centro de Sensoriamento Remoto. Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Minas Gerais, 2000. Disponível em <<http://www.geologia.ufpr.br/graduacao/cartografiadigital/cartoassistida.pdf>> Acessado em set.2010.

GEMAEL, Camil- **Introdução ao ajustamento de observações:** Aplicações Geodésicas. Curitiba: Editora da UFPR, 1994 – 319 p;

GUIMARÃES R. **A Enchente de 41.** Porto Alegre: Libretos, 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAS. INPE – São José dos Campos, São Paulo. Disponível em <<http://www.inpe.br/index.php>>. Acesso out.2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE – Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/default.php>>. Acesso out.2009.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. INCRA – **Normas Técnicas para Levantamentos Topográficos.** Ministério do Desenvolvimento Agrário - MDA. Brasília, 2001.

LEICK, A. *GPS Satellite Surveying*, New York: Jonh Wiley & Sons, 1995. 560p.

MADRUGA, R. A. **Geração De Base Cartográfica Digital Utilizando Imagens De Satélite De Altíssima Resolução Espacial Para O Suporte Ao Planejamento Municipal.** Dissertação de Mestrado (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2008.

MARQUES, C. E. B. **Proposta de Método Para a Formulação de Planos Diretores de Drenagem Urbana** Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília, 2006.

MARTINELLI, M. **Curso de Cartografia Temática.** São Paulo. Contexto, 1991.

MARTINS, J. F. **Utilização de Imagem de Alta Resolução Para Gerenciamento de Zonas de Proteção de Aeródromo** Dissertação de Mestrado (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.

MATSUOKA, C. T. **Atualização Cartográfica Urbana Utilizando Imagem Quickbird.** Dissertação de Mestrado (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006.

METROCLIMA - Consulta ao site em 11/03/2009:

HOME PAGE: http://www2.portoalegre.rs.gov.br/metroclima/default.php?reg=7&p_secao=12

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR – GPS. Descrição, Fundamentos e Aplicações.** Fundação da UNESP – São Paulo, 2000.

MORAES, E. C. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 2002.

MOREIRA, A. S. B. **Nivelamento Trigonométrico e Nivelamento Geométrico Classe IIN Da Nbr 13.133: Limites e Condições de Compatibilidade** - Dissertação de Mestrado– Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, 2003

OLIVEIRA, C. **Dicionário cartográfico. 4 ed.** – Rio de Janeiro: IBGE, 1993.

PATROCÍNIO, R. B. **Análise Quantitativa de Pontos de Controle para Correção Geométrica de Imagens Orbitais.** Dissertação de Mestrado (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004.

PEREIRA, R. **A estatística e suas aplicações.** Editora Grafosul. Porto Alegre – RS 1978.

RADDE, R. S. **Aplicação De Imagens Orbitais De Alta Resolução Espacial No Cadastro Técnico Rural Multifinalitário.** Dissertação de Mestrado (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2007

REVISTA DO GLOBO, Porto Alegre, 1941.

ROCHA, R.S., **Exatidão cartográfica para as cartas digitais urbanas.** Dissertação de Doutorado – Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção de Sistemas, Florianópolis, 2002.

SECRETARIA DE PLANEJAMENTO MUNICIPAL – SPM – Prefeitura Municipal de Porto Alegre PMPA. Disponível em <<http://www.portoalegre.rs.gov.br/planeja/Mapas/default.asp>> Acesso em mai.2010.

SILVA, A. M. **Curso de Processamento Digital de Imagens de Satélite.** Apostila. XX Congresso Brasileiro de Cartografia, IX Congresso Nacional de Engenharia de Agrimensura VIII Conferência Ibero-americana de SIG, ISPRS – Seminário em Educação e Transferência de Tecnologia, Porto Alegre 2001.

SOARES, R. C. **Sistema de proteção contra cheias de Porto Alegre,** Estudo Técnico, Departamento de Esgotos Pluviais - Prefeitura Municipal de Porto Alegre. Revistas ECQS número 16, DMAE, novembro de 1999. Disponível em <<http://www.portoalegre.rs.gov.br/ecos/revistas/ecos16/estinteg.htm>> Acesso em set.2010.

SPALDING, W. **Pequena História de Porto Alegre.** Porto Alegre: Edições Sulinas, 1967.

SPIPKER, J. J. Tropospheric Effects on GPS, In: PARKINSON, B. W., SPIPKER, J. J. Global Positioning System: Theory and applications. Cambridge: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1996. v.1, p.517-46.

TAYLOR, D. R. F. **Geographical Information Systems: The Microcomputer and modern cartography**. Oxford, England, Pergamon Press, 1991, 251 p.

TUCCI C.E.M.; BERTOTI J. C. **Inundações Urbanas na América Do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Departamento de Geografia – Graduação. **Definições de Cartografia**. São Paulo. Disponível em <
http://www.geografia.fflch.usp.br/graduacao/apoio/textos/texto_1.htm>. Acesso em maio.2010.

1. ANEXO – Pontos de Controle

Posicoes das Estacoes

Eduardo Valenti

Sistema de coord. horizontal: UTM WGS84 **Data:** 07/07/10
Sistema de altitude: Alt. Elips. **Arq. projeto:** Eduardo
 Valente.spr
Precisao horizontal desejada: 0,040m + 1ppm
Precisao vertical desejada: 0,080m + 2ppm
Nivel de confianca: Erro 95%
Unidade de medida linear: metros

<u>Est.</u>	<u>Desc. da Estacao</u>	<u>Posicao</u>	<u>95% erro</u>	<u>Estado Fixo</u>	<u>Estado Posicao</u>
1	ED11	E = 482224,907 N = 6674841,424 Elev. 17,866	0,013 0,011 0,022		Ajustado
2	ED10	E = 481159,133 N = 6675722,962 Elev. 13,347	0,024 0,018 0,028		Ajustado
3	ED15	E = 480559,519 N = 6681255,783 Elev. 8,036	0,020 0,024 0,038		Ajustado
4	ED16	E = 480164,003 N = 6679714,991 Elev. 7,885	0,107 0,087 0,119		Ajustado
5	ED18	E = 477629,802 N = 6678180,970 Elev. 8,356	0,023 0,018 0,043		Ajustado
6	ED14	E = 480631,587 N = 6678143,629 Elev. 30,506	0,013 0,015 0,034		Ajustado
7	ED13	E = 482817,417 N = 6679022,837 Elev. 47,997	0,013 0,014 0,031		Ajustado
8	ED17	E = 484256,048 N = 6678097,876 Elev. 45,873	0,379 0,287 0,280		Ajustado
9	ED12	E = 482090,451 N = 6677267,632 Elev. 39,689	0,009 0,012 0,027		Ajustado
10	ED06	E = 476734,337 N = 6677156,231 Elev. 9,732	0,018 0,014 0,040		Ajustado
11	ED08	E = 477482,374 N = 6676461,977 Elev. 10,525	0,021 0,019 0,034		Ajustado
12	ED02	E = 477807,002 N = 6674620,894	0,023 0,021		Ajustado

		Elev.	7,472	0,034	
13	ED07	E =	477713,210	0,021	Ajustado
		N =	6674937,390	0,018	
		Elev.	7,998	0,032	
14	ED21	E =	477903,245	0,017	Ajustado
		N =	6676950,685	0,016	
		Elev.	9,327	0,040	
15	ED05	E =	479131,005	0,015	Ajustado
		N =	6677159,444	0,013	
		Elev.	14,024	0,040	
16	ED04	E =	479410,795	0,013	Ajustado
		N =	6675889,725	0,017	
		Elev.	9,716	0,030	
17	ED03	E =	479415,533	0,015	Ajustado
		N =	6674315,403	0,016	
		Elev.	20,299	0,029	
18	POAL	E =	488457,545	0,000	Fixo Ajustado
		N =	6673004,056	0,000	Fixo
		Elev.	76,750	0,000	Fixo

	<u>Est.</u>	<u>Desc. da Estacao</u>	<u>Convergencia</u>	<u>Fator de escala</u>	<u>Fator de elevacao</u>
1	ED11		0 05,542	0,99960390	0,99999719
2	ED10		0 05,872	0,99960438	0,99999790
3	ED15		0 06,047	0,99960466	0,99999874
4	ED16		0 06,173	0,99960485	0,99999876
5	ED18		0 06,966	0,99960617	0,99999869
6	ED14		0 06,031	0,99960463	0,99999521
7	ED13		0 05,349	0,99960364	0,99999246
8	ED17		0 04,903	0,99960306	0,99999280
9	ED12		0 05,579	0,99960396	0,99999377
10	ED06		0 07,247	0,99960668	0,99999847
11	ED08		0 07,016	0,99960626	0,99999835
12	ED02		0 06,920	0,99960608	0,99999883
13	ED07		0 06,948	0,99960613	0,99999874
14	ED21		0 06,884	0,99960602	0,99999854
15	ED05		0 06,501	0,99960537	0,99999780
16	ED04		0 06,417	0,99960523	0,99999847
17	ED03		0 06,419	0,99960523	0,99999681
18	POAL		0 03,601	0,99960164	0,99998795

Precisao Relativa da Rede

Eduardo Valenti

Precisao horizontal desejada: 0,040m + 1ppm

Data: 07/07/10

Precisao vertical desejada: 0,080m + 2ppm

Arq. projeto: Eduardo

Valente.spr

Nivel de confianca: Erro 95%

Unidade de medida linear: metros

	<u>Par Est.</u>		<u>Erro relativo</u>	<u>Erro permit.</u>	<u>Prec. Rel. horizontal</u>	<u>Prec. Rel. vertical</u>	<u>Distancia</u>	<u>Par est. QA</u>
1	POAL	Lat	0,014	0,041	1:589417	1:266188	8251,850	
	ED13	Lng	0,013	0,041				
		Elv	0,031	0,082				
2	POAL	Lat	0,287	0,041	1:17429	1:23591	6605,760	Falha
	ED17	Lng	0,379	0,041				Falha
		Elv	0,280	0,081				
3	POAL	Lat	0,011	0,041	1:500055	1:295487	6500,719	
	ED11	Lng	0,013	0,041				
		Elv	0,022	0,081				
4	POAL	Lat	0,018	0,041	1:324658	1:278279	7791,812	
	ED10	Lng	0,024	0,041				
		Elv	0,028	0,082				
5	POAL	Lat	0,024	0,042	1:476131	1:300714	11427,156	
	ED15	Lng	0,020	0,042				
		Elv	0,038	0,083				
6	POAL	Lat	0,087	0,041	1:99749	1:89690	10673,150	Falha
	ED16	Lng	0,107	0,041				Falha
		Elv	0,119	0,083				
7	POAL	Lat	0,018	0,042	1:522031	1:279225	12006,717	
	ED18	Lng	0,023	0,042				
		Elv	0,043	0,084				
8	POAL	Lat	0,015	0,041	1:624443	1:275489	9366,647	
	ED14	Lng	0,013	0,041				
		Elv	0,034	0,082				
9	POAL	Lat	0,012	0,041	1:638830	1:283924	7665,969	
	ED12	Lng	0,009	0,041				
		Elv	0,027	0,081				
10	POAL	Lat	0,014	0,042	1:691222	1:311049	12441,998	
	ED06	Lng	0,018	0,042				
		Elv	0,040	0,084				
11	POAL	Lat	0,019	0,042	1:548183	1:338583	11511,853	
	ED08	Lng	0,021	0,042				
		Elv	0,034	0,083				
12	POAL	Lat	0,021	0,041	1:468571	1:316974	10777,133	
	ED02	Lng	0,023	0,041				
		Elv	0,034	0,083				
13	POAL	Lat	0,018	0,041	1:520071	1:341297	10921,508	
	ED07	Lng	0,021	0,041				
		Elv	0,032	0,083				

14	POAL	Lat	0,016	0,042	1:663106	1:281820	11272,802
	ED21	Lng	0,017	0,042			
		Elv	0,040	0,083			
15	POAL	Lat	0,013	0,041	1:680978	1:255367	10214,683
	ED05	Lng	0,015	0,041			
		Elv	0,040	0,083			
16	POAL	Lat	0,017	0,041	1:558817	1:316663	9499,898
	ED04	Lng	0,013	0,041			
		Elv	0,030	0,082			
17	POAL	Lat	0,016	0,041	1:571279	1:315188	9140,478
	ED03	Lng	0,015	0,041			
		Elv	0,029	0,082			

Sumario de Ajuste

Eduardo Valenti

Projeto: Eduardo Valente.spr

Data: 07/07/10

Tipo do ajustamento:	Minimalmente Restrito
Fator de varianca:	1,0
Fator de ajuste de escala:	1,00
Vetores falhos no teste Tau:	0
Pares Estacoes falhando prec. relat. teste QA:	2
Total de vetores:	17
Total de Estacoes:	18
Estacoes de controle horizontal:	1
Estacoes de controle vertical:	1
Sistema de coordenadas horizontal:	UTM WGS84
Sistema de altitude:	Alt. Elips.
Precisao horizontal desejada:	0,040m + 1ppm
Precisao vertical desejada:	0,080m + 2ppm
Nivel de confianca:	Erro 95%

Vetores Ajustados

Eduardo Valenti

Estagio do vetor: Adjusted
 Sistema de coord. horizontal: UTM WGS84
 Valente.spr
 Sistema de altitude: Alt. Elips.
 Unidade de medida linear: metros

Data: 07/07/10
 Arq. projeto: Eduardo

	<u>Ident. do vetor</u>	<u>Modulo do vetor</u>	<u>Radial Resid.</u>		<u>Componentes do vetor</u>	<u>Resid.</u>	<u>Tau Test</u>
1	POAL-ED13 6/02 22:37	8251,850	0,000	X	-2510,178	0,000	
				Y	-5865,965	0,000	
				Z	5232,828	0,000	
2	POAL-ED17 6/02 23:21	6605,760	0,000	X	-1682,210	0,000	
				Y	-4601,487	0,000	
				Z	4430,863	0,000	
3	POAL-ED11 6/03 15:11	6500,719	0,000	X	-4305,854	0,000	
				Y	-4590,241	0,000	
				Z	1627,472	0,000	
4	POAL-ED10 6/03 15:56	7791,812	0,000	X	-4860,616	0,000	
				Y	-5599,346	0,000	
				Z	2394,593	0,000	
5	POAL-ED15 6/03 16:47	11427,156	0,000	X	-3587,703	0,000	
				Y	-8124,407	0,000	
				Z	7190,430	0,000	
6	POAL-ED16 6/03 17:22	10673,150	0,000	X	-4381,058	0,000	
				Y	-7773,423	0,000	
				Z	5856,309	0,000	
7	POAL-ED18 6/03 18:17	12006,717	0,000	X	-6838,769	0,000	
				Y	-8766,862	0,000	
				Z	4531,515	0,000	
8	POAL-ED14 6/03 19:02	9366,647	0,000	X	-4499,429	0,000	
				Y	-6884,066	0,000	
				Z	4483,174	0,000	
9	POAL-ED12 6/03 0:07	7665,969	0,000	X	-3633,940	0,000	
				Y	-5633,820	0,000	
				Z	3717,746	0,000	
10	POAL-ED06 6/03 9:47	12441,998	0,000	X	-7858,830	0,000	
				Y	-8930,661	0,000	
				Z	3644,915	0,000	
11	POAL-ED08 6/03 10:37	11511,853	0,000	X	-7494,181	0,000	
				Y	-8191,865	0,000	
				Z	3041,936	0,000	
12	POAL-ED02 6/03 11:03	10777,133	0,000	X	-7823,276	0,000	
				Y	-7269,410	0,000	
				Z	1448,663	0,000	
13	POAL-ED07 6/03 11:41	10921,508	0,000	X	-7796,285	0,000	
				Y	-7451,839	0,000	
				Z	1722,605	0,000	

14	POAL-ED21	6/03 12:21	11272,802	0,000	X	-7012,796	0,000
					Y	-8117,288	0,000
					Z	3465,026	0,000
15	POAL-ED05	6/03 13:03	10214,683	0,000	X	-5987,686	0,000
					Y	-7431,527	0,000
					Z	3641,398	0,000
16	POAL-ED04	6/03 13:48	9499,898	0,000	X	-6172,204	0,000
					Y	-6758,879	0,000
					Z	2543,524	0,000
17	POAL-ED03	6/03 14:25	9140,478	0,000	X	-6659,173	0,000
					Y	-6150,045	0,000
					Z	1175,030	0,000

Control Tie Analysis

Eduardo Valenti

Coordinate System:	UTM WGS84	Date:	07/07/10
Height System:	Alt. Elips.	Project file:	Eduardo
Valente.spr			
Desired Horizontal Accuracy:	0,040m + 1ppm		
Desired Vertical Accuracy:	0,080m + 2ppm		
Confidence Level:	Erro 95%		
Linear Units of Measure:	metros		

Site ID	Control Site Descriptor	Control Type	Misclosure	Relative Accuracy	Control QA
1	POAL	Hor/Ver	East Fixo Nrth Fixo Elev Fixo		

Loop Closure Analysis

Eduardo Valenti

Desired Horizontal Accuracy:	0,040m + 1ppm	Date:	07/07/10
Desired Vertical Accuracy:	0,080m + 2ppm	Project file:	Eduardo
Valente.spr			
Confidence Level:	Erro 95%		
Linear Units of Measure:	metros		

Loop Vectors	Loop Length	Misclosure	Horizontal Relatv Acc	Vertical Relatv Acc	Loop QA
--------------	-------------	------------	-----------------------	---------------------	---------

Repeat Vector Analysis

Eduardo Valenti

Desired Horizontal Accuracy:	0,040m + 1ppm	Date:	07/07/10
Desired Vertical Accuracy:	0,080m + 2ppm	Project file:	Eduardo
Valente.spr			
Confidence Level:	Erro 95%		
Linear Units of Measure:	metros		

Repeat Vector	Vector Difference	Vector Length	Horizontal Relatv Acc	Vertical Relatv Acc	Repeat QA
---------------	-------------------	---------------	-----------------------	---------------------	-----------

Project Files

Eduardo Valenti

Time System: Hora Local (UTC-3,0)

Date: 07/07/10

Project file: Eduardo Valente.spr

	<u>File Name</u>	<u>Start Date & Time</u>	<u>End Date & Time</u>	<u>Recording Intrvl (sec)</u>	<u>Epochs</u>	<u>File Size (bytes)</u>	<u>Type</u>
1	B0001A10.155	03/06/2010 22:21:30	04/06/2010	5,0	6637	2948144	L1 GPS
2	B0001J10.154	03/06/2010 12:11:25	03/06/2010	5,0	362	142014	L1 GPS
3	B0001K10.154	03/06/2010 12:56:15	03/06/2010	5,0	362	125284	L1 GPS
4	B0001L10.154	03/06/2010 13:47:25	03/06/2010	5,0	363	137321	L1 GPS
5	B0001M10.154	03/06/2010 14:22:45	03/06/2010	5,0	363	106871	L1 GPS
6	B0001N10.154	03/06/2010 15:17:05	03/06/2010	5,0	362	139284	L1 GPS
7	B0001O10.154	03/06/2010 16:02:50	03/06/2010	5,0	369	138143	L1 GPS
8	B0001A10.153	02/06/2010 19:37:40	02/06/2010	5,0	366	111867	L1 GPS
9	B0001B10.153	02/06/2010 20:21:25	02/06/2010	5,0	365	129545	L1 GPS
10	B0001A10.154	02/06/2010 21:07:00	02/06/2010	5,0	363	116251	L1 GPS
11	B0001B10.154	03/06/2010 06:47:35	03/06/2010	5,0	362	146704	L1 GPS
12	B0001C10.154	03/06/2010 07:37:40	03/06/2010	5,0	362	159759	L1 GPS
13	B0001D10.154	03/06/2010 08:03:20	03/06/2010	5,0	365	164300	L1 GPS
14	B0001E10.154	03/06/2010 08:41:00	03/06/2010	5,0	363	152616	L1 GPS
15	B0001F10.154	03/06/2010 09:21:40	03/06/2010	5,0	362	162104	L1 GPS
16	B0001G10.154	03/06/2010 10:03:35	03/06/2010	5,0	362	154789	L1 GPS
17	B0001H10.154	03/06/2010 10:48:35	03/06/2010	5,0	362	137429	L1 GPS
18	B0001I10.154	03/06/2010 11:25:40	03/06/2010	5,0	362	143624	L1 GPS
19	BPOALA10.153	01/06/2010 21:00:00	02/06/2010	15,0	5760	4022808	L1/L2 GPS
20	BPOALA10.154	02/06/2010 21:00:00	03/06/2010	15,0	5760	4023996	L1/L2 GPS
21	BSMARA10.153	01/06/2010 21:00:00	02/06/2010	15,0	5760	4049670	L1/L2 GPS
22	BSMARA10.154	02/06/2010 21:00:00	03/06/2010	15,0	5760	4050594	L1/L2 GPS
23	BSMARA10.155	03/06/2010 21:00:00	04/06/2010	15,0	5760	4051188	L1/L2 GPS
24	BPOALA10.155	03/06/2010 21:00:00	04/06/2010	15,0	5760	4024128	L1/L2 GPS

Observation Information

Eduardo Valenti

Time System: Hora Local (UTC-3,0)
Linear Units of Measure: metros
 Valente.spr

Date: 07/07/10
Project file: Eduardo

	<u>Site ID</u>	<u>Antenna Slant</u>	<u>Antenna Radius</u>	<u>Antenna Offset</u>	<u>Start Time</u>	<u>End Time</u>	<u>File Name</u>
1	????	1,500	0,132	0,000	22:21:30	07:34:30	B0001A10.155
2	ED11	1,500	0,132	0,000	12:11:25	12:41:30	B0001J10.154
3	ED10	1,500	0,132	0,000	12:56:15	13:26:20	B0001K10.154
4	ED15	1,500	0,132	0,000	13:47:25	14:17:35	B0001L10.154
5	ED16	1,500	0,132	0,000	14:22:45	14:52:55	B0001M10.154
6	ED18	1,500	0,132	0,000	15:17:05	15:47:10	B0001N10.154
7	ED14	1,500	0,132	0,000	16:02:50	16:33:30	B0001O10.154
8	ED13	1,500	0,132	0,000	19:37:40	20:08:05	B0001A10.153
9	ED17	1,500	0,132	0,000	20:21:25	20:51:45	B0001B10.153
10	ED12	1,500	0,132	0,000	21:07:00	21:37:20	B0001A10.154
11	ED06	1,500	0,132	0,000	06:47:35	07:17:40	B0001B10.154
12	ED08	1,500	0,132	0,000	07:37:40	07:54:00	B0001C10.154
13	ED02	1,500	0,132	0,000	08:03:20	08:33:40	B0001D10.154
14	ED07	1,500	0,132	0,000	08:41:00	09:11:10	B0001E10.154
15	ED21	1,500	0,132	0,000	09:21:40	09:51:45	B0001F10.154
16	ED05	1,500	0,132	0,000	10:03:35	10:33:45	B0001G10.154
17	ED04	1,500	0,132	0,000	10:48:35	11:18:40	B0001H10.154
18	ED03	1,500	0,132	0,000	11:25:40	11:55:50	B0001I10.154
19	POAL	0,007	0,000	0,000	21:00:00	20:59:45	BPOALA10.153
20	POAL	0,007	0,000	0,000	21:00:00	20:59:45	BPOALA10.154
21	????	0,008	0,000	0,000	21:00:00	20:59:45	BSMARA10.153
22	????	0,008	0,000	0,000	21:00:00	20:59:45	BSMARA10.154
23	????	0,008	0,000	0,000	21:00:00	20:59:45	BSMARA10.155
24	POAL	0,007	0,000	0,000	21:00:00	20:59:45	BPOALA10.155

Control Site Positions

Eduardo Valenti

Horizontal Coordinate System: UTM WGS84 **Date:** 07/07/10
Height System: Alt. Elips. **Project file:** Eduardo
 Valente.spr
Desired Horizontal Accuracy: 0,040m + 1ppm
Desired Vertical Accuracy: 0,080m + 2ppm
Confidence Level: Erro 95%
Linear Units of Measure: metros

Site ID	Control Site Descriptor	Position	95% Error	Control Type	Fix Status	
1 POAL		East.	488457,545	0,000	Hor/Ver	Fixo
		Nrth.	6673004,056	0,000		Fixo
		Elev.	76,750	0,000		Fixo

Site ID	Control Site Descriptor	Convergence	Scale Factor	Elevation Factor
1 POAL		0 03,601	0,99960164	0,99998795

Coordinate System Definition Summary

Eduardo Valenti

Linear Units of Measure: metros **Date:** 07/07/10
Project file: Eduardo
 Valente.spr

Ground System

System Name:

Origin:
 Latitude = 0° 00' 00,00000" S
 Longitude = 0° 00' 00,00000" O
 Ground Northing = 0,000m
 Ground Easting = 0,000m

Orientation:
 Angle = - 0° 00' 00,00000"

Local Grid System

Name:

Transformation Parameters:
 E Translation = 0,000m
 N Translation = 0,000m
 Z Rotation = 0,000000"
 Scale Diff. (ppm) = 0,000000
 Centroid Easting = 0,000m
 Centroid Northing = 0,000m

Note: Parameters define transformation from BASE GRID SYSTEM to LOCAL GRID SYSTEM

Geodetic Datum

Name: World Geodetic Sys. 1984

Reference Ellipsoid: WGS84

a = 6378137,000m
1/f = 298,257224000

Transformation Parameters:

X Translation	=	0,000m
Y Translation	=	0,000m
Z Translation	=	0,000m
X Rotation	=	0,000000"
Y Rotation	=	0,000000"
Z Rotation	=	0,000000"
Scale Diff. (ppm)	=	0,000000

Note: Parameters define transformation from LOCAL SYSTEM to WGS84

Grid System

Name: UTM WGS84

Projection Type: TM83

Zone Name: ZONA 22 - MC -51

Zone Parameters:

Longitude do Meridiano Central	=	051°00'00,00"W
Fator de Escala no Meridiano Central	=	0,999600 m
Longitude da origem da quadrícula	=	000°00'00,00"W
Latitude da origem da quadrícula	=	00°00'00,00"N
Leste Falso (m)	=	500000,000 m
Norte Falso (m)	=	10000000,000 m

Project Summary

Eduardo Valenti

Project file: Eduardo Valente.spr

Date: 07/07/10

Client Name:

Project Name: Eduardo Valente

Project Comments:

Desired Horizontal Accuracy: 0,040m + 1ppm
Desired Vertical Accuracy: 0,080m + 2ppm
Confidence Level: Erro 95%

Horizontal Coordinate System: UTM WGS84
Height System: Alt. Elips.
Linear Units: metros

Number of Sites: 18
Number of Vectors: 17

Survey Company Name:

Vetores Processados

Eduardo Valenti

Estagio do vetor: Processed
Sistema de coordenada horiz.: UTM WGS84
 Valente.spr
Tipo de altitude Alt. Elips.

Data: 07/07/10
Arq. projeto: Eduardo

Precisao horizontal desejada: 0,040m + 1ppm
 Precisao vertical desejada: 0,080m + 2ppm
 Nivel de confianca: Erro 95%
 Unidade de medida linear: metros

<u>med.</u>	<u>Ident. do vetor</u>		<u>Modulo do vetor</u>	<u>95% erro</u>		<u>Componentes do vetor</u>		<u>95% erro</u>	<u>QA Processo</u>	<u>SVs</u>	<u>PDOP</u>	<u>Tipo</u>
1	POAL-ED13	6/02 22:37	8251,850	0,037	X	-2510,178	0,020			6	2,0	L1 GPS
					Y	-5865,965	0,021					
					Z	5232,828	0,023					
2	POAL-ED17	6/02 23:21	6605,760	0,552	X	-1682,210	0,325		Falha	5	2,6	L1 GPS
					Y	-4601,487	0,318					
					Z	4430,863	0,313					
3	POAL-ED11	6/03 15:11	6500,719	0,028	X	-4305,854	0,015			8	1,4	L1 GPS
					Y	-4590,241	0,016					
					Z	1627,472	0,017					
4	POAL-ED10	6/03 15:56	7791,812	0,041	X	-4860,616	0,022			7	1,7	L1 GPS
					Y	-5599,346	0,024					
					Z	2394,593	0,024					
5	POAL-ED15	6/03 16:47	11427,156	0,049	X	-3587,703	0,026			8	1,5	L1 GPS
					Y	-8124,407	0,029					
					Z	7190,430	0,029					
6	POAL-ED16	6/03 17:22	10673,150	0,182	X	-4381,058	0,100		Falha	5	2,5	L1 GPS
					Y	-7773,423	0,114					
					Z	5856,309	0,101					
7	POAL-ED18	6/03 18:17	12006,717	0,052	X	-6838,769	0,028			9	2,0	L1 GPS
					Y	-8766,862	0,030					
					Z	4531,515	0,032					
8	POAL-ED14	6/03 19:02	9366,647	0,039	X	-4499,429	0,022			7	1,9	L1 GPS
					Y	-6884,066	0,023					
					Z	4483,174	0,023					
9	POAL-ED12	6/03 0:07	7665,969	0,031	X	-3633,940	0,017			6	2,5	L1 GPS
					Y	-5633,820	0,018					
					Z	3717,746	0,018					
10	POAL-ED06	6/03 9:47	12441,998	0,046	X	-7858,830	0,026			8	1,7	L1 GPS
					Y	-8930,661	0,026					
					Z	3644,915	0,027					
11	POAL-ED08	6/03 10:37	11511,853	0,044	X	-7494,181	0,025			9	1,1	L1 GPS
					Y	-8191,865	0,026					
					Z	3041,936	0,026					
12	POAL-ED02	6/03 11:03	10777,133	0,046	X	-7823,276	0,025			9	1,4	L1 GPS
					Y	-7269,410	0,027					
					Z	1448,663	0,027					
13	POAL-ED07	6/03 11:41	10921,508	0,043	X	-7796,285	0,023			9	1,8	L1 GPS
					Y	-7451,839	0,024					
					Z	1722,605	0,027					
14	POAL-ED21	6/03 12:21	11272,802	0,046	X	-7012,796	0,026			9	1,4	L1 GPS
					Y	-8117,288	0,026					
					Z	3465,026	0,028					
15	POAL-ED05	6/03 13:03	10214,683	0,045	X	-5987,686	0,024			9	1,4	L1 GPS
					Y	-7431,527	0,028					
					Z	3641,398	0,026					
16	POAL-ED04	6/03 13:48	9499,898	0,037	X	-6172,204	0,021			7	1,6	L1 GPS
					Y	-6758,879	0,021					
					Z	2543,524	0,022					
17	POAL-ED03	6/03 14:25	9140,478	0,036	X	-6659,173	0,020			9	1,4	L1 GPS
					Y	-6150,045	0,021					
					Z	1175,030	0,022					

2. ANEXO – Nivelamento Geométrico

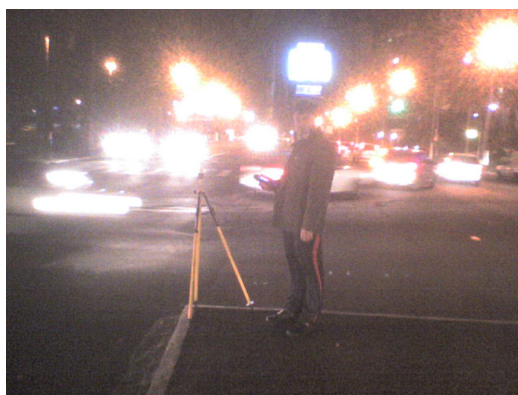
Nivelamento Geométrico - Realizado na cais do Porto Vão Central em Porto Alegre em 27/06/2010

Est.	P.N.	Leituras			Todas as medidas estão em metros (m)				Cota + Alt. Placa	OBS:
		Ré	Vante Int.	Vante Mud.	APV	Alt. Placa	Cotas Altitude	Correção das Cotas		
I	RN 1788A	1,1000			4,0344		4,0344	4,0324		RN do IBGE - 1788A = Alt. Ortom. =
	1		1,2210			1,3320	2,8134	2,8114	4,1434	Placa nível LD entrada Cais do Porto
	3		1,1380			1,2650	2,8964	2,8944	4,1594	Placa nível LD fundos Cais do Porto
	EDU PT 18		0,9800				3,0544	3,0524		Dormente n 39 (4) ancoragem barcos
	Nível do Cais		1,4820				2,5524	2,5504		Altura piso do Cais
	2		1,1780			1,3110	2,8564	2,8544	4,1654	Placa nível LE entrada Cais do Porto
	4		1,1570			1,3050	2,8774	2,8754	4,1804	Placa nível Secretaria da Fazenda
	VM A			1,5320			2,5024	2,5004		Vante de Mudança
II	VM A	1,6030			4,1054		4,1054	4,1014		Vante de Mudança
	4		1,2300			1,3050	2,8754	2,8714	4,1764	Placa nível Secretaria da Fazenda
	GEOPINO 5039		1,5870				2,5184	2,5144		Marco 5039 Geopinos Mauá/Gen Camara
	GEOPINO 5040			1,0920			3,0134	3,0094		Marco 5040 Geopinos Mauá/Cais do Porto
III	GEOPINO 5040	0,9570			3,9704		3,9704	3,9644		Marco 5040 Geopinos Mauá/Cais do Porto
	RN 1788A			1,0300			2,9404	2,9344		RN do IBGE - 1788A
	2		1,1100			1,3110	2,8604	2,8544	4,1654	Placa nível LE entrada Cais do Porto
	1		1,1520			1,3320	2,8184	2,8124	4,1444	Placa nível LD entrada Cais do Porto
RN 1788A (m)=									2,9344	Desvio padrão
Média da Altitude da Enchente em relação a NMM RN 1788A									4,1621	0,0143
Cálculo dos Erros										
Σ Ré	3,6600	-	Σ Vante	3,6540	0,0060					
	2,9404	-		2,9344	0,0060 = erro cometido (mm)					
					0,0063 = erro tolerável (mm)					
Correções por Estações										
Est. I 1/3	0,002									
Est. II 2/3	0,004									
Est. II 3/3	0,006									

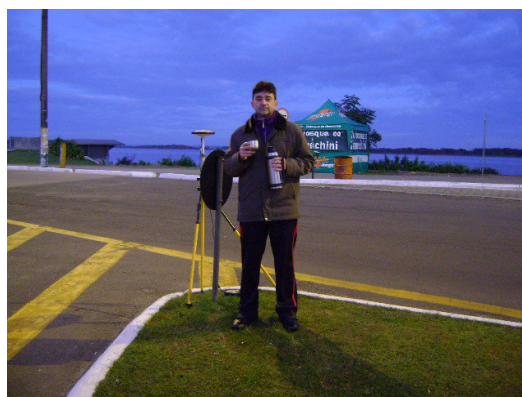
3. ANEXO – Levantamento GPS L1



Fotografia 1: EDU PT 13 - 2/6/2010 - 19:37 - Canteiro Av. Plínio Brasil Milano com Av. Alfredo Correa Daudt



Fotografia 2: EDU PT 17 - 2/6/2010 - 20:21 - Canteiro AV. Dr. Nilo Peçanha com Av. João Wallig



Fotografia 3: EDU PT 06 - 3/6/2010 - 06:47 - Canteiro Av. Edivaldo Pereira Paiva - Gasômetro



Fotografia 4: EDU PT 08 - 3/6/2010 - 07:23 - Rótula Av. Edivaldo Pereira Paiva com Av. Aureliano de Figueiredo Pinto



Fotografia 5: EDU PT 02 - 3/6/2010 - 08:03 - Canteiro da Av. Praia de Belas com Av. Borges de Medeiros



Fotografia 6: EDU PT 07 - 3/6/2010 - 08:41 - Canto espelho d'água Monumento da Marinha - Parque Marinha do Brasil



Fotografia 7: EDU PT 21 - 3/6/2010 - 09:21 - Canto da ponte dos Açorianos lado da Av. Loureiro da Silva



Fotografia 8: EDU PT 05 - 3/6/2010 - 10:03 - Canto espelho d'água Praça Central Chafariz - Parque Farroupilha



Fotografia 9: EDU PT 04 - 3/6/2010 - 10:48 - Canteiro Central da Av. da Azenha com Av. Ipiranga



Fotografia 10: EDU PT 03 - 3/6/2010 - 11:25 - Canteiro Central da Av. Cel Gastão Haslocher Mazon com Av. Cascatinha



Fotografia 11: EDU PT 11 - 3/6/2010 - 12:11 - Canto do contorno Av. Salvador França com Av. Ipiranga



Fotografia 12: EDU PT 10 - 3/6/2010 - 12:56 - Canto Av. Cel Corte Real com Av. Ipiranga



Fotografia 13: EDU PT 15 - 3/6/2010 - 13:47 - Canteiro Av. Sertório com Rua Santos Pedroso



Fotografia 14: EDU PT 16 - 3/6/2010 - 14:22 - Esquina Rua Conde de Porto Alegre com Rua do Parque



Fotografia 15: EDU PT 18 - 3/6/2010 - 15:17 - Dormente número 39 amarração de navios, Cais do Porto - Vão central



Fotografia 16: EDU PT 14 - 3/6/2010 - 16:02 - Ponto ao lado do banco de praça - Parque Moinhos de Vento



Fotografia 17: Rastreamento RN 1788 B



Fotografia 18: Rastreamento RN 1788 B



Fotografia 19: Rastreamento RN 1782 Z



Fotografia 20: Rastreamento RN 1782 Z

4. ANEXO – Criação Arquivo RPC - ENVI

Processo de Construção de RPC genérico para imagens IKONOS II *Basic Imagery*:

Pushbroom Sensor

1. From the Type drop-down list in the Build RPCs dialog, select Pushbroom Sensor.
2. Enter a Focal Length (mm) value for the camera or sensor. This field is required. See Focal Length and Pixel Size.
3. Enter Principal Point x0 (mm) and Principal Point y0 (mm) coordinates. The default value is 0 for both fields. See Principal Point Coordinates.
4. Enter X Pixel Size (mm) and Y Pixel Size (mm) values. These are required fields. See Focal Length and Pixel Size.
5. Enter Incidence Angle Along Track and Incidence Angle Across Track values. See Along Track and Across Track Incidence Angles.
6. Select a Sensor Line Along Axis option. Each sensor line has one projective center.
 - X: The sensor line direction is along the image x-axis.
 - Y: The sensor line direction is along the image y-axis.
7. Set the required Polynomial Orders for XS, YS, ZS, Omega, Phi, and Kappa.
 - 0: The parameter is constant for the entire image.
 - 1: The parameter has a linear relationship with the y camera coordinates, for example: $XS(i) = a_0 + a_1y_i$
 - 2: The parameter is modeled using a second-order polynomial, for example: $XS(i) = a_0 + a_1y_i + a_2y_i^2$
 - The default value is 1 for all six exterior orientation parameters. The higher you set the polynomial order, the more GCPs you must select in the image. Usually, a second-order polynomial is only needed to model a scenario where there is a nonlinear variation of the exterior orientation between sensor lines, which implies an unstable flight path. Experiment with different polynomial orders to select the optimal modeling strategy.
8. Click Select GCPs in Display. A Select GCPs in Display dialog appears. See Build Exterior Orientation for the remaining steps.

9. If you want to further improve the RMS error of the exterior orientation model, click Select GCPs in Display again. You can add more GCPs or delete GCPs with large errors.
10. When you are finished modifying the GCPs, click Recalculate Exterior Orientation in the Build RPCs dialog.
11. Click OK. The Scene Elevation in Meters dialog appears.
12. The Minimum Elevation and Maximum Elevation fields are initially populated with the range of global elevation values in world_dem (found in the data directory of your ENVI installation path). If you know the elevation range of your scene, you can enter new Minimum Elevation and Maximum Elevation values. These values represent the height above the WGS-84 ellipsoid for the geographic region that the image covers.
13. Click OK. After processing is complete, an ENVI Message dialog appears:
"RPCs have been calculated for this file, and the header has been updated."
Click OK.

Once RPCs are computed, the RPC information is added to the input file header so that you can use the file with ENVI's Generic RPC orthorectification and DEM Extraction tools. See Generic RPC and RSM and Introduction to DEM Extraction.

5. ANEXO – Ficha 1941

Ficha da régua da Praça da Harmonia, criada em 1941.

HIDROLOGIA	PRAÇA DA HARMONIA	PÓRTO ALEGRE	FUATBA	GUARÁ	1941
DATAS	HISTÓRICO				
	Observador: FRANCISCO MARTINS MOREIRA.				
	COTA DO ZERO DA ESCALA: + 0,29 metros referido ao nível do mar				
31/8/1949	Interpolado com leituras de 1941.				
1961-1962	A falta de leituras no período entre maio de 1961 e maio de 1962 deve-se a ausência do observador.				
15/6/1962	Observador : Djalma Walesko (Beneda Campos Walesko) Salário : R\$ 600,00 mensais				
25/10/63	Sem leituras dias 25, 26, 27 e 28 - sem observador.				
	Observações feitas pelo dr. Candiota: em 22-2-1967: Verificou-se a diferença de nível entre o zero da escala da Praça da Harmonia e a marca da enchente de 1941 existente no Portão Central e achou-se <u>4,62m</u> . Somando a cota +0,29m temos 4,91m referidos ao zero do mar.				
	em 22-2-1967: o linígrafo R.Fuess nº 10.204 do 3º espigão das Docas, do porto de Pôrto Alegre, Fiscalização dos Portos do rio Grande do sul Departamento Nacional de Portos e Navegação, registrou em maio de 1941 a máxima de <u>4,63m</u> . Na época a cota do capeamento do cais era +3,00m em relação ao zero do linígrafo. Deve-se supor que o zero da escala, quando de sua instalação, coincidiu com o zero do linígrafo, sendo posteriormente referido ao zero do mar (S.G.E.) com a cota +0,29m. Para verificar teremos que nivelar o capeamento do cais.				
24-9-1967	Com a leitura de 2,80m na escala, a água sobe no cais, na parte fronteira ao Edifício Central.				
12/11/72	Por motivo de desistência do observador e não ter conseguido outro responsável pelas leituras dos aparelhos, as mesmas serão efetuadas pelo pessoal do Depósito, por determinação do Engº Administrador da AVF, sendo que haverá falhas de observações aos sábados e domingos por não haver expediente nestes dias.				
10/05/73	Foi efetuado nesta data um levantamento dos diagramas do linígrafo da Praça da Harmonia, sendo constatado a falta de gráfico, devido à problemas do equipamento, nos seguintes períodos:				
	16 a 23/5/70; 28/5 a 11/6/70; 11/7 a 25/7/70; 1/8 a 30/10/71; 27/11 a 11/3/72; 8/4				

Figura 62 - Cópia da ficha da praça da Harmonia