

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

RODRIGO DE AVILA PALERMO

TAÍS CORREIA LEITE

**INTEGRAÇÃO DE LEVANTAMENTO FOTOGRAMÉTRICO AÉREO COM O USO
DE VANT E LEVANTAMENTO FOTOGRAMÉTRICO TERRESTRE PARA O
MAPEAMENTO TRIDIMENSIONAL DAS RUÍNAS DE SÃO MIGUEL DAS MISSÕES**

**PORTO ALEGRE
2013**

RODRIGO DE AVILA PALERMO

TAÍS CORREIA LEITE

**INTEGRAÇÃO DE LEVANTAMENTO FOTOGRAMÉTRICO AÉREO COM O USO
DE VANT E LEVANTAMENTO FOTOGRAMÉTRICO TERRESTRE PARA O
MAPEAMENTO TRIDIMENSIONAL DAS RUÍNAS DE SÃO MIGUEL DAS MISSÕES**

Projeto Cartográfico apresentado ao Curso de Engenharia Cartográfica do Departamento de Geodésia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul para obtenção do título de bacharel em Engenharia Cartográfica.

Orientador: Prof. Dr. Mário Luiz Lopes Reiss

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo dos Santos da Rocha

PORTO ALEGRE

2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Carlos Alexandre Netto

Vice-Reitor: Rui Vicente Oppermann

INSTITUTO DE GEOCÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Palermo, Rodrigo de Avila

Integração de levantamento fotogramétrico aéreo com o uso de VANT e levantamento fotogramétrico terrestre para o mapeamento tridimensional das ruínas de São Miguel das Missões. / Rodrigo de Avila Palermo e Taís Correia Leite. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2013.

[173 f.] il.

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

Orientadores: Mário Luiz Lopes Reiss; Ronaldo dos Santos da Rocha

1. Fotogrametria. 2. Geodésia. 3. Modelo digital tridimensional. 4. Veículo aéreo não tripulado (VANT). I. Taís Correia Leite II. Título.

Catálogo na Publicação
Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS
Alexandre Ribas Semeler CRB: 10/1900

RODRIGO DE AVILA PALERMO

TAÍS CORREIA LEITE

**INTEGRAÇÃO DE LEVANTAMENTO FOTOGRAMÉTRICO AÉREO COM O USO
DE VANT E LEVANTAMENTO FOTOGRAMÉTRICO TERRESTRE PARA O
MAPEAMENTO TRIDIMENSIONAL DAS RUÍNAS DE SÃO MIGUEL DAS MISSÕES**

Projeto Cartográfico apresentado em forma de monografia ao Curso de Engenharia Cartográfica do Departamento de Geodésia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Cartográfica.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Daniel Rodrigues dos Santos

MSc. Arquiteta Sandra Petry

Profa. Dra. Tatiana Silva da Silva

Prof. Dr. Mário Luiz Lopes Reiss (Orientador)

Prof. Dr. Ronaldo dos Santos da Rocha (Orientador)

PORTO ALEGRE

2013

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e ao Instituto de Geociências (IGEO), pela disponibilização de equipamentos e recursos que tornaram possíveis a execução deste trabalho.

Ao Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), por ceder o espaço para a execução do trabalho.

Ao REUNI (Reestruturação e Expansão das Universidades Federais) e ao CNPQ (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelos equipamentos utilizados.

Aos professores Mário Luiz Lopes Reiss e Ronaldo dos Santos da Rocha, pelas suas orientações e contribuições fundamentais, tanto no ambiente acadêmico como nas atividades de campo.

Ao Laboratório de Pesquisas em Fotogrametria (LAFOTO) e ao Laboratório de Cartografia Aplicada (LACAP), onde foi possível utilizar o espaço e os equipamentos para a realização do projeto.

À empresa de Aerofotogrametria, Geoprocessamento e Engenharia Ltda. (AEROGEO), pela doação de dois marcos de concreto instalados nas dependências da UFRGS.

Às nossas famílias que incentivaram e acompanharam todo o desenvolvimento do projeto.

Aos colegas Jeanine Cassini Peter e Marcelo Pereira, pela grande ajuda em etapas desenvolvidas no projeto.

Aos colegas de curso que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

A Fotogrametria é uma tecnologia largamente utilizada em atividades cuja finalidade é a extração de medidas de objetos através de fotografias. Neste projeto foram empregadas técnicas de Fotogrametria embasadas nas recomendações internacionais da Carta de Veneza e do Estatuto do CIPA, com o objetivo de se gerar produtos que podem apoiar atividades de conservação, gerenciamento, avaliação de condições, publicação e pesquisa em relação ao patrimônio arquitetônico. Três tipos de levantamentos foram executados neste projeto: levantamento geodésico, para orientar os produtos cartográficos a um sistema geodésico global; levantamento fotogramétrico aéreo com a utilização de um veículo aéreo não tripulado (VANT), para o mapeamento planialtimétrico da área de estudo; levantamento fotogramétrico terrestre, para a construção do modelo digital tridimensional texturizado das ruínas da igreja de São Miguel Arcanjo. Os resultados obtidos através do controle de qualidade determinaram para o mapa gerado uma exatidão cartográfica planimétrica de 0,33 m. O levantamento fotogramétrico terrestre resultou em um erro de 14,9 mm na fototriangulação, o que sugere a possibilidade de atendimento à precisão relativa de 25 mm estipulada para a documentação de edificações segundo recomendação internacional.

Palavras-chave: Fotogrametria. Geodésia. Modelo digital tridimensional. Veículo aéreo não tripulado (VANT).

ABSTRACT

Photogrammetry is a technology widely used in activities whose purpose is to extract measurements of objects from photographic images. In this work photogrammetric techniques were employed based on international recommendations of the Venice Chart and CIPA Statutes in order to generate products that can support conservation, management, condition evaluation, publications and research activities related to architectural heritage. Three types of surveys were executed in this work: Geodetic Surveying to orientate the cartographic products to a common global geodetic system; Aerial Photogrammetry with an unmanned aerial vehicle (UAV) to the generation of a planialtimetric map of the study region; and Terrestrial Photogrammetry to the generation of a three-dimensional digital model of the ruins of the São Miguel Arcanjo Church. It was achieved a planimetric accuracy of 0.33 m for the map. The error obtained on the triangulation of the terrestrial photographs was 14.9 mm, suggesting the possibility of achieve the relative accuracy of 25 mm required for the documentation of buildings according to the international recommendation.

Keywords: Photogrammetry. Geodesy. Three-dimensional digital model. Unmanned aerial vehicle (UAV).

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2-1 – Estação Fotogramétrica Digital	26
Figura 2-2 – Geometria das fotografias: (a) vertical; (b) baixo-oblíqua; (c) alto-oblíqua; e (d) par convergente. Fonte: Tommaselli, 2004.	29
Figura 2-3 - Geometria de uma fotografia vertical. Fonte: Reiss, 2010, adaptado de Wolf, 1983.	30
Figura 2-4 - Geometria da fotografia: terreno plano. Fonte: Reiss, 2010, adaptado de Wolf, 1983.	31
Figura 2-5 – Formação da visão estereoscópica. Fonte: adaptado de Lugnani, 1987.	31
Figura 2-6 - Sobreposições lateral e longitudinal. Fonte: adaptado de ERDAS, 2010.	32
Figura 2-7 - Eixos do sistema fiducial. Fonte: Andrade, 1998, p. 80.	33
Figura 2-8 - Sistema de coordenadas de tela. Fonte: Hasegawa, 2004.	34
Figura 2-9 - Sistema fotogramétrico. Fonte: Andrade, 1998, p. 81.	35
Figura 2-10 - Espaço-imagem e espaço-objeto, condição de colinearidade e elementos de orientação exterior. Fonte: adaptado de ERDAS, 2010.	37
Figura 2-11 - Regiões de Grüber. Fonte: adaptado de Andrade, 1998.	39
Figura 2-12 - Rede irregular triangular - TIN. Fonte: Burrough, 1998.	43
Figura 2-13 - Geração de ortofoto - Processos direto e inverso. Fonte: adaptado de Andrade, 1998.	45
Figura 2-14 - Geóide, elipsóide e ondulação geoidal. Fonte: IBGE, 2013.	51
Figura 3-1 - Fluxograma das etapas executadas no trabalho.	55
Figura 3-2 - Fluxograma das etapas dos levantamentos fotogramétricos terrestre e aéreo.	56
Figura 3-3 - Localização do município de São Miguel das Missões no estado.	59
Figura 3-4 - Área de estudo em São Miguel das Missões	60
Figura 3-5 - Etapas de implantação da rede geodésica local	63

Figura 3-6 – Marcos geodésicos da rede geodésica local _____	64
Figura 3-7 - Distribuição dos pontos de apoio do aerolevanteamento _____	66
Figura 3-8 - Etapas de sinalização e medição dos pontos de apoio _____	67
Figura 3-9 – Pontos existentes na fachada principal utilizados como apoio. _____	69
Figura 3-10 – Alvos pré-sinalizados nas fachadas. _____	70
Figura 3-11 – Poligonal topográfica de apoio _____	70
Figura 3-12 – Levantamento dos pontos de checagem _____	71
Figura 3-13 – Detalhe do alvo e medição topográfica do campo de calibração _____	72
Figura 3-14 – Gráfico com localização dos pontos levantados _____	73
Figura 3-15 – Etapa de rastreio dos marcos _____	74
Figura 3-16 - Intersecção Direta. Fonte: Adaptado de Lopez-Cuervo, 1996. _____	75
Figura 3-17 - Elementos do cálculo da coordenada Z. _____	76
Figura 3-18 – VANT utilizado no projeto. Fonte: SENSEFLY, 2013. _____	78
Figura 3-19 - Tela do programa e-mo-tion com painel de controles e faixas de voo do sistema VANT. _____	79
Figura 3-20 – Copiloto na estação de controle montada no local do aerolevanteamento _____	80
Figura 3-21 - Distribuição das fotografias aéreas e a localização dos pontos de apoio _____	81
Figura 3-22 - Restituição - Estereoscopia _____	84
Figura 3-23 – Representação em perspectiva das feições restituídas em formato vetorial _____	84
Figura 3-24 - Edição do MDT _____	86
Figura 3-25 - Representação matricial do MDT e curvas de nível _____	86
Figura 3-26 - Ortofoto da área de estudo _____	87
Figura 3-27 - Estações de tomada de fotografias terrestres _____	89
Figura 3-28 - Fotografias utilizadas na calibração da câmara terrestre _____	91
Figura 3-29 – Posições e rotações da câmara na tomada de fotografias. _____	92

Figura 4-1 – Nuvem de pontos obtidos pela fototriangulação _____	114
Figura 4-2 – Modelo tridimensional da igreja _____	114
Figura 4-3 – Modelo tridimensional texturizado da igreja _____	115
Figura 4-4 - Ortofoto da fachada principal da igreja _____	115
Figura 4-5 - Detalhe da fachada principal _____	116
Figura 4-6 – Modelo tridimensional integrado _____	116
Figura 4-7 – Modelo tridimensional integrado - vista aproximada _____	117
Figura 4-8 – Representação da distribuição da amostra em porcentagem por quadrante (aerotriangulação) _____	120
Figura 4-9 – Representação da distribuição da amostra em porcentagem por quadrante (restituição) _____	125

LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1 - Precisões obtidas com posicionamento GNSS método relativo. Fonte: IBGE, 2008. _____	50
Tabela 2-2 – Classes de produtos cartográficos conforme o PEC _____	54
Tabela 3-1 - Cronograma físico das atividades realizadas no trabalho _____	96
Tabela 3-2 - Cronograma financeiro considerando uma empresa executora _____	97
Tabela 3-3 - Materiais da UFRGS utilizados no trabalho _____	98
Tabela 4-1 - Coordenadas e desvios-padrões dos marcos pertencentes à rede geodésica local _____	99
Tabela 4-2 - Valores de translação para pontos de apoio e marcos geodésicos _____	100
Tabela 4-3 - Comparação entre coordenadas obtidas pelo método RTK e com pós-processamento _____	101
Tabela 4-4 - Coordenadas e desvios-padrões dos pontos de apoio do aerolevante _____	102
Tabela 4-5 - Coordenadas da poligonal - Topografia _____	103
Tabela 4-6 - Coordenadas da poligonal - Projeção UTM _____	104
Tabela 4-7 - Coordenadas da poligonal - GNSS _____	104
Tabela 4-8 - Diferença entre as coordenadas Topográficas locais e GNSS _____	105
Tabela 4-9 - Diferença entre as coordenadas Topográficas UTM e GNSS _____	105
Tabela 4-10 - Coordenadas e desvios-padrões dos pontos de checagem do aerolevante _____	106
Tabela 4-11 - Coordenadas dos pontos de apoio - Intersecção à vante _____	108
Tabela 4-12 - Coordenadas dos pontos de apoio - Irradiação direta _____	109
Tabela 4-13 - Diferenças entre os métodos topográficos de medição _____	110
Tabela 4-14 - Parâmetros de orientação interior - Programa CC _____	111
Tabela 4-15 - Parâmetros de orientação interior - Programa Orima _____	111

Tabela 4-16 - Comparação entre os parâmetros de calibração da câmara aérea _____	112
Tabela 4-17 - Parâmetros de orientação interior - Programas CC e PhotoScan _____	118
Tabela 4-18 - Discrepâncias entre os pontos de checagem (GNSS) e pontos da aerotriangulação _____	121
Tabela 4-19 - Resultados da análise de tendência para a aerotriangulação _____	122
Tabela 4-20 – Resultados da análise de exatidão da aerotriangulação _____	123
Tabela 4-21 - Discrepâncias entre os pontos de checagem (GNSS) e pontos da restituição _____	126
Tabela 4-22 - Resultados da análise de tendência da restituição _____	127
Tabela 4-23 - Resultados da análise de exatidão da restituição _____	127

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CCD - *Charge-Coupled Device*

CIPA - *Heritage Documentation*

CMOS - *Complementary Metal Oxide Semiconductor*

CQ - Controle de Qualidade

DIN - Deutsches Institut für Normung

DSG - Diretoria de Serviço Geográfico

EP - Erro Padrão

GLONASS - *Global Orbiting Navigation Satellite System*

GNSS - *Global Navigation Satellite Systems*

GPS - *Global Positioning System*

GSD - *Ground Sample Distance*

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICOMOS - *Conseil International des Monuments et des Sites*

IPHAN - Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional

ISPRS - *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*

LACAP - Laboratório de Cartografia Aplicada

LAFOTO - Laboratório de Pesquisa em Fotogrametria

LASER - *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*

MDT - Modelo Digital de Terreno

MP - *Megapixel*

OE - Orientação Exterior

OI - Orientação Interior

PEC - Padrão de Exatidão Cartográfica

RBMC - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo

RN - Referência de Nível

RTK - *Real Time Kinematic*

SGB - Sistema Geodésico Brasileiro

TIN - *Triangular Irregular Network*

UAV - *Unmanned Aerial Vehicle*

UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UNESCO - *United Nation Educational, Scientific and Cultural Organization*

VANT - Veículo Aéreo Não Tripulado

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	17
1.2 OBJETIVOS	22
1.3 JUSTIFICATIVA	22
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	25
2.1 FOTOGRAMETRIA	25
2.1.1 Considerações Iniciais	25
2.1.2 Geometria das Fotografias	28
2.1.3 Estereoscopia	31
2.1.4 Sistemas de Referência	33
2.1.5 Orientações em Fotogrametria	36
2.1.6 Calibração de Câmaras	40
2.1.7 Modelo Digital de Terreno	42
2.1.8 Ortofoto	44
2.1.9 Fotografia arquitetural	46
2.2 VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO – VANT	47
2.3 POSICIONAMENTO GEODÉSICO POR SATÉLITES ARTIFICIAIS	48
2.3.1 Sistema Global de Navegação por Satélites	48
2.3.2 Sistema Geodésico Brasileiro	50
2.4 AJUSTAMENTO DE OBSERVAÇÕES PELO MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS	52
2.5 CONTROLE DE QUALIDADE	53
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E DESENVOLVIMENTO	55
3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	55
3.2 MATERIAIS	58
3.3 ÁREA DE ESTUDO	59
3.4 LEVANTAMENTO GEODÉSICO	61
3.4.1 Rede Geodésica Local	62
3.4.1.1 Planejamento e implantação	62
3.4.1.2 Processamento dos dados	65
3.4.2 Pontos de apoio do levantamento fotogramétrico aéreo	65
3.4.3 Pontos de apoio do levantamento fotogramétrico terrestre	68

3.4.4	Pontos de checagem para o controle de qualidade do aerolevamento	71
3.4.5	Campo de calibração de câmaras	72
3.5	LEVANTAMENTO FOTOGRAFÉTRICO AÉREO	77
3.5.1	Materiais	77
3.5.2	Planejamento	78
3.5.3	Execução	80
3.5.4	Processamento dos dados	80
3.5.5	Aerotriangulação	82
3.5.6	Restituição	83
3.5.7	Modelo digital de terreno	85
3.5.8	Ortofoto	87
3.6	LEVANTAMENTO FOTOGRAFÉTRICO TERRESTRE	88
3.6.1	Materiais	88
3.6.2	Planejamento	88
3.6.3	Execução	89
3.7	CALIBRAÇÃO DA CÂMARA TERRESTRE	90
3.8	CONTROLE DE QUALIDADE	92
3.9	CRONOGRAMAS FÍSICO E FINANCEIRO	95
3.10	CRONOGRAMA FÍSICO	95
3.11	CRONOGRAMA FINANCEIRO	97
4	RESULTADOS E ANÁLISES	99
4.1	LEVANTAMENTO GEODÉSICO	99
4.1.1	Rede Geodésica Local	99
4.1.2	Pontos de apoio do levantamento fotogramétrico aéreo	100
4.1.3	Pontos de apoio do levantamento fotogramétrico terrestre	103
4.1.4	Pontos de checagem para o controle de qualidade do aerolevamento	106
4.1.5	Campo de calibração de câmaras	108
4.2	LEVANTAMENTO FOTOGRAFÉTRICO AÉREO	110
4.2.1	Aerotriangulação	110
4.2.2	Restituição	112
4.2.3	Ortofoto	113
4.3	LEVANTAMENTO FOTOGRAFÉTRICO TERRESTRE	113
4.4	CALIBRAÇÃO DA CÂMARA TERRESTRE	117
4.5	CONTROLE DE QUALIDADE	119

4.5.1	Controle de qualidade da aerotriangulação _____	119
4.5.2	Controle de qualidade da restituição _____	124
5	CONCLUSÕES _____	128
5.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS _____	128
5.2	RECOMENDAÇÕES _____	131
	REFERÊNCIAS _____	133

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Um dos principais temas abordados na atualidade é o modelamento tridimensional (3D) de objetos, cujo interesse se deve às diversas aplicações em que esses modelos podem ser utilizados nas atividades humanas, visando à reprodução física, numérica ou para processos de inspeção. De acordo com Reiss (2007), um modelo 3D trata-se de “toda representação de um objeto no espaço tridimensional”, cuja modelagem geométrica descreve a forma e as dimensões de um objeto, bem como pode ser utilizada em simulações de processos dinâmicos. O interesse nas descrições analíticas e/ou matemáticas obtidas a partir da modelagem geométrica reside na praticidade e facilidade de sua utilização em substituição a medições e testes executados nos objetos reais.

A Fotogrametria compreende a arte, a ciência e a tecnologia amplamente utilizada em atividades cuja finalidade é a extração de medidas de objetos através de fotografias. Em atividades de mapeamento, bastante recorrentes nas Ciências Geodésicas, são obtidas fotografias aéreas e, após uma série de processamentos fotogramétricos, são gerados produtos através dos quais é possível realizar medições em modelos digitais tridimensionais. Nesses casos, o elemento sensor presente na câmara está localizado a uma longa distância do objeto fotografado. Entretanto os mesmos princípios também são aplicados a curtas distâncias entre sensor e objeto, tornando possível a tomada de fotografias de objetos ou edificações para fins de obtenção de medidas e de representação em um modelo tridimensional.

Para que seja possível obter coordenadas e realizar medidas em modelos 3D gerados através da Fotogrametria, é imprescindível a execução de duas etapas de orientação das fotografias adquiridas, sendo a primeira etapa a orientação interior (OI) e a segunda a orientação exterior (OE). A orientação interior é responsável por reconstruir a geometria interna da câmara no momento da aquisição da fotografia. A orientação exterior possibilita a determinação da posição e da rotação da câmara com relação ao referencial do objeto.

Para a realização da orientação exterior é necessária a determinação de pontos de apoio no espaço-objeto cujas coordenadas devem ser adquiridas por alguma técnica de medição. Como exemplo de técnicas de medição de pontos de apoio que podem ser empregadas têm-se os levantamentos geodésicos por meio da utilização de equipamentos de topografia e receptores de navegação por satélites artificiais. O uso do posicionamento geodésico para a medição dos pontos de apoio da Fotogrametria tem a finalidade de permitir que esses pontos e, por conseguinte, todo o levantamento fotogramétrico esteja orientado em relação a um referencial comum e global. A adoção de um referencial geodésico único para a área do levantamento permite ainda que levantamentos futuros possam ser executados e comparados.

Como exemplos da utilização da Fotogrametria para geração de modelos 3D são citados os seguintes (REISS, 2007):

- Restituição de fachadas de edificações com a finalidade de controle de deformações;
- Restituição de monumentos históricos e sítios arqueológicos com finalidades de documentação, preservação e restauração;
- Modelagem digital de peças industriais para controle de qualidade;
- Mapeamento digital de rodovias e arruamentos através de sistemas transportados por veículos automotores;
- Restituição de superfícies anatômicas, principalmente na área biomédica;
- Reconstrução de objetos e elementos anatômicos com aplicações cinematográficas.

Considerando a arqueologia e as atividades de preservação de monumentos históricos, a utilização de modelos 3D em meio digital de seus objetos de estudo apresenta uma série de vantagens, dentre as quais são destacadas as seguintes: detalhamento com qualidade posicional e de precisão conhecidas do material pesquisado, facilitando sua identificação, classificação e reconstrução; acesso simultâneo de pesquisadores ao mesmo material e em centros de pesquisa diferentes; e ausência de manuseio direto dos objetos de estudo, evitando a sua degradação. Uma das grandes vantagens do uso da Fotogrametria em arqueologia é a possibilidade de se obter todas as medidas de interesse dos artefatos e

edificações de forma indireta, ou seja, sem a necessidade de contato físico com os objetos (REISS, 2007).

O patrimônio histórico de uma sociedade constitui-se do legado das gerações passadas. A preservação de acervos e monumentos históricos desse patrimônio contribui para a compreensão da identidade cultural da sociedade que o produziu. Pode-se pensar a atividade de preservação como um processo necessário a dois grandes propósitos. O primeiro, de acordo com Lynch (1975 apud YANAGA, 2006, p. 24), refere-se a tornar acessível para o público os conhecimentos históricos com a finalidade de educá-lo e entretê-lo, não somente através de uma comunicação escrita ou por imagens documentais, mas principalmente através dos artefatos reais, que possibilitam “uma impressão bem mais profunda sobre a história”. O segundo propósito refere-se à viabilidade do turismo, uma grande fonte de recursos econômicos. Conforme Yanaga (2006, p. 25), muitas cidades enriquecem com o turismo, sendo o continente europeu uma referência nesse sentido, “onde a arquitetura histórica é o seu principal atrativo, e é por isso que toda e qualquer edificação identificada como ‘patrimônio’ é respeitada e preservada”.

O Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) exerce a função de proteger, preservar e documentar o patrimônio histórico brasileiro. A importância da documentação do patrimônio histórico arquitetônico é enfatizada por entidades como o Conselho Internacional de Monumentos e Sítios (ICOMOS, na sigla em inglês), principalmente no que concerne a uma documentação com qualidade posicional conhecida (PIRES JUNIOR, 2001). Outra referência enfatizando a documentação patrimonial encontra-se na Carta de Veneza, artigo 16º, pela qual os trabalhos envolvendo conservação, restauração e escavação devem ser “sempre acompanhados pela elaboração de uma documentação precisa sob a forma de relatórios analíticos e críticos, ilustrados com desenhos e fotografias” (CONGRESSO, 1964, p. 4).

Nesse sentido, a documentação do patrimônio histórico arquitetônico proporciona desde atividades de conservação até aquelas que visam à produção de material de divulgação para o conhecimento do público em geral. Sendo assim, concordando com as necessidades apontadas por D’ayala e Smars (2003, p. 18) referentes à produção de documentação do patrimônio histórico arquitetônico, salientam-se as seguintes atividades:

- Conservação, englobando uma análise da situação para projetos de intervenção;
- Monitoramento, com aquisição de dados e reconhecimento da situação;
- Avaliação de condições;
- Criação de portfólio;
- Publicações;
- Projetos de pesquisa.

As práticas de restauração e de reparo comuns no Brasil envolvem levantamento de dados da geometria do patrimônio arquitetônico e são realizadas principalmente por profissionais especialistas da Arquitetura. Conforme Oliveira (2008, p. 30), o levantamento geométrico é obtido por medições utilizando trenas, miras, níveis, teodolitos, etc. A representação dos dados medidos pode ser feita através de desenhos à mão (croquis) e em ambiente computacional. A tomada dessas medidas muitas vezes requer equipamentos que possibilitem se chegar a partes elevadas das edificações ou a outras de difícil acesso. Isso provoca um desgaste da equipe envolvida, além de suscitar situações arriscadas tanto para o profissional como para a integridade das estruturas.

As atividades que visam à conservação do patrimônio arquitetônico podem ser realizadas com a utilização de técnicas amplamente difundidas na Engenharia Cartográfica, englobando a Geodésia, a Fotogrametria (aérea ou terrestre) e a Cartografia. A Geodésia compreende técnicas como o posicionamento por satélites e a Topografia, ambas resultando na determinação de coordenadas de pontos de interesse com diferentes precisões associadas. A Fotogrametria Aérea proporciona o mapeamento planialtimétrico de áreas de estudo. A Fotogrametria Terrestre possibilita a obtenção de modelos digitais tridimensionais de objetos ou edificações através de medições indiretas, ou seja, quando não há contato com o que está sendo medido, ou o contato é mínimo. Com a Cartografia o mapeamento realizado pode ser representado de maneira que as informações transmitidas ao usuário desse produto sejam de fácil compreensão e inequívocas.

O modelo tridimensional digital desses objetos e edificações, bem como o mapa planialtimétrico podem ser obtidos a partir de diferentes métodos. Poderia ser empregada somente a Topografia, que se utiliza de técnicas tradicionais de

medições de ângulos e comprimentos através de trenas, teodolitos e estações totais, o que tornaria o tempo de aquisição de dados muito longo em relação a técnicas como a Fotogrametria e as mais atuais como as que utilizam estações totais robotizadas com câmaras fotográficas integradas e os sistemas de varredura a LASER. Estas últimas podem ser empregadas quando se busca a extração de medidas sem a necessidade de contato físico com o objeto, com grande quantidade de informações obtidas (geometria, forma e cor) e a rápida aquisição de dados. Estas questões são levadas em consideração uma vez que influenciam diretamente no custo de execução de um levantamento. Entretanto, conforme Oliveira (2008, p. 84), as técnicas atuais não dispensam o uso de equipamentos e métodos tradicionais de levantamentos, através dos quais são determinadas as posições de pontos de apoio e, no caso da Fotogrametria, as orientações das fotografias.

Foram utilizadas neste trabalho técnicas de Fotogrametria, em conformidade com as práticas internacionalmente difundidas, gerando produtos cartográficos direcionados à documentação do patrimônio histórico arquitetônico. A Carta de Veneza estabelece que "*a conservação e restauração dos monumentos constituem uma disciplina que reclama a colaboração de todas as ciências e técnicas que possam contribuir para o estudo e a salvaguarda do patrimônio monumental*" (CONGRESSO, 1964, p. 2). Nesse sentido, o Estatuto do Comitê Internacional de Fotogrametria Arquitetural (CIPA, na sigla em francês) prevê a utilização de práticas fotogramétricas, entre outras, para fins de documentação do patrimônio histórico. O CIPA é um dos comitês internacionais pertencentes ao ICOMOS, tendo sido estabelecido em colaboração com a Sociedade Internacional de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto (ISRPS, na sigla em inglês) (CIPA, 2004). O ICOMOS é uma organização civil internacional ligada à Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO, na sigla em inglês).

Considerando o exposto, para a realização deste projeto foram empregadas técnicas de Geodésia, Fotogrametria e Cartografia na geração de produtos que auxiliam a documentação do patrimônio histórico arquitetônico. A execução do projeto exigiu três etapas básicas de levantamentos para a aquisição de dados. As etapas são apresentadas resumidamente a seguir:

1. Levantamento geodésico: através da implantação de uma rede geodésica local, os produtos cartográficos gerados foram associados ao sistema geodésico brasileiro.
2. Levantamento fotogramétrico aéreo: com o uso de um veículo aéreo não tripulado (VANT) foi realizado o mapeamento planialtimétrico da área de estudo, obtendo-se a topografia do terreno juntamente com a identificação de feições.
3. Levantamento fotogramétrico terrestre: as fotografias terrestres foram utilizadas para obtenção do modelo digital tridimensional texturizado das ruínas da igreja.

1.2 OBJETIVOS

O presente trabalho teve como objetivo geral a execução de levantamentos fotogramétrico aéreo e terrestre com apoio geodésico para a geração de um modelo digital tridimensional das ruínas do Sítio Arqueológico São Miguel Arcanjo no município de São Miguel das Missões, no estado do Rio Grande do Sul.

Os objetivos específicos compreenderam os seguintes itens:

- Implantação da rede geodésica local na região do levantamento;
- Produção de mapa planialtimétrico;
- Geração do modelo digital tridimensional das ruínas;
- Geração do modelo digital do terreno no entorno das ruínas;
- Geração de fotografias ortorretificadas.

1.3 JUSTIFICATIVA

O uso da Fotogrametria para a documentação do patrimônio histórico e cultural pode ser exemplificado considerando os trabalhos executados nos castelos do deserto da Jordânia (AL-KHEDER et al, 2008), nos sítios arqueológicos maias de Chichén Itzá e Uxmal, no México (DESMOND, 1989), e no Coliseu, na Itália, (PAOLUZZI et al, 1988). No Brasil, o primeiro levantamento fotogramétrico terrestre

ocorreu em 1977 na Casa da Torre de Garcia d'Ávila (OLIVEIRA, 2008) e em 1980 ocorreu o levantamento das ruínas de São Miguel das Missões (LEAL, 1984). Entretanto, foram poucos os levantamentos fotogramétricos feitos desde então. De acordo com Oliveira (2008, p. 89), a aplicação da Fotogrametria terrestre na documentação do patrimônio deveria ser uma necessidade no Brasil, além de ser incentivada e promovida pelas instituições responsáveis “com o treinamento dos seus técnicos, como também por meio da exigência de cadastros confiáveis para os projetos submetidos à apreciação institucional”.

O Sítio Arqueológico de São Miguel Arcanjo remonta ao passado histórico referente às missões jesuíticas em terras brasileiras, antes parte integrante da América Espanhola. As ruínas da igreja em São Miguel das Missões já passaram por várias intervenções desde 1925. Mais recentemente, em 1980, iniciaram-se várias etapas para constatação da situação e tomadas de decisão referentes à necessidade de novas intervenções. As etapas incluíram levantamento gráfico por desenhos, levantamento fotográfico, levantamento fotogramétrico, entre outras (LEAL, 1984). As medidas recomendadas para a preservação, restauração e consolidação do monumento foram baseadas nos resultados apontados por esses levantamentos, demonstrando a importância dessas atividades.

No presente trabalho, os levantamentos executados para a aquisição de dados e geração de produtos cartográficos que fornecem as informações geométricas das estruturas mapeadas poderiam ser empregados para atualizar ou substituir a documentação existente. Portanto, os produtos gerados possibilitam o conhecimento da situação atual do objeto de estudo e servem como ferramentas de suporte a novas medidas de preservação, restauração e consolidação.

Para as atividades de documentação existem vários métodos (similares e muitas vezes complementares) que podem ser empregados, como medição de desenhos, tomada de fotografias, utilização de informações textuais, descrições arquitetônicas e relatórios técnicos. Atualmente podem-se incluir métodos que produzem modelos digitais tridimensionais dos objetos ou construções (D'AYALA; SMARS, 2003, p. 19). O emprego da Fotogrametria neste trabalho para a geração de modelos tridimensionais e para a execução de mapeamento planialtimétrico está embasada nas vantagens apresentadas por Tommaselli (2012, p. 11-12), podendo-se citar as seguintes:

- Medição indireta, propícia em lugares de difícil acesso ou que não ofereçam segurança;
- Reduzido tempo de aquisição de dados;
- Precisão confiável e homogênea, podendo ser aumentada conforme necessidades específicas de cada projeto;
- Medição de movimentos, bem como monitoramento periódico de deformações;
- Grande quantidade de informações geométricas e semânticas, ou seja, relativas a dimensões, formas e cores.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 FOTOGRAMETRIA

2.1.1 Considerações Iniciais

A Fotogrametria, segundo a *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (ISPRS), é definida como sendo a arte, ciência e tecnologia de obtenção de informações confiáveis sobre a superfície da Terra e outros objetos físicos através de medições, análises e representações feitas a partir de fotografias. Sua evolução se deu ao longo dos anos, principalmente devido ao avanço tecnológico, passando da Fotogrametria Analógica para a Analítica e modernamente para a Digital. A Fotogrametria Analógica surgiu na década de 1960, época em que foram inventados os estereoscópios, sendo esta responsável por grande parte dos mapeamentos topográficos existentes no mundo (a exemplo do mapeamento realizado pelo IBGE e pela DSG no Brasil). A Fotogrametria Analítica desenvolveu-se com a utilização dos computadores, através dos quais se aumentou a velocidade das etapas de ajustamento de observações. Os chamados equipamentos restituidores permitiam determinar as coordenadas terrestres de qualquer ponto através de processos analíticos, através das “Equações de Colinearidade” e “Equações de Coplanaridade”, ao invés de ser uma solução mecânica, como na fase analógica (TOMMASELLI, 2012).

Com esses restituidores foi possível introduzir nos modelos matemáticos os elementos de distorção de uma câmara fotogramétrica. Também foram introduzidas funções matemáticas que expressam o deslocamento sofrido por um ponto devido à projeção em perspectiva das fotografias, à refração atmosférica e à curvatura terrestre.

A Fotogrametria Digital utiliza-se de fotografias ou imagens digitais. A obtenção dessas fotografias digitais pode ser feita através a partir da digitalização de filmes analógicos, ou diretamente a partir de câmaras digitais. Os equipamentos restituidores empregados modernamente constituem as estações fotogramétricas digitais, conforme Figura 2-1, compostas por (a) monitores 3D, (b) sincronizadores

da placa de vídeo com os óculos, (c) óculos para visualização tridimensional, (d) mouse topográfico e (e) unidade computacional com placa de vídeo tridimensional.



Figura 2-1 – Estação Fotogramétrica Digital

As câmaras usadas em Fotogrametria são classificadas em métricas e não métricas, podendo ser analógicas, quando utilizam filmes fotográficos, ou digitais, cujo sensor é formado por uma linha (sensor linear) ou uma matriz de *pixels* (sensor de quadro). O sensor é geralmente constituído por um circuito integrado com elementos (*pixels*) sensíveis à luz. O circuito integrado pode ser de dois tipos: CCD (*Charge-Coupled Device*) ou CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*). A característica geométrica é a principal diferença entre as câmaras métricas e não métricas. Segundo Tommaselli (2004, p. 84), as câmaras métricas possuem sistema de lentes de alta qualidade geométrica, dispositivo de “planura” do filme (câmaras analógicas) e marcas fiduciais (câmaras analógicas). As marcas fiduciais possuem

coordenadas conhecidas (no sistema de coordenadas fiducial) e permitem a recuperação do ponto principal. A determinação do ponto principal juntamente com outros parâmetros é fundamental para a realização do processo fotogramétrico (WOLF, 1983, p. 479).

As câmaras não métricas são de uso doméstico ou são utilizadas por profissionais da fotografia. Caracterizam-se por não possuírem “exatidão geométrica, nem dispositivos que garantam a obtenção de uma imagem geometricamente fidedigna” (Tommaselli, 2004, p. 85). Estas só podem ser empregadas em Fotogrametria depois de submetidas a certos procedimentos, como a utilização de muitos pontos de apoio por fotografia e a calibração para verificação da estabilidade ou não de seus componentes.

Segundo Jensen (2009), em se tratando de aerolevanteamento, as câmaras métricas analógicas utilizadas em mapeamento possuem alta qualidade geométrica e radiométrica, e são constituídas basicamente pelo corpo da câmara, por uma objetiva com o sistema de lentes, pelo obturador e por motores que movimentam o filme fotográfico. Diversos tipos de objetivas podem ser utilizados, dependendo da finalidade do mapeamento. Com diferentes objetivas, são obtidos diferentes campos de visada angular. Para campos de visada angular menores que 60° , a objetiva é denominada teleobjetiva, entre 60° e 75° , denomina-se objetiva normal, entre 75° e 100° , tem-se a grande angular, e para valores superiores a 100° , tem-se a super-grande angular.

Ainda conforme Jensen (2009), as câmaras digitais se diferenciam das analógicas principalmente pelo sensor uni ou bidimensional, CCD ou CMOS, no lugar do filme. São classificadas de acordo com o tamanho do sensor em câmaras digitais de pequeno, médio e grande formato. As câmaras de pequeno formato possuem até 15 *megapixels* (MP), sendo este valor calculado pelo produto entre a quantidade de *pixels* por linha e por coluna que compõem o sensor. Por exemplo, uma câmara de 4000×3000 *pixels* possui 12 MP, sendo considerada de pequeno formato. Nas câmaras digitais, no momento da tomada de fotografias, três imagens são capturadas no mesmo instante em três bandas diferentes do espectro eletromagnético correspondentes aos comprimentos de onda do vermelho, do verde e do azul. As imagens podem então ser compostas em uma única imagem,

considerando a teoria aditiva de cores, resultando em uma imagem denominada colorido-normal.

As câmaras de pequeno formato estão sendo bastante empregadas atualmente em veículos aéreos não tripulados (VANT), como o Swinglet CAM (SENSEFLY, 2013), equipado com câmara digital de pequeno formato não-métrica com sensor de 12 MP e resolução espacial de até 3 cm. A *Leica Geosystems Emerge Digital Sensor System* (DSS) é um exemplo de câmara digital métrica de pequeno formato, com sensor de quadro de 4092x4079 *pixels*, com tamanho de 9 micrômetros, com resolução espacial podendo variar normalmente entre 0,15 a 3 m. As fotografias obtidas com esta câmara são classificadas como de alta resolução (JENSEN, 2009, p. 246).

As câmaras digitais de médio formato normalmente possuem sensor matricial de quadro com mais de 15 MP, e apresentam desempenho inferior às câmaras analógicas de grande formato (JENSEN, 2009, p. 104). Porém, as câmaras digitais de grande formato apresentam desempenho superior às analógicas, como é o caso da *Leica Geosystems Airbone Digital Sensor 40* (ADS-40), cujo sensor é composto por matrizes lineares múltiplas, e das câmaras *Z/I Imaging Digital Modular Camera* (DMC) e *Vexcel*, com sensores formados por múltiplas matrizes bidimensionais.

2.1.2 Geometria das Fotografias

As fotografias em Fotogrametria podem ser aéreas e terrestres, dependendo da plataforma em que se encontram. Para as fotografias terrestres, geralmente são utilizados tripés que minimizam o movimento da câmara no momento da aquisição das fotos, evitando o efeito denominado arrastamento, que causa perda de definição da cena fotografada. Para as fotografias aéreas, é comum a classificação entre verticais e oblíquas (WOLF, 1983, p. 4).

As fotografias verticais são tomadas com o eixo da câmara na posição mais vertical possível. Devido a movimentos da aeronave, as fotografias não são verdadeiramente verticais. Quando ocorre o deslocamento não intencional do eixo da câmara, de forma a ocasionar desvios entre 1° e 3°, os procedimentos adotados

para triangular fotografias verticais podem ser aplicados a essas fotos com deslocamento (fotografias quase verticais) sem perda significativa de qualidade. Quando o deslocamento do eixo da câmara é intencional, as fotografias são ditas oblíquas, podendo ser denominadas alto-oblíquas, quando o horizonte está presente na fotografia, ou baixo-oblíquas, quando o horizonte não está (WOLF, 1983, p. 4). Conforme Tommaselli (2004, p. 96), as fotografias oblíquas ainda incluem as convergentes. Uma fotografia convergente é composta por uma par de fotos baixo-oblíquas, onde o eixo óptico de uma câmara converge em direção ao eixo da outra câmara, havendo recobrimento aproximadamente igual pelas duas fotografias. Os tipos de fotografias descritos são mostrados na Figura 2-2.

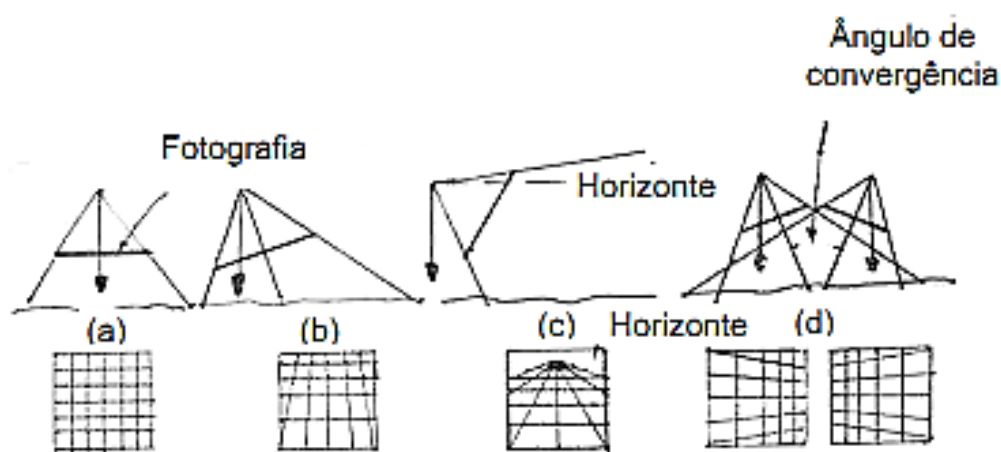


Figura 2-2 – Geometria das fotografias: (a) vertical; (b) baixo-oblíqua; (c) alto-oblíqua; e (d) par convergente. Fonte: Tommaselli, 2004.

A relação geométrica existente considerando uma fotografia vertical aérea e o terreno a ser mapeado (Figura 2-3) serve de base para se extrair as relações matemáticas utilizadas em Fotogrametria. Na Figura 2-3 estão representados a estação de exposição através do centro perspectivo do sistema de lentes (CP), o eixo óptico do sistema de lentes, os planos negativo e positivo (ou diapositivo) da fotografia, a distância focal (distância $o'CP$) e os eixos x e y do sistema de referência do espaço imagem (seção 2.1.4). Observa-se que os pontos A , B , C e D do terreno são representados de forma inversa no negativo (posições a' , b' , c' e d') em relação a estes mesmos pontos representados no plano positivo (posições a , b , c e d).

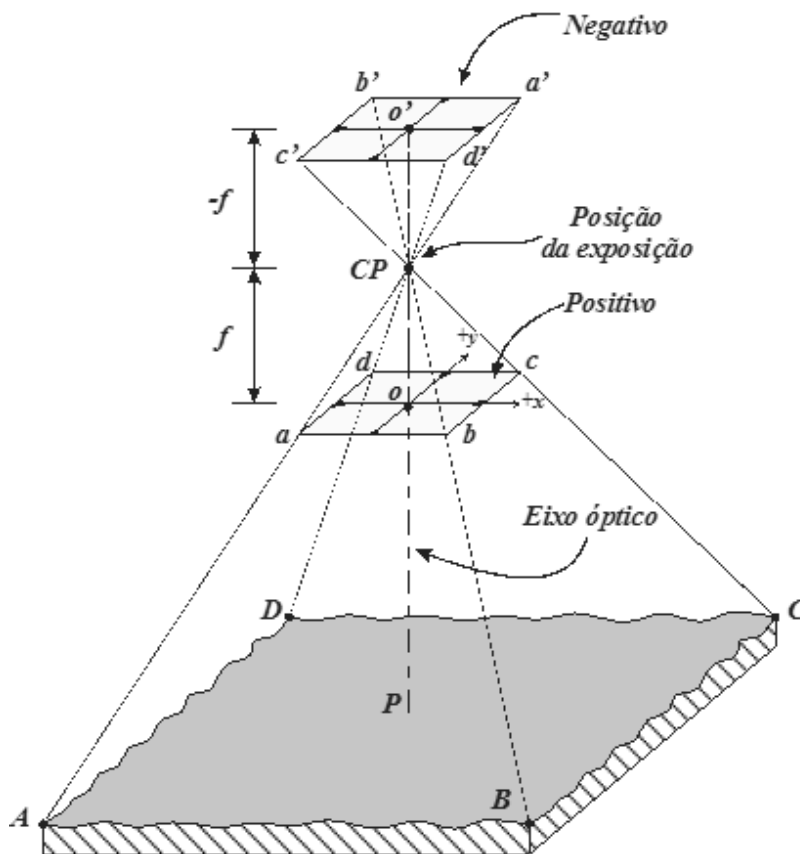


Figura 2-3 - Geometria de uma fotografia vertical. Fonte: Reiss, 2010, adaptado de Wolf, 1983.

Conforme Wolf (1983, pg. 121) a relação matemática de escala pode ser obtida relacionando uma distância medida na fotografia com sua correspondente no terreno. Geralmente as medidas nas fotografias são realizadas sobre os planos positivos. Com base na Figura 2-4, que é uma representação bidimensional da Figura 2-3 sem o plano negativo, observa-se que a escala para terrenos considerados planos é a razão entre a distância ab medida na foto e a correspondente distância AB medida no terreno. Por semelhança dos triângulos $CPab$ e $CPAB$, a escala (S) pode ser representada em termos da distância focal (f) e a da altura de voo (H'), conforme equação (1).

$$S = \frac{ab}{AB} = \frac{f}{H'} \quad (1)$$

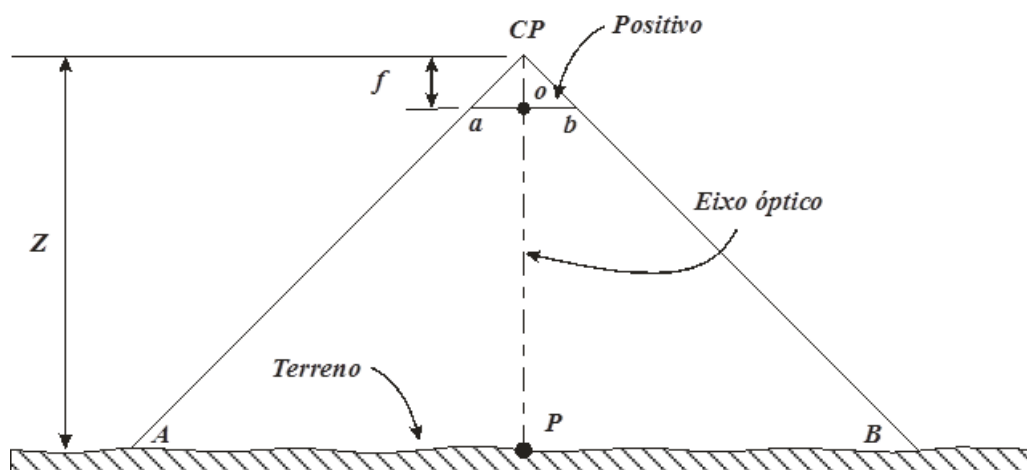


Figura 2-4 - Geometria da fotografia: terreno plano. Fonte: Reiss, 2010, adaptado de Wolf, 1983.

2.1.3 Estereoscopia

A visão estereoscópica é a capacidade do sistema visual humano em perceber profundidade a partir das imagens formadas em cada olho (MIKHAIL et al, 2001, p. 27). Os trabalhos em Fotogrametria exigem uma visão tridimensional da cena a ser mapeada, principalmente na identificação e medição de pontos para a etapa de aerotriangulação (ou fototriangulação), e na etapa de extração de feições, também denominada de restituição.

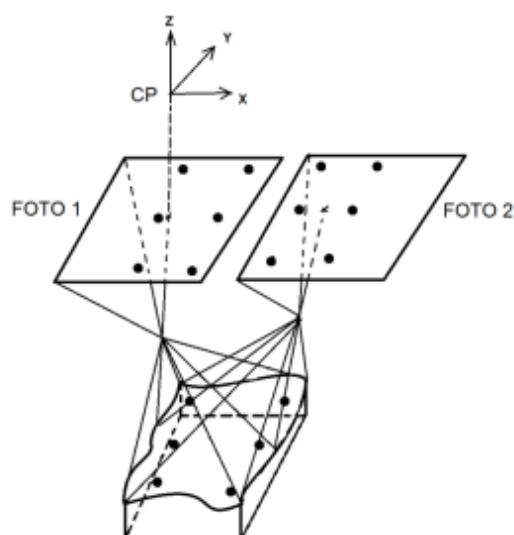


Figura 2-5 – Formação da visão estereoscópica. Fonte: adaptado de Lugnani, 1987.

São exigidas ao menos duas imagens tomadas de posições diferentes e com área de sobreposição para tornar possível a visão estereoscópica, necessária

para as etapas citadas acima. As duas imagens formam o que se denomina de estereopar. A Figura 2-5 ilustra a visão estereoscópica proporcionada pela observação de duas fotografias com sobreposição, onde CP refere-se ao centro perspectivo, ou seja, o ponto de vista de uma fotografia.

As sobreposições podem ser de dois tipos, lateral e longitudinal, como pode ser observado na Figura 2-6, que representa duas faixas de fotografias aéreas. O conjunto de faixas forma um bloco de fotografias. A sobreposição lateral acontece entre as faixas do bloco, e seu valor na maioria dos casos é de aproximadamente 30%. A sobreposição longitudinal ocorre entre uma fotografia e sua subsequente, sendo normalmente superior a 60%.

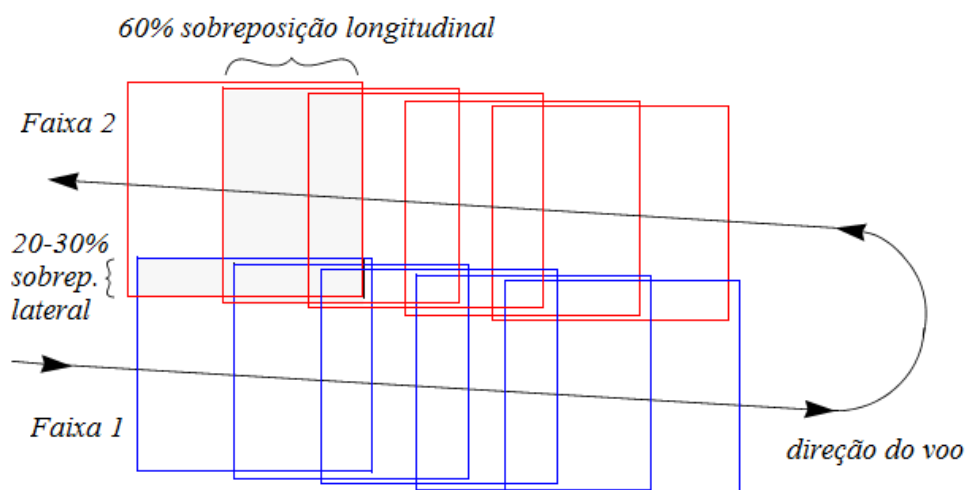


Figura 2-6 - Sobreposições lateral e longitudinal. Fonte: adaptado de ERDAS, 2010.

Conforme Mikhail et al (2001, p. 30), a estereoscopia formada pelas fotografias pode ser obtida por várias técnicas, sendo as mais comuns as apresentadas abaixo:

- Anaglifo: óculos com lentes de cores azul e vermelho para cada olho, podendo ser visualizadas fotografias projetadas em tela de computador ou em cópias impressas.
- Luz polarizada: óculos com lentes polarizadas em planos ortogonais em que cada olho recebe imagens iluminadas com filtros correspondentes.

- Tela de vídeo polarizada: conceito similar à luz polarizada, entretanto neste caso as imagens são apresentadas alternadamente em um monitor de vídeo com filtro que sincroniza a mudança entre a imagem da esquerda e a da direita e a polarização dos óculos do observador.

2.1.4 Sistemas de Referência

A Fotogrametria estabelece as relações entre a câmara ou o sensor, as fotografias e o terreno ou objeto fotografado. Para que essas relações sejam definidas, são adotados os sistemas de coordenadas correspondentes ao espaço imagem e ao espaço objeto. O espaço imagem compreende os sistemas fiducial e fotogramétrico. Já o espaço objeto pode ser representado por um sistema referencial tridimensional de coordenadas.

Segundo Lugnani (1987, p. 117), o espaço imagem corresponde ao espaço que envolve “o nodo posterior do sistema de lentes e o plano do negativo ou o espaço correspondente a este para o caso do diapositivo”, enquanto o espaço objeto está definido entre o “nodo anterior e todos os pontos do espaço fotografado”.

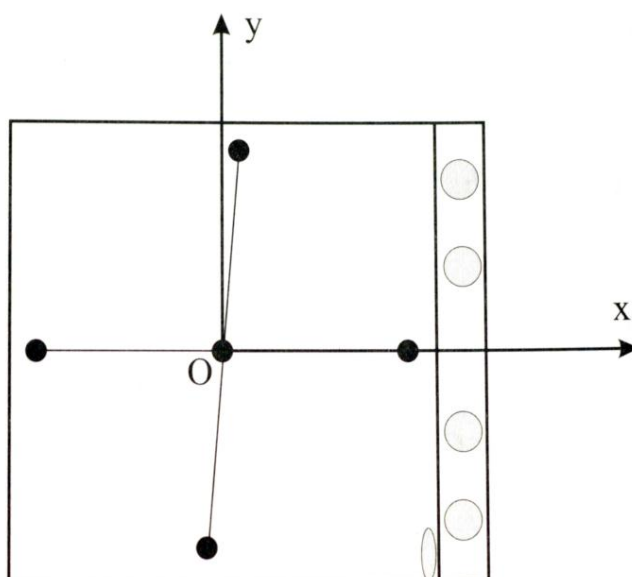


Figura 2-7 - Eixos do sistema fiducial. Fonte: Andrade, 1998, p. 80.

De acordo com Andrade (1998, p. 79), as marcas fiduciais são gravadas nas fotografias no momento da exposição, materializando o sistema fiducial para o caso de câmaras analógicas. Este sistema, conforme a Figura 2-7, situado no plano do diapositivo, pode ser definido da seguinte maneira:

- origem O definido pela intersecção de retas passantes por marcas fiduciais opostas;
- eixo Ox coincide com as marcas fiduciais alinhadas com a direção de voo, sendo positivo no sentido das imagens dos relógios que aparecem em cópias impressas de fotografias analógicas;
- eixo Oy perpendicular ao eixo Ox , formando um sistema dextrógiro de coordenadas.

Nas câmaras digitais, o sensor é formado por uma matriz de elementos sensores que originam uma fotografia digital formada por uma matriz de *pixels*. Esta matriz de *pixels* pode ser representada por um sistema arbitrário, denominado sistema de tela, cuja origem é o canto superior esquerdo da fotografia (HASEGAWA, 2004). Deve-se estabelecer uma relação entre o sistema fiducial, onde a unidade usual é o milímetro, e o sistema de coordenadas de tela, onde a unidade usual é o *pixel*. Utiliza-se o mesmo conceito de sistema fiducial para as imagens digitais ao se considerar rígido o sensor das câmaras digitais.

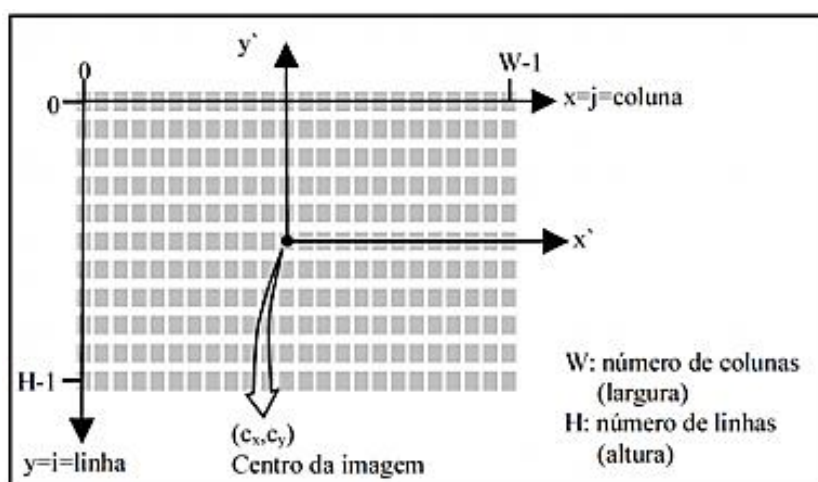


Figura 2-8 - Sistema de coordenadas de tela. Fonte: Hasegawa, 2004.

A transformação do sistema de tela para o sistema fiducial é obtida aplicando-se a Equação (2), escrita em formato matricial.

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_x & 0 \\ 0 & -S_y \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x - \frac{W-1}{2} \\ y - \frac{H-1}{2} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Onde x' e y' são as coordenadas no sistema fiducial, S_x e S_y são as dimensões do pixel e x e y são as coordenadas dadas em *pixel*.

O sistema fotogramétrico (Figura 2-9) é obtido pela introdução de uma componente no sistema fiducial que torna o sistema tridimensional, sendo definido como segue (ANDRADE, 1998, p. 81):

- origem coincidente com o centro perspectivo;
- eixos Ox e Oy paralelos aos eixos Ox e Oy do sistema fiducial, sendo orientado da mesma forma;
- eixo Oz perpendicular ao plano do negativo, formando juntamente com os eixo Ox e Oy um sistema dextrógiro de coordenadas.

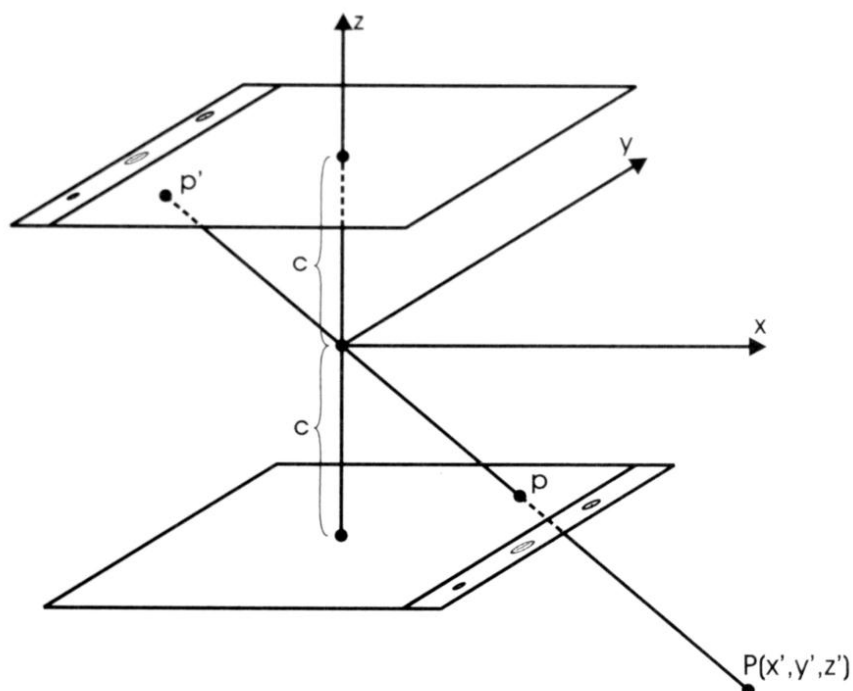


Figura 2-9 - Sistema fotogramétrico. Fonte: Andrade, 1998, p. 81.

2.1.5 Orientações em Fotogrametria

Para que seja possível realizar medições de objetos através da Fotogrametria, são necessários dois tipos de orientações para as fotografias utilizadas: a orientação interior (OI) e a orientação exterior (OE). De acordo com Andrade (1998, p. 162), a OI recupera a geometria interna da câmara no momento da aquisição da fotografia. Trata-se, portanto, da reconstrução dos feixes perspectivos internos à câmara no instante da tomada das fotografias. Nessa etapa, considerando uma câmara digital, as coordenadas em *pixel* da imagem são transformadas para o sistema fiducial do espaço-imagem através da transformação afim geral no plano. Em se tratando de câmaras analógicas, essa transformação é aplicada para corrigir a deformação do filme devido a fatores como a temperatura. Com a utilização de câmara digital os parâmetros dessa transformação já são conhecidos, pois o conjunto sensor é considerado rígido, e não possui deformações. Após a obtenção das coordenadas no sistema fiducial, essas coordenadas são transformadas para o sistema fotogramétrico por meio de translações em x, y e z. As translações em x e y correspondem ao deslocamento do ponto principal, e a translação em z é devida à definição da origem desse sistema no centro perspectivo do conjunto de lentes. Depois de realizada essa transformação, pode-se passar para a etapa de correção dos erros ou efeitos sistemáticos de formação da fotografia, através da correção das distorções das lentes. Na Fotogrametria Terrestre os efeitos de refração fotogramétrica e de curvatura terrestre são desconsiderados, uma vez que não são significativos devido à curta distância envolvida (REISS, 2002).

A orientação exterior determina as posições e as rotações da câmara, referenciadas ao sistema de coordenadas do espaço-objeto. Nesse processo, são determinados seis parâmetros para cada estação da câmara, ou seja, para cada foto: três translações do centro perspectivo CP (X_{CP} , Y_{CP} e Z_{CP}) e três rotações ou ângulos de Euler, representados pelas letras gregas ω (ômega), φ (phi) e κ (kappa). Esses elementos estão representados na Figura 2-10. A orientação exterior pode ser determinada indiretamente por meio de um conjunto de fotos (bloco ou modelo) ou pelo processo de resseção espacial onde cada foto é considerada isoladamente. A orientação exterior utiliza o modelo matemático de colinearidade,

que relaciona o ponto medido na imagem com o ponto que se encontra no espaço-objeto (REISS, 2007).

A relação entre o espaço-imagem e o espaço-objeto é feita através das equações de colinearidade. O centro perspectivo da câmara (O), um ponto no sistema fotogramétrico (p) e esse ponto no espaço-imagem (P) são ditos colineares, ou seja, há uma reta comum que liga esses três pontos, conforme Figura 2-10.

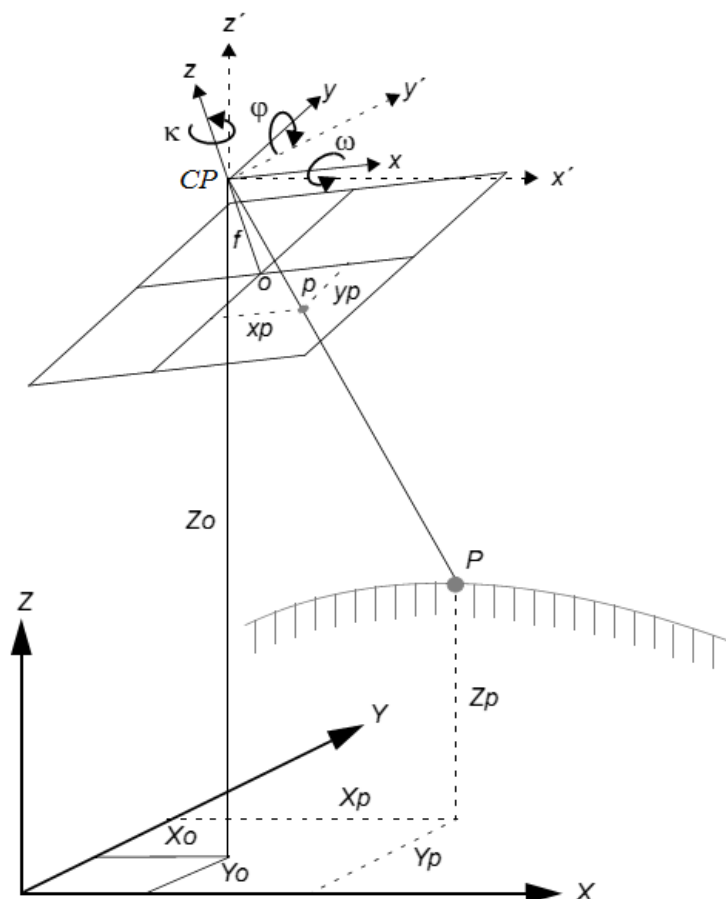


Figura 2-10 - Espaço-imagem e espaço-objeto, condição de colinearidade e elementos de orientação exterior. Fonte: adaptado de ERDAS, 2010.

As equações de colinearidade, bastante utilizadas em operações fotogramétricas, são apresentadas em (3) e (4). Cada ponto de uma fotografia pode ser representado por esse par de equações.

$$x_p = -f \left[\frac{m_{11}(X_P - X_{CP}) + m_{12}(Y_P - Y_{CP}) + m_{13}(Z_P - Z_{CP})}{m_{31}(X_P - X_{CP}) + m_{32}(Y_P - Y_{CP}) + m_{33}(Z_P - Z_{CP})} \right] \quad (3)$$

e

$$y_p = -f \left[\frac{m_{21}(X_P - X_{CP}) + m_{22}(Y_P - Y_{CP}) + m_{23}(Z_P - Z_{CP})}{m_{31}(X_P - X_{CP}) + m_{32}(Y_P - Y_{CP}) + m_{33}(Z_P - Z_{CP})} \right] \quad (4)$$

sendo:

f : distância focal da câmara;

x_p, y_p : coordenadas do ponto p medidas no sistema fotogramétrico (espaço-imagem), ou seja, são as fotocoordenadas;

X_P, Y_P, Z_P : coordenadas tridimensionais de terreno do ponto P medidas no espaço-objeto;

X_{CP}, Y_{CP}, Z_{CP} : coordenadas do centro perspectivo (O) medidas no espaço-objeto;

$m_{11}, m_{12}, m_{13}, m_{21}, m_{22}, m_{23}, m_{31}, m_{32}, m_{33}$: elementos da matriz de rotações formados pelos ângulos de Euler.

As operações básicas utilizadas em Fotogrametria são a resseção espacial e a interseção. A resseção determina a posição e a orientação de uma fotografia no espaço, enquanto a interseção calcula as coordenadas tridimensionais no espaço-objeto dos pontos existentes em duas ou mais fotografias. Essas operações são realizadas conjuntamente na etapa de fototriangulação pela qual as orientações das fotografias e as coordenadas dos pontos são determinadas ao mesmo tempo, embora a resseção seja raramente empregada, sendo mais utilizada para gerar aproximações iniciais necessárias às etapas de ajustamento (MIKHAIL et al., 2001).

Para o caso de levantamentos fotogramétrico aéreos, a fototriangulação também é denominada por aerotriangulação. Para que seja possível realizar a fototriangulação, são necessárias medições de pontos comuns nas fotografias, chamados pontos de ligação. De acordo com Andrade (1998, p. 105), a fototriangulação “tem como maior objetivo fornecer coordenadas precisas para os pontos necessários para a orientação absoluta de modelos fotogramétricos”. Sendo assim, esses pontos poderiam ser medidos em qualquer parte da fotografia, entretanto é prática comum e recomendada para melhorar a geometria de faixas e blocos de fotografias a medição nas regiões de Grüber, localizadas nas partes

mostradas na Figura 2-11. Estes pontos podem ser medidos manualmente ou de forma automática, utilizando operações matemáticas envolvidas na chamada correlação de imagens. Através da correlação de imagens são definidas regiões comuns em diferentes fotografias de uma mesma cena, buscando-se identificar o *pixel* correspondente de uma imagem em outra.

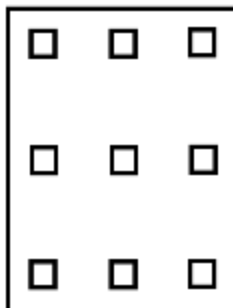


Figura 2-11 - Regiões de Grüber. Fonte: adaptado de Andrade, 1998.

Além da medição de pontos de ligação, a medição de pontos de apoio constitui outro fator fundamental para se garantir a robustez geométrica de faixas e blocos de fotografias. Suas coordenadas planimétricas e/ou altimétricas são conhecidas através de levantamento de campo, e devem ser medidos nas fotografias, de modo a orientar os produtos gerados a um referencial comum aos desses pontos de apoio. Recomendações para a distribuição dos pontos de apoio em um bloco de fotografias podem ser encontradas em Andrade (1998). Sabe-se que um levantamento fotogramétrico apoiado, ou seja, quando há utilização de receptores GNSS, que fornecem a posição da câmara, integrados ou não a sistemas inerciais, que fornecem os ângulos de orientação da estação, requer um número reduzido de pontos de apoio em relação a um levantamento não apoiado.

Após a medição de pontos de ligação e de apoio, a fototriangulação é processada e ajustada. O ajustamento em bloco por feixes de raios (*bundle block adjustment*) é um método bastante utilizado, pois permite a orientação exterior e a determinação de coordenadas de pontos de interesse a partir de várias fotografias de um bloco ao mesmo tempo de maneira bastante precisa (MIKHAIL et al., 2001). Duas equações de colinearidade são escritas para cada ponto contido nas fotografias (fotocoordenadas), sendo essas as equações de observação. Para cada

fotografia em que esse ponto aparece, duas equações são escritas. Portanto, caso um ponto medido no terreno (ponto de apoio) esteja presente em duas fotografias, são escritas quatro equações de colinearidade para este mesmo ponto.

Cada fotografia apresenta seis parâmetros de orientação exterior, que podem ter seus valores iniciais conhecidos para posteriormente serem ajustados. Cada ponto (de ligação ou de apoio) tem suas coordenadas tridimensionais calculadas e ajustadas. O processo de autocalibração (seção 2.1.6) considera as equações de colinearidade juntamente com a introdução dos parâmetros de orientação interior, que modelam os erros sistemáticos. O processo de ajustamento é realizado utilizando o método dos mínimos quadrados (seção 2.4).

2.1.6 Calibração de Câmaras

As aplicações em Fotogrametria compreendem o mapeamento utilizando-se tradicionalmente aeronaves tripuladas e mais recentemente veículos aéreos não tripulados (VANT) equipados com câmaras digitais para o mapeamento de áreas de reduzida extensão. Além da Fotogrametria Aérea, outra técnica bastante utilizada é a Fotogrametria Terrestre, principalmente para a geração de modelos tridimensionais de edificações ou objetos.

Em ambos os casos, seja em aplicações aéreas ou terrestres, para se garantir a qualidade geométrica e posicional das medidas feitas com base nas fotografias é fundamental a etapa de calibração de câmaras. Por serem desenvolvidas especificamente para atividades fotogramétricas, é esperado que as câmaras métricas sejam mais estáveis que as não métricas, ou seja, seus parâmetros tendem a sofrer menor variação ao longo do tempo em relação às câmaras comuns. A garantia da estabilidade das câmaras métricas pode ser comprovada através do certificado de calibração, que de acordo com a norma DIN 18740-4 de 2007, do Deutsches Institut für Normung (DIN), que trata de produtos aerofotogramétricos digitais, tem validade de dois anos para a calibração e de um

ano caso se faça a validação de uma calibração já existente (JUBANSKI; ALIXANDRINI; BÄHR, 2009).

A calibração de câmaras métricas é um processo geralmente realizado em laboratório, com equipamentos específicos, no intuito de proporcionar um cenário controlado para máxima qualidade na determinação dos parâmetros de orientação interior. Nesse caso, tem-se a chamada pré-calibração em laboratório, que é feita em um momento anterior à etapa de fototriangulação. Para citar, estão inclusos o método do Multicolimador e o método do Goniômetro.

Além da calibração em laboratório, também são utilizados métodos de calibração em campo, que incluem o método de campos mistos (com diferenças significativas de altura entre os pontos observados) e de câmaras convergentes (com diferentes posições e ângulos da estação convergindo para a área de interesse). Esses métodos de campo são importantes para se quebrar a correlação que existe entre os parâmetros inerentes à câmara e os de orientação exterior.

Conforme Lugnani, (1987, p. 06), dependendo dos recursos de calibração utilizados, a fototriangulação pode ser realizada com pré-calibração em campo de teste, quando esta é feita anteriormente à etapa de fototriangulação, ou com calibração de campo “*on-the-job*” fotovariante e bloco-variante. A calibração de campo “*on-the-job*” fotovariante ou também denominada autocalibração fotovariante ocorre concomitantemente à fototriangulação. A autocalibração fotovariante determina diferentes parâmetros para o sistema fotogramétrico considerando cada fotografia isoladamente. Esse método é mais utilizado em Fotogrametria a curta distância para câmaras não métricas consideradas instáveis. A autocalibração bloco-variante considera um conjunto de parâmetros para todo o bloco fotografado, admitindo-se a estabilidade da câmara durante a aquisição das fotografias desse bloco.

Vários podem ser os conjuntos de parâmetros a serem determinados no processo de calibração. Um conjunto comumente utilizado compreende os dez parâmetros seguintes: distância focal (f), deslocamento do ponto principal (x_0 , y_0), distorção radial simétrica (k_1 , k_2 , k_3), distorção radial descentrada (P_1 , P_2) e afinidade (A , B).

2.1.7 Modelo Digital de Terreno

Segundo Burrough (1998, p. 300) o modelo digital de terreno (MDT) é um modelo quantitativo em formato digital de uma porção da superfície terrestre. Esta definição pode se estender também para a modelagem da superfície de qualquer objeto. O modelo digital de terreno é necessário para a elaboração das chamadas ortofotos, que são fotografias em projeção ortogonal (seção 2.1.8). Outras aplicações do MDT incluem, por exemplo, projetos de estradas, com definição do traçado e cálculo de volumes de corte e aterro, e projetos de hidrologia, com cálculo de volumes e definição da direção da vazão da água da rede de drenagem de bacias hidrográficas.

A obtenção das altitudes da superfície do MDT pode se dar pelo processo denominado de interpolação, em que são calculadas as altitudes de locais sem informações altimétricas conhecidas com base nas altitudes medidas de uma amostra de pontos dentro de uma mesma área ou região.

A modelagem de uma superfície pode ser realizada de diversas maneiras, e a sua representação é definida por meio de modelos matemáticos ou por imagens formadas a partir de pontos ou de linhas com informações referentes à altimetria. A representação por linhas é feita através de isolinhas ou curvas de nível, ou seja, linhas que apresentam o mesmo valor de altitude. A representação por pontos pode ser feita utilizando-se grades regulares ou irregulares. Ressalta-se que os pontos amostrais com altimetria conhecida usados para essas representações regulares ou irregulares do MDT, podem ser coletados segundo algumas distribuições enumeradas por Andrade (1998, p. 203):

- Rede regular:
- Posições aleatórias;
- Feições que caracterizam de forma satisfatória o terreno, como fundos de vales, linhas de mudança de declive, cumes de elevações e pontos baixos de depressões.

A representação da superfície em grades regulares é formada por uma matriz de altitudes. enquanto a representação em grades irregulares pode ser obtida pela chamada rede irregular triangular (TIN - *Triangular Irregular Network*), conforme Figura 2-12. A representação utilizando uma grade regular é mais adequada em superfícies com variações suaves do relevo, enquanto a grade irregular é mais indicada em áreas com relevo mais acidentado (BURROUGH, 1998, p. 122).

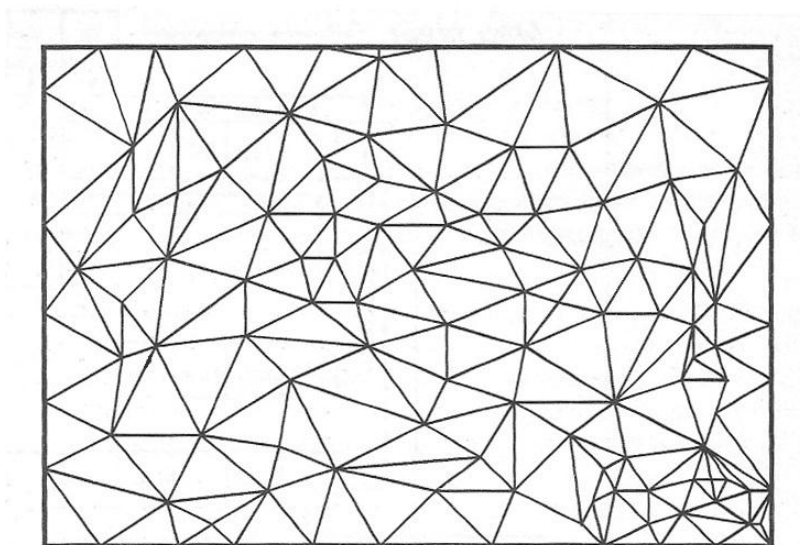


Figura 2-12 - Rede irregular triangular - TIN. Fonte: Burrough, 1998.

Para a geração do MDT a partir de um levantamento fotogramétrico aéreo, pode-se considerar uma distribuição em posições aleatórias para os pontos amostrais coletados com dados de altimetria provenientes da etapa de aerotriangulação. Como dito anteriormente, uma das formas utilizadas de representação da superfície a partir dessa grade irregular é através da estrutura vetorial de polígonos TIN, que é estabelecida pela união dos pontos conhecidos através de uma série de triângulos formados pelo método de triangulação de Delaunay. Esta forma de representação permite densificação e distribuição variadas dos pontos amostrais, ao contrário do que ocorre com a grade regular (BURROUGH, 1998, p. 64).

2.1.8 Ortofoto

A projeção de uma fotografia é dita ser em perspectiva uma vez que os raios de luz que definem um objeto no plano da imagem se cruzam em um ponto, o centro perspectivo. Considerando uma fotografia aérea, a projeção perspectiva ocasiona o efeito do deslocamento do relevo, em que pontos com mesma posição planimétrica, mas com diferente altimetria, são representados em posições diferentes. Conforme Oliveira (1993), a ortofoto é uma imagem gerada a partir de uma fotografia em perspectiva em que foram eliminados os deslocamentos devido à inclinação e ao relevo. Portanto, podem ocorrer variações em escala e na posição planimétrica dos pontos. É o caso, por exemplo, de um prédio em uma fotografia aérea, em que os quatro pontos do teto estão deslocados em relação aos respectivos pontos de sua base.

Para a representação correta da planimetria em uma fotografia, esta precisa ser retificada através da utilização de um MDT, originando fotografias em projeção ortogonal, as ortofotos ou ortofotografias, em que pontos são projetados ortogonalmente a uma superfície de referência (MIKHAIL et al., 2001, p. 15). Ao se usar uma projeção cartográfica em uma ortofoto juntamente com a representação das principais feições definidoras da área objeto de um levantamento, esta pode ser utilizada como um mapa, sendo denominada de ortofotocarta. As ortofotos, tanto em meio analógico (impressa) como no digital, são úteis como base em estudos de projetos de engenharia, apresentando, além da informação planimétrica (e altimétrica caso sejam representadas as curvas de nível), a característica semântica da informação visual inerente a uma fotografia.

A geração de uma ortofotografia, em que uma nova imagem retificada é obtida, pode apresentar maior probabilidade de falhas na correção em áreas de declividade acentuada, como edificações, pontes e escarpas (FALKNER, 1995). Conforme Reiss (2012), as ortofotos podem ser obtidas através de dois processos, o direto e o inverso (), sendo necessárias duas condições básicas: fotografias orientadas e utilização de MDT. Após a delimitação da área de interesse e determinação da resolução da ortofoto com base no GSD, executam-se ou o processo direto ou o inverso. No processo direto, cada *pixel* da fotografia tem suas coordenadas transformadas para o referencial fotogramétrico, sendo realizadas

buscas da coordenada altimétrica correspondente no MDT a partir da aplicação das equações de colinearidade (nas formas direta e inversa). Quando o valor da coordenada altimétrica do MDT é encontrado, calculam-se as coordenadas planimétricas correspondentes e define-se na ortofoto a posição do *pixel* a ser preenchido com o valor de brilho associado ao *pixel* da fotografia original. A ortofoto é completamente gerada quando todos os *pixels* recebem a informação referente ao valor de brilho. Para cada pixel existe associado um valor que define a intensidade do brilho de cada cor primária que forma a imagem.

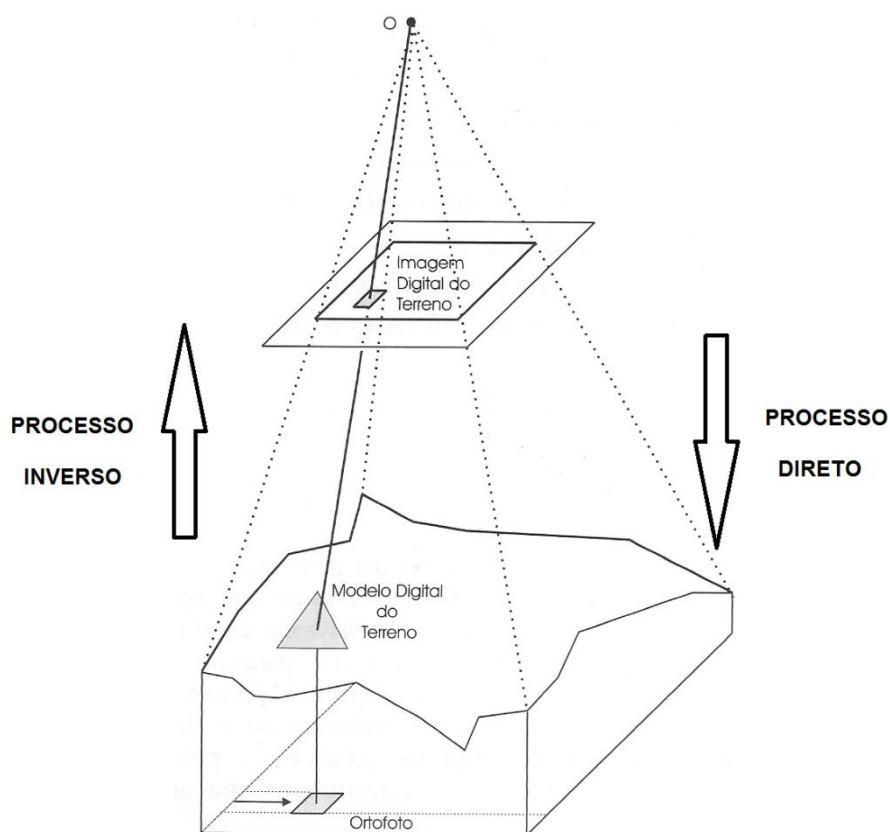


Figura 2-13 - Geração de ortofoto - Processos direto e inverso. Fonte: adaptado de Andrade, 1998.

Ainda segundo Reiss (2012), no processo inverso, primeiro se define a posição do *pixel* na ortofoto, que ainda não contém informações referentes a valor de brilho, e busca-se no MDT a coordenada altimétrica correspondente através de um processo de interpolação. Para cada posição com coordenadas tridimensionais do MDT são determinadas as coordenadas no referencial fotogramétrico e em

seguida estas são convertidas para o referencial do instrumento (dado em *pixel* no caso de uma estação fotogramétrica digital). Nesta conversão devem ser introduzidos os efeitos sistemáticos de formação da fotografia. Novamente por um processo de interpolação, determina-se o valor de brilho associado à posição no referencial do instrumento e se preenche o *pixel* correspondente na ortofoto. O processo é finalizado quando todos os *pixels* da ortofoto são preenchidos com a informação referente ao valor de brilho.

2.1.9 Fotografia arquitetural

De acordo com Oliveira (2008), na fotografia da Fotogrametria documental de arquitetura não são permitidos alguns efeitos usados na fotografia artística, que permite comunicar emoções subjetivas aos observadores. As fotos da Fotogrametria Arquitetural devem primar pela capacidade de clareza e legibilidade de informações. Por esse motivo, são considerados três fatores básicos que devem ser atendidos pelo operador em uma foto documental de arquitetura: definição, contraste e profundidade de campo.

A definição trata da nitidez dos traços, das superfícies e das texturas, o que vai permitir trabalhar com sobreposição de fotos, ampliar detalhes e encontrar particularidades com clareza. A definição está relacionada com alguns fatores e características da câmara, como a qualidade óptica, o foco, a velocidade, a abertura, a vibração e a qualidade do sensor. Nas câmaras digitais, a definição também está ligada ao número de *pixels* da imagem.

A escolha certa do contraste deve ser pensada de forma a possibilitar uma melhor leitura da arquitetura, com seus efeitos de claro-escuro, de luz e sombra. O contraste tem de ser operado de maneira exata. O excesso pode ocultar detalhes importantes de alguma cena.

A profundidade de campo também é parte fundamental da fotografia de arquitetura. Não se pode permitir que a definição e o foco da imagem sejam limitados a uma parte da fotografia. Para a obtenção da profundidade de campo compreendendo todo o objeto de interesse, deve-se primeiramente calcular a abertura necessária. Uma maneira de se fazer isso é utilizando o conceito da

distância hiperfocal. Conhecendo-se essa distância, pode-se prever qual a posição da câmara em relação à porção mais próxima do objeto que permite colocar em foco tudo o que estiver situado entre a metade da distância hiperfocal calculada e o infinito.

2.2 VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO – VANT

O VANT é um tipo de veículo aéreo que não necessita de um piloto embarcado para ser guiado. Existem outras expressões utilizadas para designar este tipo de aeronave, como *drone* (zangão, em inglês), *Remotely Operated Aircraft* - ROA (Aeronave Operada Remotamente), *Remote Piloted Vehicle* - RPV (Veículo Pilotado Remotamente) e *Unmanned Aerial Vehicle* – UAV. Conforme Longhitano (2010) uma nomenclatura mais adequada deveria incluir o termo “sistema” para expressar um conceito que abrange os outros componentes, sejam de *hardware* ou *software*, além do veículo aéreo, como a estação de comando, o sensor, a telemetria e a navegação.

Conforme Jensen (2009) o VANT foi criado inicialmente para fins militares, sendo usado em situações de conflitos como a Primeira e a Segunda Guerra Mundial. Hoje são encontrados vários modelos no meio civil com diversas aplicações. O Departamento de Defesa dos Estados Unidos investiu desde 1980 no desenvolvimento da tecnologia de veículos aéreos não tripulados para serem utilizados em missões específicas táticas ou que necessitem de longa autonomia de voo para reconhecimento ou vigilância. O raio de ação de um VANT tático com grande autonomia de voo e tamanho reduzido pode superar 200 km de distância da base principal, permanecendo em voo por várias horas, imperceptível no espaço aéreo.

O VANT pode ser encontrado em tamanhos variados, pode ser leve e portátil, com capacidade de carga de alguns gramas a uma tonelada. A decolagem de um VANT pode ser realizada, entre outras formas, por lançamento manual, lançamento vertical, com corrida até obter a velocidade suficiente para o voo ou acoplado a um carro ou outro veículo terrestre para impulso inicial. O pouso pode ser

feito utilizando ou não trem de pouso, além de existirem soluções com paraquedas, redes ou ganchos que suavizam a aterrissagem. É possível conhecer a localização da aeronave durante todo o percurso devido ao sistema de navegação, geralmente composto por um receptor GNSS integrado com um sistema inercial. O VANT também pode carregar câmaras digitais, câmara infravermelho termal, sensores hiperespectrais, ou ainda sistemas sensores de radares de abertura sintética para a obtenção de imagens em qualquer condição de tempo. Os dados coletados durante o voo podem ser transmitidos por tecnologia sem fio ou então são armazenados em gravadores a bordo (JENSEN, 2009).

O VANT possui um custo bem elevado para ser adquirido. Algumas limitações no caso de veículos aéreos leves são a reduzida capacidade de carregamento de carga a bordo e as condições climáticas. Vantagens do uso do VANT com relação a uma aeronave tripulada referem-se ao custo inferior de manutenção e à maior segurança da equipe envolvida. Segundo Longhitano (2010) o Brasil começou a investir mais nesse tipo de veículo aéreo na última década, e de forma geral, o emprego do VANT ainda tem se voltado principalmente para áreas de inteligência militar e segurança pública, envolvendo atividades de espionagem, monitoramento e obtenção de informações de territórios inimigos.

2.3 POSICIONAMENTO GEODÉSICO POR SATÉLITES ARTIFICIAIS

2.3.1 Sistema Global de Navegação por Satélites

O termo GNSS refere-se ao Sistema Global de Navegação por Satélites (Global Navigation Satellite System) e compreende as tecnologias de posicionamento global, como é o caso do sistema norte-americano GPS (Global Positioning System) e do sistema russo GLONASS. Para uma breve elucidação da técnica de posicionamento por meio de satélites artificiais será dado destaque ao funcionamento do GPS nesta seção. Nas demais seções do texto será utilizado o termo mais abrangente GNSS.

O princípio básico de navegação pelo GPS consiste na medida de distâncias entre o usuário e quatro satélites. Conhecendo-se as coordenadas dos satélites em um sistema de referência apropriado, é possível calcular as coordenadas da antena do usuário no mesmo sistema de referência dos satélites. A determinação desse posicionamento é feita através do ajustamento de quatro parâmetros (incógnitas), sendo três referentes à posição e o outro ao erro de não sincronismo entre os relógios do receptor e dos satélites. No mínimo quatro satélites devem estar visíveis, ou seja, disponíveis para a realização das medidas simultâneas feitas pelo receptor (MONICO, 2008).

Atualmente, cada satélite GPS transmite duas ondas portadoras simultaneamente: L1 e L2. Essas duas frequências permitem aos usuários corrigir grande parte dos efeitos provocados pela ionosfera. Os receptores GPS são classificados, principalmente em função da precisão alcançada, em receptores geodésicos, topográficos e de navegação. Os receptores geodésicos são capazes de captar as duas frequências emitidas pelos satélites (L1 e L2) e, dessa forma, minimizar os erros de posicionamento.

O posicionamento com GPS pode ser classificado em absoluto e relativo. O posicionamento absoluto consiste em as coordenadas estarem associadas diretamente ao geocentro. O posicionamento relativo ocorre quando as coordenadas são determinadas com relação a um referencial materializado por um ou mais vértices com coordenadas conhecidas. No posicionamento relativo, a posição de um ponto é determinada com relação à de outros, cujas coordenadas são conhecidas. As coordenadas dos pontos conhecidos devem estar referenciadas ao WGS84, ou em um sistema compatível com esse. Nesse caso, os elementos que compõem a linha base (linha que liga a estação de referência à estação de interesse), ou seja, ΔX , ΔY e ΔZ , são estimados e, ao serem acrescidos às coordenadas da estação-base ou de referência, proporcionam as coordenadas da estação desejada.

Nesse tipo de posicionamento, dois ou mais receptores rastreiam simultaneamente os satélites visíveis por um período de tempo que pode variar de dezenas de minutos (20 minutos no mínimo) até algumas horas. Os casos envolvendo períodos curtos de ocupação, até 20 minutos, são considerados como posicionamento estático rápido. O posicionamento relativo estático permite obter precisão da ordem de 1,0 a 0,1 ppm, ou mesmo melhor do que isso. Em casos em

que as linhas-base envolvidas forem longas (maiores que 15 km) e a precisão requerida for melhor que 1 ppm, é imprescindível o uso de receptores de dupla frequência (L1 e L2). O posicionamento relativo pelo método RTK (Real-Time Kinematic), dentre os métodos existentes, proporciona a obtenção de coordenadas de forma rápida, sendo possível observar em tempo real a qualidade das observações. Ao se chegar a uma precisão estabelecida, o receptor informa ao usuário que o posicionamento pode ser encerrado ou que se pode mudar para outro ponto de interesse.

A Tabela 2-1 apresenta a precisão aproximada obtida com o posicionamento relativo, levando em consideração o tipo de equipamento utilizado, o tempo de rastreamento e o comprimento das linhas de base.

Tabela 2-1 - Precisões obtidas com posicionamento GNSS método relativo. Fonte: IBGE, 2008.

Linha de Base	Tempo de Observação	Equipamento utilizado	Precisão
00 - 05 km	05 - 10 min	L1 ou L1/L2	5 - 10 mm + 1 ppm
05 - 10 km	10 - 15 min	L1 ou L1/L2	5 - 10 mm + 1 ppm
10 - 20 km	10 - 30 min	L1 ou L1/L2	5 - 10 mm + 1 ppm
20 - 50 km	02 - 03 hr	L1/L2	5 mm + 1 ppm
50 - 100 km	mínimo 03 hr	L1/L2	5 mm + 1 ppm
> 100 km	mínimo 04 hr	L1/L2	5 mm + 1 ppm

2.3.2 Sistema Geodésico Brasileiro

O Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) estabelece um sistema de referência posicional a ser utilizado em todo o território nacional. O sistema é composto por redes altimétricas, planimétricas e gravimétricas, tendo sofrido grande mudança com a modernização do sistema posicional e o avanço das tecnologias de posicionamento global por satélites artificiais (GNSS). Atualmente o Brasil possui dois sistemas geodésicos oficiais, o South American Datum 1969 e o SIRGAS2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas), que é compatível com a tecnologia GNSS.

A materialização de tal sistema ocorre por intermédio das estações ativas de monitoramento pertencentes à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC). Uma estação ativa pressupõe o levantamento posicional geodésico num período de 24 horas diárias. A RBMC fornece aos usuários do sistema GNSS as correções para as suas posições. Além disso, os Estados mantêm redes estaduais passivas, que são materializadas com marcos que possuem um dispositivo de centragem forçada e são ocupados com receptores geodésicos pertencentes aos usuários.

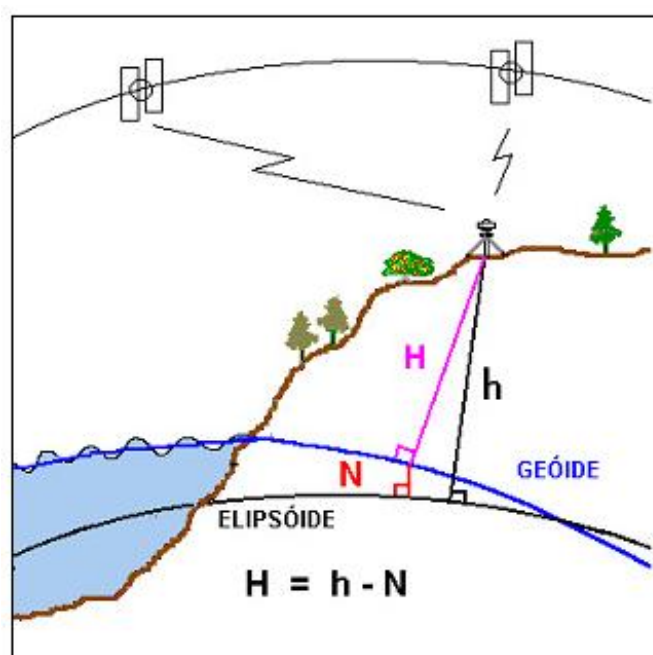


Figura 2-14 - Geóide, elipsóide e ondulação geoidal. Fonte: IBGE, 2013.

O sistema altimétrico é referenciado à superfície equipotencial correspondente ao nível médio do mar. A Rede Altimétrica brasileira é determinada pelas medições realizadas pelo marégrafo localizado em Imbituba, no estado de Santa Catarina, na região Sul do país. Atividades de densificação são realizadas pela monumentação de Referências de Nível (RN) que podem conter informações resultantes apenas de nivelamentos geométricos, ou também de levantamentos gravimétricos.

A altitude obtida por meio da Rede Altimétrica descrita acima é denominada altitude ortométrica e difere da altitude geométrica, que é determinada através de observações por meio do GNSS, e cuja referência é a superfície elipsoidal, ou seja,

a superfície geométrica matematicamente definida que representa a forma da Terra. A diferença aproximada entre essas duas altitudes corresponde à chamada ondulação geoidal (N), conforme se observa na Figura 2-14. O valor de ondulação geoidal de cada ponto sobre a superfície terrestre pode ser obtido por modelos geoidais, como é o caso do MAPGEO2010, disponibilizado pelo IBGE.

2.4 AJUSTAMENTO DE OBSERVAÇÕES PELO MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS

O Ajustamento de Observações tem como objetivo apresentar um valor único para problemas onde o número de observações é redundante, assim como estimar precisões e detectar possíveis erros grosseiros nas observações ou modelos utilizados. As várias medidas (observações) de uma mesma grandeza dificilmente possuem o mesmo valor. As diferenças entre estas observações e a grandeza considerada como verdadeira constituem os resíduos. É natural pensar que quanto menores forem estes resíduos, mais próximos os valores observados estarão da grandeza verdadeira.

Caso sejam feitas “n” novas medidas sobre aquela mesma grandeza, os valores entre o primeiro grupo de observações e o segundo seriam diferentes, sendo diferentes também os valores dos resíduos encontrados no primeiro grupo e no segundo. Conclui-se que vários poderiam ser os valores dos resíduos que somados às observações produziram como resultado a grandeza verdadeira.

Sendo assim, para estimar a “solução única” de um conjunto de observações, recorre-se ao Método dos Mínimos Quadrados, desenvolvidos de forma independente pelos matemáticos Gauss, em 1795, e Legendre, em 1805, e que faz parte da solução de problemas comuns aos geodestas. Através da aplicação deste método, se aceita como melhor estimativa de um determinado valor aquele que proporciona a menor soma dos quadrados dos resíduos (GEMAEL, 1994, p. 13). Explicação detalhada do método pode ser encontrada em Gemael (1994).

2.5 CONTROLE DE QUALIDADE

No Brasil, o decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984, estabelece as instruções reguladoras das normas técnicas da cartografia nacional. O controle de qualidade do mapa, portanto baseado nas disposições constantes neste decreto, que no capítulo II, seção I, trata da classificação de uma carta quanto à exatidão, informando que as cartas devem obedecer ao Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) conforme os critérios abaixo (BRASIL, 1984):

- quando testados no terreno, 90% dos pontos bem definidos e medidos em uma carta deverão apresentar erro inferior ao estabelecido pelo Padrão de Exatidão Cartográfica – Planimétrico;
- quando testados no terreno, 90% dos pontos isolados de altitude, obtidos através de interpolação de curvas-de-nível, deverão apresentar erro inferior ao estabelecido pelo Padrão de Exatidão Cartográfica – Altimétrico.

O PEC é um indicador estatístico de dispersão que define a exatidão dos trabalhos cartográficos realizados em território nacional. Em sua formulação, considera-se uma probabilidade de 90%, que corresponde a $1,6449 \times \text{Erro-Padrão}$, ou seja, $\text{PEC} = 1,6449 \times \text{EP}$.

O Erro-Padrão (EP) em num trabalho cartográfico não deverá ultrapassar 60,8% do Padrão de Exatidão Cartográfica. Conforme a norma, o Erro Padrão é equivalente ao aos termos Desvio-Padrão e ao Erro-Médio-Quadrático.

Portanto, as cartas, conforme a sua exatidão, são classificadas de acordo com a Tabela 2-2, que apresenta as classes A, B e C e seus respectivos PEC e EP, tanto para a planimetria e altimetria. O termo “Ec” corresponde ao denominador da escala da carta e “Equid” corresponde à equidistância das curvas de nível.

O cálculo do valor final planimétrico deve levar em conta a escala da carta, portanto deve-se multiplicar o valor tabelado pela escala. No caso do controle de qualidade altimétrico, deve-se multiplicar o valor da tabela pela equidistância das curvas de nível.

Além do PEC, normalmente são aplicados outros testes para verificação da qualidade do mapa, sendo os dois mais usados o teste estatístico Qui-Quadrado,

para se analisar a precisão do mapa, e também o teste estatístico t-student, para a análise de tendência no mapeamento realizado.

Tabela 2-2 – Classes de produtos cartográficos conforme o PEC

Classe	Planimetria		Altimetria	
	PEC (mm)	EP (mm)	PEC (mm)	EP (mm)
A	0,5x Ec	0,3 x Ec	1/2 x Equid	1/3 x Equid
B	0,8 x Ec	0,5 x Ec	3/5 x Equid	2/5 x Equid
C	1,0 x Ec	0,6 x Ec	3/4 x Equid	1/5 x Equid

Para o controle de qualidade de um mapa também são avaliados outros fatores como, a completude, a consistência lógica e a simbologia. Por completude entende-se que o mapa deverá representar todas as informações necessárias conforme a necessidade do usuário, para desenvolvimento de suas atividades. A consistência lógica trata da avaliação da qualidade de representação de uma feição existente no terreno com sua correspondente feição no mapa, não devendo haver contradições. Segundo Burity (1999 apud Rocha, 2002) entende-se por consistência lógica o tipo de relacionamento existente entre duas feições representadas no terreno, ou seja, qual a melhor lógica de representação entre elementos em que exista algum tipo de relacionamento.

Conforme Rocha (2002) a elaboração de um mapa é um processo de comunicação, em que o cartógrafo modela a realidade física e representa-a sob a forma de símbolos gráficos a serem decodificados. A simbologia de um mapa deve ter uma boa legibilidade, deve ser proporcional à área do mapa e alcançar a representação da feição a ser cartografada.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E DESENVOLVIMENTO

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As principais etapas de levantamentos e processamento de dados executados neste trabalho são mostradas no fluxograma da Figura 3-1. As etapas detalhadas do levantamento fotogramétrico terrestre e do aéreo são mostradas no fluxograma da Figura 3-2. As etapas envolvidas serão descritas ao longo deste capítulo.

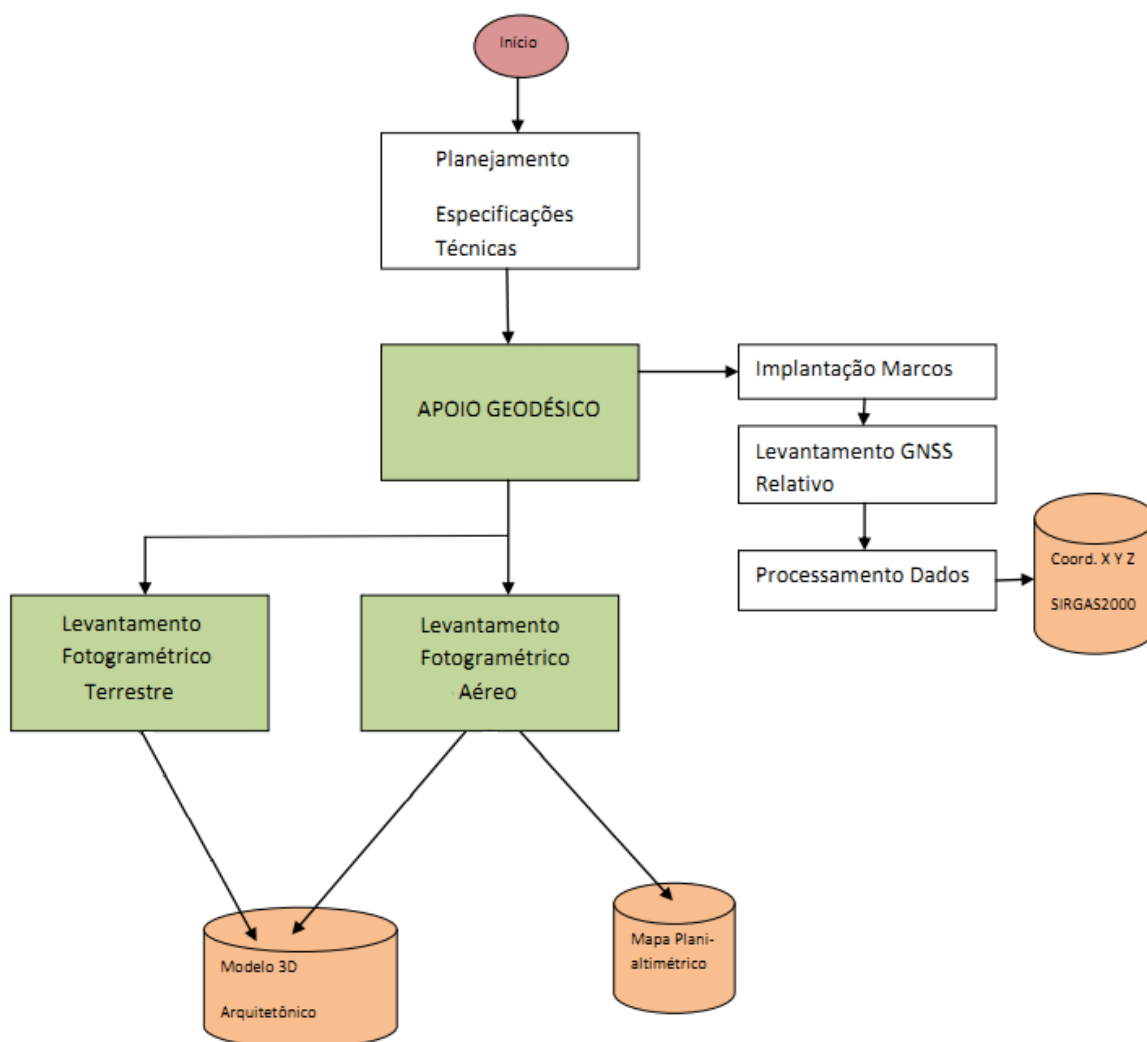


Figura 3-1 - Fluxograma das etapas executadas no trabalho.

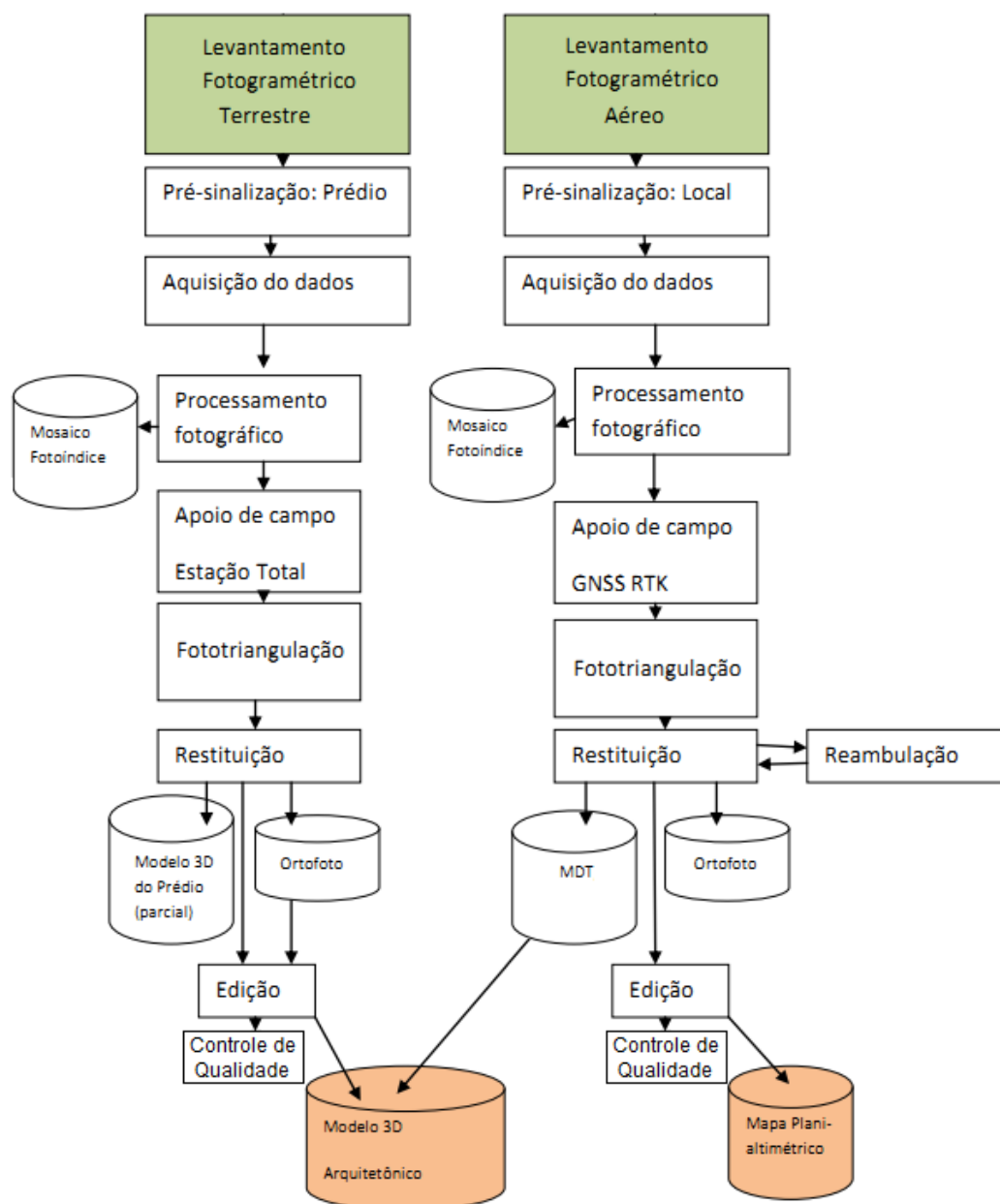


Figura 3-2 - Fluxograma das etapas dos levantamentos fotogramétricos terrestre e aéreo.

Este trabalho está baseado na execução de três tipos de levantamentos (Geodésico, Fotogramétrico Aéreo e Fotogramétrico Terrestre) com a representação dos produtos cartográficos gerados (Cartografia). Foram necessárias três visitas técnicas ao local de estudo para a obtenção dos dados. Foi feita a implantação e a medição de um campo de calibração de câmaras. Os processamentos computacionais e a edição dos produtos cartográficos foram realizados nas dependências do Laboratório de Pesquisa em Fotogrametria (LAFOTO) e do

Laboratório de Cartografia Aplicada (LACAP). Foram cinco as etapas principais desenvolvidas neste trabalho, a saber:

- **Implantação da rede geodésica local:** construção e rastreio dos marcos da rede geodésica local, necessária para referenciar os dados levantados e os produtos gerados ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB);
- **Campo de calibração de câmaras:** a construção de um campo de calibração viabilizou a determinação dos parâmetros de orientação interior (OI) da câmara utilizada no levantamento fotogramétrico terrestre;
- **Coleta dos dados:** refere-se à tomada das fotografias e obtenção de dados dos equipamentos utilizados (estação total, receptores GNSS, sistema inercial);
- **Processamento dos dados:** compreendeu os processamentos fotográfico e fotogramétrico das imagens obtidas, a determinação de coordenadas dos marcos geodésicos e dos pontos de apoio necessários à etapa de fototriangulação dos levantamentos fotogramétricos;
- **Geração dos produtos cartográficos:** fase de edição dos dados processados dos levantamentos, com extração de feições das fotografias e modelagem tridimensional.

O sistema geodésico adotado nosso processamentos e no mapa planialtimétrico gerado refere-se ao Sistema Geodésico Brasileiro SIRGAS2000. A projeção plana utilizada foi a Universal Transversa de Mercator - UTM, fuso 21 no hemisfério sul, cujo meridiano central é o 57° Oeste. Nesta projeção, o sistema de coordenadas planas contém o eixo das abcissas é representado pela letra E, referindo-se a Este ou Leste (direção leste-oeste), e o eixo das ordenadas pela letra N, referindo-se a Norte (direção norte-sul). Sendo assim, todas as coordenadas obtidas em outro sistema foram transformadas para a projeção UTM.

3.2 MATERIAIS

Os levantamentos, processamentos dos dados levantados e edições dos produtos gerados neste trabalho foram executados com os seguintes materiais:

- Equipamentos:
 - Câmera fotográfica Canon Rebel Xsi e acessórios, adquiridos através de Projeto CNPq (482409/2007-0);
 - VANT de pequeno porte, adquirido através de Projeto REUNI;
 - Receptores GNSS Topcon GR3, adquiridos através de Projeto REUNI;
 - Receptores GNSS Topcon Hiper Lite, adquiridos através de Projeto REUNI;
 - Estação Total Topcon 7500, adquirida através de Projeto REUNI;
 - Estação Total Ruide 862R;
 - Prismas e balizas, adquiridos através de Projeto REUNI;
 - Estações Fotogramétricas, adquiridas através de Projeto REUNI;
 - Topomouse, adquirido através de Projeto REUNI.

- Programas computacionais:
 - Pacote Educacional ERDAS LPS, adquiridos através de Projeto REUNI;
 - Topcon Tools;
 - PhotoScan;
 - CC (Calibração de Câmaras), desenvolvido por. Galo (1993);
 - ArcGis Desktop 10.

3.3 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende as ruínas da Igreja do Sítio Arqueológico de São Miguel Arcanjo, situada no município de São Miguel das Missões, no estado do Rio Grande do Sul. O município está localizado a aproximadamente 483 km da capital Porto Alegre, na latitude $28^{\circ} 33' 46''$ S e longitude $54^{\circ} 33' 14''$ O, conforme Figura 3-3. O município possui área de 1229,843 km² e população de 7421 habitantes, segundo o Censo Demográfico 2010 do IBGE. Conforme dados contidos no Atlas Agroclimático do Estado do Rio Grande do Sul (IPAGRO, 1989 apud INCRA, 2009). O relevo caracteriza-se por ser levemente ondulado, o clima é subtropical, com temperatura média anual de $16,1^{\circ}\text{C}$, sendo em janeiro (mês mais quente) a temperatura média de 22°C e em julho (mês mais frio) a temperatura média de 12°C . A precipitação total anual é bem distribuída, chegando a 1660 mm, sendo outubro o mês com maior precipitação (193 mm) e novembro o de menor (110 mm).



Figura 3-3 - Localização do município de São Miguel das Missões no estado.

A delimitação da área de trabalho que abrange o Sítio Arqueológico está representada em contorno na cor amarela na Figura 3-4. A área mapeada possui cerca de 0,4 km² ou 40 hectares. As ruínas da igreja encontram-se na parte central da imagem.



Figura 3-4 - Área de estudo em São Miguel das Missões
Fonte: Google Earth. DigitalGlobe. Data da imagem: 04/06/2012.

São Miguel das Missões é um município dotado de grande importância histórica na trajetória da formação do Brasil. O século XVII foi o período em que se formaram os chamados Sete Povos da Missões, sendo um deles o povoado de São Miguel. O sítio arqueológico possui uma ligação histórica com os países que formam o MERCOSUL, como Argentina, Paraguai, Uruguai e Brasil. O povoado de São Miguel foi composto por índios guaranis e jesuítas vindos da Europa. O objetivo dos padres jesuítas era o de doutrinar os índios para a catequese, sem a adoção de um regime de escravidão. Com o tempo, os índios foram incorporando a cultura europeia e desenvolvendo habilidades para a metalurgia, pintura, música, tipografia,

cerâmica, etc. São Miguel vivia basicamente da agricultura e pecuária para o consumo interno.

Em 1768 os jesuítas foram expulsos dos Povos das Missões. Os índios passaram então a ser governados pelos espanhóis e, em 1801, pelos portugueses. Em 1694, o povoado contava com 4492 habitantes, em 1801 o número passou para cerca de 1900 habitantes, chegando em 1822 a 600 indígenas.

O declínio do povoado se deu devido aos tratados estabelecidos entre Portugal e Espanha. Em 1750, com o Tratado de Madri, a Colônia de Sacramento (atualmente Uruguai) foi trocada pelo território dos Sete Povos das Missões, forçando os indígenas a evadirem de suas terras. Os índios, liderados por Sepé Tiarajú, iniciam as guerras guaraníticas, sendo derrotados em 1756. Com a anulação do Tratado de Madri em 1761 através do Tratado de El Pardo, os índios retornam à suas terras até o decreto do rei da Espanha, Carlos III, determinando a expulsão dos jesuítas do território de domínio espanhol. Por fim, o povoado missioneiro que ainda existia foi dizimado em 1828 com Guerra Cisplatina. Surgiu em 1926 um loteamento urbano ao redor do território anteriormente ocupado pelo povo jesuítico-guarani, formando a vila de São Miguel. Em 1988, a vila tornou-se um município ao se emancipar de Santo Ângelo. Hoje as ruínas da Igreja de São Miguel mantém a memória deste passado. Desde 1937 o Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional administra o sítio arqueológico. Em 1983 as ruínas foram declaradas Patrimônio Histórico e Cultural da Humanidade pela UNESCO, atraindo ainda mais turistas do Brasil e de outras partes do mundo (PMSMM, 2013).

3.4 LEVANTAMENTO GEODÉSICO

O Levantamento Geodésico teve como principal função a obtenção de dados por meio das técnicas de Topografia e de posicionamento por satélites artificiais, bem como possibilitou a amarração dos produtos gerados ao SGB através da implantação da rede geodésica local, ou seja, todos os levantamentos executados estão em um mesmo referencial.

O posicionamento geodésico por meio do rastreamento com receptores GNSS foi utilizado nas seguintes etapas:

- implantação da rede geodésica local;
- levantamento dos pontos de apoio aéreo;
- levantamento de pontos de checagem para análise da qualidade da aerotriangulação e do mapa;
- medição dos marcos geodésicos do campo de calibração de câmaras.

O levantamento topográfico realizado com estação total foi utilizado nas seguintes etapas:

- levantamento dos pontos de apoio do campo de calibração;
- medição dos pontos de apoio das fotografias terrestres das fachadas das ruínas da igreja.

3.4.1 Rede Geodésica Local

3.4.1.1 Planejamento e implantação

A etapa de implantação da rede geodésica local consistiu na materialização de pontos cujas coordenadas foram posteriormente determinadas por meio de rastreamento com receptores GNSS pelo método relativo estático. Esses pontos materializados são denominados marcos geodésicos e servem de base para os demais levantamentos realizados.

Por se tratar de um sítio arqueológico, foi necessária a autorização por parte do IPHAN para a implantação dos marcos. Essa autorização foi dada pela arquiteta Sandra Petry, chefe do Parque Histórico Nacional das Missões. Após planejamento considerando as posições mais favoráveis tanto para a equipe de trabalho quanto para a integridade do sítio, foram determinadas as localizações de três marcos, sendo que o marco principal possui intervisibilidade entre os outros dois marcos secundários. A implantação ocorreu dentro dos limites do parque, sendo necessária somente uma escavação. O marco principal (M01) consiste em um marco de concreto com formato tronco-piramidal no qual a chapa metálica foi afixada com cola

epóxi. Os marcos M02 e M03 foram construídos em bases metálicas já existentes no local. Após a verificação da estabilidade dessas bases, foi feito o preenchimento com concreto e posterior fixação das chapas metálicas com cola epóxi. As etapas descritas de implantação dos marcos são mostradas na Figura 3-5. A Figura 3-6 apresenta os marcos geodésicos implantados no sítio arqueológico.



Figura 3-5 - Etapas de implantação da rede geodésica local

A planimetria e a altimetria da rede geodésica local foram baseadas nos posicionamentos geodésicos por satélites artificiais. A prática mais indicada para a definição da altimetria com a finalidade de produção cartográfica seria a determinação da altitude ortométrica utilizando o transporte de altitudes por nivelamento geométrico de precisão. Como dito anteriormente, a altitude obtida pelo GNSS é a geométrica, com significado puramente matemático, enquanto a altitude ortométrica possui significado físico, importante para as obras de engenharia.



Figura 3-6 – Marcos geodésicos da rede geodésica local

Devido ao fato de a referência de nível (RN) mais próxima estar localizada a 17 km da área de estudo, o nivelamento geométrico tornou-se inviável, pois seria necessária mais uma visita técnica ao local, demandando mais recursos financeiros e mais tempo para a inclusão desse levantamento. Uma solução encontrada foi a utilização do modelo de ondulação geoidal MAPGEO2010 para a obtenção das altitudes ortométricas dos marcos geodésicos da rede local. De acordo com o mapa de discrepâncias entre o Modelo de Ondulação Geoidal 2010 e pontos em RN levantados com GPS, disponibilizado pelo IBGE, a discrepância na região que compreende a área de estudo varia de 0 a 20 cm. Entretanto, os valores calculados de altitude ortométrica constam somente no memorial descritivo dos marcos, não tendo sido usados nas demais etapas deste trabalho. Considerando que um dos objetivos do trabalho é a geração do modelo tridimensional das ruínas, a rigidez geométrica torna-se fundamental, sendo, nesse caso, o motivo por se utilizar a altitude geométrica.

O levantamento das observações foi realizado com receptores GNSS pelo posicionamento relativo estático. Os equipamentos utilizados consistiram nos seguintes:

- par de receptores GNSS marca Topcon, modelo GR-3;
- par de receptores GNSS marca Topcon, modelo Hiper Lite+.

Os receptores GR-3 rastreiam sinais das constelações de satélites artificiais GPS, GLONASS e Galileo (sistema europeu em fase de testes), enquanto os receptores Hiper Lite+ rastreiam sinais das constelações GPS e GLONASS. Ambos os modelos possuem precisão no modo relativo estático de 3 mm + 0,5 ppm em planimetria e 5 mm + 0,5 ppm em altimetria, e no modo RTK de 10 mm + 1 ppm em planimetria e 15 mm + 1 ppm em altimetria.

3.4.1.2 Processamento dos dados

O processamento das observações para a determinação das coordenadas do marco M01 foi feito utilizando como estações de referência os vértices POAL (Porto Alegre-RS), SMAR (Santa Maria-SM) e SCCH (Chapecó-SC), pertencentes à RBMC (IBGE).

As coordenadas dos marcos M02 e M03 foram determinadas de forma independente, considerando o marco M01 fixo. Isso garante a confiabilidade interna para os demais dados levantados neste trabalho, visto que assim as incertezas que influenciam na posição absoluta desse ponto não são propagadas para os demais. As coordenadas foram pós-processadas e ajustadas através do programa computacional Topcon Tools. Os resultados desse, bem como dos demais processamentos deste trabalho, são mostrados no Capítulo 4.

3.4.2 Pontos de apoio do levantamento fotogramétrico aéreo

Os pontos de apoio do levantamento aerofotogramétrico são necessários para a etapa de aerotriangulação das fotografias obtidas com o sistema VANT. Os pontos de apoio têm as coordenadas horizontais (H) e verticais (V) conhecidas, sendo, portanto, também denominados de pontos HV. A determinação das coordenadas desses pontos de apoio foi realizada pelo levantamento geodésico com receptores GNSS pelo método RTK. Foi rastreado um total de 30 pontos HV, cuja numeração vai de 5001 a 5030. Os equipamentos utilizados na medição dos pontos de apoio do aerolevante são os seguintes:

- par de receptores GNSS marca Topcon, modelo GR-3;

- par de receptores GNSS marca Topcon, modelo Hiper Lite+;
- coletoras marca Topcon, modelos FC-250 e FC-2500.

A distribuição dos pontos HV foi pensada buscando-se uma maior robustez geométrica. A geometria ideal é representada por uma grade regular, em que os pontos estão separados entre si por uma mesma distância. Entretanto essa regularidade é difícil de ser obtida devido a limitantes físicos no local do levantamento, como árvores, casas, muros, etc. A distribuição dos pontos HV é mostrada na Figura 3-7.

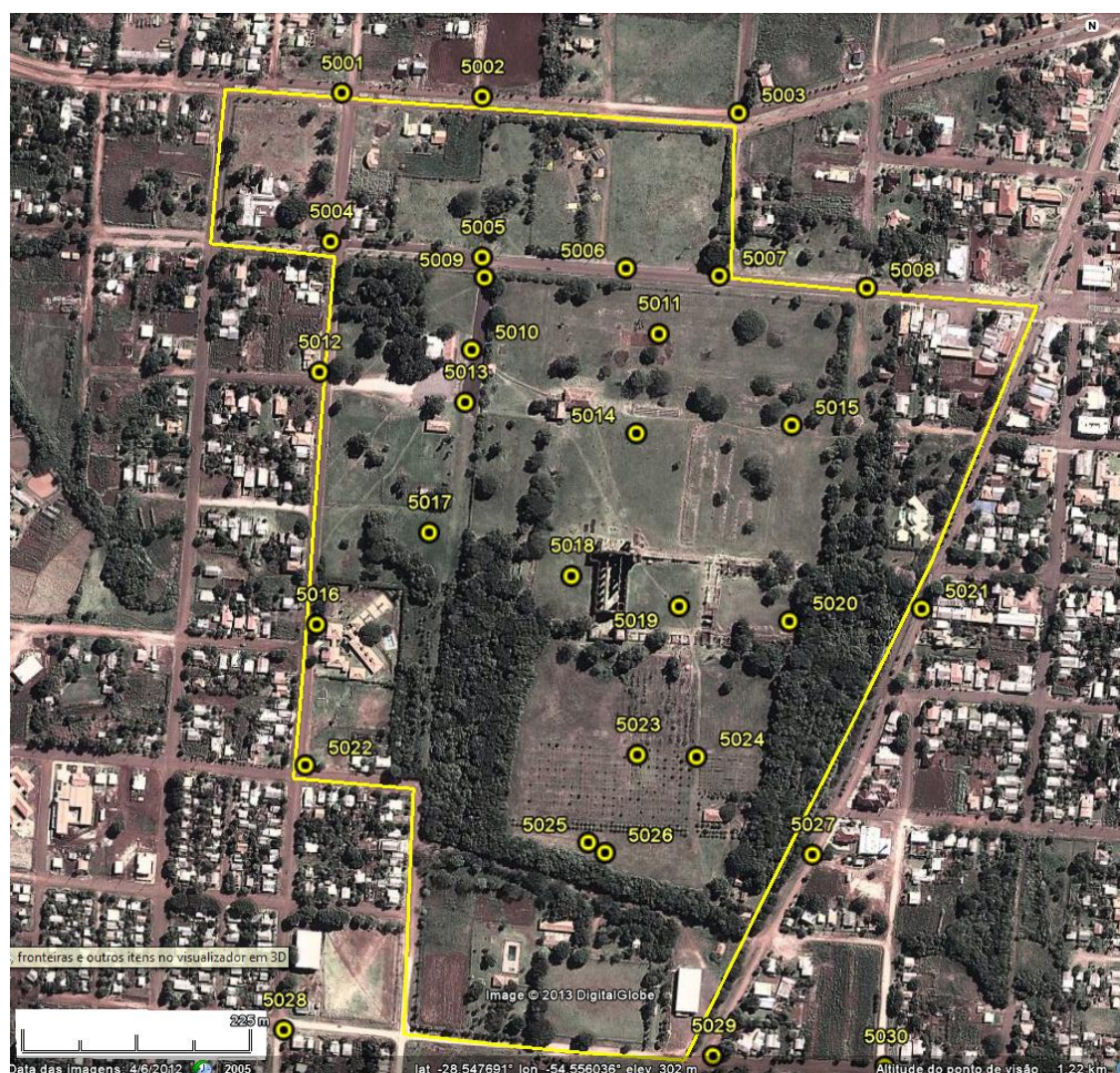


Figura 3-7 - Distribuição dos pontos de apoio do aerolevanteamento

Os pontos de apoio foram materializados de duas maneiras. A primeira consistiu em confeccioná-los em material de espuma vinílica acetinada (EVA) e

isopor. Cada ponto foi construído com circunferências de espuma com 14 cm de raio coladas em base de isopor de mesmo formato, que eram fixadas sobre uma base de espuma de formato retangular e de cor diferente da das circunferências, gerando um contraste que facilitaria a identificação na etapa de aerotriangulação. Em campo, esses pontos eram presos ao solo através de pregos e arruelas. Para locais em que era impossível a utilização de pregos para fixação, como o asfalto, foi utilizada a segunda forma de materialização dos pontos de apoio, que consistiu em demarcar o solo com tinta branca utilizando moldes de circunferências de 14 cm de raio. As etapas de colocação e medição dos pontos de apoio são mostradas na Figura 3-8.

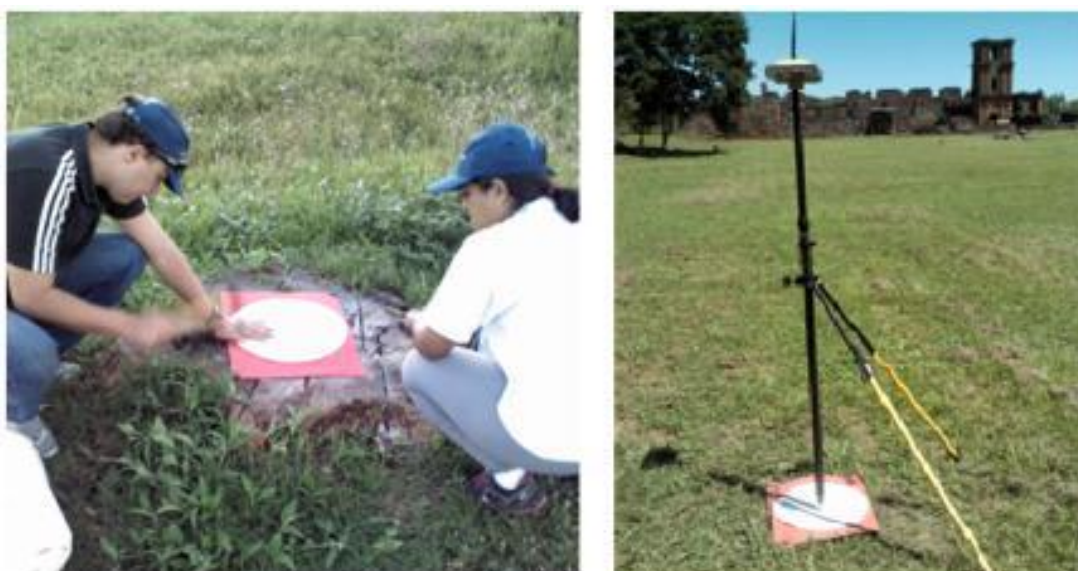


Figura 3-8 - Etapas de sinalização e medição dos pontos de apoio

As bases utilizadas para o rastreamento dos pontos de apoio consistiram nos marcos M01 e M02, havendo a divisão em duas equipes de trabalho, cada uma possuindo um par de receptores GNSS, uma coletora e rádios comunicadores. No dia 28/02/2013 foi realizada uma sessão de rastreamento, utilizando como base o marco M01. No dia 01/03/2013 foram feitas três sessões de rastreamento, sendo duas utilizando M01 como base, e uma utilizando o M02.

Devido a um problema de configuração do arquivo de trabalho em uma das coletoras, os dados de 16 pontos de apoio referentes aos dois rastreios do dia 01/03 do marco M01 como base não foram gravados no receptor GNSS utilizado como *rover* de uma das equipes, impossibilitando o pós-processamento desses pontos.

No dia 28/02/2013 foi realizado o levantamento geodésico com GNSS pelo método RTK tendo como base o ponto M01, cujas coordenadas iniciais arbitradas são diferentes daquelas adotadas para o mesmo ponto M01 do levantamento GNSS método RTK do dia 01/03/2013. As coordenadas de M01 foram arbitradas, pois suas coordenadas definitivas ainda não tinham sido calculadas. O mesmo aconteceu com o rastreamento executado com base no marco M02.

Em escritório, após a definição das coordenadas de M01 e M02, poderiam ser efetuadas as correções das coordenadas GNSS RTK dos pontos de apoio (inicialmente baseadas nas coordenadas arbitradas dos marcos). Para os pontos de apoio que possuíam dados gravados nos receptores, foi possível realizar o pós-processamento e o ajustamento. Para aqueles em que não foi possível realizar o pós-processamento, a correção poderia ser feita aplicando nestes pontos as translações em E, N e h calculadas entre as coordenadas arbitradas dos marcos M01 e suas respectivas coordenadas fixas. Entretanto, para que se tivesse certeza deste procedimento, optou-se por primeiro calcular a média das translações obtidas pela diferença entre as coordenadas GNSS RTK e as coordenadas pós-processadas daqueles pontos de apoio cujas observações foram gravadas nos receptores. Depois se comparou esta média com a translação entre M01 e M02 arbitrados e suas respectivas coordenadas fixas.

3.4.3 Pontos de apoio do levantamento fotogramétrico terrestre

Os pontos de apoio são fundamentais nas etapas de OI e OE do levantamento fotogramétrico terrestre. São necessárias medições feitas nesses pontos, que são constituídos por alvos afixados nas ruínas ou por pontos facilmente identificáveis (definidos por cruzamentos de linhas, detalhes, quinas, janelas, portas, etc.). Foram utilizados como pontos de apoio da fachada principal (norte) os alvos já existentes no local (Figura 3-9).

Os alvos pré-sinalizados, ou seja, afixados no dia do levantamento, foram confeccionados em papel adesivo tamanho A4, onde foram impressos alvos circulares codificados, conforme Figura 3-10. A codificação dos alvos permite a identificação automática pelo programa usado na etapa de fototriangulação.

As coordenadas da maioria dos pontos de apoio foram determinadas pelo método de intersecção à vante (de maneira análoga à descrita no item 3.4.5). Os demais pontos que não puderam ser determinados por intersecção à vante foram calculados por irradiação direta. Isso ocorreu devido à inexistência de medições de um ponto de apoio em mais de uma estação topográfica ou pela constatação de erros grosseiros. Essas medições foram feitas a partir de vértices de uma poligonal ao redor das ruínas (Figura 3-11), utilizando o modo de medição sem prisma. Os vértices da poligonal foram medidos topograficamente com estação total e também rastreados por posicionamento GNSS estático relativo. Os equipamentos utilizados foram os seguintes:

- par de receptores GNSS marca Topcon, modelo Hiper Lite+;
- estação total marca Topcon, modelo GPT-7505.



Figura 3-9 – Pontos existentes na fachada principal utilizados como apoio.



Figura 3-10 – Alvos pré-sinalizados nas fachadas.

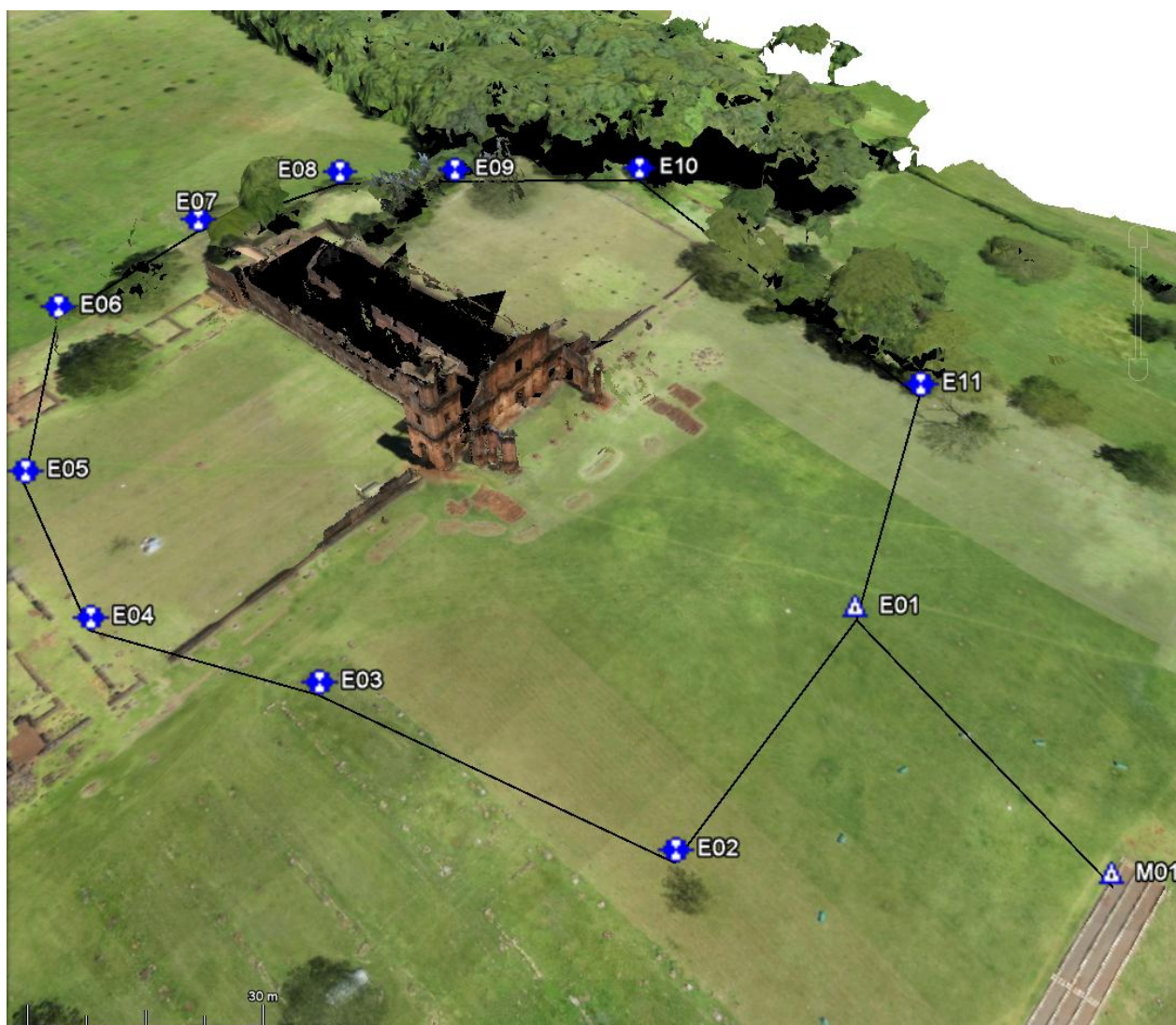


Figura 3-11 – Poligonal topográfica de apoio

A estação total GPT-7505 possui precisão angular de 5'' (segundos) e precisão linear com prisma de até 2 mm + 2 ppm e sem prisma de até 5 mm.

A poligonal foi calculada e ajustada no programa computacional Topcon Tools, sendo considerada uma poligonal fechada com azimute dado pela linha formada entre o primeiro vértice (estação E01)m e o marco M01. As coordenadas do M01 são aquelas obtidas pela rede geodésica local, e as coordenadas de E01 consideradas foram obtidas pelas medições topográficas. A partir desses valores considerados como apoio, as coordenadas dos demais vértices foram calculadas e ajustadas. Em seguida foram determinadas as coordenadas dos pontos de apoio medidos nas fachadas utilizando-se as leituras angulares horizontais e verticais na posição direta, para os pontos calculados por intersecção à vante, ou leituras angulares e de distância para os pontos calculados por irradiação simples.

3.4.4 Pontos de checagem para o controle de qualidade do aerolevanteamento

O controle de qualidade (CQ) do aerolevanteamento envolveu a medição de pontos de checagem em momento e locais distintos aos dos pontos de apoio. Esses pontos de checagem serão utilizados nos testes de qualidade da aerotriangulação, da restituição e da altimetria.



Figura 3-12 – Levantamento dos pontos de checagem

A medição dos pontos foi realizada com os mesmos equipamentos e de forma análoga à descrição da seção 3.4.2. Fotos da etapa de medição dos pontos de checagem são mostradas na Figura 3-12.

3.4.5 Campo de calibração de câmaras

Para a etapa de calibração de câmaras foi construído o campo de calibração em uma parede na parte externa do prédio pertencente ao Departamento de Geodésia da UFRGS, onde foram fixados 19 alvos circulares (pontos de apoio), com coordenadas obtidas por intersecção à vante (ou intersecção direta). A determinação das coordenadas do centro de cada alvo foi obtida pela média de medidas realizadas com estação total sem prisma em marcações impressas em lâminas transparentes, conforme foto da esquerda na Figura 3-13. As lâminas foram fixadas à parede com fita adesiva durante a etapa de medição topográfica. Também foram medidos pontos em estruturas de suporte a aparelhos de ar condicionado instalados na parede. Estes pontos estão afastados em cerca de 30 cm ortogonalmente em relação ao plano da parede.



Figura 3-13 – Detalhe do alvo e medição topográfica do campo de calibração

Para a medição por intersecção é necessária a determinação das coordenadas de duas bases, que foram definidas com a implantação de dois marcos de concreto com formato tronco-piramidal, com respectivas chapas metálicas. A

localização dos marcos foi pensada de modo a evitar medições de ângulos muito agudos ou muito obtusos. A geometria de um triângulo equilátero é a ideal para preservar a rigidez geométrica. Triângulos com ângulos muito obtusos ou muito agudos fornecem uma geometria menos robusta, influenciando na precisão das medidas.

As coordenadas dos dois marcos foram determinadas pela técnica de posicionamento relativo estático, sendo feito o pós-processamento com as estações geodésicas 91899, localizada no terraço do prédio do Instituto de Física da UFRGS, e 91850 (POAL), localizada no alto do prédio do Departamento de Geodésia da UFRGS (Figura 3-14). O rastreo dos marcos é mostrado na Figura 3-15.

Para a fase de medição dos pontos de apoio e dos marcos foram utilizados os seguintes equipamentos disponibilizados pelo Departamento de Geodésia da UFRGS:

- estação total marca Ruide, modelo RTS 862R;
- receptores GNSS marca Topcon, modelo Hiper Lite+.

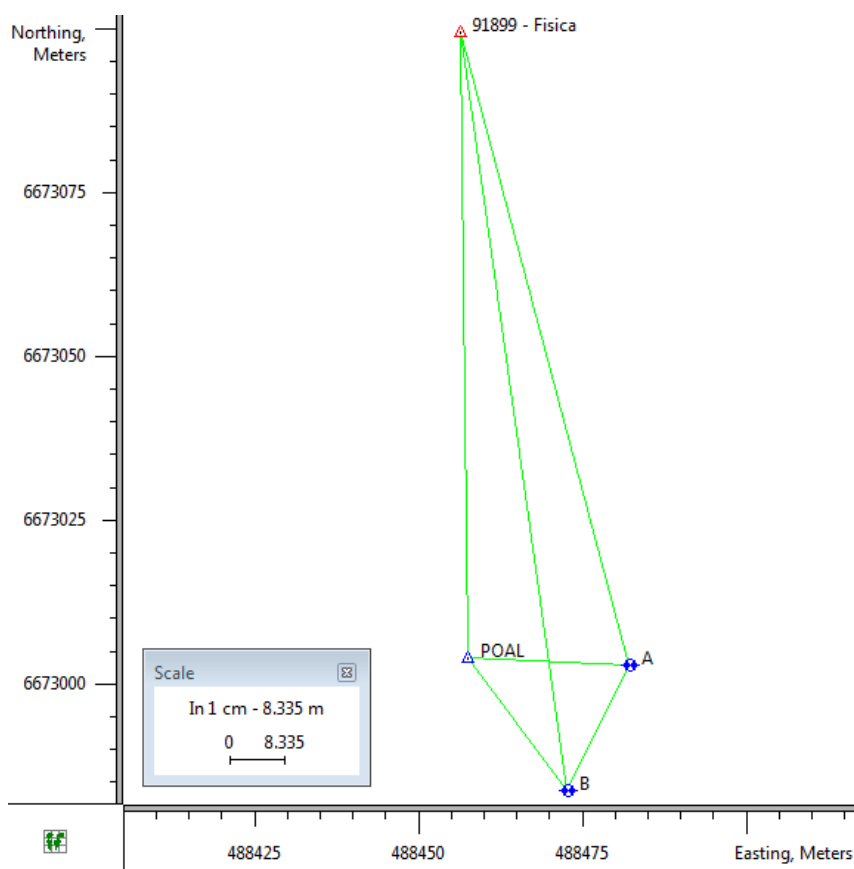


Figura 3-14 – Gráfico com localização dos pontos levantados



Figura 3-15 – Etapa de rastreo dos marcos

A estação total RTS 862R possui precisão angular de 2'' (segundos) e precisão linear com prisma de até 2 mm + 2 ppm e sem prisma de até 3 mm + 2 ppm.

Conforme Lopez-Cuervo (1996), o método de intersecção utilizado para calcular as coordenadas planimétricas dos alvos se baseia nas equações (5) e (6), conhecidas como fórmulas de Young. Neste método, primeiro estaciona-se o equipamento sobre um ponto com coordenadas conhecidas (A) para realizar observações angulares (α) entre outro ponto de coordenadas conhecidas (B) e o alvo (P). Em seguida, estaciona-se o equipamento sobre B para realizar observações angulares (β) entre a estação A e o alvo (P). O ângulo γ é obtido fazendo 360° subtraído pelo ângulo β . Por fim, determinam-se as coordenadas planimétricas do alvo aplicando as equações (5) e (6). As estações conhecidas devem estar posicionadas de acordo com a representação mostrada na Figura 3-16.

$$X_P = \frac{X_A \cdot ctg \gamma + X_B \cdot ctg \alpha - Y_A + Y_B}{ctg \alpha + ctg \gamma} \quad (5)$$

$$Y_P = \frac{Y_A \cdot ctg \gamma + Y_B \cdot ctg \alpha + X_A - X_B}{ctg \alpha + ctg \gamma} \quad (6)$$

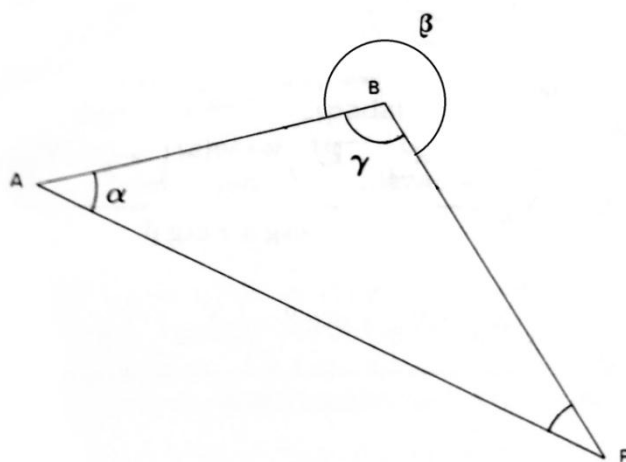


Figura 3-16 - Intersecção Direta. Fonte: Adaptado de Lopez-Cuervo, 1996.

Para o cálculo da coordenada altimétrica (Z) dos alvos a partir da base utilizou-se a equação (7), cujos elementos estão representados na Figura 3-17.

$$Z = Z_A + hi + DV \quad (7)$$

sendo:

Z : altura do alvo;

Z_A : altura da base A ;

hi : altura do instrumento;

DV : distância vertical.

O cálculo da distância vertical (DV) é dado por:

$$DV = DH \cdot \tan \phi \quad (8)$$

sendo:

DH : distância horizontal;

ϕ : ângulo vertical.

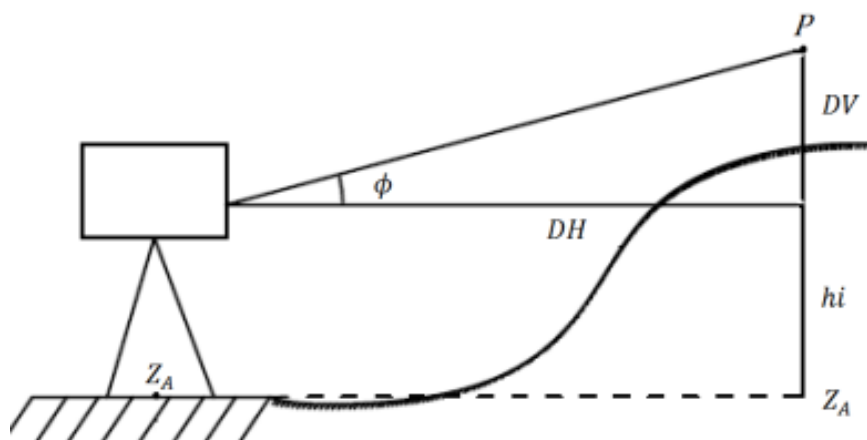


Figura 3-17 - Elementos do cálculo da coordenada Z.

O levantamento realizado com a estação total envolveu oito medições na posição direta e oito medições na posição inversa para cada alvo. Foi calculada a média para localizar o centro do alvo e também se mediu o centro pelo método da irradiação direta para realizar a comparação entre os dois métodos utilizados, o que também possibilitou verificar a presença de erros grosseiros. Eram considerados alvos com erro grosseiro aqueles cuja média obtida pela intersecção apresentasse diferença superior a 5 cm em relação à medida feita por irradiação direta. Os erros facilmente detectados foram corrigidos em escritório ou em campo, realizando-se novas medições. No caso em que não foi possível corrigi-los, as respectivas medições foram eliminadas.

O posicionamento GNSS pelo método relativo estático foi processado e ajustado no programa Topcon Tools, para a determinação dos pontos base A e B. Adotaram-se as coordenadas da base A na projeção UTM e determinou-se também por medições topográficas as coordenadas da estação base B. As medidas topográficas desconsideram a curvatura terrestre e estão isentas do coeficiente de deformação inerente às projeções cartográficas. Sendo assim, optou-se por determinar as coordenadas da base B utilizando a coordenadas UTM da base A, a média de uma série de medidas de distância topográfica entre A e B, e a direção entre as bases.

Para o cálculo da distância horizontal, foi realizada a média entre 20 medições executadas com estação total na posição direta e 20 na inversa da base A visando o prisma em B, e 12 medições executadas na posição direta e 12 na inversa da base B visando o prisma em A. A direção foi definida pelo azimute entre A e B utilizando suas coordenadas geodésicas determinadas pelo rastreo GNSS. O cálculo da coordenada altimétrica de B foi feito aplicando-se a equação (7), também utilizando a mesma série de medidas para a distância vertical. Não foram utilizadas diretamente as coordenadas de A e B em projeção UTM advindas do rastreo GNSS, pois se primou pela geometria interna do levantamento topográfico considerando-se que o objetivo era a calibração de câmaras.

3.5 LEVANTAMENTO FOTOGRAMÉTRICO AÉREO

3.5.1 Materiais

Para o Levantamento Fotogramétrico Aéreo foi utilizado o Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) de pequeno porte modelo Swinglet CAM, da senseFly. A aeronave possui 80 cm de envergadura (Figura 3-18), funciona com bateria e tem autonomia de voo de cerca de 30 minutos. O VANT é equipado com uma câmara digital, um receptor GNSS e um sistema inercial. A câmara digital modelo IXUS 220HS, da Canon, possui as seguintes características:

- Quadro focal: 4000 x 3000 *pixels*;
- Sensor: 6,16 x 4,62 mm;
- Tamanho do *pixel*: 1,54 μm ;
- Distância focal nominal: 4,3 mm (informação do arquivo digital da fotografia).

No sistema integrado GNSS e inercial, o inercial fornece as coordenadas tridimensionais próximas ao centro perspectivo e os ângulos de orientação da câmara no momento da tomada das fotografias, enquanto o receptor GNSS corrige

os efeitos de deriva inerentes ao sistema inercial. Esses dados são utilizados na etapa de fototriangulação.



Figura 3-18 – VANT utilizado no projeto. Fonte: SENSEFLY, 2013.

3.5.2 Planejamento

O sistema VANT possui um programa computacional que realiza os cálculos necessários para o plano de voo com base na escolha pelo usuário do tamanho do *pixel* no terreno ou GSD (*Ground Sample Distance*, na sigla em inglês) e na abrangência da área de interesse.

O GSD estipulado para a produção do mapa do parque foi de 7 cm. Apesar de ser possível alcançar um GSD de 3 cm, o que possibilitaria um mapa com maior detalhamento, devido ao curto tempo disponível para a execução de todas as etapas presentes neste trabalho, escolheu-se a resolução teórica de 7 cm. Com este valor, tem-se um número menor de fotografias a serem utilizadas, reduzindo o número de pontos de ligação necessários para a etapa de aerotriangulação. A Figura 3-19 apresenta um exemplo da tela do programa do sistema VANT com as faixas do segundo voo realizado e o painel de controle da aeronave.



Figura 3-19 - Tela do programa e-motion com painel de controles e faixas de voo do sistema VANT.

3.5.3 Execução

Em campo foram realizados os voos programados, sendo necessária a participação do piloto, do copiloto e de equipe de apoio. O piloto foi responsável pelo lançamento da aeronave, mantendo contato visual direto sempre que possível. Quando esse contato direto era perdido, a equipe de apoio localizada em posições estratégicas da passagem do VANT informava a situação por meio de rádio comunicador. O copiloto era responsável por observar o painel de controles da aeronave e as informações sobre a direção e velocidade do vento através do programa (Figura 3-20), além de executar os testes das atitudes do VANT e os comandos dados pelo piloto para a aterrissagem ou para abortar o voo em caso de algum problema. A velocidade do vento maior do que 6 m/s, por exemplo, consistia em um problema que forçava o retorno automático da aeronave.



Figura 3-20 – Copiloto na estação de controle montada no local do aerolevanteamento

3.5.4 Processamento dos dados

Em escritório, de posse das fotografias e dos dados de orientação exterior aproximados das estações de tomada das fotografias, passou-se para a etapa de

aerotriangulação. Foram utilizadas as fotografias de dois voos com tamanho teórico do *pixel* no terreno de 7 cm. As faixas dos voos foram obtidas na direção Leste-Oeste. O primeiro voo (partes norte e central da área de estudo), executado com altura média de 231 m, teve o GSD médio calculado de 8,28 cm, enquanto o segundo voo (parte sul do parque), executado com altura média de 191 m, teve o GSD médio calculado de 6,87 cm. Foram selecionadas 47 fotografias do primeiro voo e 22 do segundo. Essas fotografias correspondem aos limites da área de interesse, sendo descartadas aquelas que não contribuiriam com este trabalho. A escolha de dois voos diferentes foi necessária tendo em vista que nenhum deles recobria totalmente a área de interesse. A distribuição das fotografias aéreas e a localização dos pontos de apoio são mostradas na Figura 3-21.

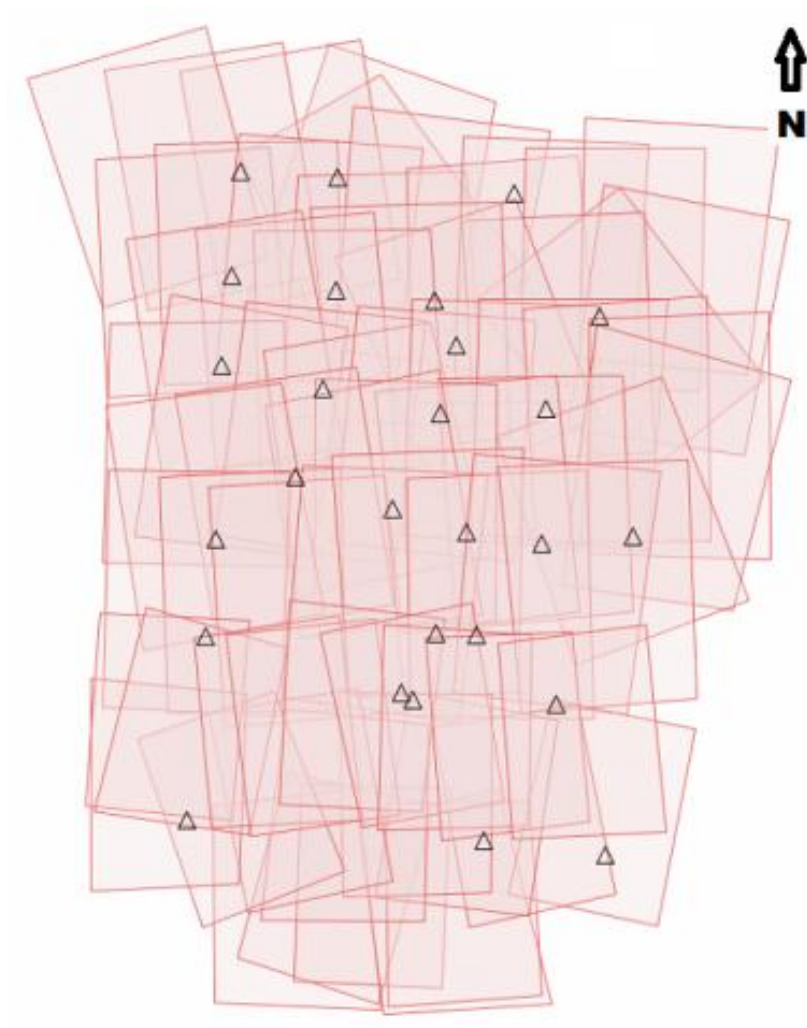


Figura 3-21 - Distribuição das fotografias aéreas e a localização dos pontos de apoio

3.5.5 Aerotriangulação

Foram utilizados os programas de Fotogrametria LPS e ORIMA, disponíveis através do programa principal ERDAS IMAGINE. Primeiramente, no LPS foi feita uma aerotriangulação aproximada, com a utilização de parâmetros de orientação interior nominais da câmara (distância focal nominal e deslocamento do ponto principal nulo), parâmetros aproximados de orientação exterior e medição de pontos de ligação e dos pontos de apoio levantados em campo. Através do ORIMA foi possível realizar a aerotriangulação com autocalibração bloco-variante para a obtenção dos parâmetros de orientação interior da câmara. No LPS, esses parâmetros foram inseridos e corretamente interpretados, diferentemente do que foi observado com os parâmetros advindos da calibração no programa CC.

Sabe-se que para esta etapa de aerotriangulação seriam necessários os parâmetros de orientação interior da câmara. Como a câmara utilizada pelo VANT é não-métrica e não havia sido calibrada anteriormente, procedeu-se a etapa de calibração dos parâmetros de orientação interior. Foi utilizado o programa CC (Calibração de Câmaras), introduzindo aos dados de orientação exterior inicial do voo e dos pontos de ligação e de apoio medidos nas fotografias através do programa LPS.

Foi necessária outra etapa de aerotriangulação com autocalibração, desta vez executada no programa Orima, depois de se verificar que os parâmetros de calibração da câmara do VANT obtidos pelo programa CC não estavam sendo corretamente interpretados pelo programa LPS. Isso foi observado pois não houve melhoria no erro médio quadrático em pixel (resultado da fototriangulação por feixes de raios do LPS) após a introdução desses parâmetros, que permaneceu com um valor acima de 3,0 pixels. Considerou-se que valor de 0,5 pixel deveria ser alcançado em virtude da propagação de erros que afetam os produtos gerados após a aerotriangulação. (restituição, MDT e ortofoto).

A questão de um valor alto para o erro médio quadrático pode estar associada a erros nas medidas de pontos de ligação, erros nos pontos de apoio, ou parâmetros de calibração inadequados. Quanto aos pontos de ligação, aqueles gerados automaticamente foram verificados, sendo eliminados ou corrigidos os que

apresentavam erros grosseiros. Os principais erros aconteceram em feições de telhados que possuíam padrões muito parecidos, e nas folhas das árvores, sendo estes últimos descartados. Os pontos de ligação e de apoio medidos manualmente também foram verificados e corrigidos se necessário.

Passou-se para uma fase de testes da aerotriangulação na tentativa de se solucionar o problema do não reconhecimento pelo programa dos parâmetros de orientação interior calibrados. A utilização de modelos com parâmetros adicionais de orientação interior disponíveis no LPS produziram resultados aceitáveis para a aerotriangulação, mais próximos de 0,5 pixel. Ao invés de se usar um desses modelos, resolveu-se calibrar a câmara com o programa Orima. Considerou-se que a calibração utilizando as fotografias do próprio aerolevante proporcionariam melhores resultados para a orientação interior e exterior em se tratando de uma câmara não-métrica, cuja estabilidade não é certificada.

A calibração no Orima foi realizada com um modelo que inclui 15 parâmetros adicionais (conforme representação encontrada no ANEXO B), sendo dois deles relacionados à afinidade e à não ortogonalidade do sensor, além da distância focal, das coordenadas do ponto principal e de parâmetros de distorção radial das lentes. Procedeu-se a calibração bloco-variante com todas as fotografias do aerolevante, com o objetivo de se determinar quais parâmetros eram significativos. A análise foi feita comparando-se os valores calibrados com os respectivos desvios-padrões resultantes dos ajustamentos. O parâmetro era considerado significativo quando o a sua precisão representasse cerca de 1/3 de seu valor. A análise de um parâmetro por vez começou pela ordem contrária da sequência de parâmetros apresentada no programa, sendo fixados aqueles considerados não significativos. A cada parâmetro não significativo (fixado), realizava-se um novo ajustamento, até a obtenção do conjunto final de parâmetros de orientação interior definitivos da câmara.

3.5.6 Restituição

Após a calibração e obtenção dos parâmetros de orientação interior definitivos da câmara utilizada no aerolevante, procedeu-se a aerotriangulação

definitiva, obtendo-se a orientação exterior das fotografias. De posse dos parâmetros de orientação exterior, iniciou-se a etapa de restituição das feições de interesse.

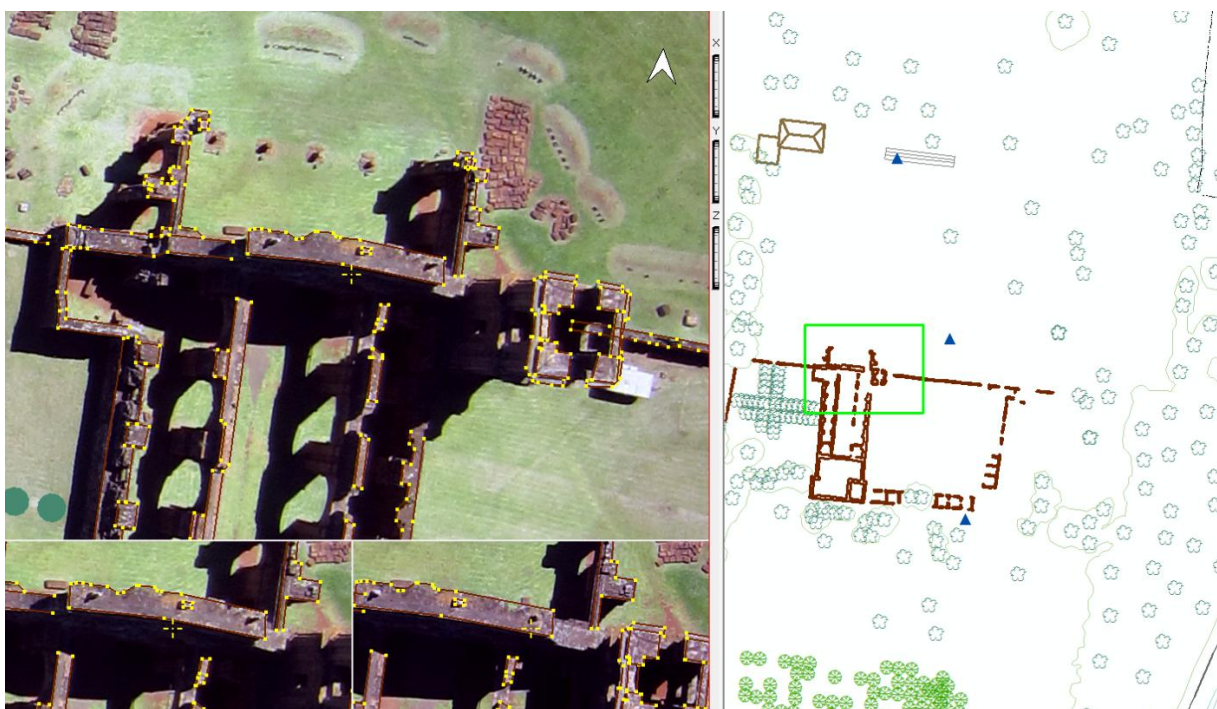


Figura 3-22 - Restituição - Estereoscopia

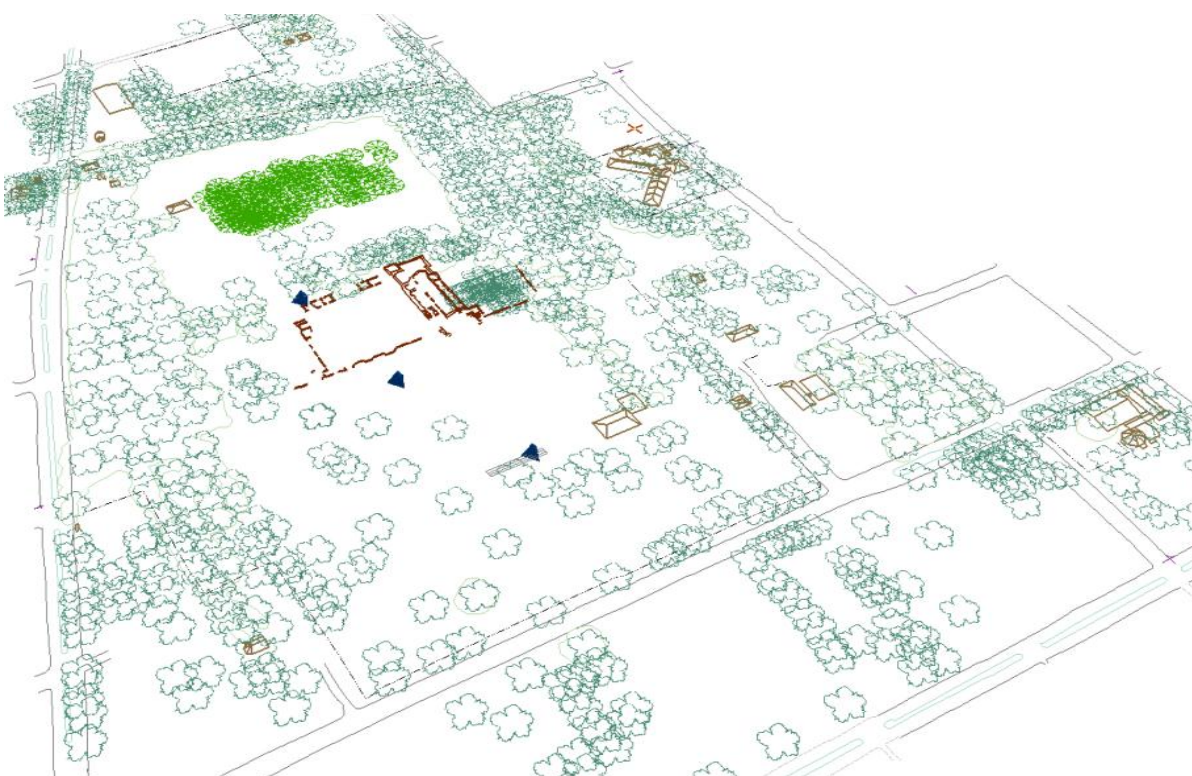


Figura 3-23 – Representação em perspectiva das feições restituídas em formato vetorial

A restituição foi realizada na estação fotogramétrica digital, através da extensão Stereo Analyst do programa computacional ArcGis (Figura 3-22), que proporciona a extração de feições em estereoscopia. As feições restituídas incluem as ruínas da igreja, edificações pertencentes ao parque, edificações vizinhas ao parque, arruamento, árvores isoladas e mancha de vegetação. A Figura 3-23 apresenta as feições restituídas em formato vetorial da área de estudo, através de uma visão em perspectiva.

3.5.7 Modelo digital de terreno

Com a etapa de extração de feições concluídas, passou-se para a geração e edição do MDT. O MDT foi gerado com espaçamento planimétrico de 8 m, equivalendo a aproximadamente 100 vezes o GSD informado pelo programa, lembrando que o GSD teórico era de 7 cm. Valores menores de espaçamento foram testados, gerando um número muito superior de pontos a serem editados, principalmente em edificações e vegetação. Considerou-se o espaçamento utilizado como suficiente para a definição do terreno, visto que não apresentava variações acentuadas de declividade. Para a geração do MDT foram considerados todos os pontos de ligação e de apoio advindos da aerotriangulação.

A edição do MDT foi realizada eliminando-se pontos que definiam a altitude de edificações, árvores e outras feições, deixando apenas as feições que definiam a topografia do terreno. A Figura 3-24 apresenta um exemplo da tela do programa utilizado para a edição do MDT, onde é possível observar os pontos gerados (na cor azul), a grade irregular TIN (triângulos) e as curvas de nível (nas cores laranja e amarelo). A etapa de edição não foi finalizada neste trabalho.

Após a edição do MDT, as curvas de nível foram geradas, considerando-se uma equidistância de 1 m. Também foi obtida uma imagem que contém em cada *pixel* a informação de altitude correspondente à sua posição no terreno, ou seja, trata-se de uma forma matricial de representação do MDT. A imagem com os dados de altimetria grada a partir do MDT e as curvas de nível estão representadas na Figura 3-25.



Figura 3-24 - Edição do MDT

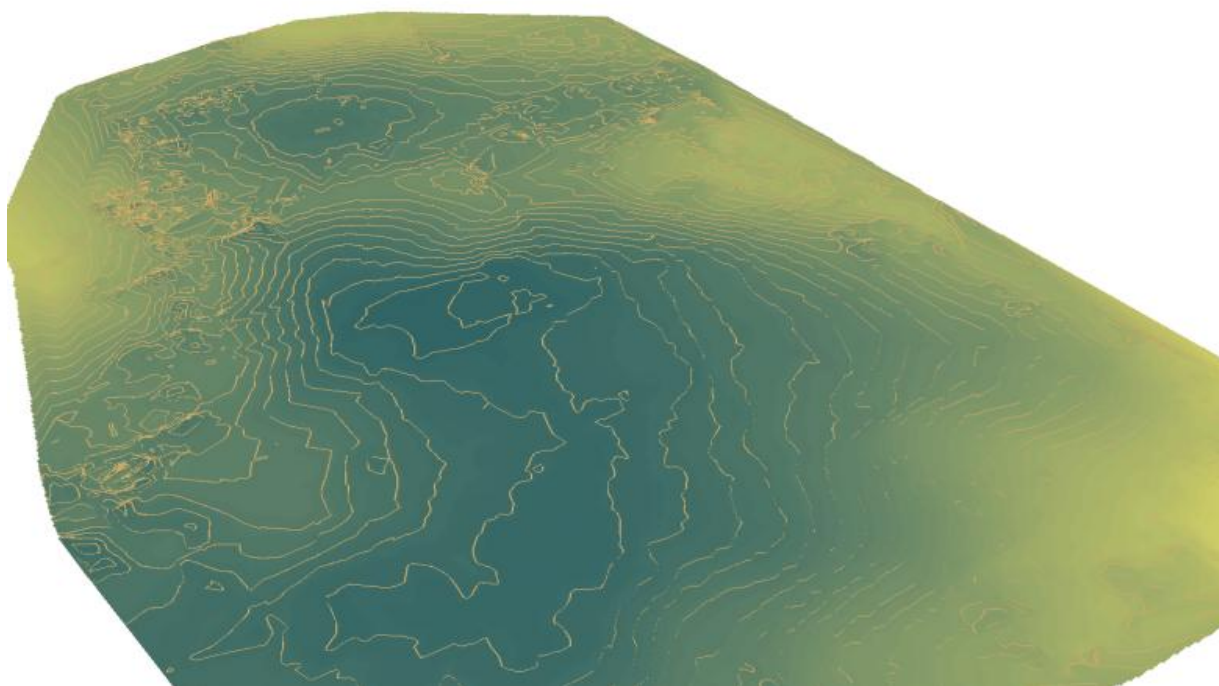


Figura 3-25 - Representação matricial do MDT e curvas de nível

3.5.8 Ortofoto

Com o modelo digital do terreno foi possível a geração de um mosaico de ortofotos de toda a área mapeada, ou seja, um ortofotomosaico



Figura 3-26 - Ortofoto da área de estudo

. O resultado inicial apresentou grande contraste entre fotografias adjacentes devido às diferenças de exposição no momento da tomada dessas fotos. Finalmente foi aplicado um filtro de iluminação geral para todas as fotografias, produzindo o mosaico definitivo com resultado satisfatório. A Figura 3-26 apresenta a ortofoto gerada. Como produto cartográfico também foi gerada uma ortofotocarta que se encontra no ANEXO J.

3.6 LEVANTAMENTO FOTOGRAMÉTRICO TERRESTRE

3.6.1 Materiais

Para o Levantamento Fotogramétrico Terrestre foi utilizada a câmara fotográfica não métrica modelo Xsi (450D), da Canon, e uma objetiva fixa. As especificações da câmara e da lente são:

- Quadro focal: 4272 x 2848 *pixels*;
- Sensor: 22,2 x 14,8 mm;
- Tamanho do *pixel*: 5,2 μm ;
- Distância focal nominal: 20,0 mm.

3.6.2 Planejamento

Na etapa inicial de planejamento considerou-se uma distância de 35 m entre a câmara e as fachadas das ruínas da igreja. Esse valor foi pensado de modo a capturar toda a torre da igreja (cerca de 20 m de altura) em uma única fotografia na posição horizontal. Um menor número de fotografias reduziria o tempo necessário para a fototriangulação e demais etapas necessárias para a geração do modelo tridimensional. O tamanho do *pixel* para essa distância corresponderia a 9 mm. A precisão relativa recomendada para a documentação de edificações especificamente para o patrimônio histórico é de 10 mm até 25 mm (LETELLIER, 2007, p. 38), ou seja, a diferença entre uma medida feita através de fotogrametria deve ter erro máximo de 25 mm em relação à medida dita verdadeira. Considerando

que o erro esperado na etapa de fototriangulação seria de 0,5 *pixel* e na etapa de restituição de 3 *pixels*, a precisão do levantamento fotogramétrico terrestre seria teoricamente de 3,5 *pixels*, o que corresponderia a 31,5 mm. Outros erros estariam envolvidos, provocando um afastamento maior em relação ao recomendado.

3.6.3 Execução

Para diminuir o erro previsto e se aproximar do erro de referência estipulado, a distância observada na prática em campo entre a câmara e as fachadas foi menor que a planejada.

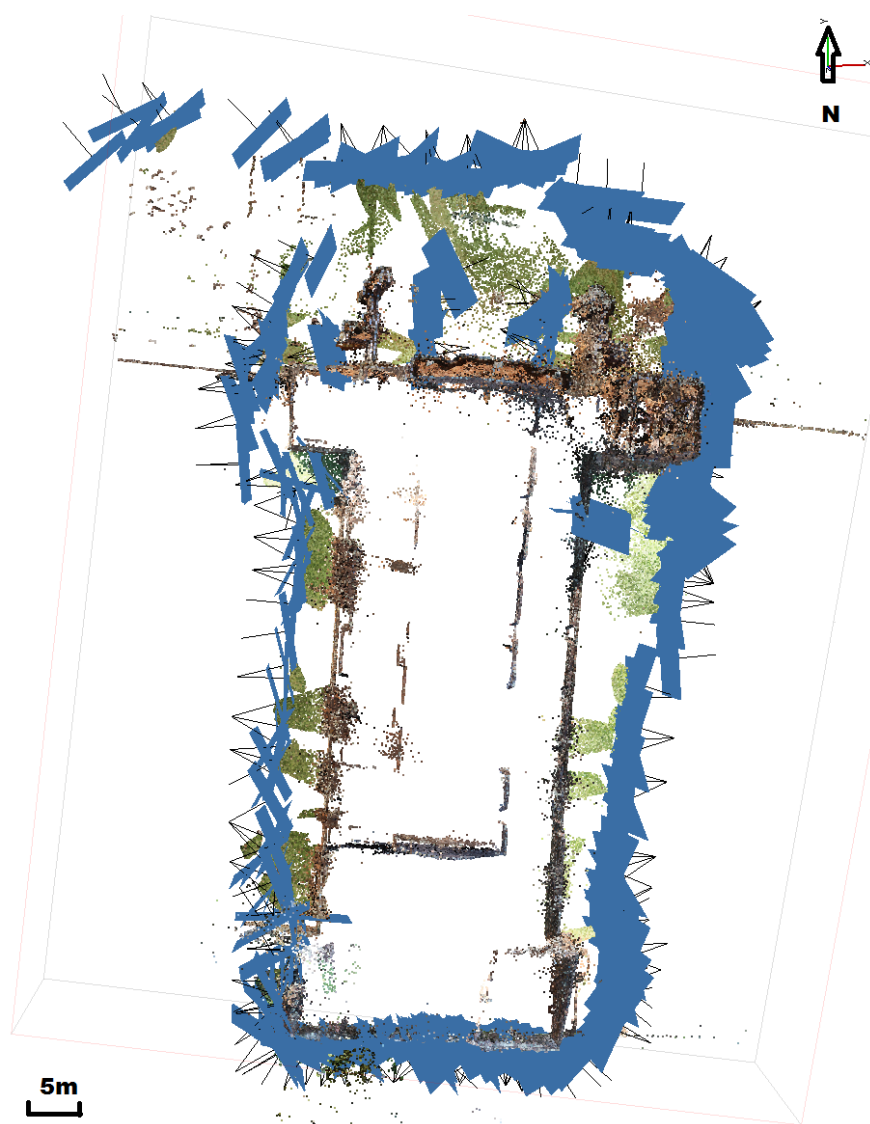


Figura 3-27 - Estações de tomada de fotografias terrestres

Foi necessário fotografar as partes mais altas (fachada norte e torre) com mais de uma fotografia horizontal (posição paisagem), além de realizar tomadas com a câmara na vertical (posição retrato). A distância entre a estação de tomada de fotografias e a fachada norte da igreja foi de aproximadamente 25 m, proporcionando um GSD de cerca de 6,5 mm. Para as demais fachadas a distância foi de aproximadamente 8 m, com GSD de 2,08 mm. A Figura 3-7 apresenta a disposição das tomadas das fotografias nas ruínas de São Miguel Arcanjo. As estações de exposição (em azul) estão representadas de acordo com as suas orientações exteriores, ou seja, posição e ângulos de rotação. É possível observar nesta figura as linhas pretas conectadas às fotografias, representando o eixo óptico da lente.

Buscou-se fotografar as fachadas norte e oeste a partir das 10h até às 12h, devido a uma maior iluminação natural nesse horário, enquanto as fachadas sul e oeste seriam mais bem iluminadas a partir das 14h, embora a fachada sul apresentasse maior carência de iluminação devido à grande quantidade de árvores no local.

A abertura da lente utilizada foi de $f/16$, o que torna a objetiva mais fechada, possibilitando uma grande profundidade de campo. Utilizou-se o foco no modo manual, deslocado para a posição de infinito para evitar que a distância focal variasse e para que toda a cena fotografada estivesse em foco. A câmara foi utilizada com prioridade de abertura, ou seja, esta foi mantida constante, enquanto o tempo de exposição era calculado pela câmara levando em consideração a iluminação medida em cada cena. Em todas as fotografias a câmara esteve apoiada em tripé para evitar movimentos, que são mais facilmente observados em cenas mais escuras, em que o tempo de exposição necessário é mais longo do que em cenas bem iluminadas.

3.7 CALIBRAÇÃO DA CÂMARA TERRESTRE

Para a calibração da câmara terrestre utilizando o campo de calibração foram necessárias a etapa de planejamento da tomada de fotografias, a medição

das fotocoordenadas e o processamento das informações nos programas de calibração.



Figura 3-28 - Fotografias utilizadas na calibração da câmara terrestre

O planejamento da tomada de fotografias foi considerando o método de câmaras das convergentes e rotacionadas em relação ao eixo óptico da lente em 0° , 90° , 180° e 270° . Calculou-se a distância mínima que produziria fotografias corretamente focalizadas. O cálculo foi feito considerando a distancia hiperfocal hf , dada pela Equação (9), pela qual um objeto que estiver localizado entre a metade da distância hiperfocal até o infinito estará focalizado. Este valor varia com a abertura da lente ($fstop$), a distância focal (f) e o tamanho do pixel (r) no sensor. Considerando os dados da câmara para um $fstop$ igual a 4, a distância hiperfocal calculada foi de 19,25m. Foram tomadas fotografias nessa distância, bem a cerca de 10 m do campo de calibração, que equivale a pouco mais da metade da distância hiperfocal.

$$hf = \frac{f^2}{f_{stop.r}} + f \quad (9)$$

A medição das fotocoordenadas foi realizada no programa PhotoScan, sendo estas medidas também utilizadas para a calibração processada no programa CC. A Figura 3-28 apresenta quatro fotografias de um total de 24 utilizadas na calibração da câmara terrestre. A Figura 3-29 apresenta o modelo texturizado do campo de calibração gerado no PhotoScan e as posições e rotações da câmara durante a tomada de fotografias (em azul). Os pontos numerados correspondem aos pontos de apoio medidos.

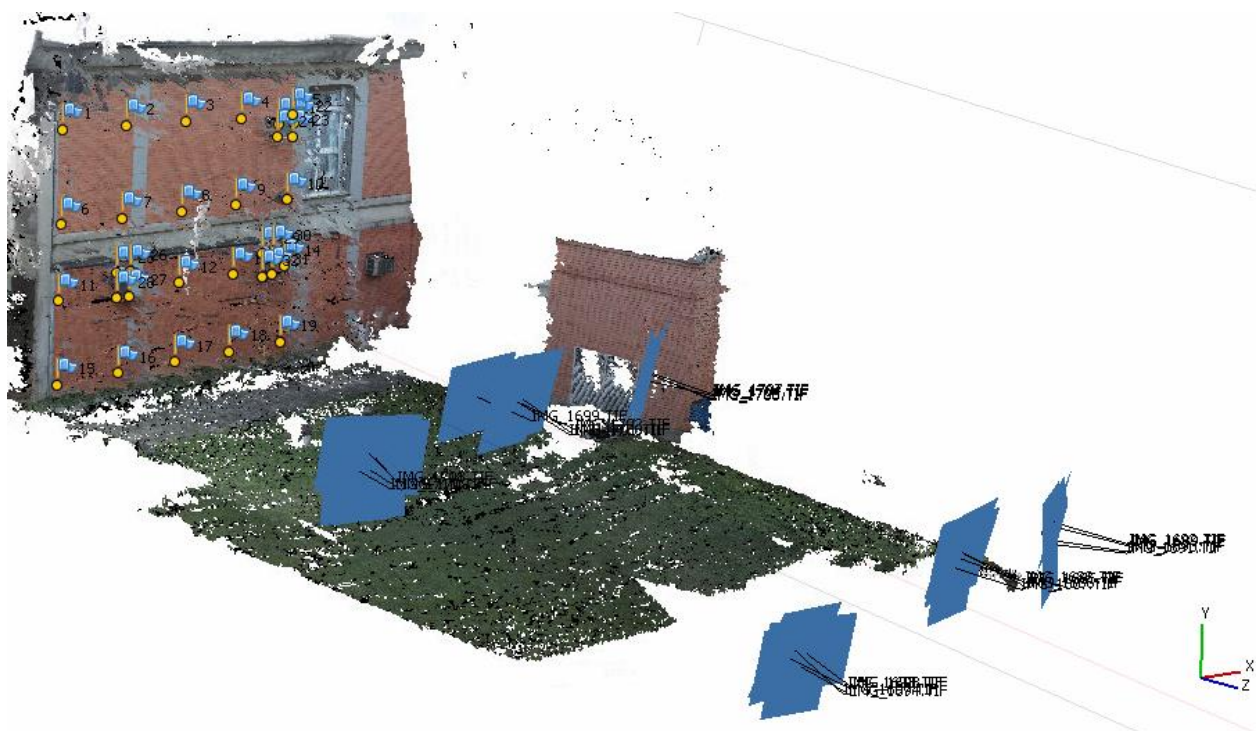


Figura 3-29 – Posições e rotações da câmara na tomada de fotografias.

3.8 CONTROLE DE QUALIDADE

Neste trabalho as etapas de aerotriangulação e restituição foram submetidas a testes de qualidade para a determinação do erro contido em cada uma delas. Para que estes erros fossem minimizados, buscou-se minimizar também os erros inerentes às várias etapas envolvidas no processo de geração do mapa através da

observância de cuidados nos levantamentos geodésicos, topográficos e fotogramétricos.

As verificações da completude, da consistência lógica e da simbologia no produto cartográfico final (conforme seção 2.5) também são fundamentais para a avaliação da qualidade do mapa. Este controle deverá ser realizado em trabalhos futuros.

O controle de qualidade da altimetria, que é aplicado no MDT e nas curvas de nível, também não foi executado. Os dados de altimetria submetidos à análise de qualidade correspondem à coordenada de elevação obtida na etapa de aerotriangulação.

Para a verificação da exatidão posicional de um mapa digital, compararam-se feições existentes no mapa com a posição da feição no terreno. Conforme Rocha (2002), na impossibilidade de se testar todos os pontos registrados no mapa, utiliza-se uma amostra destes pontos com tamanho suficiente para representar, dentro de um nível de aceitação, a população envolvida.

O tamanho da população para um mapa digital é calculado a partir da quantidade de informações cartografadas no mapa. O tamanho da população calculada para este trabalho corresponde a 3735 pontos correspondentes aos vértices das feições restituídas.

O cálculo do tamanho da amostra foi realizado com base na aplicação da Equação (10), apresentada em Pereira (1978) e Rocha (2002), onde podem ser encontradas maiores informações a respeito das variáveis envolvidas. Através desta equação, se determina o tamanho mínimo da amostra para uma população finita ao se estimar a média amostral μ com um erro relativo εr , considerando um intervalo de confiança Z . Geralmente se adota $Z = 1,96$, que corresponde à probabilidade de 95%.

$$n = \frac{Z^2 \gamma^2 N}{(N - 1) \varepsilon r^2 + Z^2 \gamma^2} \quad (10)$$

onde:

n = tamanho da amostra;

Z = intervalo de confiança;

N = tamanho da população;

$\gamma = \sigma / \mu$, sendo:

σ = desvio-padrão amostral;

μ = média amostral;

$\varepsilon r = \varepsilon / \mu$ (erro amostral relativo), sendo:

ε = erro amostral máximo permitido.

A relação entre o desvio-padrão amostral σ e a média amostral μ , representada por γ , foi planejada para que resultasse em 1/3, ou seja, o desvio-padrão deve ser três vezes menor do que a média. O valor esperado para a média μ levou em consideração a propagação de estimativas iniciais de erros envolvidos nas etapas do posicionamento GNSS (3 cm), da aerotriangulação (7 cm, correspondente ao GSD) e da restituição (21 cm, correspondente a três vezes o GSD). Tem-se, portanto:

$$\mu = \sqrt{(3cm)^2 + (7cm)^2 + (21cm)^2} = 22,3 \text{ cm}$$

Constatou-se que este valor era próximo ao padrão de exatidão cartográfica para produtos digitais na escala 1:1000, que é de 28 cm, sendo este o valor final adotado para μ .

O valor considerado para o erro amostral εr foi de 10%, sendo esta a tolerância para o erro amostral em relação à média amostral esperada. Portanto, fazendo $\sigma = 9$ cm, a relação γ resulta em aproximadamente 1/3. Para se chegar à tolerância estipulada εr de 10%, faz-se $\varepsilon = 3$ cm, que é aproximadamente 1/10 do valor da média amostral.

Com a aplicação desses valores na Equação (10), e fazendo $Z= 1,96$ e $N= 3735$, chegou-se ao resultado de 34 amostras mínimas necessárias para o controle de qualidade do aerolevante. Como nem todos os pontos de checagem da aerotriangulação podem ser utilizados para o controle da restituição, o número de pontos efetivamente medidos foi superior, conforme seção 4.1.4.

Considerando-se uma área retangular envolvendo os pontos a serem testados na área de estudo, para se obter uma distribuição ideal que garanta a qualidade geométrica do mapeamento a ser analisado, pelo menos 20% dos pontos devem estar presentes em cada quadrante (ROCHA, 2002).

3.9 CRONOGRAMAS FÍSICO E FINANCEIRO

3.10 CRONOGRAMA FÍSICO

O trabalho foi executado nas 25 etapas descritas abaixo, cujo cronograma físico correspondente encontra-se na Tabela 3-1, na qual as etapas realizadas em campo são destacadas na cor verde e as etapas de escritório na cor azul.

1. Revisão teórica;
2. Reconhecimento e determinação dos locais onde serão implantados os marcos de referência;
3. Implantação dos marcos geodésicos;
4. Levantamento dos marcos geodésicos;
5. Implantação da sinalização dos pontos de apoio para o levantamento fotogramétrico aéreo;
6. Levantamento dos pontos de apoio para o levantamento fotogramétrico aéreo;
7. Execução do voo com o sistema VANT;
8. Processamento do pontos de apoio e dos marcos geodésicos, e geração do relatório de monumentação dos marcos;
9. Implantação do campo de calibração de câmaras;
10. Aerotriangulação das fotografias do sistema VANT;
11. Restituição da base cartográfica a partir das fotografias aéreas;

3.11 CRONOGRAMA FINANCEIRO

Com o intuito de se comparar o valor cobrado para uma empresa que executaria este mesmo trabalho e o investimento da universidade, foram gerados os respectivos cronogramas financeiros apresentados na Tabela 3-2 e na Tabela 3-3. Observa-se que a diferença entre os valores totais é de R\$ 262.503,56. Não foram contemplados no custo da universidade os valores de combustível e diária (hospedagem e alimentação).

Tabela 3-2 - Cronograma financeiro considerando uma empresa executora

Descrição	Qty	Preço unitário (R\$)	Prazo de vida útil	Taxa anual de depreciação	Depreciação anual (R\$)	Depreciação mensal (R\$)	Serviço em 6 meses (R\$)
Câmaras fotográficas	2	3.808,68	5	0,20	1.523,47	126,96	761,74
VANT de pequeno porte	1	33.921,00	10	0,20	6.784,20	565,35	3.392,10
Receptores GNSS	3	40.000,00	5	0,20	24.000,00	R\$2.000,00	12.000,00
Estação Total	1	25.000,00	5	0,20	5.000,00	416,67	2.500,00
Estação Fotogramétrica	2	15.000,00	5	0,20	6.000,00	500,00	3.000,00
Prisma	2	1.000,00	5	0,20	400,00	33,33	200,00
Baliza	2	800,00	5	0,20	320,00	26,67	160,00
Mouse 3D	2	16.000,00	5	0,20	6.400,00	533,33	3.200,00
Pacote de softwares Fotogramétricos	1	96.616,00	5	0,20	19.323,20	1.610,27	9.661,60
Pacote de softwares Modelagem 3D	1	60.200,00	5	0,20	12.040,00	1.003,33	6.020,00
Veículo	1	30.000,00	5	0,20	6.000,00	500,00	3.000,00
Prancheta	3	10,00					30,00
Caneta	5	0,50					2,50
Piquete	20	0,50					10,00
Parafusos	30	1,00					30,00
Uniforme	5	30,00					150,00
Alvos Calibração	20	150,00					3.000,00
Combustível (litros)	1050	3,00					3.150,00
Alimentação	60	60,00					3.600,00
Hospedagem	60	100,00					6.000,00
Engenheiro Cartógrafo	1	6.000,00					36.000,00
Topógrafo	1	3.000,00					18.000,00
Auxiliar Topografia	1	900,00					5.400,00
Restituidor	1	4.000,00					24.000,00
Técnico em edição	1	1.500,00					9.000,00

Secretária	1	900,00					5.400,00
Aluguel Sala	1	1.200,00					7.200,00
Energia Elétrica	1	300,00					1.800,00
Água	1	100,00					600,00
Telefone	1	300,00					1.800,00
Internet	1	200,00					1.200,00
Contábil	1	500,00					3.000,00
Jurídico	1	500,00					3.000,00
TOTAL DOS CUSTOS							176.267,94
IMPOSTOS (65%)							53.903,97
LUCRO (30%)							52.880,38
TOTAL GERAL							283.052,28

Tabela 3-3 - Materiais da UFRGS utilizados no trabalho

Descrição do material	Qtd	Origem	Investimento (R\$)		Taxa de depreciação Anual	Depreciação Anual	Depreciação Mensal	Uso no projeto (meses)	Custo do material no projeto
			Unid.	Total					
Câmara fotográfica e acessórios/ Canon Rebel Xsi	2	Projeto CNPq (482409/2007-0)	3808,68	7617,36	20%	1.523,47	126,96	1	126,96
VANT de pequeno porte	1	Projeto REUNI	33.921	33.921	35%	11.872,35	989,36	1	989,36
Receptores GNSS Topcon GR3	2	Projeto REUNI	90.000	180.000	10%	18.000	1.500	2	3.000
Receptores GNSS Topcon Hiper Lite	2	Projeto REUNI	36.000	72.000	10%	7.200	600	2	1.200
Estação Total Topcon 7500	2	Projeto REUNI	46.000	92.000	12%	11.040	920	2	1.840
Prismas e balizas	4	Projeto REUNI	3.000	12.000	12%	1.440	120	2	240
Estações Fotogramétricas	3	Projeto REUNI	15.272	45.816	20%	9.163,20	763,6	3	2.290,80
Topomouse	3	Projeto REUNI	8.000	24.000	20%	4.800	400	3	1.200
Pacote Educacional ERDAS LPS	1	Projeto REUNI	96.616	96.616	20%	19.323,20	1.610,27	6	9.661,60
TOTAL				563.970,36		84.362,22	7.030,19	19	20.548,72

4 RESULTADOS E ANÁLISES

4.1 LEVANTAMENTO GEODÉSICO

4.1.1 Rede Geodésica Local

As coordenadas dos marcos geodésicos M01, M02 e M03 encontram-se listadas na Tabela 4-1, juntamente com os respectivos desvios-padrões. Os memoriais descritivos dos marcos pertencentes à rede geodésica local encontram-se no ANEXO A, contendo as coordenadas planas (N, E), geodésicas (latitude e longitude) e cartesianas tridimensionais (X, Y, Z), bem como a altitude geométrica (h) e a ortométrica (H) obtida com o MAPGEO2010. Os relatórios de ajustamento das observações, contendo o tempo de rastreio, as distâncias entre os pontos e o croqui de localização referentes a cada marco encontram-se no ANEXO B.

Tabela 4-1 - Coordenadas e desvios-padrões dos marcos pertencentes à rede geodésica local

Marco Geodésico	Este (m)	Norte (m)	Altitude geométrica (m)	Desvio-Padrão Este (m)	Desvio-Padrão Norte (m)	Desvio-Padrão Altitude geométrica (m)	Desvio-Padrão Planimétrico (m)
M01	739181,178	6839808,538	309,371				
M02	739213,468	6839697,503	309,606	0,001	0,001	0,004	0,001
M03	739222,622	6839586,332	310,652	0,001	0,001	0,002	0,001

De acordo com o relatório do marco principal M01, o tempo mais longo de rastreio foi de 7 horas e 22 minutos, e a maior distância observada foi de 374,170 km, entre o M01 e POAL. Este tempo está de acordo com a recomendação apresentada na Tabela 2-1 para linhas de base maiores que 100km, em que o tempo mínimo é de 4 horas. Para este caso, se prevê uma precisão em planimetria de 5mm + 1ppm, o que corresponderia a 37,9 cm. O resultado para a precisão em planimetria do marco M01 após o processamento e o ajustamento da rede foi de 1,5 cm, ou seja, cerca de 25 vezes menor que a previsão, indicando a qualidade do

posicionamento geodésico relativo estático, mesmo com a utilização de bases longas.

4.1.2 Pontos de apoio do levantamento fotogramétrico aéreo

Como dito na seção 3.4.2, para a determinação das coordenadas dos pontos de apoio que não puderam ser pós-processados, optou-se por calcular a média das translações obtidas pela diferença entre as coordenadas GNSS RTK e as coordenadas pós-processadas dos pontos de apoio cujas observações foram gravadas nos receptores.

A Tabela 4-2 apresenta a média das translações dos rastreios GNSS RTK e pós-processados dos pontos de apoio (PA) com base no M01 e no M02, comparadas com a simples diferença entre as coordenadas arbitradas para cada marco e suas respectivas coordenadas fixas.

Tabela 4-2 - Valores de translação para pontos de apoio e marcos geodésicos

Data do rastreio	Translação calculada entre:	Translação Este (m)	Translação Norte (m)	Translação em h (m)
28/02	M01 arbitrado e M01 fixo	-0,463	0,759	-2,024
28/02	PA base M01 - RTK e Pós-Processado	-0,464	0,758	-2,020
01/03	M02 arbitrado e M02 fixo	0,259	2,399	4,027
01/03	PA base M02- RTK e Pós-Processado	0,259	2,399	4,025

Observa-se pela Tabela 4-2 que tanto para os rastreios com base em M01 ou em M02 as translações dos pontos de apoio (GNSS método RTK e pós-processados) são compatíveis com as translações obtidas pela diferença entre coordenadas arbitradas e fixas. A compatibilidade indicou que uma translação poderia ser aplicada a todos os pontos obtidos pelo método RTK cujos dados não foram gravados no receptor. Este foi o procedimento adotado.

Com o objetivo de se comparar as coordenadas dos pontos de apoio medidos com GNSS método RTK e as suas correspondentes pós-processadas, alguns dos pontos foram rastreados duas vezes. A primeira com o tempo em que o

receptor informava uma solução fixa pelo método RTK de acordo com a precisão informada (planimétrica de 2 mm e altimétrica de 4 mm), e a segunda com o tempo de 10 minutos. Constatou-se que o tempo médio de determinação da solução fixa pelo método RTK ficou em torno de 30 segundos.

Para a comparação, as coordenadas obtidas pelo método RKT tiveram de ser deslocadas com valores da simples translação da respectiva base arbitrada para a base fixa. Como dois dos quatro rastreios foram gravados nos receptores, só foi possível comparar quatro pontos de apoio. A comparação é mostrada na Tabela 4-3, onde as coordenadas pós-processadas estão identificadas pelo nome do ponto seguida do sufixo “_10MIN”, indicando o tempo de rastreio de 10 minutos. Observe-se que não houve diferença significativa entre as coordenadas obtidas pelos diferentes métodos, sendo de 6 mm a maior diferença, referente à altitude do ponto 5006.

Tabela 4-3 - Comparação entre coordenadas obtidas pelo método RTK e com pós-processamento

Ponto	Este (m)	Norte (m)	Altitude geométrica (m)
5006	739169,074	6839946,360	306,664
5006_10MIN	739169,078	6839946,362	306,670
DIFERENÇA	0,004	0,002	0,006
5008	739392,994	6839922,800	309,518
5008_10MIN	739392,996	6839922,799	309,519
DIFERENÇA	0,002	-0,001	0,001
5019	739211,820	6839630,778	309,818
5019_10MIN	739211,821	6839630,777	309,817
DIFERENÇA	0,001	-0,001	-0,001
5011	739198,440	6839884,444	308,149
5011_10MIN	739198,440	6839884,446	308,146
DIFERENÇA	0,000	0,002	-0,003

As coordenadas definitivas dos pontos de apoio levantadas com posicionamento GNSS pelo método RTK e transladas ou pós-processadas são

apresentadas na Tabela 4-4, juntamente com as precisões em planimetria e altimetria. Estão presentes todos os pontos de apoio levantados, entretanto alguns destes não foram utilizados na etapa de aerotriangulação devido à incerteza de sua localização nas fotografias aéreas.

Tabela 4-4 - Coordenadas e desvios-padrões dos pontos de apoio do aerolevanteamento

Ponto	Este (m)	Norte (m)	Altitude geométrica (m)	Desvio-Padrão Este (m)	Desvio-Padrão Norte (m)	Desvio-Padrão Altitude geométrica (m)	Desvio-Padrão Planimétrico (m)
5001	738903,435	6840121,807	291,676	0.0004	0.0004	0.0008	0.0005
5002	739037,025	6840113,705	295,154	0.0013	0.0014	0.0032	0.0020
5003	739277,846	6840090,400	302,299	0.0014	0.0014	0.0026	0.0020
5004	738891,633	6839979,003	299,286	0.0014	0.0012	0.0031	0.0019
5005	739034,535	6839960,124	303,469	0.0010	0.0010	0.0030	0.0020
5006	739169,078	6839946,362	306,670	0.0010	0.0010	0.0030	0.0020
5007	739255,747	6839936,983	308,735	0.0020	0.0010	0.0050	0.0020
5008	739392,996	6839922,799	309,519	0.0020	0.0010	0.0040	0.0020
5009	739036,424	6839941,048	303,690	0.0050	0.0060	0.0140	0.0080
5010	739023,130	6839873,616	304,963	0.0070	0.0060	0.0190	0.0090
5011	739198,440	6839884,446	308,146	0.0020	0.0020	0.0030	0.0030
5012	738878,964	6839856,537	300,555	0.0004	0.0003	0.0008	0.0005
5013	739016,038	6839824,560	305,747	0.0003	0.0004	0.0008	0.0005
5014	739175,502	6839792,236	308,573	0.0005	0.0006	0.0013	0.0008
5015	739320,389	6839796,667	308,292	0.0080	0.0080	0.0140	0.0110
5016	738870,267	6839619,801	293,527	0.0015	0.0013	0.0023	0.0020
5017	738979,857	6839704,013	305,428	0.0004	0.0004	0.0007	0.0005
5018	739112,168	6839660,981	309,145	0.0015	0.0012	0.0025	0.0020
5019	739211,821	6839630,777	309,817	0.0020	0.0020	0.0030	0.0030
5020	739313,882	6839614,943	309,648	0.0004	0.0004	0.0007	0.0005
5021	739439,222	6839623,591	303,212	0.0030	0.0030	0.0100	0.0040
5022	738857,543	6839488,051	296,729	0.0014	0.0013	0.0034	0.0019
5023	739170,523	6839492,792	305,109	0.0013	0.0015	0.0028	0.0020
5024	739225,654	6839490,054	307,697	0.0004	0.0004	0.0008	0.0005
5025	739122,813	6839411,358	300,555	0.0014	0.0014	0.0029	0.0020
5026	739138,470	6839401,768	300,907	0.0004	0.0003	0.0008	0.0005
5027	739333,337	6839395,421	299,736	0.0020	0.0020	0.0050	0.0030
5028	738830,929	6839237,801	295,427	0.0015	0.0013	0.0033	0.0020
5029	739235,984	6839209,200	302,503	0.0060	0.0060	0.0200	0.0080
5030	739400,368	6839190,982	292,290	0.0030	0.0030	0.0110	0.0050

4.1.3 Pontos de apoio do levantamento fotogramétrico terrestre

Para a determinação dos pontos de apoio do levantamento fotogramétrico terrestre foram executados os levantamentos topográfico e por posicionamento GNSS das estações pertencentes à poligonal de apoio. As coordenadas dessas estações obtidas por Topografia e por GNSS tiveram como ponto comum o marco M01, amarrando o sistema topográfico local ao sistema de projeção UTM. Desta forma as coordenadas topográficas têm valores próximos àqueles em projeção, e serão identificadas neste trabalho como coordenadas topográficas locais UTM aproximadas. Esses valores não são iguais devido ao fator de escala característico dos sistemas de projeção, que altera as medidas de distância observadas em campo. As coordenadas obtidas por Topografia foram calculadas e ajustadas no programa Topcon Tools e são apresentadas na Tabela 4-5, juntamente com os desvios-padrões. O relatório do ajustamento encontra-se no ANEXO C.

Tabela 4-5 - Coordenadas da poligonal - Topografia

Ponto	Este (m)	Norte (m)	Altitude geométrica (m)	Desvio-Padrão Este (m)	Desvio-Padrão Norte (m)	Desvio-Padrão Altitude geométrica (m)	Desvio-Padrão Planimétrico (m)
E01	739160,615	6839759,415	308,683	0,001	0,001	0,002	0,002
E02	739213,727	6839757,218	309,130	0,003	0,002	0,005	0,004
E03	739224,106	6839697,428	310,281	0,005	0,004	0,006	0,006
E04	739237,337	6839658,261	310,420	0,006	0,005	0,008	0,008
E05	739223,800	6839620,936	310,085	0,008	0,005	0,008	0,009
E06	739190,781	6839585,467	310,229	0,010	0,004	0,008	0,010
E07	739151,074	6839583,471	309,390	0,010	0,004	0,008	0,010
E08	739116,498	6839595,775	309,157	0,009	0,005	0,008	0,010
E09	739098,701	6839618,062	308,883	0,008	0,005	0,007	0,009
E10	739071,537	6839655,231	309,112	0,006	0,005	0,006	0,008
E11	739103,227	6839745,123	308,365	0,003	0,003	0,005	0,004

As coordenadas da poligonal foram posteriormente obtidas no sistema de projeção UTM através do programa Topcon Tools, e são mostradas na Tabela 4-6.

Tabela 4-6 - Coordenadas da poligonal - Projeção UTM

Ponto	Este (m)	Norte (m)	Altitude geométrica (m)
E01	739160,605	6839759,409	308,683
E02	739213,726	6839757,206	309,129
E03	739224,102	6839697,396	310,291
E04	739237,330	6839658,217	310,430
E05	739223,783	6839620,883	310,120
E06	739190,750	6839585,406	310,235
E07	739151,031	6839583,424	309,396
E08	739116,448	6839595,742	309,163
E09	739098,652	6839618,038	308,888
E10	739071,490	6839655,224	309,118
E11	739103,209	6839745,131	308,371

As coordenadas da poligonal obtidas através do através do processamento e ajustamento das observações GNSS são apresentadas na Tabela 4-7, em projeção UTM. o relatório do ajustamento encontra-se no ANEXO D.

Tabela 4-7 - Coordenadas da poligonal - GNSS

Ponto	Este (m)	Norte (m)	Altitude geométrica (m)	Desvio-Padrão Este (m)	Desvio-Padrão Norte (m)	Desvio-Padrão Altitude geométrica (m)	Desvio-Padrão Planimétrico (m)
E01	739160,613	6839759,411	308,683	0,001	0,001	0,002	0,002
E02	739213,733	6839757,206	309,129	0,001	0,001	0,003	0,002
E03	739224,093	6839697,394	310,282	0,001	0,001	0,002	0,002
E04	739237,324	6839658,220	310,412	0,001	0,001	0,002	0,002
E05	739223,785	6839620,885	310,092	0,003	0,003	0,008	0,004
E06	739190,738	6839585,421	310,220	0,001	0,001	0,003	0,002
E07	739151,028	6839583,437	309,416	0,002	0,002	0,005	0,002
E08	739116,453	6839595,747	309,164	0,002	0,002	0,005	0,003
E09	739098,671	6839618,030	308,898	0,003	0,003	0,008	0,004
E10	739071,495	6839655,216	309,139	0,002	0,002	0,004	0,002
E11	739103,197	6839745,118	308,375	0,002	0,002	0,004	0,002

A diferença entre as coordenadas topográficas locais UTM aproximadas e aquelas levantadas pelo GNSS constam na Tabela 4-8. Observa-se uma discrepância máxima de 6,3 cm no ponto correspondente à estação E06. Esta

diferença maior pode ser explicada pelo maior afastamento da estação E06 em relação aos ponto de apoio de fechamento planimétrico da poligonal.

Tabela 4-8 - Diferença entre as coordenadas Topográficas locais e GNSS

Ponto	Diferença Este (cm)	Diferença Norte (cm)	Diferença Altitude geométrica (cm)	Resultante Planimétrica (cm)
E01	0,2	0,4	0,0	0,4
E02	-0,6	1,2	0,1	1,3
E03	1,3	3,3	-0,1	3,6
E04	1,3	4,1	0,8	4,3
E05	1,5	5,1	-0,7	5,3
E06	4,3	4,6	0,9	6,3
E07	4,6	3,4	-2,6	5,8
E08	4,5	2,8	-0,7	5,3
E09	3,0	3,2	-1,5	4,3
E10	4,2	1,5	-2,7	4,5
E11	3,0	0,5	-1,0	3,1

Foi calculada também a diferença entre as coordenadas em projeção UTM e aquelas levantadas pelo GNSS, cujo resultado é apresentado na Tabela 4-9. Analisando a diferença entre os dois métodos, verifica-se uma discrepância máxima 2,0 cm em planimetria, e de 2,8 cm em altimetria.

Tabela 4-9 - Diferença entre as coordenadas Topográficas UTM e GNSS

Ponto	Diferença Este (cm)	Diferença Norte (cm)	Diferença Altitude geométrica (cm)	Resultante Planimétrica (cm)
E01	-0,8	-0,2	0,0	0,8
E02	-0,7	0,0	0,0	0,7
E03	0,9	0,2	0,9	0,9
E04	0,6	-0,3	1,8	0,7
E05	-0,2	-0,2	2,8	0,3
E06	1,2	-1,5	1,5	1,9
E07	0,4	-1,4	-2,2	1,4
E08	-0,6	-0,5	0,1	0,8
E09	-1,9	0,8	-1,0	2,0
E10	-0,5	0,8	-2,1	0,9
E11	1,2	1,3	-0,4	1,8

4.1.4 Pontos de checagem para o controle de qualidade do aerolevamento

As coordenadas e desvios-padrões dos pontos de checagem são apresentados na Tabela 4-10. Foram levantados 87 pontos, sendo um grupo desses pontos utilizado para o controle de qualidade da aerotriangulação, e outro utilizado para o controle de qualidade da restituição, havendo pontos comuns a ambos. Observa-se que o ponto 116 apresenta valor alto de desvio-padrão em planimetria e altimetria, e o ponto 117 em altimetria. Estes pontos foram descartados nas análises de qualidade posicional.

Tabela 4-10 - Coordenadas e desvios-padrões dos pontos de checagem do aerolevamento

Ponto	Norte (m)	Este (m)	Altitude geométrica (m)	Desvio-Padrão Norte (m)	Desvio-Padrão Este (m)	Desvio-Padrão Altitude geométrica (m)	Desvio-Padrão Planimétrico (m)
100	6839759,408	739160,610	308,696	0,001	0,001	0,002	0,001
101	6839677,362	739191,689	309,971	0,001	0,001	0,002	0,001
102	6839667,814	739246,898	310,348	0,001	0,001	0,002	0,002
103	6839599,282	739212,839	310,477	0,001	0,001	0,002	0,001
104	6839637,869	739198,897	309,736	0,001	0,001	0,002	0,001
105	6839670,518	739173,579	309,990	0,001	0,001	0,002	0,002
106	6839678,227	739174,242	309,824	0,002	0,003	0,003	0,003
107	6839685,608	739112,769	309,741	0,001	0,001	0,002	0,001
108	6839683,548	739107,176	309,591	0,001	0,001	0,002	0,001
109	6839672,706	739129,029	309,773	0,002	0,001	0,003	0,002
110	6839686,395	739082,471	309,367	0,002	0,002	0,002	0,002
111	6839655,202	739071,496	309,138	0,001	0,001	0,002	0,001
112	6839808,374	739173,138	308,862	0,001	0,001	0,001	0,001
113	6839803,531	739215,486	309,183	0,001	0,001	0,002	0,001
114	6839810,318	739216,276	310,097	0,001	0,001	0,002	0,001
115	6839683,962	739148,386	310,019	0,015	0,003	0,02	0,015
116	6839636,004	739155,614	310,502	0,097	0,072	0,127	0,12
117	6839646,329	739143,352	309,618	0,018	0,008	0,095	0,02
118	6839608,928	739184,219	309,781	0,001	0,002	0,002	0,002
119	6839438,535	739231,849	305,055	0,001	0,001	0,002	0,001
120	6839428,065	739230,921	304,380	0,001	0,001	0,002	0,001
121	6839367,340	739259,390	299,937	0,001	0,001	0,002	0,001
122	6839351,705	739270,103	299,461	0,001	0,001	0,002	0,002
123	6839339,587	739274,806	299,441	0,001	0,001	0,002	0,002
124	6839319,703	739274,674	299,633	0,001	0,001	0,002	0,002
125	6839319,840	739274,536	299,798	0,001	0,001	0,002	0,002
126	6839804,284	739158,099	308,444	0,001	0,001	0,003	0,002
127	6839776,505	739178,387	308,721	0,002	0,001	0,003	0,002
128	6839847,587	739043,987	305,495	0,003	0,004	0,006	0,005
129	6839857,297	739045,158	305,511	0,002	0,002	0,006	0,003

130	6839821,955	739008,115	305,487	0,002	0,001	0,003	0,002
131	6839804,403	739001,518	306,752	0,002	0,001	0,003	0,002
132	6839797,834	738979,309	304,744	0,002	0,001	0,004	0,002
133	6839743,029	738972,487	305,002	0,004	0,003	0,005	0,005
134	6839857,361	739007,388	305,292	0,002	0,002	0,004	0,003
135	6839884,529	739010,207	305,197	0,002	0,002	0,004	0,003
136	6839941,497	739038,139	303,548	0,002	0,002	0,004	0,002
137	6839941,639	739036,559	303,566	0,004	0,004	0,006	0,006
138	6839944,431	739031,484	303,440	0,001	0,002	0,004	0,002
139	6839958,411	738889,537	299,594	0,002	0,002	0,004	0,003
140	6840108,809	738904,406	292,064	0,001	0,002	0,003	0,002
141	6840035,066	738854,834	296,352	0,002	0,002	0,005	0,003
142	6839851,727	738878,743	300,252	0,002	0,002	0,004	0,003
143	6839613,333	738875,642	293,698	0,003	0,004	0,006	0,005
144	6839600,276	738877,024	293,778	0,003	0,003	0,005	0,004
145	6839596,000	738870,505	293,172	0,002	0,003	0,006	0,003
146	6839595,142	738939,747	297,230	0,002	0,001	0,004	0,002
147	6839591,808	738936,127	297,167	0,002	0,002	0,004	0,003
148	6839588,793	738852,875	291,910	0,002	0,002	0,004	0,003
149	6839483,314	738842,527	296,758	0,002	0,002	0,003	0,002
150	6839470,350	738841,294	297,620	0,002	0,003	0,005	0,003
151	6839547,407	738870,923	293,541	0,002	0,002	0,003	0,003
152	6839548,569	738880,447	293,786	0,002	0,002	0,004	0,003
153	6839362,745	738844,671	300,447	0,002	0,002	0,004	0,003
154	6839364,228	738830,661	299,985	0,003	0,004	0,005	0,005
155	6839815,195	739174,060	309,817	0,002	0,002	0,004	0,003
156	6839834,420	739409,618	308,092	0,002	0,002	0,004	0,003
157	6839919,698	739538,737	307,490	0,002	0,002	0,005	0,003
158	6839941,255	739554,156	307,329	0,002	0,002	0,004	0,002
159	6839920,486	739485,474	308,554	0,001	0,001	0,005	0,002
160	6839993,201	739581,422	304,151	0,002	0,002	0,005	0,003
161	6840035,449	739420,255	306,785	0,003	0,002	0,005	0,003
162	6840013,407	739401,983	307,856	0,003	0,004	0,006	0,004
163	6840034,342	739404,196	306,852	0,002	0,002	0,005	0,003
164	6840017,282	739595,116	302,663	0,002	0,002	0,005	0,003
165	6839914,136	739551,752	306,659	0,003	0,003	0,004	0,004
166	6839895,472	739541,182	307,422	0,004	0,004	0,007	0,006
167	6839787,723	739516,032	306,484	0,002	0,003	0,004	0,003
168	6839690,216	739451,438	303,683	0,002	0,002	0,004	0,002
169	6839653,506	739459,731	303,039	0,002	0,002	0,004	0,002
170	6839437,152	739365,942	299,443	0,002	0,002	0,004	0,002
171	6839439,639	739371,510	299,841	0,002	0,002	0,004	0,003
172	6839427,006	739358,871	299,526	0,001	0,002	0,004	0,002
173	6839313,725	739274,638	299,624	0,004	0,004	0,006	0,005
174	6839269,007	739270,404	300,500	0,002	0,002	0,004	0,003
175	6839208,816	739236,638	302,383	0,002	0,002	0,004	0,003
176	6839221,509	739171,016	305,510	0,004	0,005	0,008	0,007
177	6839301,765	739045,046	305,351	0,003	0,002	0,004	0,004
178	6839300,903	739051,993	305,365	0,002	0,002	0,004	0,003
179	6839314,794	739053,699	305,344	0,001	0,001	0,003	0,002
180	6839315,672	739046,758	305,355	0,002	0,002	0,004	0,003
181	6839287,410	739041,269	305,200	0,002	0,002	0,004	0,003
182	6839278,384	739030,316	304,858	0,001	0,002	0,004	0,002
183	6839317,957	739027,121	304,363	0,002	0,001	0,004	0,002
184	6839323,149	739033,362	304,362	0,002	0,003	0,004	0,004
185	6839332,915	739321,067	297,388	0,001	0,002	0,004	0,002
186	6839332,993	739321,170	297,419	0,006	0,005	0,008	0,008
187	6839332,924	739321,096	297,396	0,003	0,002	0,005	0,004

4.1.5 Campo de calibração de câmaras

As coordenadas geodésicas das bases utilizadas para o cálculo do azimute, obtidas pela transformação das coordenadas cartesianas determinadas pelo posicionamento GNSS, são as seguintes:

- Base A: 30°04'26,59298"S de latitude e 51°07'10,23324"W de longitude; e
- Base B: 30°04'27,21350"S de latitude e 51°07'10,58913"W de longitude.

O azimute calculado foi de 206°30'40,85163", ou 206,51135°, e a média da distância topográfica resultou em 21,352 m. Após o cálculo das coordenadas da estação B, as bases A e B finais utilizadas para a determinação dos pontos de apoio do campo de calibração resultaram em:

- Base A: X=488482,174 m, Y=6673002,842 m, Z=67,121m; e
- Base B: X=488472,643 m, Y=6672983,736 m, Z=67,814 m.

com X, Y e Z correspondendo a aproximadamente E, N e h, ambos em metros.

Tabela 4-11 - Coordenadas dos pontos de apoio - Intersecção à vante

Ponto de Apoio	Grupo 1-Cálculo pela média (Intersecção)			Grupo 2-Cálculo pelo centro (Intersecção)		
	X (m)	Y (m)	Z (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	488456,718	6673005,012	73,808	488456,717	6673005,013	73,808
2	488457,493	6673006,601	73,812	488457,494	6673006,601	73,812
3	488458,291	6673008,222	73,809	488458,294	6673008,221	73,808
4	488459,075	6673009,828	73,808	488459,076	6673009,828	73,808
5	488459,838	6673011,396	73,813	488459,837	6673011,397	73,814
6	488456,708	6673005,014	71,746	488456,708	6673005,014	71,746
7	488457,490	6673006,612	71,744	488457,490	6673006,612	71,745
8	488458,274	6673008,216	71,745	488458,276	6673008,215	71,745
9	488459,052	6673009,807	71,744	488459,053	6673009,807	71,744
10	488459,826	6673011,385	71,742	488459,826	6673011,386	71,743
11	488456,716	6673005,011	70,069	488456,719	6673005,010	70,069
12	488458,290	6673008,212	70,076	488458,291	6673008,212	70,076
13	488459,067	6673009,803	70,079	488459,068	6673009,803	70,079
14	488459,841	6673011,390	70,081	488459,842	6673011,392	70,081
15	488456,714	6673005,024	68,186	488456,711	6673005,027	68,186
16	488457,489	6673006,629	68,180	488457,489	6673006,630	68,180
17	488458,266	6673008,228	68,180	488458,269	6673008,228	68,180
18	488459,043	6673009,819	68,183	488459,046	6673009,818	68,183
19	488459,826	6673011,414	68,184	488459,828	6673011,412	68,185

As Equações (5), (6) e (7) foram utilizadas para o cálculo das coordenadas X, Y e Z dos pontos de apoio do campo de calibração. A Tabela 4-11 apresenta o cálculo por intersecção à vante considerando as medidas feitas nas retas passantes pelo centro (colunas de coordenadas do Grupo 1) e medidas feitas diretamente no centro dos alvos (Grupo 2).

A Tabela 4-12 apresenta o cálculo por irradiação direta no centro dos alvos a partir da base A (Grupo 3), por irradiação direta no centro dos alvos a partir da base B (Grupo 4), e a média das coordenadas dos grupos 3 e 4 (Grupo 5).

Tabela 4-12 - Coordenadas dos pontos de apoio - Irradiação direta

Ponto de Apoio	Grupo 3-Irradiação direta (A)			Grupo 4-Irradiação direta (B)			Grupo 5-Média Irradiação		
	X (m)	Y (m)	Z (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	488456,718	6673005,013	73,809	488456,720	6673005,009	73,806	488456,719	6673005,011	73,808
2	488457,500	6673006,600	73,812	488457,488	6673006,611	73,814	488457,494	6673006,605	73,813
3	488458,295	6673008,221	73,806	488458,285	6673008,235	73,812	488458,290	6673008,228	73,809
4	488459,083	6673009,826	73,806	488459,074	6673009,832	73,809	488459,079	6673009,829	73,808
5	488459,846	6673011,394	73,811	488459,833	6673011,407	73,816	488459,839	6673011,400	73,814
6	488456,716	6673005,013	71,744	488456,704	6673005,020	71,748	488456,710	6673005,017	71,746
7	488457,496	6673006,611	71,744	488457,484	6673006,622	71,746	488457,490	6673006,617	71,745
8	488458,281	6673008,214	71,744	488458,269	6673008,227	71,747	488458,275	6673008,221	71,745
9	488459,058	6673009,806	71,743	488459,048	6673009,818	71,745	488459,053	6673009,812	71,744
10	488459,837	6673011,382	71,741	488459,822	6673011,395	71,745	488459,830	6673011,388	71,743
11	488456,721	6673005,010	70,070	488456,709	6673005,023	70,068	488456,715	6673005,017	70,069
12	488458,289	6673008,213	70,078	488458,281	6673008,228	70,075	488458,285	6673008,221	70,076
13	488459,069	6673009,802	70,081	488459,058	6673009,820	70,077	488459,064	6673009,811	70,079
14	488459,846	6673011,390	70,083	488459,834	6673011,408	70,079	488459,840	6673011,399	70,081
15	488456,723	6673005,026	68,189	488456,710	6673005,028	68,183	488456,716	6673005,027	68,186
16	488457,505	6673006,628	68,182	488457,492	6673006,625	68,178	488457,499	6673006,626	68,180
17	488458,289	6673008,223	68,183	488458,273	6673008,220	68,178	488458,281	6673008,222	68,180
18	488459,067	6673009,811	68,186	488459,049	6673009,811	68,181	488459,058	6673009,811	68,184
19	488459,850	6673011,404	68,187	488459,831	6673011,405	68,183	488459,840	6673011,405	68,185

Para a comparação entre os métodos, foram calculadas as diferenças entre as coordenadas para cada alvo considerando os grupos apresentados nas Tabela 4-11 e Tabela 4-12, conforme dados contidos na Tabela 4-13. Observa-se discrepância máxima 3,2 mm e média de 0,3 mm entre as diferenças das coordenadas obtidas pela média das intersecções e a intersecção calculada pelo centro dos alvos. Para a diferença entre a média das intersecções e as irradiações diretas (bases A e B), a maior discrepância foi de 23,9 mm, sendo a média de 1,9 mm. Considerando-se a diferença entre a média das intersecções e a média das irradiações, a maior discrepância foi de 14,9 mm, e a média de 1.9 mm.

Tabela 4-13 - Diferenças entre os métodos topográficos de medição

Ponto de Apoio	Diferença (2-1)			Diferença (3-1)			Diferença (4-1)			Diferença (5-1)		
	DX (mm)	DY (mm)	DZ (mm)	DX (mm)	DY (mm)	DZ (mm)	DX (mm)	DY (mm)	DZ (mm)	DX (mm)	DY (mm)	DZ (mm)
1	-0,8	0,8	0,2	0,5	0,7	0,9	1,8	-2,6	-1,6	1,2	-0,9	-0,3
2	0,9	0,2	0,3	6,1	-0,6	-0,3	-5,6	9,9	1,7	0,3	4,7	0,7
3	2,1	-0,8	-0,8	3,8	-1,2	-2,3	-6,3	13,5	3,1	-1,2	6,2	0,4
4	1,5	0,3	-0,3	8,4	-1,8	-2,1	-0,4	3,9	0,6	4,0	1,1	-0,7
5	-0,8	0,8	0,6	7,5	-2,3	-1,6	-5,6	11,2	2,7	1,0	4,4	0,6
6	0,2	-0,3	0,0	8,4	-1,0	-1,9	-4,2	5,5	1,7	2,1	2,3	-0,1
7	0,5	0,0	0,8	6,4	-0,9	-0,1	-5,6	9,2	1,9	0,4	4,1	0,9
8	1,9	-1,2	0,1	7,1	-2,4	-0,9	-5,1	10,9	1,7	1,0	4,3	0,4
9	0,8	0,4	0,1	5,7	-1,1	-0,7	-4,8	11,1	1,4	0,4	5,0	0,4
10	0,0	1,0	1,1	10,6	-3,0	-1,0	-4,0	9,5	2,5	3,3	3,2	0,7
11	2,7	-0,5	-0,4	5,2	-0,7	1,0	-6,6	11,9	-1,5	-0,7	5,6	-0,2
12	0,9	-0,1	0,4	-0,5	0,2	2,4	-8,6	16,1	-1,0	-4,5	8,1	0,7
13	0,9	-0,4	-0,2	2,0	-0,8	1,7	-8,2	17,0	-1,5	-3,1	8,1	0,1
14	0,7	1,0	-0,2	5,4	-0,7	1,5	-6,8	17,4	-1,8	-0,7	8,3	-0,1
15	-3,0	3,2	0,0	8,4	2,2	2,7	-4,1	4,6	-2,7	2,2	3,4	0,0
16	-0,1	0,7	-0,3	15,8	-1,7	2,2	3,5	-4,7	-2,2	9,6	-3,2	0,0
17	2,7	-0,3	-0,5	22,5	-4,7	2,3	7,0	-7,6	-2,7	14,7	-6,2	-0,2
18	2,3	-1,1	0,3	23,9	-7,6	2,9	6,0	-8,1	-1,6	14,9	-7,8	0,6
19	2,1	-1,2	0,4	23,8	-9,5	2,7	5,4	-8,2	-1,2	14,6	-8,9	0,8

A partir da análise desses dados, verificou-se que a intersecção poderia ser feita calculada utilizando somente as medidas realizadas no centro dos alvos, pois os grupos 1 e 2 de coordenadas são compatíveis com diferença máxima de 3,2 mm. A discrepância máxima de quase 24 mm entre os grupos 1 e 3 indica que a irradiação pode ser empregada quando se busca este limite de precisão. Porém valores próximos a esse limite correspondem a somente 6% dos dados desses grupos. Ao se analisar a média das discrepâncias considerando todos os dados da Tabela 4-13, conclui-se que os métodos são compatíveis, com discrepância média de 1,5 mm, considerando-se a câmara utilizada neste trabalho para a calibração. O resultado poderia ser diferente, ou seja, poderia haver incompatibilidade entre os métodos caso fosse utilizada uma câmara métrica.

4.2 LEVANTAMENTO FOTOGRAMÉTRICO AÉREO

4.2.1 Aerotriangulação

Os resultados da calibração dos parâmetros de orientação interior da câmara são mostrados nos relatórios gerados pelos programas CC (ANEXO E) e Orima (ANEXO F).

Os parâmetros calibrados no programa CC são apresentados na Tabela 4-14, sendo todos considerados significativos com base na análise estatística realizada no próprio programa.

Tabela 4-14 - Parâmetros de orientação interior - Programa CC

Parâmetro	Valor	Desvio-Padrão
c (mm)	4.3479	1.37E-02
x0 (mm)	-0.0036	1.42E-03
y0 (mm)	0.0608	1.82E-03
k1	-2.08E-03	4.62E-05
k2	3.50E-05	7.80E-06
k3	7.88E-07	3.92E-07
P1	-6.77E-05	1.17E-05
P2	7.64E-04	1.12E-05
A	-1.50E-04	4.28E-05
B	-1.55E-04	3.89E-05

Os parâmetros calibrados no programa Orima são apresentados na Tabela 4-15, sendo a1, a2 e a3 considerados correspondentes aos parâmetros k1, k2 e k3 do programa CC.

Tabela 4-15 - Parâmetros de orientação interior - Programa Orima

Parâmetro	Valor	Desvio-Padrão
c (mm)	-4.3607	0.003
x0 (mm)	-0.0017	0.0005
y0 (mm)	0.0104	0.0006
a1	-2.10E-03	3.71E-05
a2	5.40E-05	6.03E-06
a3	-4.47E-07	2.76E-07
b1	-1.96E-04	5.27E-05
b2	-3.55E-06	7.99E-06
c1	-7.10E-05	3.11E-05
c2	-5.60E-05	1.68E-05
c3	-3.51E-13	2.40E-09
d1	-9.32E-04	2.21E-05
d2	-1.21E-04	1.68E-05
d3	-2.67E-05	5.32E-06
d4	-2.81E-11	4.44E-08
d5	1.57E-05	4.24E-06
d6	1.24E-04	1.78E-05
d7	8.07E-04	1.20E-05
d8	-2.19E-05	8.32E-06
d9	-6.43E-10	4.44E-08
d10	-3.76E-05	4.55E-06

Foi feita a comparação entre os parâmetros comuns às duas calibrações, através da diferença e da razão entre eles, conforme Tabela 4-16.

Tabela 4-16 - Comparação entre os parâmetros de calibração da câmara aérea

Parâmetro	Diferença	Razão
c	-0.0128	-1.00
x0	-0.0019	0.47
y0	0.0504	0.17
k1	2.13E-05	1.01
k2	-1.9E-05	1.54
k3	1.24E-06	-0.57
A	4.61E-05	1.31
B	-1.51E-04	0.02

O sinal negativo na coluna da razão indica que os parâmetros estão com os sinais contrários. Para a distância focal, sabe-se que o valor mostrado no resultado do programa pode apresentar essa variação de sinal dependendo se foi considerado o plano diapositivo ou negativo. A diferença entre as distâncias focais é de 0.0128 mm, que, multiplicada na escala aproximada do voo de 1:53000 (conforme ANEXO F), corresponde a uma diferença em altura de 68 cm. Considerando o ponto principal, a razão indica que o x0 do programa CC equivale ao dobro do x0 obtido no Orima, e o y0 em CC equivale a cinco vezes o y0 no Orima. A diferenças entre as coordenadas do ponto principal correspondem no terreno a 10 cm para x0 e 2,7 m para y0.

A aerotriangulação definitiva foi realizada com os dados da calibração gerada pelo programa Orima. Os parâmetros de orientação interior foram introduzidos no programa LPS, pelo qual foi processada a fototriangulação por feixes de raios perspectivos para a determinação dos parâmetros de orientação exterior finais, ou seja, as posições e ângulos de rotação de cada fotografia aérea utilizada no mapeamento. O erro em pixel resultou em 0,4351, ficando abaixo do valor inicial recomendado de 0,5 pixel O relatório do ajustamento realizado encontra-se no ANEXO H.

4.2.2 Restituição

A restituição foi editada e de modo a produzir um mapa do sítio arqueológico juntamente com a representação da altimetria por das curvas de nível. Como a edição do MDT não foi finalizada, as curvas de nível apresentam alguns problemas visíveis mas que não puderam ser corrigidos em sua totalidade. A principal correção

foi a suavização de partes das curvas em que foram detectadas mudanças abruptas de direção. O mapa planialtimétrico final é apresentado no ANEXO I.

4.2.3 Ortofoto

A ortofoto gerada a partir das fotografias do aerolevanteamento e do MDT é apresentada no ANEXO J. Visto que o MDT não teve a etapa de edição e correção finalizada, a ortofoto apresentou problemas de descontinuidade principalmente em feições de edificações e mancha de vegetação. O terreno não apresenta muitos problemas de descontinuidade na parte editada, sendo possível verificar boa ligação principalmente das feições de arruamento nas partes de transição entre as fotografias.

4.3 LEVANTAMENTO FOTOGRAFÉTRICO TERRESTRE

A etapa de fototriangulação do levantamento fotogramétrico terrestre foi realizada com o programa PhotoScan. Os pontos de apoio medidos através do levantamento geodésico também foram medidos nas fotografias, embora alguns não tenham sido identificados devido ao tamanho reduzido nas imagens ou tenham sido identificados erroneamente, como nos casos em que a geometria de um alvo era semelhante à de outro ou a uma feição da cena fotografada. A etapa de fototriangulação só prosseguiu após a correção desses tipos de erro.

Ao final do processo de fototriangulação, foi gerada uma nuvem de pontos (Figura 4-1) obtidos por correlação de imagens com base nos pontos de apoio medidos nas fachadas. A fototriangulação resultou em erro de 14,9 mm, o que corresponde a 0.454 pixel. O modelo tridimensional gerado das ruínas da igreja é apresentado na Figura 4-2. O modelo tridimensional foi texturizado, sendo apresentado na Figura 4-3 o resultado final obtido para as ruínas da igreja.



Figura 4-1 – Nuvem de pontos obtidos pela fototriangulação



Figura 4-2 – Modelo tridimensional da igreja



Figura 4-3 – Modelo tridimensional texturizado da igreja

Outro produto gerado referente ao levantamento fotogramétrico terrestre foi a ortofoto da fachada principal, apresentada sem escala na Figura 4-4.



Figura 4-4 - Ortofoto da fachada principal da igreja

A Figura 4-5 mostra o nível de detalhamento alcançado neste trabalho pelo levantamento fotogramétrico terrestre, onde se identificam os blocos da estrutura da igreja, parte da porta, e pontos de apoio (em branco) utilizados na fototriangulação.



Figura 4-5 - Detalhe da fachada principal



Figura 4-6 – Modelo tridimensional integrado

O modelo tridimensional da igreja foi integrado com o modelo gerado pelas fotografias aéreas utilizando o PhotoScan (Figura 4-6 e Figura 4-7). Não se realizou neste trabalho a união do modelo da igreja com o MDT gerado pela aerotriangulação. Entretanto, as fotografias do aerolevantamento foram processadas de maneira análoga ao processamento para geração do modelo da igreja, sendo possível então abrir em um mesmo programa os dois modelos (da igreja e do terreno), gerando a visualização dos modelos integrados.



Figura 4-7 – Modelo tridimensional integrado - vista aproximada

4.4 CALIBRAÇÃO DA CÂMARA TERRESTRE

Primeiramente foi efetuada a calibração da câmara no programa CC com todos os parâmetros de orientação interior fotovariantes. Para a verificação da estabilidade da lente utilizada, a análise dos valores da distância focal, conforme relatório gerado pelo programa CC (versão resumida do relatório encontra-se no ANEXO G) mostra que todos os valores foram significativos. O valor de distância

focal mínimo foi de 19,9346 mm e o máximo de 21,3066 mm. Ou seja, houve variação de 1,3 mm, correspondente a 6,66% em relação à média, que é de 20,5859 mm.

Os resultados da calibração no programa CC e no PhotoScan são apresentados na Tabela 4-17. O programa CC mostra como resultados os valores dos parâmetros, os desvios-padrões e a localização em pixel do ponto principal. Com base no desvio-padrão de cada parâmetro, foram calculados os valores máximos e mínimos admitidos para cada parâmetro. O programa PhotoScan apresenta somente os valores do parâmetros e a localização em pixel do ponto principal. Não foi possível utilizar o parâmetro de distorção radial k1 separado de k2 e k3 no PhotoScan. A distancia focal e as coordenadas do ponto principal são dadas em milímetros.

Tabela 4-17 - Parâmetros de orientação interior - Programas CC e PhotoScan

Programa	CC					PhotoScan		
	Valor	Desvio Padrão	Pixel	Mín	Máx	Valor	Pixel	Compatível
c	20,4012	1,80E-02		20,383	20,419	20,451		FALSO
x0	-0,0017	8,39E-03	2135,16	-0,010	0,007	0,012	2133,6	FALSO
y0	-0,1485	1,22E-02	1452,05	-0,161	-0,136	-0,142	1451,2	FALSO
k1	-1,57E-04	2,22E-06		-1,59E-04	-1,54E-04	-8,14E-02		FALSO
k2						5,49E-02		
k3						1,94E-02		
P1	2,04E-05	6,80E-06		1,36E-05	2,72E-05	9,17E-05		FALSO
P2	-1,00E-05	8,68E-06		-1,87E-05	-1,36E-06	2,62E-04		FALSO

Observa-se na Tabela 4-17 que, ao se comparar os valores do programa CC mínimos e máximos admitidos com os do programa PhotoScan, os parâmetros não são compatíveis, conforme última coluna da tabela que testa se o valor do PhotoScan está no intervalo calculado. A distância focal (c) difere de 0,03 mm em relação ao valor do PhotoScan e o máximo do CC, e de 0,07 mm em relação ao valor do PhotoScan e o mínimo do CC. Esta diferença ocasionariam para uma distância de 10 m entre a câmara e o objeto (escala aproximada de 1:500), valores de GSD de 2,55 mm, para a distância focal do PhotoScan, e 2,56 mm, para a distância focal do CC, ou seja, uma diferença de 0,01 mm, sendo este valor desprezível.

Ainda pela análise da Tabela 4-17, o ponto principal apresenta a localização em pixel equivalente nos dois programas, apesar de o valor de x_0 ser aproximadamente 7 vezes maior no PhotoScan. Pelo relatório do ajustamento do programa CC verificou-se que o parâmetro x_0 não era significativo, entretanto este não pode ser dissociado de y_0 considerado significativo. O parâmetro k_1 do PhotoScan é mais de 500 vezes maior que o do CC, o parâmetro P_1 do PhotoScan é cerca de 5 vezes maior que o do CC, e o parâmetro P_2 do PhotoScan é cerca de 26 vezes maior que o do CC, o que os torna incompatíveis. Desconsiderando erros nas medições das fotocoordenadas, isso indica possível diferença entre os modelos utilizados em cada programa.

O relatório da análise dos resíduos resultantes gerado no programa CC mostra que o resíduo médio é de 0,00278 mm, com desvio de 0,0018 mm. Este resíduo equivale a 0,534 *pixels*. No PhotoScan, o resultado do ajustamento da fototriangulação mostra inicialmente um valor de 0,644 para o erro em pixel dos pontos de apoio medidos, gerando um erro de 1,26 cm considerando as três coordenadas X, Y e Z. Quando se aplica uma ferramenta de otimização disponível no próprio programa, o erro em pixel passa para 0,520, e a resultante tridimensional passa para 1,27 cm.

4.5 CONTROLE DE QUALIDADE

Para o controle da qualidade da restituição foi calculado o número da amostra necessária através da Equação (10). O controle da aerotriangulação também foi baseado nesta amostra, apesar de que foi utilizado outro conjunto de pontos de checagem. Os testes estatísticos de tendência e de exatidão posicional (conforme Secção 2.5) aplicados no controle de qualidade são baseados em Gemael (1994) e Galo e Camargo (1994). As equações não serão demonstradas.

4.5.1 Controle de qualidade da aerotriangulação

Para o controle de qualidade da aerotriangulação o tamanho da amostra utilizado foi de 33 pontos e a distribuição dos mesmos ficou dentro do recomendado,

conforme Figura 4-8 (pontos em vermelho na representação). A Tabela 4-18 apresenta as coordenadas dos pontos e as discrepâncias utilizadas para as análises:

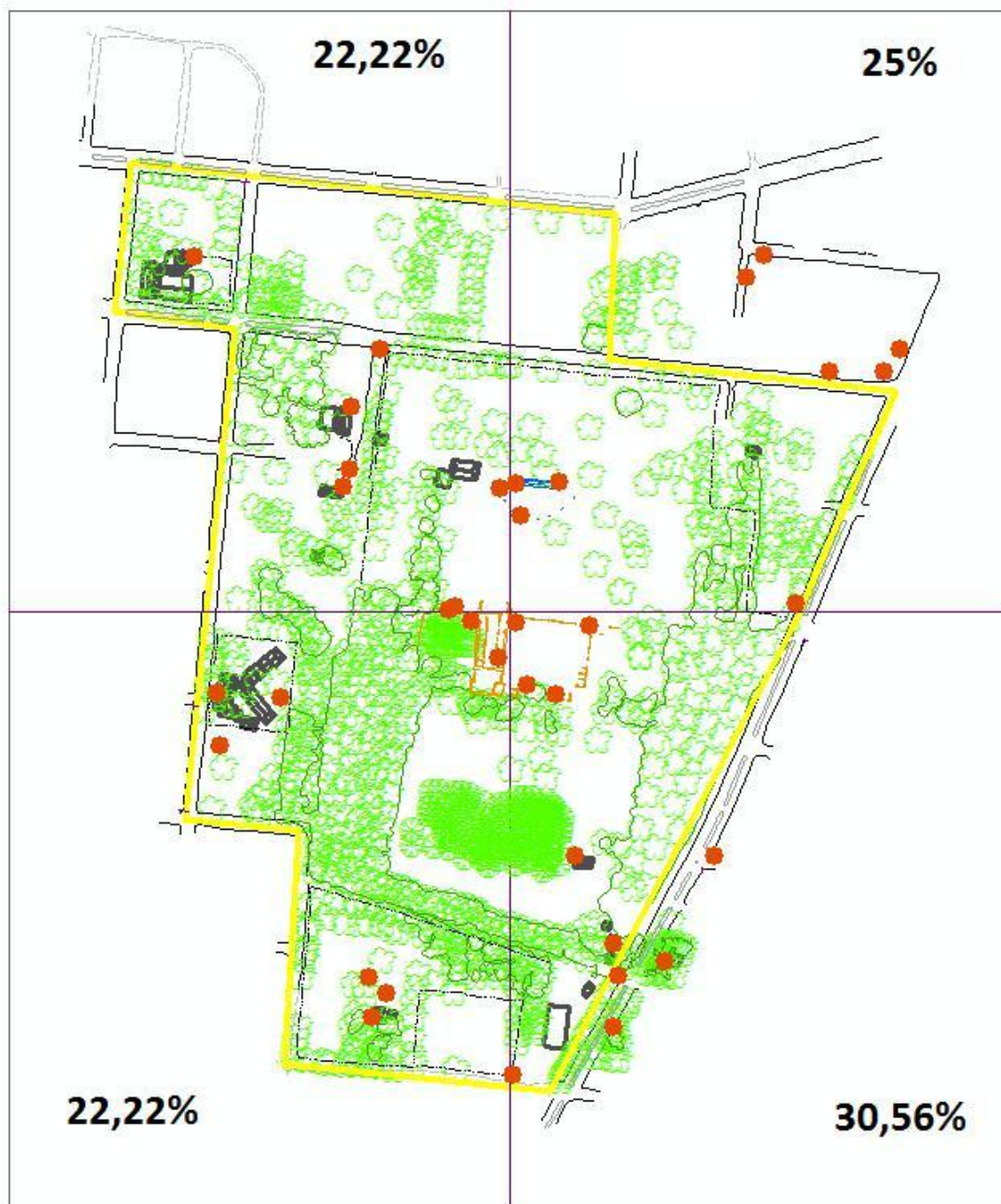


Figura 4-8 – Representação da distribuição da amostra em porcentagem por quadrante (aerotriangulação)

Tabela 4-18 - Discrepâncias entre os pontos de checagem (GNSS) e pontos da aerotriangulação

Ponto	Norte GNSS	Este GNSS	h GNSS	Norte Aero	Este Aero	h Aero	Disc. Norte	Disc. Este	Disc. h
102	6839667,814	739246,898	310,348	6839667,783	739247,091	309,822	0,032	-0,193	0,526
103	6839599,282	739212,839	310,477	6839599,582	739212,921	310,222	-0,300	-0,082	0,255
105	6839670,518	739173,579	309,990	6839670,938	739173,611	309,972	-0,420	-0,032	0,019
107	6839685,608	739112,769	309,741	6839685,630	739112,952	309,247	-0,021	-0,183	0,494
108	6839683,548	739107,176	309,591	6839683,678	739107,297	308,624	-0,129	-0,121	0,967
112	6839808,374	739173,138	308,862	6839808,312	739173,457	308,780	0,062	-0,319	0,082
114	6839810,318	739216,276	310,097	6839810,131	739216,233	309,780	0,187	0,043	0,317
118	6839608,928	739184,219	309,781	6839608,837	739184,540	308,977	0,091	-0,321	0,804
119	6839438,535	739231,849	305,055	6839438,317	739231,859	304,580	0,219	-0,010	0,475
122	6839351,705	739270,103	299,461	6839351,749	739270,156	299,430	-0,044	-0,053	0,031
124	6839319,703	739274,674	299,633	6839319,453	739274,981	299,130	0,251	-0,307	0,503
126	6839804,284	739158,099	308,444	6839804,360	739158,095	308,130	-0,076	0,004	0,314
127	6839776,505	739178,387	308,721	6839776,701	739178,633	308,447	-0,196	-0,246	0,274
130	6839821,955	739008,115	305,487	6839822,098	739008,243	304,808	-0,143	-0,128	0,679
135	6839884,529	739010,207	305,197	6839884,558	739010,261	304,880	-0,029	-0,053	0,317
136	6839941,497	739038,139	303,548	6839941,624	739038,131	303,408	-0,127	0,008	0,140
141	6840035,066	738854,834	296,352	6840034,750	738854,851	296,380	0,316	-0,017	-0,028
144	6839600,276	738877,024	293,778	6839600,463	738876,583	293,480	-0,187	0,441	0,298
146	6839595,142	738939,747	297,230	6839595,183	738939,729	297,480	-0,041	0,018	-0,250
152	6839548,569	738880,447	293,786	6839548,665	738880,506	293,813	-0,096	-0,059	-0,027
157	6839919,698	739538,737	307,490	6839919,728	739538,923	307,038	-0,030	-0,186	0,452
158	6839941,255	739554,156	307,329	6839941,360	739554,111	307,127	-0,105	0,045	0,202
159	6839920,486	739485,474	308,554	6839920,318	739485,507	308,413	0,168	-0,033	0,141
161	6840035,449	739420,255	306,785	6840035,458	739420,397	306,680	-0,009	-0,142	0,105
162	6840013,407	739401,983	307,856	6840013,638	739402,097	307,813	-0,231	-0,114	0,043
168	6839690,216	739451,438	303,683	6839690,200	739451,460	303,258	0,016	-0,022	0,425
171	6839439,639	739371,510	299,841	6839439,320	739371,101	299,405	0,319	0,409	0,436
174	6839269,007	739270,404	300,500	6839269,041	739270,539	300,530	-0,034	-0,135	-0,030
176	6839221,509	739171,016	305,510	6839221,898	739170,956	305,330	-0,389	0,060	0,180
177	6839301,765	739045,046	305,351	6839301,635	739045,200	305,105	0,130	-0,154	0,246
182	6839278,384	739030,316	304,858	6839278,518	739030,494	304,655	-0,134	-0,178	0,203
183	6839317,957	739027,121	304,363	6839317,812	739027,179	304,055	0,145	-0,058	0,308
185	6839332,915	739321,067	297,388	6839333,107	739321,404	297,163	-0,192	-0,337	0,225
						Somatório	-0,997	-2,455	9,126
						Média	-0,030	-0,074	0,277
						Variância	0,034	0,029	0,065
						Desvio-Padrão	0,184	0,170	0,254

Para a análise de tendência das componentes E, N e h da aerotriangulação, aplicou-se de forma independente para cada coordenada o teste estatístico t-student, considerando as hipóteses nula e alternativa para a média das discrepâncias amostrais:

$$H_0: \Delta\bar{X} = 0, \text{ contra}$$

$$H_1: \Delta\bar{X} \neq 0$$

e as hipóteses nula e alternativa para a variância das discrepâncias amostrais:

$$H_0: S_{\Delta x}^2 = \sigma_X^2, \text{ contra}$$

$$H_1: S_{\Delta x}^2 > \sigma_X^2$$

A Tabela 4-19 contém os resultados da análise de tendência em para cada componente, considerando o valor da estatística amostral t calculado e t teórico, com nível de significância de 10%, ou seja, com probabilidade de 90%.

Tabela 4-19 - Resultados da análise de tendência para a aerotriangulação

Componente analisada	Distribuição t-student		Análise
	Calculado	Teórico	
E	-2,511	1,309	Tendencioso
N	-0,944		Não Tendencioso
h	-6,251		Tendencioso

Para a análise da exatidão posicional, ao invés de se obter o qui-quadrado calculado com base em algum desvio-padrão de referência, como é feito em Galo e Camargo (1994), utilizou-se a Equação (11) para se determinar a variância esperada no limite do intervalo de aceitação em função do qui-quadrado teórico que a torna estatisticamente igual à variância amostral, a um certo nível de significância.

Em outras palavras, vai determinar a máxima qualidade da exatidão posicional obtida por cada componente da aerotriangulação.

$$\sigma_x^2 = (n - 1) \frac{S_{\Delta x}^2}{\chi_t^2} \quad (11)$$

onde:

σ_x^2 = variância das discrepâncias esperada;

$S_{\Delta x}^2$ = variância das discrepâncias amostral;

χ_t^2 = qui-quadrado teórico, e

n = tamanho da amostra.

A análise da exatidão posicional para um nível de significância de 10% é apresentada na Tabela 4-20, contendo o qui-quadrado teórico e o cálculo das variâncias e desvios-padrões das componentes da aerotriangulação.

Tabela 4-20 – Resultados da análise de exatidão da aerotriangulação

Componente analisada	Qui-Quadrado Teórico	Variância esperada (m ²)	Desvio-Padrão esperado (m)
E	42,585	0,022	0,147
N		0,025	0,159
h		0,049	0,220

Pelos resultados obtidos, chega-se a conclusão que as componente E e h possuem tendência, o que torna os seus desvio-padrões medidas de precisão, de 14,7 cm e 22 cm, respectivamente. Para a componente N que não mostrou tendência na análise das discrepâncias, o desvio-padrão esperado é uma medida de acurácia correspondente a 15,9 cm.

Considerando a componente h, pode-se comparar o resultado obtido com a previsão do erro ocasionado pela interseção fotogramétrica. A qualidade da interseção fotogramétrica na componente altimétrica pode ser expressa através da Equação (12) (KRAUSS, 2000):

$$\sigma_z = Z^2 \cdot \sigma_x \frac{\sqrt{2}}{f \cdot B} \quad (12)$$

onde:

Z = altura de vôo (considerou-se $Z = 218,7\text{m}$, dado pela média das alturas de todas as fotos do aerolevanteamento);

σ_x = erro esperado na coordenada x (sendo 1 *pixel* para aerotriangulação e 3 *pixels* para a restituição, sendo o tamanho do *pixel* igual a $1,54 \mu\text{m}$);

f = distância focal da câmara ($4,3607 \text{ mm}$);

B = aerobase (considerou-se pela $B = 81,4 \text{ m}$, obtida pela média das aerobases, ou seja, a distância entre cada estação de exposição numa faixa de vôo).

O cálculo da previsão da qualidade da interseção fotogramétrica na componente h foi de $29,3 \text{ cm}$, enquanto que a qualidade da precisão obtida pelo controle de qualidade resultou em um valor menor, de 22 cm , entretanto com a presença de uma tendência.

O erro em h pode ser em função da correlação não adequada entre as imagens. Esta possível falha na correlação foi detectada entre algumas regiões de sobreposição referentes à mesma área. Na etapa de edição do MDT, percebeu-se que enquanto em um estereopar os pontos gerados tocavam o terreno, em outro estereopar da mesma região, os mesmo pontos pareciam estar flutuando.

4.5.2 Controle de qualidade da restituição

Para o controle de qualidade da restituição o tamanho da amostra utilizado foi de 39 pontos. De acordo com a distribuição dos pontos de checagem na Figura 4-9 (pontos em magenta), verifica-se que no quadrante nordeste não foi possível seguir o recomendado, com no mínimo 20% dos pontos, pois o local restituído não possuía muitas feições possíveis para rastreamento com receptor GNSS.



Figura 4-9 – Representação da distribuição da amostra em porcentagem por quadrante (restituição)

A Tabela 4-21 apresenta os pontos de checagem utilizados para o controle de qualidade da restituição, as discrepâncias entre as coordenadas E e N e a resultante planimétrica.

Tabela 4-21 - Discrepâncias entre os pontos de checagem (GNSS) e pontos da restituição

Ponto	Norte GPS	Este GPS	Norte do Mapa	Este do Mapa	Disc. Norte	Disc. Este	Resultante
101	6839677,362	739191,689	6839677,440	739191,854	-0,078	-0,165	0,182
102	6839667,814	739246,898	6839667,871	739247,164	-0,056	-0,266	0,272
103	6839599,282	739212,839	6839599,578	739212,879	-0,296	-0,040	0,299
104	6839637,869	739198,897	6839638,069	739199,005	-0,200	-0,108	0,227
107	6839685,608	739112,769	6839685,687	739112,963	-0,079	-0,194	0,209
108	6839683,548	739107,176	6839683,692	739107,209	-0,144	-0,033	0,147
112	6839808,374	739173,138	6839808,437	739173,289	-0,063	-0,150	0,163
113	6839803,531	739215,486	6839803,407	739215,561	0,124	-0,075	0,145
114	6839810,318	739216,276	6839809,902	739216,208	0,416	0,068	0,422
119	6839438,535	739231,849	6839438,871	739231,827	-0,336	0,022	0,337
120	6839428,065	739230,921	6839428,264	739231,063	-0,199	-0,142	0,244
121	6839367,34	739259,39	6839367,399	739259,354	-0,059	0,036	0,069
122	6839351,705	739270,103	6839351,611	739270,266	0,094	-0,163	0,188
123	6839339,587	739274,806	6839339,605	739274,871	-0,018	-0,065	0,068
126	6839804,284	739158,099	6839804,366	739158,096	-0,082	0,003	0,082
127	6839776,505	739178,387	6839776,724	739178,620	-0,219	-0,233	0,320
128	6839847,587	739043,987	6839847,466	739043,906	0,121	0,081	0,146
130	6839821,955	739008,115	6839822,102	739008,108	-0,147	0,007	0,147
131	6839804,403	739001,518	6839804,282	739001,592	0,121	-0,074	0,142
132	6839797,834	738979,309	6839797,725	738979,264	0,109	0,045	0,118
134	6839857,361	739007,388	6839857,397	739007,262	-0,036	0,126	0,131
140	6840108,809	738904,406	6840108,878	738904,436	-0,069	-0,030	0,075
141	6840035,066	738854,834	6840035,144	738854,854	-0,078	-0,020	0,080
145	6839596,000	738870,505	6839595,810	738870,695	0,190	-0,190	0,269
148	6839588,793	738852,875	6839588,875	738853,059	-0,082	-0,184	0,201
149	6839483,314	738842,527	6839483,544	738842,122	-0,230	0,405	0,466
151	6839547,407	738870,923	6839547,279	738870,834	0,128	0,089	0,156
152	6839548,569	738880,447	6839548,570	738880,395	-0,001	0,052	0,052
168	6839690,216	739451,438	6839690,171	739451,506	0,045	-0,068	0,082
172	6839427,006	739358,871	6839426,797	739358,803	0,209	0,068	0,220
177	6839301,765	739045,046	6839301,640	739045,308	0,125	-0,262	0,291
178	6839300,903	739051,993	6839300,825	739052,181	0,078	-0,188	0,204
179	6839314,794	739053,699	6839314,564	739053,859	0,230	-0,159	0,280
180	6839315,672	739046,758	6839315,485	739046,908	0,187	-0,150	0,240
181	6839287,41	739041,269	6839287,431	739041,346	-0,021	-0,077	0,080
182	6839278,384	739030,316	6839278,535	739030,615	-0,151	-0,299	0,335
183	6839317,957	739027,121	6839318,067	739027,355	-0,109	-0,234	0,258
184	6839323,149	739033,362	6839323,132	739033,342	0,017	0,020	0,026
185	6839332,915	739321,067	6839332,915	739321,067	0,000	0,000	0,000
				Somatório	-0,559	-2,547	7,373
				Média	-0,014	-0,065	0,189
				Variância	0,025	0,019	0,012
				Desvio-Padrão	0,158	0,137	0,107

Para a análise da planimetria (E, N e resultante) foram aplicados os testes estatísticos de tendência e de exatidão de maneira análoga ao procedimento

realizado para o controle de qualidade da aerotriangulação. Os resultados da análise de tendência são mostrados na Tabela 4-22, considerando um nível de significância de 10%.

Tabela 4-22 - Resultados da análise de tendência da restituição

Componente analisada	Distribuição t-student		Análise
	Calculado	Teórico	
E	-2,982	1,304	Tendencioso
N	-0,563		Não Tendencioso
Resultante	10,989		Tendencioso

Os resultados da análise da exatidão são mostrados na Tabela 4-23, considerando um nível de significância de 10%.

Tabela 4-23 - Resultados da análise de exatidão da restituição

Componente analisada	Qui-Quadrado teórico	Variância esperada (m ²)	Desvio-Padrão esperado (m)
E	49,513	0,014	0,120
N		0,019	0,138
Resultante		0,009	0,094

Observa-se que há tendência na componente E e na resultante planimétrica, sendo os desvios-padrões medidas de precisão posicional. Os valores obtidos foram de 12 cm em E e 9,4 cm de precisão na resultante. A componente N não é tendenciosa, e sua acurácia é de 13,8 cm. Dever-se-ia eliminar a tendência encontrada, e posteriormente realizar novos testes de tendência e exatidão posicional. Entretanto esta etapa não foi executada neste trabalho.

Pela análise direta da Tabela 4-21, sem a realização de testes de tendência e de exatidão posicional, pode-se concluir que o mapa planimétrico possui exatidão cartográfica de 33 cm, pois 90% dos pontos de checagem utilizados para o controle de qualidade contêm discrepâncias na resultante planimétrica dentro deste erro.

5 CONCLUSÕES

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os objetivos propostos inicialmente neste projeto foram concluídos com a geração dos produtos cartográficos e do modelo tridimensional das ruínas da igreja de São Miguel das Missões. O aprendizado proporcionado pela aplicação prática e consulta constante às fontes teóricas demonstra que este trabalho cumpriu com a sua função, tanto no sentido de preparar o futuro profissional para atuar no planejamento e execução de um projeto de engenharia específico para o Engenheiro Cartógrafo, quanto pela finalidade de reforçar o embasamento teórico necessário e adquirido ao longo da graduação.

Neste trabalho teve-se a oportunidade de utilizar o veículo aéreo não tripulado de pequeno porte e avaliar parcialmente suas potencialidades. A utilização do VANT nas atividades de mapeamento de áreas com um raio limite de 1 km de alcance do sinal de rádio mostrou-se exequível com pouca demanda de tempo e de equipe técnica na execução dos voos, resultando em um grande volume de dados levantados. Vários voos podem ser programados e executados com facilidade, ou então reprogramados em campo dependendo, por exemplo, das condições de direção e velocidade do vento. Entretanto as etapas de pré-sinalização e aquelas posteriores ao voo demandam mais tempo para sua execução. Estas etapas, como a restituição, que exigem bastante atenção do operador, são definidoras da qualidade dos produtos finais gerados.

Por ser um veículo aéreo leve, sua utilização é restrita a condições de vento favoráveis para o aerolevante. Mesmo em condições de pouco vento, percebeu-se que as fotografias formam faixas de voo sinuosas e apresentam ângulos de rotação maiores que os de aerolevantes tradicionais. Isso se deve também, além do peso do VANT, ao desligamento do motor durante a tomada de fotografias. Para garantir imagens sem a interferência da vibração do motor elétrico, o VANT é programado para inclinar o nariz em um ângulo de 10° para cima e desligar o motor. A fotografia é tomada quando o VANT está em seu movimento de

retorno para a posição horizontal, e como há variação na velocidade do vento, há também variação na inclinação no momento das tomadas das fotografias.

O sistema de automação do VANT mostrou-se confiável, visto que em situações de vento forte ou de falha na ativação da câmara, os problemas foram informados e procedeu-se o retorno do veículo aéreo ao solo. Nos voos realizados, os pousos ocorreram com segurança e de maneira branda, não tendo sido detectadas avarias no material e no sistema computacional que controla o VANT.

A etapa de calibração da câmara do VANT sofreu atrasos devido ao problema encontrado no programa utilizado para a fototriangulação, o que comprometeu o cronograma inicialmente estipulado. Com os parâmetros calibrados da câmara do VANT, pôde-se verificar a possibilidade de realização de mapeamento com as fotografias obtidas. Considerando-se que foi usado um GSD de 7 cm, resultados com melhor qualidade nas etapas de aerotriangulação e restituição poderiam ser obtidos para valores menores de GSD, que no caso do VANT utilizado é de 3 cm, desde que seja verificada a calibração adequada para a câmara.

Observou-se através do controle de qualidade tanto da aerotriangulação quanto da restituição a presença de uma tendência na componente Este, ou seja, na mesma direção em que os voos foram realizados. Levanta-se a hipótese de que uma causa provável para este fato seria a utilização de um receptor GNSS de navegação, que se sabe ter exatidão posicional de qualidade inferior a outros receptores que utilizam outros métodos de determinação de coordenadas. A posição do centro perspectivo seria então comprometida por esta qualidade do GNSS, visto que este corrige as posições determinadas pelo sistema inercial. Uma forma de se verificar essa hipótese seria a realização da aerotriangulação com dados de voos na direção norte-sul e testar se haveria tendência na componente Norte.

O controle de qualidade também gerou um resultado questionável: a qualidade da aerotriangulação foi inferior à da restituição. O contrário deveria ter ocorrido visto que a extração de feições é uma etapa que ocorre após a aerotriangulação, e por isso contém os erros desta propagados, além de outros inerentes à própria restituição. Uma das causas pode ter sido a qualidade reduzida dos pontos de checagem da aerotriangulação em relação aos pontos utilizados para o controle da restituição. Além disso, a distribuição desses pontos, que não foi homogênea, pode ter mascarado os resultados. Entretanto sabe-se que em

trabalhos de mapeamento é difícil estabelecer uma homogeneidade na distribuição de pontos a serem levantados.

Com base no resultado obtido do controle de qualidade da restituição, as possibilidades de utilização do VANT incluem atividades de mapeamento com exatidão planimétrica a partir de 33 cm e atividades que privilegiam as informações visuais. Como exemplos podem-se citar os seguintes:

- Fiscalização do meio ambiente, para identificação de áreas desmatadas entre outras atividades ilegais;
- Inteligência policial, para registro de acidentes e mapeamento de áreas violentas;
- Documentação de desastres naturais;
- Acompanhamento de obras de engenharia;
- Mapeamento de atividades de agricultura e pecuária, para quantificação de áreas de uso e ocupação do solo;
- Delimitação de áreas de preservação permanente, de acordo com as exigências do Código Florestal Brasileiro.

Considerando o levantamento fotogramétrico terrestre, a fototriangulação realizada com as fotografias das ruínas da igreja de São Miguel das Missões resultou em um erro de 14,9 mm, o que possibilita o atendimento à precisão relativa de 25 mm estipulada para a documentação de edificações. Isso só poderia se confirmar com a restituição do modelo e com o controle de qualidade através de outra visita técnica ao local.

Além do aerolevanteamento, foi de grande importância também o conhecimento e a prática da Fotogrametria Arquitetural, que não é tão empregada no Brasil quanto o aerolevanteamento, mas que conta com regras e informações detalhadas elaboradas por entidades internacionais que consideram uma necessidade a preservação da memória de seus patrimônios.

As atividades executadas neste trabalho são importantes para a divulgação e a consolidação da Fotogrametria no mapeamento tridimensional de sítios arqueológicos. Além disso, comprovam a aplicação de levantamento fotogramétrico aéreo com a utilização do VANT com o objetivo de geração de produtos cartográficos, e de levantamentos fotogramétricos terrestres para a representação

tridimensional de obras e edificações, principalmente aquelas dotadas de valor histórico e cultural.

5.2 RECOMENDAÇÕES

Após a execução das etapas referentes a este trabalho, constatou-se que são necessárias atividades complementares, além da inclusão de outras tanto para a geração de produtos cartográficos como para o controle de qualidade. As atividades recomendadas são as seguintes:

- Restituição do levantamento fotogramétrico terrestre: recomenda-se a restituição no mesmo programa utilizado para o levantamento fotogramétrico aéreo, a fim de que os dados de feições dos dois levantamentos já estejam em um mesmo ambiente virtual;
- Controle de qualidade do levantamento fotogramétrico terrestre: com a utilização de pontos medidos nas fachadas, bem como medidas de distâncias facilmente identificadas na restituição, para a verificação do atendimento à recomendação do CIPA em relação à precisão relativa de 25 mm;
- Avaliação da estabilidade da câmara do VANT: execução de autocalibração com os dados de outros voos com diferentes direções para a verificação dos parâmetros de orientação interior determinados neste trabalho para garantir a minimização de erros nas etapas de aerotriangulação e geração do modelo digital de terreno;
- Edição completa do MDT e das curvas de nível: etapas necessárias para melhorar a representação topografia do terreno, recomendando-se a utilização de linhas que indicam interrupção ou mudanças de declividade no modelo;
- Controle de qualidade altimétrico do MDT e das curvas de nível: podendo ser utilizados os pontos de controle da aerotriangulação já levantados neste trabalho, entretanto recomenda-se o levantamento de outros pontos observando-se a distribuição geométrica adequada;

- Restituição das curvas de nível do mapeamento aéreo: objetivando avaliar a qualidade altimétrica desta técnica em relação às curvas de nível obtidas a partir da interpolação dos dados do MDT;
- Balanceamento radiométrico das imagens: objetivando uma uniformização na etapa de geração do ortofotomosaico;
- Levantamento topográfico: para a delimitação do sítio arqueológico em áreas não visíveis através das fotografias aéreas devido à presença de vegetação encobrindo as cercas;
- Aplicação de controle de qualidade: de completude e consistência lógica, entre outras formas de avaliação de um produto cartográfico, além do controle puramente geométrico, a fim de contemplar as necessidades do usuário final dos produtos gerados;
- Especificação de programa computacional ao usuário do produto final: para a visualização e realização de medições diretamente no modelo tridimensional, preferencialmente através de plataformas gratuitas;
- Publicação dos modelos tridimensionais em ambiente virtual: para possibilitar o acesso do público em geral aos produtos gerados.

REFERÊNCIAS

AL-KHEDER, S. et al. Developing a documentation system for desert palaces in Jordan using 3D laser scanning and digital photogrammetry. **Journal of Archaeological Science**, v.36, p.1-10, 2008. Disponível em: <http://ipac.kacst.edu.sa/eDoc/2008/172133_1.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2012.

ANDRADE, J.B. **Fotogrametria**. 1. ed. Curitiba: SBEE, 1998.

BRASIL, Decreto 89917 de 20 de junho de 1984. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia nacional. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, n120, 22 de junho de 1984. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D89817.htm>. Acesso em: 03 nov. 2012.

BURROUGH, Peter A. **Principles of geographical information systems**. Oxford: Oxford University, 1998.

CIPA - INTERNATIONAL COMMITTEE FOR ARCHITECTURAL PHOTOGRAMMETRY, 2004. **Statutes**, [2004]. Disponível em: <http://cipa.icomos.org/fileadmin/template/pdf/CIPA_Statutes.pdf>. Acesso em: 07 out. 2012.

CONGRESSO INTERNACIONAL DE ARQUITETOS E TÉCNICOS DOS MONUMENTOS HISTÓRICOS, II., 1964, Veneza. **Carta de Veneza**. Conselho Internacional de Monumentos e Sítios, [1964]. Disponível em: <http://www.icomos.org.br/cartas/Carta_de_Veneza_1964.pdf>. Acesso em: 07 out. 2012.

DESMOND, L. G. **The Application of Close-Range Photogrammetry to Archaeology**: Chichen Itza and Uxmal, Yucatan, Mexico, 1989. San Francisco, California: Department of Anthropology, California Academy of Sciences, 1989. Disponível em: <<http://maya.csueastbay.edu/archaeoplanet/LgdPage/Adivino94Paper.htm>>. Acesso em: 05 mar. 2013.

D'AYALA, D.; SMARS, P. **Minimum requirement for metric use of non-metric photographic documentation**. University of Bath, 2003. Disponível em: <<http://www.english-heritage.org.uk/publications/metric-use-of-non-metric-photographic-documentation/>>. Acesso em: 02 nov. 2012.

ERDAS Stereo Analyst. **User's Guide**. 2010.

FALKNER, E. **Aerial mapping: methods and applications**. Boca Raton: Lewis, 1995

GALO, M.; **Calibração e Aplicação de Câmaras Digitais**, Curitiba, 1993, Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, UFPR.

GALO, M.; CAMARGO, P. de O. **O uso do GPS no controle de qualidade de cartas.** In.: Cobrac - 1994, 1º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Tomo II, p. 41-48, Florianópolis, 1994.

GEMAEL, C. **Introdução ao Ajustamento de Observações:** Aplicações Geodésicas. Curitiba: Editora UFPR, 1994.

HASEGAWA, J. K. **Restituição Fotogramétrica (Analítica e Digital):** Teoria das Orientações – Introdução. 2004. 25p. Digitalizado.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Recomendações para Levantamentos Relativos Estáticos – GPS.** 2008. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/pdf/recom_gps_internet.pdf>. Acesso em: 30 out. 2012.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Modelo Geoidal.** Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo_geoidal.shtml>. Acesso em: 05 jun. 2013

INCRA – INSTUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. **Relatório ambiental do projeto de Assentamento Alecrim.** Porto Alegre, 2009. Disponível em: <[http://www.coptec.org.br/mapa/Sao Miguel das Missoes/Sao Miguel das Missoes/PA Alecrim/pa_alecrim.html](http://www.coptec.org.br/mapa/Sao_Miguel_das_Missoes/Sao_Miguel_das_Missoes/PA_Alecrim/pa_alecrim.html)>. Acesso em: 05 jun. 2013.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do meio ambiente:** uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

JUBANSKI, J.; ALIXANDRINI, M.; BÄHR, H.P. Câmeras Aerofotogramétricas Digitais: Novos Conceitos e Normas. **Revista Brasileira de Cartografia, n. 61/01, 2009.** Disponível em: <http://www.rbc.ufrj.br/_pdf_61_2009/61_01_6.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2013.

KRAUS, K. **Photogrammetry v. 1: Fundamentals and Standard Processes.** Dümmlerbuch, Vienna: 2000.

LEAL, F. M. São Miguel das Missões: Estudo de Estabilização e Conservação das Ruínas da Igreja. **Revista do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional,** Rio de Janeiro, n. 19, p. 71-96, 1984.

LETELLIER, R. **Recording, documentation, and Information Management for the Conservation of Heritage Places:** Guiding Principles. Los Angeles. The Getty Conservative Institute, 2007. Disponível em: <http://www.getty.edu/conservation/publications_resources/pdf_publications/recordim.html>. Acesso em: 05 mar. 2013.

LONGHITANO, G. **Vants para Sensoriamento Remoto:** Aplicabilidade na Avaliação de Monitoramento de Impactos Ambientais causados por Acidentes com Cargas Perigosas. (Mestrado em Engenharia de Transportes). Escola Politécnica da

Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-10012011-105505/publico/Dissertacao_George_Alfredo_Longhitano.pdf>. Acesso em : 22/07/2013.

LOPEZ-CUERVO, S. **Topografia**. Madrid: Mundi-Prensa, 1996

LUGNANI, J. B. **Introdução à Fototriangulação**. Curitiba: UFPR, 1987.

MIKHAIL, E. M.; BETHEL, J. S.; MCGLONE, J. C. **Introduction to Modern Photogrammetry**. New York: John Wiley & Sons, 2001.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS**: descrição, fundamentos e aplicações. São Paulo: UNESP, 2008.

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

OLIVEIRA, M. M. **A Documentação como Ferramenta de Preservação da Memória**. Brasília: IPHAN, 2008.

PAOLUZZI, A.; DEL BUFALO, D.; NISTRI, A.; ROSINA, N. Solid Modeling and Computer Graphics Rendering of the Coliseum in Rome. **ISPRS Archives**, Roma, v. XXVII, parte B5, 1988, p. 486-497. Disponível em: <http://www.isprs.org/proceedings/XXVII/congress/part5/486_XXVII-part5.pdf>. Acesso em: 07 out. 2012.

PEREIRA, R. S. **A estatística e suas aplicações**. Porto Alegre: Grafosul, 1979.

PIRES JUNIOR, C. D. A. **Cadastro Fotogramétrico Do Castelo Da Torre De Garcia D'Avila**. 2001. Fundação Ricardo Franco, Instituto Militar de Engenharia-IME. Disponível em: <<http://www.casadatorre.org.br/piresjrcfct.htm>>. Acesso em: 07 out. 2012.

PMSMM - PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO MIGUEL DAS MISSÕES. **História de São Miguel das Missões**. Disponível em: <<http://www.saomiguel-rs.com.br>>. Acesso em: 23 jun. 2013.

REISS, M. L. L. **Restituição Fotogramétrica Flexível de Imagens à Curta Distância**: Estudo de Métodos e Desenvolvimento de Protótipo . 2002. (Mestrado em Ciências Cartográficas) Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente, 2002.

REISS, M. L. L. **Reconstrução Tridimensional Digital de Objetos a Curta Distância por Meio de Luz Estruturada**. 2007. 229 f. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente, 2007.

REISS, M. L. L. **Princípios de Fotogrametria**. 2010. Notas de Aula.

REISS, M. L. L. **Fotogrametria II**. 2012. Notas de Aula.

ROCHA, S. R. **Exatidão Cartográfica para as Cartas Digitais Urbanas**. 2002. 123f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

SENSEFLY. Tecnologia em veículo aéreo não tripulado. Disponível em: <<http://www.sensefly.com>>. Acesso em: 05 jan. 2013

TOMMASELLI, A. M. G. **Fotogrametria Básica**. 2004. Digitalizado.

TOMMASELLI, A. M. G. **Fotogrametria Básica**. 2012. Disponível em: <http://www4.fct.unesp.br/docentes/carto/tomaseli/Fotogrametria_1/apostila.php>. Acesso em: 02 nov. 2012.

WOLF, P. R. **Elements of photogrammetry**: With air photo interpretation and remote sensing. 2. ed. New York: Mcgraw-Hill Book Company, 1983.

YANAGA, S. S. **Fotogrametria digital à curta distância na documentação do patrimônio arquitetônico** – estudo de caso. 2006. 111f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, 2006. Disponível em: <<http://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/88335/230938.pdf>>. Acesso em: 23 nov. 2012.

ANEXOS

**ANEXO A. MEMORIAIS DESCRITIVOS DOS MARCOS DA REDE GEODÉSICA
LOCAL.**

MONOGRAFIA DE MARCO DE APOIO BÁSICO

Data: 01/03/2013			
Nome do Ponto: M01		Identificação: M01	
Localidade: SÍTIO ARQUEOLÓGICO		Município: SÃO MIGUEL DAS MISSÕES	UF: RS

Coordenadas			Altitude Elipsoidal (m)	Altitude Ortométrica (m) MAPGEO2010	Sistema Geodésico de Referência
UTM / Fuso 21S (m)	GEODÉSICAS	CARTESIANAS (m)			
N = 6.839808,538	Lat = 28°32'47,68318" S	X= 3251764.610	309,371	300,101	SIRGAS 2000
E = 739181,178	Long = 54°33'19,2214" W	Y= - 4568132.175			
		Z= -3030000.300			

FOTO DO PONTO



VISTA AÉREA DO PONTO



EQUIPAMENTO

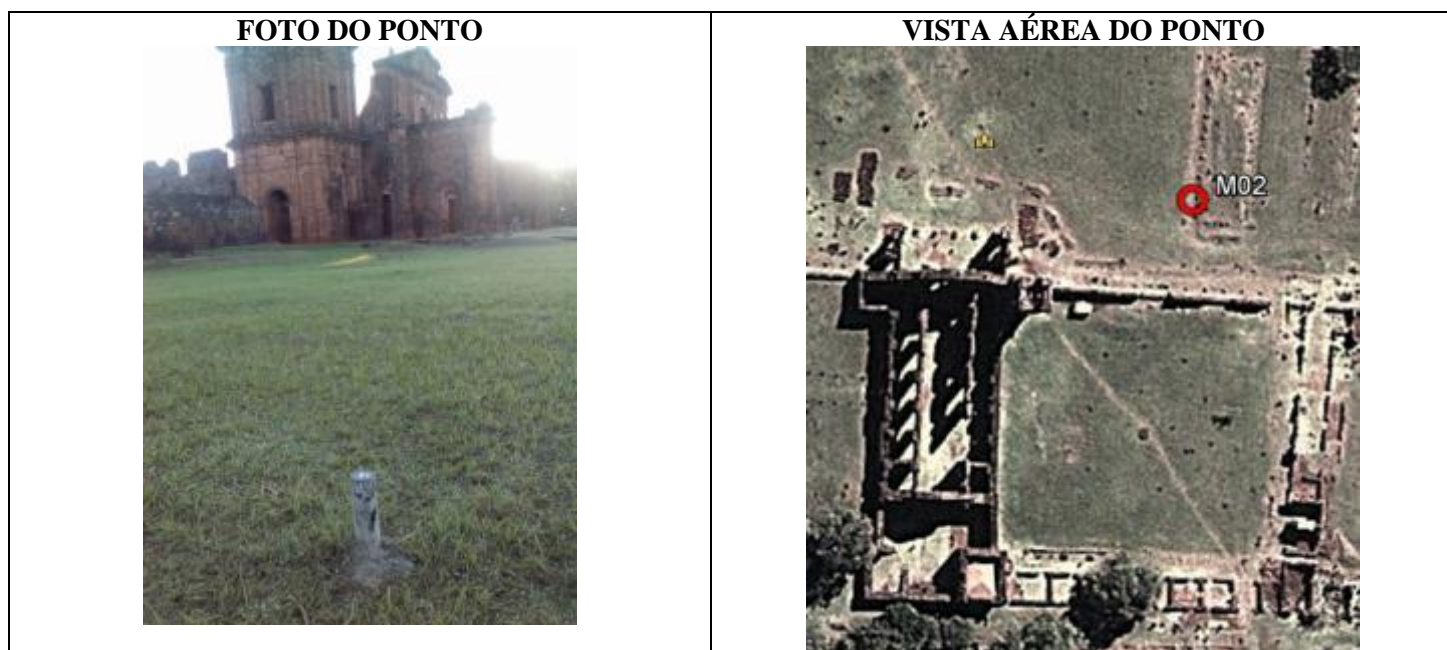
**Receptor
GNSS Hiper Lite+**

Descrição do Marco: marco de concreto com forma tronco-piramidal, com topo quadrangular de 10 cm de lado, aflorando do solo aproximadamente 30 cm. Com chapa metálica encravada no centro da sua superfície superior.

MONOGRAFIA DE MARCO DE APOIO BÁSICO

Data: 01/03/2013			
Nome do Ponto: M02		Identificação: M02	
Localidade: SÍTIO ARQUEOLÓGICO		Município: SÃO MIGUEL DAS MISSÕES	UF: RS

Coordenadas			Altitude Elipsoidal (m)	Altitude Ortométrica (m) MAPGEO2010	Sistema Geodésico de Referência
UTM / Fuso 21S (m)	GEODÉSICAS	CARTESIANAS (m)			
N = 6.839697,504	Lat = 28°32'51,2666" S	X= 3251762.292	309,604	300,336	SIRGAS 2000
E = 739213,468	Long = 54°33'17,9509" W	Y= -4568069.361			
		Z= -3030097.323			



EQUIPAMENTO	Receptor
	GNSS Hiper Lite+

Descrição do Marco: marco cilíndrico metálico preenchido com concreto, aflorando do solo aproximadamente 30 cm. Com chapa metálica encravada no centro da sua superfície superior.

MONOGRAFIA DE MARCO DE APOIO BÁSICO

Data: 01/03/2013			
Nome do Ponto: M03		Identificação: M03	
Localidade: SÍTIO ARQUEOLÓGICO		Município: SÃO MIGUEL DAS MISSÕES	UF: RS

Coordenadas			Altitude Elipsoidal (m)	Altitude Ortométrica (m) MAPGEO2010	Sistema Geodésico de Referência
UTM / Fuso 21S (m)	GEODÉSICAS	CARTESIANAS (m)			
N = 6.839586,331	Lat = 28°32'54,8698" S	X= 3251741.387	310,660	301,382	SIRGAS 2000
E = 739222,622	Long = 54°33'17,5309" W	Y= -4568020.305			
		Z= -3030195.274			



EQUIPAMENTO	Receptor
	GNSS Hiper Lite+

Descrição do Marco: marco cilíndrico metálico preenchido com concreto, aflorando do solo aproximadamente 30 cm. Com chapa metálica encravada no centro da sua superfície superior.

**ANEXO B. RELATÓRIO DO PROCESSAMENTO DOS MARCOS DA REDE
GEODÉSICA LOCAL.**

Project Summary - M01

Project name: 1-M01_RBMC_Todos_Dias.ttp

Surveyor:

Comment:

Linear unit: Meters

GPS Observations							
Name	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Horz RMS (m)	Vert RMS (m)	Distance (m)	Duration
M01-POAL	-181416.572	328031.097	-232.563	0.067	0.063	374170.471	07:22:16
M01-POAL	-181416.586	328031.096	-232.668	0.071	0.060	374170.474	01:58:10
M01-SCCH	150867.071	197134.238	434.855	0.036	0.066	247984.661	01:58:10
M01-SCCH	150867.072	197134.195	434.871	0.060	0.049	247984.628	02:44:50
M01-SMAR	-131964.355	78473.453	-196.346	0.028	0.052	153449.059	01:58:10
M01-SMAR	-131964.345	78473.457	-196.272	0.042	0.041	153449.054	07:22:16
M01-SMAR	-131964.383	78473.427	-196.207	0.046	0.041	153449.071	02:44:50
POAL-SCCH	332283.647	-130896.845	667.464	0.072	0.058	356142.286	02:01:00
POAL-SMAR	49452.214	-249557.661	36.320	0.035	0.067	253869.278	02:01:30
POAL-SMAR	49452.222	-249557.651	36.277	0.056	0.051	253869.268	07:24:00
SCCH-SMAR	-282831.435	-118660.771	-631.156	0.069	0.056	306287.148	02:01:00
SCCH-SMAR	-282831.442	-118660.780	-631.066	0.063	0.060	306287.160	02:47:00
SCCH-SMAR	-282831.423	-118660.748	-631.109	0.082	0.035	306287.129	01:23:00

Adjustment

Adjustment type: Plane + Height, Constraint

Confidence level: 95 %

Number of adjusted points: 4

Number of plane control points: 3

Number of plane weighted points: 3

Number of used GPS vectors: 24

Number of rejected GPS vectors by plane: 11

A posteriori plane or 3D UWE: 0.9977362 , Bounds: (0.7696459 , 1.229731)

Number of height control points: 3

Number of height weighted points: 3

Point Summary											
Name	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Elevation (m)	Code	Std Dev n (m)	Std Dev e (m)	Std Dev Hz (m)	Std Dev u (m)	Error Ellipse Azimuth	Error Ellipse major semi-axis (m)	Error Ellipse minor semi-axis (m)
M01	6839808.538	739181.178	309.371		0.008	0.012	0.015	0.018	89°10'33.7464"	0.012	0.008
POAL	6658391.961	1067212.265	76.750		0.001	0.002	0.002	0.002	90°00'00.0000"	0.002	0.001
SCCH	6990675.584	936315.394	744.240		0.001	0.001	0.001	0.006	0°00'00.0000"	0.001	0.001
SMAR	6707844.184	817654.629	113.110		0.001	0.001	0.001	0.001	0°00'00.0000"	0.001	0.001

Project Summary - M02

Project name: 3-M01fixo_M02.ttp

Surveyor:

Comment:

Linear unit: Meters

GPS Observations							
Name	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Horz RMS (m)	Vert RMS (m)	Distance (m)	Duration
M01-M02	-111.037	32.290	0.238	0.001	0.001	115.607	00:23:54
M01-M02	-111.035	32.291	0.241	0.001	0.001	115.605	02:24:42
M01-M02	-111.034	32.290	0.237	0.001	0.002	115.604	00:12:29
M01-M02	-111.034	32.288	0.226	0.001	0.001	115.604	00:55:55

Adjustment

Control Tie Analysis: success

Adjustment type: Plane + Height, Minimal constraint

Confidence level: 95 %

Number of adjusted points: 2

Number of plane control points: 1

Number of used GPS vectors: 4

A posteriori plane or 3D UWE: 1.120753 , Bounds: (0.4546061 , 1.551881)

Number of height control points: 1

A posteriori height UWE: 2.82253 , Bounds: (0.2683282 , 1.766352)

Point Summary										
Name	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Elevation (m)	Std Dev n (m)	Std Dev e (m)	Std Dev Hz (m)	Std Dev u (m)	Error Ellipse Azimuth	Error Ellipse major semi-axis (m)	Error Ellipse minor semi-axis (m)
M01	6839808.538	739181.178	309.371	0.000	0.000	0.000	0.000	0°00'00.0000"	0.000	0.000
M02	6839697.503	739213.468	309.606	0.001	0.001	0.001	0.003	60°58'17.1243"	0.001	0.001

Project Summary - M03

Project name: 4-M01fixo_M03.ttp

Surveyor:

Comment:

Linear unit: Meters

GPS Observations							
Name	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Horz RMS (m)	Vert RMS (m)	Distance (m)	Duration
M01-M03	-222.206	41.444	1.281	0.001	0.001	225.983	00:42:55

Adjustment

Control Tie Analysis: success

Adjustment type: Plane + Height, Minimal constraint

Confidence level: 95 %

Number of adjusted points: 2

Number of plane control points: 1

Number of used GPS vectors: 1

A posteriori plane or 3D UWE: 1 , Bounds: (1 , 1)

Number of height control points: 1

A posteriori height UWE: 1 , Bounds: (1 , 1)

Point Summary										
Name	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Elevation (m)	Std Dev n (m)	Std Dev e (m)	Std Dev Hz (m)	Std Dev u (m)	Error Ellipse Azimuth	Error Ellipse major semi-axis (m)	Error Ellipse minor semi-axis (m)
M01	6839808.538	739181.178	309.371	0.000	0.000	0.000	0.000	0°00'00.0000"	0.000	0.000
M03	6839586.332	739222.622	310.652	0.001	0.001	0.002	0.002	113°10'40.3888"	0.001	0.001

**ANEXO C. RELATÓRIO DE CÁLCULO E AJUSTAMENTO DA
POLIGONAL DE APOIO - TOPOGRAFIA.**

Project Summary

Project name: 3-poligonal_irrad-FECHADA-TOPO-LOCAL.ttp

Linear unit: Meters

Angular unit: DMS

Adjustment

Control Tie Analysis: success

Adjustment type: Plane + Height, Constraint

Confidence level: 95 %

Number of adjusted points: 218

Number of plane control points: 12

Number of plane weighted points: 11

Number of SD conditions: 117

Number of HA conditions: 373

Number of rejected SD conditions: 1

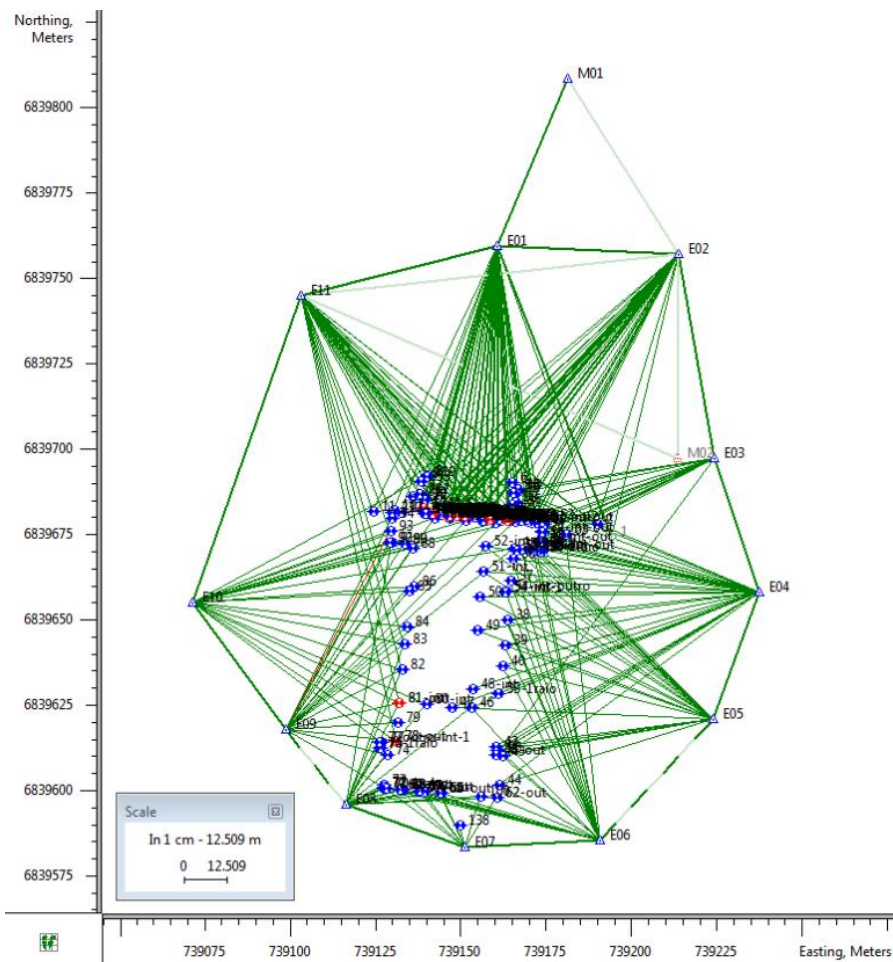
A posteriori plane or 3D UWE: 0.9847218 , Bounds: (0.8422008 , 1.15748)

Number of height control points: 12

Number of height weighted points: 11

Number of VA conditions: 387

A posteriori height UWE: 1.057443 , Bounds: (0.8969975 , 1.102861)



Point Summary

Name	Ground Northing (m)	Ground Easting (m)	Elevation (m)
E01	6839759.415	739160.615	308.683
E02	6839757.218	739213.727	309.130
E03	6839697.428	739224.106	310.281
E04	6839658.261	739237.337	310.420
E05	6839620.936	739223.800	310.085
E06	6839585.467	739190.781	310.229
E07	6839583.471	739151.074	309.390
E08	6839595.775	739116.498	309.157
E09	6839618.062	739098.701	308.883
E10	6839655.231	739071.537	309.112
E11	6839745.123	739103.227	308.365
M01	6839808.538	739181.178	309.371
M02	6839697.533	739213.475	309.598

**ANEXO D. RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO E AJUSTAMENTO DA
POLIGONAL DE APOIO – POSICIONAMENTO GEODÉSICO GNSS.**

Project Summary

Project name: GNSS.ttp

Surveyor:

Comment:

Linear unit: Meters

GPS Observations					
Name	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Horz RMS (m)	Vert RMS (m)
E01-M01	49.1275	20.5648	0.688	0.0006	0.001
E02-M01	51.3318	-32.5549	0.242	0.0010	0.002
E03-M01	111.1436	-42.9149	-0.911	0.0006	0.001
E04-M01	150.3176	-56.1464	-1.041	0.0005	0.001
E05-E06	-35.4653	-33.0462	0.126	0.0073	0.012
E05-M01	187.6533	-42.6070	-0.721	0.0046	0.009
E06-E07	-1.9878	-39.7002	-0.826	0.0101	0.034
E06-M01	223.1173	-9.5600	-0.849	0.0013	0.002
E07-E08	12.3106	-34.5858	-0.230	0.0061	0.015
E07-M01	225.1004	30.1513	-0.047	0.0018	0.004
E08-E09	22.2902	-17.7871	-0.242	0.0137	0.039
E08-M01	212.7914	64.7239	0.209	0.0022	0.005
E09-M01	190.5084	82.5069	0.473	0.0040	0.008
E10-M01	153.3219	109.6827	0.232	0.0018	0.003
E11-M01	63.4205	77.9807	0.996	0.0016	0.003

Adjustment

Control Tie Analysis: success

Adjustment type: Plane + Height, Minimal constraint

Confidence level: 95 %

Number of adjusted points: 12

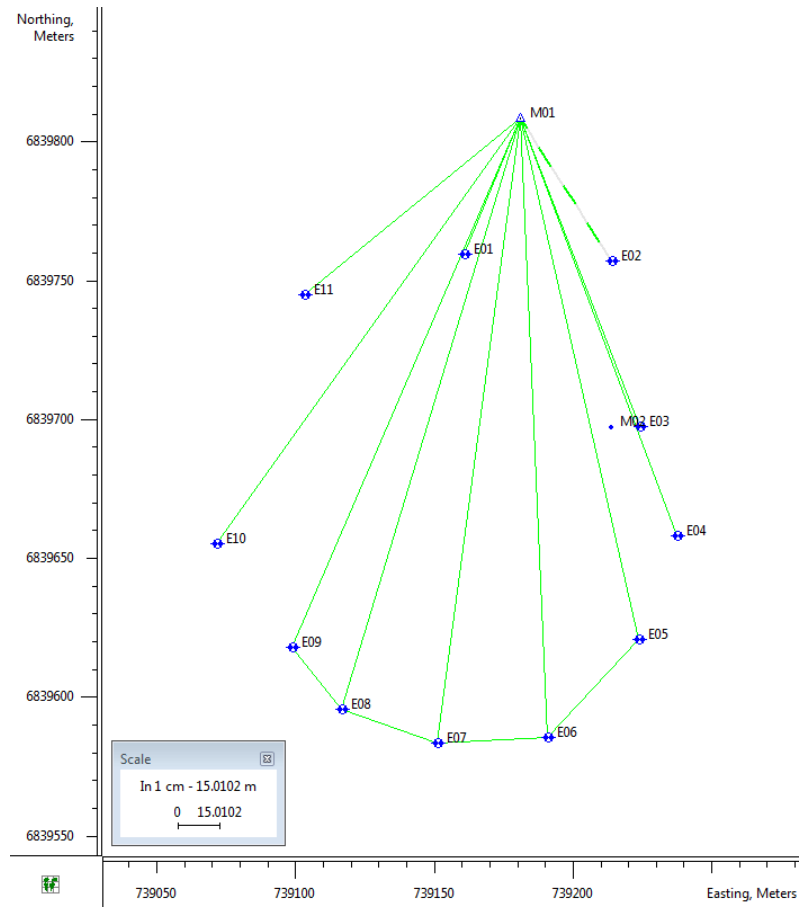
Number of plane control points: 1

Number of used GPS vectors: 15

A posteriori plane or 3D UWE: 1.063294 , Bounds: (0.5220153 , 1.480287)

Number of height control points: 1

A posteriori height UWE: 0.8887501 , Bounds: (0.3478505 , 1.668832)



Point Summary

Name	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Elevation (m)
E01	6839759.411	739160.613	308.687
E02	6839757.206	739213.733	309.127
E03	6839697.394	739224.093	310.273
E04	6839658.220	739237.324	310.389
E05	6839620.885	739223.785	310.055
E06	6839585.421	739190.738	310.171
E07	6839583.437	739151.028	309.332
E08	6839595.747	739116.453	309.096
E09	6839618.030	739098.671	308.815
E10	6839655.216	739071.495	309.042
E11	6839745.118	739103.197	308.290
M01	6839808.538	739181.178	309.371
M02	6839697.503	739213.468	309.606

**ANEXO E. RELATÓRIO DE CALIBRAÇÃO DA CÂMARA DO VANT –
PROGRAMA CC.**

RELATORIO DE SAIDA DO PROGRAMA
CALIBRACAO DE CAMARAS

Versao: v 2009.05
UNESP - Departamento de Cartografia
Autor: M. Galo

Numero de pontos no espaco objeto: - 30 - Lidos
Lidos e nao utilizados - 11
De apoio - 19 _ 335
Fotogrametricos - 316 /
Numero de pontos no espaco imagem - 995
Numero de observacoes - 1990
Numero de fotos - 34
Numero total de parametros: - 1219
Calibracao - 10
Orientacao - 204
Espaco objeto - 1005
Numero de injuncoes (Total) - 57
Numero de inj. de distancia (CPs + OBJs) - 0
Graus de liberdade - 828
Numero de iteracoes - 27
Limite de convergencia - 0.1000E-08
Desvio padrão em x/y - fotocordenadas - 1.0000 1.0000
Variancia (desvio) da unidade de peso:
a priori - 0.1000E+01 (1.0000)
a posteriori - 0.1149E+00 (0.3389)
Qui-Quadrado amostral - 0.9510E+02
F (razao variancias post./priori) - 0.1149E+00
Opcoes de entrada - 2 2 4 2 2
Dimensao da Imagem (H x V) em pixels - 4000 x 3000
Dimensao do pixel (H) [mm] - 0.00154
Dimensao do pixel (V) [mm] - 0.00154
Arquivos de I/O: Apoio (I) - apoiohv.xyz
Fotocordenadas (I) - fotocord.txt
Parametros (I) - vant.par
Saida (O) - vant.sai
Informacoes (O) - CC.TXT/CC.AUX
Residuos (O) - CC.RES

ANALISE GLOBAL DO AJUSTAMENTO

Hipoteses |Basica H0: Var. a posteriori = Var. a priori
|Alternativa H1: Var. a posteriori > Var. a priori

Nivel de confianca (1 - Alfa) - 95.0%
Graus de liberdade - 828
Qui-quadrado amostral (QQa) - 95.10
Qui-quadrado tabelado (QQt) - 896.05

QQa < QQt |--> H0 nao rejeitada*
QQa >= QQt |--> H0 rejeitada

* Para uma analise conclusiva sobre o ajustamento recomenda-se
tambem verificar os residuos (no arquivo CC.RES).

PARAMETROS DE CALIBRACAO

c = 4.3479 +- 0.1371E-01 (Desvio: 8.905 [pixel])
x0 = -0.0036 +- 0.1422E-02 (Coluna 1997.183, Tc= -2.3)
y0 = 0.0608 +- 0.1823E-02 (Linha 1460.010, Ti= -39.5)
k1 = -0.2078690E-02 +- 0.4622E-04

k2 = 0.3503357E-04 +- 0.7800E-05
k3 = 0.7883386E-06 +- 0.3917E-06
P1 = -0.6771211E-04 +- 0.1166E-04
P2 = 0.7635016E-03 +- 0.1117E-04
A = -.1498706E-03 +- 0.4279E-04 Epsilon = -30.9"
B = -.1547970E-03 +- 0.3885E-04 ds = -0.9998501

SIGNIFICANCIA DOS PARAMETROS DE CALIBRACAO

(Analise parametro a parametro)

Nivel de confianca (1 - Alfa) - 95.0%
Graus de liberdade (Teste F) - 1 e 828
F tabelado - 3.85

c: <--[Par. significativo] F calc. = 0.1005E+06
x0: <--[Par. significativo] F calc. = 0.6293E+01
y0: <--[Par. significativo] F calc. = 0.1113E+04
k1: <--[Par. significativo] F calc. = 0.2023E+04
k2: <--[Par. significativo] F calc. = 0.2018E+02
k3: <--[Par. significativo] F calc. = 0.4051E+01
P1: <--[Par. significativo] F calc. = 0.3371E+02
P2: <--[Par. significativo] F calc. = 0.4669E+04
A: <--[Par. significativo] F calc. = 0.1226E+02
B: <--[Par. significativo] F calc. = 0.1588E+02

SIGNIFICANCIA DOS PARAMETROS DE IO

(Para grupos de parametros)

Nivel de confianca (1 - Alfa) - 95.0%
Graus de liberdade (Teste F) - 2 e 828
F tabelado - 3.01

x0 y0: <--[Par. significativo] F calc. = 0.5564E+03
P1 P2: <--[Par. significativo] F calc. = 0.2365E+04
A B: <--[Par. significativo] F calc. = 0.1428E+02

Nivel de confianca (1 - Alfa) - 95.0%
Graus de liberdade (Teste F) - 3 e 828
F tabelado - 2.62

K1 K2 K3: <--[Par. significativo] F calc. = 0.1783E+05

COEFICIENTES DE CORRELACAO PARA OS PARAMETROS DE IO

1.00
-.11 1.00
0.22 -.06 1.00
-.09 0.05 -.05 1.00
0.04 -.05 0.06 -.96 1.00
-.05 0.06 -.07 0.91 -.98 1.00
0.02 -.23 -.04 -.02 0.02 -.02 1.00
-.06 0.10 -.06 0.06 -.06 0.07 0.02 1.00
0.00 -.14 0.11 0.03 -.05 0.05 -.04 -.11 1.00
0.09 -.18 -.08 0.01 -.03 0.03 0.14 -.01 -.01 1.00

PARAMETROS DE ORIENTACAO EXTERIOR (para 10 fotografias)

Foto 1 (32)
kappa = -.1504481E+01 +-0.1116E-03 (-86.2004351 +- 0.6392E-02 graus)

Phi = -.1359690E-01 +0.5178E-03 (-0.7790452 +0.2967E-01 graus)
Omega = -.2434169E-01 +0.2627E-03 (-1.3946764 +-0.1505E-01 graus)
Xcp = 738836.252 +-0.1548E+00
Ycp = 6839992.185 +-0.1059E+00
Zcp = 531.283 +-0.7480E+00

Foto 2 (33)
kappa = -.1546604E+01 +-0.7084E-04 (-88.6139091 +-0.4059E-02 graus)
Phi = -.5451245E-02 +0.2840E-03 (-0.3123333 +-0.1627E-01 graus)
Omega = 0.1933046E-01 +0.2799E-03 (1.1075540 +-0.1604E-01 graus)
Xcp = 738919.295 +-0.1229E+00
Ycp = 6839990.602 +-0.1079E+00
Zcp = 532.891 +-0.7386E+00

Foto 3 (34)
kappa = -.1678458E+01 +-0.6714E-04 (-96.1685753 +-0.3847E-02 graus)
Phi = -.5013334E-01 +0.2614E-03 (-2.8724287 +-0.1498E-01 graus)
Omega = 0.1559681E-01 +0.2650E-03 (0.8936313 +-0.1518E-01 graus)
Xcp = 738998.698 +-0.1157E+00
Ycp = 6839991.943 +-0.1062E+00
Zcp = 534.702 +-0.7349E+00

Foto 4 (35)
kappa = -.1585723E+01 +-0.7097E-04 (-90.8552161 +-0.4066E-02 graus)
Phi = -.6686040E-01 +0.2721E-03 (-3.8308189 +-0.1559E-01 graus)
Omega = -.1246282E+00 +0.3529E-03 (-7.1406694 +-0.2022E-01 graus)
Xcp = 739081.167 +-0.1207E+00
Ycp = 6839993.490 +-0.1924E+00
Zcp = 534.995 +-0.7126E+00

Foto 5 (36)
kappa = -.1706061E+01 +-0.9834E-04 (-97.7500781 +-0.5635E-02 graus)
Phi = -.3836463E-01 +0.2810E-03 (-2.1981315 +-0.1610E-01 graus)
Omega = 0.1048879E+00 +0.5107E-03 (6.0096312 +-0.2926E-01 graus)
Xcp = 739161.947 +-0.1089E+00
Ycp = 6839990.456 +-0.1959E+00
Zcp = 534.624 +-0.7065E+00

Foto 6 (37)
kappa = -.1521995E+01 +-0.7712E-04 (-87.2038624 +-0.4419E-02 graus)
Phi = -.5990304E-01 +0.3400E-03 (-3.4321912 +-0.1948E-01 graus)
Omega = -.6597767E-01 +0.2918E-03 (-3.7802423 +-0.1672E-01 graus)
Xcp = 739243.273 +-0.1258E+00
Ycp = 6839993.865 +-0.1323E+00
Zcp = 531.210 +-0.7046E+00

Foto 7 (38)
kappa = -.1621996E+01 +-0.1033E-03 (-92.9335295 +-0.5917E-02 graus)
Phi = -.2041814E-01 +0.3569E-03 (-1.1698730 +-0.2045E-01 graus)
Omega = 0.2685446E-01 +0.3518E-03 (1.5386473 +-0.2016E-01 graus)
Xcp = 739323.908 +-0.1238E+00

Ycp = 6839989.692 +-0.1187E+00
Zcp = 533.912 +-0.7151E+00

Foto 8 (39)
kappa = -.1591336E+01 +-0.1306E-03 (-91.1768614 +-0.7482E-02 graus)
Phi = -.3490683E-01 +0.4403E-03 (-2.0000138 +-0.2523E-01 graus)
Omega = 0.3376874E-04 +0.3320E-03 (0.0019348 +-0.1902E-01 graus)
Xcp = 739405.118 +-0.1415E+00
Ycp = 6839989.722 +-0.1114E+00
Zcp = 532.791 +-0.7157E+00

Foto 9 (40)
kappa = -.1646731E+01 +-0.1943E-03 (-94.3507286 +-0.1113E-01 graus)
Phi = -.3559065E-01 +0.5951E-03 (-2.0391940 +-0.3410E-01 graus)
Omega = 0.9119817E-01 +0.5597E-03 (5.2252700 +-0.3207E-01 graus)
Xcp = 739486.666 +-0.1692E+00
Ycp = 6839989.589 +-0.1870E+00
Zcp = 533.294 +-0.7150E+00

Foto 10 (43)
kappa = -.4881160E+01 +-0.1488E-03 (-279.6698675 +-0.8528E-02 graus)
Phi = 0.3253353E-01 +0.5606E-03 (1.8640341 +-0.3212E-01 graus)
Omega = 0.4579766E-01 +0.3971E-03 (2.6240124 +-0.2275E-01 graus)
Xcp = 739502.830 +-0.1552E+00
Ycp = 6839899.887 +-0.1470E+00
Zcp = 535.416 +-0.7239E+00

Foto 11 (44)
kappa = -.4042813E+01 +-0.1030E-03 (-231.6360981 +-0.5902E-02 graus)
Phi = 0.3454066E-01 +0.3431E-03 (1.9790342 +-0.1966E-01 graus)
Omega = 0.1967279E-01 +0.3137E-03 (1.1271679 +-0.1797E-01 graus)
Xcp = 739431.747 +-0.1132E+00
Ycp = 6839882.244 +-0.1314E+00
Zcp = 533.454 +-0.7096E+00

COORDENADAS NO ESPACO OBJETO (X Y Z) –
(para alguns pontos)

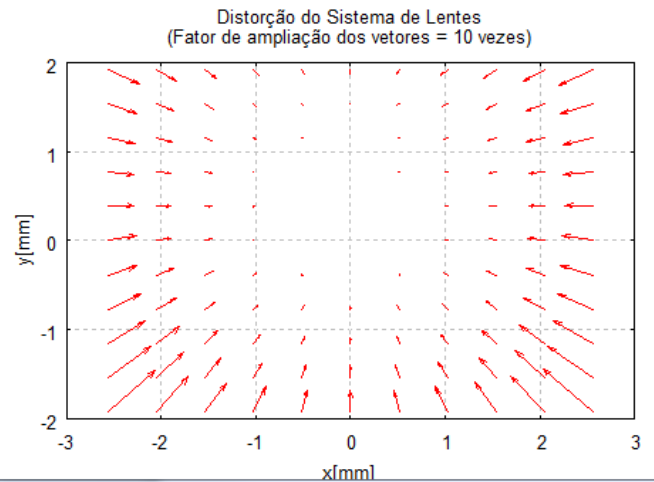
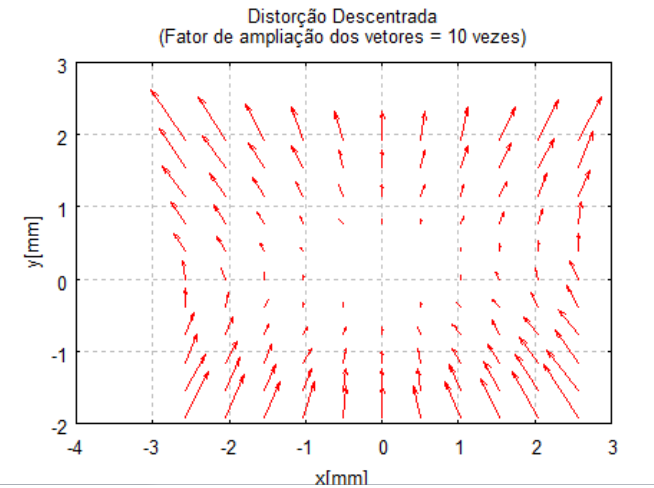
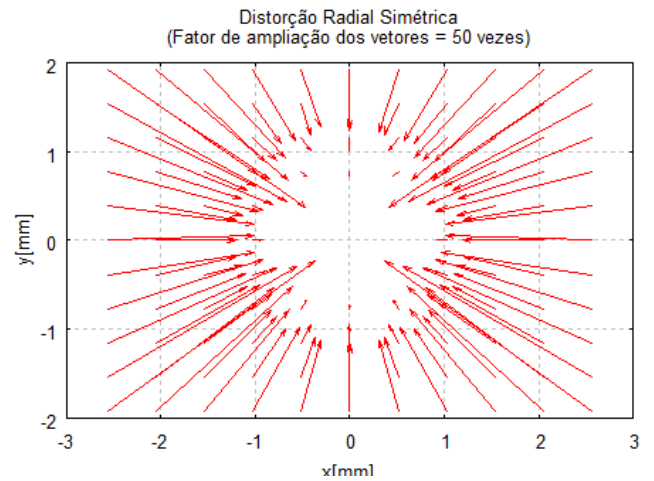
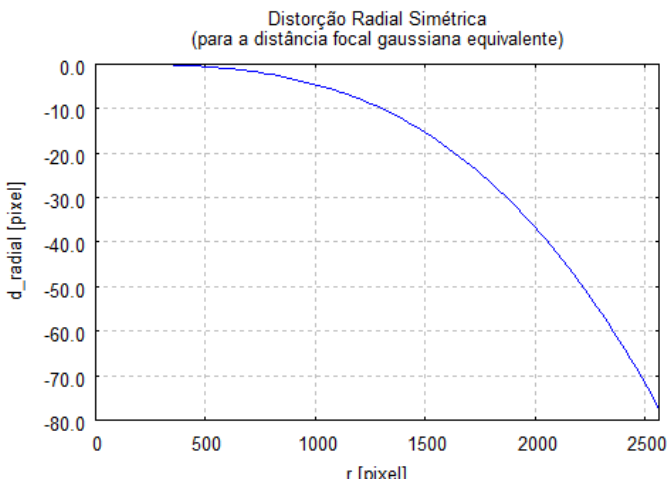
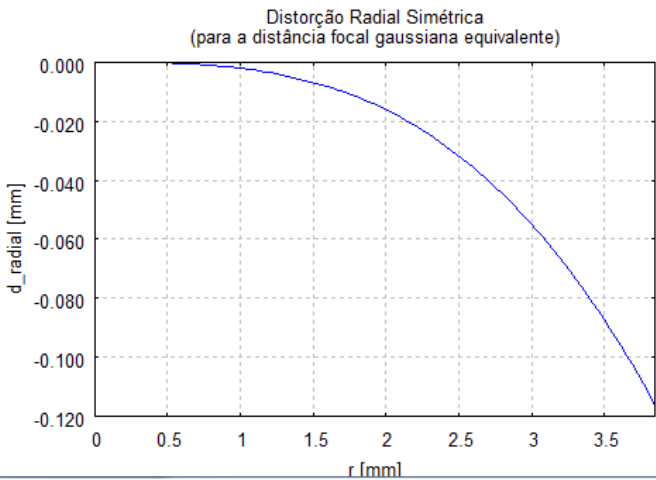
5001	738903.435 +- 0.000	6840121.807 +- 0.000	291.676 +- 0.000
5002	739037.025 +- 0.000	6840113.705 +- 0.000	295.154 +- 0.000
5003	739277.846 +- 0.000	6840090.400 +- 0.000	302.299 +- 0.000
5004	738891.633 +- 0.000	6839979.003 +- 0.000	299.286 +- 0.000
5005	739034.535 +- 0.000	6839960.124 +- 0.000	303.469 +- 0.000
5006	739169.078 +- 0.000	6839946.361 +- 0.000	306.670 +- 0.000
5008	739392.996 +- 0.000	6839922.799 +- 0.000	309.519 +- 0.000
5011	739198.440 +- 0.000	6839884.446 +- 0.000	308.146 +- 0.000
5012	738878.964 +- 0.000	6839856.537 +- 0.000	300.555 +- 0.000
5013	739016.038 +- 0.000	6839824.560 +- 0.000	305.747 +- 0.000
5014	739175.502 +- 0.000	6839792.236 +- 0.000	308.573 +- 0.000
5015	739320.389 +- 0.000	6839796.667 +- 0.000	308.292 +- 0.000
5016	738870.267 +- 0.000	6839619.801 +- 0.000	293.527 +- 0.000
5017	738979.857 +- 0.000	6839704.013 +- 0.000	305.428 +- 0.000
5018	739112.168 +- 0.000	6839660.981 +- 0.000	309.145 +- 0.000
5019	739211.821 +- 0.000	6839630.777 +- 0.000	309.817 +- 0.000
5020	739313.882 +- 0.000	6839614.943 +- 0.000	309.648 +- 0.000
5021	739439.222 +- 0.000	6839623.591 +- 0.000	303.212 +- 0.000
5022	738857.543 +- 0.000	6839488.051 +- 0.000	296.729 +- 0.000

42	738937.474 +- 0.019	6840081.148 +- 0.031	298.013 +- 0.066
50	738918.947 +- 0.017	6840056.305 +- 0.026	295.366 +- 0.055
58	738812.707 +- 0.030	6840023.460 +- 0.029	299.812 +- 0.081
59	738835.593 +- 0.024	6840009.915 +- 0.025	300.145 +- 0.076
63	738856.208 +- 0.025	6839947.530 +- 0.031	303.108 +- 0.115
67	738831.318 +- 0.037	6840127.766 +- 0.079	291.201 +- 0.135
68	738763.290 +- 0.049	6839965.682 +- 0.027	297.728 +- 0.104
73	738817.876 +- 0.022	6839870.532 +- 0.020	297.163 +- 0.047
74	738956.699 +- 0.023	6839960.555 +- 0.023	301.013 +- 0.064
75	738915.093 +- 0.019	6840092.596 +- 0.035	293.136 +- 0.068
76	738931.059 +- 0.034	6839864.074 +- 0.069	302.918 +- 0.123
77	738907.973 +- 0.018	6840032.736 +- 0.022	296.996 +- 0.062
78	738906.585 +- 0.016	6839969.349 +- 0.017	299.819 +- 0.044
79	738908.673 +- 0.026	6839965.226 +- 0.025	300.021 +- 0.115
415	739055.482 +- 0.026	6839662.519 +- 0.021	307.506 +- 0.068
416	739230.084 +- 0.014	6839714.861 +- 0.014	309.902 +- 0.038
417	739164.811 +- 0.022	6839654.320 +- 0.033	310.145 +- 0.089
418	739137.009 +- 0.029	6839803.323 +- 0.035	308.308 +- 0.082
421	739070.464 +- 0.039	6839657.277 +- 0.033	308.369 +- 0.097
423	739248.780 +- 0.019	6839745.907 +- 0.018	309.265 +- 0.061
424	739237.440 +- 0.026	6839839.015 +- 0.041	309.266 +- 0.111
426	739229.281 +- 0.017	6839794.633 +- 0.024	309.124 +- 0.062
431	739250.725 +- 0.015	6839757.714 +- 0.016	309.264 +- 0.045
432	739188.893 +- 0.018	6839719.272 +- 0.018	309.020 +- 0.047
433	739284.038 +- 0.026	6839783.864 +- 0.023	308.666 +- 0.064
434	739208.974 +- 0.015	6839683.856 +- 0.016	309.878 +- 0.042
436	739125.593 +- 0.022	6839746.779 +- 0.021	308.360 +- 0.063
439	739243.355 +- 0.042	6839690.864 +- 0.024	309.470 +- 0.090
441	739054.361 +- 0.027	6839709.264 +- 0.021	307.380 +- 0.070
442	739174.381 +- 0.016	6839729.267 +- 0.017	308.857 +- 0.046

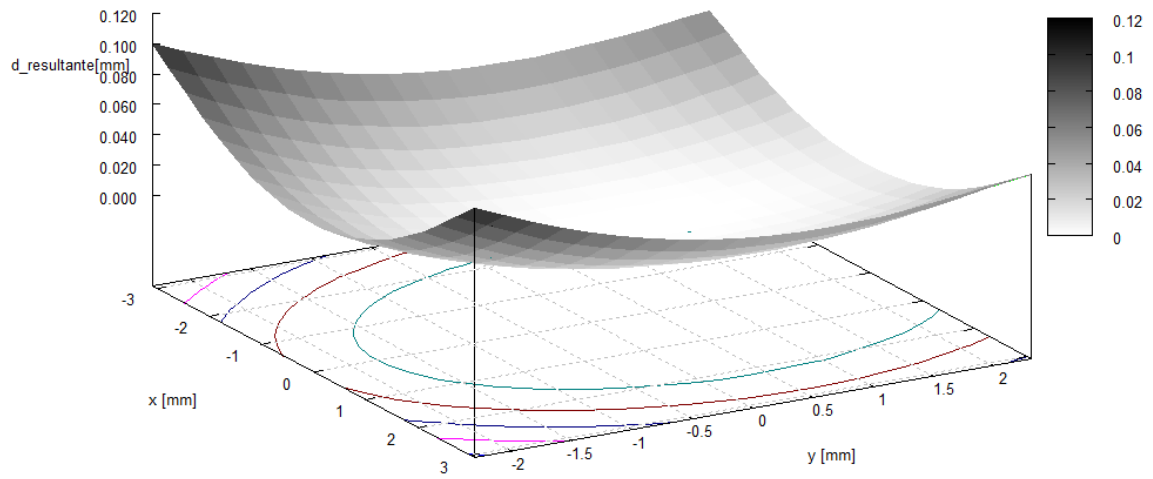
9/ 5/2013 ==> 4h 35m 30.00s

Tempo de processamento (s) = 865.35

GRÁFICOS – PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO



Resultante das Distorções



**ANEXO F. RELATÓRIO DE CALIBRAÇÃO DA CÂMARA DO VANT –
PROGRAMA ORIMA.**

RELATÓRIO RESUMIDO

*** CAP Combined Adjustment Program *** Rel. 13.00 (C) Dr.-Ing. L. Hinsken 1988-2013

Start of execution : 11-May-13 13: 8: 7

Maximum number of iterations : 50
Sigma0 a priori : 0.0007
Blunder elimination limit : 0
Probability of error type I : 5.0 %
Units for angles : (deg)
Scale ground units to meter : 1.0000
Reordering to minimize memory requirements

Apply correction for atmospheric refraction

Selected camera parameters:

Principal distance
Coordinates of principal point x0, y0
Radial symmetric distortion a1, a2, a3
Affinity and nonorthogonality b1, b2
Platen unflatness C1, C2, C3
Uncompensated deformations d1,...,d10

Variance component average redun. : 0.30

Codes	Standard Deviation
0	0.0007
1	0.0100
2	0.0500
3	0.1000
4	0.2000
5	0.5000
6	1.0000
7	5.0000
8	10.0000
9	99.9900

Number of Control Points : 27
Number of Terrain Points : 491
Number of Images : 69
Number of Cameras : 1
Number of GPS Profiles : 1
Number of Add. Observations : 309

***** 19. Iteration *****

RMS values of weighted residuals of X and Y image coordinates (para 10 fotografias)

Image ID. img_0554	0.0004	0.0005
Image ID. img_0555	0.0005	0.0005
Image ID. img_0556	0.0004	0.0004
Image ID. img_0557	0.0004	0.0004
Image ID. img_0558	0.0002	0.0002
Image ID. img_0560	0.0004	0.0003
Image ID. img_0561	0.0003	0.0003
Image ID. img_0562	0.0004	0.0005
Image ID. img_0563	0.0005	0.0004

Image ID. img_0564 0.0004 0.0003

RMS values of weighted residuals of X,Y and Z GPS coordinates

Profile ID. 1 0.0005 0.0005 0.0002

Additional observations: 0.0001

Sigma0: 0.0006

SIGMA0 * 1000 : 0.5755

Changes of parameters: 0.0000

Adjusted GPS drift parameters

Profile ID	Constant			Linear		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	-0.081	0.030	0.082	0.0000000	0.0000000	0.0000000

Adjusted standard deviation for GPS drift parameters

Profile ID	Constant			Linear		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	0.030	0.024	0.150	0.0005755	0.0005755	0.0005755

Adjusted GPS observations

Profile ID. 1

Antenna centers

Ima./Prof.ID	Observations	SD.Post	SD.Prio	Resid.	Test	Redun	Reliab
img_0554 1	X 739141.281	0.103	0.165	-0.102	-0.1	0.81	1.14
	Y 6840116.288	0.088	0.126	-0.086	-0.1	0.79	0.93
	Z 539.381	0.050	0.063	-0.101	-0.1	0.95	0.96
Time (sec):	0.000						
Offset: X	0.000	Drift: -0.081					
Y	0.000	0.030					
Z	0.000	0.082					
img_0555 1	X 739049.395	0.080	0.165	-0.085	-0.1	0.85	0.98
	Y 6840109.514	0.080	0.126	-0.185	-0.3	0.81	0.88
	Z 534.710	0.040	0.063	-0.016	0.0	0.96	0.91
Time (sec):	0.000						
Offset: X	0.000	Drift: -0.081					
Y	0.000	0.030					
Z	0.000	0.082					
img_0556 1	X 738963.009	0.083	0.165	-0.063	-0.1	0.85	1.00
	Y 6840106.675	0.078	0.126	-0.161	-0.2	0.81	0.87
	Z 534.935	0.040	0.063	0.060	0.1	0.97	0.95
Time (sec):	0.000						
Offset: X	0.000	Drift: -0.081					
Y	0.000	0.030					
Z	0.000	0.082					
img_0557 1	X 738870.414	0.102	0.165	0.395	0.4	0.81	1.13
	Y 6840110.255	0.091	0.126	-0.043	-0.1	0.78	0.95
	Z 533.492	0.047	0.063	0.117	0.1	0.95	0.96
Time (sec):	0.000						
Offset: X	0.000	Drift: -0.081					
Y	0.000	0.030					
Z	0.000	0.082					
img_0558 1	X 738777.897	0.138	0.165	0.615	0.6	0.74	1.37
	Y 6840102.417	0.113	0.126	-0.183	-0.2	0.73	1.09
	Z 532.455	0.065	0.063	0.368	0.4	0.91	1.01
Time (sec):	0.000						
Offset: X	0.000	Drift: -0.081					
Y	0.000	0.030					

Z 0.000 0.082

RMS-X: 0.193
RMS-Y: 0.144
RMS-Z: 0.078

Variance components for GPS observations

X: 1.05
Y: 1.03
Z: 1.05

Scale GPS

X: 1.65
Y: 1.26
Z: 0.63

Parameters of exterior orientation

Image ID. img_0554 Camera ID. Canon_IXUS_220HS_new_orima_1
Strip No. 1
Scale 1: 54054.
Proj. Center St.Dev. Ext.Reliab.

XO 739141.25954 0.10100 0.217
YO 6840116.17148 0.08587 0.151
ZO 539.19748 0.16388 0.140

Rot. Angles (deg) St.Dev. (deg)

Omega 355.44795 0.01751
Phi 9.95204 0.01976
Kappa 78.27703 0.00720
Rotation order: Omega, Phi, Kappa

Image ID. img_0555 Camera ID. Canon_IXUS_220HS_new_orima_1
Strip No. 1
Scale 1: 53002.
Proj. Center St.Dev. Ext.Reliab.

XO 739049.39083 0.07318 0.116
YO 6840109.29876 0.07829 0.120
ZO 534.61136 0.15562 0.058

Rot. Angles (deg) St.Dev. (deg)

Omega 349.79933 0.01475
Phi 355.39910 0.01453
Kappa 121.31977 0.00477
Rotation order: Omega, Phi, Kappa

Camera parameters

Camera ID. Canon_IXUS_220HS_new_orima_1 r0: 0.0000

Type Adj.Params. SD.Post SD.Prio Residuals Test Redund. Reliab. Res./SD.Post

c: -4.3607 0.0030 0.5000 0.0003 0.00 1.00 1.78 0.10
x0: -0.0017 0.0005 0.5000 0.0023 0.00 1.00 1.78 4.49
y0: 0.0104 0.0006 0.5000 -0.0136 -0.01 1.00 1.78 21.67
a1: -0.210E-02 0.371E-04 0.540E+00 -0.171E-05 0.00 1.00 0.192E+01 0.05
a2: 0.540E-04 0.603E-05 0.292E-01 0.386E-05 0.00 1.00 0.104E+00 0.64
a3: -0.447E-06 0.276E-06 0.157E-02 -0.456E-06 0.00 1.00 0.561E-02 1.65
b1: -0.196E-03 0.527E-04 0.100E+03 -0.196E-03 0.00 1.00 0.356E+03 3.72
b2: -0.355E-05 0.799E-05 0.100E-04 -0.355E-05 -0.43 0.05 0.152E-03 0.44

```

c1: -0.710E-04 0.311E-04 0.540E+00 -0.710E-04 0.00 1.00 0.192E+01 2.28
c2: -0.560E-04 0.168E-04 0.292E-01 -0.560E-04 0.00 1.00 0.104E+00 3.33
c3: -0.351E-12 0.240E-08 0.292E-08 -0.351E-12 0.00 0.00 0.104E-05 0.00
d 1: -0.932E-03 0.221E-04 0.540E+00 -0.932E-03 0.00 1.00 0.192E+01 42.16
d 2: -0.121E-03 0.168E-04 0.540E+00 -0.121E-03 0.00 1.00 0.192E+01 7.23
d 3: -0.267E-04 0.532E-05 0.540E+00 -0.267E-04 0.00 1.00 0.192E+01 5.02
d 4: -0.281E-10 0.444E-07 0.540E-07 -0.281E-10 -0.01 0.00 0.192E-04 0.00
d 5: 0.157E-04 0.424E-05 0.292E-01 0.157E-04 0.00 1.00 0.104E+00 3.71
d 6: 0.124E-03 0.178E-04 0.540E+00 0.124E-03 0.00 1.00 0.192E+01 6.99
d 7: 0.807E-03 0.120E-04 0.540E+00 0.807E-03 0.00 1.00 0.192E+01 67.06
d 8: -0.219E-04 0.832E-05 0.540E+00 -0.219E-04 0.00 1.00 0.192E+01 2.63
d 9: -0.643E-09 0.444E-07 0.540E-07 -0.643E-09 -0.33 0.00 0.192E-04 0.01
d10: -0.376E-04 0.455E-05 0.292E-01 -0.376E-04 0.00 1.00 0.104E+00 8.27

```

Correlation between camera parameters

```

      c  x0  y0  a1  a2  a3  b1  b2  c1  c2  c3

c  1.00
x0 0.00 1.00
y0 -0.18 0.01 1.00
a1 0.09 0.00 0.00 1.00
a2 -0.07 0.00 0.00 -0.97 1.00
a3 0.04 0.00 -0.01 0.90 -0.96 1.00
b1 0.04 -0.04 0.02 -0.10 0.10 -0.03 1.00
b2 0.01 -0.01 -0.01 0.00 0.00 0.00 0.00 1.00
c1 -0.02 -0.02 -0.03 -0.24 0.30 -0.14 0.63 0.01 1.00
c2 -0.05 -0.01 -0.05 -0.20 0.24 0.00 0.37 0.01 0.74 1.00
c3 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 1.00

      c  x0  y0  a1  a2  a3  b1  b2  c1  c2  c3

d1 0.01 0.02 0.54 -0.02 0.02 -0.05 -0.01 0.00 -0.05 -0.09 0.00
d2 0.01 -0.25 0.00 0.03 -0.02 0.02 0.01 0.00 -0.01 -0.02 0.00
d3 0.01 0.01 0.01 0.04 -0.05 0.05 0.01 -0.12 0.02 -0.02 0.00
d4 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
d5 0.00 0.33 0.01 -0.04 0.04 -0.04 -0.01 0.01 0.01 0.02 0.00
d6 -0.02 0.53 0.03 -0.01 0.02 -0.03 -0.08 0.00 -0.04 -0.02 0.00
d7 -0.02 0.00 -0.31 0.02 -0.02 0.03 -0.05 0.01 -0.01 0.02 0.00
d8 0.02 -0.05 0.01 -0.13 0.13 -0.04 0.77 0.00 0.62 0.43 0.00
d9 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
d10 0.02 0.01 0.45 0.00 0.00 -0.03 -0.01 -0.01 -0.04 -0.08 0.00

      d1  d2  d3  d4  d5  d6  d7  d8  d9  d10

d1 1.00
d2 -0.02 1.00
d3 -0.03 -0.02 1.00
d4 0.00 0.00 0.00 1.00
d5 0.02 -0.71 0.00 0.00 1.00
d6 0.05 -0.32 0.03 0.00 0.48 1.00
d7 -0.43 0.00 0.00 0.00 -0.02 0.00 1.00
d8 0.00 0.00 0.00 0.00 0.02 -0.09 -0.05 1.00
d9 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 1.00
d10 0.71 0.01 -0.01 0.00 0.01 0.03 -0.64 -0.01 0.00 1.00

```

Blunders within image coordinates

Image ID	Point ID	Observations		Residuals		Testvalues			
		X	Y	X	Y	X	Y		
img_0602	620	1.1450	1.6734	0.00	0.00	-0.4	-1.3	0.0	0.0
img_0649	768	2.9704	-0.1795	0.00	0.00	-0.4	1.3	0.0	0.0
img_0663	768	-0.6625	1.0077	0.00	0.00	-0.4	1.2	0.0	0.0

3 Blunder(s) in image coordinates detected

Total time: 0.55 (sec)

End of execution : 11-May-13 13: 8: 8

**ANEXO G. RELATÓRIO DE CALIBRAÇÃO DA CÂMARA TERRESTRE –
PROGRAMA CC.**

```

# -----
#
# RELATORIO DE SAIDA DO PROGRAMA
# CALIBRACAO DE CAMARAS
#
# Versao: v 2009.05
# UNESP - Departamento de Cartografia
# Autor: M. Galo
#
# -----
Numero de pontos no espaco objeto: - 31 - Lidos
  Lidos e nao utilizados - 0
  De apoio - 31 \__ 31
  Fotogrametricos - 0/
Numero de pontos no espaco imagem - 702
Numero de observacoes - 1404
Numero de fotos - 24
Numero total de parametros: - 243
  Calibracao - 6
  Orientacao - 144
  Espaco objeto - 93
Numero de injuncoes (Total) - 93
Numero de inj. de distancia (CPs + OBJs) - 0
Graus de liberdade - 1254
Numero de iteracoes - 17
Limite de convergencia - 0.1000E-07
Desvio padrão em x/y - fotocoordenadas - 3.0000 3.0000
Variancia (desvio) da unidade de peso:
  a priori - 0.1000E+01 ( 1.0000)
  a posteriori - 0.5007E-01 ( 0.2238)
Qui-Quadrado amostral - 0.6279E+02
F (razao variancias post./priori) - 0.5007E-01
Opcoes de entrada - 2 2 2 2 1
Dimensao da Imagem (H x V) em pixels - 4272 x 2848
Dimensao do pixel (H) [mm] - 0.00520
Dimensao do pixel (V) [mm] - 0.00520
Arquivos de I/O: Apoio (I) - apoio.xyz
  Fotocoordenadas (I) - fotocord.txt
  Parametros (I) - parede.par
  Saida (O) - parede.sai
  Informacoes (O) - CC.TXT/CC.AUX
  Residuos (O) - CC.RES

```

ANALISE GLOBAL DO AJUSTAMENTO

Hipoteses |Basica H0: Var. a posteriori = Var. a priori
|Alternativa H1: Var. a posteriori > Var. a priori

Nivel de confianca (1 - Alfa) - 95.0%
Graus de liberdade - 1254
Qui-quadrado amostral (QQa) - 62.79
Qui-quadrado tabelado (QQt) - 1337.50

QQa < QQt |--> H0 nao rejeitada*
QQa >= QQt |--> H0 rejeitada

* Para uma analise conclusiva sobre o ajustamento
recomenda-se
tambem verificar os residuos (no arquivo CC.RES).

PARAMETROS DE CALIBRACAO

c = 20.4012 +- 0.1800E-01 (Desvio: 3.461 [pixel])
x0 = -0.0017 +- 0.8394E-02 (Coluna 2135.167, Tc= -
0.3)

y0 = -0.1485 +- 0.1222E-01 (Linha 1452.054, Tl=
28.6)
k1 = -.1566946E-03 +- 0.2220E-05
P1 = 0.2044512E-04 +- 0.6799E-05
P2 = -.1003255E-04 +- 0.8676E-05

**SIGNIFICANCIA DOS PARAMETROS DE
CALIBRACAO**
(Analise parametro a parametro)

Nivel de confianca (1 - Alfa) - 95.0%
Graus de liberdade (Teste F) - 1 e 1254
F tabelado - 3.85

c: <--[Par. significativo] F calc. = 0.1285E+07
x0: F calc. = 0.4262E-01
y0: <--[Par. significativo] F calc. = 0.1477E+03
k1: <--[Par. significativo] F calc. = 0.4982E+04
P1: <--[Par. significativo] F calc. = 0.9042E+01
P2: F calc. = 0.1337E+01

SIGNIFICANCIA DOS PARAMETROS DE IO
(Para grupos de parametros)

Nivel de confianca (1 - Alfa) - 95.0%
Graus de liberdade (Teste F) - 2 e 1254
F tabelado - 3.00

x0 y0: <--[Par. significativo] F calc. = 0.7385E+02
P1 P2: <--[Par. significativo] F calc. = 0.5227E+01

**COEFICIENTES DE CORRELACAO PARA OS
PARAMETROS DE IO**

1.00
-.02 1.00
-.04 0.01 1.00
0.54 -.05 0.02 1.00
0.00 0.74 -.04 -.12 1.00
-.06 0.07 0.86 -.04 0.01 1.00

PARAMETROS DE ORIENTACAO EXTERIOR

Foto 1 (100)
kappa = 0.9712809E-02 +-0.2541E-03 (0.5565030 +-
0.1456E-01 graus)
Phi = -.5953569E-01 +-0.1486E-02 (-3.4111439 +-
0.8516E-01 graus)
Omega = 0.1533532E+00 +-0.1552E-02 (8.7864921 +-
0.8890E-01 graus)
Xcp = 10.380 +-0.2839E-01
Ycp = 0.833 +-0.2795E-01
Zcp = 24.148 +-0.1873E-01

Foto 2 (1)
kappa = -.1511291E+01 +-0.3164E-03 (-86.5905706 +-
0.1813E-01 graus)
Phi = -.1331725E-01 +-0.1511E-02 (-0.7630224 +-
0.8659E-01 graus)
Omega = 0.2322247E+00 +-0.1483E-02 (13.3054930 +-
0.8499E-01 graus)
Xcp = 10.413 +-0.2816E-01
Ycp = 0.770 +-0.2764E-01

Zcp = 24.118 +-0.1866E-01

Foto 3 (2)

kappa = 0.1569584E+01 +-0.2488E-03 (89.9305294 +-0.1426E-01 graus)

Phi = -.5482788E-01 +-0.1527E-02 (-3.1414061 +-0.8752E-01 graus)

Omega = 0.1125835E-01 +-0.1473E-02 (0.6450562 +-0.8440E-01 graus)

Xcp = 10.240 +-0.2766E-01

Ycp = 0.703 +-0.2733E-01

Zcp = 24.109 +-0.1884E-01

Foto 4 (3)

kappa = 0.3134459E+01 +-0.2292E-03 (179.5912753 +-0.1313E-01 graus)

Phi = -.4755139E-01 +-0.1478E-02 (-2.7244940 +-0.8468E-01 graus)

Omega = 0.6034954E-01 +-0.1549E-02 (3.4577738 +-0.8873E-01 graus)

Xcp = 10.383 +-0.2806E-01

Ycp = 0.795 +-0.2772E-01

Zcp = 24.118 +-0.1881E-01

Foto 5 (4)

kappa = -.3758413E-01 +-0.3453E-03 (-2.1534121 +-0.1978E-01 graus)

Phi = 0.3854608E+00 +-0.1063E-02 (22.0852797 +-0.6088E-01 graus)

Omega = 0.1131952E+00 +-0.1353E-02 (6.4856064 +-0.7751E-01 graus)

Xcp = 15.797 +-0.2038E-01

Ycp = 0.078 +-0.2262E-01

Zcp = 23.845 +-0.1869E-01

Foto 6 (5)

kappa = -.1570337E+01 +-0.3466E-03 (-89.9737030 +-0.1986E-01 graus)

Phi = 0.2157449E+00 +-0.1138E-02 (12.3612706 +-0.6523E-01 graus)

Omega = -.6651167E-01 +-0.1221E-02 (-3.8108377 +-0.6999E-01 graus)

Xcp = 15.912 +-0.1911E-01

Ycp = -0.120 +-0.2129E-01

Zcp = 23.815 +-0.1854E-01

Foto 7 (6)

kappa = 0.1646846E+01 +-0.3677E-03 (94.3573343 +-0.2107E-01 graus)

Phi = 0.1836053E+00 +-0.1138E-02 (10.5198097 +-0.6522E-01 graus)

Omega = -.1092219E+00 +-0.1230E-02 (-6.2579566 +-0.7049E-01 graus)

Xcp = 15.716 +-0.1912E-01

Ycp = -0.054 +-0.2153E-01

Zcp = 23.841 +-0.1871E-01

Foto 8 (7)

kappa = 0.3165757E+01 +-0.3130E-03 (181.3845242 +-0.1793E-01 graus)

Phi = 0.2492210E+00 +-0.1067E-02 (14.2793140 +-0.6113E-01 graus)

Omega = 0.1140999E+00 +-0.1310E-02 (6.5374452 +-0.7508E-01 graus)

Xcp = 15.874 +-0.1968E-01

Ycp = 0.088 +-0.2178E-01

Zcp = 23.784 +-0.1877E-01

Foto 9 (8)

kappa = -.1901471E-01 +-0.2910E-03 (-1.0894626 +-0.1667E-01 graus)

Phi = -.1222168E+00 +-0.1219E-02 (-7.0025079 +-0.6986E-01 graus)

Omega = 0.7285528E-01 +-0.1207E-02 (4.1743000 +-0.6913E-01 graus)

Xcp = 4.550 +-0.2185E-01

Ycp = 0.744 +-0.2027E-01

Zcp = 24.128 +-0.2008E-01

Foto 10 (9)

kappa = -.1607537E+01 +-0.2929E-03 (-92.1051118 +-0.1678E-01 graus)

Phi = -.2698521E+00 +-0.1256E-02 (-15.4613883 +-0.7194E-01 graus)

Omega = 0.4753679E-01 +-0.1160E-02 (2.7236576 +-0.6646E-01 graus)

Xcp = 4.636 +-0.2170E-01

Ycp = 0.609 +-0.2094E-01

Zcp = 24.143 +-0.2020E-01

Foto 11 (10)

kappa = 0.1642648E+01 +-0.4103E-03 (94.1168189 +-0.2351E-01 graus)

Phi = -.2440930E+00 +-0.1235E-02 (-13.9854997 +-0.7079E-01 graus)

Omega = 0.3124911E+00 +-0.1176E-02 (17.9044214 +-0.6736E-01 graus)

Xcp = 4.492 +-0.2184E-01

Ycp = 0.701 +-0.2111E-01

Zcp = 24.147 +-0.2022E-01

Foto 12 (11)

kappa = 0.3182950E+01 +-0.3504E-03 (182.3696283 +-0.2008E-01 graus)

Phi = -.3906917E+00 +-0.1157E-02 (-22.3849858 +-0.6630E-01 graus)

Omega = 0.1051097E+00 +-0.1267E-02 (6.0223410 +-0.7258E-01 graus)

Xcp = 4.611 +-0.2197E-01

Ycp = 0.790 +-0.2137E-01

Zcp = 24.210 +-0.2010E-01

Foto 13 (12)

kappa = -.9208527E-04 +-0.1663E-03 (-0.0052761 +-0.9527E-02 graus)

Phi = 0.3078601E-01 +-0.6276E-03 (1.7639083 +-0.3596E-01 graus)

Omega = 0.1410553E+00 +-0.7533E-03 (8.0818740 +-0.4316E-01 graus)

Xcp = 10.304 +-0.6071E-02

Ycp = 1.151 +-0.6055E-02

Zcp = 14.991 +-0.9827E-02

Foto 14 (13)

kappa = -.1628670E+01 +-0.2097E-03 (-93.3159132 +-0.1201E-01 graus)

Phi = 0.1344408E-01 +-0.7581E-03 (0.7702889 +-0.4344E-01 graus)

Omega = 0.3276468E+00 +-0.7040E-03 (18.7727795 +-0.4034E-01 graus)

Xcp = 10.581 +-0.6970E-02

Ycp = 1.018 +-0.7434E-02

Zcp = 15.761 +-0.1041E-01

Foto 15 (14)

kappa = 0.1574365E+01 +-0.1970E-03 (90.2044580 +-0.1129E-01 graus)

Phi = 0.4615192E-02 +-0.7751E-03 (0.2644310 +-0.4441E-01 graus)

Omega = 0.2829765E+00 +-0.7166E-03 (16.2133568 +-0.4106E-01 graus)

Xcp = 10.416 +-0.7042E-02

Ycp = 1.058 +-0.7469E-02
Zcp = 15.782 +-0.1042E-01

Foto 16 (15)

kappa = 0.3122422E+01 +-0.1743E-03 (178.9016141 +-0.9989E-02 graus)
Phi = 0.2274997E-01 +-0.6852E-03 (1.3034771 +-0.3926E-01 graus)
Omega = 0.1833803E+00 +-0.8089E-03 (10.5069167 +-0.4635E-01 graus)
Xcp = 10.557 +-0.7126E-02
Ycp = 1.132 +-0.7115E-02
Zcp = 15.807 +-0.1050E-01

Foto 17 (16)

kappa = -.5820956E-01 +-0.4093E-03 (-3.3351624 +-0.2345E-01 graus)
Phi = 0.6057149E+00 +-0.5553E-03 (34.7049097 +-0.3182E-01 graus)
Omega = 0.1728587E+00 +-0.9135E-03 (9.9040766 +-0.5234E-01 graus)
Xcp = 15.634 +-0.8113E-02
Ycp = 0.988 +-0.6850E-02
Zcp = 15.724 +-0.9350E-02

Foto 18 (17)

kappa = -.1695693E+01 +-0.3027E-03 (-97.1560371 +-0.1734E-01 graus)
Phi = 0.4579410E+00 +-0.7117E-03 (26.2380885 +-0.4078E-01 graus)
Omega = 0.3072047E+00 +-0.7451E-03 (17.6015340 +-0.4269E-01 graus)
Xcp = 15.710 +-0.7810E-02
Ycp = 0.882 +-0.6717E-02
Zcp = 15.664 +-0.9501E-02

Foto 19 (18)

kappa = 0.1512640E+01 +-0.2925E-03 (86.6678690 +-0.1676E-01 graus)
Phi = 0.4088992E+00 +-0.7223E-03 (23.4282006 +-0.4139E-01 graus)
Omega = 0.3154274E+00 +-0.7478E-03 (18.0726583 +-0.4284E-01 graus)
Xcp = 15.538 +-0.7773E-02
Ycp = 0.908 +-0.6904E-02
Zcp = 15.748 +-0.9608E-02

Foto 20 (19)

kappa = 0.3084214E+01 +-0.3303E-03 (176.7124652 +-0.1892E-01 graus)
Phi = 0.3817429E+00 +-0.6178E-03 (21.8722557 +-0.3540E-01 graus)
Omega = 0.2179628E+00 +-0.8705E-03 (12.4883473 +-0.4988E-01 graus)
Xcp = 15.670 +-0.7820E-02
Ycp = 0.990 +-0.6762E-02
Zcp = 15.716 +-0.9568E-02

Foto 21 (20)

kappa = -.1457296E-01 +-0.3618E-03 (-0.8349690 +-0.2073E-01 graus)
Phi = -.5113440E+00 +-0.6016E-03 (-29.2978547 +-0.3447E-01 graus)
Omega = 0.9280896E-01 +-0.8455E-03 (5.3175615 +-0.4844E-01 graus)
Xcp = 5.382 +-0.7931E-02
Ycp = 1.114 +-0.6357E-02
Zcp = 15.810 +-0.9935E-02

Foto 22 (21)

kappa = -.1525052E+01 +-0.2805E-03 (-87.3790486 +-0.1607E-01 graus)
Phi = -.3751738E+00 +-0.7760E-03 (-21.4958779 +-0.4446E-01 graus)
Omega = -.1348650E-01 +-0.7286E-03 (-0.7727196 +-0.4174E-01 graus)
Xcp = 5.429 +-0.7741E-02
Ycp = 0.983 +-0.6661E-02
Zcp = 15.866 +-0.1021E-01

Foto 23 (22)

kappa = 0.1552298E+01 +-0.2841E-03 (88.9401275 +-0.1628E-01 graus)
Phi = -.3626527E+00 +-0.7922E-03 (-20.7784711 +-0.4539E-01 graus)
Omega = -.3292648E-01 +-0.7189E-03 (-1.8865485 +-0.4119E-01 graus)
Xcp = 5.241 +-0.7782E-02
Ycp = 1.003 +-0.6661E-02
Zcp = 15.796 +-0.1004E-01

Foto 24 (23)

kappa = 0.3164019E+01 +-0.3269E-03 (181.2849140 +-0.1873E-01 graus)
Phi = -.3959389E+00 +-0.6503E-03 (-22.6856259 +-0.3726E-01 graus)
Omega = 0.1622690E+00 +-0.8355E-03 (9.2973264 +-0.4787E-01 graus)
Xcp = 5.359 +-0.7844E-02
Ycp = 1.120 +-0.6372E-02
Zcp = 15.837 +-0.1009E-01

COORDENADAS NO ESPACO OBJETO(X Y Z)

1	6.723 +- 0.001	5.809 +- 0.001	4.989 +- 0.002
2	8.493 +- 0.001	5.812 +- 0.001	4.972 +- 0.001
3	10.301 +- 0.001	5.811 +- 0.001	4.954 +- 0.001
4	12.088 +- 0.001	5.810 +- 0.001	4.937 +- 0.001
5	13.830 +- 0.001	5.815 +- 0.001	4.917 +- 0.002
6	6.723 +- 0.001	3.746 +- 0.001	4.982 +- 0.001
7	8.502 +- 0.001	3.745 +- 0.001	4.958 +- 0.001
8	10.288 +- 0.001	3.746 +- 0.001	4.941 +- 0.001
9	12.064 +- 0.001	3.744 +- 0.001	4.925 +- 0.001
10	13.817 +- 0.001	3.746 +- 0.001	4.906 +- 0.001
11	6.723 +- 0.001	2.069 +- 0.001	4.983 +- 0.001
12	10.292 +- 0.001	2.077 +- 0.001	4.955 +- 0.001
13	12.063 +- 0.001	2.080 +- 0.001	4.931 +- 0.001
14	13.828 +- 0.001	2.085 +- 0.001	4.910 +- 0.001
15	6.729 +- 0.001	0.182 +- 0.001	4.976 +- 0.002
16	8.506 +- 0.001	0.178 +- 0.001	4.953 +- 0.001
17	10.282 +- 0.001	0.179 +- 0.001	4.936 +- 0.001
18	12.055 +- 0.001	0.183 +- 0.001	4.917 +- 0.001
19	13.832 +- 0.001	0.186 +- 0.001	4.900 +- 0.002
21	12.989 +- 0.001	5.679 +- 0.001	5.308 +- 0.001
22	13.509 +- 0.001	5.679 +- 0.001	5.304 +- 0.001
23	13.509 +- 0.001	5.351 +- 0.001	5.273 +- 0.001
24	12.988 +- 0.001	5.353 +- 0.001	5.275 +- 0.001
25	8.032 +- 0.001	2.613 +- 0.001	5.360 +- 0.002
26	8.418 +- 0.001	2.613 +- 0.001	5.361 +- 0.001
27	8.424 +- 0.001	2.049 +- 0.001	5.357 +- 0.001
28	8.044 +- 0.001	2.047 +- 0.001	5.362 +- 0.002
29	12.626 +- 0.001	2.597 +- 0.001	5.335 +- 0.002
30	13.014 +- 0.001	2.600 +- 0.001	5.322 +- 0.001
31	13.016 +- 0.001	2.038 +- 0.001	5.312 +- 0.002
32	12.637 +- 0.001	2.034 +- 0.001	5.329 +- 0.002

Tempo de processamento (s) = 14.79

Estatísticas obtidas a partir dos resíduos resultantes

#

Resíduo médio +- desvio (mm) : 0.00278 +- 0.00180

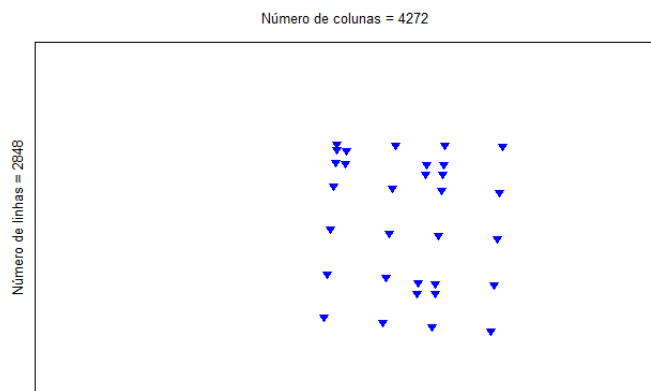
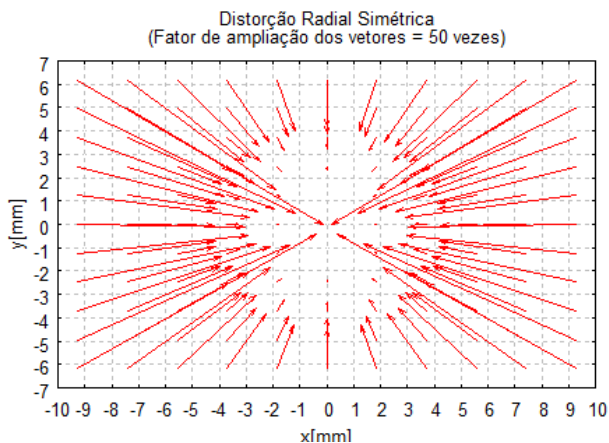
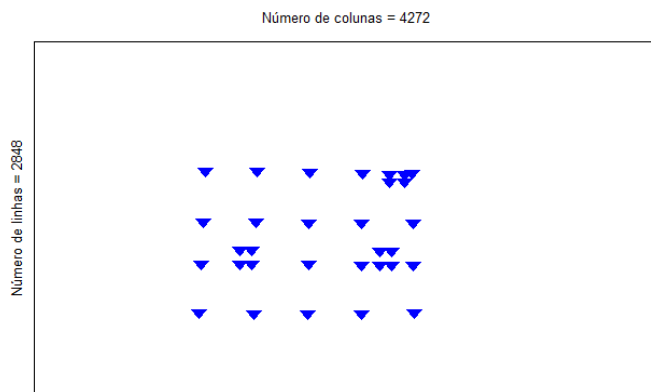
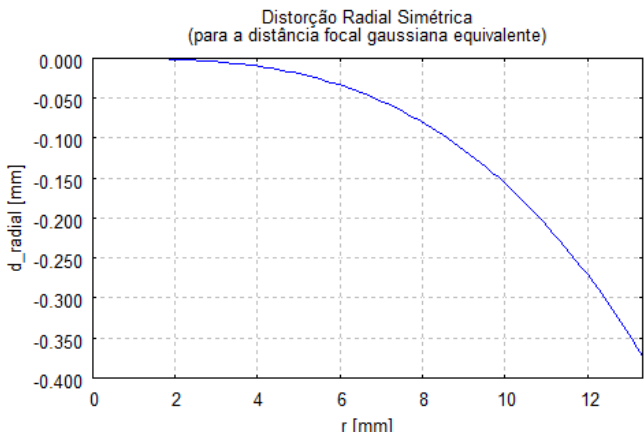
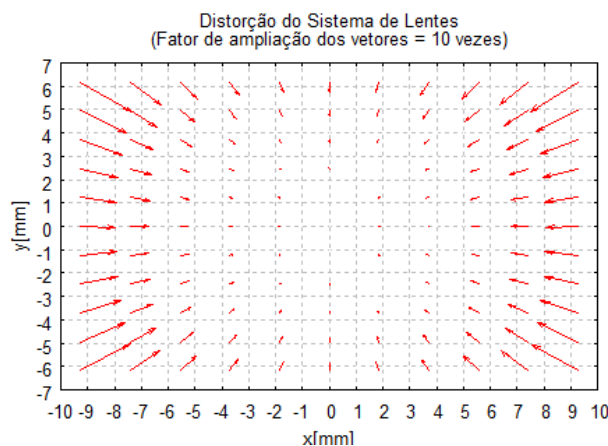
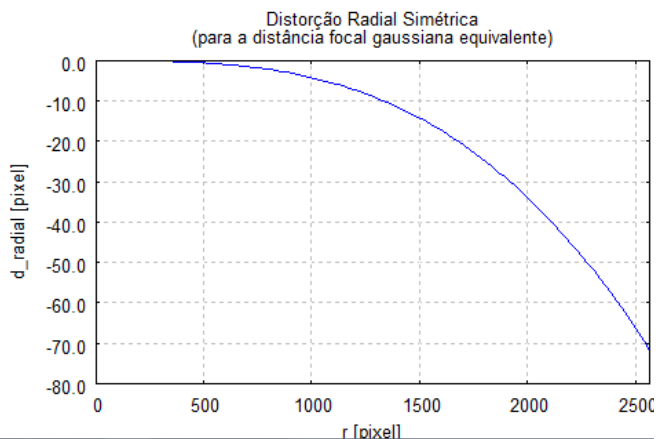
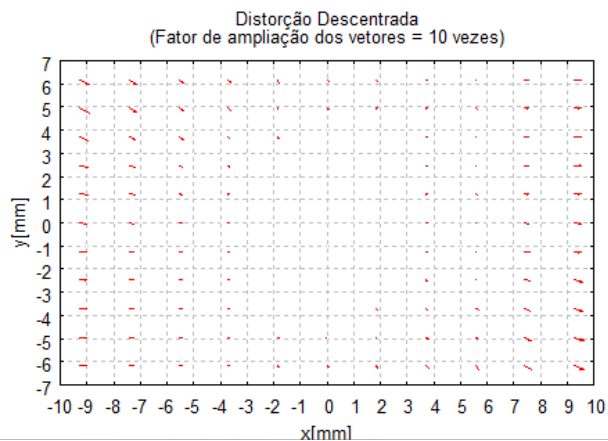
Número total de pontos : 702

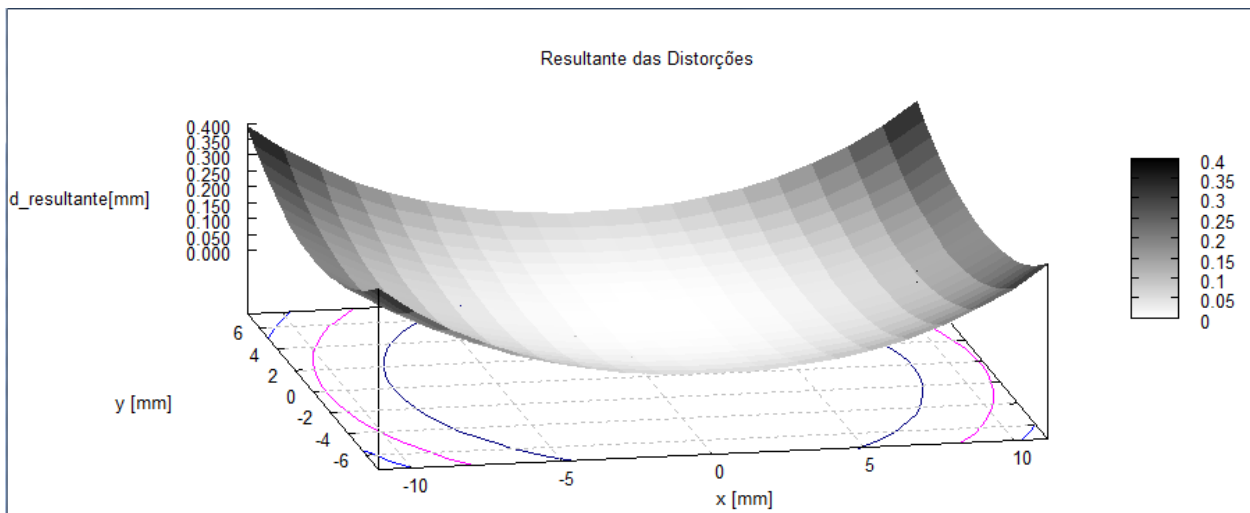
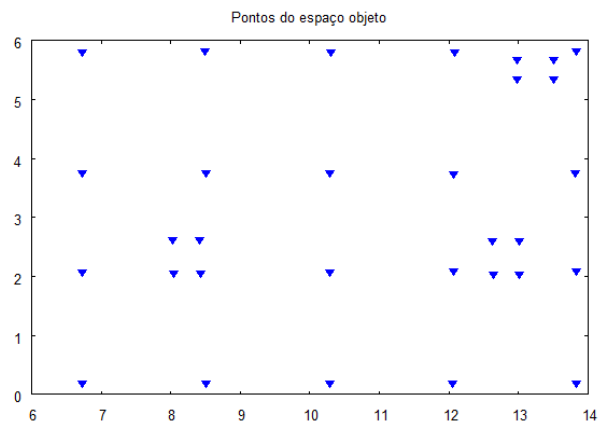
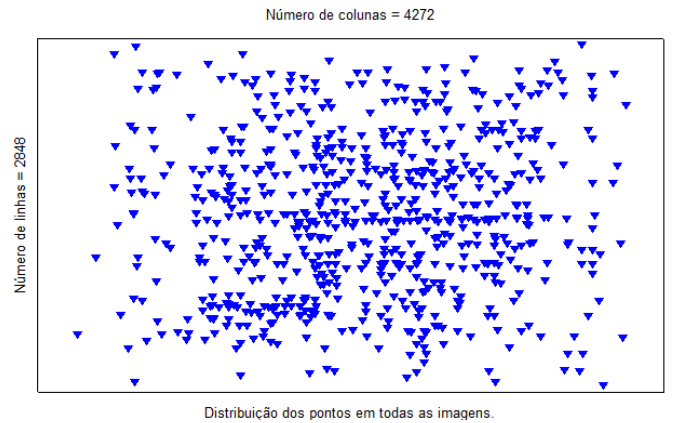
Resíduos menores ($e=s$) a 1 sigma : 240 (34.2%)

Resíduos menores ($e=s$) a 2 sigmas : 514 (73.2%)

Resíduos menores ($e=s$) a 3 sigmas : 638 (90.9%)

GRÁFICOS DOS PARÂMETROS CALIBRADOS E DISTRIBUIÇÃO DE PONTOS DE APOIO EM RELAÇÃO AO SENSOR EM ALGUMAS FOTOGRAFIAS E CONSIDERANDO TODAS AS FOTOGRAFIAS JUNTAS.





**ANEXO H. RELATÓRIO DE AJUSTAMENTO DO AEROLEVANTAMENTO –
PROGRAMA LPS.**

RELATÓRIO RESUMIDO DO AJUSTAMENTO

The Triangulation Report With LPS

The output image x, y units: pixels
 The output angle unit: degrees
 The output ground X, Y, Z units: meters

The Input Image Coordinates
 image ID = 26

Point ID	x	y
5002	2007.877	729.045
5005	410.084	1088.656
5006	428.136	2595.279
28	232.617	1171.708
29	1044.110	260.929
30	1506.838	469.825
31	2550.409	518.721
32	1229.500	1621.513
33	446.838	2051.383
34	632.292	1460.539
35	1043.591	569.305
36	2684.630	111.513
37	2385.409	2480.344
38	3007.552	1548.461
39	3206.903	2657.292
40	1266.968	2913.331
41	3139.955	850.279

Affine coefficients from file (pixels) to film (millimeters)
 A0 A1 A2 B0 B1 B2
 -3.0792 0.001540 -0.000000 2.3092 -0.000000 -0.001540

image ID = 27

Point ID	x	y
5002	2711.773	1368.461
5005	1205.864	484.175
5006	385.019	1689.045
28	1025.149	429.175
29	2307.422	150.019
30	2510.214	748.461
31	3346.383	1614.240
32	1463.851	1530.344
33	673.461	1311.643
34	1138.071	967.617
36	3861.708	1349.695
37	1727.292	2918.526
38	2814.240	2787.227
41	3525.864	2368.656
42	2984.175	110.929
43	421.058	2669.565
44	3179.760	358.786
45	3549.435	643.266
46	287.942	95.084
47	61.123	1932.422
48	2642.487	2459.760
49	3915.994	91.773

Affine coefficients from file (pixels) to film (millimeters)
 A0 A1 A2 B0 B1 B2
 -3.0792 0.001540 -0.000000 2.3092 -0.000000 -0.001540

image ID = 28

Point ID	x	y
5002	1865.864	2245.669
5005	23.981	1924.695
5001	2218.786	722.227
5004	567.227	270.669
29	1054.825	1224.955
30	1461.838	1758.526
31	2489.370	2244.435
32	727.227	2869.045
34	150.084	2439.695
35	927.487	1607.487
36	2820.019	1850.994
41	2867.422	2819.955
42	1679.110	1018.396
44	1940.279	1177.097
49	2473.656	757.682
50	1430.019	758.526
51	1324.370	24.240
52	2036.188	39.500
53	1454.500	211.578

54	2275.214	310.799
55	3452.162	187.552
56	2811.188	1180.864
57	2828.266	807.097

Affine coefficients from file (pixels) to film (millimeters)
 A0 A1 A2 B0 B1 B2
 -3.0792 0.001540 -0.000000 2.3092 -0.000000 -0.001540

image ID = 29

Point ID	x	y
5001	1997.097	1891.318
5004	336.513	1454.565
30	1210.604	2978.656
35	674.695	2805.084
42	1439.305	2219.825
50	1195.279	1940.669
55	3263.201	1305.149
56	2597.877	2359.955
58	1033.981	624.305
59	821.708	861.448
60	1717.747	2884.305
61	2112.422	108.851
62	291.903	368.201
63	26.058	963.656
64	3914.175	872.097
65	3349.175	221.773
66	593.331	1818.266
67	2210.799	1077.097

Affine coefficients from file (pixels) to film (millimeters)
 A0 A1 A2 B0 B1 B2
 -3.0792 0.001540 -0.000000 2.3092 -0.000000 -0.001540

image ID = 30

Point ID	x	y
5001	1599.045	2845.214
50	783.331	2829.045
55	2932.227	2360.279
58	749.370	1493.136
59	503.591	1714.890
61	1934.175	1047.682
64	3631.773	1973.526
65	3171.253	1281.383
66	168.201	2680.929
67	1911.123	2057.292
68	259.045	709.305

Affine coefficients from file (pixels) to film (millimeters)
 A0 A1 A2 B0 B1 B2
 -3.0792 0.001540 -0.000000 2.3092 -0.000000 -0.001540

image ID = 32

Point ID	x	y
5001	456.513	599.175
5004	2130.149	834.890
5012	3572.682	1090.149
42	937.747	202.162
50	1228.201	456.123
58	1525.149	1755.409
59	1708.981	1486.968
61	532.942	2438.526
63	2490.214	1285.084
66	1797.487	490.669
67	327.032	1441.968
68	2186.383	2390.084
73	3345.994	1803.071
74	2403.526	66.513
75	802.747	480.669
76	3535.344	457.162
77	1496.643	599.435
78	2259.240	662.032
79	2310.214	639.695
82	1409.500	1096.838
83	234.565	1255.019
84	2482.617	1264.825
85	2837.162	1447.812
86	535.344	1592.097
87	2544.240	1698.656
89	3488.396	1751.058
91	2841.903	2045.539
92	2057.227	518.851
93	2252.747	648.461

95	3220.279	1235.864
96	2166.903	1816.903
97	1298.591	142.877
98	450.019	694.370
99	663.331	675.409
100	1810.474	428.201

Affine coefficients from file (pixels) to film (millimeters)
A0 A1 A2 B0 B1 B2
-3.0792 0.001540 -0.000000 2.3092 -0.000000 -0.001540

Warning: The first two images are not in the same strip, No block ordering!

THE OUTPUT OF SELF-CALIBRATING BUNDLE BLOCK ADJUSTMENT

the no. of iteration =1 the standard error = 0.4345
the maximal correction of the object points = 4.51150

the no. of iteration =2 the standard error = 0.4351
the maximal correction of the object points = 0.08363

the no. of iteration =3 the standard error = 0.4351
the maximal correction of the object points = 0.00009

The exterior orientation parameters (para 10 fotografias)

image ID	Xs	Ys	Zs	OMEGA	PHI	KAPPA
26	739149.5698	6840115.8475	539.2768	-4.3839	10.0530	-282.9063
27	739057.5416	6840110.7988	534.7372	-10.3124	-4.3802	-239.8327
28	738970.9926	6840109.8190	535.0149	1.0248	-0.2482	-260.3511
29	738878.8994	6840115.3989	533.5922	0.1382	2.1148	-259.9464
30	738786.3530	6840109.3402	532.7705	2.7499	0.8012	-253.1691
32	738835.7377	6839992.3325	531.9297	-1.4972	-0.2394	-86.1939
33	738918.9953	6839990.7774	533.6562	1.0224	0.2833	-88.6023
34	738998.5512	6839992.1410	535.5006	0.8940	-2.2327	-96.1558
35	739081.0071	6839993.8568	535.7325	-7.2181	-3.1897	-90.8563
36	739161.8819	6839990.6615	535.4047	6.0111	-1.5431	-97.7477

The interior orientation parameters of photos

image ID	f(mm)	xo(mm)	yo(mm)
26	4.3607	-0.0017	0.0104
27	4.3607	-0.0017	0.0104
28	4.3607	-0.0017	0.0104
29	4.3607	-0.0017	0.0104
30	4.3607	-0.0017	0.0104
32	4.3607	-0.0017	0.0104
33	4.3607	-0.0017	0.0104
34	4.3607	-0.0017	0.0104
35	4.3607	-0.0017	0.0104
36	4.3607	-0.0017	0.0104

The residuals of the control points
Point ID rX rY rZ
All residuals of fixed GCP are zero.

The difference of intersected and measured control points

Point ID	rX	rY	rZ
5001	0.0024	-0.0119	-0.0421
5002	0.0426	0.0256	-0.0494
5003	0.0409	0.0548	-0.1663
5004	-0.0198	-0.0086	-0.0364
5005	-0.0000	0.0127	0.0838
5006	-0.0141	0.0221	0.0123
5008	0.0106	0.0047	-0.0220
5011	0.0076	-0.0019	0.0359
5012	-0.0046	-0.0034	-0.0138
5013	-0.0036	-0.0099	-0.0175
5014	-0.0155	0.0030	-0.0014
5015	-0.0132	-0.0059	0.0290
5016	-0.0052	-0.0035	-0.0113

5017	0.0185	0.0011	0.0299
5018	-0.0129	0.0030	0.0366
5019	-0.0112	0.0091	0.0207
5020	-0.0083	-0.0015	0.0020
5021	0.0304	-0.0023	-0.0268
5022	-0.0051	-0.0002	0.0007
5023	-0.0118	-0.0137	0.0305
5024	0.0009	-0.0086	0.0104
5025	0.0056	0.0054	-0.0011
5026	0.0018	0.0076	-0.0248
5027	-0.0023	0.0072	-0.0079
5028	0.0016	-0.0141	-0.0324
5029	-0.0029	-0.0093	0.0097
5030	0.0252	-0.0136	-0.0915

aX aY aZ
0.0021 0.0018 -0.0090
mX mY mZ
0.0163 0.0145 0.0464
CE90 LE90
0.0338 0.0748

The image residuals of intersected GCP

Point	Image	Vx	Vy
5001	28	-0.153	0.412
5001	29	-0.083	0.209
5001	30	-0.121	-0.113
5001	32	-0.289	0.315
5001	33	0.348	-0.011
5001	34	-0.314	0.280

Point	Image	Vx	Vy
5002	26	0.110	-0.285
5002	27	0.031	0.307
5002	28	-0.203	-0.040
5002	33	0.051	0.091
5002	34	0.432	-0.209
5002	35	-0.294	0.094

Point	Image	Vx	Vy
5003	36	0.079	-0.106
5003	37	0.253	0.202
5003	38	-0.383	-0.082

Point	Image	Vx	Vy
5004	28	-0.009	-0.424
5004	29	-0.098	0.128
5004	32	-0.120	-0.069
5004	33	0.132	0.085
5004	34	-0.391	0.289
5004	49	-0.219	0.705
5004	50	-0.065	-0.195

Point	Image	Vx	Vy
5005	26	-0.271	-0.167
5005	27	0.604	0.368
5005	28	0.043	0.185
5005	33	0.068	0.310
5005	34	0.058	-0.410
5005	35	0.206	-0.017
5005	47	-0.150	-0.476
5005	48	-0.066	0.098
5005	49	0.132	0.208

Point	Image	Vx	Vy
5006	26	-0.118	0.206
5006	27	-0.127	-0.297
5006	35	0.038	0.031
5006	36	-0.547	-0.045
5006	37	-0.106	0.122
5006	46	-0.118	0.061
5006	47	-0.181	-0.087

Point	Image	Vx	Vy
5026	77	0.589	0.591
5026	79	0.277	0.813
5026	121	0.477	0.472
5026	122	-0.558	0.204
5026	133	0.256	0.364
5026	134	-0.898	-0.396
5026	135	-0.109	-0.725

Point	Image	Vx	Vy
5027	79	0.487	-0.272
5027	80	0.131	-0.245
5027	81	-0.686	0.193
5027	119	0.243	-0.195
5027	120	-0.299	0.030
5027	136	-0.027	0.458
5027	137	0.067	-0.347

Point	Image	Vx	Vy
5028	125	-0.257	0.069
5028	126	0.333	-0.142
5028	129	-0.366	0.001
5028	130	0.520	-0.028

Mean error of 180 image points: ax=0.002, ay=-0.000
 RMSE of 180 image points: mx=0.301, my=0.289

The coordinates of object points (para alguns pontos)

Point ID	X	Y	Z	Overlap
5001	738903.4350	6840121.8070	291.6760	6
5002	739037.0250	6840113.7050	295.1540	6
5003	739277.8460	6840090.4000	302.2990	3
5004	738891.6330	6839979.0030	299.2860	7
5005	739034.5350	6839960.1240	303.4690	9
5006	739169.0780	6839946.3620	306.6700	7
5008	739392.9960	6839922.7990	309.5190	8
5011	739198.4400	6839884.4460	308.1460	7
5012	738878.9640	6839856.5370	300.5550	7
5013	739016.0380	6839824.5600	305.7470	9
5014	739175.5020	6839792.2360	308.5730	10
5015	739320.3890	6839796.6670	308.2920	7
5016	738870.2670	6839619.8010	293.5270	8
5017	738979.8570	6839704.0130	305.4280	7
5018	739112.1680	6839660.9810	309.1450	8
5019	739211.8210	6839630.7770	309.8170	9
5020	739313.8820	6839614.9430	309.6480	7
5021	739439.2220	6839623.5910	303.2120	7
5022	738857.5430	6839488.0510	296.7290	6
5023	739170.5230	6839492.7920	305.1090	6
5024	739225.6540	6839490.0540	307.6970	4
5025	739122.8130	6839411.3580	300.5550	7
5026	739138.4700	6839401.7680	300.9070	7
5027	739333.3370	6839395.4210	299.7350	7
5028	738830.9290	6839237.8010	295.4270	4
5029	739235.9840	6839209.2000	302.5030	5
5030	739400.3680	6839190.9820	292.2900	2
28	739038.1107	6839941.5437	303.8950	6
29	738963.1975	6840031.8740	295.9756	4
30	739001.2624	6840073.8705	299.9804	7
31	739029.0888	6840166.9789	291.8653	5
32	739102.4546	6840029.2833	302.2423	5
33	739124.0152	6839953.8000	305.7268	4
34	739074.9746	6839976.8358	302.9585	5
35	738996.6378	6840027.1051	297.3470	6
36	738990.9849	6840190.3383	289.5524	3
37	739193.4643	6840110.1743	299.1996	2

The total object points = 518

The residuals of image points

Point	Image	Vx	Vy
5001	28	0.035	0.279
5001	29	0.064	0.258
5001	30	-0.022	0.137
5001	32	-0.700	0.172
5001	33	-0.052	0.038
5001	34	-0.691	0.543

Point	Image	Vx	Vy
5002	26	-0.323	-0.863
5002	27	0.057	-0.337
5002	28	-0.435	-0.424
5002	33	0.048	0.306
5002	34	0.475	0.190
5002	35	-0.294	0.765

Point	Image	Vx	Vy
5003	36	-0.160	-0.545
5003	37	0.045	0.388
5003	38	-0.545	0.820

Point	Image	Vx	Vy
-------	-------	----	----

5004	28	-0.165	-0.357
5004	29	-0.301	0.361
5004	32	-0.175	-0.421
5004	33	0.055	-0.106
5004	34	-0.476	0.255
5004	49	0.034	0.811
5004	50	0.160	0.091

Point	Image	Vx	Vy
5005	26	0.208	0.131
5005	27	0.933	0.659
5005	28	0.602	-0.011
5005	33	0.074	0.832
5005	34	0.089	-0.255
5005	35	0.208	-0.225
5005	47	-0.631	-0.022
5005	48	-0.551	0.214
5005	49	-0.289	-0.097

Point	Image	Vx	Vy
5006	26	-0.243	0.398
5006	27	-0.273	-0.297
5006	35	0.264	-0.071
5006	36	-0.317	-0.253
5006	37	0.147	-0.105
5006	46	-0.475	0.148
5006	47	-0.498	0.057

Point	Image	Vx	Vy
5008	38	0.352	0.124
5008	39	-0.027	0.502
5008	40	0.119	0.214
5008	43	0.127	0.343
5008	44	-0.511	-0.327
5008	45	-0.458	-0.412
5008	59	-0.692	0.114
5008	60	-0.515	0.193

The image ID = 131

Point ID	Vx	Vy
5022	0.144	0.497

RMSE of 1 points: mx=0.144, my=0.497

The image ID = 132

Point ID	Vx	Vy
There are no GCPs on this image.		

The image ID = 133

Point ID	Vx	Vy
5023	0.159	-0.583
5025	0.252	0.347
5026	0.296	0.266

RMSE of 3 points: mx=0.243, my=0.421

The image ID = 134

Point ID	Vx	Vy
5023	0.831	0.050
5025	-0.275	-0.420
5026	-0.862	-0.349

RMSE of 3 points: mx=0.709, my=0.316

The image ID = 135

Point ID	Vx	Vy
5023	-0.332	0.261
5024	-0.065	-0.098
5025	0.234	0.020
5026	-0.067	-0.563

RMSE of 4 points: mx=0.208, my=0.314

The image ID = 136

Point ID	Vx	Vy
5027	0.066	0.400

RMSE of 1 points: mx=0.066, my=0.400

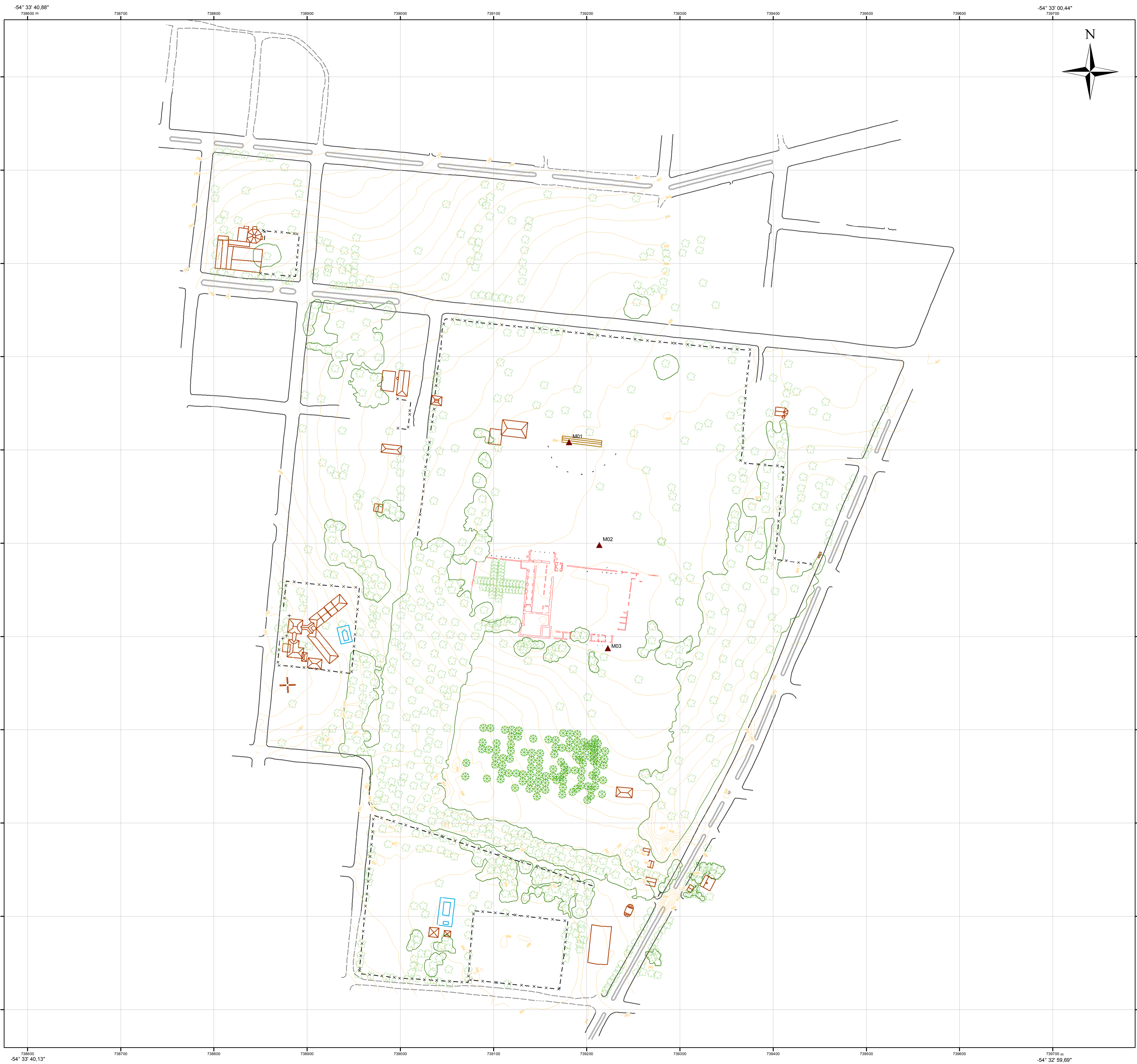
The image ID = 137

Point ID	Vx	Vy
5027	0.152	-0.360

RMSE of 1 points: mx=0.152, my=0.360

Total number of all control image points = 180
 Total rmsex = 0.353, rmsey = 0.350

**ANEXO I. MAPA PLANIALTIMÉTRICO DO SÍTIO ARQUEOLÓGICO DE SÃO
MIGUEL DAS MISSÕES.**



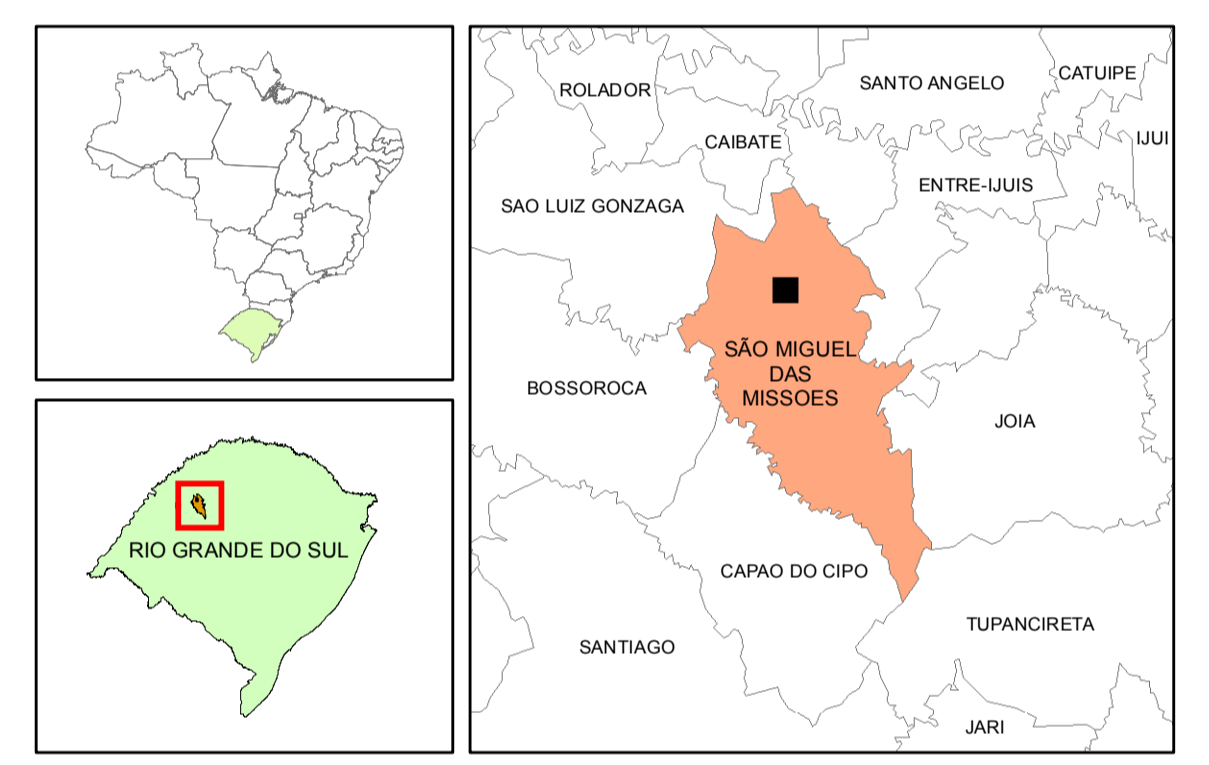
MAPA PLANIALTIMÉTRICO DO SÍTIO ARQUEOLÓGICO DE SÃO MIGUEL DAS MISSÕES



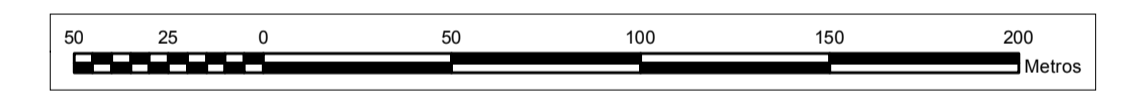
CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- ▲ Marcos Geodésicos
- ~ Curvas de Nível
- Ruínas
- Edificações
- Rua Pavimentada
- - - Rua Não Pavimentada
- Canteiro Central
- x - x - Cerca
- Arquibancada
- Piscina
- Mancha de Vegetação
- ⊗ Cultivo de Cítricos
- ⊕ Árvores

LOCALIZAÇÃO



ESCALA GRÁFICA



SISTEMA GEODÉSICO DE REFERÊNCIA: SIRGAS2000
 SISTEMA DE PROJEÇÃO: UTM
 MERIDIANO CENTRAL: 57°W
 CONVERGÊNCIA MERIDIANA: -1° 10' 8,12"
 DECLINAÇÃO MAGNÉTICA: -14° 25'
 VARIAÇÃO ANUAL DECL. MAGNÉTICA: -9,8"
 ALTIMETRIA: ALTITUDE GEOMÉTRICA
 EQUIDISTÂNCIA DAS CURVAS DE NÍVEL: 1 m
 EXATIDÃO PLANIMÉTRICA: 0,33 m

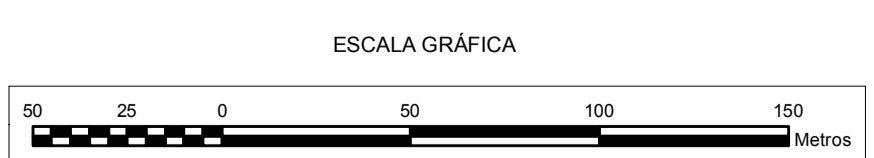
Mapa gerado a partir de aerolevanteamento com VANT
 Fotografias aéreas de fev/2013
 Restituição e Geração de MDT em estação fotogramétrica digital
 Curvas de nível obtidas a partir do MDT
 Apoio de campo determinado por posicionamento GNSS relativo
 estático rápido e RTK

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

MAPA PLANIALTIMÉTRICO DO SÍTIO ARQUEOLÓGICO DE SÃO MIGUEL DAS MISSÕES

PROJETO			MAPEAMENTO AEROFOTOGRAMÉTRICO DO SÍTIO ARQUEOLÓGICO DE SÃO MIGUEL DAS MISSÕES - RS		
LOCAL	DATA	ESCALA			
SÃO MIGUEL DAS MISSÕES - RS	JULHO/2013	1:2000			
EQUIPE TÉCNICA		Orientadores:		FOLHA	
Acadêmicos: Rodrigo de Avila Palermo Tais Correia Leite		Prof. Dr. Mário Luiz Lopes Reiss Prof. Dr. Ronaldo dos Santos da Rocha		ÚNICA	

**ANEXO J. ORTOFOTO DO SÍTIO ARQUEOLÓGICO DE SÃO MIGUEL DAS
MISSÕES.**



SISTEMA GEODÉSICO DE REFERÊNCIA: SIRGAS2000
 SISTEMA DE PROJEÇÃO: UTM
 MERIDIANO CENTRAL: 57°W
 CONVERGÊNCIA MERIDIANA: -1° 10' 8,12"
 DECLINAÇÃO MAGNÉTICA: -14° 25'
 VARIAÇÃO ANUAL DECL. MAGNÉTICA: -9,8"

Ortofotos geradas a partir de aerolevamento com VANT
 Fotografias aéreas de fev/2013
 Geração de MDT e ortofoto em estação fotogramétrica digital
 Apoio de campo determinado por posicionamento GNSS relativo
 estático rápido e RTK

 UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS ENGENHARIA CARTOGRÁFICA		
MAPA PLANIALTIMÉTRICO DO SÍTIO ARQUEOLÓGICO DE SÃO MIGUEL DAS MISSÕES		
PROJETO: MAPEAMENTO AEROFOTOGRAMÉTRICO DO SÍTIO ARQUEOLÓGICO DE SÃO MIGUEL DAS MISSÕES - RS		
LOCAL: SÃO MIGUEL DAS MISSÕES - RS	DATA: JULHO/2013	ESCALA: 1:2000
EQUIPE TÉCNICA: Acadêmicos: Rodrigo de Avila Palermo Taís Correia Leite	Orientadores: Prof. Dr. Mário Luiz Lopes Reiss Prof. Dr. Ronaldo dos Santos da Rocha	FOLHA: ÚNICA