
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS
DA GEOINFORMAÇÃO

**UMA ANÁLISE HARMÔNICA, POR FOTOGRAMETRIA,
DOS FRONTISPÍCIOS DE IGREJAS COM VALOR
HISTÓRICO E ARTÍSTICO EM JABOATÃO DOS
GUARARAPES – PE**

Dissertação de Mestrado

BETÂNIA QUEIROZ DA SILVA

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Borba Schuler

VIRTUS IMPAVIDA

RECIFE, 2013

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E
TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO**

Betânia Queiroz da Silva

**UMA ANÁLISE HARMÔNICA, POR FOTOGRAMETRIA, DOS
FRONTISPÍCIOS DE IGREJAS COM VALOR HISTÓRICO E ARTÍSTICO EM
JABOATÃO DOS GUARARAPES PE**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, área de concentração Cartografia e Sistemas de Geoinformação.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Borba Schuler

Recife
2013

Catálogo na fonte

Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

S586a Silva, Betânia Queiroz da.

Uma análise harmônica, por fotogrametria, dos frontispícios de igrejas com valor histórico e artístico em Jaboatão dos Guararapes - PE / Betânia Queiroz da Silva. - Recife: O Autor, 2013.

107 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Borba Schuler.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2013.

Inclui Referências, Anexo e Apêndices.

1. Ciências Geodésicas. 2. Fotogrametria terrestre digital. 3. Retificação de fotografias. 4. Levantamento e representação de frontispícios. 5. Homologia. I. Schuler, Carlos Alberto Borba. (Orientador). II. Título.

UFPE

526.1 CDD (22. ed.)

BCTG/2014-059

**UMA ANÁLISE HARMÔNICA DOS FRONTISPÍCIOS DE IGREJAS COM
VALOR HISTÓRICO E ARTÍSTICO EM JABOATÃO DOS GUARARAPES –
PE POR FOTOGRAMETRIA**

POR

BETÂNIA QUEIROZ DA SILVA

Dissertação defendida e aprovada em 07/08/2013.

Banca Examinadora:

Profª. Dra. CARLOS ALBERTO BORBA SCHULER

Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. HERNANDE PEREIRA DA SILVA

Laboratório de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto - Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. DR. MARCELO ANTONIO NERO

Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco

Dedico este trabalho a Deus, por ter me ajudado durante toda a jornada. Ao meu filho Arthur, que nasceu durante o período em que eu estive no Mestrado e me proporcionou muitas alegrias nos momentos mais difíceis. À minha mãe, pelo carinho, ao meu pai (*in memoriam*) por todo incentivo, força e lição de vida ensinada.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Carlos Alberto Borba Schuler, que tem contribuído na minha formação desde a Graduação e agora no Mestrado, tem me norteado nos conhecimentos técnicos e sido um grande amigo em diversos momentos da minha vida.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação que contribuíram na minha formação, especialmente o Professor João Rodrigues Tavares Júnior e a Professora Ana Lúcia Bezerra Candeias, que disponibilizaram um computador para o processamento dos dados.

Ao Professor Marcelo Antônio Nero, pelos conhecimentos de aquisição e qualidade de dados que me foram repassados.

Ao REUNI (Reestruturação e expansão das Universidades Federais) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro na forma de bolsa de estudos que viabilizou esta pesquisa.

A Jaderlaine da Silva Pinto que cedeu a idéia e o material preliminar referente a esta pesquisa.

A Mônica Figueirêdo Aguiar, Secretária da Igreja Nossa Senhora dos Prazeres que com tanta hospitalidade, nos atendia em todas as visitas à Igreja. E a Dom André dos Santos Vicente, OSB (Ordem de São Bento), que autorizou a nossa pesquisa na Igreja.

Ao Frei Paulo Sérgio, que esteve disponível para passar informações e pela liberação do espaço para a pesquisa na Igreja de Nossa Senhora da Piedade.

Ao laboratório Geosere da UFRPE que cedeu a imagem para localização da área.

Ao Engenheiro Cartógrafo Henrique José Lins Ferreira de Andrade, pelos conhecimentos técnicos de Fotogrametria e no *software Photomodeler*, que muito me ajudou.

Ao meu filho Arthur Vicente de Queiroz que durante todo mestrado foi a minha distração, felicidade, calmante, razão de seguir em frente nos momentos mais difíceis.

À minha mãe, Lenilda de Queiroz, mulher de Deus que tanto orou para meu sucesso e minhas conquistas. Obrigada, mãezinha.

Ao meu pai, Amaro Joaquim, (*in memoriam*). Sem ele, eu não chegaria até aqui. Lembro cada palavra de incentivo que sempre dizia; estas jamais esquecerei: "Você tem jeito de Professora, será Mestre!"

À minha irmã Silvania Queiroz e meu sobrinho Mário Vinicius Queiroz Lins, que ficaram com Arthur com tanto carinho para que eu passasse os finais de semana estudando e em diversos momentos foram minha alegria.

Ao meu esposo Bartolomeu Vicente, que esteve junto me incentivando durante estes dois anos de Mestrado.

A todas (Gil, Jaciane Queiroz, Leane Lira, Mayara Tamiris, Maria Betânia e Sunamita Silva), que cuidaram com tanto carinho do meu filho, em todos os momentos que precisei, para que eu desenvolvesse este trabalho.

À minha Tia Sueli Rosa, que, com carinho sempre esteve ao meu lado.

Às minhas amigas de Mestrado Luciana Maria da Silva e Juciela Cristina dos Santo, companheiras em diversos momentos.

Aos amigos de Mestrado que compartilharam comigo o mesmo orientador, Mirele Viegas da Silva e Clayton Guerra Mamede (sem Clayton, não sei o que seria de mim nos levantamentos de campo e explicações matemáticas).

À Hortencia Assis (Coordenadora do Projeto Granmar – CPRM/SUREG-RE) que, nestes últimos 6 meses, me liberou para que este trabalho fosse concluído.

À Maria Cristina Malta de Almeida Costa pela criteriosa revisão feita neste trabalho.

À Judite (zeladora do DECart-UFPE), que com tanto carinho estava sempre presente quando precisávamos, principalmente com as cocadas, no período de minha gestação.

Às minhas amigas Julyana G. Santos e Joice Carla F. Moreira, que sempre estiveram presentes na minha vida, inclusive estávamos juntas na primeira viagem internacional para apresentar trabalho num Simpósio na Costa Rica. Quantas risadas na viagem e depois...

A todos os companheiros que já conhecia ou conheci durante o Mestrado e, de alguma forma, ficarão para sempre na minha vida: Anderson Marcolino de Santana, Vanessa Costa Maranhão, Marcondes Marroquim Santiago, Ana Itamara Paz de Araújo, Jaidson Nandi Becker, André Luiz Sá de Oliveira.

Agradeço especialmente a Deus, por ter me dado a inteligência e me proporcionado a oportunidade de caminhar até aqui, vencendo tantos obstáculos.

*Que darei eu ao SENHOR, por todos os benefícios que me tem feito?
Pagarei os meus votos ao SENHOR, agora, na presença de todo o seu povo.
Oferecer-te-ei sacrifícios de louvor, e invocarei o nome do SENHOR.
Salmos: 116 – 12, 14 e 17.*

RESUMO

O registro de bens com valor histórico e artístico é uma preocupação dos profissionais da área de restauração e conservação de patrimônios culturais. As informações fotogramétricas e históricas são ferramentas poderosas para o planejamento e tomada de decisão para preservação dos bens patrimoniais. Em cidades seculares as documentações histórica e fotográfica são imprescindíveis para que sua história não se perca com o tempo. O presente trabalho objetivou pesquisar a existência da homologia harmônica na arquitetura dos frontispícios da Igreja de Nossa Senhora da Piedade e da Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres, fundadas nos séculos XVII e XVIII, respectivamente, no município de Jaboatão dos Guararapes (PE). O método aplicado foi o da Fotogrametria Terrestre Digital. O programa computacional *Photomodeler Scanner* foi utilizado para obter ortofotos dos frontispícios, permitindo a utilização de dados precisos na observação/verificação das simetrias e/ou homologias existentes na arquitetura dos frontispícios desses templos seculares. Os dados obtidos foram analisados das distâncias lineares entre dois pontos obtidos com a estação total em campo e comparados às distâncias dos pontos homólogos obtidos nas ortofotos no qual se obteve uma precisão segundo a classificação pré-estabelecida pelo Icomos para levantamentos rápidos e relativamente simples, que englobam estudos preliminares, inventário e estudos da história da arte. A validação foi obtida com uma análise multivariada no programa de estatística *statgraphics*, no qual apresentou dados com o nível de confiança de 95%.

Palavras chaves: fotogrametria terrestre digital, retificação de fotografias, levantamento e representação de frontispícios, homologia.

ABSTRACT

The registration of property with historical and artistic value is a concern of professionals in the restoration and conservation of cultural heritage . The photogrammetric and historical information are powerful for planning and decision making for safeguarding the assets tools. Cities in secular historical and photographic documentations are essential to its history is not lost with time. The present study aimed to investigate the existence of harmonic homology in the architecture of the façades of the Church of Nossa Senhora da Piedade and the Church of Nossa Senhora dos Prazeres , founded in the seventeenth and eighteenth respectively centuries in Jaboatão Guararapes (PE) . The method used was the Digital Terrestrial Photogrammetry. The computer program PhotoModeler Scanner was used for orthophoto of façades, allowing the use of accurate data on observation / verification of symmetries and / or existing homologies in architecture these façades of secular temples. Data were analyzed from the linear distances between two points obtained with the total station in the field and compared with distances of homologous points obtained in the orthophotos in which we obtained an accuracy in the classification preestablished by ICOMOS for rapid surveys and relatively simple, include preliminary studies, inventory and study of art history. The validation was obtained with a multivariate analysis in Statgraphics statistical program, which presented data with a confidence level of 95 %.

Keywords: digital terrestrial photogrammetry, rectification of photographs, survey and representation of frontispieces, homology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Conceito de orientação interior – reconstrução da posição do plano de imagem em relação ao eixo óptico da câmara fotográfica.....	24
Figura 2:	Esquema das estações de tomada das fotografias pelo método de câmara convergente.....	26
Figura 3:	Princípio da colinearidade aplicado à retificação de imagens.....	29
Figura 4:	Modelo tridimensional do objeto.....	31
Figura 5:	Vista aérea – Pavilhões Olímpicos de Tóquio.....	32
Figura 6:	Esquemas Geométricos dos Pavilhões Olímpicos.....	32
Figura 7:	Determinação de um plano dos planos de projeções.....	35
Figura 8:	Representação dos elementos de um plano de projeção a em verdadeira grandeza no plano a_1	35
Figura 9:	Representação do teorema de Desargues.....	36
Figura 10:	Representação da Homotetia.....	37
Figura 11:	Representação da Simetria Axial.....	38
Figura 12:	Simetria central na Igreja de São Francisco, Olinda (a), Simetria axial ortogonal na Igreja de Santo Antônio, Recife (b) e Simetria axial oblíqua da Igreja de São Francisco de Paula, Recife (c).....	41
Figura 13:	Mapa de localização dos objetos de estudo.....	49
Figura 14:	Igreja de Nossa Senhora da Piedade.....	50
Figura 15:	Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres.....	52
Figura 16:	Fluxograma das etapas de trabalho.....	55
Figura 17:	Esquema para obtenção da altura.....	56
Figura 18:	Malha de pontos para calibração.....	61
Figura 19:	Eixos espaço-objeto (X, Y e Z) e ângulos de rotação (ω , ϕ , e κ).....	61
Figura 20:	Início do processamento de calibração da câmara.....	62
Figura 21:	Finalização do processamento de calibração da câmara.....	63
Figura 22:	Processo de calibração da câmara fotográfica.....	63
Figura 23:	Procedimento para gerar e imprimir alvos codificados.....	65
Figura 24:	Altura máxima para fixação dos alvos, com a equipe no exterior da Igreja.....	65
Figura 25:	Posição das tomadas das fotografias.....	66
Figura 26:	Distribuição dos alvos codificados na fachada.....	67
Figura 27:	Resultado do processamento da orientação relativa.....	68
Figura 28:	Ortofoto gerada no PhotoModeler Scanner.....	69

Figura 29:	Distribuição dos Pontos na Fachada.....	70
Figura 30:	Análise da Homologia da Igreja de Nossa Senhora da Piedade.....	77
Figura 31:	Posição de tomada das fotografias – parte esquerda da fachada.....	79
Figura 32:	Posição de tomada das fotografias – parte central da fachada.....	79
Figura 33:	Posição de tomada das fotografias – parte direita da fachada.....	79
Figura 34:	Processamento dos dados no Photomodeler – Orientação relativa – Parte central Inferior da Fachada.....	80
Figura 35:	Fotografia retificada – parte esquerda da fachada.....	80
Figura 36:	Fotografia retificada – parte central da fachada.....	81
Figura 37:	Fotografia retificada – parte direita da fachada.....	81
Figura 38:	Distribuição dos Pontos de Análise na Fachada.....	83
Figura 39:	Verificação da Homologia da Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres.....	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Dados da correção da câmara EOS 5D.....	64
Tabela 2:	Análise das distâncias verticais da fachada da Igreja de Nossa Senhora da Piedade.....	71
Tabela 3:	Análise estatística das distâncias verticais da fachada da Igreja de Nossa Senhora da Piedade.....	72
Tabela 4:	Análise da confiabilidade das distâncias verticais da fachada da Igreja de Nossa Senhora da Piedade	72
Tabela 5:	Correlação das distâncias verticais da fachada da Igreja de Nossa Senhora da Piedade feita no <i>Statgraphics</i>	73
Tabela 6:	Covariância das distâncias verticais da fachada da Igreja de Nossa Senhora da Piedade feita no <i>Statgraphics</i>	74
Tabela 7:	Análise das distâncias horizontais da fachada.....	74
Tabela 8:	Análise estatística das distâncias horizontais da fachada da Igreja de Nossa Senhora da Piedade.....	75
Tabela 9:	Análise da confiabilidade das distâncias horizontais da fachada da Igreja de Nossa Senhora da Piedade.....	75
Tabela 10:	Correlação das distâncias verticais da fachada da Igreja de Nossa Senhora da Piedade feita no <i>Statgraphics</i>	76
Tabela 11:	Covariância das distâncias horizontais da fachada da Igreja de Nossa Senhora da Piedade feita no <i>Statgraphics</i>	76
Tabela 12:	Análise das distâncias verticais da fachada da Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres.....	84
Tabela 13:	Análise estatística das distâncias verticais da fachada da Ig. de N. Sra. dos Prazeres.....	85
Tabela 14:	Análise da confiabilidade das distâncias verticais da fachada da Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres.....	85
Tabela 15:	Correlação das distâncias verticais da fachada da Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres feita no <i>Statgraphics</i>	86
Tabela 16:	Covariância das distâncias verticais da fachada da Igreja de Nossa Senhora da Piedade feita no <i>Statgraphics</i>	86
Tabela 17:	Análise das distâncias horizontais da fachada da Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres.....	87
Tabela 18:	Análise estatística das distâncias horizontais da fachada da Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres.....	89
Tabela 19:	Análise da confiabilidade das distâncias horizontais da fachada da Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres.....	89
Tabela 20:	Correlação das distâncias verticais da fachada da Igreja de Nossa Senhora da Piedade feita no <i>Statgraphics</i>	90
Tabela 21:	Covariância das distâncias horizontais da fachada da Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres feita no <i>Statgraphics</i>	90

LISTA DE SIGLAS

CAD	<i>Computer-aided design</i>
CCD	<i>Charge coupled device</i>
CIPA	Comitê Internacional para Fotogrametria Arquitetônica
CMOS	<i>Complementary metal oxide semiconductor</i>
DECART	Departamento de Engenharia Cartográfica
ICOMOS	International Council on Monuments and Sites (Conselho Internacional de Monumentos e Sítios)
IPHAN	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
Geosere	<i>Laboratório de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto</i>
MDS	Modelo digital da superfície
SPHAN	Serviço do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UTM	Universal Transverso de Mercator
UFRPE	Universidade Federal Rural de Pernambuco

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1 Hipótese	19
1.2 Objetivos	20
1.2.1 Objetivo Geral.....	20
1.2.2 Objetivos Específicos	20
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	21
2.1 Fotogrametria	21
2.1.1 Modelos Matemáticos.....	22
2.1.1.1 Orientação Interior.....	23
2.1.1.2 Calibração de Câmaras.....	24
2.1.1.3 Retificação e Transformação de Projeção das Fotografias.....	27
2.1.1.4 Modelos 3D gerados no PhotoModeler Scanner.....	30
2.1.1.5 Observação da Geometria dos Objetos	32
2.2 Efeitos de Iluminação e Sombra	32
2.3 Validação dos dados fotogramétricos	33
2.4 Homologia Harmônica	33
2.5 Conservação, Preservação e Restauração do Patrimônio	42
2.5.1 Técnicas de Conservação, Preservação e ou Restauração de Bens patrimoniais.....	45
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	49
3.1 Definição dos objetos de estudos	49
3.1.1 Igreja de Nossa Senhora da Piedade	50
3.1.1.1 Histórico.....	51
3.1.1.2 Tipologia e Características do Edifício.....	51
3.1.2 Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres	51
3.1.2.1 Histórico	52
3.1.2.2 Tipologia e Características do Edifício.....	53
3.2 Recursos	54
3.3 Procedimentos Metodológicos.....	55
3.3.1 Planejamento do Recobrimento Fotogramétrico	56
3.3.2 Calibração da Câmara	57

3.3.3 Alvos codificados	57
3.3.4 Recobrimento Fotogramétrico	58
3.3.5 Retificação de fotografias	58
3.3.6 Análise da qualidade dos dados fotogramétricos.....	59
3.6.1 Método para análise da qualidade dos dados.....	59
3.3.7 Análise da Homologia na Arquitetura	60
 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	 61
4.1 Calibração da câmara.....	61
4.2 Igreja de Nossa Senhora da Piedade	64
4.2.1 Planejamento para o Levantamento Fotogramétrico	64
4.2.2 Alvos codificados	64
4.2.3 Orientação das fotografias	64
4.2.4 Análise da qualidade dos dados	64
4.2.5 Verificação da Homologia	64
4.3 Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres	78
4.3.1 Planejamento para o Levantamento Fotogramétrico	78
4.3.2 Alvos codificados	78
4.3.3 Orientação das Fotografias.....	80
4.3.4 Análise da qualidade das fotografias retificadas	82
4.3.5 Verificação da homologia	90
 5.CONCLUSÕES	 92
5.1 Dificuldades Encontradas	93
 6. REFERÊNCIAS.....	 94
 ANEXO	 100
 APÊNDICE.....	 101

1. INTRODUÇÃO

Há diversos métodos para representação gráfica dos monumentos arquitetônicos que podem ser utilizados de forma direta ou indireta. O processo de representação gráfica consiste em um trabalho meticuloso, realizado a partir de medições que proporcionam a leitura do espaço e de sua arquitetura, assim como de suas tipologias, morfologia e estado de conservação (SORIA MEDINA, 2002).

A descrição gráfica minuciosa e precisa de um monumento arquitetônico, com o objetivo de torná-lo um instrumento de documentação, consiste em um trabalho realizado a partir de medições obtidas com a tomada de medidas de comprimento, largura e altura dos objetos, assim como o registro dos detalhes construtivos.

Os métodos de medição direta normalmente exigem um trabalho em equipe exaustivo e que demanda muito tempo, porém são os mais utilizados em levantamentos desta natureza. Desde meados do século XIX, experiências de levantamentos fotogramétricos (medição indireta) aplicados à Arquitetura, estão sendo realizadas, mostrando que a Fotogrametria pode ser uma boa opção para documentar um monumento (GROETELAARS e AMORIM, 2003).

Com relação à geometria de uma fotografia, por ser uma projeção cônica, podem acarretar distorções, que aumentam a partir do centro para as bordas. Por exemplo, quando a imagem de uma fachada sofre uma deformação projetiva, o que acontece quando ela é observada de qualquer ponto de vista, ou registrada fotograficamente de qualquer ângulo, as simetrias, como transformações projetivas que são, continuam homologias harmônicas, ou seja, apresentam os limites dos pontos-objeto cujas imagens se desvanecem no infinito (MEDEIROS e SORIA MEDINA, 2003).

Em geometria, simetria denota um peso igual das partes de uma figura sobre um ponto, linha ou plano central. Uma figura mostra simetria axial quando pode ser dividida, por uma linha, em duas metades, e uma é a imagem espelhada da outra; uma figura mostra simetria radial quando ela pode coincidir com ela mesma, ao girar em torno de um ponto. Pode-se pensar que a simetria é uma condição geométrica emocional e moralmente neutra na arquitetura. Mas, a simetria é um conceito associado com equilíbrio e regularidade, com ordem e centralização claramente

perceptíveis, com repetição e redundância, com permanência e rigidez, hierarquia e classicismo (COMAS, 2010).

Para cada ponto da imagem existe um ponto objeto correspondente (homólogo) e o raio que une estes pontos correspondentes passa pelo centro da projeção. Dois pontos são ditos correspondentes quando estão contidos num mesmo raio projetivo que parte de um centro de projeções. Deste modo pode-se inferir que duas figuras são correspondentes quando há correspondência respectiva entre todos os pontos de uma e de outra (RABELLO, 2011).

Neste sentido, qualquer visão direta, ou fotografia do monumento arquitetônico, mostra de fato uma relação homóloga harmônica direta entre suas partes simétricas. As simetrias só podem ocorrer se medidas forem tomadas diretamente na fachada ou em projeção ortogonal da mesma em verdadeira grandeza, ou seja, uma representação gráfica geometricamente correta e precisa (COSTA, 2003).

Com o intuito de identificar a simetria utilizou-se, neste projeto, a técnica de fotogrametria, por meio da retificação de fotografias, para que sejam obtidas as medidas lineares das fachadas das igrejas, permitindo a obtenção de dados para análise das características harmônicas de equilíbrio encontradas nos templos de valores estéticos e históricos, dos séculos XVII e XVIII, em Jaboatão dos Guararapes (PE).

A fim de obter resultados com uma precisão digna de confiança se faz necessário calibrar a câmara; com este processo se obtém a variação dos parâmetros de geometria interna (distância focal, posição do ponto principal e parâmetros que definem as distorções da lente). A simetria das fotografias também é garantida através da calibração da câmara, processo necessário a qualquer recobrimento fotogramétrico. A distorção radial simétrica constitui o erro de imagem principal para a maioria dos sistemas de câmara e é atribuível às variações na refração no sistema de lentes. A distorção radial é geralmente modelada com uma série polinomial usando os parâmetros de distorção radial K1 e K. (SANZ-ABLANEDO, 2010).

As ortofotos das fachadas foram obtidas após o processamento das fotografias no programa computacional *PhotoModeler Scanner*, versão 6.

Vale salientar que os traçados das distâncias lineares dos objetos, ao serem obtidas em ortofotos, contribuíram para uma análise mais precisa da existência ou não da homologia harmônica nas fachadas de igrejas com valores históricos e artísticos.

A validação dos dados é um processo necessário para medir a confiabilidade dos dados e método utilizados, esta foi executada no programa computacional *Statgraphics* que resultou numa análise multivariada.

1.1 Hipótese

A arquitetura dos templos de valor histórico e artístico tem características simétricas em sua Geometria. Esta pesquisa teve como foco, a partir da análise de fotografias retificadas, demonstrar se há homologia nas fachadas, no intuito de atender a demanda de planejamento dos projetos de conservação e restauração dos bens patrimoniais.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Pesquisar a existência da homologia harmônica na arquitetura dos frontispícios de templos de valor histórico e artístico, dos séculos XVII e XVIII, em Jaboatão dos Guararapes (PE), por meio de técnicas fotogramétricas.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Registrar, com fotografias coloridas, os frontispícios de templos dos séculos XVII e XVIII do município de Jaboatão dos Guararapes (PE);
- Ortorretificar as fotografias em programas computacionais, a exemplo do *PhotoModeler scanner*;
- Analisar as fotografias retificadas, ortofotos dos frontispícios dos templos de valor histórico e artístico, a fim de identificar casos de homologia harmônica existentes.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

No presente capítulo apresentam-se os principais conceitos associados à revisão e ao desenvolvimento da pesquisa. De forma inicial, é abordada a Fotogrametria Terrestre Digital como técnica para extrair medições de Fachada sem o contato direto, no qual os modelos matemáticos são essenciais para correções das fotografias e geração de ortofotos. A Homologia e Simetria discutidas neste capítulo podem ser encontradas em distintos autores, entre eles pode-se destacar Costa (1989) e Costa e Costa (1994).

2.1 Fotogrametria

As propriedades geométricas de fotografias começaram a ser empregadas em levantamentos arquitetônicos aproximadamente em 1840. As primeiras experiências baseadas na perspectiva fotográfica foram realizadas dez anos mais tarde, sendo o primeiro levantamento desenvolvido por Albrecht Meydenbauer, no ano de 1867 (ALBERTZ, 2001).

Por volta de 1849, o engenheiro militar francês Aimé Laussedat desenvolveu a técnica de levantamento, conhecida por Fotogrametria; esta pode ser definida como uma técnica de extrair, das fotografias, as formas, as dimensões e as posições dos objetos nelas contidos. A Fotogrametria experimentou diversas fases, ao longo do tempo. Segundo Andrade (1998), diversos trabalhos foram publicados entre 1899 e 1932, por Sebastian Finsterwalder, que fundamentaram a Fotogrametria Analítica, versando sobre orientação relativa e absoluta de pares de fotografias. No entanto, somente na segunda metade do século XX, foram desenvolvidos modelos matemáticos que são usados pela Fotogrametria até a atualidade. Isso exigia um grande esforço computacional e as máquinas com capacidade de processamento dos dados não estavam disponíveis até o ano de 1959.

O avanço das tecnologias permitiu que novas características fossem incorporadas à Fotogrametria. Nos anos 80 surgiu a Fotogrametria Digital, modelo utilizado até a atualidade, mas foi preservada a essência da Fotogrametria Analítica.

Rocha *et al.* (2003), esclarecem que a Fotogrametria Digital surgiu a partir do momento em que a entrada de dados passou a ser digital, quer seja pela digitalização (*scanning*) dos fotogramas, quer pela digitalização

direta por câmaras, que gravam as informações radiométricas diretamente sob a forma de dígitos.

Um dos resultados da utilização cada vez maior de câmaras digitais para Fotogrametria é a transferência de algoritmos de visão de máquinas e conceitos em processos fotogramétricos. Características da imagem podem agora ser automaticamente identificadas, combinadas e transformadas em características tridimensionais no espaço objeto (ATKINSON, 1996).

O objetivo da Fotogrametria pode ser enunciado como a reconstrução de um espaço tridimensional, chamado de espaço objeto, a partir de imagens bidimensionais, chamadas de espaço imagem (BRITO e COELHO, 2007).

A Fotogrametria é uma tecnologia para medições indiretas de objetos a partir de fotografias. Sua aplicabilidade é ampla, podendo ser empregada desde a medição de objetos microscópicos até à superfície da Terra ou de outros planetas. Seu conceito fundamental se baseia na relação entre os referenciais do espaço objeto e do espaço imagem por meio de modelos matemáticos. O principal destes modelos é o modelo de colinearidade, que pode ser escrito na sua forma direta ou inversa (REISS; TOMMASELLI, 2007).

Borges e Borges (1999) descrevem a importância da Fotogrametria na arquitetura, afirmando:

...que geralmente a documentação de edifícios históricos não se atém ao levantamento arquitetônico. Muitos outros dados são necessários para que se obtenha uma completa descrição do objeto. No que se refere à documentação gráfica, a Fotogrametria arquitetural preenche todos os requisitos. Para a documentação pictográfica, com registro de cores e texturas, a fotografia a cores é um dos métodos mais completos. Consequentemente, a integração destes dois métodos de levantamento traz muitas vantagens para a documentação histórica, principalmente se podemos visualizar as fotos junto com a parte gráfica.

No entanto, para extrair medições de fotografias, deve-se primeiramente fazer as operações de orientação interior e orientação externa para a correção das distorções de projeção.

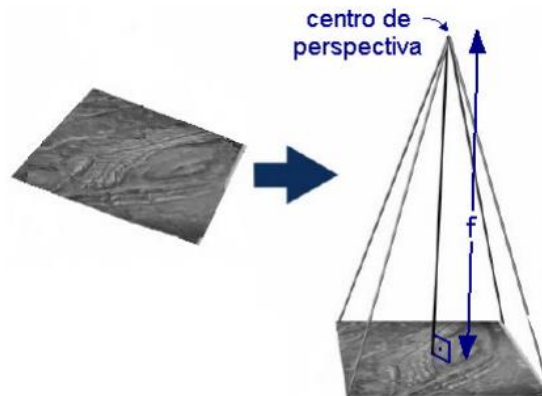
2.1.1 Modelos Matemáticos

As orientações interior e externa das fotografias são fundamentadas em modelos matemáticos utilizados desde a Fotogrametria Analítica e que foram implementados na Fotogrametria Digital.

2.1.1.1 Orientação Interior

Entende-se por orientação interior a reconstrução da geometria do feixe perspectivo (Figura 1), ou seja, conceitualmente a orientação interior consiste apenas em colocar imagem por imagem em posição semelhante à que exerciam dentro da câmara, no momento em que foram obtidas (BRITO; COELHO, 2007).

Figura 1: Conceito de orientação interior –
reconstrução da posição do plano de imagem
em relação ao eixo óptico da câmara fotográfica



Fonte: Brito e Coelho, 2007

A orientação interior é um procedimento realizado desde a Fotogrametria Analógica, em que no restituidor se forçava a coincidência das marcas fiduciais da câmara com as correspondentes marcas no restituidor e ajustando a distância principal do restituidor para coincidir com a da câmara fotogramétrica. Na Fotogrametria Analítica os restituidores analíticos possuem um conjunto de servo-mecanismos que executam a medição das coordenadas das marcas fiduciais em um sistema próprio do aparelho. O sistema final (foto-câmara) é expresso pelas coordenadas fotográficas das marcas fiduciais e pela distância focal calibrada, que constam do certificado de calibração da câmara. Um ajustamento é realizado para delimitar os coeficientes de transformação entre os dois e, a partir daí, qualquer ponto pertencente ao espaço imagem poderá ser posicionado num sistema de eixos cartesianos. A Fotogrametria Digital, apesar de manter o princípio da Fotogrametria analítica, ocorre sem a presença dos servo-mecanismos, passando a ser o sistema de coordenadas

de pixel (linha e coluna), comum a todas as imagens digitais e expresso por números inteiros. Neste caso, o próprio *software* de Fotogrametria Digital, de forma automática, se encarrega de realizar as medições das coordenadas das marcas fiduciais no sistema de pixel, com ou sem intervenção do operador (BRITO; COELHO, 2007).

A orientação interior é fundamentada em diversos modelos matemáticos, a exemplo da transformação afim geral que modela seis parâmetros que consideram o sistema inicial, neste caso, o sistema de imagem digital pode apresentar as seguintes características: Não-ortogonalidade dos eixos, rotação da imagem, translação x e y e escalas diferentes em x e em y.

Um rearranjo das equações lineares em forma matricial e isolando o vetor que contém as incógnitas (BRITO e COELHO, 2007):

$$\begin{pmatrix} f_x \\ f_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \text{coluna} & \text{linha} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \text{coluna} & \text{linha} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ b_0 \\ b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} \quad (1)$$

E, para quatro marcas fiduciais, o sistema ficará igual a:

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ x_2 \\ y_2 \\ x_3 \\ y_3 \\ x_4 \\ y_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \text{coluna1} & \text{linha1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \text{coluna1} & \text{linha1} \\ 1 & \text{coluna2} & \text{linha2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \text{coluna2} & \text{linha2} \\ 1 & \text{coluna3} & \text{linha3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \text{coluna3} & \text{linha3} \\ 1 & \text{coluna4} & \text{linha4} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \text{coluna4} & \text{linha4} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ b_0 \\ b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} \quad (2)$$

2.1.1.2 Calibração de Câmaras

Para utilizar a fotografia com fins métricos necessita-se corrigir os erros a ela inerentes, ou seja, devem-se remover as distorções das lentes (principalmente no caso de câmaras comuns que apresentam distorções significativas) e de perspectiva, fazendo com que a fotografia tenha uma escala uniforme em toda a sua extensão.

Segundo Galo e Tommaselli (2011), a calibração da câmara pode ser feita considerando aspectos radiométricos e geométricos. Na calibração geométrica procura-se determinar os parâmetros de orientação interior (POI) tais como a distância focal, a posição do ponto principal (será definida posteriormente) e os parâmetros que permitem modelar as distorções das

lentes. Na calibração radiométrica ou espectral, para esses autores, procura-se avaliar a resposta do sensor em função do sinal incidente no sistema. A mesma pode ser dividida em relativa e absoluta: na primeira, a ideia é avaliar a resposta dos pixels da matriz de sensores, ou de um conjunto de matrizes de sensores, para uma mesma radiância incidente. Na segunda, é estabelecida a relação entre o sinal incidente e o sinal resultante, de modo que, a partir da imagem de uma dada cena, seja possível inferir sobre sua radiância.

A calibração da câmara serve para determinar dados como distância focal e coordenadas do ponto principal, coeficientes das distorções radial simétrica e descentrada para a reconstrução do feixe perspectivo gerador da imagem fotográfica, no instante da exposição do sensor à luz refletida no objeto fotografado.

O processo de calibração garante resultados métricos das fotografias, sejam elas obtidas com câmaras métricas, semimétricas ou não métricas, mas todas devem ser calibradas. Este procedimento deve ser feito para evitar distorções causadas pelo tempo de uso das câmaras métricas e, no caso das semimétricas e não métricas, para reconstruir o feixe perspectivo na obtenção das fotografias. Esse processo é realizado quando se quer mensurar a resolução, precisão e exatidão da câmara fotográfica e é concretizado com a orientação interior.

Há diversos métodos de calibração de câmara. Na fotogrametria terrestre o processo já disseminado é o método das câmaras convergentes (Figura 2), que utiliza uma foto perpendicular à outra, exigindo uma fixação arbitrária de um referencial. Assim, torna-se suficiente fixar com injunções de posição o centro de perspectiva de uma foto e com injunções de ângulo a posição referencial do espaço objeto em relação ao fotogramétrico (a atitude da câmara). Andrade (1998) esclarece que:

...é de difícil adequação prática para câmeras aerofotogramétricas, mas facilíssimo para câmeras para fotografias terrestres, que a fim de separar os coeficientes da distorção radial simétrica daqueles da distorção descentrada, torna-se necessário ao menos uma foto girada em torno do eixo z da câmara de 90°. Logo, as condições mínimas para calibrar em câmara por este método exigem três fotos; duas convergentes entre si de 90° e uma com giro X em relação às outras de 90°.

FIGURA 2: Esquema das estações de tomada das fotografias pelo método de câmara convergente



Fonte: Côrtes e Mitishita, 2010

Shortis *et al* (2006) fizeram testes de calibração em uma gama de diferentes câmaras digitais e foram conduzidos para verificar as diferenças entre lentes com *zoom* e lentes fixas usadas com essas câmaras. As análises apresentadas indicam que existem diferenças entre os dois tipos de lentes, em termos de precisão e estabilidade, sugerindo que apesar de os resultados aceitáveis poderem ser obtidos através de lentes de *zoom* testadas, as lentes fixas forneceram resultados superiores. As câmaras com lente fixa têm uma estrutura mecânica robusta, usando lentes bem alinhadas com baixa distorção e sem o autofocus ou outras tecnologias que podem mudar de forma incontrolável a geometria interna da câmara. Em consonância com esta abordagem, as câmaras devem ser referidas como câmaras não-métricas, mesmo quando podem compartilhar alguns recursos, como um corpo sensor robusto ou lentes de alta qualidade, pois as câmaras com tecnologias como autofocus, lentes de *zoom*, construções retrofocus, estabilizadores de imagem, entre outros, estão longe de serem favoráveis à Fotogrametria e podem, de fato, reduzir a precisão potencial de uma câmara.

A diferença mais importante entre câmaras de consumo em relação a câmaras profissionais é a sua menor estabilidade geométrica. Esta questão envolve menor confiabilidade e durabilidade ao longo do tempo de modelagem da geometria interna das câmaras. Em resposta a este problema algoritmos e procedimentos de calibração rápida têm sido desenvolvidos nos últimos anos. Isto permite aplicações fotogramétricas com o uso de câmaras de consumo (Karras & Mavrommati, 2001; Mikhail *et al*, 2001).

De acordo com Sanz-Ablanedo *et al.* (2010), o objetivo de modelar as câmaras no contexto da metrologia fotogramétrica é a obtenção de um

modelo teórico que descreva como uma cena é transformada em uma imagem. Como resultado da modelagem, a câmara real é idealizada ou simplificada, a fim de expressar seu comportamento, utilizando expressões matemáticas que permitam, em última análise, seus fins métricos. O desempenho do sistema de medição depende muito da precisão da modelagem das câmaras.

Heikkilä e Silvén (1997) demonstram que uma câmara pode ser modelada como um sistema espacial que consiste de uma área de imagem planar (sensor eletrônico) e uma lente com um centro de perspectiva. Os parâmetros da orientação interior de uma câmara definem a posição espacial do centro de perspectiva, a distância principal e a localização do ponto principal. Eles também englobam os desvios, a partir do princípio de perspectiva central, de modo a incluir a distorção radial e descentrada e, muitas vezes, a afinidade de imagem e ortogonalidade. As experiências mostraram que a distorção linear nas modernas matrizes CCD é tipicamente negligenciável. Assim, os parâmetros b_1 e b_2 podem ser geralmente desprezados, totalizando oito parâmetros intrínsecos que são cruzados. Um procedimento de quatro passos para calibração de câmara foi representado pelos autores. Este procedimento pode ser utilizado em diversas aplicações de calibração de câmaras, mas é mais eficaz em câmara com base de medições em 3D e na visão do robô, onde é necessária maior precisão geométrica. Os métodos utilizados de calibração explícitos ao mapeamento 3D para as coordenadas de imagem e uma abordagem implícita para correção de imagem. Os experimentos na última seção mostraram que o erro causado por um modelo inverso é negligenciável. A caixa de ferramentas *Matlab* foi utilizada para realizar a calibração do procedimento no qual foi implementada e disponibilizada através da *Internet*.

O procedimento pelo qual uma câmara é modelada é chamado de calibração. Durante o processo, o sistema de equações é obtido e inclui os parâmetros de orientação interior de uma câmara como incógnitas, incluindo parâmetros de funções que descrevem os erros de imagem. Neste contexto, o sistema de equações é então resolvido, minimizando os erros.

2.1.1.3 Retificação e Transformação de Projeção das Fotografias

O produto obtido pelo processo conhecido por retificação diferencial é denominado ortofoto; neste processo são eliminados os deslocamentos

causados, na imagem, pela fotografia inclinada e pela variação do relevo da superfície fotografada. Em uma ortofoto, as imagens dos objetos são apresentadas em um sistema de projeção ortogonal, ao contrário de uma fotografia, concebida em um sistema de projeção central. O centro perspectivo de uma ortofoto é deslocado para o infinito; portanto, todos os raios projetantes são paralelos entre si, mantendo sua verdadeira posição ortográfica. As ortofotos são geometricamente equivalentes a mapas de linhas (ANDRADE, 1998).

Brito e Coelho (2007) demonstram três modelos matemáticos empregados para a ortorretificação de fotografias. O primeiro trata de uma transformação afim. Conhecendo-se as coordenadas de, no mínimo, três pontos não-colineares, no sistema de coordenadas da imagem inicial e no sistema de coordenadas da imagem final. Consiste em calcular os coeficientes de transformação entre ambos os sistemas, através de um ajustamento pelo método paramétrico. Os coeficientes utilizados são: a_0 , a_1 , a_2 e b_0 , b_1 , b_2 . E a formulação da transformação afim é descrita a seguir:

$$x = a_0 + a_1 x' + a_2 y' \quad (3)$$

$$y = b_0 + b_1 x' + b_2 y' \quad (4)$$

Onde:

x e y representam o sistema de coordenadas da imagem final e x' e y' correspondem ao sistema da imagem de origem.

O segundo modelo é o da transformação projetiva que mostra a geometria das fotografias, tendo sua perspectiva central. Esta requer, no mínimo, quatro pontos de controle para sua execução. Os autores ainda explicam que esta transformação transforma planos em planos, sendo desaconselhável para a retificação de superfícies tridimensionais. Para superfícies planas ou aproximadamente planas, como é o caso da fachada de uma Igreja, chega a apresentar melhores resultados finais que a transformação afim. Esta transformação é expressa da seguinte forma:

$$x = \frac{c_{11} x' + c_{12} y' + c_{13}}{c_{31} x' + c_{32} y' + 1} \quad (5)$$

$$y = \frac{c_{21} x' + c_{22} y' + c_{23}}{c_{31} x' + c_{32} y' + 1} \quad (6)$$

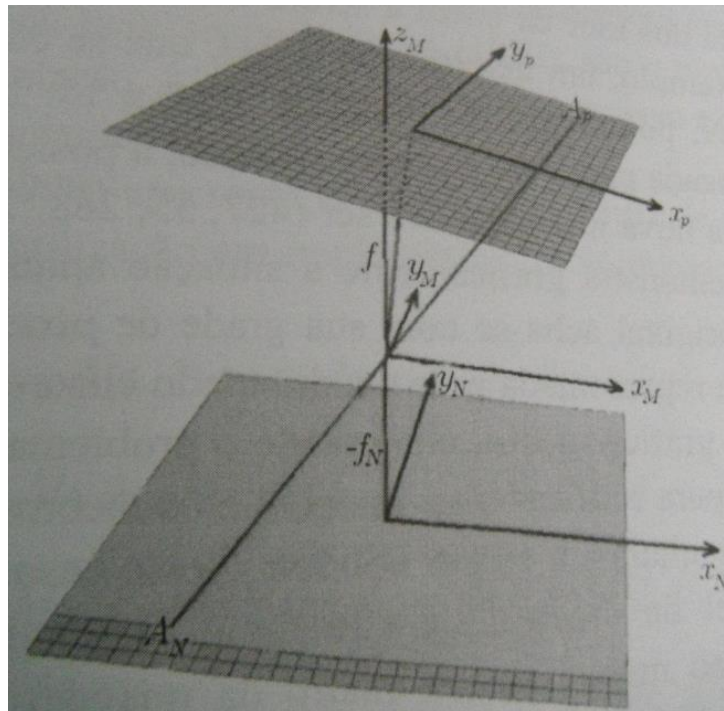
O terceiro modelo matemático para realização de operações de retificação é a utilização de equações de colinearidade. Esta é considerada a base da fotogrametria digital, pois relaciona os parâmetros da orientação exterior, as coordenadas fotográficas de um ponto e as coordenadas tridimensionais do mesmo ponto no sistema referencial do terreno ou do espaço-objeto. É representado pelas seguintes equações:

$$x_n = -f_n \frac{r_{11}x_p + r_{12}y_p - r_{13}f_p}{r_{31}x_p + r_{32}y_p - r_{33}f_p} \quad (7)$$

$$y_n = -f_n \frac{r_{21}x_p + r_{22}y_p - r_{23}f_p}{r_{31}x_p + r_{32}y_p - r_{33}f_p} \quad (8)$$

A Figura (3) identifica graficamente as variáveis encontradas nas equações de colinearidades descritas anteriormente.

Figura 3: Princípio da colinearidade aplicado à retificação de imagens



Fonte: Brito e Coelho, 2007.

O sistema x_p , y_p e f_p pertence à imagem não-retificada: f_p é a distância focal calibrada da câmara com a qual as fotografias foram obtidas; x_p e y_p são as coordenadas do ponto principal da câmara no sistema das marcas fiduciais. O sistema x_n , y_n e f_n equivale à imagem retificada, sendo em geral utilizado f_n igual a f_p . No entanto, não precisa necessariamente seguir essa convenção. Brito e Coelho (2007) e Andrade (1998) abordam o aprofundamento dos modelos matemáticos para ortorretificação.

As coordenadas planas de pontos do espaço objeto são obtidas a partir de suas homólogas no espaço imagem, no sistema fotogramétrico; coordenadas do centro de projeção, no referencial do espaço objeto; e coordenada referente à profundidade dos pontos (Z), no referencial do espaço objeto são obtidas a partir de seu MDS (modelo digital da superfície).

A ortogonalidade é necessária para que as formas geométricas dos objetos sejam medidas com precisão. Segundo Souza (2008), as formas arquitetônicas são aquelas ligadas às construções, à materialidade, traduzidas por sólidos geométricos, criando espaços e volumes com caráter estético; as formas geométricas são os conjuntos contínuos formados por um número infinito de elementos (pontos, retas, planos ou superfícies), nos quais está contida uma figura geométrica.

2.1.1.4 Modelos 3D gerados no *PhotoModeler Scanner*

Os modelos tridimensionais precisos têm sido obtidos por restituição fotogramétrica ou por retificação de fotografias, com soluções nas formas vetoriais e *raster*.

Por meio de um sistema de projeção cilíndrico ortogonal, que possui como propriedade apresentar a verdadeira grandeza das feições que aparecem paralelas ao plano de projeção e são efetuadas medidas a respeito dos objetos representados, constituindo uma representação vetorial com editores de desenho ou *raster* com editores de imagem. O programa computacional *PhotoModeler Scanner* é um programa para correção de fotografias e reconstrução de modelo tridimensional aplicadas a diversas áreas, inclusive arquitetura. O programa permite processar dados que vão desde a calibração da câmara, retificação e restituição das fotografias, à geração de textura dos objetos. Estes serão resultados precisos que podem ser transferidos para qualquer gráfico ou programa CAD (*site PhotoModeler*, 2011).

Wutke, Fosse e Centeno (2005) realizaram uma pesquisa em que foi feita a tomada de fotografias e de algumas medidas do objeto de estudo, em campo. Em seguida, foi restituído o modelo tridimensional usando o software *PhotoModeler Pro5.2*, e, a partir deste modelo, foram coletadas algumas das medidas com a Estação Total Topcon GPT-3200N e com uma trena de 50 metros, visando uma posterior comparação. Para a obtenção das fotografias foi utilizada uma câmara fotográfica digital Cânon *PowerShotA60*, com distância focal de 5.4mm e CCD de 2.4 megapixels de resolução. Foram obtidos resultados consistentes quanto à visualização e pode-se considerar que o modelo tem valor significativo, podendo utilizado tanto do ponto de vista turístico, como histórico, religioso, arquitetônico ou fotogramétrico, como pode ser visto na Figura 4. Percebe-se as informações visuais contidas no modelo tridimensional, que possui, além de detalhes da forma geométrica, a textura real do objeto, também extraída das fotografias tomadas.

Figura 4: Modelo tridimensional do objeto



Fonte: Wutke, Fosse e Centeno, 2005.

Tendo em vista o *PhotoModeler Pro5.2* utilizar a equação de colinearidade para a geração do modelo, ao se trabalhar com fotografias convergentes, houve dificuldade em achar pontos homólogos em fotos muito inclinadas, resultando em modelos com erros de precisão. Por isso, é recomendável obter fotografias com a menor inclinação possível, para evitar maiores distorções.

2.1.1.5 Observação da Geometria dos Objetos

Qualquer fotografia de uma forma arquitetônica contém, em potencial, muitas informações geométricas que dela podem ser extraídas. Estas informações são imprescindíveis para o levantamento gráfico correto, sobretudo nos casos frequentes em que é impossível acessar determinados pontos com uma trena (MAESTRE, 2000).

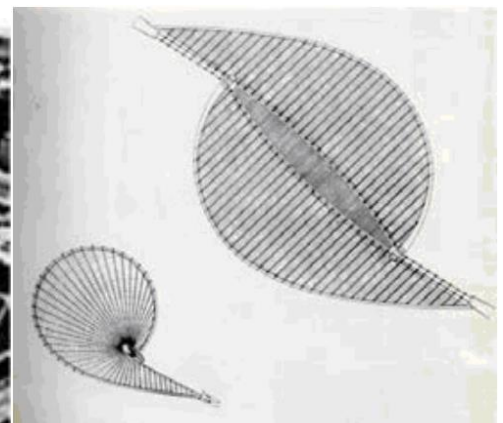
Na arte e na arquitetura, a geometria está presente em inúmeros objetos e construções. Segundo Benutti (2008), na arquitetura os cânones de perfeição têm sua expressão máxima no Partenon. Este templo ateniense foi construído tendo como base dois elementos da geometria sagrada: para a fachada, as proporções do retângulo áureo e, para as laterais, o fator π . Assim, as partes individuais da estrutura estão todas proporcionais em relação à geometria do edifício como um todo.

As soluções formais de coberturas bastante complexas, demonstradas nas figuras 5 e 6 são fruto da aplicação de figuras geométricas cônicas, os paraboloides hiperbólicos, sobre plantas circulares. Ainda resolvidas através da Geometria Euclidiana, estas sofisticadas soluções arquitetônicas inspiram-se nas velas dos barcos japoneses (SOUZA, 2008).

Figura 5: Vista aérea – Pavilhões olímpicos de Tóquio



Figura 6: Esquemas Geométricos dos pavilhões olímpicos



Fonte: Souza, 2008.

2.2 Efeitos de Iluminação e Sombra

A iluminação tem suma importância no processo fotogramétrico, para que haja contraste suficiente entre os elementos dos objetos. Visando a homogeneidade de luz solar na fachada e a minimização das sombras que

aparecem em uma imagem quando um detalhe de um determinado objeto está na frente do iluminante principal, seja ela natural ou artificial, busca-se soluções para este problema. A presença de sombras nem sempre pode ser evitada, pois eles aparecem no instante da obtenção das fotografias, devido às cenas de geometria fixa de objetos como edifícios, ou às condições em que a imagem é tomada com o uso de um *flash*, a iluminação não é uniforme nos objetos.

As técnicas de processamento digital de imagem, a identificação, suavização e/ou eliminação de sombra por meio de *software* ou algoritmos específicos apresentam um bom desempenho, devido à natureza da correção do *pixel*. Estas, por sua vez, minimizam erros que serão “distribuídos” por toda a imagem e isto leva a alterações globais da imagem (FINLAYSON; HORDLEY; DREW, 2006).

Drew e Joze (2007), em pesquisa com o objetivo de remover sombras de imagens, propuseram um novo esquema para a geração de imagens invariantes com a iluminação. A ideia é que o utilizador identifica duas ou mais regiões de imagem, dentro e fora das sombras. Em seguida, um espaço de cor para a transformação é determinado através de uma otimização que visa melhorar a remoção da sombra. Os resultados mostram que o método remove eficazmente ou, pelo menos, reduz grandemente a saída de sombras em tons de cinza.

No entanto, para a Fotogrametria, que necessita de uma precisão métrica, esta técnica compromete e prejudica a geometria de detalhes importantes das fotografias, que serão ortorretificados, pois os valores dos pixels são alterados e podem ser confundidos pelo foto-identificador.

O dia para o recobrimento deve ser escolhido de acordo com o tempo, pois o sol muito forte em certos horários produz sombras intensas que poderão prejudicar a observação de alguns detalhes estruturais ou decorativos. O dia nublado, quando não há sombras pronunciadas, é ideal para se fotografar edificações, pois as nuvens difundem a luminosidade (SOUZA; ARAÚJO; CERQUEIRA, 2001).

2.3 Validação dos dados fotogramétricos

Na análise da qualidade dos dados leva-se em consideração as precisões pré-estabelecidas pelo Icomos que classifica os levantamentos

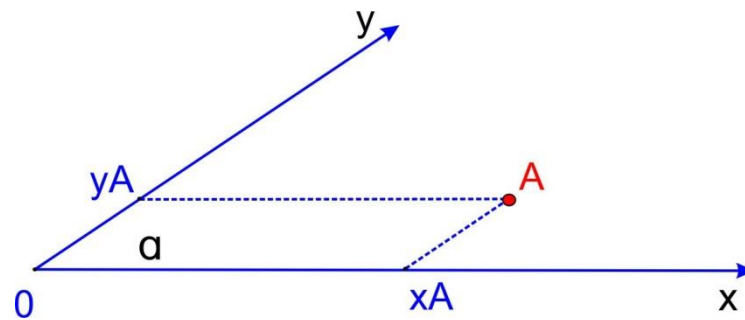
para representação de monumentos em três grupos distintos (SORIA MEDINA; DALMOLIN, 2003):

1. Levantamentos rápidos e relativamente simples; englobam estudos preliminares, inventário e estudo da história da arte. O erro máximo permitido no posicionamento de pontos é de 5 cm, sendo a representação gráfica efetuada na escala 1:100 ou 1:200. A representação envolve as linhas arquitetônicas principais, em elevações e seções verticais;
2. Levantamentos precisos, que atende as exigências dos arquitetos e historiadores de arte. A escala da representação gráfica é normalmente 1:50, sendo 2 cm o erro máximo permitido no posicionamento dos pontos. Para edifícios grandes, a escala preferida é de 1:100, porém com detalhes em 1:20 ou 1:10. O levantamento envolve elevações de fachadas exteriores e paredes interiores, seções verticais, plantas, desenho de abóbadas ou tetos. Para expressar a forma de superfícies curvas, abobadas ou cúpulas, são utilizadas curvas de nível;
3. Levantamentos considerados de alta precisão. O erro máximo admissível nestes levantamentos é de 1 mm, chegando, em alguns casos, a 0,1 mm. A aplicação destes levantamentos está na representação de elementos esculpidos (estátuas ou decoração) ou ainda em objetos arqueológicos ou de arte.

2.4 Homologia Harmônica

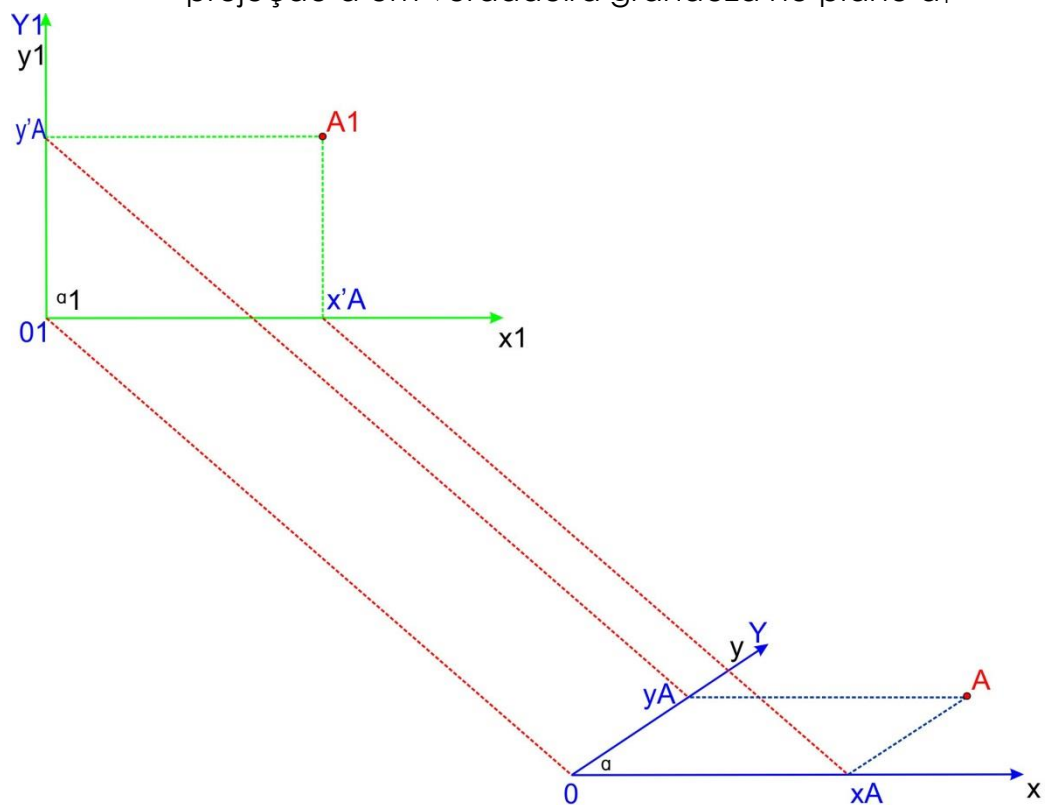
Na homologia, a relação é entre elementos da mesma espécie (a um ponto corresponde um ponto, a uma reta uma reta). Conforme Siqueira, Costa e Souza (2009), o primeiro passo para a construção de um sistema homológico consiste na determinação de um plano de projeções α , como ratifica o autor na Figura 7. Cada ponto tem coordenadas relativas aos eixos em perspectiva, as quais são usadas para a visualização dos elementos do plano α_1 , de acordo com a Figura 8.

Figura 7: Determinação de um plano dos planos de projeções



Fonte: Adaptado de Siqueira, Costa e Souza (2009).

Figura 8: Representação dos elementos de um plano de projeção a em verdadeira grandeza no plano α_1



Fonte: Adaptado de Siqueira, Costa e Souza (2009).

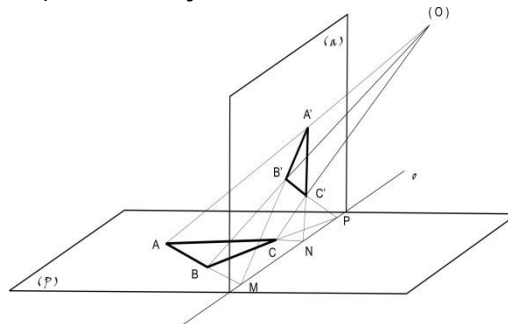
A homologia é um caso particular de conjunto mais vasto de transformações designadas por homografias. Pode-se dizer que duas figuras planas são homográficas quando se correspondem ponto a ponto e reta a reta, de tal modo que a todo o ponto e reta incidentes numa das figuras correspondem um ponto e uma reta também incidentes na outra (MARTINS, FERNANDES e SACCHETTI, 2008). Um exemplo muito simples é a projeção de uma figura contida num plano sobre outro plano, a partir de um ponto. Em que se observa que a homologia é uma homografia em que:

- Os pontos homólogos estão alinhados com um ponto fixo, designado como “centro de homologia”, O ; cada reta que passa por O tem como imagem ela própria – reta dupla;
- As retas homólogas cortam-se em pontos de uma reta dita “eixo de homologia”, e ;
- Cada ponto do eixo tem como imagem ele próprio – reta de pontos duplos.

Por meio dos fundamentos projetivos pretende-se observar a homologia harmônica em seu caso geral, que não corresponde a nenhuma simetria, mas está forçosamente presente em qualquer observação visual, ou imagem fotográfica, ou em sombras projetadas, de formas simétricas, já que todas elas são transformações projetivas, que não alteram o valor da birrazão.

Rabello (2011) enuncia o Teorema de Desargues, no qual, em dois triângulos $[ABC]$ e $[A'B'C']$, Figura 9, as retas que unem os vértices correspondentes se interceptam num mesmo ponto e os prolongamentos dos lados correspondentes se interceptam sobre uma mesma reta. A demonstração desse teorema só é possível quando os triângulos não são coplanares.

Figura 9: Representação do Teorema de Desargues



Em que:

(O) : centro projetivo

ABC : triângulo contido no plano (π)

$A' B' C'$: triângulo homólogo de ABC , contido no plano (α)

e : interseção de (π) com (α)

Demonstração:

$A' A$ e $B' B$ são coplanares, logo se interceptam num mesmo ponto (O) .

$A'A$ e $C'C$ também são coplanares e se interceptam também no ponto (O) .

Conclui-se então que $A'A$, $B'B$ e $C'C$ se interceptam em (O) . AB e $A'B'$, obviamente são coplanares também, mas AB pertence a (π) e $A'B'$, pertence a (α) . Logo, AB e $A'B'$ se interceptam num ponto M da reta e, interseção de (π) com (α) . Por raciocínio análogo, conclui-se que os pontos N (interseção de AC com $A'C'$) e P (interseção de BC com $B'C'$) pertencem também à reta e . Estes triângulos são homólogos: o ponto comum é o centro de homologia e a reta sobre a qual se intersectam os lados correspondentes é o eixo de homologia.

Há afinidade na homologia quando as retas definidas por pontos homólogos são paralelas, trata-se de uma homologia de eixo próprio e centro impróprio. A homotetia trata de uma homologia de eixo impróprio e centro próprio. Cada par de pontos homólogos (AA') , Figura 10, verifica a relação $OA/OA' = OB/O'B' = k$, sendo k um número real (razão de homotetia). No caso particular de ser $k = -1$, a homotetia é uma simetria central. A simetria axial é um caso particular da homologia afim: os pontos homólogos são simétricos em relação ao eixo, obliquamente ou ortogonalmente, Figura 11. E a translação é uma homologia de centro impróprio e eixo impróprio (MARTINS; FERNANDES; SACCHETTI, 2008).

Figura 10: Representação da Homotetia

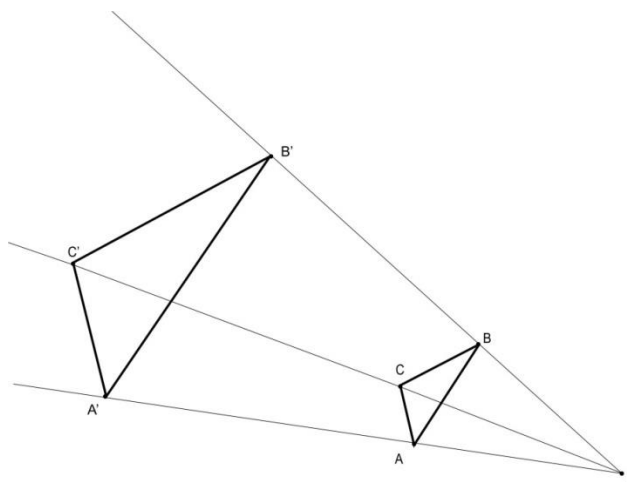
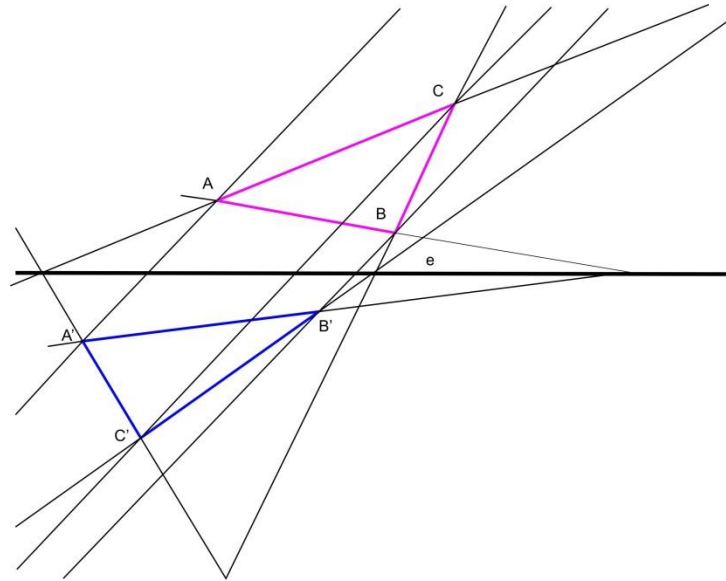


Figura 11: Representação da Simetria Axial



A observação da simetria em fachadas é feita em todo mundo e as análises são realizadas através das figuras geométricas observadas em fotografias, ou *in loco*, e não se atêm à precisão métrica desses objetos vistos nas fotografias.

A simetria é um dos princípios básicos na formulação de modelos matemáticos para os fenômenos naturais, além de sua ligação com as artes. A ideia é uma das mais ricas na matemática e está associada às transformações geométricas, especificamente às suas características, tais como ângulos, comprimento dos lados, distância, tipos e tamanhos (FONSECA, 2011).

As figuras geométricas têm uma relação direta com a arquitetura, desde a antiguidade. O Partenon, templo da deusa Atena, uma das mais admiradas obras da arquitetura universal, revela, em seu frontispício um quase exato retângulo áureo. Todavia, não há evidência histórica de que, ao construir o templo, no século V a.C., os arquitetos de Péricles tenham conscientemente usado o retângulo áureo (ÁVILA, 2007).

De acordo com Saraiva (2007), a divisão de um segmento em média e extrema razão já aparece no Livro VI de Euclides, porém os retângulos áureos são encontrados com frequência nas esculturas e obras arquitetônicas da Grécia antiga. Por esse motivo, a razão áurea é normalmente atribuída aos gregos. Entretanto, de acordo com Saraiva (*op. cit.*), ela já estava presente nas pirâmides do antigo Egito. Como definição, um triângulo é considerado triângulo áureo quando ele é semelhante ao triângulo retângulo com hipotenusa λ e catetos 1 e $\sqrt{\lambda}$. E sendo Δ uma

pirâmide reta de altura h com base quadrada de lado a e sendo H a altura de suas faces. Dizemos que Δ é uma pirâmide áurea quando o triângulo de lados H , h e $\frac{a}{2}$ for um triângulo áureo. Foi deduzida a fórmula com as dimensões e altura das pirâmides de Quéops, Quéfren e Miquerinos, sendo constatado que Quéops é uma pirâmide áurea, enquanto Quéfren e Miquerinos não são.

Não há forma arquitetônica sem o concurso e a definição das suas formas geométricas. Seja um simples edifício prismático, comum em diversas cidades; sejam outros em forma piramidal, ou cônica, mais raros; ou ainda os recentes projetos contemporâneos, aparentemente caóticos e sem formas definidas, mas que são traçados através de novos conceitos geométricos, auxiliados pelas novas ferramentas de computação (SOUZA, 2008).

A entrada principal da Pirâmide do Museu do Louvre em Paris mostra uma forma arquitetônica resultante direta da aplicação da figura geométrica de uma pirâmide pura e transparente, com base quadrada de 34 metros de lado e 3 metros de altura. No projeto feito durante a reforma e ampliação, grande parte da obra do Arquiteto I. M. Pei, observa-se a aplicação constante de figuras geométricas simples como triângulos, quadrados e círculos, que geram formas volumétricas simples, mas de grande força plástica (BARTHEL, 1985).

Ghery, 1997 *apud* Souza, 2008 afirma que o Museu Guggenheim, em Bilbao, foi fruto de um projeto que reflete o uso de novas geometrias e ferramentas da computação para definição das formas arquitetônicas. O arquiteto utilizou os conceitos geométricos da topologia aplicados num programa computacional denominado *Catia*. A topologia é um ramo da Geometria que estuda as transformações contínuas e elásticas, onde comprimentos, ângulos e formas podem ser alterados por transformações contínuas e reversíveis, sem perder suas características.

O arquiteto Williams, em 1998, fez um estudo da visão geral dos tipos de simetria na arquitetura, mostrou exemplos de simetria bilateral, que é a forma mais comum de simetria na arquitetura, em todas as culturas e em todas as épocas. Nesta, as metades de uma composição são espelhos umas das outras. Ela é encontrada na fachada do Panteão de Roma (1700), estilo missão da Alamo em San Antonio, Texas. Simetria bilateral também está presente não só na escala de um edifício único, mas em uma escala urbana. Um exemplo disso encontra-se no desenho do PraHo Comercio em Lisboa, Portugal, onde três elementos urbanos (um amplo espaço público quadrado, um portão monumental e uma rua comercial ampla para além do portão) são simétricos em relação a um eixo longitudinal horizontal que

governa a nossa perspectiva visual. A simetria foi observada desde os templos da Grécia antiga, pois sempre tiveram um número par de colunas, de modo que nunca houve uma coluna sobre o eixo central da fachada.

Ferreira, Núñez e Amorim (2005) mostram a experiência da construção de modelos geométricos tridimensionais na cidade de Lençóis, na Bahia. Foi gerado o modelo simplificado das edificações, no qual cada uma foi modelada a partir de dados coletados que continham as principais dimensões das edificações cadastradas. No entanto, os resultados foram pouco precisos, devido à quantidade de dados que seriam necessários para representar as edificações ocultas e irregulares. E estes modelos não analisaram a geometria e homologia harmônica das edificações.

Costa (2001) fez uma análise enquadrando a simetria como situação particular da homologia harmônica em fachadas arquitetônicas de templos construídos antes do século XX, em Olinda, Pernambuco. A simetria central é homologia harmônica de eixo impróprio, ou seja, homotetia harmônica. Como exemplo, foi verificado que, além das portas e janelas retangulares, a homotetia harmônica só foi observada na porção central da fachada da Igreja de São Francisco.

A simetria axial é uma afinidade harmônica e, em muitos casos, a direção da afinidade é ortogonal ao eixo, caracterizando o rebatimento ou simetria axial ortogonal. Esta é bastante utilizada em projetos de fachadas. Num sistema harmônico, as duas metades simétricas aparecem como figuras homólogas de um eixo central (e) (COSTA, 2001).

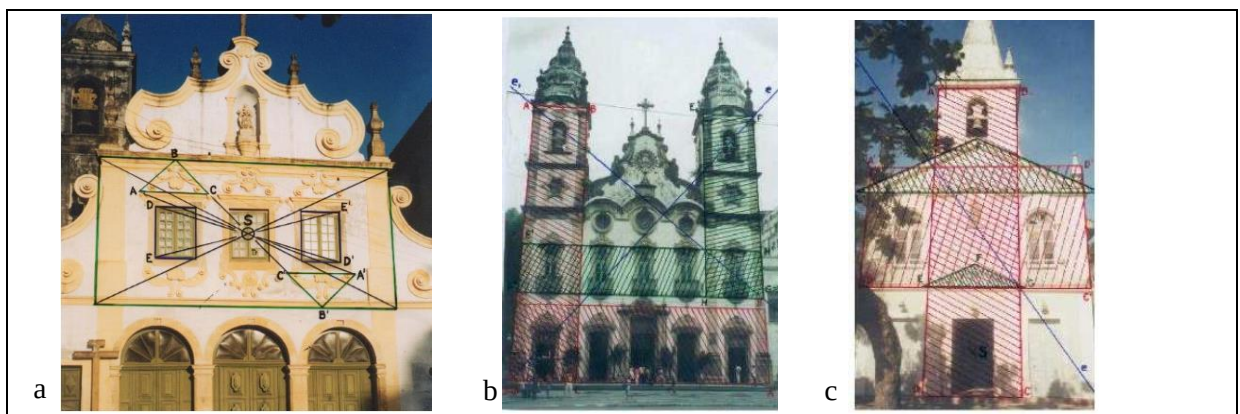
A autora ainda fez a análise da simetria axial oblíqua, caso de afinidade harmônica em que a direção forma, com o eixo, um ângulo diferente de 90° , demonstrado no exemplo da Igreja de Nossa Senhora do Amparo, em que o retângulo das portas está em afinidade harmônica com o retângulo da torre.

Por fim, foi observado a homologia harmônica em seu caso geral, que não corresponde a nenhuma simetria, pois está presente em qualquer observação visual, fotografias ou sombras projetadas, de forma simétrica, já que se trata de transformações projetivas que não alteram o valor da birrazão, demonstrado no caso da Igreja de São Pedro (COSTA, 1989; COSTA; COSTA, 1994). Neste caso, apesar das curvas quebrarem a linearidade da linha reta, a massa visual do frontão se torna trapezoidal, entrando em harmonia harmônica com o trapézio obtido quando melhor se circunscrevem as janelas e a porta da fachada.

Costa (2003) fez uma análise da homologia das Igrejas de Nossa Senhora da Piedade e Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres, localizadas no município de Jaboatão dos Guararapes, na RMR, e objetos desta pesquisa; na primeira, foi observada a simetria da linha de três janelas, a Igreja só tem duas portas e a principal forma com as janelas um trapézio harmônico com o frontão. Na segunda, foram notadas as torres simétricas das portas e é perfeita a homologia harmônica genérica entre o frontão e a massa central da fachada. O estudo considera este o melhor exemplo de harmonia na arquitetura de todo o Grande Recife.

Costa (2001; 2003) mostra a simetria central na Figura 12a, em que a deformação perspectiva da fotografia não alterou a relação homológica harmônica. Na figura 12b, a autora enfatizou a simetria axial ortogonal na Igreja de Santo Antônio, um caso de perfeita simetria entre cada torre e as faixas de portas e janelas. Vale salientar que, tendo ou não torre no plano da fachada, a simetria axial ainda é completa na fachada da nave principal. E, no caso da simetria axial oblíqua representada na Figura 12c. com a Igreja de São Francisco de Paula, em que a torre está em simetria axial oblíqua com a faixa horizontal central da fachada, visualmente marcada pela massa de janelas e outras aberturas. Esta harmonia é mais marcante nas igrejas mais antigas, onde também se nota relação de homotetia, porém anarmônica. Nas amostras mais recentes a harmonia é cada vez menos definida, persistindo apenas transformações homotéticas e translações entre elementos da fachada.

Figura 12: Simetria central na Igreja de São Francisco, Olinda (a)
 Simetria axial ortogonal na Igreja de Santo Antônio, Recife (b)
 Simetria axial oblíqua da Igreja de São Francisco de Paula, Recife (c)



Fonte: Costa, 2001; 2003.

2.5 Conservação, Preservação e Restauração do Patrimônio

Em conferência realizada na cidade de Atenas, constatou-se que, nos diversos estados ali representados, predomina uma tendência geral de abandonar as reconstruções integrais, evitando assim seus riscos, pela adoção de uma manutenção regular e permanente, apropriada para assegurar a conservação dos edifícios (CARTA DE ATENAS, 1931).

A conservação e a restauração dos monumentos visam salvaguardar tanto a obra de arte quanto o testemunho histórico. A conservação está geralmente ligada a operações regulares de manutenção e se destina a fins sociais úteis, sem que se permita alterar as relações volumétricas e cromáticas (remoção do todo ou de parte do monumento). Tem o objetivo de deter ou adiar os processos de deterioração. Quanto à restauração, o artigo 9º da Carta de Veneza (1964) disserta:

...é uma operação que deve ter caráter excepcional, pois tem por objetivo conservar e revelar os valores estéticos e históricos do monumento e fundamenta-se no respeito ao material original e aos documentos autênticos.

A Carta de Restauo (ITÁLIA, 1972) mostra o princípio que deve guiar e condicionar a escolha das operações e exigências fundamentais na restauração da arquitetura. Assim, deve-se respeitar e salvaguardar a autenticidade dos elementos construtivos. A restauração não se limita, portanto, a operações destinadas a conservar unicamente os caracteres formais de arquitetura ou de ambientes isolados, mas se estende também à conservação substancial das características conjunturais do organismo urbanístico completo e de todos os elementos que concorrem para definir tais características.

Na Convenção, para Proteção do Patrimônio Mundial, Cultural e Natural (UNESCO, 1972) considerou-se que a degradação ou o desaparecimento de um bem do patrimônio cultural e natural constitui um empobrecimento efetivo do patrimônio de todos os povos do mundo, e por sua vez, estão cada vez mais ameaçados de destruição, não apenas pelas causas tradicionais de degradação, mas também pela evolução da vida social e econômica que agrava o problema, através de alteração ou de destruição ainda mais prejudiciais. Nesta Convenção foi criado, junto da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura o Comitê do Patrimônio Mundial, para a proteção do patrimônio cultural e natural, de valor universal excepcional, sendo composto de quinze Estados.

Com a escassez de uma legislação eficaz e flexível sobre o patrimônio arquitetônico e suas relações com o planejamento físico-territorial em muitos países, a Conferência Geral, realizada em Nairóbi, adotou instrumentos internacionais para proteção do patrimônio cultural e natural, tais como a Recomendação que define os Princípios Internacionais a serem Aplicados em Relação às Escavações Arqueológicas (UNESCO, 1956), a Recomendação Relativa à Salvaguarda da Beleza e do Caráter dos Sítios e Paisagens (UNESCO, 1962), a Recomendação sobre a Preservação dos Bens Culturais Ameaçados pela Realização de Obras Públicas ou Privadas (UNESCO, 1968) e a Recomendação sobre a Proteção, no Plano Nacional, do Patrimônio Cultural e Natural (UNESCO, 1972) e (UNESCO, 1976).

As Recomendações de Nairóbi (UNESCO, 1976) ainda sugerem que os trabalhos de restauração a serem empreendidos devem se fundamentar em princípios científicos. Conceitua salvaguarda como sendo a identificação, a proteção, a conservação, a restauração, a reabilitação, a manutenção e a revitalização dos conjuntos históricos ou tradicionais e de seu entorno. E recomenda que uma grande atenção seja dispensada à harmonia e à emoção estética que resultam da conexão ou do contraste dos diferentes elementos que compõem os conjuntos e que dão a cada um deles seu caráter particular.

Segundo a Carta da Burra (ICOMOS, 1980), o objetivo da conservação é preservar a significação cultural de um bem; ela deve implicar medidas de segurança e manutenção, assim como disposições que prevejam sua futura destinação. Enquanto que a preservação se limita à proteção, à manutenção e à eventual estabilização, de modo a evitar que seja destruída a significação cultural do bem. O Artigo 16º e 23º desta Carta descrevem:

...a restauração deve respeitar as contribuições de todas as épocas, quando a substância do bem pertencer a várias épocas diferentes. O resgate de elementos datados de determinada época em detrimento dos de outra só se justifica se a significação cultural do que é retirado for de pouquíssima importância em relação ao elemento a ser valorizado. ...trata dos procedimentos de qualquer intervenção prevista em um bem que deve ser precedida de um estudo dos dados disponíveis, sejam eles materiais, documentais ou outros. Qualquer transformação do aspecto de um bem deve ser precedida da elaboração, por profissionais, de documentos que perpetuem esse aspecto de exatidão.

No sentido de manter vivo o patrimônio cultural foi constatado, no 3º Colóquio Interamericano sobre a Conservação do Patrimônio Monumental “Revitalização das Pequenas Aglomerações”, realizado no México, em 1982, que a introdução de esquemas consumistas e de modos de vida estranhos às tradições locais, que advêm graças aos múltiplos meios de comunicação, favorecem a destruição do patrimônio cultural, por favorecerem o desprezo aos próprios valores, particularmente nas pequenas aglomerações. Por isso, exortam os governos, às escolas de ensino superior e aos órgãos públicos ou privados, para que, se interessem pela salvaguarda do patrimônio (ICOMOS, 1982).

No contexto da situação, muitas vezes dramática, que provoca perdas irreversíveis de caráter cultural, social e mesmo econômico, o Conselho Internacional dos Monumentos e dos Sítios considerou necessário redigir duas “Cartas Internacionais para a Salvaguarda das Cidades Históricas” (Washington, 1986; 1987) complementando a “Carta Internacional sobre a Conservação e o Restauro dos Monumentos e Sítios” (ICOMOS, 1964), que definem os princípios e objetivos, os métodos e os instrumentos de ação adequados à salvaguarda da qualidade das cidades históricas.

A Carta de Nara, emitida no Japão, em 1994, foi elaborada com base na Carta de Veneza (ICOMOS, 1964), com objetivo de desenvolver e ampliar seus conceitos e princípios sobre valores e autenticidade, trazendo-os para a sociedade atual. “É importante sublinhar um princípio fundamental da Unesco, que considera que o patrimônio cultural de cada um é o patrimônio cultural de todos.” (UNESCO; ICCROM; ICOMOS, 1994).

A XI Assembleia Geral do Icomos, realizada em 1996, resultou no texto que visa à integração da sociedade civil e organizações governamentais para a conscientização da conservação do patrimônio cultural. Com o objetivo de promover uma ação universal, o Icomos deve prosseguir no exercício sem trégua de sua tríplice missão: assessoria científica, centro de reflexão e órgão difusor de metodologia e tecnologia contemporâneas (ICOMOS, 1996).

A Carta do Icomos (2003) descreve os princípios para análise, conservação e restauração estrutural do patrimônio arquitetônico, ratificada pela 14ª Assembleia Geral, realizada em Victoria Falls, Zimbábue. Retrata, em seus critérios gerais:

...o valor e a autenticidade do patrimônio arquitetônico não podem se basear em critérios fixos porque o respeito devido a todas as culturas também exige que seu patrimônio físico seja

considerado dentro do contexto cultural a que ele pertence. O valor do patrimônio arquitetônico não está apenas na sua aparência, mas também na integridade de todos os seus componentes como um produto único da técnica construtiva própria de um período.

Assim como a medicina necessita de anamnese, diagnóstico, terapia e acompanhamento para restaurar a saúde do paciente, para executar intervenções de conservação e/ou restauração em bens patrimoniais as etapas da medicina correspondem respectivamente à pesquisa de dados e informações importantes, identificação das causas dos danos ou da deteriorização, definição das medidas a serem tomadas e acompanhamento da eficácia das intervenções (ICOMOS, 2003).

Com uma visão voltada para as demandas do século XX e com o objetivo de ratificar as obrigações relevantes de conservação dos bens patrimoniais já discutidas e escritas em Convenções e Conferências anteriores, o Documento de Madrid (ICOMOS, 2011) mostra que os edifícios evoluíram com o tempo e novas alterações podem interferir no significado cultural de um bem, pois um bem pode ter diferentes enfoques e métodos de conservação, porém suas peculiaridades devem ser respeitadas. Neste sentido, as técnicas de documentação devem incluir, dependendo das circunstâncias, fotografias, desenhos em escala (plantas, fachada), modelos tridimensionais, amostras, avaliação não destrutiva, entre outros, para garantir o registro mais preciso possível. Frequentemente, os materiais e técnicas de construção do século XX diferem bastante das dos séculos passados; por isso, é necessário uma investigação minuciosa para que o bem patrimonial não perca sua originalidade no processo de restauração. Além disso, é preferível estabilizar, consolidar e conservar elementos a substituí-los, pois o significado cultural de um bem como testemunho histórico se baseia principalmente no significado das substâncias dos materiais originais e/ou seus valores intangíveis que definem sua autenticidade.

2.5.1 Técnicas de Conservação, Preservação e / ou Restauração de Bens Patrimoniais

Estudos estão sendo realizados mundialmente, com o intuito de desenvolver técnicas que atendam as normas internacionais de conservação, preservação e restauração do patrimônio arquitetônico, seja por academias ou profissionais da área. Dentre elas, destaca-se a

fotogrametria como uma forma de obter informações métricas sem o contato direto com os objetos, a partir de fotografias.

Segundo Walldhaeuser e Ogleby (1994), a aplicação da fotogrametria em projetos de arquitetura requer que as regras 3X3 sejam levadas em consideração. Estas regras são divididas em três: geométricas, fotográficas e de organização, as mesmas são divididas em três que faz jus a nomenclatura. A regra geométrica abrange: preparação de informações de controle, múltipla cobertura de todas as fotografias e ter estereopar para estéreo restituição; as três regras fotográficas dizem respeito à geometria interna da câmara, que deve ser mantida constante, selecionar uma iluminação homogênea e a câmara mais estável e de formato maior disponível; as três regras de organização são: fazer esboços apropriados, escrever protocolos adequados e não esquecer a verificação final do produto.

O desenvolvimento e aplicações da Fotogrametria Arquitetônica foram discutidos no fórum do Comitê Internacional para Fotogrametria Arquitetônica (CIPA). O CIPA é uma das comissões internacionais do Icomos (Conselho Internacional de Monumentos e Sítios) e foi criado em colaboração com a ISPRS (Sociedade Internacional de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto). Seu principal objetivo é a melhoria de todos os métodos para o levantamento de monumentos culturais e sítios, especialmente por efeitos de otimização de resultados obtido pela combinação de métodos, com especial consideração pela fotogrametria com todos os seus aspectos, como uma importante contribuição para o registro e monitoramento de percepção do patrimônio cultural, a preservação e recuperação de qualquer monumento arquitetônico ou outro de valor cultural, objeto ou local, como suporte para a arquitetura, a arqueologia e outras especialidades envolvidas em pesquisa histórico-artístico. A ISPRS e o Icomos criaram a CIPA, porque ambos acreditam que um monumento pode ser restaurado e protegido apenas quando tiver sido completamente avaliado e documentado, e quando o seu desenvolvimento tenha sido documentado uma e outra vez, ou seja, monitorado, também no que diz respeito a seu ambiente, armazenamento das informações adequadas do patrimônio e sistemas de gestão (GRUSSENMEYER; HANKE; STREILEIN, 2002).

Para comparar diferentes sistemas de monitoramento, os seguintes tópicos devem ser considerados (ALMAGRO, 1999):

- ✓ O tratamento de um sistema,

- ✓ O fluxo de dados,
- ✓ A gestão do projeto.

Já os parâmetros para a importação e exportação de dados (formatos de imagem, orientação, informação, controle e qualidade de informação CAD) devem ser obtidos através de:

- ✓ Orientação interior,
- ✓ Orientação exterior (relativa e absoluta),
- ✓ Reconstrução do objeto,
- ✓ Resultados obtidos em termos de topologia, consistência, precisão e confiabilidade,
- ✓ Quantidade de conhecimento fotogramétrico necessário para lidar com o sistema.

Musso e Marco (2008) editaram um livro com diversos artigos sobre Conservação e Restauração do Patrimônio Arquitetônico, que contém objetivos, conteúdos e métodos para que estudantes de arquitetura da Europa realizem seus projetos, no intuito de:

- ✓ Investigar as semelhanças e diferenças sobre o conteúdo e pedagogia no campo do ensino da conservação / restauro;
- ✓ Examinar as maneiras em que o ensino da conservação / restauração esteja presente em currículos das diversas escolas;
- ✓ Troca de ideias e pensamentos sobre novos métodos de ensino e discutir o papel do arquiteto.

O conceito de preservar e conservar os bens patrimoniais está bastante disseminado na Europa. Assim, a busca por técnicas e ferramentas para elaborar projetos precisos e que garantam o passado da Região tem contribuído para o avanço de pesquisas de tecnologias com a utilização da fotogrametria terrestre.

Cerqueira, Souza e Araújo (2003) utilizaram o programa computacional *PhotoModeler Scanner* para desenvolver uma metodologia voltada ao planejamento da restauração e conservação de monumentos e sítios arquitetônicos. O projeto foi elaborado a partir dos métodos de estereoscopia e de interseção, de forma a atender as exigências do Iphan, sendo o objeto de trabalho o Monumento da Intentona Comunista, situado na Praia Vermelha, Rio de Janeiro. Foi necessária a tomada de oito fotografias, quatro da frente de cada fachada, quatro formando um ângulo de 45° com as fachadas e mais quatro fotos foram tiradas para aumentar a precisão. Os alvos foram colocados em pontos que aparecessem em várias fotos, a fim de retratar pontos que fossem de fácil visualização, como a quina do monumento, a ponta do nariz ou a quina da mira. O

processamento foi executado levando-se em conta os cuidados que a fotogrametria exige, desde a calibração da câmara, orientação interna e exterior das fotografias para a geração de ortofoto de uma das fachadas e modelo 3D do monumento. O trabalho mostra a vantagem de ter o Photomodeler como ferramenta de baixo custo, processamento rápido e armazenamento de grande volume de dados para a restauração e conservação de monumentos históricos.

O programa computacional *PhotoModeler Scanner* já foi testado para a geração de ortofotos em objeto alto, com nível de detalhamento, como no caso da estátua em homenagem ao Ex-Reitor Joaquim Amazonas, da Universidade Federal de Pernambuco. O projeto, desenvolvido por Pereira et al. (2012), em sua metodologia adotou as etapas citadas a seguir:

- ✓ Abertura do programa e escolha do tipo de projeto a ser executado. Para essa aplicação, o tipo de projeto utilizado foi o *Points-based Project*;
- ✓ Adição das fotografias no programa;
- ✓ Criação de feições, em cada fotografia, que fossem homólogas e visíveis em, pelo menos, 2 fotografias;
- ✓ Referenciamento das feições homólogas entre si, identificando-se pontos identificáveis em, pelo menos, duas fotografias;
- ✓ Processamento;
- ✓ Geração das superfícies referentes a cada feição, em três dimensões;
- ✓ Exportação para ortofoto.

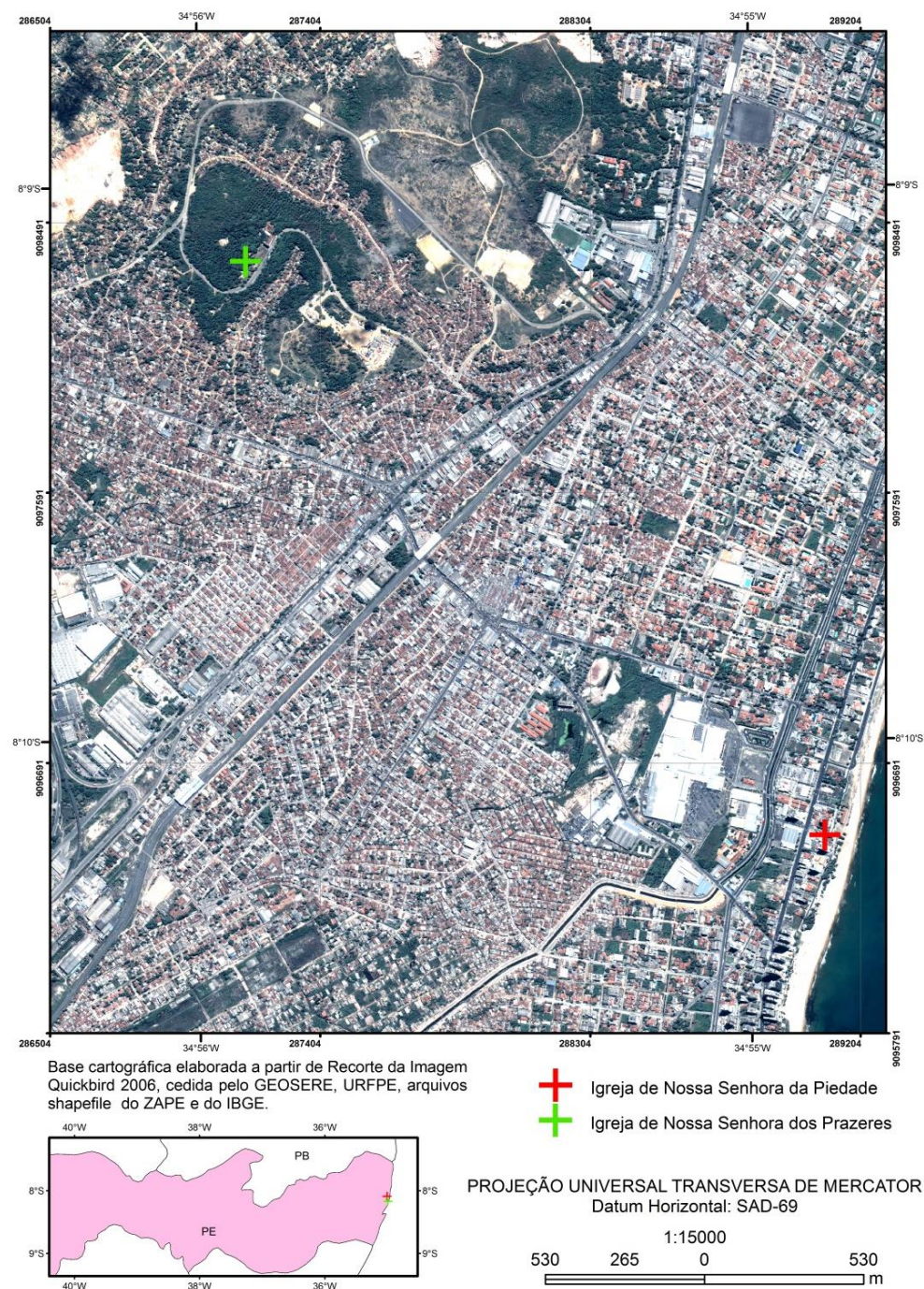
Após geração da ortofoto foi recomendado, no intuito de garantir maior precisão na sua geração, densificar os alvos em áreas com mais detalhes, como no caso do rosto da estátua. No entanto, deve-se ter cuidado para que essa densificação não se sobreponha ao delineamento dos detalhes menores.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Definição dos objetos de estudo, análise preliminar e histórico

As igrejas em estudo localizam-se no município de Jaboatão dos Guararapes, PE (Figura 13).

Figura 13: Mapa de localização dos objetos de estudo



3.1.1 Igreja de Nossa Senhora da Piedade

A Igreja está situada à Avenida Beira Mar, S/N, Largo da Piedade, no município de Jaboatão dos Guararapes (Figura 14), fone: (81) 3361-0992. Suas coordenadas são 289086,345mE e 9096452,613mN, zona UTM 25S. É administrada por Frei Paulo Sérgio Feitosa.

Figura 14 – Igreja de Nossa Senhora da Piedade



3.1.1.1 Histórico

Sua construção é do século XVII, mas em consequência das ampliações e reformas tem grandes características do século XVIII e é de propriedade da Província Carmelita de Pernambuco.

A Igreja de Nossa Senhora da Piedade foi fundada pelo colono português Francisco Gomes Salgueiro, em cumprimento a uma promessa feita em meio a uma tempestade, durante sua viagem para Pernambuco. Caso se salvasse, construiria um templo em homenagem à Estrela dos Mares. Falecido em 1683, foi sepultado nessa antiga capela. O templo foi legado,

por testamento aos religiosos do Carmo do Recife que o demoliram e o reconstruíram, assim como o hospício (CARRAZZONI, 1980).

A mesma passou por várias reformas em sua história, ao longo do tempo.

Seu tombamento resultou do processo com o número 0463-T-52 e o registro no livro de Belas Artes se deu pelo número 406, volume 01, folha 078, em 04 de agosto de 1952. O tombamento inclui todo o seu acervo.

3.1.1.2 Tipologia e Características do Edifício

Sua construção foi de pedra e cal e com uma nave única. No frontispício, porta de verga arqueada, cercaduras de pedra, cimalha na sobreverga com coruchéu ao centro. Vedação em duas folhas almofadadas. À altura do coro duas janelas de vergas arqueadas, guarda-corpos de ferro trabalhado, vedadas por folhas almofadadas. O Brasão da Ordem Carmelita está entre as janelas, tem cornijas ondulantes, frontão em curvas e contracurvas encimado por dois pináculos e cruz, tendo no tímpano óculo vedado. À direita da fachada, campanário com porta de verga reta e janela igual às do coro. No alto, pequeno frontão com duas janelas sineiras geminadas, de vergas em arco pleno, dois cunhais e pilastra, coroados por pináculos (CARRAZZONI, 1980).

3.1.2 Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres

A Igreja (Figura 15), situa-se à Rua Ladeira da Igreja, Guararapes, Jaboatão dos Guararapes – PE, CEP: 54315-310, fone: (81) 3476-3944 e suas coordenadas são 287156mE e 9098362mN, Zona UTM 25S. É administrada por Dom André dos Santos Vicente, OSB (Ordem de São Bento).

Figura 15 – Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres



3.1.2.1 Histórico

A construção da primitiva capela se deve ao então Mestre de Campo General e Governador de Pernambuco, Francisco Barreto de Menezes, em ação de graças por duas vitórias alcançadas pelos luso-brasileiros, nas batalhas travadas contra os holandeses, nos montes Guararapes em 1648 e 1649. Mello (1971) afirma que:

O Governador Francisco Barreto de Menezes ordenou a construção da Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres em escritura lavrada no ano de 1656, em agradecimento aos habitantes do local por vencer os holandeses na Guerra da Restauração Pernambucana. Em 8 de novembro do mesmo ano o Governador fez doação do terreno e da capela ao Mosteiro de São Bento de Olinda. ...Pouco tempo conservou-se ele a feição inicial, pois em 3 de maio de 1676 o Capitão Alexandre de Moura, então em Lisboa, a pedido dos Religiosos, deu-lhes autorização para que “nas minhas terras, aonde lhes tenho concedido o fazerem uma ermida de Nossa Senhora dos Prazeres, possam mais fazer agora uma igreja

querendo, que a que está feita lhes sirva para sua capela-maior, ou fazerem outra capela-maior, querendo servir-se da igreja que está feita para corpo da capela-maior que novamente fizerem, e assim mais lhes permito fazerem uma sacristia", ratificando as demais cláusulas da primeira concessão.

Após três fases de construções a capela foi tombada e inscrita pelo processo de número 0005-T-38 e o seu registro no Livro de Belas Artes tem inscrição número 002, volume 01, folha 002, em 16 de março de 1938. Foi convertido em Monumento Nacional pelo decreto nº 25.175, de 03/07/1948. O tombamento inclui todo seu acervo, de acordo com a Resolução do Conselho Consultivo da SPHAN, de 13/08/1985, referente ao processo administrativo nº 13/85/SPHAN.

3.1.2.2 Tipologia e Características do Edifício

Na fase de ampliação da capela de Nossa Senhora dos Prazeres, feita pelos Beneditinos, o corpo da antiga capela passou a fazer parte da capela-mor. Neste período foi feito, no local da fachada, o arco-cruzeiro atual e construído a nave, com três portas de entrada e mais a sacristia, por trás da capela-mor (JANSEN, 1955).

Segundo Mello (1971), na ampliação realizada a partir de 1676 foram abertos dois altares laterais, um em cada lado do cruzeiro; ao mesmo tempo foram assentados os azulejos que recobrem a parede da nave até a altura da cornija, sendo considerado o mais vasto e importante repositório de azulejos padrão azul vistos pelo autor. A igreja ainda teve sua sacristia ampliada e adquiriu vários ornamentos religiosos no período de regência do Frei Pedro de Jesus Maria, entre 1736 e 1748.

As obras do atual frontispício prosseguiram até o tempo de regência de Frei José de São Bento (1769-1775). Na terceira fase de construção do monumento foi levantada a fachada até a altura da primeira cornija e construídas as bases das duas torres, interrompendo-se as obras; a parte superior da fachada é de um período mais recente, datando a conclusão do trabalho do assentamento dos azulejos brancos do frontispício, em 11 de maio de 1792. No mesmo ano foram concluídas as torres (MELLO, 1971).

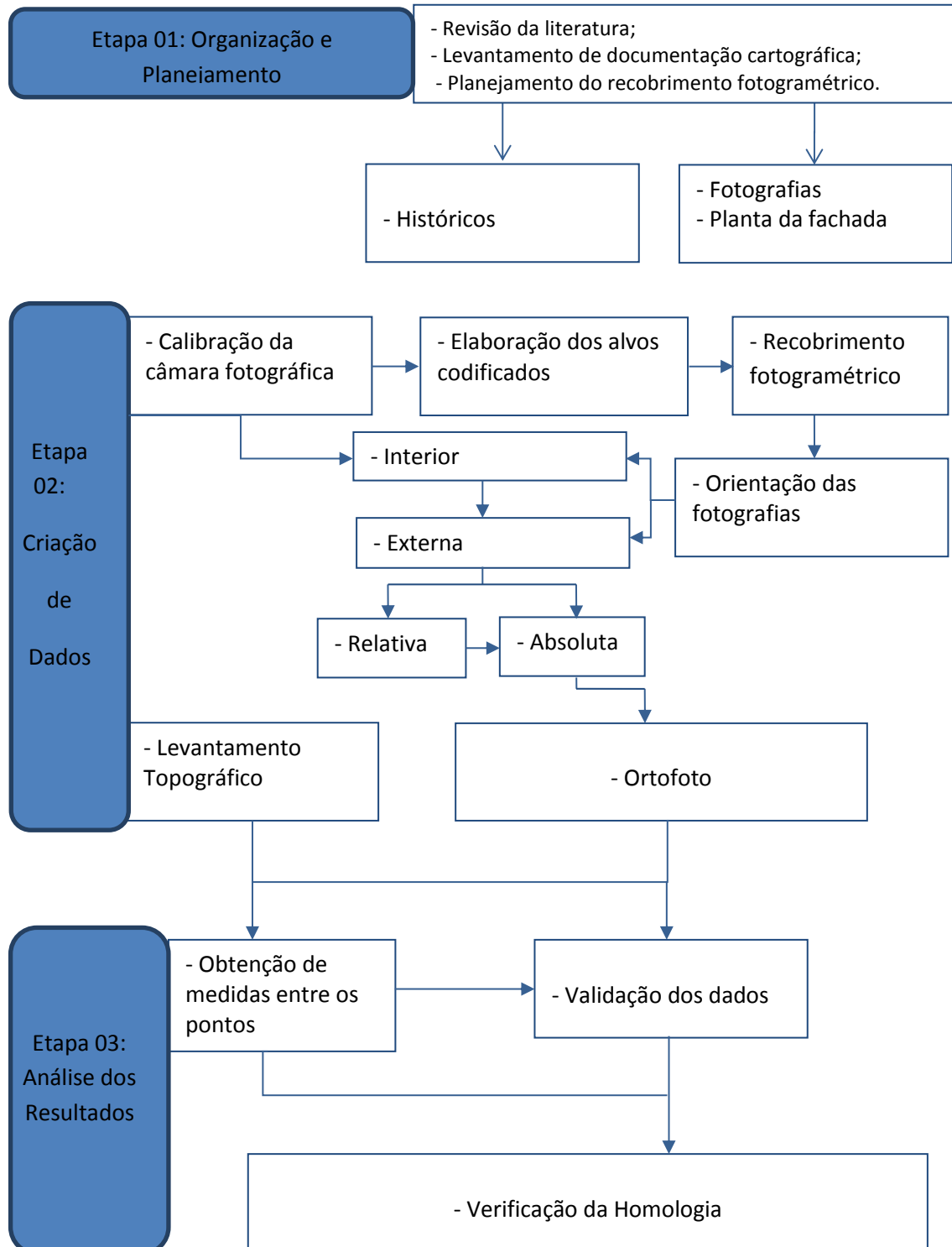
É notável que a igreja atual é resultado de três fases de construções distintas e cada uma delas foi sucessivamente aproveitada nas ampliações da primitiva capela que constitui a capela-mor atual.

3.2 Recursos

- Câmara Canon EOS-5D, 50mm
- Tripé
- Trena de fibra de vidro 50m
- Trena Laser Bosch GLM 80m
- Fita dupla face
- Caderneta de campo
- Alvos codificados em papel A4
- Fachadas na escala de 1:50 e 1:100
- Estação total Topcon GPT-3200N (leitura absoluta, precisão angular de 5" e 7", alcance do prisma de até 400m)
- 2 Microcomputadores Intel, core tm i3 e Intel, core tm i5
- Windows 7
- *Software PhotoModeler Scanner, version 6.*
- *Software ArcGIS 9.3*
- *Software Autocad MAP 2010*
- *Software Statgraphics*

3.3 Procedimentos Metodológicos

Figura 16 – Fluxograma das etapas de trabalho

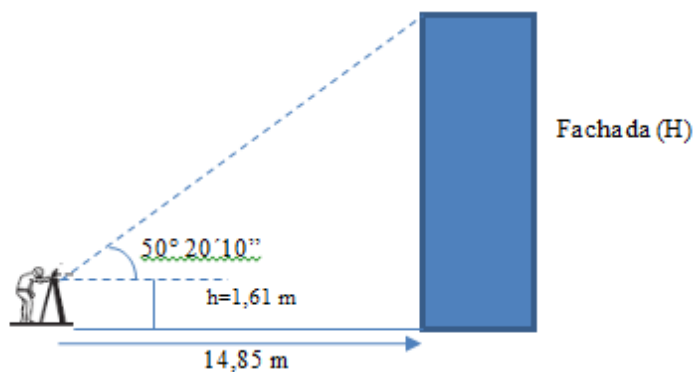


3.3.1 Planejamento do Recobrimento Fotogramétrico

Uma primeira visita aos objetos de estudo foi realizada para o reconhecimento da área e levantamento dos obstáculos para o melhor recobrimento fotogramétrico. Neste momento foram obtidas fotografias preliminares e medições de largura e altura das fachadas para melhor elaboração do planejamento em laboratório.

A largura das fachadas foi obtida com a medição realizada com a trena de fibra de vidro e, posteriormente, com a medida horizontal obtida através da aplicação da Lei dos Cossenos nos dados de ângulos horizontais e distâncias registradas com a estação total. Quanto à altura dos objetos pode ser calculada pelo método demonstrado por Silva *et al.* (2012), fazendo-se uma relação trigonométrica a partir de dados de ângulo zenital e distância obtidos com a estação total (Figura 17).

Figura 17 – Esquema para obtenção da altura



Adaptado de Silva *et al.* (2012)

A partir da análise do espaço foi observado que a altura das Igrejas exigia fotografias bastante inclinadas já que não era possível usar a grua por causa do peso no piso em frente às fachadas que são de estruturas antigas e são bens tombados, outro obstáculo encontrado na impossibilidade de usar a grua foi para inserir os alvos numa altura que garantisse a segurança da equipe em campo, após estas observações foram listados os materiais a serem utilizados no levantamento fotogramétrico.

A escala foi definida a partir da distância focal da câmara e da estação para a obtenção das fotografias em relação à fachada.

A altura e largura da Igreja foram determinantes para o planejamento da quantidade de fotografias para o recobrimento total da fachada. A Fachada Sudoeste em escala 1:50, cedida pelo Iphan (Anexo A), contribuiu para a análise da geometria, posição e quantidade de alvos codificados (Apêndice A) para o levantamento fotogramétrico e, posteriormente para analisar os dados.

3.3.2 Calibração da Câmara

Com o intuito de realizar a calibração da câmera pelo método de câmera convergente foram obtidas 12 (doze) fotografias com três tomadas em cada posição em torno do *grid*.

O *PhotoModeler Scanner* utiliza entre seis e doze fotografias, obtidas de diferentes ângulos, neste caso com 0°, +90°, -90° graus de inclinação das tomadas em cada posição.

3.3.3 Alvos codificados

O levantamento de pontos de controle (alvos fixados na fachada dos monumentos) foi feito com alvo que tem um anel de código único em seu entorno, que o *PhotoModeler Scanner* pode reconhecer automaticamente. Os alvos são círculos de alto contraste, colocados em uma cena ou em um objeto para fornecer um ponto de *subpixel* preciso de marcação. Ver mais detalhes do objetivo marcação automática e *subpixel* alvo de marcação (Photomodeler, 2011).

Após a calibração da câmera e com os arquivos (*.pmr) abertos são gerados alvos seguindo os seguintes critérios:

- Quantidade de *bits*: o programa dirá a quantidade de códigos únicos necessários para cada *bit*;
- Distância para a obtenção das fotografias: o programa calcula o raio de cada alvo;
- Inclusão de cruz no centro para a localização exata do alvo;
- Cor do alvo codificado (preto com fundo branco ou branco com fundo preto), o contraste melhor depende da cor do alvo a ser fotografado.

Pode-se escolher o conjunto de bits para gerar os alvos, de acordo com a área do objeto a ser levantado.

3.3.4 Recobrimento Fotogramétrico

Para fotografar as fachadas das igrejas, deve-se trabalhar a meia altura. No caso em estudo, não foi possível usar uma grua ou andaime, pois o piso não tinha condições de receber o peso da grua e o vento não permitiu a armação do andaime com segurança.

Na tomada das fotografias deve-se usar um tripé, que previne a mudança de altura nas diversas estações da câmara. A câmara deve ser posicionada no centro e de ambos os lados das fachadas, fazendo tomadas laterais a 90°.

Deve ser obtida a distância, com a trena de fibra de vidro entre alguns alvos para a posterior orientação absoluta.

No planejamento foi constatado que o melhor horário para o levantamento da Igreja de Nossa Senhora da Piedade foi das 7 às 9h da manhã, ou em um dia nublado, por causa das sombras. Neste caso, foi realizado no dia 9 de agosto de 2012, estava nublado, por isso a iluminação estava uniforme, ou seja, a luz teve a mesma incidência em toda fachada.

Como a Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres está localizada em local elevado -o Monte Guararapes-, e não têm obstáculos artificiais ou naturais que prejudiquem a tomada das fotografias, o único fator levado em considerado foi o tempo: pois o dia escolhido, 14 de setembro de 2012, estava nublado, possibilitando obter as fotografias sem sombras.

3.3.5 Retificação de fotografias

Utilizando-se o software *PhotoModeler Scanner*, versão 6, serão processadas as fotografias para representação métrica das fachadas das igrejas estabelecidas como unidades experimentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Este procedimento foi dividido em diversas etapas:

- Abertura de um novo projeto no programa computacional *PhotoModeler Scanner* e inserção dos dados de calibração da câmara;
- Inserção, no programa, das fotografias com os alvos convergentes em, no mínimo, três fotografias;
- Orientação interior: consiste apenas em colocar imagem por imagem em posição semelhante à que exerciam dentro da câmara, no momento em que foram obtidas;

- Orientação relativa: a marcação e referenciamento de uma fotografia em relação à outra;
- Orientação absoluta: definir a escala e relacionar cada objeto na fotografia com a coordenada na fachada;
- Após este procedimento, a ortofoto, o modelo de arame e/ou modelo fotorrealístico podem ser gerados.

3.3.6 Análise da qualidade dos dados fotogramétricos

A validação dos dados aplicou-se metodologia de precisões pré-estabelecidas pelo Icomos que classifica os levantamentos para representação de monumentos em três grupos distintos que são: levantamentos rápidos e relativamente simples, levantamentos precisos e levantamentos considerados de alta precisão. Neste estudo leva-se em consideração uma precisão para levantamentos relativamente simples que englobam estudos preliminares, inventário e estudo da história da arte. O erro máximo permitido no posicionamento de pontos é de 5 cm, sendo a representação gráfica efetuada na escala 1:200. A representação envolve as linhas arquitetônicas principais, em elevações e seções verticais.

A escala das ortofotos obtidas foram 1:400 neste caso o erro da escala máximo é de 8cm.

3.3.6.1 Método para análise da qualidade dos dados

Para verificar a qualidade dos dados a serem gerados a partir das fotografias reticadas foram realizadas medições diretas e/ou indiretas de detalhes fotoindentificáveis nos objetos. Na fase de reconhecimento foram estabelecidos pontos notáveis que poderiam ser visualizados também da estação total e cujos detalhes dos objetos não apresentassem danos em seus vértices.

Para análise da precisão os dados das tabelas foram inseridos do programa computacional *Statgraphics* que mostra as estatísticas de resumo para cada uma das variáveis de dados selecionados. O *software* inclui medidas de tendência central, medidas de variabilidade e as medidas de forma. De particular interesse aqui são os dados de assimetria padronizada e curtose normalizada, que podem ser usados para determinar se a amostra é proveniente de uma distribuição normal. Os valores destas estatísticas fora do intervalo de -2 a +2 indicam desvios significativos da normalidade, o que

tenderia a invalidar muitos dos procedimentos estatísticos normalmente aplicados aos dados. O programa computacional ainda calcula o percentual de confiabilidade, as correlações e covariância dos dados.

3.3.7 Análise da Homologia na Arquitetura

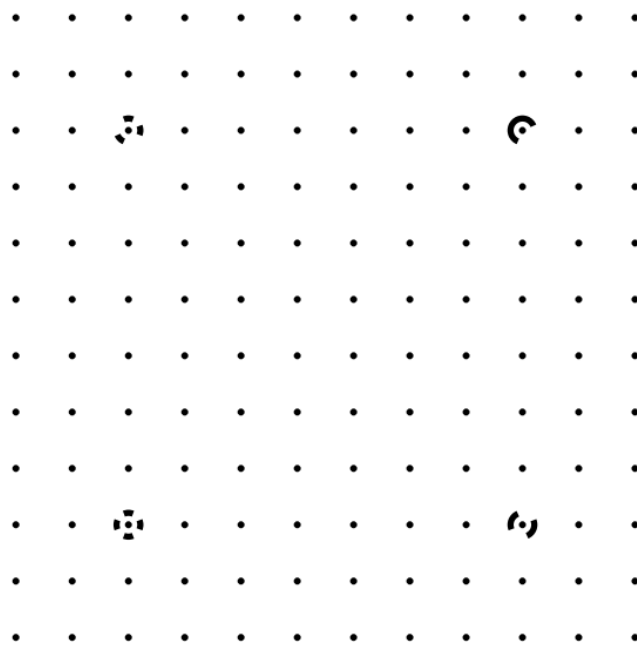
A análise das características harmônicas e das particularidades que estão inseridas na arquitetura foi obtida através das ortofotos das fachadas. Este procedimento indicou se havia simetria central, simetria axial ortogonal, simetria axial oblíqua ou simplesmente homologias genéricas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Calibração da câmara

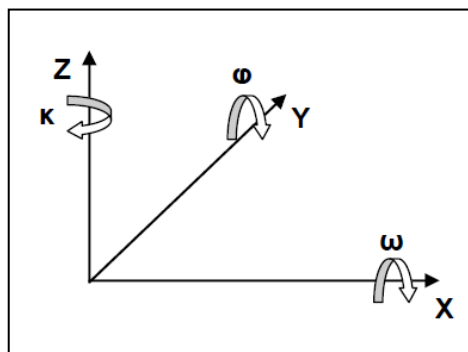
Foi instalado um tripé fotográfico profissional, com altura de 1,80m, para a tomada de todas as fotografias; em seguida, foi fixada, no chão, uma folha de papel, tamanho A0, com uma malha de 144 pontos, contendo quatro pontos de controle (Figura 18).

Figura 18: Malha de pontos para calibração



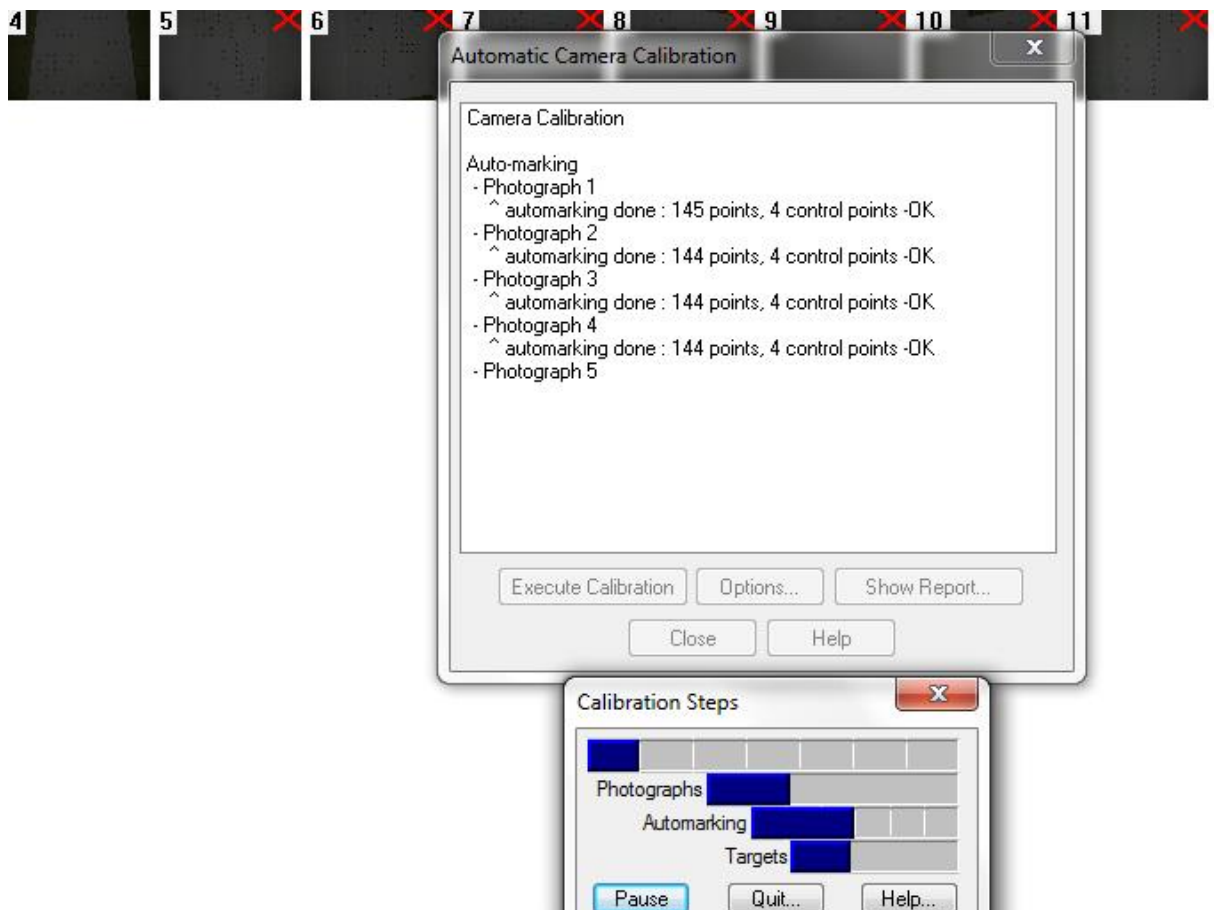
Posteriormente, foram tomadas três fotografias em quatro posições em volta da mesma, com rotação do eixo Y (Figura 19) a 0° , $+90^\circ$, -90° de inclinação da câmara, respectivamente, totalizando 12 fotos.

Figura 19: Eixos espaço-objeto (X, Y e Z) e ângulos de rotação (ω , ϕ , e κ)



As doze fotografias foram processadas no programa computacional *PhotoModeler Scanner* e obtiveram-se os parâmetros de calibração da câmara. O programa faz o reconhecimento automático dos alvos do grid separadamente, fotografia por fotografia (Figura 20).

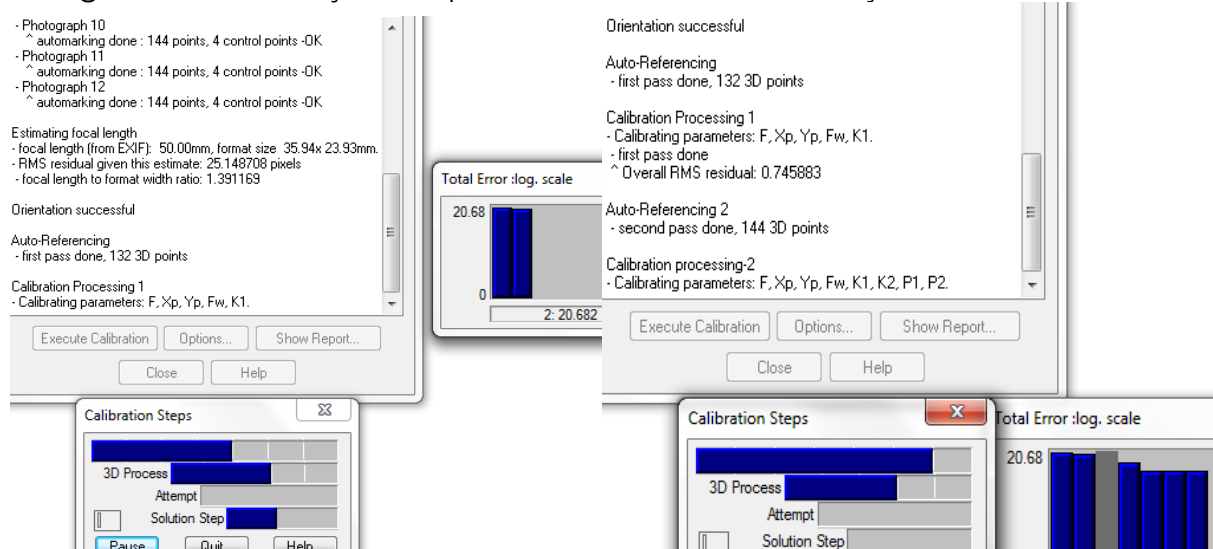
Figura 20: Início do processamento de calibração da câmara



Fonte: A autora.

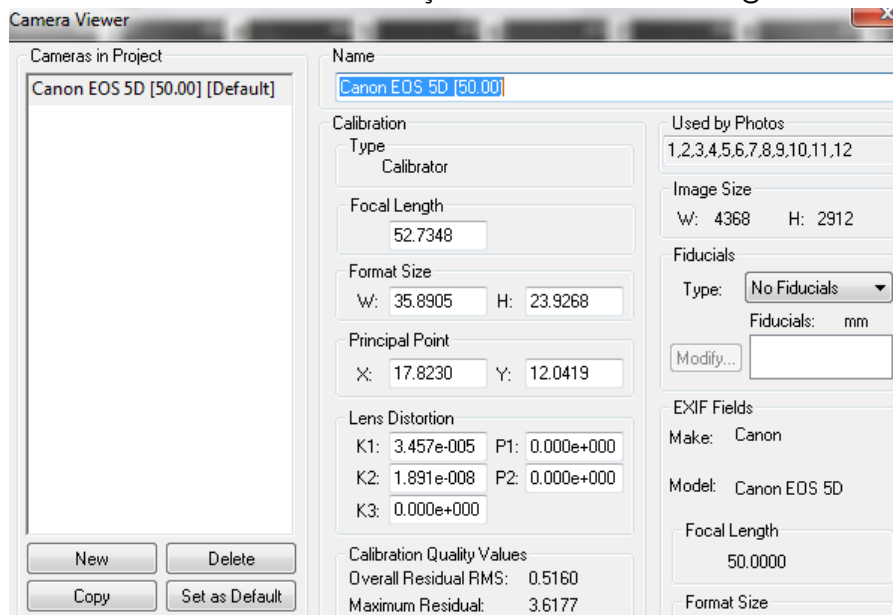
Neste procedimento o programa mostra se as fotografias tiveram sucesso para a calibração da câmara (Figura 21).

Figura 21: Finalização do processamento de calibração da câmera



Resultantes da calibração da câmera foram obtidos os parâmetros que serviram para a orientação interior das fotografias, processo imprescindível para obter um produto final confiável. A figura 22 mostra a tela de visualização do *PhotoModeler Scanner*, em que a câmera Canon EOS 5D, com distância focal nominal 50mm, após o processamento da calibração obteve a distância focal de 52,7348mm.

Figura 22: Processo de calibração da câmera fotográfica



Fonte: A autora.

A tabela 1 mostra as coordenadas do ponto principal, valores de distorções das lentes em K1, K2 e K3. O valor obtido do RMS residual foi de

0,5160 e as fotografias convergiram 81%, valor que atende as exigências do programa, que é a partir de 80% de convergência das fotografias.

Tabela 1: Dados da correção da câmara EOS 5D

Distância Focal (f)	52,735 mm
Coordenada X0 do Ponto Principal	17,823 mm
Coordenada Y0 do Ponto Principal	12,042 mm
Parâmetro K1 da Distorção Radial Simétrica	$3,457 \times 10^{-5}$
Parâmetro K2 da Distorção Radial Simétrica	$1,891 \times 10^{-8}$
Formato	35,890 mm x 23,927 mm

4.2 Igreja de Nossa Senhora da Piedade

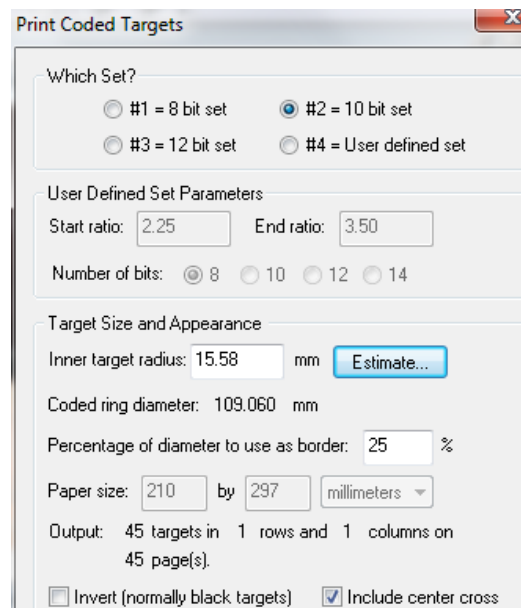
4.2.1 Planejamento para o Levantamento Fotogramétrico

No planejamento foi medida a largura da fachada da Igreja de Nossa Senhora da Piedade, medida com a trena de fibra de vidro de 50m, correspondeu a 10,8m e a medida indireta da altura resultou em aproximadamente 15m. Para o recobrimento das fotografias foi realizado o planejamento para obtenção dos dados a uma distância de 20m.

4.2.2 Alvos codificados

Com os dados de altura e largura da fachada disponíveis optou-se por gerar 45 alvos codificados; foi informado ao programa computacional o conjunto de 2 a 10 *bits* e a distância para obtenção das fotografias, 20m (Figura 23); neste caso, o *Photomodeler* gerou os alvos com o raio visível à distância solicitada. Para garantir o melhor contraste com a cor branca da fachada foram escolhidos alvos pretos com o fundo branco.

Figura 23: Procedimento para gerar e Imprimir alvos codificados



Os alvos foram distribuídos na fachada visando modelar o objeto a ser fotografado, mas levando em consideração as limitações de equipamentos e fatores externos existentes (Figura 24).

Figura 24: Altura máxima para fixação dos alvos, com a equipe no exterior da Igreja

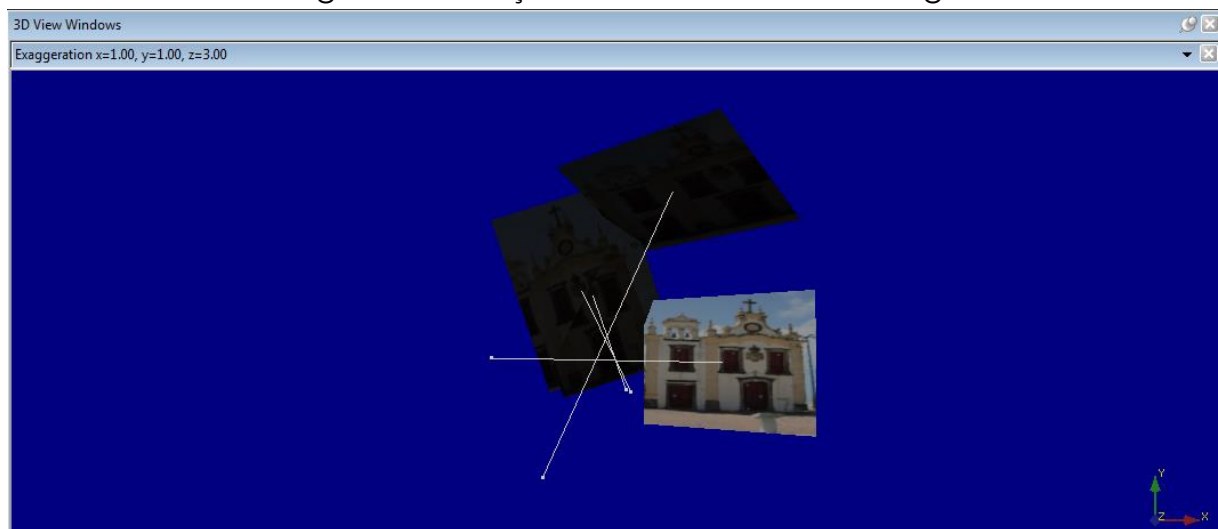


4.2.3 Orientação das fotografias

Foram obtidas sete fotografias a uma distância de 20m da fachada, utilizando a câmara digital Canon EOS 5D, distância focal nominal de 50mm, com o cuidado de observar cada alvo codificado em, no mínimo, três fotografias.

Foram retificadas as fotografias 7288, 7289, 7295 e 7293, obtidas na posição demonstrada na Figura 25.

Figura 25: Posição das tomadas das fotografias



Os alvos codificados foram distribuídos até onde a equipe pôde fixá-los, tendo em vista a escada ser muito pequena em relação à Igreja. Assim, foram fixados 43 alvos codificados (Figura 26). Os alvos não foram postos em quinas porque os detalhes feitos em cantaria não permitiram a fixação com a fita dupla face utilizada para este fim.

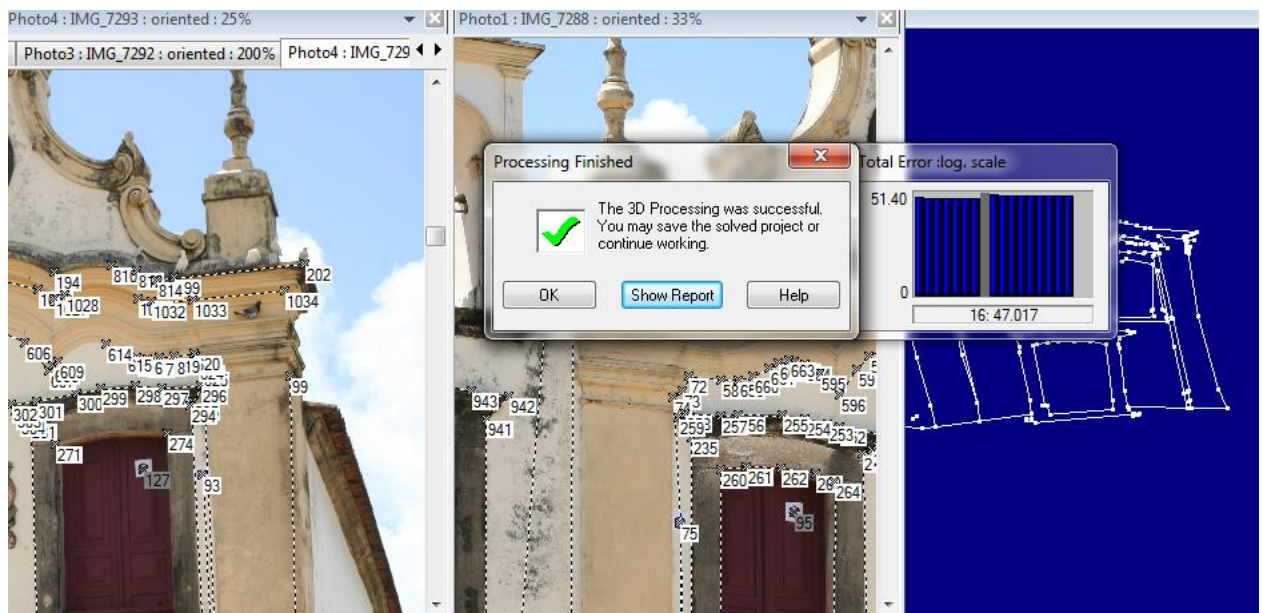
Figura 26: Distribuição dos alvos codificados na fachada



Para o processo de orientação exterior relativa e absoluta foi necessário um cuidado maior do fotointérprete, tendo em vista a geometria da fachada, pois somente com os 43 alvos utilizados não foram possíveis gerar o modelo e por isso foram escolhidos pontos existentes e identificáveis em, no mínimo, três fotografias para poder realizar a orientação relativa.

Com as fotografias obtidas a uma distância de 20m, o programa computacional *PhotoModeler Scanner* gerou um relatório (Apêndice B), detectando alguns problemas no processamento da orientação relativa dos dados (Figura 27).

Figura 27: Resultado do processamento da orientação relativa



Fonte: A autora

O primeiro processamento gerou um resíduo de 68,56 pixels em um ponto, optando-se pela exclusão deste em uma das fotografias. O procedimento foi feito para todos os pontos que apresentaram resíduos altos (acima de 5,00 pixels), conforme preconizado pelo programa *Photomodeler*. Outro aspecto importante é quanto ao ângulo formado pela câmara e os pontos homólogos registrados em duas fotografias, que deve ser menor que 5°, pois o programa não realiza o processamento com a devida precisão quando os ângulos têm aberturas maiores que 5°.

Na orientação absoluta informou-se ao modelo a escala, posição e atitude correta em relação ao referencial cartográfico. A escala é obtida a partir de dois pontos previamente selecionados, medidos com a trena na fachada e inserido o valor encontrado no programa computacional *Photomodeler*. Os parâmetros de translação e rotação foram processados em função da leitura dos pontos de controle previamente referenciados. Estas transformações se aplicam a todas as coordenadas do modelo (Figura 28).

Figura 28: Ortofoto gerada no *PhotoModeler Scanner*



A fotografia retificada da fachada principal da Igreja servirá de base para a análise da homologia em sua arquitetura (Apêndice C).

4.2.4 Análise da qualidade dos dados

Os dados obtidos no levantamento fotogramétrico foram comparados com os dados obtidos com levantamento topográfico para checar a qualidade dos dados.

A estação total foi posicionada em um tripé de 1,45m de altura e foi executada a calagem e centragem do instrumento. Em seguida, foi posicionado o prisma a uma altura de 1,55m e distante 5,747m da estação total, para que esta fosse zerada. O próximo passo foi a visada dos pontos da fachada, iniciando as medições para posterior cálculo das distâncias horizontais e verticais. A partir dos dados de ângulos e distâncias (estação – fachada), obtidos com a estação total, aplicou-se a Lei do Cosseno para o cálculo das distâncias horizontais e verticais entre os pontos.

1º Caso – Ponto 11A – 11B - Distância vertical

Onde: θ é o azimute

$$B = 92^{\circ}46'59''$$

$$\alpha = 87^{\circ}29'22''$$

$$\theta = B - \alpha = 5^{\circ}17'37''$$

$$d^2 = d_1^2 + d_2^2 - 2 \times d_1 \times d_2 \times \cos \theta$$

$$d_2 = (14,672)^2 + (14,667)^2 - 2 \times (14,672) \times (14,667) \times \cos 5^{\circ}17'37''$$

$$d = 1,354856149\text{m}$$

Para a análise foi inserida a fotografia retificada no programa computacional *AutoCAD* e foram medidas as distâncias entre os mesmos pontos (Figura 29).

Figura 29: Distribuição dos Pontos na Fachada



Os dados da tabela 2 mostram uma distorção na altura, inferior, de 6 a 7cm, aos dados obtidos por topografia. No entanto, o valor obtido está dentro do limite de erro preconizado pelo Icomos, tendo em vista a escala das fotografias retificadas, pois atende a levantamentos rápidos e relativamente simples.

Tabela 2: Análise das distâncias verticais da fachada da Igreja de Nossa Senhora da Piedade

SEGMENTO	DISTÂNCIA ESTAÇÃO TOTAL (m)	DISTÂNCIA FOTOGRAFIA RETIFICADA (m)	DIFERENÇA (m)
11a – 11b	1,35	1,29	-0,06
12a – 12b	1,35	1,29	-0,06
13a – 13b	1,36	1,28	-0,08
14a – 14b	1,36	1,29	-0,07

2º Caso – Ponto 9A – 10A - Distância horizontal

Onde: θ é o ângulo horizontal

$$B = 84^{\circ}36'44''$$

$$\alpha = 85^{\circ}57'25''$$

$$\theta = B - \alpha = 1^{\circ}20'41''$$

$$d^2 = d_1^2 + d_2^2 - 2 \times d_1 \times d_2 \times \cos \theta$$

$$d_2 = (14,513)^2 + (14,460)^2 - 2 \times (14,513) \times (14,460) \times \cos 1^{\circ}20'41''$$

$$d_2 = 0,096438835$$

$$d = 0,310546027\text{m}$$

A tabela 3 apresenta os resultados das distâncias horizontais, a variação dos valores obtidos sobre a fotografia retificada em relação à estação total, que foi de 4 a 8cm, demonstrando, neste caso, qualidade adequada para estudos preliminares, inventário e estudo da história da arte. Com o intuito de obter o dado mais preciso no *AutoCad* foi dado o zoom até 500% para obter a medida, na fotografia retificada, do ponto exato obtido no levantamento topográfico. O erro máximo permitido no posicionamento de pontos é de 5 cm, sendo a representação gráfica efetuada na escala até 1:200. Como a escala do dado em análise é 1:400, este modelo tem consistência para fazer a análise da simetria proposta na pesquisa.

Os valores das distâncias horizontais da Igreja Nossa Senhora da Piedade obtida com a estação total e na ortofoto ao serem processadas no programa *Statgraphics* apresentam uma análise multivariada com os resultados demonstrados a seguir.

Tabela 3: Análise estatística das distâncias verticais da fachada da Igreja de Nossa Senhora da Piedade

	Estação Total	Ortofoto
Segmento	4	4
Média	1,355	1,2875
Desvio padrão	0,0057735	0,005
Coeficiente de variação	0,426089%	0,38835%
Mínimo	1,35	1,28
Máximo	1,36	1,29

A tabela 3 as variáveis foi analisadas com 4 segmentos apresentaram um desvio padrão de 0,006 e 0,005 com as medições da estação total e ortofoto respectivamente. As seguintes variáveis apresentam valores curtose padronizados fora da faixa esperada para os dados da Estação Total. Neste caso, indica-se fazer com que as variáveis seja mais normal, pode-se tentar uma transformação como $\text{LOG}(Y)$, $\text{SQRT}(Y)$, ou $1/Y$.

Os dados apresentaram um intervalo de confiança de 95% para as médias e desvios-padrão de cada uma das variáveis (Tabela 4).

Tabela 4: Análise da confiabilidade das distâncias verticais da Fachada da Igreja de Nossa Senhora da Piedade

	Média	Erro padrão	Limite inferior	Limite superior
Estação Total	1,355	0,00288675	1,34581	1,36419
Ortofoto	1,2875	0,0025	1,27954	1,29546

No processamento dos dados medidos com a estação total apresentaram um o erro mínimo de 0,003m, máximo de 0,022m e o sigma de 0,006. E na ortofoto erro mínimo de 0,003m, máximo de 0,019m e o sigma de 0,005m comprovando a precisão dos dados.

Enquanto os intervalos de confiança para os meios são bastante robustos e não muito sensível a violações deste pressuposto, os intervalos de confiança para os desvios padrões são bastante sensíveis. Por isso, pode verificar a suposição de normalidade no procedimento numa análise das variáveis.

O *Statgraphics* faz a mostra às correlações de Pearson momento do produto entre cada par de variáveis (Tabela 5). Os coeficientes de correlação variam entre -1 e 1 e mede a força da relação linear entre as variáveis. Também é mostrado entre parênteses o número de pares de valores de dados utilizados para calcular cada coeficiente. O terceiro número em cada localidade da tabela é um valor-P que testa a significância estatística das correlações estimadas. P-valores inferiores a 0,05 indicam correlações não-zero estatisticamente significativas ao nível de confiança de 95,0%. Os seguintes resultados não apresentam pares de variáveis com valores de P inferior a 0,05.

Tabela 5: Correlação das distâncias verticais da fachada da Igreja de Nossa Senhora da Piedade feita no *Statgraphics*

	Estação Total	Ortofoto
Estação total		-0,5774
		(4)
		0,4226
Ortofoto	-0,5774	
	(4)	
	0,4226	

A análise da correção das duas formas de medições apresentaram valores iguais ratificando a homologia dos dados.

Por fim, foi feita o resultado da covariância (tabela 6) para os 4 segmentos medidos na fachada e na ortofoto que mostram covariâncias estimadas entre cada par de variáveis. As covariâncias medem o quanto as variáveis variam juntas e são utilizados para calcular as correlações de Pearson momento produto. Também é mostrado entre parênteses é o número de pares de valores de dados utilizados para calcular cada coeficiente.

Tabela 6: Covariância das distâncias verticais da fachada da Igreja de Nossa Senhora da Piedade feita no *Statgraphics*

	Estação Total	Ortofoto
Estação Total	0,0000333333	-0,0000166667
	(4)	(4)
Ortofoto	-0,0000166667	0,000025
	(4)	(4)

A tabela 7 demonstra as distâncias medidas horizontalmente com a estação total e na ortofoto da fachada da Igreja de Nossa Senhora da Piedade.

Tabela 7: Análise das distâncias horizontais da fachada

SEGMENTO	DISTÂNCIA ESTAÇÃO TOTAL (m)	DISTÂNCIA FOTOGRAFIA RETIFICADA (m)	DIFERENÇA (m)
7a – 8a	0,86	0,92	0,06
7b – 8b	0,82	0,90	0,08
9a – 10a	0,31	0,35	0,04
11a – 12a	0,22	0,28	0,06
13a – 14a	0,21	0,28	0,07
15a – 16a	0,31	0,36	0,05
17a – 18a	0,81	0,87	0,06
17b – 18b	0,83	0,89	0,06

Vale ressaltar que o *Photomodeler* retifica as fotografias a partir de fotografias convergentes. Neste sentido, é difícil marcar os pontos homólogos fotoindentificáveis, com a devida precisão, em fotografias que tem inclinação muito alta, porque surgem erros que precisam ser extintos no processamento da retificação. Quando isso não é feito, os erros se

acumulam, gerando resíduos muito altos que comprometem a precisão dos dados.

Neste sentido o processamento dos dados no programa computacional *statgraphics* com a análise multivariada conforme demonstra a tabela 8.

Tabela 8: Análise estatística das distâncias horizontais da fachada da Igreja de Nossa Senhora da Piedade

	Estação Total	Ortofoto
Segmento	8	8
Média	0,54625	0,60625
Desvio padrão	0,305	0,310
Coeficiente de variação	55,9814%	51,1829%
Mínimo	0,21	0,28
Máximo	0,86	0,92

Em análise dos dados da estação total em relação aos dados obtidos na ortofoto em 8 pontos verifica-se que o desvio padrão é 0,31 em ambos os casos. A análise multivariada apresentou um intervalo de confiança de 95% para as médias e desvio-padrão de dada uma das variáveis.

A tabela 9 demonstra o resultado do erro padrão de 0,11 para os dois casos e a confiabilidade dos segmentos medidos.

Tabela 9: Análise da confiabilidade das distâncias horizontais da fachada da Igreja de Nossa Senhora da Piedade

	Média	Erro padrão	Limite inferior	Limite superior
Estação Total	0,54625	0,108116	0,290596	0,801904
Ortofoto	0,60625	0,109706	0,346835	0,865665

Os dados apresentaram o sigma de 0,31 duas formas de medições ratificando a precisão dos dados. Para avaliar ainda mais a precisão da amostragem os intervalos de supor que as populações de que as amostras chegam podem ser representados por distribuições normais. Enquanto os intervalos de confiança para os meios são bastante robustos e não muito sensível a violações deste pressuposto, os intervalos de confiança para os

desvios padrões são bastante sensíveis. Por isso optou-se em verificar a suposição de normalidade no procedimento de uma análise das variáveis (Tabela 10).

Tabela 10: Correlação das distâncias horizontais da fachada da Igreja de Nossa Senhora da Piedade feita no *Statgraphics*

	Estação Total	Ortofoto
Estação total		0,9994
		(8)
		0,000
Ortofoto	0,9994	
	(8)	
	0,000	

A tabela 10 mostra as correlações de Pearson momento do produto entre cada par de variáveis. Os coeficientes de correlação variam entre -1 e 1 e medem a força da relação linear entre as variáveis. O número entre parênteses representa o número de pares de valores de dados utilizados para calcular cada coeficiente. O terceiro número em cada localidade da tabela é um valor -P que testa a significância estatística das correlações estimadas. P-valores inferiores a 0,05 indicam correlações não-zero estatisticamente significativas ao nível de confiança de 95,0 %. Os seguintes pares de variáveis têm valores de P inferior a 0,05

Tabela 11: Covariância das distâncias horizontais da fachada da Igreja de Nossa Senhora da Piedade feita no *Statgraphics*

	Estação Total	Ortofoto
Estação Total	0,0935125	0,0948268
	(8)	(8)
Ortofoto	0,0948268	0,0962839
	(8)	(8)

A tabela 11 mostra covariâncias estimadas entre cada par de variáveis. As covariâncias medem o quanto as variáveis variam juntas e são utilizados para calcular as correlações de Pearson momento produto. Também é mostrado entre parênteses é o número de pares de valores de dados utilizados para calcular cada coeficiente. O resultado da

covariância de dos dados medidos com a estação total e na ortofoto comprovam que a ortofoto foi validada para a análise da homologia.

4.2.5 Verificação da Homologia

A partir da ortofoto gerada no programa computacional *Photomodeler Scanner* foi traçada uma linha no centro (Figura 30), em que um lado rebate o outro. Foram realizadas as medidas: do ponto 7b ao centro, obtendo-se 3m de comprimento; do ponto 18b ao centro, obtendo-se 3,06m; neste caso, foi observada uma homologia harmônica entre as duas colunas e o centro, ratificando que um lado espelha o outro, representando uma simetria bilateral. A diferença de 0,06m está dentro do erro aceito para a fotogrametria arquitetural, já analisado no item 4.2.4 deste capítulo.

Figura 30: Análise da Homologia da Igreja de Nossa Senhora da Piedade



As homologias mais genéricas ainda podem ser observadas nos detalhes da porta e janelas; as duas janelas, com a largura de 1,80 e 1,82m, respectivamente, apresentaram simetria entre si, que podem ser observadas nas semelhanças dos triângulos ABC e A'B'C'. A porta tem homologia com uma ampliação dos detalhes em relação às janelas. As colunas também

demonstram esta simetria, ao observar os pontos 7b – 8b e 17b – 18b com as medidas de 90 e 89cm, respectivamente. É notável a homologia em diversos detalhes da arquitetura da fachada. A fachada apresenta uma simetria bilateral.

4.3 Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres

4.3.1 Planejamento para o Levantamento Fotogramétrico

A largura da fachada foi obtida com a trena de fibra de vidro e conferida com o cálculo de distância horizontal medido com a estação total, obtendo-se 18m; a altura foi resultado da medição indireta executada com a estação total, resultando em aproximadamente 25m. A partir dos dados foi realizado o planejamento para o recobrimento das fotografias terrestres com a distância fachada-tomada de 20m.

4.3.2 Alvos codificados

No intuito de distribuir alvos por toda a fachada e garantir dados mais precisos, optou-se por criar 161 alvos, dos quais 113 foram distribuídos na fachada, de forma a serem observados em, no mínimo, três fotografias.

Foram obtidas 19 (dezenove) fotografias; destas, foram utilizadas as fotografias 7326, 7334, 7341 e 7347 (Figura 31), 7324, 7330, 7339, 7343 e 7349 (Figura 32) 7322, 7328 e 7345 (Figura 33), para o processo de retificação da parte inferior, que foi dividida em direita, esquerda e centro da fachada, para viabilizar o processamento dos dados.

Figura 31: Posição de tomada das fotografias – parte esquerda da fachada

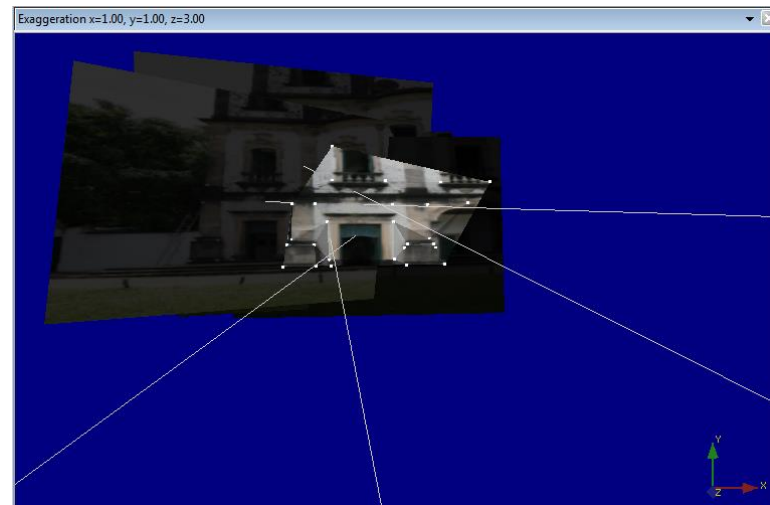


Figura 32: Posição de tomada das fotografias – parte central da fachada

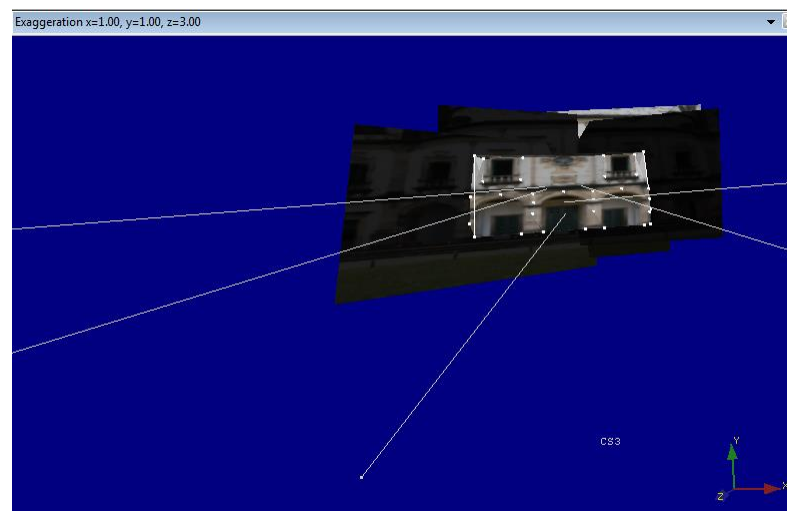
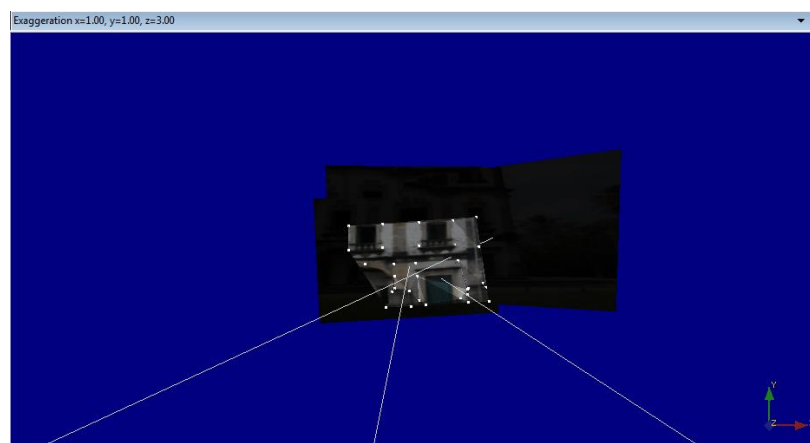


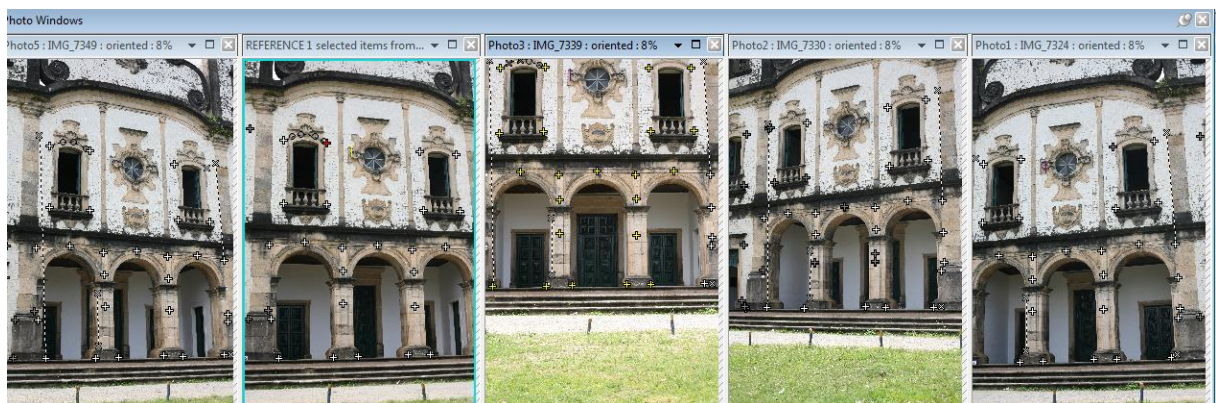
Figura 33: Posição de tomada das fotografias – parte direita da fachada



4.3.3 Orientação das Fotografias

O processamento das 19 (dezenove) fotografias para a retificação não foi possível em um único arquivo, pois exigiu computador com configuração bem superior ao disponibilizado pelo DECart; neste caso, foi decidido o processamento por partes. A fim de otimizar o processamento dos dados, a parte inferior da fachada foi retificada em três momentos, divididos em partes: direita, central (Figura 34) e esquerda.

Figura 34: Processamento dos dados no *Photomodeler* – Orientação relativa – Parte central Inferior da Fachada



A escala foi determinada em cada projeto com a seleção de dois pontos e inserida a distância entre eles, obtida em campo com a estação total.

Os resultados foram partes de fotografias retificadas e das quais podem ser extraídas medidas horizontais e verticais para a validação e posterior análise da simetria dos dados (Figuras 35, 36 e 37).

Figura 35: Fotografia retificada – parte esquerda da fachada



A Figura 35 foi retificada, mas parte do primeiro arco não teve três pontos homólogos para fazer a amarração; no entanto, este dado foi obtido na ortofoto central (Figura 36).

Figura 36: Fotografia retificada – parte central da fachada



Figura 37: Fotografia retificada – parte direita da fachada



A partir das fotografias retificadas foi possível gerar o mosaico de toda parte inferior da fachada (Apêndice D).

4.3.4 Análise da qualidade das fotografias retificadas

Assim como no frontispício da Igreja de Nossa Senhora da Piedade, os dados do frontispício da Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres, obtidos no levantamento fotogramétrico, foram comparados com os dados obtidos no levantamento topográfico, com o intuito de checar a qualidade das ortofotos.

A estação total foi posicionada com um tripé, na altura de 1,55m, e foi executada a calagem e centragem do instrumento; em seguida, foi mirado o prisma, posicionado a uma altura de 1,55m e distante 12,168m da estação total, para zerar a estação. O próximo passo foi visar pontos da fachada para posterior cálculo das distâncias horizontais e verticais. A partir dos dados de ângulos e distâncias (estação – fachada), obtidos com a estação total, aplicou-se a Lei do Cosseno para o cálculo das distâncias horizontais e verticais entre os pontos.

1º Caso – Ponto 1A – 1B - Distância vertical

Onde: θ é o azimuth

$$B = 88^{\circ}42'22''$$

$$\alpha = 81^{\circ}00'53''$$

$$\theta = B - \alpha = 7^{\circ}41'29''$$

$$d^2 = d_1^2 + d_2^2 - 2 \times d_1 \times d_2 \times \cos\theta$$

$$d_2 = (19,892)^2 + (20,121)^2 - 2 \times (19,892) \times (20,121) \times \cos 7^{\circ}41'29''$$

$$d_2 = 7,254223648$$

$$d = 2,69336601m$$

2º Caso – Ponto 3B – 4B - Distância horizontal

Onde: θ é o ângulo horizontal

$$B = 272^{\circ}32'17''$$

$$\alpha = 275^{\circ}44'26''$$

$$\theta = B - \alpha = 3^{\circ}12'9''$$

$$d^2 = d_1^2 + d_2^2 - 2 \times d_1 \times d_2 \times \cos\theta$$

$$d_2 = (19,899)^2 + (20,039)^2 - 2 \times (19,899) \times (20,039) \times \cos 3^{\circ}12'9''$$

$$d_2 = 1,265082702$$

$$d = 1,124745617m$$

Os valores obtidos com a estação total foram comparados aos mesmos pontos medidos nas fotografias retificadas (Figura 38).

Tabela 12: Análise das distâncias verticais da fachada da Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres

1º LEVANTAMENTO (parte inferior)			
SEGMENTO	DISTÂNCIA ESTAÇÃO TOTAL (m)	DISTÂNCIA FOTOGRAFIA RETIFICADA (m)	DIFERENÇA (m)
1a – 1b	2,69	2,65	-0,04
2a – 2b	2,61	2,58	-0,03
3a – 3b	1,24	1,25	0,01
4a – 4b	1,25	1,22	-0,03
5a – 5b	2,33	2,31	-0,02
6a – 6b	2,33	2,30	-0,03
7a – 7b	2,33	2,31	-0,02
8a – 8b	2,33	2,31	-0,02
9a – 9b	1,24	1,21	-0,03
10a – 10b	1,25	1,23	-0,02
13a – 13b	0,62	0,56	-0,06

2º LEVANTAMENTO (parte do meio)			
SEGMENTO	DISTÂNCIA ESTAÇÃO TOTAL (m)	DISTÂNCIA FOTOGRAFIA RETIFICADA (m)	DIFERENÇA (m)
4a – 4b (Altura total)	25,89	-----	
10a – 10b	2,65	2,62	-0,03
11a – 11b	2,61	2,57	-0,04
23a – 23b	2,61	2,58	-0,03
28a – 28b	2,63	2,57	-0,06
29a – 29b	2,62	2,56	-0,06

Os dados obtidos com a estação total e na fotografia retificada foram inseridos num programa de análise estatística para validação. A tabela 13

mostra as estatísticas de resumo para cada uma das variáveis dos dados selecionados. Ele inclui medidas de tendência central, medidas de variabilidade e as medidas de forma.

Tabela 13: Análise estatística das distâncias verticais da fachada da Ig. de N. Sra. dos Prazeres

	Estação Total	Ortofoto
Segmento	16	16
Média	2,08375	2,05188
Desvio padrão	0,697814	0,694735
Coeficiente de variação	33,4884%	33,8585%
Mínimo	0,62	0,56
Máximo	2,69	2,65
Range	2,07	2,09

Os dados mostram um intervalo de confiança de 95,0% para as médias e desvio-padrão de cada uma das variáveis. Em ambas as medições o desvio padrão foi de 0,69 e o sigma de 0,69. A tabela 14 traz uma análise da confiabilidade dos dados.

Tabela 14: Análise da confiabilidade das distâncias verticais da fachada da Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres

	Média	Erro padrão	Limite inferior	Limite superior
Estação Total	2,08375	0,174464	1,71191	2,45559
Ortofoto	2,05188	0,173684	1,68168	2,42207

Os resultados da confiabilidade revelam que os dados levantados na ortofoto atendem ao objetivo da pesquisa. Com intuito de garantir a confiabilidade dos dados foi feita uma análise de correlação dos segmentos medidos (Tabela 15)

Tabela 15: Correlação das distâncias verticais da fachada da Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres feita no *Statgraphics*

	Estação Total	Ortofoto
Estação total		0,9997
		(16)
		0,000
Ortofoto	0,9997	
	(16)	
	0,000	

A análise de correlação comprova o intervalo de confiança de 95%. A tabela 15 mostra as correlações de Pearson momento do produto entre cada par de variáveis. Os coeficientes de correlação variam entre -1 e 1 e medem a força da relação linear entre as variáveis. Entre parênteses é mostrado o número de pares de valores de dados utilizados para calcular cada coeficiente. O terceiro número em cada localidade da tabela é um valor -P que testa a significância estatística das correlações estimadas. P-valores inferiores a 0,05 indicam correlações não-zero estatisticamente significativas ao nível de confiança de 95,0%. As variáveis têm valores de P inferior a 0,05.

A tabela 16 mostra o teste estatístico das variáveis com a covariância estimada entre cada par das variáveis.

Tabela 16: Covariância das distâncias verticais da fachada da Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres feita no *Statgraphics*

	Estação Total	Ortofoto
Estação Total	0,486945	0,484639
	(16)	(16)
Ortofoto	0,484639	0,482656
	(16)	(16)

A tabela 16 mostra entre parênteses é o número de pares de valores de dados utilizados para calcular cada coeficiente. É possível notar que os valores para cada análise foi 0,48 provando que os dados não variaram nas duas formas de medição.

A tabela 17 apresenta os resultados do levantamento das distâncias horizontais com os comprimentos variando de 1 a 8cm maiores no levantamento fotogramétrico em relação ao topográfico. Justifica-se esta diferença, pois o ponto de visada na estação total e nas fotografias retificadas não estava com alvos para garantir melhor precisão. No entanto, ainda está dentro do padrão adotado nos levantamentos rápidos na arquitetura.

Tabela 17: Análise das distâncias horizontais da fachada da Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres

1º LEVANTAMENTO (parte inferior)

SEGMENTO	DISTÂNCIA ESTAÇÃO TOTAL (m)	DISTÂNCIA FOTOGRAFIA RETIFICADA (m)	DIFERENÇA (m)
1a – 2a	1,54	1,58	0,04
1b – 2b	1,55	1,60	0,05
3a – 4ª	1,12	1,20	0,08
3b – 4b	1,13	1,20	0,07
5a – 6ª	0,69	0,72	0,03
5b – 6b	0,70	0,72	0,02
7a – 8a	0,69	0,70	0,01
7b – 8b	0,68	0,71	0,03
9a – 10ª	1,10	1,15	0,05
9b – 10b	1,11	1,15	0,04
11a – 12ª	1,79	1,87	0,08

2º LEVANTAMENTO (parte do meio)			
SEGMENTO	DISTÂNCIA ESTAÇÃO TOTAL (m)	DISTÂNCIA FOTOGRAFIA RETIFICADA (m)	DIFERENÇA (m)
1a – 6a	1,86	1,89	0,03
2a – 5a	1,66	1,71	0,05
7a – 8a	0,65	0,69	0,04
9a – 12a	1,90	1,95	0,04
10a – 11a	1,10	1,15	0,05
10b – 11b	1,10	1,16	0,06
13a – 14a	0,19	0,26	0,07
16a – 17a	1,31	1,37	0,06
19a – 20a	0,20	0,25	0,05
25a – 26a	0,64	0,69	0,05
27a – 30a	1,97	2,02	0,05
28a – 29a	1,07	1,15	0,08
33 – 36			
Largura total	18,08	-----	

Considerando as precisões pré-estabelecidas pelo Icomos que classifica os levantamentos para representação de monumento, o levantamento está dentro de uma precisão aceitável, já que se refere ao erro máximo permitido no posicionamento de pontos de 5 cm numa escala até 1:200. As fotografias retificadas foram obtidas numa escala de 1:400, pois com a câmara de distância focal de 50mm, que foi utilizada o levantamento inviabilizou dados numa escala de 1:200, era necessário obter uma quantidade bem maior de fotografias, impossibilitando a realização do processamento das fotografias nos computadores disponíveis.

Com intuito de validar os dados segue uma análise multivariada dos segmentos medidos em ambas as formas. A tabela 18 mostra um resumo da análise estatística executada no programa computacional *statgraphics*.

Tabela 18: Análise estatística das distâncias horizontais da fachada da Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres

	Estação Total	Ortofoto
Segmento	23	23
Média	1,11957	1,16913
Desvio padrão	0,518858	0,522241
Coeficiente de variação	46,3446%	44,6692%
Mínimo	0,19	0,25
Máximo	1,97	2,02
Range	1,78	1,77

A tabela 18 mostra as estatísticas de resumo para cada uma das variáveis de dados medidos com a estação total e ortofoto. Os valores destas estatísticas fora do intervalo de -2 a +2 indicam desvios significativos da normalidade, o que tenderia a invalidar muitos dos procedimentos estatísticos normalmente aplicados a esses dados. O intervalo de confiança para médias e desvio-padrão foi de 95% comprovando a precisão da amostra. Na tabela 19 é possível analisar o teste de confiabilidade dos dados.

Tabela 19: Análise da confiabilidade das distâncias horizontais da fachada da Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres

	Média	Desvio padrão	Limite inferior	Limite superior
Estação Total	1,11957	0,108189	0,895194	1,34394
Ortofoto	1,16913	0,108895	0,943296	1,39496

O desvio-padrão em ambas as variáveis obteve o resultado de 0,108 e o sigma 0,52 em ambos os casos.

A tabela 20 mostra o resultado do teste de correlação para as distâncias horizontais da fachada da Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres.

Tabela 20: Correlação das distâncias horizontais da fachada da Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres feita no *Statgraphics*

	Estação Total	Ortofoto
Estação total		0,9994
		(23)
		0,000
Ortofoto	0,9994	
	(23)	
	0,000	

Levando-se em consideração a correlação de Pearson (Tabela 20) os coeficientes variaram entre o esperado, foram utilizadas 23 amostras para calcular cada coeficiente. O terceiro número em cada localidade da tabela é um valor-P que testa a significância estatística das correlações estimadas. P-valores inferiores a 0,05 indicam correlações não-zero estatisticamente significativas ao nível de confiança de 95,0%. Os pares de variáveis têm valores de P inferior a 0,05.

A análise de covariância (Tabela 21) explica que os dados tanto na medição com a estação total quanto na fotografia retificada variaram somente a partir da segunda casa decimal.

Tabela 21: Covariância das distâncias horizontais da fachada da Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres feita no *Statgraphics*

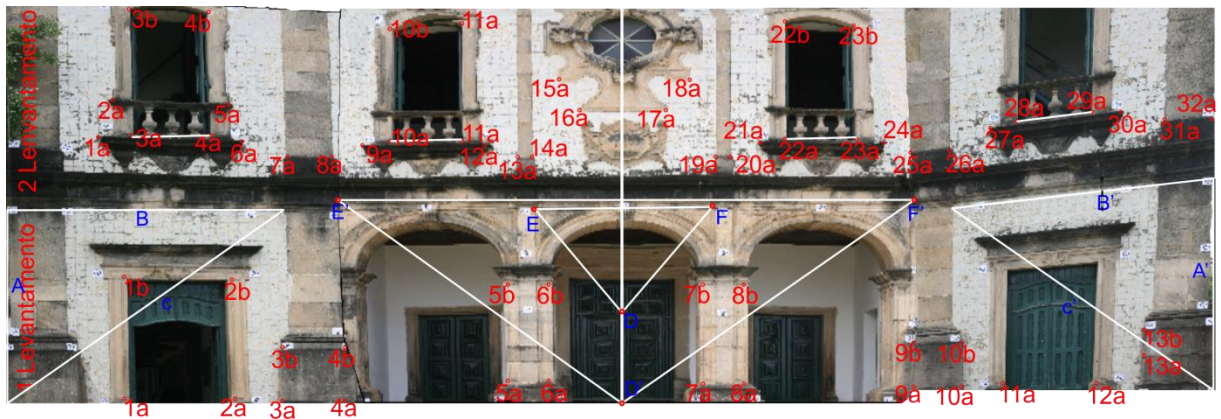
	Estação Total	Ortofoto
Estação Total	0,269213	0,2708
	(23)	(23)
Ortofoto	0,2708	0,272736
	(23)	(23)

4.3.5 Verificação da homologia

A homologia harmônica é um aspecto intrínseco na arquitetura, seja ela simétrica ou não. No caso da Igreja dos Prazeres existe uma simetria bilateral perfeita, em que uma metade da fachada é espelho da outra no eixo zenital (vertical), o que se pode confirmar ao fazer um traço no centro

do mosaico (Figura 39) e medir até as duas extremidades: obteve-se 9,01m à esquerda e 9,07m à direita.

Figura 39: Verificação da Homologia da Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres



Outro fator importante refere-se ao comprimento das janelas simétricas entre si, nos pontos 3a – 4a, 10a – 11a, 22a – 23a e 28a – 29a do segundo levantamento, as medidas horizontais da base das 4 janelas corresponderam a 1,15m de comprimento, ratificando a homologia perfeita.

As bases das duas torres rebatem uma a outra simetricamente nas colunas, portas, janelas e nos detalhes arquitetônicos, demonstrando uma homologia perfeita na representação dos triângulos ABC e A'B'C'.

Os arcos também retratam a simetria bilateral, onde um lado espelha o outro, pois têm largura de 2,26, 2,25 e 2,26m respectivamente, e todos os detalhes construtivos têm uma homologia harmônica. Os triângulos DEF e D'E'F' demonstram a simetria no conjunto dos arcos.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados e discussão conclui-se que:

A Fotogrametria Terrestre conduziu a dados com alto grau de precisão métrica, permitindo, dessa forma, uma análise da homologia dos frontispícios com a certeza da posição dos pontos e linhas analisados, pois atingiu-se a classe de levantamentos rápidos do ICOMOS ao analisar a precisão relativa.

A simetria bilateral, que é a forma mais comum de simetria na arquitetura, foi demonstrada na construção dos frontispícios das Igrejas de Nossa Senhora da Piedade e de Nossa Senhora dos Prazeres, nos quais as metades de uma composição são espelhos umas das outras.

Na análise da ortofoto da fachada da Igreja de Nossa Senhora da Piedade verificou-se uma homologia harmônica nos detalhes, ao obter medidas horizontais e verticais e comparar os triângulos semelhantes.

Nos estudos de Costa (2003), a Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres foi considerada o melhor exemplo de harmonia na arquitetura em todo o Grande Recife. Esta afirmativa foi ratificada ao obter as medidas entre alguns pontos na ortofoto da fachada, em que as janelas e arcos têm uma simetria bilateral perfeita.

A verificação da homologia fornece subsídios para planejar, restaurar e reconstruir patrimônios culturais sem perder sua identidade geométrica, mesmo se tiver apenas parte da construção, já que uma parte rebate a outra.

A obtenção da ortofoto de cada um dos frontispícios permitiu realizar avaliações métricas precisas das distâncias entre pontos, associadas à possibilidade de indicar a textura da fachada considerada.

O estudo com registro métrico de bens patrimoniais de valores históricos, culturais e artísticos é imprescindível, para que sua origem seja preservada no momento da restauração. E, no caso de reconstrução, é necessário ter esta informação para manter sua forma original.

A obtenção das fotografias deve ser realizada com abertura do ângulo entre visadas a partir de 45°. Quando houver pontos com ângulos muito próximos, deve-se adicionar uma fotografia com a separação maior do ângulo, pois sendo assim o programa processa a orientação das fotografias com mais precisão.

É muito importante fixar cada ponto. Caso apenas alguns pontos tenham resíduos altos, deve-se estudá-los em cada foto, para garantir que eles sejam marcados e referenciados corretamente. Se muitos dos pontos têm resíduos altos, é necessário assegurar-se se as posições das estações da

câmara estão sendo satisfatórias e que os melhores parâmetros de câmara possíveis estão sendo utilizados.

Verificou-se que ocorrendo mais de 10 iterações deve-se procurar mais pontos para referenciar; e isso deverá ser feito manualmente.

É imprescindível uma análise estatística para validação dos dados fotogramétricos, nos dois exemplos validados através da análise multivariada realizada no *statgraphics* teve um intervalo de confiança de 95% ratificando que os dados fotogramétricos podem substituir e/ou complementar levantamentos em áreas de difícil acesso.

A Fotogrametria Terrestre foi apresentada para que os profissionais da área de arquitetura possam ter uma técnica que facilite e/ou agilize os trabalhos de planejamento.

5.1 DIFICULDADES ENCONTRADAS

- Obter fotografias em escala igual à das plantas existentes no Iphan, já que a câmara tem distância focal de 52,735mm, após calibração. Isso inviabilizou a obtenção de fotografias com a distância de 2,6367m dos alvos, pois como as Igrejas em estudos têm cerca de 25m de altura, a inclinação das fotografias comprometeria os modelos;
- Fazer o processamento nos computadores disponíveis, pois a densidade de pontos e tamanho das imagens TIFF, fez com que os modelos passassem mais de 12h para serem gerados, ou até mesmo travassem na execução, por isso optou-se pelo mosaico;
- Foi planejada a fixação de mais alvos codificados, em detalhes de cantaria, porém as fitas para fixação testadas não aderiram na parede; outro problema foi o vento, que contribuiu para a perda de alguns alvos no momento do levantamento;
- Densificar os pontos por fotointerpretação sem que houvesse um resíduo muito alto;
- Ter equipe suficiente para concluir o levantamento fotogramétrico e topográfico no mesmo dia, evitando a retirada dos alvos.

6. REFERÊNCIAS

ALBERTZ, J. A. M. Pioneer of Photogrammetric documentation of the cultural heritage. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM CIPA, 18., 2001. Berlin. Proceedings... Berlin, 2001.

ALMAGRO, A., 1999. Photogrammetry for everybody. In: CIPA INTERNATIONAL SYMPOSIUM, 17., 1999. Olinda, **Anais...** Olinda: IAPRS, 1999. Disponível em: <http://cipa.icomos.org/papers/1999cd/artigos/03/almagro.pdf> <Acesso em: 20 de jul. 2012>

ANDRADE, J. B. de. **Fotogrametria**. Curitiba: SBEE, 1998. 258p.

ATKINSON, K. B. Close range photogrammetry and machine vision. Department of Photogrammetry and Surveying, London: University College London, Whittles Publishing, 1996. 371p.

ÁVILA, G. Retângulo áureo e a divisão áurea. In: Geometria, 2007. Cap. 3. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/EnsMed/expensmat_icap3.pdf <Acesso em: 2 de nov. 2012>

BARTHEL, R. **Architecture et bionique constructions naturelles**. Paris: Editions Delta & Spes, 1985.

BENUTTI, M. A. Proporções e estruturas da Geometria Sagrada na Antiguidade, Educação gráfica, v. 12, nº 2, 2008. Disponível em: <http://www.educacaografica.inf.br/revistas/vol-12-num-2-2008/> <Acesso em: 12 de jul. 2011>

BORGES, M. L. V. B.; BORGES, P. A. Practical applications of Architectural Photogrammetry in the documentation of historical buildings and cities, for effective utilization by architects, planners and heritage preservation professionals. In: CIPA INTERNACIONAL SYMPOSIUM, 17. 1999, Recife/Olinda. **Anais** CD-ROM.

BRITO, J. N.; COELHO, L. C. T. Fotogrametria digital. EdURERJ, Rio de Janeiro, Editora da Universidade do Rio de Janeiro, 2007.

CARRAZZONI, M. E. (Coord.). Guia dos bens tombados. **Expressão e Cultura**, Rio de Janeiro, 1980.

CARTA DE ATENAS, Escritório Internacional dos Museus Sociedade das Nações, Atenas, 1931.

CASTRO, Sônia Rabello. O Estado na preservação de bens culturais. Rio de Janeiro: Renovar, 1991.

CERQUEIRA, R. W.; SOUZA, P. P. de.; ARAÚJO, R. L. Utilização do software *Photomodeler* na conservação e restauração de monumentos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 21. 2003. Belo Horizonte, **Anais...** Disponível em: http://www.cartografia.org.br/xxi_cbc/106-F09.pdf.

COMAS, C. E. Espelho e labirinto. USJT, arq.urb – n. 4, 2º sem. 2010. Disponível em: <http://www.usjt.br/arq.urb/numero_04/arqurb4_05_carlos.pdf> Acesso em: 23 jul. 2012.

CORTÊS, J. B. R.; MITISHITA, E. A. **Análise da estabilidade geométrica de câmaras digitais de baixo custo com diferentes métodos de calibração**. Curitiba, 2010. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas). Universidade Federal do Paraná: Curitiba, 2010.

COSTA, A. P. de A. V. Harmonia nas fachadas das igrejas. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMETRIA DESCRITIVA E DESENHO TÉCNICO, 15; INTERNATIONAL CONFERENCE ON GRAPHICS ENGINEERING FOS ARTS AND DESIGN, IV, 2001, São Paulo, **Anais...** São Paulo: GRAPHICA, 2001.

_____. Harmonia na fachada dos templos do grande Recife. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMETRIA DESCRITIVA E DESENHO TÉCNICO, 16; INTERNATIONAL CONFERENCE ON GRAPHICS ENGINEERING FOR ARTS AND DESIGN, V, 2003, Santa Cruz do Sul, **Anais...** Santa Cruz do Sul: GRAPHICA, 2003.

COSTA, M. D. A Homologia e a Bi-razão. SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMETRIA DESCRITIVA E DESENHO TÉCNICO, 9, 1989, São Paulo: In: **Anais...**

COSTA, M. D.; COSTA, A. P. de A. V. **Geometria gráfica tridimensional**, Recife: Editora Universitária da UFPE, 1994. v.3.

DREW, M. S.; JOZE, H. R. V. **Sharpening from shadows: sensor transforms for removing shadows using a single image**. Vancouver: School of Computing Science, Simon Fraser University, 2007. Disponível em: <http://www.cs.sfu.ca/~mark/ftp/Cic17/cic17.pdf> <Acesso em: 06 ago. 2012>

FERREIRA, E. O.; NÚÑEZ, M. A. A.; AMORIM, A. L. Modelagem geométrica tridimensional de sítios históricos: o caso de Lençóis – BA. Graphica, 2005.

FINLAYSON, G. D.; HORDLEY, S. D.; DREW, L. M. S. **On the removal of shadows from images**. Norwich: University of East Anglia, 2006. Disponível em: http://www.cs.sfu.ca/research/groups/VML/pubs/drew-shadow_removal-PAMI06.pdf <Acesso em: 22 mar. 2012>

FONSECA, C. R. C. da. Conceito de simetria em livros didáticos de matemática para o ensino fundamental. Recife, 2011. Disponível em: <http://www.portalrealize.com.br/revista/revistas/ebapem/trabalhos/b61e7f44f3368be96a56c2cf7e7e2abe.pdf>. <Acesso em: 18 de ago. 2012>

GALO, M.; TOMMASELLI, A. M. G. Calibração de câmaras. In: PITERI, M. A.; RODRIGUES, J. C. (Orgs.). **Fundamentos de visão computacional**. Presidente Prudente: Gráfica Viena, 2011. (FCT/UNESP-PP), 189p.

GROETELAARS, N. J.; AMORIM, A. L. Técnicas digitais para levantamentos e representação de fachadas de edificações. Santa Cruz do Sul, 2003. Anais Graphica 2003,

GRUSSENMEYER, P.; HANKE, K. ; STREILEIN, A. Architectural photogrammetry. In: KASSER, M.; EGELS, Y. (eds.). Digital Photogrammetry. Taylor & Francis, 2002, p. 300-339. Disponível em: http://www.isprs.org/commission5/tutorial02/gruss/tut_gruss.pdf. Acesso em: 14 dez. 2012.

HEIKKILA, J.; Silvén, O. A four-step camera calibration procedure with implicit image correction. In: IEEE COMPUTER SOCIETY CONFERENCE ON COMPUTER VISION AND PATTERN RECOGNITION. 1997, San Juan. Proceedings... p. 1106-1112. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=609468> <Acesso em 1 ago. 2012>

ICOMOS. Carta da Burra, 1980. Disponível em: http://www.icomos.org.br/cartas/Carta_de_Burra_1980.pdf < Acesso em: 2 mai. 2010>

_____. Carta de Veneza, In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ARQUITETOS TÉCNICOS DOS MONUMENTOS HISTÓRICOS, Veneza, 1964. Disponível em: http://www.icomos.org.br/cartas/Carta_de_Veneza_1964.pdf . <Acesso em: 18 abr. 2009>

_____. Carta de Washington, **Carta Internacional para Salvaguarda das Cidades Históricas**, Washington, 1986.

_____. Carta de Washington. **Carta Internacional para Salvaguarda das Cidades Históricas**, Washington, 1987.

_____. Carta do Icomos: **Princípios para análise, conservação e Restauração estrutural do patrimônio arquitetônico**, Victoria Falls, 2003.

_____. **Critérios de Conservación del Patrimonio Arquitectónico del Siglo XX, Documento de Madrid**, Espanha, 2011.

_____. Declaração de Sofia, In: ASSEMBLEIA GERAL DO ICOMOS, 11. 1996.

_____. Declaração de Tlaxcala, Revitalização das pequenas aglomerações. In: COLÓQUIO INTERAMERICANO SOBRE A CONSERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO MONUMENTAL , 3. México, 1982.

IPHAN, Decreto nº 25.175, de 03/07/1948. Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres (Jaboatão dos Guararapes, PE) . Disponível em: http://www.iphan.gov.br/ans.net/tema_consulta.asp?Cod=1543

ITÁLIA. **Carta de Restauro**, Roma: Ministério de Instrução Pública do Governo da Itália, 1972.

_____. **Carta Italiana de Restauração**, Roma: Conselho Superior para Antiguidade e as Belas Artes, 1931.

JANSEN, B. Capela de Nossa Senhora dos Prazeres nos Montes Guararapes, **Revista do Instituto Arqueológico, Histórico e Geográfico Pernambucano**, Recife, v. 43, p. 242-249. 1955.

KARRAS, G.E.; MAVROMMATI, D. Simple calibration techniques for non-metric cameras. In: INTERNATIONAL COMMITTEE FOR DOCUMENTATION OF CULTURAL HERITAGE, INTERNATIONAL

SYMPOSIUM, 2001, Postdam, **Proceedings...** International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2001.

MAESTRE, R. **Levantamiento de planos de fachadas a partir de una fotografía: perspectivas: homograf.1:** aplicación infográfica para Autocad.14. 2000. Disponível em: <http://www.via-arquitectura.net/02_prem/02p-082.htm>. Acesso em: 20 ago. 2010.

MARTINS, A.; FERNANDES, A.; SACCHETTI, M. **Geometria**. 2008. Disponível em: <http://geometrias.eu/depositum/Tratado0508.pdf>. Acesso em 02 de fevereiro de 2013.

MEDEIROS, Z. F. de; SORIA MEDINA S. da S. Sistemas de projeção e cartografia. In: **Anais GRAPHICA 2003**, Santa Cruz do Sul , 2003.

MELLO, J. A. G. de. **A Igreja dos Guararapes**. Recife: Imprensa Universitária, Universidade Federal de Pernambuco, 1971.

MIKHAIL, E. M.; BETHEL, J. S.; MCGLONE, J. C. **Introduction to modern photogrammetry**. New York: John Wiley & Sons, c2001. 479p.

MUSSO, S. F.; MARCO, L. de. **Teaching conservation/restoration of the architectural heritage. goals, contents and methods**. Municipality of Genoa, 2008. p. 461. Disponível em: http://www.eaac.be/web_data/documents/transactions/38/1.pdf Acesso em: 26 dez. 2012.

PEREIRA, C. M.; FRANÇA, A. F. de.; BARROSO NETO, J. A.; SCHULER, C. A. B. Utilização do software photomodeler na produção de Ortofoto do monumento em homenagem a Joaquim Amazonas localizado na Av. dos Reitores – UFPE. In: SIMGEO, 4, 2012, Recife. Disponível em: <http://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIV/CD/> Acesso em: 13 dez. 2012.

RABELLO, P. S. B. Homologia Plana Projeções Cotadas. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <http://www.ime.uerj.br/ensinoepesquisa/LIVROS%20DE%20GEOMETRIA/HOMOLOGIA%20PLANA.pdf> <Acesso em 22 de julho de 2012 >

REISS, M. L. L.; TOMMASELLI, A. M. G. Aplicações de conceitos fotogramétricos no desenvolvimento de um sistema de reconstrução 3D por luz estruturada. In: SEMINÁRIO ANUAL DE PESQUISAS EM GEODÉSIA NA UFRGS, 2, 2007, Porto Alegre. Disponível em: http://www.ufrgs.br/lageo_geodesia/iisapgu/ReissMLL_e_TommaselliAMG.pdf <Acesso em: 21 jan. 2013 >

ROCHA, C. H. O. da; PIORNO, J.; FREIRE, R. R.; MEDINA, I. de A. Uma discussão histórica sobre a Fotogrametria, 2003. Disponível em: http://www.cartografia.org.br/xxi_cbc/042-F31.pdf <Acesso em: 15 dez. 2011>

SANZ-ABLANEDO, E.; RODRÍGUEZ-PÉREZ, J. R.; ARMESTO, J.; TABOADA, M. F. A. Geometric stability and lens decentering in compact digital cameras. 2010. **Sensors**, v. 10, m. 3, p. 1553-1572; doi:10.3390/s100301553. Spain. Disponível em: <http://www.mdpi.com/1424-8220/10/3/1553/htm> < Acesso em: 24 jul. 2012>

SARAIVA, J. C. V. As pirâmides do Egito e a razão áurea. In: Geometria, 2007. cap. 3. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/EnsMed/expensmat_icap3.pdf < Acesso em: 3 mar. 2013>

SHORTIS, M. R.; BELLMAN, C. J.; ROBSON, S.; JOHNSTON, G. J.; JOHNSON, G. W. Stability of zoom and fixed lenses used with digital SLR cameras. In: SYMPOSIUM OF IMAGE ENGINEERING AND VISION METROLOGY, 5, 2006, Dresden. **Proceedings...** p. 285-290.

SILVA, B. Q.; MAMEDE, C. G.; SILVA, M. V.; SCHULER, C. A. B. Planejamento para o recobrimento fotogramétrico da fachada principal da Basílica de Nossa Senhora do Carmo em Recife – PE. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 4, 2012, Recife. **Anais...** Disponível em: <http://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIV/CD/>. Acesso em: 15 jun. 2012.

SIQUEIRA, P. H.; COSTA, D. M. B.; SOUZA, L. V. Visualização dos conceitos de Homologia Plana com a utilização de Geometria Dinâmica, 2009. Disponível em: http://ufpr.academia.edu/PauloSiqueira/Papers/415384/Visualizacao_dos_conceitos_de_Homologia_Plana_com_a_utilizacao_de_Geometria_Dinamica <Acesso em: 27 fev. 2012>

SORIA MEDINA, S. da S. **Análise de produtos fotogramétricos para cadastramento de monumentos arquitetônicos**. Curitiba, 2002. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas). Universidade Federal do Paraná, 2002.

SORIA MEDINA, S. da S.; DALMOLIN, Q. Fotogrametria: uma ferramenta para representação gráfica de objetos. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMETRIA DESCRITIVA E DESENHO TÉCNICO, 16. E INTERNATIONAL CONFERENCE ON GRAPHICS ENGINEERING DOR ARTS AND DESIGN, 5. **Anais...** Santa Cruz do Sul: Graphica, 2003.

SOUZA, E. E. de. Arquitetura e Geometria. 2008. Disponível em: http://www.usjt.br/arq.urb/numero_01/artigo_06_180908.pdf <Acesso em: 02 fev. 2012>

SOUZA, P. P. de; ARAÚJO, R. L.; CERQUEIRA, R. W. de. Utilização do Programa PhotoModeler na restauração e conservação de monumentos. Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2001. (Relatório Técnico) Disponível em: http://www.cartografia.ime.eb.br/trabalhos/IP/2001_UTILIZACAO_DO_SOFTWARE_PHOTOMODELER_NA_CONSERVACAO_E_RESTAURACAO_DE_MONUMENTOS/IP.pdf Acesso em: 20 abr. 2012.

UNESCO, ICCROM, ICOMOS. **Carta de Nara**. Conferência sobre autenticidade em relação à convenção do Patrimônio Mundial, Japão, 1994.

UNESCO. **Convenção para a Protecção do Património Mundial, Cultural e Natural**, Paris, 1972.

_____. **Directrices Prácticas para la aplicación de la Convención del Patrimonio Mundial**, Paris, 2008.

_____. **Recomendação de Nairóbi**, Nairóbi, 1976.

WALDHAEUSL, P.; OGLEBY, C. 3x3-Rules for simple Photogrammetric documentation of architecture. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Melbourne, v.30, Part 5, p. 426-429, 1994.

WILLIAMS, K. Symmetry in Architecture. Roma, 1998. Disponível em:
<http://www.mi.sanu.ac.rs/vismath/kim/index.html> <Acesso em: 18 ago. 2012>

WUTKE, J. D.; FOSSE, J. M.; CENTENO, J. A. S. Documentação e modelagem 3D de patrimônio arquitetônico através do uso de técnica de Fotogrametria de baixo custo. In: COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS, 4, 2005, Curitiba, 2005: Departamento de Geomática da Universidade Federal do Paraná, 2005. Disponível em:
<http://people.ufpr.br/~centeno/publications/download/2005/36twutkefc.pdf> <Acesso em: 05 jan. 2012>

www.photomodeler.com/applications/default.htm. <Acesso em: 5 set. 2011 >

ANEXO

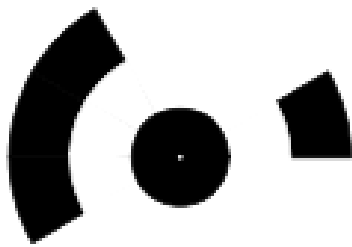
ANEXO A – Fachada Sudoeste (principal) da Igreja de Nossa Senhora da Piedade.



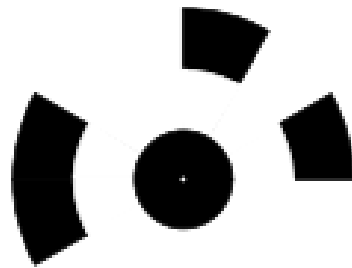
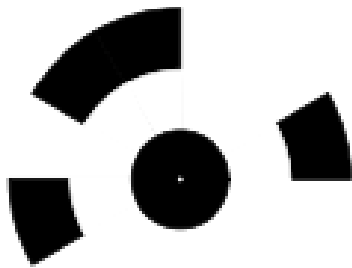
APÊNDICES

APÊNDICE A– Alvos codificados

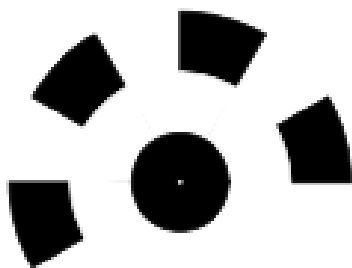
I



II



III



APÊNDICE B - Relatório do processamento de orientação das fotografias no *PhotoModeler Scanner*

Status Report Tree

Project Name: teste_ver3.pmr

Problems and Suggestions (1)

Project Problems (1)

Problem: The following photos have a resolution or exif focal length mismatch with their camera: [Photo #1, Photo #2, Photo #3, Photo #4]

Suggestion: You must make sure that the resolution and exif focal length of each photo that is set to 'Use in Processing' matches its associated camera.

Problems related to most recent processing (0)

Information from most recent processing

Last Processing Attempt: Wed Aug 22 01:53:23 2012

PhotoModeler Version: 6.2.2.596 - final,full

Status: successful

Processing Options

Orientation: off

Global Optimization: on

Calibration: off

Constraints: on

Total Error

Number of Processing Iterations: 5

Number of Processing Stages: 2

First Error: 2.474

Last Error: 2.535

Precisions / Standard Deviations

Photograph Standard Deviations

Photo 1: IMG_7288.JPG

Omega

Value: -0.782473 deg

Deviation: Omega: 0.140 deg

Correlations over 95.0%: Kappa:-95.3%, Y:-100.0%

Phi

Value: -1.557425 deg

Deviation: Phi: 0.133 deg

Correlations over 95.0%: X:100.0%, Z:96.0%

Kappa

Value: 0.240742 deg

Deviation: Kappa: 0.043 deg

Correlations over 95.0%: Omega:-95.3%

Xc

Value: -0.052037

Deviation: X: 0.004

Correlations over 95.0%: Phi:100.0%, Z:95.5%

Yc

Value: 0.025185

Deviation: Y: 0.004

Correlations over 95.0%: Omega:-100.0%

Zc

Value: 0.003451

Deviation: Z: 0.002

Correlations over 95.0%: Phi:96.0%, X:95.5%

Photo 2: IMG_7289.JPG

Omega

Value: 7.079843 deg

Deviation: Omega: 0.466 deg

Correlations over 95.0%: Kappa:-97.3%, Y:-100.0%

Phi

Value: 10.307247 deg

Deviation: Phi: 0.213 deg

Correlations over 95.0%: X:99.8%

Kappa

Value: -3.490167 deg

Deviation: Kappa: 0.161 deg

Correlations over 95.0%: Omega:-97.3%, Y:97.2%

Xc

Value: 0.204094

Deviation: X: 0.006

Correlations over 95.0%: Phi:99.8%

Yc

Value: -0.179548

Deviation: Y: 0.013

Correlations over 95.0%: Omega:-100.0%, Kappa:97.2%

Zc

Value: -0.198990

Deviation: Z: 0.004

Photo 3: IMG_7295.JPG

Omega

Value: 5.229278 deg

Deviation: Omega: 0.267 deg

Correlations over 95.0%: Kappa:-98.4%, Y:-100.0%

Phi

Value: 12.874664 deg

Deviation: Phi: 0.202 deg

Correlations over 95.0%: X:100.0%

Kappa

Value: -3.281503 deg

Deviation: Kappa: 0.090 deg

Correlations over 95.0%: Omega:-98.4%, Y:98.3%

Xc
Value: 0.502528
Deviation: X: 0.006
Correlations over 95.0%: Phi:100.0%

Yc
Value: -0.105265
Deviation: Y: 0.007
Correlations over 95.0%: Omega:-100.0%, Kappa:98.3%

Zc
Value: -0.336386
Deviation: Z: 7.7e-004

Photo 4: IMG_7293.JPG

Omega
Value: -1.716500 deg
Deviation: Omega: 0.851 deg
Correlations over 95.0%: Kappa:-99.5%, Y:-100.0%

Phi
Value: 29.363751 deg
Deviation: Phi: 0.249 deg
Correlations over 95.0%: X:99.3%, Z:-96.6%

Kappa
Value: -2.682121 deg
Deviation: Kappa: 0.326 deg
Correlations over 95.0%: Omega:-99.5%, Y:99.5%

Xc
Value: 1.076827
Deviation: X: 0.007
Correlations over 95.0%: Phi:99.3%

Yc
Value: 0.071386
Deviation: Y: 0.021
Correlations over 95.0%: Omega:-100.0%, Kappa:99.5%

Zc
Value: -0.464198
Deviation: Z: 0.004
Correlations over 95.0%: Phi:-96.6%

Quality

Photographs

Total Number: 4

Bad Photos: 0

Weak Photos: 0

OK Photos: 4

Number Oriented: 4

Number with inverse camera flags set: 0

Cameras

Camera1: 2:Canon EOS 5D [50.00]

Calibration: yes

Number of photos using camera: 4

Average Photo Point Coverage: 69%

Photo Coverage

Number of referenced points outside of the Camera's calibrated coverage: 60

Photo1 points outside region:#12, #13, #14, #15, #16, #17, #18, #19, #20, #21, #22, #50, #52, #53, #54, #55, #56, #57, #59

Photo2 points outside region:#13, #14, #15, #16, #17, #19, #20, #21

Photo3 points outside region:#2, #3, #12, #13, #14, #15, #16, #17, #18, #19, #20, #21, #50, #52, #53, #54, #55, #56, #57, #59, #22

Photo4 points outside region:#4, #5, #6, #7, #8, #9, #50, #52, #53, #56, #57, #59

Point Marking Residuals

Overall RMS: 2.319 pixels

Maximum: 4.682 pixels

Point 9 on Photo 4

Minimum: 0.004 pixels

Point 45 on Photo 1

Maximum RMS: 4.136 pixels

Point 28

Minimum RMS: 0.003 pixels

Point 45

Point Tightness

Maximum: 0.0017

Point 31

Minimum: 1.5e-006

Point 45

Point Precisions

Overall RMS Vector Length: 0.00331

Maximum Vector Length: 0.00508

Point 55

Minimum Vector Length: 0.00179

Point 25

Maximum X: 0.00116

Maximum Y: 0.000757

Maximum Z: 0.0049

Minimum X: 0.000558

Minimum Y: 0.000264

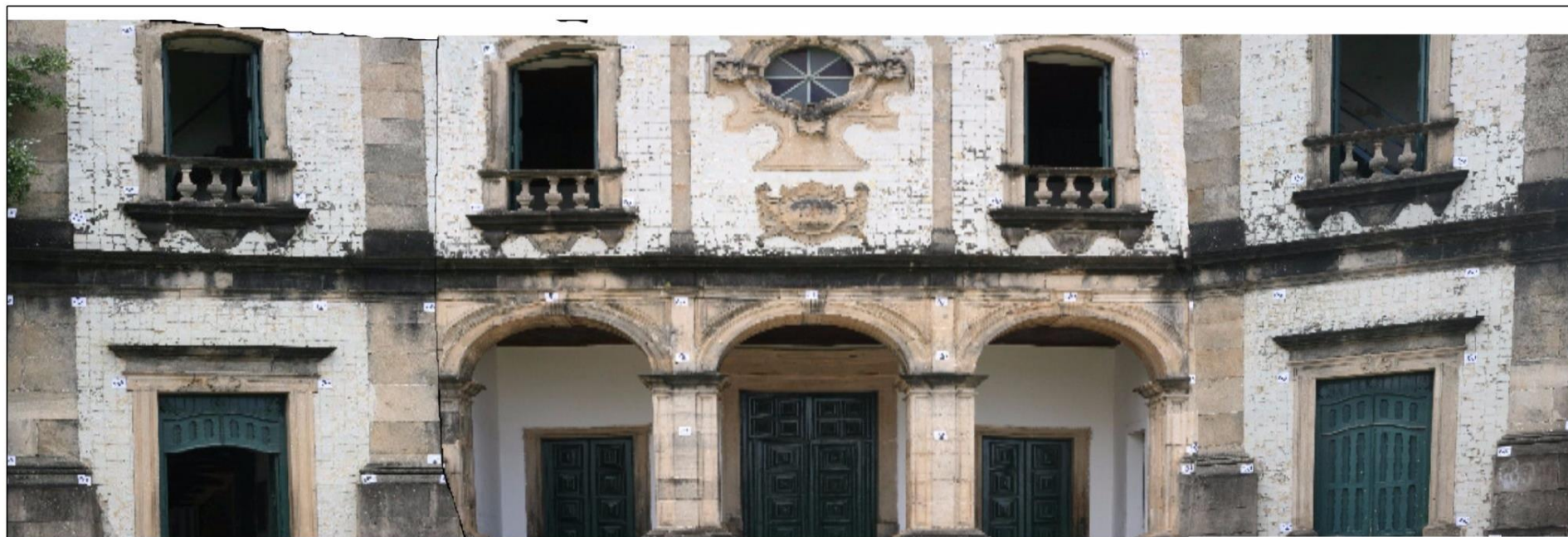
Minimum Z: 0.0016

APÊNDICE C: Ortofoto da Igreja de Nossa Senhora da Piedade



APÊNDICE D: Ortofoto da Igreja de Nossa Senhora dos Prazeres

FOTOGRAFIA RETIFICADA DA IGREJA NOSSA SENHORA DOS PRAZERES

Fachada Sudoeste
Escala 1:400