



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Pós-Graduação em Ciências Cartográficas

MARIANA BATISTA CAMPOS

**PROPOSTA DE ESPECIFICAÇÃO PARA A DOCUMENTAÇÃO
FOTOGRAMÉTRICA DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO
BASEADA NA ANÁLISE EXPERIMENTAL DE REQUISITOS**



Presidente Prudente
2015

MARIANA BATISTA CAMPOS

**PROPOSTA DE ESPECIFICAÇÃO PARA A DOCUMENTAÇÃO
FOTOGRAMÉTRICA DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO
BASEADA NA ANÁLISE EXPERIMENTAL DE REQUISITOS**

Dissertação de mestrado apresentada
ao Programa de Pós-Graduação em
Ciências Cartográficas da Faculdade
de Ciências e Tecnologia-UNESP
campus de Presidente Prudente.
Orientador: Prof. Dr. Antonio M. G.
Tommaselli.
Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Ivana
Ivánová

Presidente Prudente
2015

C214p Campos, Mariana Batista.
Proposta de especificação para a documentação fotogramétrica do patrimônio arquitetônico baseada na análise experimental de requisitos / Mariana Batista Campos. – Presidente Prudente: [s.n.], 2015
168 f.

Orientador: Antonio Maria Garcia Tommaselli.
Coorientadora: Ivana Ivánová
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia

Inclui bibliografia

1. Patrimônio arquitetônico. 2. Especificações. 3. Registro. 4. Modelagem. 5. Controle de qualidade. I. Campos, Mariana Batista. II. Tommaselli, Antonio Maria Garcia. III. Ivánová, Ivana. IV. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências e Tecnologia. V. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Presidente Prudente

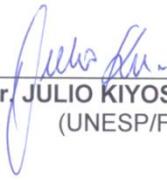
BANCA EXAMINADORA



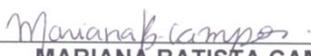
Prof. Dr. ANTONIO MARIA GARCIA TOMMASELLI
(ORIENTADOR)



Prof. Dr. JORGE PIMENTEL CINTRA
(USP)



Prof. Dr. JULIO KIYOSHI HASEGAWA
(UNESP/FCT)



MARIANA BATISTA CAMPOS

Presidente Prudente (SP), 26 de fevereiro de 2015.

Resultado: APROVADA

DEDICATÓRIA

Aos meus amados pais Alcina e Antônio Carlos, exemplo de honestidade, dedicação e amor em minha vida.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela concessão da bolsa de estudo regular no país nos períodos de 01/03/2014 à 31/05/2014 e 01/09/2014 à 28/02/2015 (processo: 2013/ 15940-9), bem como, pela Bolsa de Estágio de Pesquisa no Exterior (BEPE), no período de 01/06/2014 à 31/08/2014 (processo: 2014/07195-4).

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), pela concessão da bolsa de estudos no período de 01/03/2013 à 31/02/2014 (processo: 130505/2013).

Ao Professor Dr. Antonio Maria Garcia Tommaselli exemplo de ética e amor à profissão. Já dizia Rubem Alves: “*todo conhecimento começa com um sonho*”. Obrigada por me ajudar na construção deste sonho.

À Professora Dr.^a Ivana Ivánová que me ensinou que o frio na barriga é parte da paixão pela pesquisa. Sem seus ensinamentos este trabalho não seria possível, “*d’akujem*”.

Ao Professor Dr. Rolland Billen pela hospitalidade, ensinamentos e por me proporcionar a oportunidade de participar de trabalhos excepcionais. “*Je vous remercie pour tout*”.

A todos os professores do Departamento de Cartografia e da Pós Graduação em Ciências Cartográficas aos quais serei sempre grata pela minha formação profissional.

Ao Professor Dr. Helio Hirao do departamento de Planejamento, Urbanismo e Ambiente da FCT/UNESP e aos alunos do projeto de pesquisa “*Persistência no espaço urbano dos edifícios da década de 1940 em Presidente Prudente-SP*” (Processo: 2011/19621-0), pelo apoio e concessão de dados.

A todos os meus amigos do Programa de Pós Graduação em Ciências Cartográficas, pela amizade e colaboração no desenvolvimento deste trabalho. Em especial aos amigos Marcus, Carlos Rodrigo e Fabricio pela companhia nos dias de levantamento de campo.

A Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho e a Universidade de Liège pela infraestrutura necessária para a realização desta pesquisa.

RESUMO

No século XVIII, afloravam na Europa, no contexto da Revolução Francesa e das Expansões Napoleônicas, as primeiras preocupações com relação à preservação do Patrimônio Arquitetônico, dentre elas a documentação adequada. Em 1885, os primeiros trabalhos do precursor da Fotogrametria Terrestre, Albrecht Meydenbauer, mostraram que a técnica de realizar medidas através de imagens era uma boa alternativa para a documentação de qualidade. A documentação fotogramétrica do patrimônio arquitetônico é instrumento de preservação à medida que permite registrar o estado físico e temporal dos bens arquitetônicos, sendo uma das formas de documentação mais completa e adequada às necessidades dos projetos de intervenção. Em vista dessa relevância, em 1987, o ICOMOS recomendou aos países membros, isto inclui o Brasil, a constituição do acervo fotogramétrico de seus monumentos e sítios arqueológicos. Desde então, a Fotogrametria vem sendo uma das técnicas mais utilizada para o levantamento do patrimônio arquitetônico. Essa técnica tornou-se mais rápida e acessível com o avanço das câmaras digitais, o desenvolvimento de plataformas fotogramétricas digitais e soluções automatizadas. No Brasil, além das contribuições tecnológicas, o avanço na documentação fotogramétrica do Patrimônio Arquitetônico ocorreu em decorrência da busca pela valorização e educação patrimonial da história brasileira, em meio ao mundo moderno, onde a arquitetura como representação da história, principalmente do patrimônio edificado, é desvalorizada em função de interesses políticos e especulação imobiliária. Apesar das recomendações do ICOMOS, da importância de uma documentação de qualidade, do advento das novas tecnologias e das iniciativas de projetos de documentação fotogramétrica dos bens arquitetônicos brasileiros, ainda existem poucos estudos com uma análise rigorosa dos requisitos para a documentação fotogramétrica do patrimônio arquitetônico, com foco na geometria dos modelos gerados por processos fotogramétricos inteiramente digitais, que auxiliem no desenvolvimento destes trabalhos. Nesse contexto, foram realizados estudos teóricos e experimentais, para avaliar e ampliar os requisitos que compõem as especificações nacionais existentes no que se refere à documentação fotogramétrica com o uso de tecnologias digitais. Como resultado deste trabalho foram propostas orientações para o desenvolvimento dos projetos de documentação fotogramétrica em nível nacional, com a elaboração das “Especificações Técnicas para a Documentação Fotogramétrica do Patrimônio Arquitetônico” (ET/DOC-FOPARQ).

Palavras-chave: Patrimônio arquitetônico, Patrimônio edificado, Especificações, Registro, Modelagem, Fotogrametria, Controle de qualidade.

ABSTRACT

The first attempts to preserve cultural heritage, visible already in the 18th century Europe, include architectural heritage documentation. In 1885, in his first work, Albrecht Meydenbauer (considered as one of the pioneers of terrestrial photogrammetry), showed that photogrammetry was an efficient technique for the documentation of architectural heritage. The architectural heritage documentation with photogrammetric technique allows recording physical and temporal features of objects of the cultural heritage, and completes the documentation for the needs of the cultural heritage preservation. Given this, in 1987, ICOMOS (*International COuncil of MOnuments and Sites*) recommended that every ICOMOS member country would constitute a photogrammetric record of their monuments and archaeological sites. Since then, the photogrammetry has been one of the most used techniques for the documentation of architectural heritage. This technique has become faster and more affordable with the advancement of digital cameras, the development of digital photogrammetric platforms and automated solutions. In Brazil, architecture as representation of history has been devalued due to low political interests. In addition to the technological contributions, efforts to valorize Brazilian cultural heritage, such as the education of the population on heritage preservation, are also necessary; the architectural heritage documentation helps with these efforts. Despite the recommendations by ICOMOS, there are only few studies with a rigorous analysis of the requirements for the photogrammetric documentation of architectural heritage. Especially, requirements focusing on the geometry of the models generated by fully digital photogrammetric processes are missing. In our research we conducted theoretical and experimental studies with the objective to evaluate and revise the requirements for the cultural heritage documentation using digital photogrammetric techniques. As a result, we proposed technical specifications for the documentation of the architectural heritage (ET/DOC-FOPARQ), which serve as guidelines for the development of architectural cultural heritage documentation with photogrammetric techniques at national level.

Keywords: architecture, cultural heritage, specifications, documentation, modeling, photogrammetry, quality control.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	11
1.2 DELIMITAÇÃO DO ASSUNTO	12
1.3 OBJETIVO GERAL	13
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
1.5 JUSTIFICATIVA	14
1.6 ASPECTOS GERAIS DA METODOLOGIA	16
1.6.1 Estudo Teórico	16
1.6.2 Estudo Experimental	19

CAPÍTULO II CONCEITOS DE PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO E FOTOGRAMETRIA APLICADA À DOCUMENTAÇÃO

2.1 PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO	20
2.2 DOCUMENTAÇÃO FOTOGRAMÉTRICA	21
2.2.1 Etapas do processo fotogramétrico	22

CAPÍTULO III NORMAS E ESPECIFICAÇÕES PARA A DOCUMENTAÇÃO FOTOGRAMÉTRICA DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO

3.1 ESPECIFICAÇÕES INTERNACIONAIS	30
3.2 NORMAS E ESPECIFICAÇÕES NACIONAIS	33
3.3 ESPECIFICAÇÃO PARA A PRODUÇÃO DE DADOS	35

CAPÍTULO IV ANÁLISE DE REQUISITOS PARA A DOCUMENTAÇÃO FOTOGRAMÉTRICA DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO

4.1 CONTROLE DE QUALIDADE	41
4.1.1 Acurácia posicional ou geométrica para modelos classe A	42
4.1.2 Consistência lógica para modelos classe A e B	45
4.1.3 Completude para modelos classe A e B	46
4.2 AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DOS DADOS	47
4.2.1 Escolha da câmara	47
4.2.2 Aquisição	54

4.2.3 Orientação interior.....	57
4.2.4 Orientação exterior	67
4.2.5 Modelagem	71

CAPÍTULO V ESTUDOS DE CASO

5.1 ESTAÇÃO FERROVIÁRIA PRESIDENTE PRUDENTE	80
5.1.1 Informações descritivas do patrimônio arquitetônico – Estação Ferroviária	80
5.1.2 Desenvolvimento do modelo do patrimônio arquitetônico – Estação ferroviária	82
5.2 Edificação Vila Goulart.....	100
5.2.1 Informações descritivas do patrimônio arquitetônico - centro histórico	101
5.2.2 Desenvolvimento do modelo do patrimônio arquitetônico – Edificação Vila Goulart	103
5.3 Monumento à Prudente de Moraes	111
5.3.1 Informações descritivas do patrimônio arquitetônico – Estátua Prudente de Moraes. ..	112
5.3.2 Desenvolvimento do modelo do patrimônio arquitetônico – monumento à Prudente de Moraes.....	113
5.3.2.1 Aquisição das imagens	113
5.3.2.2 Modelagem tridimensional	114

CAPÍTULO VI CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 SÍNTESE.....	118
6.2 RECOMENDAÇÕES GERAIS.....	120
6.3 TRABALHOS FUTUROS	121
REFERÊNCIAS	122
APÊNDICE A	133
APÊNDICE B.....	134
APÊNDICE C.....	135

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O patrimônio cultural é uma herança comum, sendo consenso que, como tal, deva ser entregue em toda a sua riqueza e autenticidade às gerações futuras (ICOMOS, 1996). A importância da documentação é enfatizada pela perda de detalhes com o tempo e nos trabalhos de conservação, levando também à perda da integridade da evidência histórica.

Considerando a necessidade da salvaguarda, existem instituições de natureza internacional (*United Nation Educational, Scientific and Cultural Organization* - UNESCO - e *International COuncil of MOnuments and Sites* – ICOMOS), nacional (Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional - IPHAN), estadual (como por exemplo, o Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico de Minas Gerais - IEPHA/MG), e municipal (por exemplo, o Conselho de Defesa do Patrimônio Histórico, Artístico, Arqueológico de Presidente Prudente - COMUDEPHAAT), que coordenam o desenvolvimento de técnicas, princípios, políticas e instrumentos de preservação, proteção e reabilitação do patrimônio cultural.

Os instrumentos de preservação - inventário, fiscalização e vigilância, tombamento, acervos iconográfico e fotogramétrico, dentre outras formas de acautelamento (BRASIL, 1988) - devem ser estudados para cumprir suas funções sociais, fortalecendo a identidade do país e garantindo o direito à memória.

O patrimônio cultural cinge em si, diversas manifestações – imaterial ou material - e como consequência, várias possibilidades de documentação. Delimitando para o patrimônio arquitetônico (P.A.), uma das formas mais utilizadas para documentar é a modelagem.

Para modelar um objeto é necessário conhecer informações prévias sobre este, como por exemplo, coordenadas tridimensionais, distâncias e a delimitação da fronteira. Uma possibilidade para obter dados sobre o objeto indiretamente é através das técnicas fotogramétricas. Segundo o ICOMOS (CIPA, 1981) a documentação fotogramétrica justifica-se com:

“A necessidade de uma base documental sólida para o estudo e a conservação dos monumentos (CIPA, 1981, p.5, tradução nossa).”

“A certeza que, em alguns casos, em particular em monumentos grandes e complexos, não existe outra alternativa de levantamento além da Fotogrametria, assim o levantamento será feito por esse método ou não o será (CIPA, 1981, p.5, tradução nossa).”

“A obrigação de pensar no futuro, necessária para superar os usos imediatistas, considerando o levantamento no contexto de uma documentação geral, assegurando que o conteúdo e a qualidade do levantamento forneça pelo menos o mínimo de informações indispensáveis que são esperadas em um levantamento arquitetural (CIPA, 1981, p.5, tradução nossa).”

Nos últimos anos, o interesse em pesquisas sobre as aplicações da modelagem com técnicas fotogramétricas aumentou consideravelmente, inclusive no que se refere à documentação do patrimônio arquitetônico (documentação fotogramétrica). No entanto, ainda há espaço para realizar muitos estudos sobre estes métodos. Muitos usuários em potencial não possuem total conhecimento das técnicas de modelagem, dos processos fotogramétricos e dos resultados e custos esperados (YILMAZ *et al.*, 2007; GUARNIERI *et al.*, 2010). Uma das dificuldades é a falta de especificações completas e atuais que auxiliem o usuário no desenvolvimento do projeto (NING *et al.*, 2011).

1.2 DELIMITAÇÃO DO ASSUNTO

O ICOMOS sugere os processos e produtos necessários para a documentação do patrimônio arquitetônico, dentre eles o uso de técnicas fotogramétricas, apresentando também exigências quanto à qualidade da documentação fotogramétrica (CIPA, 1981). Porém não são claras as definições de requisitos direcionados aos processos inteiramente digitais (NING *et al.*, 2011), sendo a falta de atualização e divulgação das especificações existentes um agravante na documentação dos bens patrimoniais. Nesse sentido, observa-se que apesar da importância da documentação fotogramétrica, ainda existem poucos requisitos para a análise da qualidade geométrica dos modelos desenvolvidos por Fotogrametria com tecnologias digitais.

Dentre as especificações internacionais destacam-se: o *Advice and Suggestions for the furtherance of Optimum Practice in Architectural Photogrammetry Surveys* (AS-OPAP; CIPA, 1981), as regras 3x3 (WALDHAEUSL e OGLEBY, 1994), o *Metric Survey Specification for Cultural Heritage* - MSSCH - (BRYAN *et al.*, 2009) e o *Historic American Building Survey* (HABS; NATIONAL PARK SERVICE, 2004).

No Brasil existem algumas normas e especificações neste tema (ABNT, 2001; GOMIDE *et al.*, 2005; IEPHA/MG, 2012). Contudo estas não abrangem a totalidade do assunto, como a aplicação das técnicas fotogramétricas na documentação dos bens arquitetônicos.

Ademais, é importante considerar a dificuldade na atualização dessas especificações diante do rápido desenvolvimento tecnológico. A maioria desses trabalhos foi desenvolvida antes dos recentes avanços, principalmente com relação às evoluções das câmaras digitais.

Essa preocupação tem sido exposta pela Sociedade Internacional de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto (ISPRS, Comissão V), pelo *International Committee of Architectural Photogrammetry* (CIPA) e em seminários internacionais como o Seminário internacional sobre a documentação do Patrimônio Arquitetônico com o uso de tecnologias digitais (ArqDoc), que incentivam iniciativas de padronizações por parte da comunidade, tendo em vista a necessidade da documentação de qualidade do patrimônio arquitetônico, como ferramenta para as operações de preservação, intervenção e divulgação para a sociedade.

O caminho para a padronização da documentação do patrimônio arquitetônico é longo, pois, cada patrimônio tem sua unicidade, e essa heterogeneidade permite que a documentação envolva muitas técnicas, processos, procedimentos e requisitos. Dentro dessa problemática, o cerne da pesquisa é a análise de requisitos para a documentação fotogramétrica dos bens arquitetônicos, visando divulgar os processos de modelagem com técnicas fotogramétricas como forma legítima de preservação.

1.3 OBJETIVO GERAL

Investigar os problemas na documentação fotogramétrica do patrimônio arquitetônico com ênfase na qualidade geométrica, e sugerir atualizações nas especificações atuais, a partir da elaboração de uma proposta de especificação técnica para a documentação fotogramétrica do patrimônio arquitetônico, baseada na análise experimental de requisitos e em estudos de caso, o que contribuirá para o desenvolvimento de especificações a nível nacional e no aperfeiçoamento dos modelos gerados por Fotogrametria.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar as normas e especificações existentes, investigar as principais lacunas, com ênfase na utilização de sensores ópticos passivos digitais, e estudar as informações necessárias para complementá-las;
- Investigar os processos fotogramétricos intermediários para a modelagem do patrimônio edificado e estimar a precisão necessária em cada processo;
- Determinar os principais problemas na modelagem utilizando técnicas fotogramétricas e sugerir procedimentos para minimizar seus efeitos na qualidade do modelo final;
- Elaborar uma especificação para auxiliar o desenvolvimento da documentação fotogramétrica;
- Analisar a viabilidade da especificação elaborada através dos estudos de caso.

1.5 JUSTIFICATIVA

Percursora das recomendações para a documentação, a Carta de Veneza (1964), recomenda que os trabalhos de conservação, restauro e manutenção do patrimônio sejam sempre acompanhados de uma documentação precisa (ICOMOS, 1995). Uma alternativa é a documentação fotogramétrica do patrimônio arquitetônico.

O uso da Fotogrametria como ferramenta para a documentação do patrimônio ganhou evidência em 1987, na VIII Assembleia Geral do ICOMOS, reunida em Washington, onde foi aprovada a Resolução nº 2 apresentada pelo CIPA, que recomenda aos países-membros - isto inclui o Brasil - a constituição do arquivo fotogramétrico de seus monumentos e sítios (ICOMOS, 2000).

Embora essa recomendação tenha se tornado oficial apenas no século XX, no século anterior Meydenbauer já havia constituído o primeiro arquivo fotogramétrico (1885). Os trabalhos realizados pelo arquiteto foram utilizados para reconstruir boa parte do patrimônio alemão e austríaco após as guerras mundiais, o que mostrou a relevância deste tipo de documentação (ALBERTZ, 2001). A narrativa histórica detalhada das evoluções da fotogrametria arquitetural até o desenvolvimento do CIPA pode ser consultada em Carbonnell e Dallas (1985).

A documentação do patrimônio, no Brasil, passou a ter base legal somente com a inclusão na Constituição Federal em 1988 (BRASIL, 1988), porém, as recomendações do ICOMOS de outrora pouco foram consideradas, não existindo legislações ou normas brasileiras que assegurem a qualidade dos arquivos fotogramétricos (VIEIRA *et al.*, 2012). Embora existam várias iniciativas de realização de projetos, que valorizem o patrimônio nacional, não existem propostas de especificações para o levantamento fotogramétrico. Mesmo na Europa, que possui grande tradição no registro do patrimônio arquitetônico, são identificadas algumas especificações direcionadas para a documentação fotogramétrica, mas poucas padronizações entre elas (CIPA, 1981; BARBER *et al.*, 2003; BRYAN *et al.*, 2004; BRYAN *et al.*, 2009).

A discussão procede em função da descontinuidade normativa e legislativa, quando comparadas às recomendações atuais de nível nacional e internacional, que motivam a elaboração desta pesquisa.

A declaração de Curitiba (2009) incentiva a elaboração de processos teóricos e metodológicos de preservação do patrimônio, fundamentado na pesquisa científica, afirmando a necessidade de participação das universidades e estudos que atendam às demandas da conservação dos bens culturais (ICOMOS BRASIL, 2009).

A ISPRS (comissão V) recomenda aos pesquisadores e demais profissionais da área que sejam feitos esforços para o desenvolvimento de metodologias, tecnologias e produtos para suportar as atividades da arqueologia, da arquitetura e da conservação, destacando o uso da Fotogrametria.

A carta de Londres também afirma que, a forma de documentar permite o acesso à informação não viável por outros meios, sendo que um método documental deve ser tornado o mais compreensível possível para uma dada comunidade (MATEUS, 2012). Logo, recomenda-se que as estratégias de documentação considerem mecanismos de avaliação e comparação entre as diversas modalidades, de modo a detectar eventuais problemas e limitações.

Diante deste cenário, justifica-se a necessidade de uma especificação nacional voltada para a análise de qualidade da documentação fotogramétrica com processos digitais, fornecendo subsídios para o desenvolvimento normativo, a transferência de conhecimentos sobre a técnica, a comparação com outros métodos de documentação e o auxílio na aplicação do método documental pelos usuários. A Seção 1.6 traz uma visão geral da metodologia envolvida no processo de elaboração e análise desta especificação.

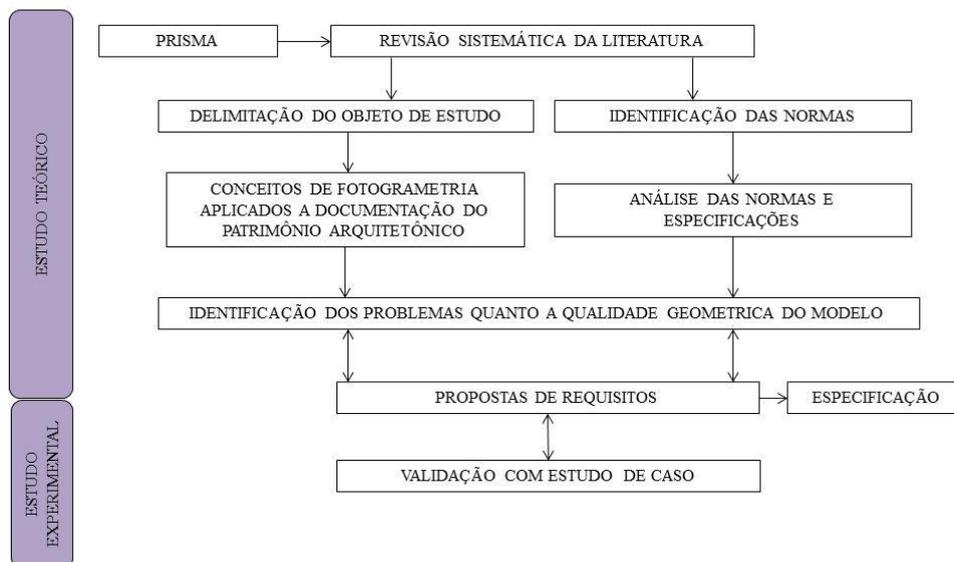
1.6 ASPECTOS GERAIS DA METODOLOGIA

A metodologia desta pesquisa envolve um processo iterativo entre o estudo teórico (fundamentação teórica e discussão) e o estudo experimental (aplicações práticas e análises dos experimentos), ver Figura 1.

O estudo teórico foi realizado considerando duas vertentes de investigação: as especificações relacionadas à documentação fotogramétrica e os conceitos de patrimônio arquitetônico e Fotogrametria aplicada à sua documentação. O propósito desta etapa foi de identificar as principais lacunas das especificações atuais, com ênfase na análise da qualidade geométrica, e subsidiar a fundamentação teórica necessária para a elaboração de uma especificação para a documentação fotogramétrica do patrimônio arquitetônico (produto final dessa dissertação). Mais detalhes do estudo teórico são descritos na Seção 1.6.1.

O estudo experimental complementa as análises para a definição dos requisitos e a validação da especificação desenvolvida (Seção 1.6.2).

Figura 1- Resumo da metodologia.



1.6.1 Estudo Teórico

Pressupondo uma especificação completa para a documentação do patrimônio cultural, esta abordaria muitos requisitos que orientariam desde a escolha do instrumento de aquisição de dados até as possibilidades de registro de acordo com a natureza do patrimônio. Como o patrimônio cultural está relacionado a uma diversidade de conceitos,

que incluem, por exemplo, patrimônios imateriais, existem diversas técnicas de documentação que envolvem materiais e métodos distintos. Assim, para garantir a viabilidade dessa dissertação, a primeira etapa consistiu na delimitação do objeto de estudo e do método de documentação.

Diante da necessidade de preservação do patrimônio edificado, em resposta à desvalorização da Arquitetura como representação da história; da extensa aplicação da modelagem com técnicas fotogramétricas como forma de documentação dessas estruturas e da necessidade de atualização das especificações nesse tema, em vista dos avanços tecnológicos; limitou-se o objeto de estudo à análise de requisitos para a documentação do patrimônio arquitetônico através da modelagem com técnicas fotogramétricas.

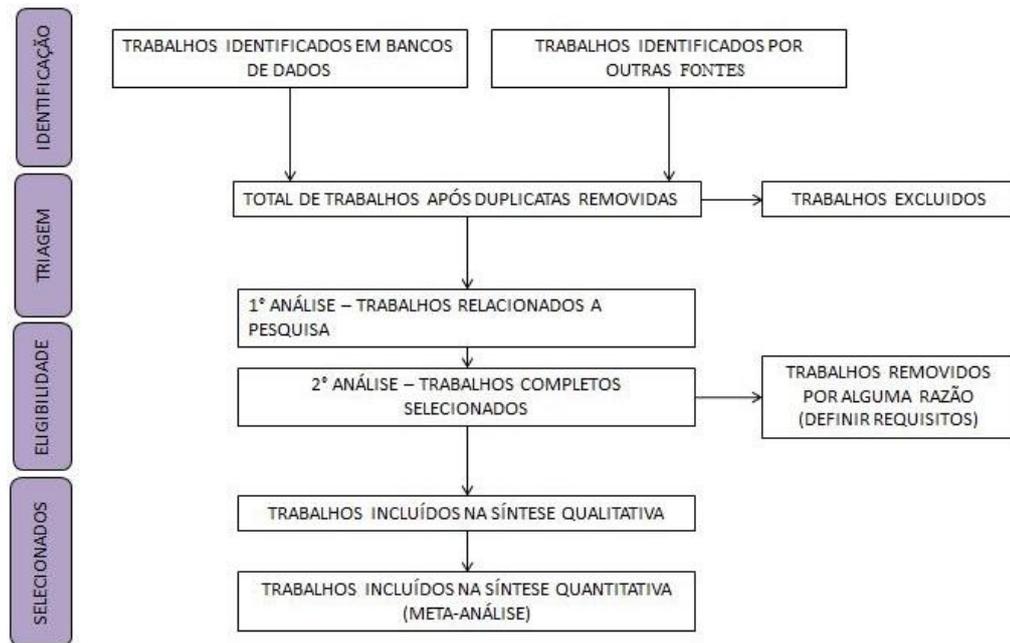
Portanto, o objeto de estudo é o patrimônio arquitetônico (Seção 2.1) e o método documental investigado é a documentação fotogramétrica (Seção 2.2). Ressalta-se, que a documentação completa do patrimônio arquitetônico envolve dados geométricos e radiométricos, levantamentos históricos, inventários patrimoniais, dentre outras informações, contudo o foco principal deste trabalho será na qualidade geométrica dos modelos.

A revisão dos principais conceitos desta vertente do estudo teórico, relacionados ao objeto de estudo e o método documental, encontra-se no Capítulo II. Devido à diversidade de temas envolvidos destaca-se o esforço de síntese na abordagem dos conceitos, principalmente daqueles consagrados na literatura, os quais podem ser encontrados com mais detalhes nas referências indicadas.

Existe um grande número de publicações direcionadas ao uso da Fotogrametria como suporte às atividades de documentação do patrimônio arquitetônico. Como já mencionado, as pesquisas nesse tema foram iniciadas por Albrecht Meydenbauer em 1885 e são incentivadas atualmente pela ISPRS, e por essa razão adotou-se um método de revisão sistemática da literatura.

A estratégia de investigação, nas duas vertentes, baseia-se na metodologia *Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analyses* (PRISMA). A Figura 2 apresenta um fluxograma que resume a metodologia PRISMA (MOHER *et al.*, 2009).

Figura 2 - Metodologia PRISMA.



Fonte: Adaptado de MOHER *et al.*, 2009.

A outra vertente teórica está relacionada à identificação das normas e especificações, internacionais, internacionais locais e nacionais, que apoiam a documentação fotogramétrica (Seção 3.1 e 3.2). A seleção das especificações nacionais e internacionais mais relevantes foi realizada aplicando a metodologia PRISMA. Para a análise de qualidade das mesmas considerou-se o quesito completude utilizando como referência a ISO 19131 (*Data production specification*) (Seção 3.3).

As orientações da ISO 19131 também foram utilizadas para a elaboração da especificação. As normas e especificações para a documentação fotogramétrica do patrimônio arquitetônico são discutidas no Capítulo III, assim como os detalhes sobre a produção da especificação (estrutura).

Os requisitos que compõem a especificação para a documentação fotogramétrica (conteúdo) foram desenvolvidos fundamentados nos estudos teóricos e experimentais, na revisão bibliográfica das experiências apresentadas em diversos trabalhos, - em que o objetivo era a documentação fotogramétrica do patrimônio arquitetônico - e nas experiências práticas adquiridas durante os estudos de caso desenvolvidos nesta pesquisa. O Capítulo IV discorre sobre os requisitos para a documentação fotogramétrica do patrimônio arquitetônico que compõem a especificação desenvolvida neste trabalho.

1.6.2 Estudo Experimental

O estudo experimental é composto pela produção e análise dos resultados dos estudos de caso desenvolvidos seguindo as orientações da especificação técnica para documentação fotogramétrica do patrimônio arquitetônico (ET/DOC-FOPARQ). O principal propósito dos estudos de caso é validar a especificação.

Para os estudos de caso, identificou-se um conjunto de edificações e monumentos relacionados à identidade cultural da cidade de Presidente Prudente, originais da década de 40. A seleção das edificações considerou os estudos de caso de alta acurácia (estação ferroviária de Presidente Prudente e fachada de edificação da década de 40) e baixa acurácia (Estátua de Prudente de Moraes), cuja qualidade está relacionada com a finalidade da documentação. Para o processamento dos dados foram utilizados três programas com diferentes níveis de controle do processamento (*Leica Photogrammetry Suite*, *PhotoModeler Scanner* – EOS SYSTEM e Autodesk 123 *Catch*).

Se os resultados obtidos nos estudos de caso atenderem aos requisitos propostos na especificação, se aprova a mesma. Caso contrário, retorna-se ao estudo teórico para melhorar os requisitos falhos até que estes sejam viáveis. Os estudos de caso e as respectivas análises compõem o Capítulo V.

CAPÍTULO II

CONCEITOS DE PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO E FOTOGRAMETRIA APLICADA À DOCUMENTAÇÃO

2.1 PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO

Segundo a convenção para a proteção do patrimônio mundial, cultural e natural (UNESCO; FRANÇA, 1972), artigo 1º, o termo patrimônio cultural material qualifica um monumento, conjunto de edifícios ou sítios de valor histórico, estético, arqueológico, científico, etnológico e antropológico. Esses três tipos de patrimônio subdividem-se nos seguintes elementos:

Monumentos: obras arquitetônicas, trabalhos de escultura e pintura monumentais, elementos ou estruturas de natureza arqueológica, inscrições, habitações rupestres e combinações de estilos, que sejam de valor universal incalculável do ponto de vista histórico, artístico e científico (FRANÇA, 1972, p. 20, tradução nossa).

Conjuntos de edifícios: grupos de edifícios, separados ou contíguos, que devido à sua arquitetura, homogeneidade e situação na paisagem sejam de um valor universal incalculável do ponto de vista histórico, artístico ou científico (FRANÇA, 1972, p. 20, tradução nossa).

Sítios: obras efetuadas pela mão do homem ou obras combinadas do homem e da natureza e zonas, incluindo sítios arqueológicos, que sejam de valor universal incalculável do ponto de vista histórico, estético, etnológico ou antropológico (FRANÇA, 1972, p. 20, tradução nossa).

A partir da definição e classificação, do patrimônio cultural material pela UNESCO, na convenção para a salvaguarda do patrimônio arquitetônico da Europa em 1985, concluiu-se que o termo patrimônio arquitetônico não representa apenas os monumentos mais famosos para a sociedade, mas também inclui todo conjunto de edifícios e monumentos, separados ou contíguos, no estado natural ou modificado pelo homem, de um valor incalculável do ponto de vista histórico, artístico ou científico para uma dada comunidade. Inclui-se, portanto, o conceito de conservação integrada. E assim entende-se o termo patrimônio arquitetônico quando utilizado neste trabalho.

Uma revisão completa sobre a evolução dos termos que definem o patrimônio cultural desde o tangível ao intangível, pode ser encontrada em Vecco (2010).

2.2 DOCUMENTAÇÃO FOTOGRAMÉTRICA

A documentação fotogramétrica do patrimônio arquitetônico corresponde ela própria a uma forma de preservação à medida que se procura representar um estado em que se encontra um objeto físico num determinado instante ou intervalo temporal (MATEUS, 2012). A documentação fotogramétrica, como forma legítima de salvaguarda e ferramenta nos processos de intervenção, é incentivada por vários autores (OLIVEIRA, 2008; STYLIANIDIS, PATIAS e QUINTERO, 2011; REMONDINO, 2011; AL-RUZOUQ, 2012; REMONDINO e CAMPANA, 2014).

Entende-se como documentação fotogramétrica do patrimônio arquitetônico, o registro não subjetivo do objeto físico, a partir da representação gráfica bidimensional ou/e tridimensional (modelo) desenvolvida por Fotogrametria, com a captura de informações geométrica e radiométrica que expressem o estado físico dos monumentos e edifícios, separados ou contíguos, no qual o armazenamento destes modelos, das imagens produzidas e das informações complementares à utilização dos dados (metadados) caracteriza um acervo fotogramétrico (CIPA, 1981; ICOMOS, 1996). Adota-se a definição de Fotogrametria proposta pela *American Society of Photogrammetry* (ASP) em 1979:

“Fotogrametria é a arte, ciência e tecnologia de obtenção de informações confiáveis sobre objetos físicos e o meio ambiente através de processos de gravação, medição e interpretação de imagens fotográficas e padrões de energia eletromagnética radiante e outras fontes” (THOMPSON e GRUNER, 1980, p. 1, tradução nossa).

A visualização das imagens aliada à parte gráfica dos modelos constitui uma documentação completa com informações geométrica e radiométrica. Viollet-Le-Duc (2007) afirma a importância da fotografia e de documentos precisos, por exemplo, a documentação fotogramétrica, como fonte de investigação científica para os projetos de restauração, nos quais:

“[...] é necessário, antes de começar, tudo buscar, tudo examinar, reunir os menores fragmentos tendo o cuidado de constatar o ponto onde foram descobertos, e somente iniciar a obra quando todos os remanescentes tiverem encontrado logicamente sua destinação e seu lugar” (VIOUET-LE-DUC, 2007, p.69).

Freitas *et al.* (2012) ressaltam a insuficiência das documentações habituais nos processos de tombamento e cadastro, como ferramenta nos processos de intervenção,

sugerindo o uso da documentação fotogramétrica. Para mais informações sobre as vantagens da Fotogrametria em aplicações arquiteturais, consultar Atkinson (1996).

Apesar da reconhecida importância da Fotogrametria na preservação do patrimônio arquitetônico, a maioria dos produtos realizados para a documentação fotogramétrica não são utilizados em projetos subsequentes em função do desconhecimento da qualidade destes produtos anteriores, o que caracteriza uma grande perda de informação, muitas vezes de qualidade, e recursos humanos, devido principalmente à falta da classificação quanto à qualidade e finalidade dos projetos. Amorim (2011) reafirma a importância da avaliação da qualidade da documentação e a necessidade de especificações que apóiem estes projetos.

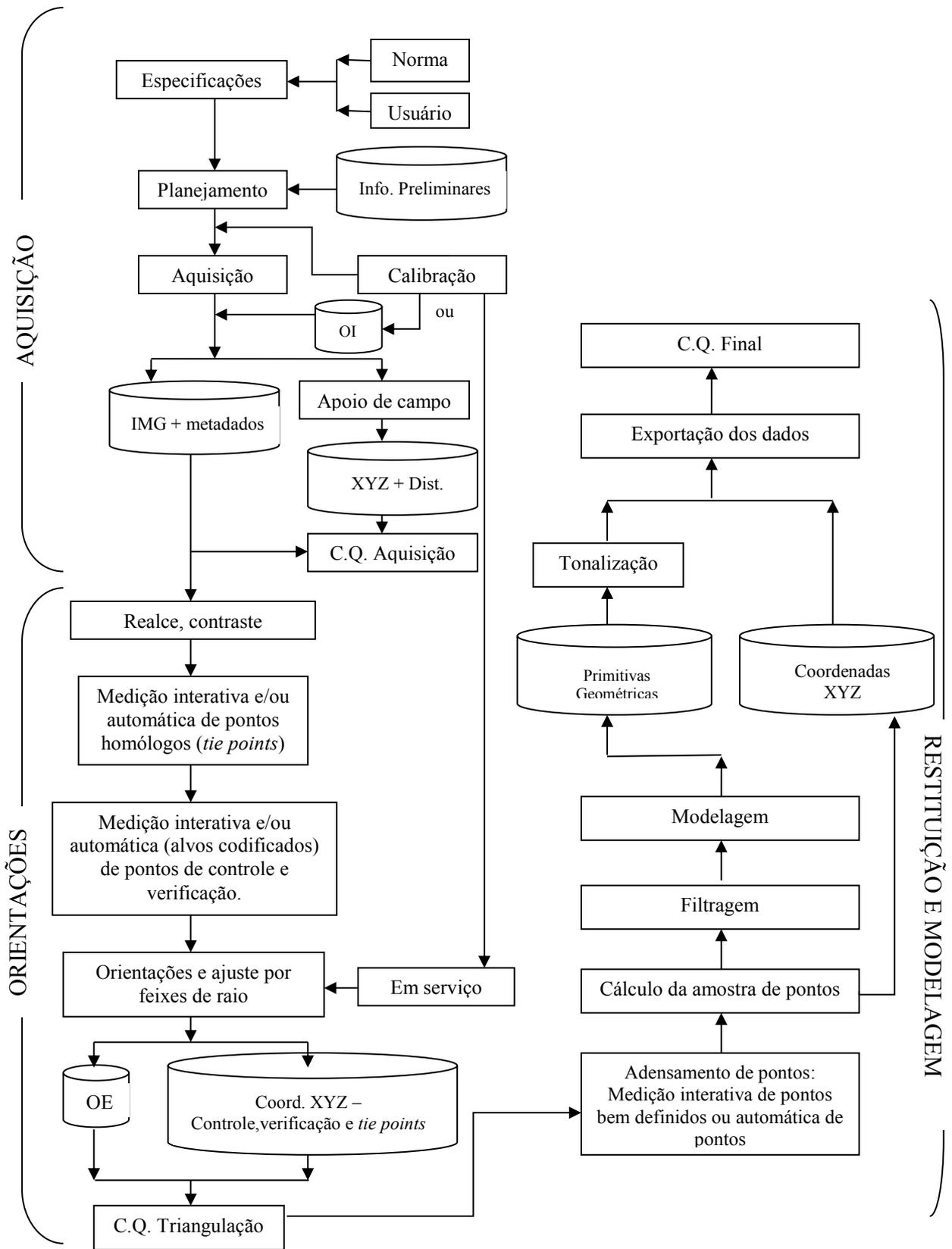
Outro ponto de discussão é a falta de conhecimento das técnicas fotogramétricas e das possibilidades atuais em razão dos avanços tecnológicos, que ainda sustenta a ideia equivocada de que a Fotogrametria é uma técnica de alto custo, que muitas vezes não compensa o benefício.

Os custos do projeto estão diretamente relacionados com a precisão que se deseja atingir para a documentação fotogramétrica e dependem da aplicação de uma metodologia eficaz (ATKINSON, 1996). As especificações são ferramentas de auxílio no planejamento do projeto, na análise de custo e na verificação da precisão atingida, sendo importante considerar as etapas principais do processo fotogramétrico para a documentação do patrimônio arquitetônico.

2.2.1 Etapas do processo fotogramétrico

A sequência de operações fotogramétricas para criar modelos é basicamente: planejamento, calibração da câmara, aquisição das imagens, processamento e realce das imagens, detecção de pontos, medição das coordenadas dos pontos de controle e verificação, orientações, detecção de erros, geração da malha, restituição das feições, visualização e análise (JAZAYERI e FRASER, 2013). Esta sequência pode ser incorporada para o controle de qualidade em três grandes etapas: aquisição dos dados, orientações e restituição ou modelagem (Figura 3).

Figura 3 - Etapas do processo fotogramétrico para a documentação do P.A.



Aquisição das imagens

A aquisição dos dados em Fotogrametria consiste na obtenção de informações geométricas, físicas, radiométricas, semânticas ou temporais, sobre as propriedades da superfície ou do objeto, através de imagens (THOMPSON e GRUNER, 1980). A posição espacial e a forma do objeto são as informações de maior interesse em Fotogrametria, denominada informação geométrica (SCHENK, 2005). A precisão do modelo final do P. A. está diretamente ligada à qualidade dos dados iniciais, no caso as imagens.

A qualidade geométrica das imagens está relacionada à posição das estações de aquisição, o enquadramento, o sensor e a direção da visada da câmara no momento da aquisição da imagem do objeto de interesse, neste caso, feições do patrimônio arquitetônico. As técnicas de aquisição mais utilizadas para este tipo de objeto são: a aquisição de uma única imagem (com informações geométricas adicionais, como um modelo digital de superfície), a aquisição do estéreo-par e a aquisição de múltiplas imagens. Mais detalhes sobre estas técnicas de aquisição são discutidos em Luhmann *et al.* (2006).

Com os avanços das tecnologias digitais, a qualidade radiométrica das imagens vem aumentando, principalmente em decorrência dos novos sensores e das técnicas de processamento de imagens. Segundo NOVO (1992), o sensor é um equipamento capaz de detectar, registrar e transformar radiação eletromagnética em sinal passível de conversão em informações sobre os objetos físicos ou o meio ambiente. Mais noções sobre a classificação dos sensores também podem ser consultadas em Moreira (2011).

Os sensores mais utilizados em trabalhos que envolvem a aquisição indireta de medidas do patrimônio arquitetônico para documentação são a câmara digital de quadro e o *scanner* LASER (REMONDINO, 2011). Os modelos gerados com o *scanner* LASER e por Fotogrametria com câmaras digitais (sensor óptico passivo), apresentam precisão compatível para aplicações arquiteturais (BÖEHLER, 2005; MATEUS, 2012; FASSI *et al.*, 2013). Embora, a precisão seja similar na maioria das aplicações, a varredura a LASER possui maiores custos e complexidade de processamento.

Pondera-se que esta pesquisa contempla requisitos apenas para análise de modelos do P.A. desenvolvidos com o uso de sensores ópticos passivos (câmaras), cabendo destacar: o baixo custo, o fácil acesso e as recentes evoluções digitais das câmaras. Faz-se necessário a conceituação deste sensor.

A câmara é definida como uma caixa ausente de luz, na qual a imagem de um objeto exterior é projetada no seu interior, através de um orifício ou conjunto de lentes,

que permite a passagem dos feixes de raios, que sensibilizam o material fotossensível (THOMPSON e GRUNER, 1980). As câmaras digitais são basicamente compostas por um conjunto de lentes, obturador (que controla o tempo de exposição) e diafragma (que controla a abertura), um dispositivo CCD (*Charge Coupled Device*) ou CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*), processadores e uma memória de armazenamento (HOLST e LOMHEIM, 2011). Vários autores apresentam conceitos relacionados às câmaras e fundamentos de óptica fotogramétrica (THOMPSON e GRUNER, 1980; ANDRADE, 1998; WOLF e DEWITT, 2000; MIKHAIL *et al.*, 2001).

Para realizar medidas confiáveis nas imagens deve-se corrigi-las das distorções das lentes e orientá-las segundo um referencial, o que ocorre no processo de orientações (orientação interior e orientação exterior).

Orientação interior

A acurácia na determinação dos parâmetros de orientação interior (POI) de cada câmara e sua confiabilidade são fundamentais em Fotogrametria, pois possibilita a correção adequada dos erros sistemáticos das medidas no espaço imagem, que afetam a precisão dos processos fotogramétricos posteriores, como ortoimagens, Modelos Digitais de Terreno (MDT), modelos paramétricos de objetos, dentre outros (GALO *et al.*, 2008).

Os parâmetros de orientação interior ou parâmetros intrínsecos definem as características internas de uma câmara e permitem reconstruir analiticamente o feixe de raios formador da imagem. O conjunto de parâmetros mais empregado consiste em: distância focal, coordenadas do ponto principal, coeficientes de distorção radial simétrica, distorção descentrada e afinidade (BROWN, 1971; MONIWA, 1972; HABIB e MORGAN, 2003).

Os POI são obtidos no processo de calibração de câmaras (ANDRADE, 1998). A calibração possibilita a análise do desempenho e da estabilidade da lente e a determinação dos parâmetros ópticos e geométricos (FRYER, 1996). Desde 1910, a calibração de câmaras vem sendo o objetivo de várias pesquisas. Alguns autores descrevem a evolução dos equipamentos e métodos para calibração ao longo dos anos (CLARKE e FRYER, 1998; BOLAND, 2000; CRAMER, 2004; MERCHANT, 2012).

Dentre as possibilidades de calibração desenvolvidas destacam-se os métodos de calibração de campo e o desenvolvimento do modelo de Conrady-Brown (CONRADY, 1919; EISENHART, 1963; BROWN, 1966; BROWN, 1971).

Os métodos de campo permitem que todos os parâmetros sejam recuperados simultaneamente no processo de calibração, sendo requisito a superabundância de observações, o que torna possível um controle estatístico rigoroso no processo (ANDRADE, 1998). O modelo funcional básico consiste nas equações de colinearidade com a adição dos modelos paramétricos dos efeitos das distorções radial simétrica e descentrada e da afinidade (FRYER, 1996; ANDRADE, 1998). O modelo de colinearidade baseia-se na condição geométrica de alinhamento entre um ponto no espaço objeto, seu respectivo ponto imagem e o centro perspectivo da câmara (WOLF e DEWITT, 2000).

Os diversos estudos relacionados à calibração de campo permitiram o desenvolvimento de variantes desse método, como por exemplo, o método de calibração *plumb line* (BROWN, 1971), o método dos campos mistos (MERCHANT, 1979; ANDRADE e OLIVAS, 1981), autocalibração (EBNER, 1976; BROWN, 1989; FRYER 1996), câmaras convergentes (KENEFFICK *et al.*, 1974), métodos de campo tridimensional (CÔRTEZ, 2010, FRASER, 2013; MORAES *et al.*, 2013) e bidimensional (MERCHANT, 1979), dentre outros.

Com o desenvolvimento da Fotogrametria Digital e a automação de alguns processos, surgiram novas possibilidades de calibração que facilitaram sua aplicação, como a identificação de alvos e a medição das coordenadas no espaço imagem automaticamente (SILVA *et al.*, 2012). O desenvolvimento digital também incentivou novas pesquisas no assunto, sendo um ponto de discussão na comunidade científica, enfatizando a importância da calibração para aumentar a exatidão dos processos (MITISHITA e OLIVAS, 2001; TELLES e TOMMASELLI, 2005; BAZAN *et al.*, 2009; DEBIASI *et al.*, 2012; MITISHITA *et al.*, 2012).

Orientação exterior

Enquanto a orientação interior permite obter as características internas da câmara, a orientação exterior permite relacionar o referencial do espaço imagem (sistema fotogramétrico) com o referencial do espaço objeto, sendo, portanto, uma das etapas de maior interesse em Fotogrametria.

A orientação exterior (OE) consiste na recuperação da posição do centro perspectivo (X_0, Y_0, Z_0) e dos ângulos de atitude (ω, φ, κ) da câmara no momento da tomada de cada foto, segundo um referencial terrestre (ANDRADE, 1998; SCHENK, 2005; WOLF e DEWITT, 2000). Os parâmetros de orientação exterior podem ser obtidos de forma direta (GNSS/ IMU ou processos topográficos) ou indireta (Resseção, Fototriangulação).

A estimação dos POE diretamente é possível através de métodos topográficos ou do uso do GNSS para a posição e Unidade de Medida Inercial (IMU) para a atitude. No entanto, principalmente para aplicações de alta precisão, como para a documentação fotogramétrica, essa determinação é complexa, requer um planejamento detalhado, equipamentos de alta acurácia e procedimentos rigorosos, o que aumenta os custos do projeto e na maioria das vezes torna-se inviável.

Um dos problemas na obtenção direta da posição do centro perspectivo referenciada a um sistema global (WGS84, SIRGAS 2000, entre outros) pelo GNSS é mensurar o *lever arm* com precisão compatível com a aplicação, o que requer a marcação física do ponto nodal, medição direta ou indireta do *lever arm*, centragem, nivelamento da câmara, dentre outros procedimentos. Além disso, a acurácia atingida com o GNSS normalmente é centimétrica, salvo em levantamentos rigorosos no método relativo estático que podem atingir acurácia milimétrica (MONICO, 2008), considerando antenas calibradas, longos períodos de coleta, mitigação do multicaminho, dentre outros fatores, que torna o processo oneroso para o usuário não especialista. Ainda mais complexo, seria determinar diretamente, e com precisão adequada, a atitude da câmara.

Logo, a orientação direta ainda não apresenta ganho nesse tipo de aplicação comparada à indireta. No entanto, é possível usar os processos de medição direta para obter coordenadas do centro perspectivo (CP) que podem ser utilizadas como iniciais para o cálculo indireto dos parâmetros de orientação exterior.

A determinação com alta precisão, das coordenadas do CP e da atitude da câmara, pode ser realizada indiretamente a partir de técnicas fotogramétricas, sendo que a mais utilizada é a Fototriangulação (LUGNANI, 1987; ANDRADE, 1998; WOLF e DEWITT, 2000).

Segundo Lugnani (1987) a fototriangulação é um método fotogramétrico para a determinação dos POE e das coordenadas dos pontos no espaço objeto - denominados pontos fotogramétricos - através da relação geométrica de fotos adjacentes devidamente tomadas, de um esparso controle de campo e de um conjunto de valores aproximados de parâmetros.

O modelo matemático para a fototriangulação baseia-se nas equações projetivas, sendo o modelo de colinearidade o mais utilizado para relacionar o espaço imagem com o espaço objeto, aliado aos métodos de ajustamento em bloco por feixes de raios com ou sem injuções (funcional, relativa ou absoluta). Andrade (1998) traz uma descrição completa do modelo matemático e da detecção dos erros no processo de fototriangulação.

Ademais, em termos econômicos, a fototriangulação em bloco proporciona uma redução significativa na quantidade de pontos a serem levantados em campo, à medida que se considera os pontos fotogramétricos. Sem este método seriam necessários no mínimo 2 pontos de controle planimétricos, 3 pontos de controle altimétricos e pontos de verificação para cada modelo estereoscópico (MIKHAIL *et al.*, 2001).

Com as imagens devidamente orientadas é possível através destas, modelar as feições do patrimônio arquitetônico, a partir de métodos como a restituição de feições ou a vetorização sobre uma ortoimagem (LUHMANN *et al.*, 2006).

Modelagem

A modelagem, em suas diversas técnicas, consiste na reprodução fidedigna de um objeto ou superfície, em um espaço bidimensional ou tridimensional, com alto nível de detalhamento e alta complexidade ou com um nível reduzido de detalhes caracterizado pela simplicidade (WATT, 2000; SCHNEIDER e EBERLY, 2003; SALOMON, 2006).

O produto do processo de modelagem é denominado como modelo. Em virtude da diversidade de técnicas de modelagem e produtos desse processo, limita-se neste trabalho, o termo modelo à representação gráfica do objeto ou superfície de interesse.

A complexidade do projeto para a documentação fotogramétrica é proporcional à complexidade da estrutura a ser representada. É importante que a técnica de modelagem utilizada satisfaça aos requisitos básicos para a documentação, garantindo representação o mais fiel possível da arquitetura da época, fronteiras da representação bem definidas, detalhamento compatível com a complexidade do patrimônio, modelos homogêneos e contínuos e, possibilidades de arquivamento simples e duráveis.

O controle de qualidade da modelagem baseia-se em dois tipos de informação: geometria espacial e topologia, que possibilitam a representação do modelo. A geometria espacial consiste nas informações sobre área, perímetro e forma, enquanto a topologia permite estabelecer a coerência entre a vizinhança, considerando fatores como: pertinência, conectividade e contiguidade (HOFFMANN, 1989).

Por muitos anos o objetivo da Cartografia convencional foi representar o mundo tridimensional no espaço 2D através das primitivas geométricas ponto, linha e polígono. A modelagem 2D consiste em compor sobre uma superfície plana bidimensional a representação de um volume tridimensional com recursos dos sistemas de geometria descritiva e projetiva para transpor um objeto de três para duas dimensões (SAINZ, 1994).

Com os avanços da tecnologia digital foram desenvolvidas outras ferramentas para a representação gráfica de objetos, principalmente utilizando primitivas 3D, sendo este um novo paradigma para a representação moderna.

Apesar da evolução das técnicas de computação gráfica, os modelos 2D ainda são os mais utilizados para a documentação do patrimônio arquitetônico. A modelagem 2D é relativamente mais simples quando comparada à 3D, exige menos capacidade computacional, produz arquivos mais compactos e pode ser revertida em modelos analógicos a partir da impressão gráfica (MATEUS, 2012). Outra preocupação, com relação aos modelos 3D é a durabilidade destes arquivos e a possibilidade de compatibilizar formatos, sendo motivo de discussões quanto à modernização da forma de arquivamento da documentação sobre o P.A. (CONARQ, 2009).

Em contra partida, a modelagem 3D apresenta vantagens, principalmente no que concerne à visualização do objeto de qualquer ponto de vista com domínio volumétrico total sobre o modelo (WATT, 2000; REMONDINO e EL-HAKIN, 2006).

Os métodos mais utilizados na documentação fotogramétrica para a reconstrução do objeto são a restituição de feições (ANDRADE, 1998) e a vetorização sobre ortoimagens (WOLF e DEWITT, 2000).

Destacam-se também outros métodos de modelagem como a Geometria sólida construtiva (TORI *et al.*, 1987), a representação por fronteira ou B-rep (MANTYLA, 1988) e a decomposição ou particionamento espacial (FOLEY *et al.*, 1990).

CAPÍTULO III

NORMAS E ESPECIFICAÇÕES PARA A DOCUMENTAÇÃO FOTOGRAMÉTRICA DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO

3.1 ESPECIFICAÇÕES INTERNACIONAIS

A primeira iniciativa oficial de especificação para os levantamentos fotogramétricos do patrimônio arquitetônico adveio dos esforços do CIPA, na década de 80, que percebeu a necessidade de refletir sobre a qualidade da documentação produzida com técnicas fotogramétricas e disponibilizar requisitos que orientassem o desenvolvimento dos projetos. Assim, no sexto simpósio internacional do CIPA, especialistas em Fotogrametria Arquitetural se reuniram para elaborar o *Advice and Suggestions for the furtherance of Optimum Practice in Architectural Photogrammetry Surveys* - AD-OPAP -(CIPA 1981).

A principal contribuição dessa especificação é a recomendação quanto à qualidade da documentação fotogramétrica em função da precisão gráfica e da escala de representação, considerando a análise das precisões absoluta e relativa.

Publicado pela UNESCO, o AD-OPAP foi utilizado como referência principal no desenvolvimento deste trabalho. Embora esta especificação seja reconhecida internacionalmente ressalta-se o problema da atualização das especificações à medida que surgem novas tecnologias. Na Fotogrametria destaca-se o rápido desenvolvimento das câmaras digitais, sendo necessário o aperfeiçoamento dos requisitos.

Além disso, discute-se a importância do controle de qualidade nas etapas do processo fotogramétrico, o que demanda a análise de requisitos específicos para a aquisição, à orientação (interior e exterior) e a modelagem. As principais lacunas desta especificação são discutidas na Sessão 2.3.

Uma década depois, Waldhaeusl e Ogleby (1994) apresentaram as conhecidas “Regras 3x3”, com novas recomendações para os levantamentos fotogramétricos, principalmente para a restituição de fachadas e edificações. Subdivididas em três vertentes - regras geométricas (informações de controle e disposição geométrica das fotografias); fotográficas (orientação da câmara, iluminação homogênea e características da câmara e do filme) e organizacionais (protocolos, relatórios e controle de qualidade final) - as regras 3x3 foram utilizadas em muitos trabalhos, como orientação para o desenvolvimento de projetos para a documentação fotogramétrica (GOMES *et al.*, 1999; ERWES *et al.*, 2011; SINGH *et al.*, 2013). Embora esta iniciativa preconize recomendações um pouco mais específicas para

as etapas dos processos fotogramétricos, assim como o AD-OPAP, a “Regras 3x3” apresenta muitos requisitos voltados para câmaras analógicas.

Atualmente, é consenso, em todas as áreas de ciência e tecnologia, que as especificações são fundamentais no desenvolvimento dos projetos e na análise da qualidade dos produtos (ISO, 2014). O novo período tecnológico digital deu origem também a novas ações e discussões. Nesse contexto aponta-se o desenvolvimento de padrões internacionais relevantes, como, o *Accuracy Standards for Digital Geospatial Data* (ASPRS) e a ISO para informações geográficas (Série 19100).

No que concerne à conservação do patrimônio arquitetônico reviveu-se o espírito da Carta de Veneza, com a possibilidade de divulgar e preservar os conhecimentos sobre a Arquitetura, a Arqueologia e a história do patrimônio cultural a partir do uso das tecnologias digitais.

O *International Heritage Documentation Standards* (IHDS) traz uma discussão preliminar sobre a padronização internacional da documentação do patrimônio com tecnologias digitais (NING *et al.*, 2011). Entretanto o IHDS observa a dificuldade da padronização mundial devido às características únicas de cada obra e a diferença cultural, política e legislativa de cada país.

A especificação de caráter nacional pode ser mais adequada às características de cada nação, além de permitir a compreensão plena dos usuários em razão da utilização da língua oficial do país. Nesse sentido as especificações nacionais de outros países são denominadas ao longo do texto como “especificações internacionais locais” enquanto que, para as especificações nacionais do Brasil, utiliza-se a terminologia “especificações nacionais”.

Como o objetivo é contribuir para o desenvolvimento de requisitos para a documentação fotogramétrica do patrimônio arquitetônico a nível nacional, foram identificadas algumas especificações internacionais locais (Inglaterra, Estados Unidos, Canadá, França e Espanha) para a documentação fotogramétrica, que são utilizadas como diretrizes pelas instituições responsáveis pela valorização, conservação, monitoramento e documentação do patrimônio arquitetônico de cada país.

Especificações internacionais locais

O *English Heritage* (EH) é um órgão do governo inglês responsável pelo patrimônio cultural da Inglaterra. Com um acervo de mais de 12 milhões de fotografias, o EH

possui a documentação de mais de 500 mil objetos, incluindo desde diários de Charles Darwin até Stonehenge e a Muralha de Hardrian. Com a experiência nos levantamentos fotogramétricos dos bens arquitetônicos, a instituição inglesa, identificou a necessidade de uma especificação para a elaboração dos projetos de documentação fotogramétrica destinados à instituição. Nesse contexto, foi desenvolvido o *Metric Survey Specification for Cultural Heritage* - MSSCH - (BRYAN *et al.*, 2009).

A última atualização do MSSCH ocorreu em 2009, na qual foi inserida uma sessão especial para a utilização de *scanner* LASER, sendo a especificação mais completa identificada. Contudo, o MSSCH apresenta muitos requisitos voltados para câmaras analógicas que devem ser reavaliados diante dos avanços das câmaras digitais (ver Seção 4.2).

Outras especificações internacionais locais destacam-se como referência na padronização da documentação fotogramétrica do patrimônio arquitetônico, como o *Historic American Building Survey* (HABS; NATIONAL PARK SERVICE, 2004), o *Standards and guidelines for the conservation of historic places in Canada* (SGC; PARK CANADA, 2010), dentre outras (BUCHANAN, 1993; RCHME, 1999; D'AYALA e SMARS, 2003; LETELLIER, 2007).

O *Historic American Building Survey* (HABS) é um dos programas de documentação do patrimônio arquitetônico americano (responsabilidade do departamento interior dos EUA), que apresenta uma série de requisitos relativos à produção de relatórios históricos e levantamento fotográfico do patrimônio arquitetônico (NATIONAL PARK SERVICE, 2004). Além do HABS, a documentação do patrimônio cultural americano pode ser enquadrada, de acordo com a natureza do patrimônio, nos programas: *Historic American Engineering Record* (HAER), *Historic American Landscape Survey* (HALS) e *Cultural Resources Geographic Information Systems* (CRGIS).

O programa HABS/HAER, desde 1983, acumula experiências na documentação do patrimônio arquitetônico norte-americano. Por outro lado, apesar da sua relevância, é um exemplo do problema das aplicações das inovações tecnológicas nas especificações pré-existentes, como a análise de produtos digitais considerando requisitos desenvolvidos para processos analógicos e a redução dos modelos de 3D para o 2D em função do armazenamento apenas analógico (impresso) dos produtos, dentre outros exemplos (MATEUS, 2012).

O SGC institui como principal ferramenta para a preservação do patrimônio cultural canadense, a documentação adequada do mesmo. Apesar de apresentar um guia específico para a conservação do patrimônio arquitetônico, não contempla as técnicas para o

levantamento dos dados. Uma contradição, já que uma documentação de qualidade depende diretamente das técnicas utilizadas para o levantamento dos dados (PARK CANADA, 2010).

Foram identificadas, também, algumas recomendações espanholas: *Recomendaciones técnicas para la documentacion geométrica de entidades patrimoniales*, elaborado pelo *Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico* (2007), e *12 Tips for metric Photography of Architectural and Archaeological Cultural Heritage* (GIFLE, 2012).

É importante lembrar que estas especificações foram desenvolvidas no contexto cultural de outros países, sendo interessante avaliar requisitos que condizem com as características do patrimônio arquitetônico brasileiro e com as normas e especificações nacionais existentes.

3.2 NORMAS E ESPECIFICAÇÕES NACIONAIS

Em princípio, foram investigadas as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) que poderiam compreender requisitos para a documentação fotogramétrica do patrimônio arquitetônico e serem utilizadas como referências normativas.

Normas nacionais

No intuito de fixar as diretrizes para a valorização de bens imóveis do Patrimônio Artístico Cultural e Arquitetônico, a ABNT, estabeleceu em 26 de março de 2009 a NBR 14653-7. Esta norma abrange temas para a identificação do patrimônio, documentação relativa à propriedade (tombamento), vistoria, custo para restauração e reprodução, caracterização dos elementos históricos e culturais, identificação dos materiais e técnicas originais utilizadas e, a localização do patrimônio, avaliando a harmonia estética do entorno (NBR 14653-7; ABNT, 2001).

Porém, com relação à documentação do patrimônio arquitetônico, a única citação se refere à inscrição do patrimônio no livro do Tombo. Embora o tombamento seja um instrumento de preservação, na medida em que se impede legalmente que o patrimônio arquitetônico seja destruído ou descaracterizado (Leis nº 10.032 de 27 de dezembro de 1985 e nº 10.236 de 16 de dezembro de 1986) este deve ser acompanhado de uma documentação precisa o que auxilia na avaliação de custos futuros dos projetos de intervenção. Como discutido na Seção 2.2, uma boa alternativa é a documentação fotogramétrica.

Remete-se então, às normas de representação gráfica e projetos de arquitetura. A NBR 6492/94 apresenta requisitos para a representação gráfica de projetos de arquitetura como classificação de plantas de situação, locação ou edificação; definições de corte, fachada, elevação, escala, especificação, entre outros e condições gerais do projeto.

Outras normas da ABNT complementam alguns temas da NBR 6492/94 como, por exemplo, a NBR 8403/84, que normatiza a aplicação de linhas (tipo e largura) nos desenhos, a NBR 10068/87 que orienta sobre o layout da folha de desenho, a NBR 13142/99 sobre o dobramento das cópias, a NBR 10582/88 para o conteúdo da folha para desenho técnico e a NBR 8196/99 que define o uso das escalas (observa-se a sobreposição de algumas recomendações).

Conclui-se que as NBR para representação gráfica dos projetos de arquitetura podem ser utilizadas como referência normativa, principalmente para a consulta de requisitos para a plotagem final ou apresentação final da documentação fotogramétrica. Outro ponto positivo é o conhecimento prévio dos usuários sobre as normas da ABNT, cujo uso já é consagrado nas atividades práticas de arquitetura.

As normas da ABNT ainda não abordam com clareza as formas de documentação do patrimônio arquitetônico e, tampouco, requisitos para a documentação fotogramétrica. Assim, a segunda etapa consistiu na investigação de especificações nacionais desenvolvidas pelo IPHAN e programas relacionados, que sejam mais comuns ao tema desta pesquisa.

Especificações nacionais

O programa Monumenta, criado pelo Ministério da Cultura (1995), tem como objetivo resgatar o patrimônio cultural urbano brasileiro (patrimônio edificado e espaços públicos urbanos). Em 2000, os técnicos do projeto Monumenta, baseados em suas experiências práticas, nas normas da ABNT e no decreto nº 92.100 (BRASIL, 1985), elaboraram o Manual de Elaboração de Projetos de Preservação do Patrimônio Cultural (MEPPPC), parte do conjunto de cadernos técnicos do Programa (Caderno Técnico 1; GOMIDE *et al.*, 2005). O objetivo principal do manual é orientar a elaboração dos projetos direcionados ao IPHAN, visando aumentar a qualidade das obras de restauro.

O MEPPPC estabelece disposições para a apresentação e padronização gráfica para projetos como: a documentação fotográfica e iconográfica, os relatórios e a representação gráfica. Destaca-se a recomendação do uso das escalas, 1:50 para

levantamentos de fachadas, 1:10 para a aquisição de detalhes e eventualmente 1:100 para algumas aplicações que não requerem alto nível de detalhamento (GOMIDE *et al.*, 2005).

Dentre os outros cadernos técnicos desenvolvidos pelo programa Monumenta, destaca-se também o caderno 7, intitulado: A documentação como ferramenta de preservação da memória (OLIVEIRA, 2008). Este caderno enfatiza a importância da documentação e incentiva a utilização do Cadastro, da Fotografia e da Fotogrametria como ferramentas para a documentação.

Pioneiro nas ações para preservação do patrimônio arquitetônico, o IEPHA/MG também desenvolveu um caderno de recomendações para padronizar os projetos de documentação, direcionado principalmente aos projetos que têm como finalidade assessorar ações de intervenção no patrimônio edificado. Dentre as principais recomendações, está a representação de todas as fachadas da edificação na escala gráfica 1:50 e a representação dos detalhes nas escalas 1:10 ou 1:5 (IEPHA/MG, 2012).

Destaca-se também como referência para este trabalho as especificações nacionais desenvolvidas pela comissão nacional de Cartografia (CONCAR):

- ET-EDGV - Especificação Técnica para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais -define um modelo conceitual- (CONCAR, 2011)
- ET-ADGV - Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais - define regras de aquisição da geometria dos dados- (DSG, 2011)
- ET-PCDG - Especificação Técnica de Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais - define os padrões dos produtos vetoriais e matriciais- (DSG, 2011)
- PerfilMGB - Perfil de Metadados Geoespaciais do Brasil (CONCAR, 2011)

Apesar das especificações desenvolvidas pelos institutos possuírem caráter mais específico, estas ainda não abordam a totalidade do assunto. Nota-se a falta de requisitos para a documentação fotogramétrica. A Sessão 3.3 mostra uma análise das especificações nacionais e internacionais mais relevantes.

3.3 ESPECIFICAÇÃO PARA A PRODUÇÃO DE DADOS

A elaboração de uma especificação para a produção de dados (*Data Production Specification* - DPS) consiste no desenvolvimento de uma descrição detalhada de

um conjunto de requisitos, com informações adicionais, que definem como o conjunto de dados se caracteriza e permite que um produto seja adequadamente elaborado (ISO 19131).

As especificações são base para os procedimentos de aquisição e processamento dos dados e possibilitam aos usuários mensurar a qualidade do produto desenvolvido por eles, avaliando se este é adequado para sua necessidade, ou seja, “*fitness for use*” (JURAN *et al.*, 1998). Além disso, as especificações têm como objetivo promover o desenvolvimento eficiente e melhores custos para o projeto, prevenir a perda de informação, transferir conhecimentos, mensurar o nível de confiança do produto, diminuir a dependência de um aplicativo ou fornecedor, dentre outros (ISO, 2014). Para mais informações consultar o endereço eletrônico: www.iso.org/benefits_of_standards.

O desenvolvimento de especificações é uma atividade voluntária e desafiadora. Isso porque existe uma grande dificuldade em desenvolver requisitos condizentes com as evoluções tecnológicas. Outro desafio é tornar esta atividade mais atrativa para a comunidade científica, o que proporcionaria melhora na qualidade das especificações e rapidez na atualização, em benefício dos pares.

Com relação à contribuição deste projeto, para a elaboração das orientações a nível nacional, visando à produção da documentação fotogramétrica do patrimônio arquitetônico, foi utilizada como referência a ISO 19131 (*Data production specification*).

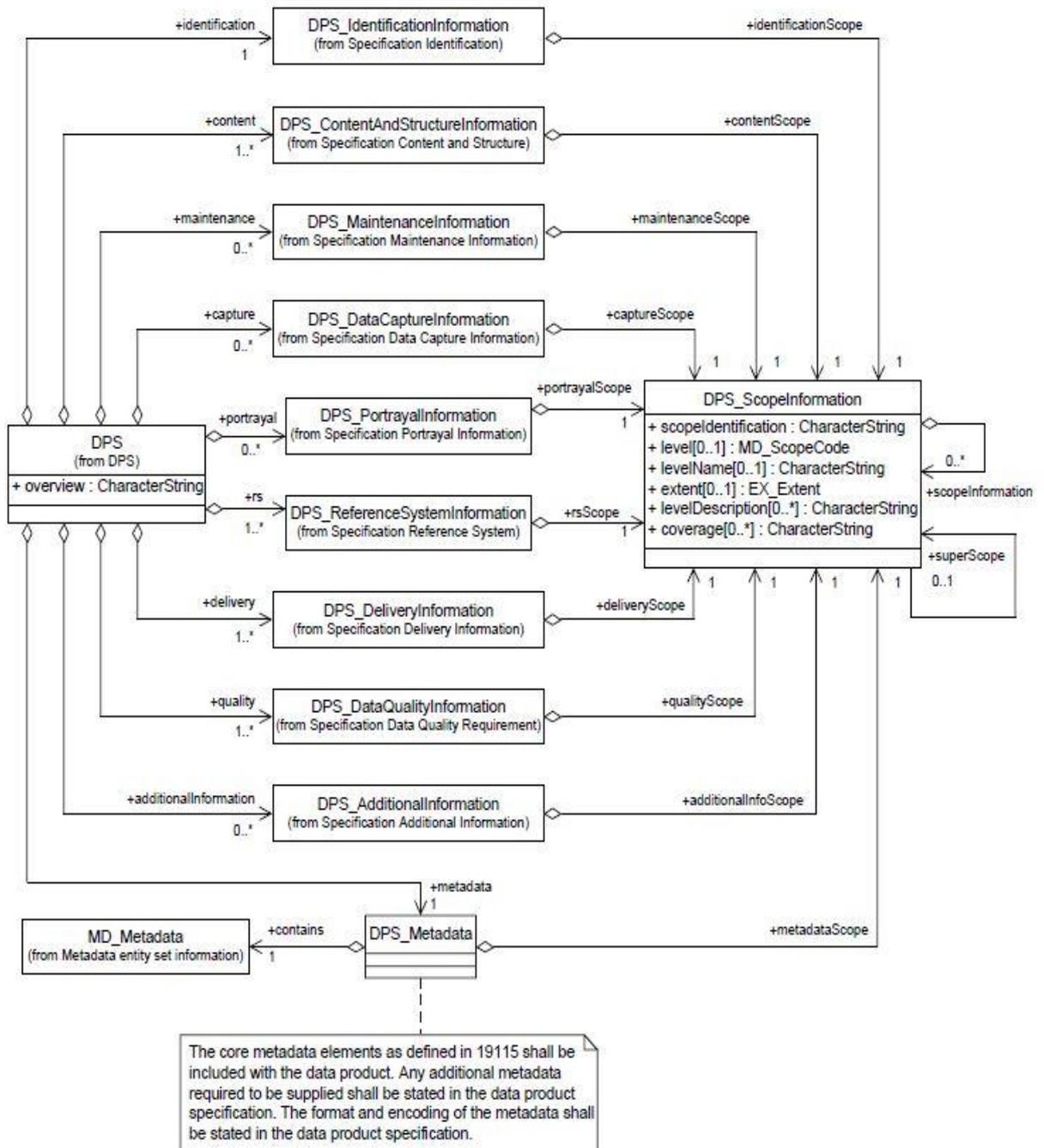
A ISO 19131 sugere orientações (estrutura e conteúdo) para a elaboração de especificações para aquisição e produção de informações geográficas. Existem várias outras normativas que compõem esse tema que foram utilizadas em complemento (ISO 639-2, ISO 19103, ISO 19107 à ISO 19157, ISO 19115, ISO 19117, ISO 19123, ISO 19138).

O uso da estrutura proposta pela ISO 19131 justifica-se pela relevância dos estudos (coerência técnica e relevância global) já realizados pelos comitês da ISO (*International Organization for Standardization*) para a padronização do conteúdo nas especificações, sendo extensamente aplicada nos padrões desenvolvidos para informações geográficas (Série ISO 19100). Ademais, este padrão também é adotado como referência para o desenvolvimento das normas pela CONCAR (Comissão Nacional de CARTografia).

São apresentados na ISO 19131 seções obrigatórias (Panorama, escopo da especificação, identificação da produção dos dados, conteúdo e estrutura dos dados, sistema de referência, qualidade dos dados, forma de entrega da produção e metadados) e opcionais (aquisição dos dados, manutenção dos dados, apresentação dos dados e informações adicionais), no intuito de cobrir os principais aspectos para a produção de dados espaciais. Observa-se que não é necessário que a especificação contenha o processo de produção, mas

sim o resultado esperado para aquele processo. A Figura 4 apresenta um esquema com todas as seções obrigatórias e opcionais, para a elaboração de uma especificação, enquanto o Quadro 1 traz as definições das classes correspondentes às seções da DPS.

Figura 4 - Esquema para a produção de uma especificação em *Unified Modeling Language* (UML).



Fonte: ISO 19131:2006 (Anexo D, p.16).

Quadro 1- Definições das seções da DPS.

Seção	Definição	Obrigatória (OB) / Opcional (OP)
Panorama	Informações gerais sobre a especificação	OB
Identificação	Identificação das informações para DPS	OB
Aquisição	Aquisição da informação para o DPS	OP
Qualidade	Informação da qualidade para o DPS	OB
Manutenção	Informação da manutenção dos dados para o DPS	OP
Apresentação	Informação da apresentação final dos dados para o DPS	OP
SR	Informação do sistema de referencia	OB
Entrega	Informação do formato de entrega de dados	OB
Informação adicional	Informações adicionais para o DPS	OP
Metadados	Informação sobre os metadados da DPS	OB
Conteúdo	Conteúdo das informações para o DPS	OB

Fonte: ISO 19131:2006 (Anexo D, p.17).

Comparação das especificações nacionais e internacionais com a ISO 19131

Para analisar as especificações foi considerado o quesito completude. A completude está relacionada ao conteúdo do conjunto de dados, à avaliação da presença e da ausência de requisitos e como estes atendem às necessidades do usuário (ISO 19157). Para a análise de completude, as especificações mais relevantes a nível internacional (AD-OPAP), nacional (MEPPPC) e internacional local (MSSCH) foram comparadas à referência ISO 19131. Como citado anteriormente, esta especificação possui orientações bem estruturadas no que se refere à elaboração de uma especificação e às necessidades dos usuários, sendo adotada como referência.

Ressalta-se que o objetivo dessa análise é traçar diretrizes quanto aos requisitos preexistentes e os requisitos não abordados, de um ponto de vista geral, e não discute o mérito das especificações. Uma avaliação completa das especificações exige análises mais complexas.

Verificou-se quais requisitos são esperados que não constam nas especificações e quais requisitos constam nas especificações e não são necessários. Também se considerou o teste de verificação sugerido na ISO 19131 (Anexo A, p. 13). O Quadro 2 apresenta na primeira coluna as seções obrigatórias e na segunda coluna as subseções. As

próximas colunas apresentam a verificação de completude: caso a linha referente à subseção estiver assinalada (X) significa que este conteúdo está presente na especificação, caso contrário há omissão de informação.

Quadro 2 - Análise de completude das especificações internacional, nacional e internacional local mais relevantes.

Seções	Subseções	AD-OPAP	MEPPPC	MSSCH
Panorama	Informações gerais	X	X	X
	Termos e definições		X	X
	Abreviações			
	Descrição do produto	X	X	
Escopo			X	X
Identificação do produto	Nome do produto	X	X	X
	Resumo das etapas de produção	X		X
	Temas relacionados	X	X	
	Descrição geográfica		X	X
Conteúdo	Esquema de aplicação			
Sistema de referência	Espacial			X
	Temporal			X
Qualidade		X		X
Forma de entrega do produto			X	X
Metadados				X
Aquisição		X		X
Manutenção				
Forma de plotagem		X	X	X

Em vista dos conceitos clássicos sobre Fotogrametria, o AD-OPAP é uma especificação de referência, principalmente com relação à qualidade esperada para os produtos fotogramétricos. Além disso, apresenta uma discussão importante sobre as possibilidades da Fotogrametria e as necessidades da documentação do patrimônio arquitetônico.

Quando comparada à ISO 19131, nota-se a necessidade de complementar algumas recomendações, como quanto aos metadados, ao sistema de referência e à forma de entrega do produto. Observa-se, no entanto, a dificuldade de sugerir estes requisitos considerando seu caráter internacional, o que mostra a importância de iniciativas nacionais.

A AD-OPAP foi desenvolvida antes das novas possibilidades da Fotogrametria, como o uso dos sensores digitais, em que não foram identificados requisitos que auxiliem a escolha do sensor e a análise de qualidade da calibração da câmara.

Outra questão, que diante das possibilidades digitais deve ser avaliada, é a classificação dos produtos com relação a sua finalidade, pois muitas vezes, o objetivo é a divulgação à população com modelos digitais web, sendo que também não foram consideradas as diversas possibilidades de modelagem do patrimônio a partir das técnicas de Computação Gráfica.

Comparando as normas a “nível nacional”, observa-se que o MSSCH é uma especificação mais completa comparada ao MEPPPC. Considerando as 18 subseções listadas, o MSSCH apresentou 83% dos conteúdos completos, enquanto o MEPPPC apresentou apenas 50% dos conteúdos completos. É importante avaliar também as seções omitidas. No MSSCH nota-se a omissão de alguns conteúdos obrigatórios como abreviações, descrição do produto e temas relevantes, no entanto, a omissão destas seções afeta com menos intensidade a aplicação da especificação pelo usuário quando comparadas à falta de requisitos quanto à qualidade, o sistema de referência, os metadados e as técnicas de aquisição. Destaca-se também, que ambas as especificações não apresentam propostas para a classificação do produto quanto à qualidade.

Outra análise quanto à completude é o excesso de informações. A especificação deve fornecer subsídios relevantes ao usuário (arquitetos, engenheiros, historiadores, dentre outros), sendo que o excesso de informação pode desviar a atenção dos conteúdos obrigatórios. O MEPPPC, por exemplo, apresenta uma extensa revisão de conceitos e o MSSCH traz uma seção completa sobre a forma de plotagem e novamente aborda o tema ao fim de cada subseção.

Além do excesso e omissão de informação também é preciso considerar se os requisitos presentes na especificação atendem às necessidades do usuário. Assim, o Capítulo IV traz o estudo sobre os requisitos que compõem a especificação para a documentação do patrimônio arquitetônico desenvolvida nesta pesquisa. As normas e especificações identificadas no Capítulo III são utilizadas como referência para este desenvolvimento.

CAPÍTULO IV

ANÁLISE DE REQUISITOS PARA A DOCUMENTAÇÃO FOTOGRAMÉTRICA DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO

Este capítulo traz discussões sobre os requisitos que compõem as especificações técnicas para a documentação fotogramétrica do patrimônio arquitetônico (ET/DOC-FOPARQ). Serão apresentadas análises teóricas e experimentais dos requisitos, sendo que a primeira seção discute o controle de qualidade dos modelos desenvolvidos com técnicas fotogramétricas para a documentação e a segunda seção os requisitos para a aquisição e processamento dos dados (escolha do sensor, aquisição, orientações e modelagem), seguindo a mesma estrutura da ET/DOC-FOPARQ (baseada na ISO 19131).

O conteúdo e disposição dos tópicos na ET/DOC-FOPARQ segue o padrão descrito na ISO 19131, enquanto a formatação segue a NBR 14724 para trabalhos acadêmicos (ABNT, 2011) e as orientações de como escrever normas brasileiras (ABNT, 2014).

Destaca-se a extensão dos conteúdos que compõem a especificação. Neste sentido foi dada ênfase, neste capítulo, aos requisitos relacionados à aplicação das técnicas fotogramétricas na documentação e ao controle de qualidade, em particular à geometria final do modelo. A especificação completa encontra-se no Apêndice A, assim como as referências normativas utilizadas para sua elaboração (Capítulo III), que fundamentam parte dos requisitos adotados.

4.1 CONTROLE DE QUALIDADE

Tendo como base as normas da Cartografia (ET-ADGV) que classificam os produtos cartográficos de acordo com a qualidade (DSG, 2011), foram avaliados critérios de classificação para a documentação fotogramétrica considerando sua finalidade, avaliando a qualidade dos modelos que a compõem. Dessa forma, os modelos podem ser enquadrados em duas grandes classes:

- A - Em que a documentação fotogramétrica tem como finalidade apoiar projetos atuais e futuros de intervenção e pesquisa, que precisam de modelos métricos que possuam qualidade compatível com a necessidade da aplicação.
- B - Em que a documentação fotogramétrica tem como finalidade apenas a divulgação ilustrativa ou para a web, nos quais o objetivo é a

visualização e não a realização de medidas, ou seja, os modelos não são métricos.

A principal motivação para a classe B é valorizar os projetos que, apesar de não possuírem fins métricos, são de relevância para a sociedade, na medida em que permitem a divulgação do patrimônio arquitetônico à população.

Para o controle de qualidade do modelo considerou-se a ISO 19157, que sugere elementos para a avaliação da qualidade dos dados geográficos, sendo estes: acurácia posicional ou geométrica, consistência lógica, completude, acurácia temporal, qualidade temática e linhagem. Dentre eles, são aplicáveis apenas a acurácia posicional ou geométrica (Classe A), a consistência lógica (Classe A e B) e a completude (Classe A e B).

4.1.1 Acurácia posicional ou geométrica para modelos classe A

Segundo Mikhail e Gracie (1981), a acurácia posicional inclui, não apenas os erros randômicos, mas também os erros sistemáticos, enquanto a precisão é função apenas dos efeitos randômicos. A ISO 19157 apresenta terminologia diferente, em que a acurácia posicional ou geométrica é subdividida em acurácia externa ou absoluta e acurácia relativa ou interna. Em analogia aos termos definidos por Mikhail e Gracie (1981), a acurácia absoluta refere-se à acurácia (erros randômicos e sistemáticos), enquanto a acurácia relativa refere-se à precisão (apenas erros randômicos). Neste trabalho assume-se a terminologia proposta na ISO 19157.

A análise da acurácia posicional consiste em verificar o grau de concordância entre o valor calculado e um valor de referência (ISO 19157). Portanto, é necessário considerar limiares que possibilitem avaliar se as acurácias relativa ($\epsilon^r_{\text{limite}}$) e absoluta ($\epsilon^a_{\text{limite}}$) obtidas estão, ou não, suficientemente próximas dos valores de referência em função da necessidade da aplicação.

Acurácia absoluta

O cálculo do limiar, para a análise da acurácia posicional absoluta dos modelos para a documentação fotogramétrica, foi baseado nos erros esperados do processo fotogramétrico mais o erro gráfico, que totalizariam 0,3 mm na escala de representação (Equação 4.1) (THOMPSON e ROSENFELD, 1971; CIPA, 1981). Deste modo, 90% dos pontos do modelo encontram-se no intervalo de confiança em que os erros-padrão são

inferiores a meio milímetro (0,5 mm), considerando uma distribuição normal (MERCHANT, 1982).

Assim como adotado pela ET-ADGV, segundo o § 4º do item 2. do Art. 8º do Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984, os termos Desvio Padrão (DP) e Erro Padrão (EP) devem ser considerados como sinônimos. Na ET-ADGV o critério de classificação divide os erros em planimétricos e altimétricos, sendo que o erro planimétrico é a resultante das componentes de erro em X e Y. Para a Fotogrametria Arquitetônica, esta divisão não é adequada, e propõe-se, então, que a acurácia absoluta seja avaliada para cada componente (X, Y, Z).

$$\varepsilon^a_{\text{limite}} = e_a * \text{DEN}_{\text{ESCALA}} \quad (4.1)$$

Em que, $\varepsilon^a_{\text{limite}}$ é o limite para a acurácia absoluta final do modelo em cada coordenada; e_a corresponde aos erros do processo fotogramétrico (erro de medida, erro de identificação, erro nas orientações, erro de projeção) mais o erro gráfico e $\text{DEN}_{\text{ESCALA}}$ ao denominador da escala de representação.

Um estudo detalhado sobre a predição dos erros no processo fotogramétrico analógico é apresentado em De Carvalho (1972). Apesar das evoluções tecnológicas que culminaram na Fotogrametria Digital, alguns conceitos clássicos da Fotogrametria Analógica ainda são aplicáveis, uma vez que a sequência de processos fotogramétricos é similar.

Se $\varepsilon^a_{\text{limite}} > \varepsilon_{\text{calculado}}$ aceita-se o modelo para a documentação fotogramétrica como classe A, quanto à acurácia absoluta. O erro padrão calculado ($\varepsilon_{\text{calculado}}$) é obtido pela raiz do erro quadrático médio (REQM), onde os erros são as discrepâncias entre as coordenadas dos pontos de verificação obtidas diretamente em campo (Referência) e as coordenadas dos pontos de verificação estimadas obtidas por processos indiretos (Estimado), como mostra a Equação 4.2 (FGDC *et al.*, 1998).

$$\text{REQM} = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^n (\text{Estimado} - \text{Referência})^2} \quad (4.2)$$

Considerando a escala de representação do modelo, que compõe a documentação fotogramétrica do patrimônio arquitetônico, é possível verificar se a acurácia posicional absoluta atende a finalidade da classe A.

A classificação da documentação fotogramétrica e as informações de qualidade sobre o modelo permitem que esta seja utilizada em trabalhos futuros. A Tabela 1

traz os limites do erro padrão final para as escalas de plotagem do modelo recomendadas pelo IPHAN (GOMIDE *et al.*, 2005) e pelo ICOMOS (CIPA, 1981). Pode-se verificar que estes valores são compatíveis com o proposto.

Tabela 1 - Erro padrão final para a acurácia absoluta do modelo segundo as escalas recomendadas pelo IPHAN.

Escala (IPHAN)	1: 10	1: 50	1: 100
Erro Padrão Final	3 mm	15 mm	30 mm

Para a análise da acurácia absoluta é importante considerar pontos de verificação bem distribuídos e não tendenciosos. Mais detalhes sobre as medidas de referência são discutidas na Seção 4.2.2.

Acurácia relativa

O cálculo do limiar, para a análise da acurácia posicional relativa dos modelos para a documentação fotogramétrica, não considera os erros sistemáticos. Nesse sentido, realizou-se uma análise empírica dos erros em cada etapa do processo fotogramétrico (DE CARVALHO, 1972), chegando-se que a acurácia relativa corresponde a aproximadamente 2/3 da acurácia absoluta, o que totaliza 0,2 mm na escala de representação (Equação 4.3). Os exemplos, para as escalas 1:50 e 1:100, são apresentados nas Seções 5.1 e 5.2, respectivamente.

$$\varepsilon^r_{\text{limite}} = e_r * \text{DEN}_{\text{ESCALA}} \quad (4.3)$$

Em que, $\varepsilon^r_{\text{limite}}$ é o limite para a acurácia relativa final do modelo; e_r corresponde à propagação dos erros do processo fotogramétrico (0,2 mm) e $\text{DEN}_{\text{ESCALA}}$ ao denominador da escala de representação.

Análogo à análise da acurácia absoluta, se $\varepsilon^r_{\text{limite}} > \varepsilon_{\text{calculado}}$ aceita-se o modelo para a documentação fotogramétrica como classe A, quanto à acurácia relativa. Em que o erro padrão calculado ($\varepsilon_{\text{calculado}}$) é obtido através da Equação 4.2, onde os erros são as discrepâncias entre as distâncias de verificação obtidas diretamente em campo (referência) e as distâncias de verificação estimadas obtidas por processos indiretos.

Para a análise da acurácia relativa pode-se considerar medidas de distância entre feições bem distribuídas no modelo, de baixo e alto contraste na imagem. Mais detalhes sobre as medidas de controle são apresentados na seção 5.1.

Acurácia nas etapas do processo fotogramétrico

Durante todo o processo existem diversas fontes de erro, de modo que é importante limitar o erro padrão em cada etapa, auxiliando na identificação dos erros e na obtenção da acurácia absoluta requerida. Nesse caso, assumem-se três grandes etapas principais para a modelagem do patrimônio arquitetônico: a aquisição dos dados, as orientações e a restituição e/ou modelagem.

Considerando os erros conhecidos no processo fotogramétrico, o erro gráfico e os estudos realizados por Merchant (1982), recomenda-se como critério de análise que o erro padrão parcial para cada uma das etapas, principalmente na aquisição das medidas de controle, seja inferior a 1/3 do limite do erro padrão final para a acurácia absoluta ($\varepsilon^a_{\text{limite}}$), como mostra a Tabela 2. A análise dos requisitos para cada uma destas etapas é apresentada na Seção 4.2.

Tabela 2 – Resumo do limite do erro padrão das etapas do processo fotogramétrico, mais o erro gráfico.

Etapas do processo fotogramétrico	Limite
Aquisição	$1/3 * \varepsilon^a_{\text{limite}}$
Orientação	$2/3 * \varepsilon^a_{\text{limite}}$
Restituição/Modelo	$\varepsilon^a_{\text{limite}}$

4.1.2 Consistência lógica para modelos classe A e B

A consistência lógica define-se como a concordância dos dados com sua estrutura, atribuições e relações lógicas, sendo subdividida em consistências de conceito, de formato, de topologia e de domínio (ISO 19157). A análise da consistência lógica pode evitar erros que seriam interpretados como erros posicionais, identificando as falhas na estrutura dos dados (CHRISMAN, 1991).

O sub-elemento mais importante para a análise do modelo para a documentação fotogramétrica, seja classe A ou B, é a consistência topológica, em que se avalia se o modelo está condizente com as características topológicas dos dados.

Os testes de consistência lógica incluem a verificação de cruzamentos ou linhas estendidas (*overshoot*), descontinuidade, como linhas desconexas e nós desunidos (*undershoot*), duplicações e geometrias inválidas. As relações topológicas entre pontos, linhas e polígonos são exemplificadas na Especificação Técnica para a Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais – ET-ADGV (CONCAR, 2011).

Muitos programas já incorporaram algoritmos para a aplicação de testes lógicos, como por exemplo, o AutoCad Map, o ArcGIS, o Quantum GIS, dentre outros. Mais informações sobre os testes de consistência lógica podem ser encontradas em Kainz (1997). Experimentos práticos são apresentados nas Seções 5.1, 5.2 e 5.3.

Para a análise dos requisitos para a consistência lógica, foi utilizada como referência a ISO 2859-1 (*Sampling procedures for inspection by attributes*) que avalia os riscos na aplicação do produto pelo usuário, de modo que as amostras que não obedecem a conformidade segundo um nível de qualidade aceitável (NQA), não deve exceder 10% das feições totais do modelo. Assim, sugere-se que 90% do conjunto de dados seja consistente, independente da classe (A ou B).

4.1.3 Completude para modelos classe A e B

Segundo a ISO 19157, a análise da completude consiste em verificar, no conjunto de dados, a presença, ausência e o excesso de informações (ISO 19157), ou seja, deve-se verificar no conjunto de dados se as informações registradas no modelo do patrimônio arquitetônico são compatíveis com as informações relevantes à documentação fotogramétrica, previamente definidas pelos usuários (*universe of discourse* – universo de discurso) (JURAN, 1998). Durante esta análise pode-se constatar a comissão e/ou a omissão das feições representadas.

A comissão é o excesso de dados em relação ao universo de discurso. No caso de comissão é interessante excluir estas informações, de modo que o modelo não possua feições irrelevantes. Logo, recomenda-se o índice 0% de comissão.

A omissão é a ausência de dados em relação ao universo de discurso. Para a omissão, avaliou-se um critério aceitável de ausências, considerando limitações das técnicas fotogramétricas, como as omissões por oclusão. Sugere-se que o total de feições omitidas não seja superior a 5% das feições totais do modelo. Os requisitos para a análise de completude são válidos para as classes A e B. Exemplos práticos podem ser vistos nas seções 5.1, 5.2 e 5.3.

Informações adicionais podem ser encontradas em Alves (2014), que propõe uma metodologia para a avaliação dos produtos cartográficos conforme o elemento completude. Uma revisão sobre os parâmetros para a análise da qualidade dos dados geográficos e dos padrões estabelecidos encontra-se também em Veregin (1999).

O estudo experimental para a análise de viabilidade dos requisitos quanto ao controle de qualidade dos modelos foi realizado considerando os estudos de caso, apresentados no Capítulo V.

4.2 AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DOS DADOS

Esta seção apresenta a análise de requisitos para a elaboração de recomendações para a execução do processo fotogramétrico visando atingir a qualidade geométrica necessária para a classe A e para a classe B.

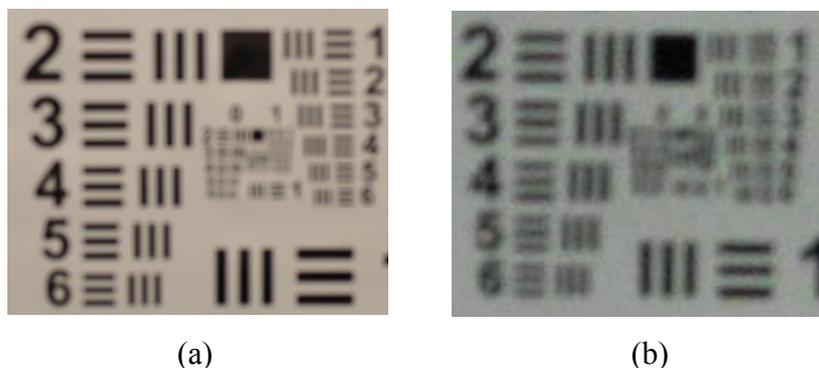
4.2.1 Escolha da câmara

O ICOMOS não recomenda nenhum requisito para a escolha do sensor. No entanto, a escolha da câmara interfere diretamente na qualidade final do modelo. Considerando essa necessidade, o MSSCH sugere que o tamanho do quadro seja superior a 13 Mpx, dentre outras recomendações (imagens adquiridas com 16 bits e processadas com 8 bits, array superior a 6 milhões de pixels e uso de câmaras de médio formato). Questiona-se a relevância dessa recomendação baseada apenas nas dimensões da imagem, sendo necessárias mais análises. Algumas câmaras para celular, por exemplo, satisfazem requisitos como o quadro focal superior a 13 Mpx (como por exemplo, o Sony Xperia Z1 C6903, o Nokia Lumia 1520, o Galaxy S4, dentre outros), mas, na maioria das vezes, apresentam muitos ruídos e aberrações devido à qualidade e diâmetro das lentes, que interferem na qualidade da imagem.

A Figura 5 mostra um exemplo, em que o padrão de resolução USAF (HOLST e LOMHEIM, 2011) foi fotografado em: (a) com uma câmara Nikon D5000 de 12,3 Mpx (ver Quadro 4 para detalhes das características) e em (b) com uma câmara para celular (modelo Blu Line One L120) de 13 Mpx, com a mesma abertura e condição de luminosidade. Visualmente, nota-se que embora os quadros focais sejam equivalentes, a imagem (b) apresenta menor definição das bordas, o que prejudica a identificação do par de linhas. Isso

ocorreu, principalmente, em consequência da diferença de qualidade e diâmetro de abertura das lentes, o que aumenta as aberrações.

Figura 5 - Padrão de resolução USAF, (a) Nikon D5000 e (b) exemplo de câmara para celular (modelo Blu Line One L120).



O Quadro 3 apresenta as câmaras mais empregadas nesse tipo de levantamento (REMONDINO, 2011). Apenas duas das câmaras mais utilizadas (Hasselblad H4D-60 e Maniya DM33) atendem às especificações do MSSCH (formato, tamanho do quadro, n° de bits). Reafirma-se, portanto a necessidade da reavaliação das especificações em decorrência aos avanços das câmaras digitais.

Quadro 3- Câmaras mais utilizadas no registro do patrimônio arquitetônico.

Câmara	Formato	Sensor	Tamanho do sensor (mm)	Tamanho do pixel (μm)	Img. raw (bits)
Hasselblad H4D-60	Médio (DSLR ¹)	CCD/ 60Mpx	53,7 x 40,2	6	16
Pentax 645D	Médio (DSLR)	CCD/ 40Mpx	44 x 33	6	14
Maniya DM33	Médio (DSLR)	CCD/ 33Mpx	48 x 36	7	16
Canon EOS-1Ds Mark III	35mm full frame (DSLR)	CMOS/ 22Mpx	36 x 24	6,4	14
Nikon D3X	35mm full frame (DSLR)	CMOS/24,5Mpx	35,9 x 24	5,95	14
Sony α 900	35mm full frame (DSLR)	CMOS/24,6Mpx	35,9 x 24	5,9	12
Sony α NEX	APS C ²	CMOS/ 14 Mpx	23,5 X 15,7	5,1	12
Olympus E-PL2	MFT ³	CMOS/12,3 Mpx	17,3 x 13	4,3	12
Panasonic	Micro four Thirds system	CMOS/ 16,1 Mpx	18,9 x 14,5	4,1	12

Fonte: adaptado de REMONDINO, 2011.

¹ Digital Single Lens Reflex

² Advanced Photo System Type

³ Micro Four Thirds sys

Com essa motivação, realizou-se um teste de resolução para auxiliar no estudo de requisitos quanto à escolha do sensor e procedimentos para a aquisição das imagens (Seção 4.2.2), comparando a câmara Hasselblad H4D-60, que atende à especificação do MSSCH e a câmara Nikon D5000 que não atende (Quadro 4).

Para análise da resolução geométrica foram tomadas imagens de um padrão de barras senoidal- *sine patterns*- (NILL, 2001; ZHANG et al., 2012), como mostra a Figura 6, com ambas as câmaras. Outros padrões também podem ser utilizados para a análise da resolução das câmaras, como os padrões: de barras (SITTER, GODDARD e FERRELL, 1995; BOREMAN, 2001), estrela de Siemens (ARTMANN e WUELLER, 2010), de pontos (NAVAS-MOYA *et al.*, 2013), USAF – *US Air Force resolution test target* - (HOLST e LOMHEIM, 2011), dentre outros.

Figura 6 - Exemplo de padrão de barras senoidal.



As imagens foram tomadas utilizando 3 aberturas diferentes (F22, F5,6, F3,5) e mesmas condições de luminosidade, tempo de exposição (1:10 segundos) e GSD (*Ground Sample Distance*). O GSD consiste na projeção do tamanho do pixel no terreno de acordo com a escala da imagem (MIKHAIL *et al.*, 2001).

A Figura 7 traz o perfil radiométrico (intensidade) das imagens utilizadas (extraído considerando a linha central da imagem) para o cálculo da Função de Transferência de Modulação – MTF - (HOLST e LOMHEIM, 2011). Com base nos perfis radiométricos, a MTF foi calculada a partir da função de contraste, apresentada na Equação 4.4 (BOREMAN, 2001). Os procedimentos desde a extração do perfil até o cálculo da MTF foram implementados na plataforma Scilab.

$$MTF(f) = \frac{C(f)}{C(0)} \quad (4.4)$$

Em que, $C(0)$ é função da máxima intensidade para a menor frequência ($I_{MAX}^{(0)}$) e da mínima intensidade para a menor frequência ($I_{MIN}^{(0)}$), enquanto $C(f)$ é função da

máxima intensidade para uma dada frequência f ($I_{MAX}^{(f)}$) e da mínima intensidade para uma dada frequência f ($I_{MIN}^{(f)}$), como mostra as equações 4.5 e 4.6 respectivamente.

$$C(0) = \frac{I_{MAX}^{(0)} - I_{MIN}^{(0)}}{I_{MAX}^{(0)} + I_{MIN}^{(0)}} \quad (4.5)$$

$$C(f) = \frac{I_{MAX}^{(f)} - I_{MIN}^{(f)}}{I_{MAX}^{(f)} + I_{MIN}^{(f)}} \quad (4.6)$$

Para o cálculo do $C(f)$ é necessário conhecer para cada função o valor de mínima e máxima intensidade. Assim, adotou-se uma estratégia para a extração automática dos valores de intensidade mínimos e máximos, considerando os gradientes e associando que para todo valor máximo existe um valor mínimo correspondente. Um exemplo da extração automática dos valores mínimos e máximos de contraste é apresentado na Figura 8.

A Figura 9 mostra o gráfico da função transferência de modulação por par de linhas por milímetro para as câmaras Nikon D5000 (a) e Hasselblad H4D-60 (b).

Quadro 4- Informações técnicas das câmaras Hasselblad H4D-60 e Nikon D5000.

Câmaras	HasselBlad H4D-60	Nikon D5000
Distância Focal nominal	50 mm	50 mm
Sensor	CCD/60 Mpx	CMOS/ 12,3Mpx
Tamanho do sensor	53,7 mm x 40,2mm	23.6 mm x 15.8mm
Tamanho do pixel	6 μm	7 μm
Dimensões da imagem	8956 x 6708 Pixels	3216 x 2136 Pixels

Figura 7- Perfil radiométrico das imagens utilizadas para o cálculo da MTF.

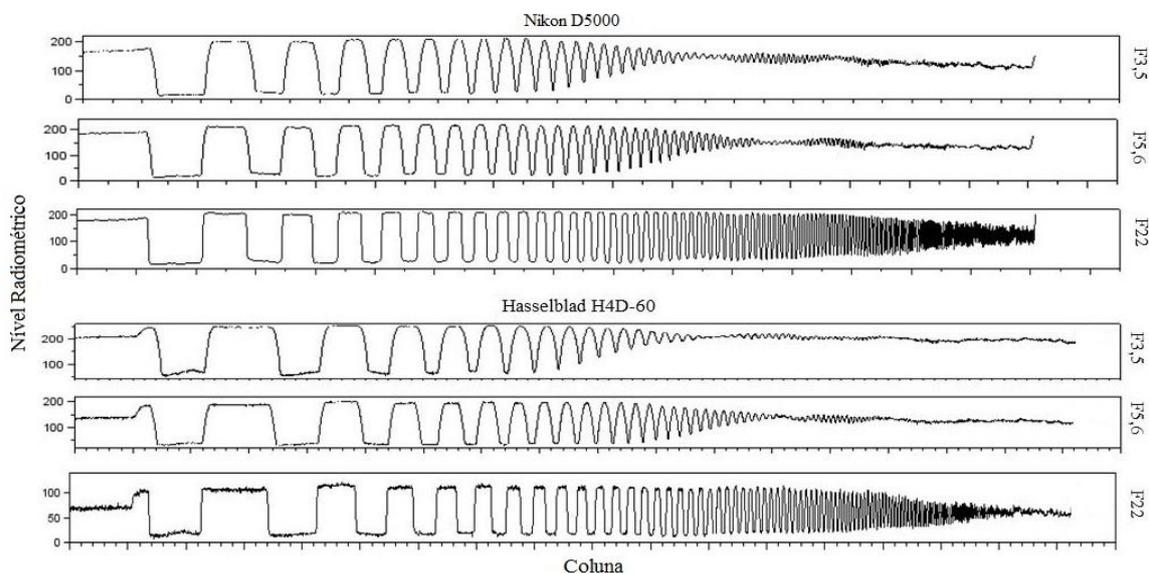


Figura 8 - Exemplo do processo de extração automática dos valores de máxima e mínima intensidade na imagem.

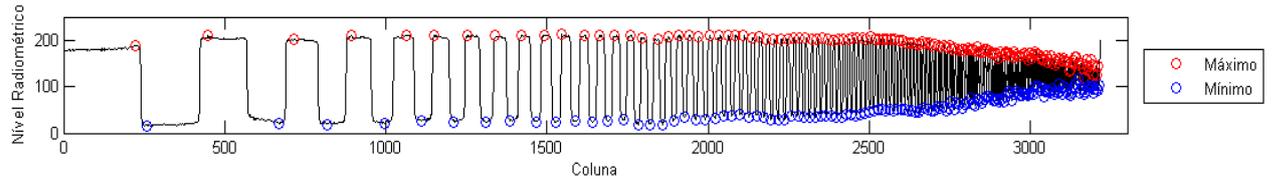
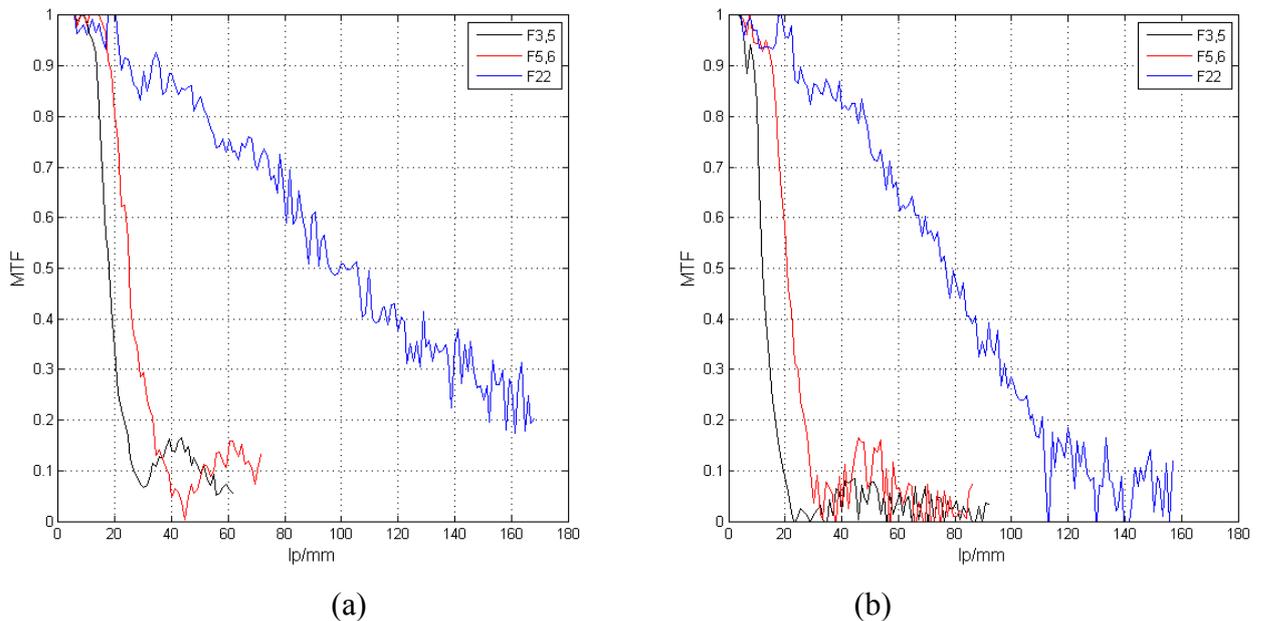


Figura 9 - Curvas da função de transferência de modulação por par de linhas por milímetro para a câmara Nikon D5000 (a) e Hasselblad (b), para três aberturas.



As curvas da função de transferência de modulação mostram que, embora as câmaras possuam quadros focais diferentes (60 Mpx X 12,3 Mpx), em termos de contraste, para as diversas frequências e aberturas, as câmaras apresentam respostas semelhantes. Isto porque ambas as câmaras possuem um conjunto de lentes de boa qualidade.

Logo, é importante avaliar outros requisitos que garantam o bom desempenho da câmara, como por exemplo, a abertura do diafragma.

O efeito de algumas das aberrações das lentes é proporcional à abertura, assim quanto menor a abertura, menor o efeito destas aberrações. Por outro lado, ao reduzir muito a abertura, aumenta o efeito da difração (REF). É importante ressaltar que o teste de resolução foi realizado em um ambiente com iluminação artificial, de modo que em ambientes com iluminação natural, o comportamento da resolução com relação às aberturas pode divergir dos resultados obtidos neste experimento, principalmente para as aberturas médias, como F5,6.

Esta seção traz uma proposta para a escolha da câmara, baseada no controle de qualidade da acurácia posicional, de modo que esta possibilite atingir a acurácia compatível com a etapa de aquisição ($1/3 * \epsilon^a_{\text{limite}}$), como discutido na seção 4.1.1. Para a análise da etapa de aquisição é interessante considerar o GSD como parâmetro de qualidade.

É importante observar que a resolução final da imagem não depende exclusivamente da geometria do sensor, mas também de fatores internos da câmara e externos. Logo, apesar da sua relevância, o GSD não é sinônimo de resolução (MIKHAIL *et al.*, 2001). É importante, além do GSD, analisar recomendações para a aquisição das imagens (condições climáticas, distância principal fixa, iluminação, uso de acessórios, estereoscopia, dentre outras), que serão discutidas na Seção 4.2.2.

Proposta de requisitos para modelos classe A

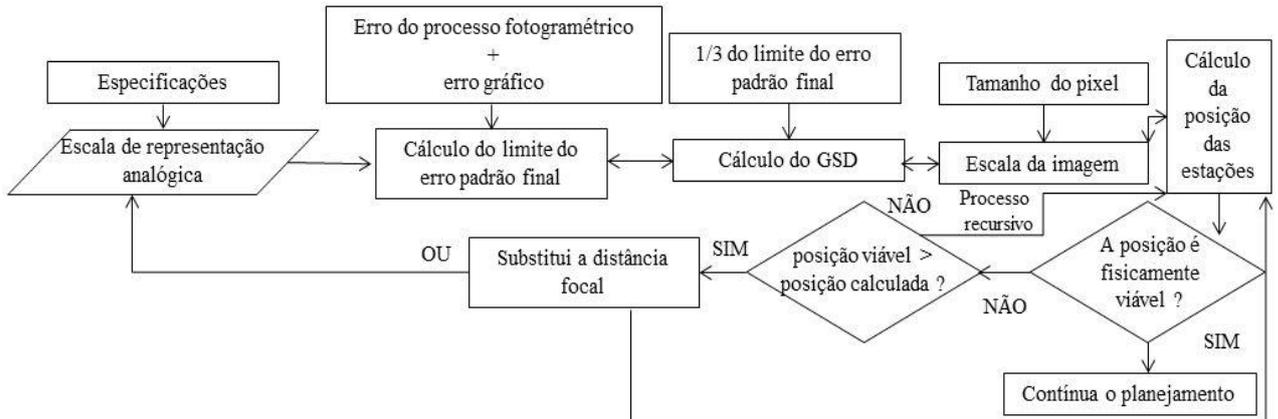
Segundo os estudos de Bryan *et al.* (2009), o GSD das imagens que apoiam os processos de intervenção do patrimônio arquitetônico deve ser inferior a 5 mm, o que é compatível com o erro padrão aceitável na etapa de aquisição para as escalas de plotagem do modelo que requer detalhamento. A Tabela 3 traz o valor máximo do GSD das imagens para as escalas de plotagem do modelo recomendadas pelo IPHAN considerando o limiar de 1/3 do limite do erro padrão final para a acurácia absoluta.

Tabela 3 - Limite do GSD das imagens para as escalas de plotagem recomendadas.

Escala	1:10 Alto nível de detalhe	1:50 Detalhamento usual	1:100 Baixo nível de detalhe
GSD	1mm	5 mm	10 mm

Assim, é possível definir as características do sensor, como a distância focal e o tamanho do pixel da câmara, considerando o limite do GSD, de acordo com a escala de representação analógica do modelo e verificando as posições das estações (distância sensor-objeto), como mostra a Figura 10.

Figura 10- Fluxograma para planejamento e escolha da câmara.



Como exemplo aplicou-se o fluxograma para planejamento e escolha da câmara, admitindo a escala de representação analógica 1:50 e utilizando uma câmara com distância focal de 35 mm. O Quadro 5 traz a sequência dos cálculos.

Quadro 5 - Sequência de cálculos para o planejamento de campo e escolha do sensor.

Escala de representação	$E = r/R$	$E = 1:50$
Limite do erro padrão final para a acurácia absoluta	$\varepsilon^a_{\text{limite}} = e_a * DEN_{\text{ESCALA}}$	$\varepsilon^a_{\text{limite}} = 15 \text{ mm}$
Cálculo do GSD	$GSD = \frac{1}{3} * \varepsilon^a_{\text{limite}}$	$GSD = 5 \text{ mm}$
Tamanho do pixel	TAM_{PIXEL}	$TAM_{\text{PIXEL}} = 6 \mu\text{m}$
Escala da imagem	$M = \frac{TAM_{\text{PIXEL}}}{GSD}$	$M = 1/833$
Distância focal	F	$f = 35 \text{ mm}$
Posição das estações	$D = \frac{f}{M}$	$D \leq 29,2 \text{ m}$

Em que: E é a escala de representação, r corresponde à medida no modelo, enquanto R corresponde a mesma medida no objeto, $\varepsilon^a_{\text{limite}}$ é o limite do erro padrão para a acurácia absoluta, e_a corresponde a 0,3 mm, GSD é a projeção do tamanho do pixel no terreno, DEN_{ESCALA} é o valor do denominador da escala de plotagem, TAM_{PIXEL} é o tamanho do pixel da imagem, f é a distância focal da câmara que se pretende utilizar, M é a escala da imagem, e D é a distância máxima entre o alvo (fachada do patrimônio) até o sensor.

A partir de então, é avaliado se a posição da estação é fisicamente viável. Caso não seja, verificam-se os locais viáveis para estacionar o sensor. Se a distância sensor-objeto viável for maior que a calculada, conseqüentemente a escala da imagem será menor, e não atenderá os requisitos iniciais ($\epsilon^a_{\text{limite}}$ e valor do GSD), sendo necessário refazer os cálculos considerando o uso de outra escala de representação ou utilizar uma câmara com distância focal maior. Para o exemplo, com a mesma escala da foto e com distância focal igual a 50 mm, a distância sensor-objeto seria aproximadamente 41,7 m.

Se a distância sensor-objeto fisicamente viável for menor que a distância calculada, a escala da imagem será maior, assim os requisitos serão atendidos. Entretanto é interessante recalcular de maneira inversa de acordo com a distância viável para que os demais parâmetros sejam conhecidos.

Proposta de requisitos para modelos classe B

Para os modelos classe B, apesar de ser interessante verificar a acurácia relativa do modelo não é necessário alto rigor quanto à acurácia. Assim, as análises quanto à escolha do sensor para a classe B devem ser direcionadas principalmente para qualidade radiométrica do modelo em função da sua finalidade. Devido à extensão deste tema a qualidade radiométrica dos modelos não será discutida neste trabalho.

4.2.2 Aquisição

Aquisição das imagens classe A e B

Apesar do GSD ser considerado um estimador apropriado para a análise da resolução das imagens, este não é sinônimo de resolução (como discutido anteriormente na seção 4.2.1). Logo também é necessário considerar recomendações para o procedimento de aquisição das imagens. A Figura 11 apresenta um exemplo. Foram tomadas imagens do mesmo local (estação ferroviária de Presidente Prudente), utilizando duas câmaras com distância focal (50 mm), tamanho de pixel (escala da imagem -1/678) e GSD (2 mm) compatíveis. Contudo, observa-se a diferença na nitidez entre as imagens obtidas com a câmara Hasselblad H4D-60 (a) e Fuji S3 Pro (b), principalmente em função da qualidade das lentes e da luminosidade, o que interfere na qualidade das medidas a serem realizadas na imagem manualmente pelo operador ou mesmo em caso de medidas automáticas.

A Figura 12 traz em: (a) o histograma de frequência da distribuição de tons de cinza na imagem adquirida com a câmara Hasselblad H4D-60 e; em (b) com a câmara Fuji S3 Pro. As descrições técnicas das câmaras estão no Quadro 6.

Quadro 6- Descrições técnicas das câmaras Hasselblad H4D-60 e Fuji S3 Pro.

Câmaras	HasselBlad H4D-60	Fuji S3 Pro
Distância Focal nominal	50 mm	50 mm
Sensor	CCD/60 Mpx	CCD/ 12 Mpx
Tamanho do sensor	53,7 mm x 40,2mm	15 mm x 23 mm
Tamanho do pixel	6 μm	5,4 μm
Dimensões da imagem	8956 x 6708 Pixels	4256 x 2848 Pixels
Imagem raw	16 bits	12 bits

Figura 11 - Exemplo de imagens com mesmo GSD e diferentes câmaras em que (a) corresponde à câmara Hasselblad H4D-60 e (b) à câmara Fuji S3 Pro.

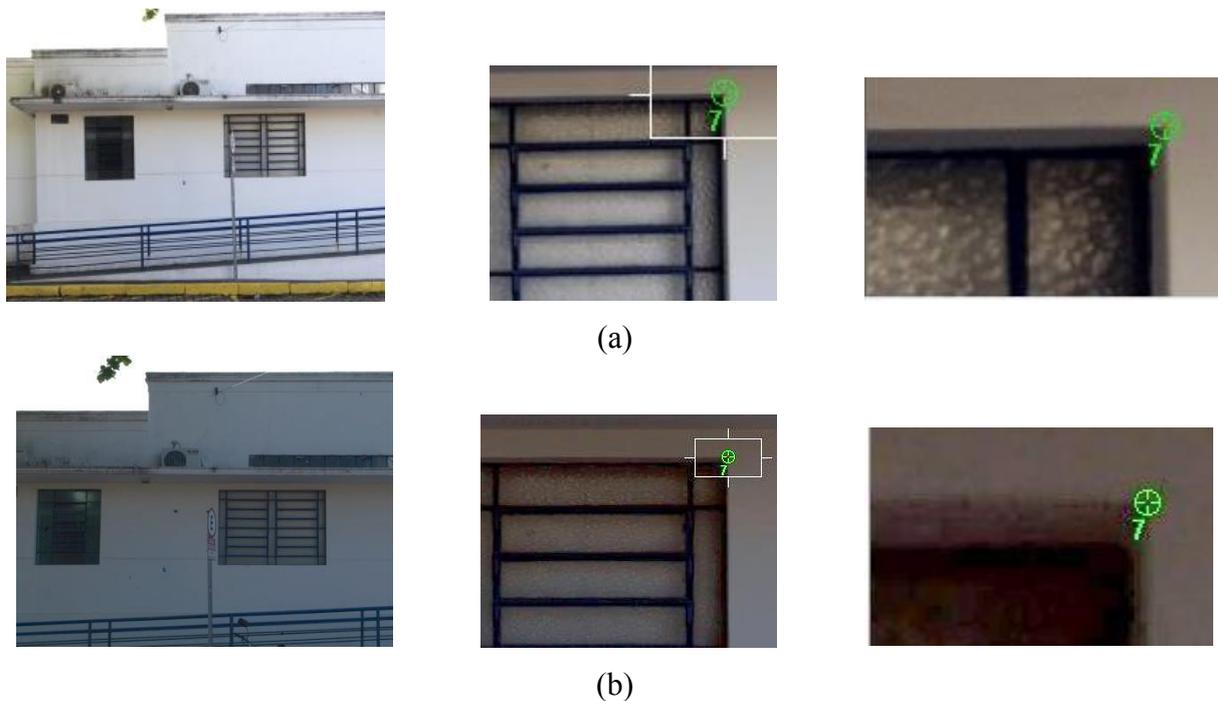
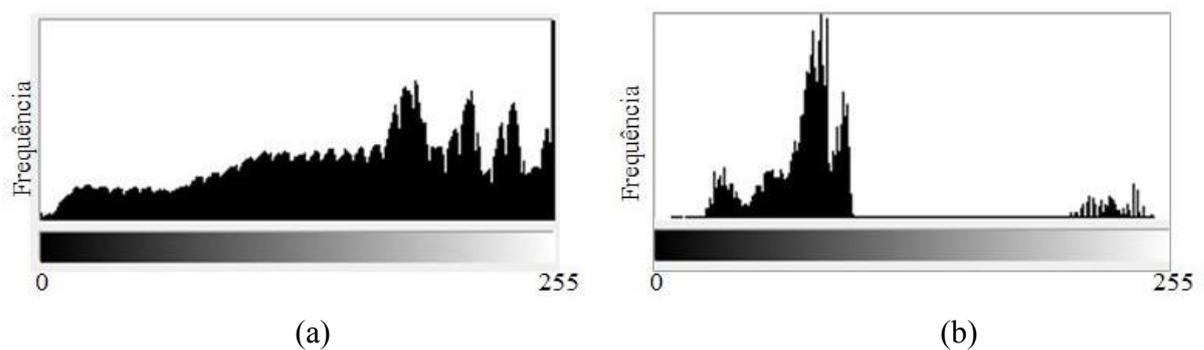


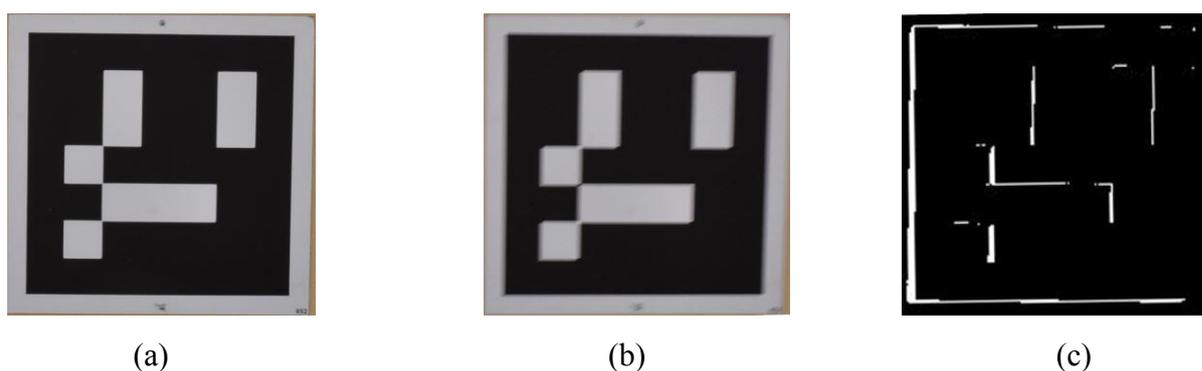
Figura 12 - Histograma de frequência de distribuição de tons de cinza nas imagens tomadas com as câmaras Hasselblad H4D-60 e Fuji S3 Pro.



Ressalta-se que, apesar da câmara HasselBlad H4D-60 possuir um conjunto de lentes de alta qualidade, o investimento para adquirir uma câmara com essas características (Quadro 6) é muito superior quando comparado à Fuji S3 Pro. As câmaras de baixo custo podem apresentar bons resultados quando aliadas a bons procedimentos de aquisição, de processamento e do uso de acessórios, como um tripé.

Como discutido no teste de resolução, uma das possibilidades para minimizar a aberração das lentes é diminuir a abertura, mas, com isso é necessário aumentar o tempo de exposição. Logo, é fundamental o uso de acessórios como um tripé para câmara, que evita o borramento por movimento da imagem. A Figura 13 justifica o uso deste acessório: em (a) mostra-se uma imagem adquirida (f22) utilizando tripé e em (b) uma imagem nas mesmas condições sem tripé e em (c) a diferença entre elas devido ao borramento.

Figura 13- Experimento quando ao uso de acessórios (tripé).



Aquisição de medidas de controle e verificação para a classe A

Os pontos de controle interferem diretamente na acurácia das orientações, pois são utilizados para materializar o referencial do projeto, o que justifica a necessidade de uma determinação acurada (ANDRADE, 1998). A mesma observação vale para a aquisição dos pontos de verificação, que permitem o controle de qualidade ao fim do processo de orientação.

As medidas de controle e verificação devem ser compatíveis em acurácia com 1/3 do erro padrão total para a acurácia absoluta (ver exemplo na Tabela 2). Para atingir esta acurácia, recomenda-se a implantação de um sistema topográfico local (STL) (NBR 14166/98) e uma análise rigorosa da propagação dos erros, como discutido anteriormente na Seção 2.2.1.

Para as escalas de médio e baixo nível de detalhamento é possível realizar as medidas diretas a partir das técnicas de Topografia (Tabela 4). Neste caso recomenda-se consultar a NBR13133 para a execução de levantamentos topográficos (ABNT,1994). É importante considerar que a aquisição das medidas de controle e verificação através de técnicas de Topografia pode se tornar inviável (altos custos, disponibilidade de equipamentos e operadores especializados) para o nível de precisão requerido na escala de alto detalhamento, principalmente em função da necessidade de equipamentos com precisão de medida submilimétrica, sendo mais interessante realizar um processo de fototriangulação, considerando uma escala conhecida (distâncias) e ajustamento livre (ATKINSON, 1996; GEMAEL, 1994).

Tabela 4 - Limite da acurácia das medidas de verificação das imagens para as escalas de plotagem recomendadas.

Escala	1:10	1:50	1:100
σ_{MD} e $\sigma_{PV} < 1$ GSD	1mm	5 mm	10 mm

Aquisição de medidas de controle e verificação para a classe B

Para os modelos classe B pode-se optar pelo STL ou pelo Sistema de referência geodésico adotado para o Sistema Geodésico Brasileiro: SIRGAS 2000 (decreto Nº 5334/2005), caso seja necessário o modelo georreferenciado. Lembrando que para analisar a qualidade do modelo deve-se considerar a propagação dos erros do sistema de referência e das técnicas de aquisição, sendo que, quanto mais rigoroso o procedimento, maiores serão os custos de produção.

Logo, para algumas aplicações, o uso de uma câmara de alta resolução não é fundamental, se estiver aliado a procedimentos com outras fontes de erros, principalmente quando a determinação das coordenadas dos pontos de controle e verificação for menos acurada que o erro de medida na imagem. Por exemplo, quando se obtêm coordenadas pelo Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS), que na maioria dos casos apresenta resultados com acurácia centimétrica, o que adicionaria erros no modelo final.

4.2.3 Orientação interior

É fundamental que as câmaras estejam devidamente calibradas para proporcionar informações confiáveis. No entanto, pouco se discute nas normas e

especificações sobre a precisão dos POI. As recomendações, quanto à orientação interior discutidas nessa seção, são válidas para ambos os modelos classe A e B, no entanto, para a classe A o procedimento de calibração é obrigatório, enquanto para a classe B é opcional.

No MSSCH recomenda-se que a precisão na determinação da distância focal seja inferior a 0,01mm, o que corresponde a meio pixel de uma câmara analógica (20 μ m). Atualmente a maioria das câmaras digitais possui pixel com tamanho em torno de 6 μ m e menores, portanto, seria interessante utilizar como requisito para análise da acurácia da distância focal, que seu desvio padrão seja inferior a um pixel ($\sigma_f < 1$ pixel), assim como para a análise da acurácia na determinação do ponto principal, ponderando que o desvio padrão destes parâmetros também sejam inferiores a um pixel ($\sigma_{x_0}, \sigma_{y_0} < 1$ pixel), independente do método de calibração utilizado.

A Figura 14 apresenta o resultado da calibração de duas câmaras diferentes - Sony-Nex (a) e Nikon D3200 (b) respectivamente - pelo método de calibração de campo com o programa CMC (Calibração de Múltiplas Câmaras), desenvolvido por Ruy (2008), mostrando a viabilidade desse requisito.

Figura 14 - Exemplo de viabilidade de requisito quanto à precisão da distância focal e do ponto principal na calibração da câmara, em (a) Sony-Nex e (b) Nikon D3200.

Dimensões da imagem em pixels (c,l):	4912	x	3264	
Dimensão do pixel em x (mm):			0.0047	
Dimensão do pixel em y (mm):			0.0047	
f =	18.14563982 mm	±	0.00469099 mm	(Desvio de ± 1.00 pixel)
x0 =	-0.06372373 mm	±	0.00239758 mm	(Desvio de ± 0.51 pixel)
y0 =	-0.02992529 mm	±	0.00226678 mm	(Desvio de ± 0.48 pixel)

(a)

Dimensões da imagem em pixels (c,l):	6016	x	4000	
Dimensão do pixel em x (mm):			0.0038	
Dimensão do pixel em y (mm):			0.0038	
f =	28.09904533 mm	±	0.00183831 mm	(Desvio de ± 0.48 pixel)
x0 =	0.10384993 mm	±	0.00021163 mm	(Desvio de ± 0.06 pixel)
y0 =	-0.02545834 mm	±	0.00020132 mm	(Desvio de ± 0.05 pixel)

(b)

Outra questão importante e que pouco se avalia é o conjunto dos parâmetros de orientação interior a serem empregados, a partir da análise da significância dos parâmetros. A significância de cada parâmetro pode ser avaliada considerando se a magnitude do parâmetro é inferior a seu desvio padrão (CHANDLER, FRYER e JACK, 2005) e se o efeito

do parâmetro é inferior ao erro de medida. A significância dos parâmetros muda de câmara para câmara e também depende das condições da calibração, como qualidade e distribuição dos alvos e acurácia das medidas, sendo recomendado avaliar o conjunto de parâmetros de acordo com cada câmara e sua respectiva calibração. Mais detalhes e referências sobre a avaliação da significância dos parâmetros podem ser obtidos em Galo *et al.*, 2008.

Como exemplo, analisou-se o conjunto de parâmetros de orientação interior obtidos na calibração da câmara Nikon D3200 (Tabela 5) com o programa CMC (RUY, 2008), considerando o cálculo dos efeitos dos parâmetros nas coordenadas x e y . A Tabela 6 mostra o efeito total (EF) da distorção radial simétrica e de suas componentes k_1 , k_2 e k_3 individualmente, assim como para a distorção descentrada e suas componentes p_1 e p_2 , em pixel, nas coordenadas extremas da imagem (x , y).

Tabela 5- Parâmetros de Orientação Interior da câmara Nikon D3200.

POI	f (mm)	x_0 (mm)	y_0 (mm)	k_1 (mm ⁻²)	k_2 (mm ⁻⁴)	k_3 (mm ⁻⁶)	p_1 (mm ⁻¹)	p_2 (mm ⁻¹)
\pm	28.0990	0.1038	-0.0254	$1,53 \times 10^{-4}$	$1,76 \times 10^{-7}$	$1,12 \times 10^{-10}$	$5,6 \times 10^{-6}$	$7,1 \times 10^{-6}$
DP	0.0018	0.0002	0.0002	$1,51 \times 10^{-6}$	$2,06 \times 10^{-8}$	$8,5 \times 10^{-11}$	$3,5 \times 10^{-7}$	$4,4 \times 10^{-7}$

Tabela 6 - Efeito dos parâmetros de distorção radial simétrica e distorção descentrada das lentes (Nikon D3200) nas coordenadas x e y no canto da imagem.

Comp.	Efeito da distorção radial simétrica (Pixel)				Efeito da distorção descentrada (Pixel)		
	ET	k_1	k_2	k_3	ET	p_1	p_2
x	-65.12	-85.50	18.18	2.20	-0.34	-0.66	0.32
y	-43.84	-57.56	12.24	1.48	0.31	-0.26	0.57

Todos os parâmetros apresentam efeitos superiores ou equivalentes ao erro de medida para esta calibração (Tabela 7), nas componentes x e/ou y , que normalmente corresponde a aproximadamente meio pixel. Também seria interessante fazer um teste estatístico de significância. A Tabela 7 traz a média e desvio padrão dos resíduos nas medidas das coordenadas imagens (1800 pontos) em x e y , para esta calibração, as quais foram realizadas a partir do reconhecimento automático dos alvos no padrão ArUco, desenvolvido por Silva *et al.* (2014), que possibilita medidas com acurácia subpixel.

Tabela 7- Média e desvio padrão das medidas das coordenadas imagem.

Componentes	Média (pixel)	Desvio Padrão (pixel)
x	0,00011	0,3036
y	0,000022	0,3259

Caso algum dos conjuntos de parâmetros não seja significativo recomenda-se recalcular a calibração da câmara excluindo estes parâmetros.

Como discutido anteriormente no Capítulo II, existem muitos métodos de calibração. O objetivo deste estudo não é analisar e limitar os métodos a serem utilizados, mas sim fornecer diretrizes que permitam planejar e analisar se a calibração da câmara está adequada para desenvolver um modelo para a documentação fotogramétrica do patrimônio arquitetônico. Porém, devido à extensa aplicação da calibração com campo bidimensional pelos usuários em Fotogrametria Arquitetural, principalmente pela facilidade de implantação dos modelos de campo 2D, com alvos de reconhecimento automático, disponibilizados pelos programas comerciais julgou-se relevante verificar a aplicação de campos de calibração 2D ou 3D.

Análise quando ao uso de campo de calibração 2D e 3D

O objetivo desse estudo foi avaliar a influência dos POI obtidos pela calibração com campo 2D e 3D em um experimento prático. Para a aquisição das imagens neste experimento utilizou-se a câmara Sony-Nex com objetiva de 18 mm. Os detalhes sobre a câmara utilizada são apresentados no Quadro 7.

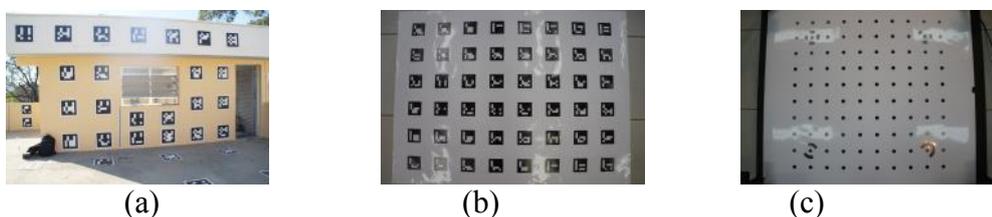
Quadro 7- Informações técnicas sobre a câmara Sony Nex.

Câmara	Distância Focal nominal	Sensor	Tamanho do sensor	Tamanho do pixel	Dimensões da imagem
Sony Nex	18 mm	CMOS	23 x 15 mm	4,7 μ m	4912 x 3264 pixels

Com o objetivo de estimar os POI, foram realizadas 3 coletas de dados, em três campos de calibração (Figura 15), baseadas no método de calibração em campo e ajuste por feixes de raios com a configuração de câmaras convergentes. Os três conjuntos de dados se diferenciam pelo campo utilizado (2D ou 3D), o programa de identificação automática dos alvos e o programa de processamento (ver Quadro 8).

Quadro 8- Descrição dos conjuntos de dados das calibrações (experimentos).

Exp.	Descrição do experimento
1	Calibração utilizando campo 3D, com alvos no padrão ArUco, programa CMC e programa de identificação e medida automática de alvos (Localizador de alvos), ambos desenvolvidos pelo grupo de pesquisa em Fotogrametria da FCT/UNESP.
2	Calibração com placa 2D, com alvos no padrão ArUco, programa CMC e programa de identificação e medida automática de alvos.
3	Calibração utilizando placa 2D, com alvos no padrão do <i>PhotoModeler</i> e o programa comercial <i>PhotoModeler</i> . A placa 2D de reconhecimento automático deste experimento é disponibilizada pelo próprio fabricante no site do programa.

Figura 15 - (a) Campo de Calibração 3D - FCT/UNESP (b) Placa 2D no padrão ArUco, (c) Placa 2D *PhotoModeler*.

Os POI obtidos a partir da calibração utilizando estes três conjuntos de dados foram (Tabela 8): distância focal (f), coordenadas do ponto principal (x_0 , y_0), parâmetros da distorção radial simétrica (k_1 , k_2 , k_3) e parâmetros da distorção descentrada (p_1 , p_2). Nota-se que os parâmetros de afinidade não foram utilizados na calibração da câmara, em nenhum dos experimentos, isto porque, embora o programa CMC possua o modelo de afinidade apresentado por Habib e Morgan (2003), o programa *PhotoModeler*, não utiliza nenhum modelo de afinidade, o que impossibilitaria a comparação entre os resultados das calibrações. Além disso, para câmaras digitais o efeito da afinidade, na maioria dos casos, é negligenciável.

As maiores diferenças foram encontradas na distância focal e na coordenada x do ponto principal (x_0). Apesar das diferenças nas geometrias dos campos de calibração 3D e 2D, os parâmetros de distorção radial simétrica obtidos nas três calibrações, assim como os parâmetros de distorção descentrada são semelhantes, como se observa na Tabela 8.

Foram estimadas as discrepâncias entre as coordenadas calculadas e as coordenadas de referência dos alvos, através da média, desvio padrão e a raiz quadrada do erro quadrático médio das discrepâncias encontradas, como mostra a Tabela 9.

Figura 17- Tripleto experimental.

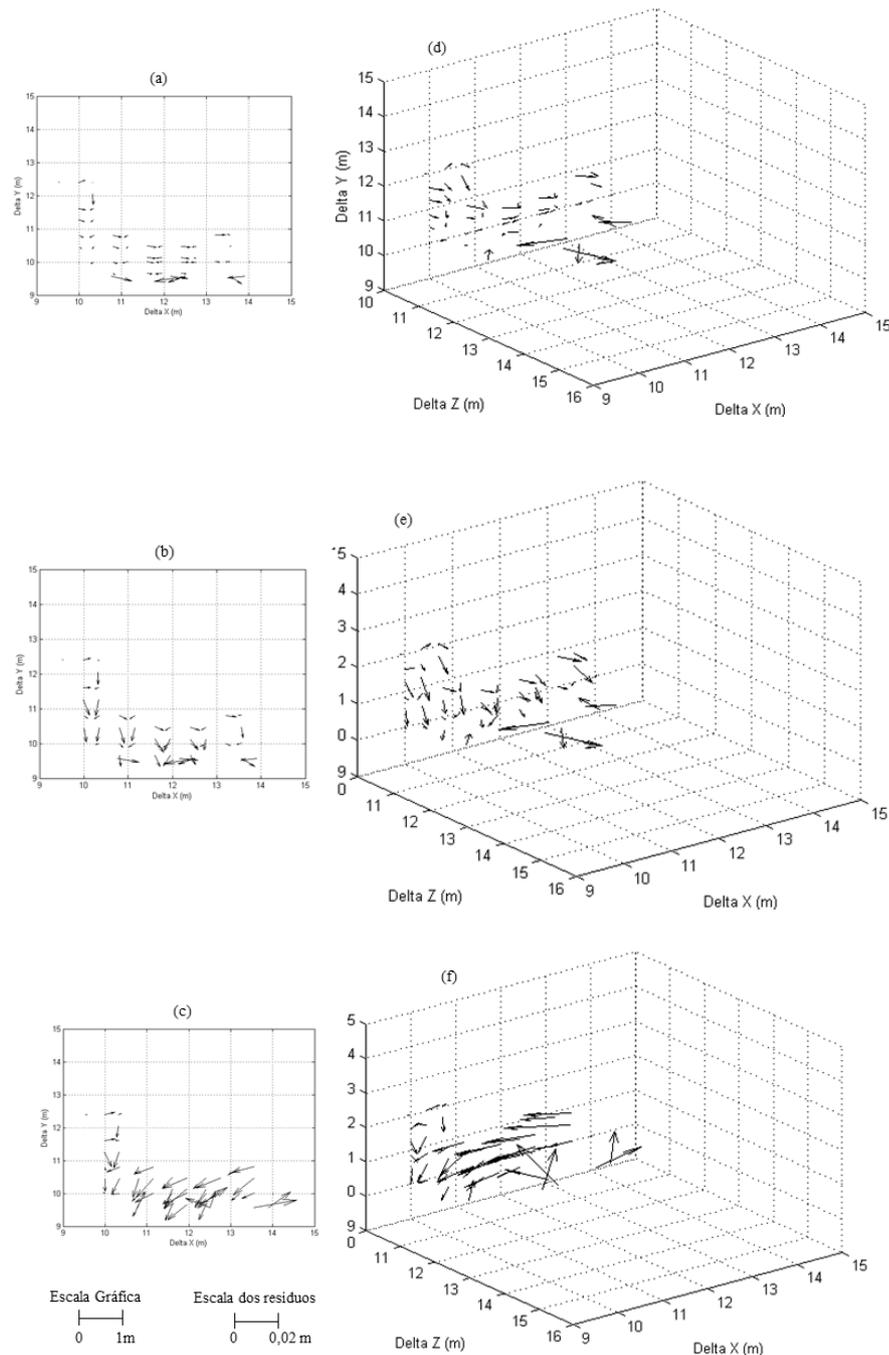


Tabela 9 - Média, desvio padrão e REQM referente à aplicação dos POI dos experimentos 1, 2 e 3 no cálculo das coordenadas do tripleto de imagens.

		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Exp. 1	Média	0,351	-0,893	0,780
	Desvio Padrão	4,063	1,310	5,503
	REQM	4,079	1,296	5,606
Exp. 2	Média	0,229	-3,250	1,410
	Desvio Padrão	3,977	2,924	5,735
	REQM	3,983	4,398	5,908
Exp. 3	Média	-2,130	-2,970	-6,080
	Desvio Padrão	9,100	9,096	6,409
	REQM	9,350	9,579	8,879

A média das discrepâncias permitiu detectar a presença de tendências que foram provocadas pelos POI utilizados e, portanto, por erros sistemáticos residuais, bem como pela geometria e distribuição dos pontos de controle. Nos experimentos 2 e 3, onde utilizou-se POI provenientes de calibrações com campos bidimensionais, observa-se uma maior tendência, principalmente, nas coordenadas Z. Entretanto, é possível observar graficamente que as discrepâncias possuem padrão aleatório (Figura 18). As discrepâncias obtidas em X, Y (a,b,c) assim como em XYZ (d,e,f), para cada ponto, ampliadas 50 vezes (50:1).

Figura 18- Gráfico das discrepâncias planimétricas/planialtimétricas obtidas para cada ponto considerando em (a/d), (b/e), (c/f), o cálculo das coordenadas do modelo a partir dos POI obtidos nos experimentos 1, 2 e 3, respectivamente.



As discrepâncias entre os POI obtidos nos experimentos 2 (2D/CMC) e 3 (2D/PhotoModeler) com relação ao experimento 1 (3D/CMC) foram em grande parte absorvidas pelos POE, no processo de ajustamento por feixes de raios. Ainda assim, os melhores resultados foram aqueles obtidos com o campo tridimensional.

Os POE obtidos com os três conjuntos de calibrações apresentam discrepâncias de valores entre si, principalmente em função da absorção do efeito dos POI. Nesse sentido, a Tabela 10 apresenta as discrepâncias entre os POE obtidos por Fototriangulação com os POI estimados na calibração com o campo 3D e com os POI estimados na calibração com ambos os campos bidimensionais. Na Tabela 10, $\Delta E1-E2$ são as discrepâncias entre os POE relativos ao campo 3D e o campo 2D no padrão ArUco e $\Delta E1-E3$ são as discrepâncias entre os POE relacionados aos POI obtidos com campo 3D, e aos POI do campo bidimensional no padrão *PhotoModeler*, ambos para as três imagens do triplete.

Tabela 10- Discrepâncias entre os POE calculados a partir dos POI obtidos na calibração com campos bidimensionais com relação ao campo tridimensional.

	Img	ω (°)	φ (°)	κ (°)	X_0 (m)	Y_0 (m)	Z_0 (m)
$\Delta E1-E2$	1	0,1271	0,2948	-0,0916	0,0073	0,0028	0,0057
	2	0,1254	0,2220	0,0242	-0,0041	0,0031	0,0087
	3	0,1720	0,2176	0,0965	-0,0085	0,0005	0,0056
	Média	0,1415	0,2448	0,0097	-0,0017	0,0021	0,0066
$\Delta E1-E3$	1	0,6059	1,7422	-0,1559	0,1564	-0,0478	0,1062
	2	0,1376	0,6218	0,0495	-0,0255	0,0113	0,1836
	3	0,3873	0,1809	0,0314	-0,1437	-0,0239	0,1430
	Média	0,3769	0,8483	-0,0249	-0,0042	-0,0201	0,1442

Em ambos os experimentos as maiores discrepâncias nos ângulos de atitude ocorreram no ângulo (φ), que está correlacionado com a coordenada X, o que absorve as diferenças entre os valores de x_0 .

Quanto à posição, as maiores discrepâncias ocorreram em Z_0 , devido à correlação deste parâmetro com a distância focal. A maior discrepância em Z_0 é observada em $\Delta E1-E3$, devido às diferenças significativa entre os valores da distância focal obtidos nas calibrações nos experimentos 1 (campo 3D) e 3 (POI estimados com o campo plano pelo *Photomodeler*) como apresentado na Tabela 8.

Além disso, foi avaliado como as variações nos POI afetam os pontos determinados no espaço objeto. Foram calculados separadamente a média, desvio padrão e REQM das coordenadas no plano dos pontos de verificação (*in-plane*, Tabela 11) e fora deste plano (*out-of-plane* –Tabela 12) apenas para os experimentos 1 e 2.

Tabela 11- Média, desvio padrão e REQM das discrepâncias das coordenadas no plano dos pontos de verificação.

Exp. 1 (POI de campo 3D)	X (mm)		Y (mm)	Z (mm)
	Media	0,688	-0,540	1,466
Desvio Padrão	2,446	0,448	2,272	
REQM	2,510	0,697	2,679	
Exp. 2 (POI de campo 2D)	Media	0,272	-2,74	2,184
	Desvio Padrão	2,503	2,452	3,072
	REQM	2,441	3,594	3,673

Tabela 12- Média, desvio padrão e REQM das discrepâncias das coordenadas fora do plano dos pontos de apoio.

Exp. 1 (POI de campo 3D)	X (mm)		Y (mm)	Z (mm)
	Media	-1,690	-2,210	-3,650
Desvio Padrão	7,204	2,423	8,912	
REQM	7,424	3,367	9,707	
Exp. 2 (POI de campo 2D)	Media	-0,420	-2,070	-0,840
	Desvio Padrão	7,297	2,336	10,866
	REQM	7,308	3,194	10,900

A REQM nas coordenadas no plano dos pontos de apoio (*in-plane*) do primeiro experimento são inferiores a 3 mm (precisão média dos pontos de controle) em todas as componentes, enquanto que as coordenadas no plano dos pontos de apoio, nas componentes Y e Z, no experimento 2 são superiores a 3 mm. Observando a média constata-se a presença de tendência nessas componentes.

Nas coordenadas fora deste plano (*out-of-plane*) a REQM é maior quando comparado a REQM das coordenadas *in-plane*, em todas as componentes, mas a maior REQM das discrepâncias está na componente Z.

Comparando os dois experimentos, a REQM varia 1,5% em X e 5% em Y, enquanto em Z a diferença entre o campo 3D e 2D é de 12%. O aumento das discrepâncias em Z é esperado, pois, o campo 2D não apresenta variação no plano da componente Z, o que dificulta a redução de dependência linear com a distância focal. (MERCHANT, 1979; ANDRADE, 1981; CÔRTEZ, 2010; DEBIASE, 2012).

Assim, para o levantamento de fachadas, por exemplo, a calibração utilizando campo 2D pode ser viável, desde que a aquisição das imagens para a calibração seja feita com distância similar à aplicada no projeto, como discutido por Brown (1971).

Entretanto, para aplicações como a modelagem 3D de estruturas e bens arquitetônicos em geral, a calibração com o campo tridimensional possibilita parâmetros de orientação interior mais adequados. Mais experimentos e discussões sobre a aplicação dos campos de calibração 2D e 3D podem ser consultados em Campos *et al.*. (2015).

4.2.4 Orientação exterior

Como discutido anteriormente, as técnicas de orientação direta, ainda não apresentam ganho para a aplicação de modelagem do patrimônio quando comparada à indireta. Assim recomenda-se a orientação exterior por processos indiretos como a Fototriangulação por feixes de raios (ver Capítulo II).

A avaliação da qualidade dos processos de orientação baseia-se no procedimento clássico em Fotogrametria considerando pontos de verificação. A análise consiste em verificar se a Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM) das discrepâncias (Δ_{PV}) entre as coordenadas dos pontos de verificação em campo (dados de referência medidos diretamente) e as coordenadas estimadas por processos indiretos (fototriangulação) é inferior à 2/3 do limite do erro padrão final para a acurácia absoluta em todas as componentes (X,Y,Z).

Para isso é interessante considerar, quando possível, o uso de processos de medição na imagem de pontos de controle e verificação: automática (em que não há intervenção do operador, por exemplo, na identificação dos alvos Aruco e do *Photomodeler*) ou semi-automática (em que há uma primeira intervenção do operador nas medidas dos pontos e posteriormente a transferência por métodos de correlação de imagens). Estes métodos permitem atingir acurácia subpixel, minimizando os erros do operador (FRASER, 1998; REISS e TOMMASELLI, 2011; FRASER, 2013).

Recomenda-se também avaliar a qualidade da medida dos pontos fotogramétricos e do REQM global das imagens ($< 0,5$ pixel), assim como, verificar se os pontos de verificação não são tendenciosos.

Como exemplo, foi realizada no programa comercial *Leica Photogrammetry Suite (LPS)* a fototriangulação de um estereopar com GSD médio de 3 mm (Figura 19), considerando duas situações: primeiro com a medição semi-automática na imagem dos pontos de controle e verificação a partir da função de transferência de pontos por mínimos quadrados do LPS (Exp. 1) e em um segundo momento com medição manual dos pontos (Exp. 2).

Nesse exemplo utilizou-se a câmara Hasselblad H4D-60 (Quadro 6), com a qual foram tomadas imagens de um ambiente controlado, o campo de calibração tridimensional implantado pelo grupo de Fotogrametria da FCT/ Unesp. O apoio do campo de calibração foi mensurado com acurácia média de 3 mm (MARCUS *et al.*, 2013), sendo compatível com o GSD da imagem.

Os experimentos foram realizados com os mesmos parâmetros de orientação interior, sendo considerados fixos no ajustamento (a câmara foi previamente calibrada utilizando o programa CMC); parâmetros iniciais de orientação exterior iguais, sem injeção e pontos de controle e verificação análogos com acurácia de 3 mm. Também se aplicou em ambos os experimentos o modelo de distorção adicional *Lens distortion* existente no LPS.

No primeiro momento elaborou-se um único projeto, em que os pontos de passagem foram medidos automaticamente (*automatic tie process*) e filtrados até que os resíduos fossem inferiores a 2 pixel. Em seguida, a partir deste primeiro projeto, foram criados dois projetos distintos, inserindo as medidas dos pontos de controle e verificação, permitindo analisar apenas o impacto das medidas semi-automáticas e manuais.

A Tabela 13 traz as estatísticas média, desvio padrão e REQM dos pontos de verificação nas três componentes (X, Y, Z) para os experimentos 1 (medição semi-automática) e 2 (medição manual), assim como o REQM global das imagens em pixel. Os resíduos e a distribuição dos pontos de controle e verificação podem ser visualizados graficamente na Figura 20.a para o Exp. 1 e na Figura 20.b para o Exp. 2.

Figura 19 – Estereo-par com os pontos de passagem, controle e verificação identificados.



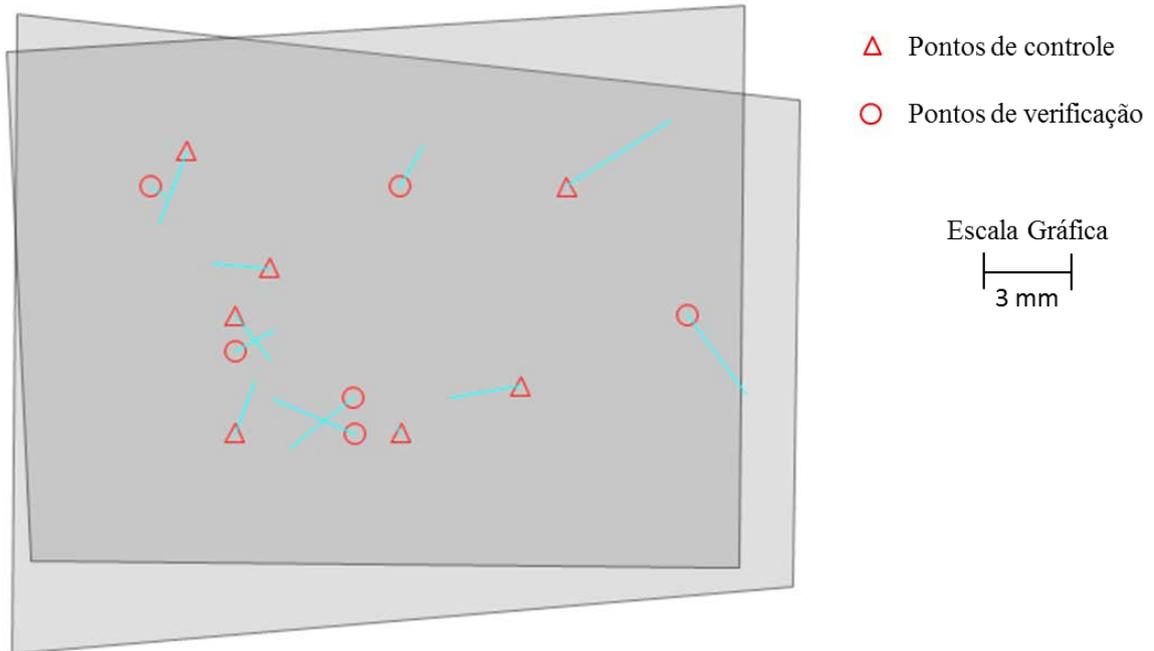
Tabela 13-Média, Desvio Padrão e REQM dos pontos de verificação (em mm) e o sigma à posteriori (σ_0) em pixel, para os experimentos 1 e 2.

Exp.	Média			Desvio Padrão			REQM			σ_0 (pixel)
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	
1	0,03	0,37	0,48	2,76	2,36	2,16	2,52	2,19	2,03	0,43
2	1,27	0,12	2,82	3,95	2,42	6,08	3,82	2,21	6,22	0,50

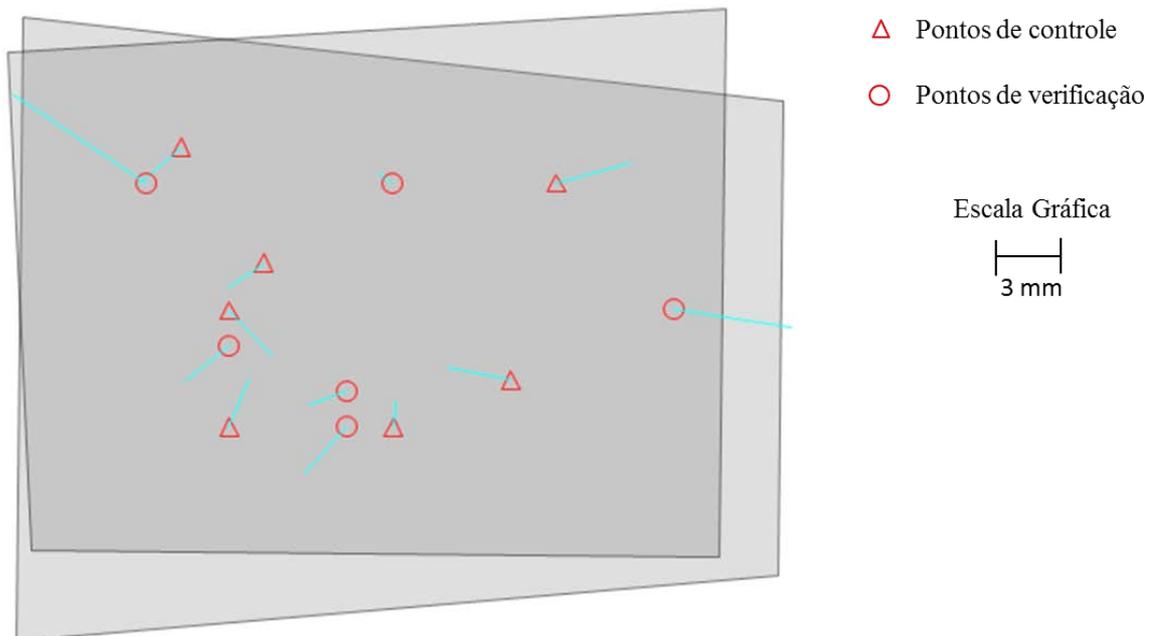
A REQM obtida nas três componentes (X, Y e Z) com o uso da função de transferência de pontos é inferior a 1 GSD (3 mm) em função das medidas subpixel. No experimento 2 com medidas manuais a REQM foi inferior a 1 GSD apenas na componente Y, enquanto que na componente X a REQM corresponde aproximadamente a 1,3 GSD e na componente Z, a 2 GSD. Isto pode ser explicado pela aberração cromática alta das imagens, o que dificultou a realização das medidas pelo operador.

Embora na maioria dos casos a medição automática e/ou semi-automática atinja melhores resultados, dependendo do programa utilizado, da técnica de correspondência de imagens e da experiência do operador, a medição manual pode ser mais eficiente em algumas situações, como por exemplo, em superfícies homogêneas e com padrões repetitivos, em razão da complexidade destas características para o processo de correspondência de imagens.

Figura 20- Resíduos individuais dos pontos de controle e verificação para o Experimento 1 (a) e 2 (b).



(a)



(b)

Por fim, analisou-se se os pontos de verificação não são tendenciosos através do teste de tendência com análise de distribuição *t-student* onde as seguintes hipóteses

foram testadas: $H_0: \Delta\bar{X} = 0$, não é tendencioso ou $H_1: \Delta\bar{X} \neq 0$, é tendencioso (MERCHANT, 1982). O valor de t amostral é obtido a partir da Equação 4.7.

$$t_x = \frac{\Delta\bar{X}}{S_{\Delta X}} \sqrt{n} \quad (4.7)$$

Em que: ΔX é a média das discrepâncias entre as coordenadas dos pontos de verificação medidos em campo e as coordenadas obtidas por processos indiretos, $S_{\Delta X}$ é o desvio padrão da média das mesmas discrepâncias e n é o número total de pontos de verificação ($n=6$).

O valor limite é determinado através da tabela t de Student, para um nível de confiança $(1-\alpha)$ de 95%. Assim, se $|t_x| < t_{(n-1; \frac{\alpha}{2})}$ aceita-se a hipótese nula, ou seja, os pontos de verificação não são tendenciosos. A Tabela 14 apresenta os valores tabelados e calculados para os experimentos 1 e 2 sendo que, em ambos, a estatística t satisfaz à desigualdade descrita, portanto as discrepâncias nos pontos não apresentam tendência.

Tabela 14- Teste de tendência dos pontos de verificação para o experimento 1 e 2.

Valor	t_x	t_y	t_z
Tabelado	2,015	2,015	2,015
Calculado – Exp.1	0,029	0,380	0,549
Calculado – Exp.2	0,785	0,118	1,135

4.2.5 Modelagem

As especificações não discutem requisitos para auxiliar na escolha da técnica de modelagem, principalmente considerando a representação das fronteiras, sendo este um ponto importante para garantir a acurácia do modelo final. Para rever as principais técnicas utilizadas para a modelagem do patrimônio arquitetônico, consultar a Seção 2.2.1.

Restituição de feições lineares (monoscópica ou estereoscópica)

A restituição de feições lineares, procedimento clássico em Fotogrametria, para a modelagem do objeto de interesse, pode ser realizada de maneira monoscópica ou estereoscópica. Em alguns casos, principalmente em imagens de baixo contraste, a restituição

de quinas e arestas é muito incerta. Para esse caso, é interessante refletir sobre as medições realizadas com visão estereoscópica ou monoscópica, e assim, analisar em quais situações seria interessante optar por uma configuração ou método de aquisição que garanta a estereoscopia (WOLF e DEWITT, 2000; LUHMANN *et al.* 2006).

Como exemplo, foi realizada a restituição de uma parcela da edificação da estação ferroviária da cidade de Presidente Prudente (Figura 24), que apresenta diversas feições com baixo contraste devido sua superfície homogênea (textura branca). Consideraram-se dois projetos distintos: primeiro empregando visão monoscópica (usando o programa *Photomodeler*) e no segundo momento com visão estereoscópica (plataforma *LPS*), ambos com o mesmo conjunto de dados iniciais.

As imagens foram tomadas com a câmara Nikon D3200, calibrada com o programa CMC (RUY, 2008). Os parâmetros foram compatibilizados de acordo com as características de cada programa como discutido na Seção 4.2.3 para o *Photomodeler* (EOS SYSTEM, 2000) e na Seção 5.1.2.2 para o *LPS*. Mais informações sobre este conjunto de dados podem ser encontradas na Seção 5.1, uma vez que, a modelagem completa desta estação ferroviária, no *LPS*, compõe um dos estudos de caso apresentados no Capítulo V. Assim, o foco desta seção está no processo de modelagem e não nos resultados dos processos anteriores que serão apresentados com mais detalhes posteriormente.

O procedimento executado no experimento 1, para a restituição com visão monoscópica no *Photomodeler*, consistiu basicamente em configurar o projeto (nome, unidade de medida, escala, dentre outras), importar as imagens, inserir o arquivo correspondente aos parâmetros de orientação interior da câmara, marcar e referenciar pontos para orientar as imagens (monoscopicamente), processar (obteve-se um REQM final de 0,387 pixel < 0,5 pixel), adicionar novos pontos, linhas, curvas, polígonos e superfícies (restituição monoscópica), exportar o modelo (formato dxf) e realizar o controle de qualidade intermediário e final. A Tabela 15 apresenta os resíduos máximos e mínimos obtidos nas componentes X, Y e Z dos pontos medidos utilizados para orientar as imagens e o REQM global dos pontos.

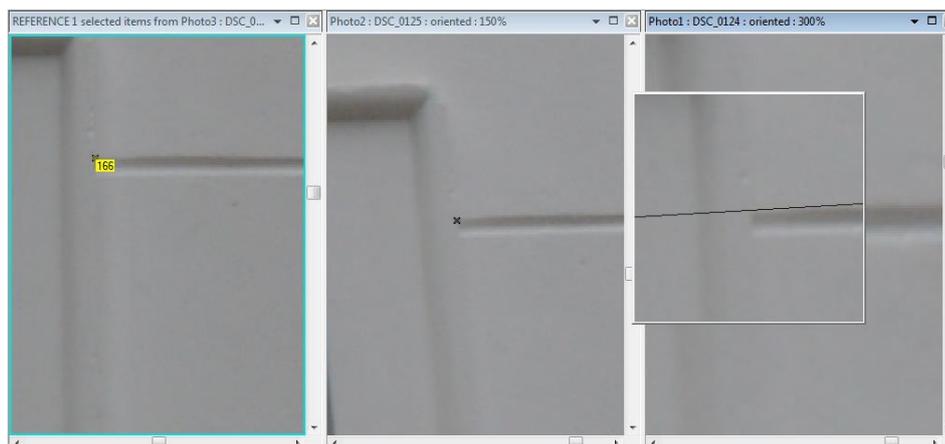
Tabela 15 - Resíduos dos pontos utilizados para a orientação das imagens no *Photomodeler* com medição monoscópica.

Resíduos	X (mm)	Y(mm)	Z(mm)	REQM global (mm)
Máximo	0,462	0,291	1,56	0,959
Mínimo	0,115	0,112	0,62	

Baseado na correspondência de imagens a partir dos princípios da geometria epipolar, o *Photomodeler* indica, após a marcação do primeiro ponto na imagem de referência, as linhas epipolares nas demais imagens (Figura 21). Essa função é interessante, pois auxilia na identificação dos pontos homólogos (à medida que estes se localizam sobre a linha epipolar).

A geometria epipolar consiste na geometria projetiva intrínseca aos pontos de uma cena observada de no mínimo dois pontos de vista distintos (HARLEY e ZISSERMAN, 2000). Mais detalhes sobre a correspondência de imagens considerando a geometria epipolar podem ser encontrados em Galo e Tozzi (1997).

Figura 21 – Visualização da linha epipolar que contém o ponto homólogo ao ponto medido na imagem de referência.



Durante o processamento no *Photomodeler*, considerando a condição de colinearidade entre os pontos no espaço imagem e no espaço objeto, as coordenadas tridimensionais são calculadas a partir do ajustamento por mínimos quadrados dos feixes de raios formadores da imagem. As feições restituídas monoscopicamente nas imagens são utilizadas para calcular as coordenadas 3D que compõem o modelo. Mais detalhes sobre a metodologia aplicada pelo *Photomodeler* encontram-se no manual do programa (EOS SYSTEM, 2000).

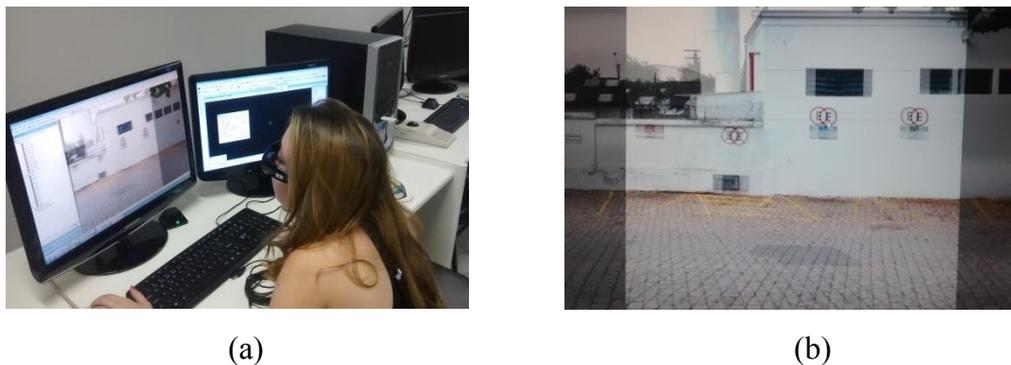
Mesmo com o auxílio da função de correspondência de imagens nota-se na Figura 22 a dificuldade de restituir e medir pontos com visão monoscópica em arestas de baixo contraste.

Figura 22- Exemplo de aresta de baixo contraste e dificuldade na restituição monoscópica.



No experimento 2 o processamento assemelha-se ao Exp 1, em que, em síntese, foram adicionados as imagens e os parâmetros de orientação interior e exterior (iniciais), assim como foram informadas as coordenadas de terreno dos pontos de controle e verificação e mediu-se as respectivas coordenadas imagem destes pontos e os pontos fotogramétricos. A fototriangulação foi realizada, obtendo-se os parâmetros de orientação exterior e as coordenadas tridimensionais dos pontos fotogramétricos, e por fim realizou-se a restituição em ambiente estéreo, no módulo PRO600 do *LPS*, vinculado ao programa *Microstation*. O controle de qualidade foi feito considerando a acurácia dos processos intermediários e o modelo final (ver Seção 5.1). A Figura 23 ilustra em: (a) o processo de restituição com visão estereoscópica realizada pelo operador e, em (b) o estéreo-par.

Figura 23 - (a) Operador realizando a restituição estereoscópica e (b) o estéreo-par.



A qualidade geométrica obtida em cada caso foi avaliada por meio da análise da exatidão obtida nas bordas de objetos de alto (arestas de janelas) e baixo contraste (arestas de detalhes). Para o controle de qualidade foram medidas as distâncias de arestas em campo, com o auxílio de uma trena, que foram comparadas às restituídas no modelo. A medida das arestas também é utilizada para avaliar a precisão relativa do modelo.

A Tabela 16 traz as estatísticas: média, desvio padrão e REQM das discrepâncias entre as medidas das arestas de feições de alto contraste obtidas diretamente

(referência) e indiretamente (arestas medidas no modelo), enquanto a Tabela 17 apresenta os resultados para as medidas das arestas de feições de baixo contraste.

Tabela 16- Estatísticas para a restituição de arestas de alto contraste.

Estatísticas	Média (m)	Desvio Padrão(m)	REQM(m)
Monoscópica	0,0172	0,0086	0,0189
Estereoscópica	0,0066	0,0067	0,0090

Tabela 17 – Estatísticas para a restituição de arestas de baixo contraste.

Estatísticas	Média(m)	Desvio Padrão(m)	REQM(m)
Monoscópica	0,0677	0,0848	0,1029
Estereoscópica	0,0018	0,0142	0,0131

A maior discrepância está nas medidas das arestas de baixo contraste. Enquanto para a restituição das arestas de alto contraste, o percentual de ganho (calculado a partir da REQM - Tabela 16 e 17), utilizando a restituição estereoscópica em relação a monoscópica é de 52%, para as arestas de baixo contraste este percentual chega a 87%. Destaca-se que, apesar dos resultados mostrarem claramente a dificuldade na restituição monoscópica em superfícies homogêneas ou de baixo contraste, é importante considerar que parte dos resíduos são resultantes de procedimentos anteriores, sendo que o experimento realizado na plataforma *LPS* permite análises e processos mais rigorosos que no *Photodeler*.

Para a análise da precisão relativa dos modelos para a escala 1:100 (REQM < 2 cm, limite do erro padrão final para a acurácia relativa) foram calculadas as estatísticas média, desvio padrão e REQM para todas as discrepância obtidas (feições de alto e baixo contraste), apresentadas na Tabela 18. Nessa etapa, faz-se o controle de qualidade final do modelo (ver Seção 4.1.1).

Tabela 18 - Estatísticas para todas as medidas de arestas de ambos os modelos.

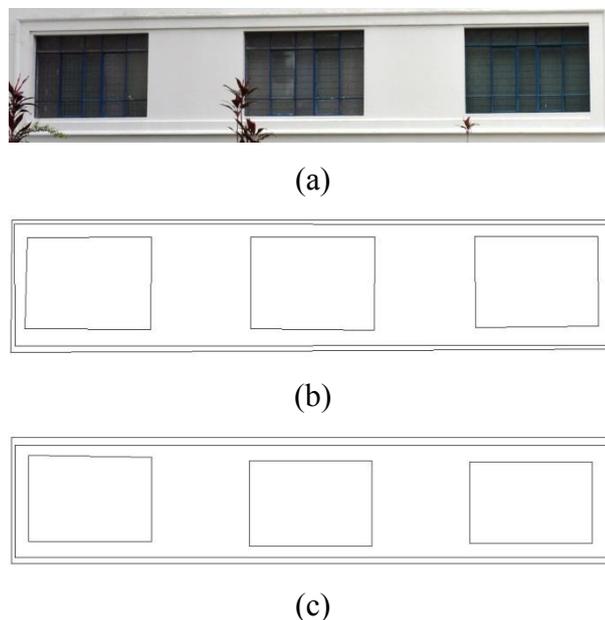
Estatísticas	Média(m)	Desvio Padrão(m)	REQM(m)
Monoscópica	0,0425	0,0632	0,0740
Estereoscópica	0,0024	0,0109	0,0113

O modelo restituído com visão estereoscópica atende à precisão estipulada, enquanto o modelo com visão monoscópica não atende. Porém quando se considerou apenas as medidas de aresta de alto contraste do modelo restituído no *Photodeler* (medida

monoscópica) a precisão é atendida, o que mostra à influência da incerteza na restituição das arestas de baixo contraste no resultado final.

A visão estereoscópica possibilita visualizar a diferença de profundidade, o que beneficia a identificação da fronteira e a restituição da feição, principalmente aquelas de baixo contraste. A Figura 24 ilustra uma parte da restituição sendo que (a) mostra a fotografia do conjunto de janelas, (b) o mesmo conjunto restituído no experimento 1 e (c) no experimento 2.

Figura 24 - Exemplos do modelo final, (a) fotografia do conjunto de janelas, (b) restituição do conjunto de feições no Exp.1 (monoscópica) e restituição no Exp. 2 (estereoscópica).



Modelos geométricos de representação

Atualmente, com o avanço das técnicas de computação gráfica, existem diversas possibilidades de modelagem que podem ser aplicadas ao patrimônio arquitetônico. Novamente, destaca-se que o objetivo não é limitar os métodos utilizados, mas sim proporcionar a possibilidade de avaliação do produto. Embora o estudo apresentado neste capítulo fosse direcionado ao procedimento clássico de modelagem em Fotogrametria (restituição de feições lineares), não existe restrição quanto ao método de modelagem a ser utilizado, desde que esse atenda a sua finalidade. Apontam-se alguns trabalhos presentes nos anais do ARQDOC (2012) e no XXIV seminário internacional do CIPA (2013), dentre outros trabalhos relacionados, que fazem menção às diferentes técnicas de modelagem utilizadas:

- Modelagem do P.A. utilizando sistemas que envolvem CSG (MAGALHÃES *et al.*, 2012; SOARES *et al.*, 2012; CORDEIRO e ROCHA, 2012);
- Modelagem do patrimônio cultural material com B-REP associado ao sistema SIG (LOSIER *et al.*, 2007; KATSIANIS *et al.*, 2008; KOUSSA e KOEHL, 2009; SAYGI *et al.*, 2013);
- Modelagem 3D com malhas de polígonos triangulares associadas à triangulação de Delaunay (B-REP) (CARDACI e VERSADI, 2013; CHABONNIER *et al.*, 2013; CHRISTOFORI e BIERWAGEN, 2013);
- Modelagem e análises do P.A. com enumeração exaustiva (KUZU e SINRAM, 2003; IKEUCHI, 2003; MORIGI *et al.*, 2010);
- Análises do P.A com particionamento espacial (MÜLLER *et al.*, 2004);
- Modelagem tridimensional com curvas NURBS (ARTESE, 2013);
- Modelagem paramétrica de sólidos, associada ao modelo BIM (Building Information Model; BAIK *et al.*, 2013; BIANCO *et al.*, 2013).

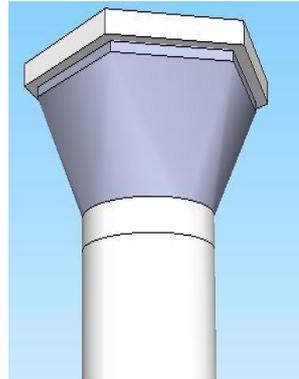
Os usuários, muitas vezes, utilizam as ferramentas mais conhecidas, sem preocupar-se com as necessidades do projeto, prejudicando fatores como: a otimização e custo da execução, a instabilidade e precisão do modelo representado e a possibilidade de compatibilizar com outros programas. Portanto, deve-se avaliar antes do início do projeto qual, dentre as diversas técnicas de modelagem, pode ser utilizada, visando o benefício do produto final.

A Figura 25 mostra um exemplo de incompatibilidade de técnica de modelagem (CSG) e objetivo de representação, em que o nível de detalhamento do patrimônio (Figura 25.a) é uma das limitações da técnica. O CSG possui um conjunto limitado de operações e primitivas, que restringe as possibilidades de representação (Figura 25.b), exigindo habilidade do usuário e grande custo computacional. Entretanto para monumentos com menos detalhes esta técnica pode ser viável.

Figura 25- Exemplo de limitação da técnica de modelagem CSG para estruturas complexas.



(a)



(b)

A aplicação dos requisitos da ET/DOC-FOPARQ em experimentos práticos é apresentada no Capítulo V através de os estudos de caso para as classes A e B, com o objetivo de validar (estudo de viabilidade) os requisitos propostos.

CAPÍTULO V

ESTUDOS DE CASO

Este capítulo apresenta os estudos de caso desenvolvidos segundo as orientações da especificação técnica para documentação fotogramétrica do patrimônio arquitetônico (ET/ DOC-FOPARQ), apresentada no Apêndice A. O principal propósito é validar a viabilidade dos requisitos que compõem a especificação, de modo que a especificação e os estudos de caso foram desenvolvidos concomitantemente.

O conteúdo e estrutura seguem as recomendações da ET/DOC-FOPARQ. Assim, cada estudo de caso traz as informações descritivas do patrimônio arquitetônico e a descrição do processo de desenvolvimento e controle de qualidade em cada uma das etapas do processo fotogramétrico e do modelo final. Os modelos produzidos estão nos Apêndices B e C.

Os objetos de estudo referem-se a um conjunto de edificações e monumentos relacionados à identidade cultural da cidade de Presidente Prudente, datadas das décadas de 30 e 40. Sendo estes:

- Estação ferroviária Presidente Prudente – Estudo de procedimentos para a documentação fotogramétrica Classe A, com escala de representação 1:50 e modelagem bidimensional realizada na plataforma *Leica Photogrammetry Suite (LPS)*
- Edificação Vila Goulart– Estudo de procedimentos para a documentação fotogramétrica Classe A, com escala de representação 1:100 e modelagem bidimensional realizada no programa *Photodeler*, de um exemplar de edificação do centro histórico do município de Presidente Prudente (antiga Vila Goulart). Este trabalho é parte do projeto de pesquisa “Persistência no espaço urbano dos edifícios da década de 1940 em Presidente Prudente-SP” (Departamento de Planejamento, Urbanismo e Ambiente da FCT/UNESP).
- Estátua de Prudente de Moraes (monumento) - Estudo de procedimentos para a documentação fotogramétrica Classe B e modelagem tridimensional realizada Autodesk 123 *Catch*.

A história do município de Presidente Prudente descrita em crônicas é apresentada por Resende (2012). A Seção 5.1 descreve o desenvolvimento da documentação

fotogramétrica para a Estação Ferroviária Presidente Prudente, marco histórico que indica as origens do município.

5.1 ESTAÇÃO FERROVIÁRIA PRESIDENTE PRUDENTE

5.1.1 Informações descritivas do patrimônio arquitetônico – Estação Ferroviária.

Nome

Estação Ferroviária Presidente Prudente.

Código identificador do IPHAN

Não aplicável.

Data

Construção original de 1919,

Reconstruída em 1926,

Reconstruída em 1944, que corresponde a edificação atual.

Breve descrição histórica

No século XIX, devido aos avanços da indústria têxtil, principalmente durante o ciclo do algodão, e aos incentivos governamentais, legislativos (lei de 1852) e fiscais, os investimentos nas estradas de ferro aumentaram de modo significativo. Nesse contexto fundou-se a companhia Sorocabana de Estrada de Ferro (SOUKEF, 2001). Em 1919, a linha tronco da Estrada de Ferro Sorocabana chega a Presidente Prudente (administrada pelo Estado de São Paulo) e finalmente ao rio Paraná (Presidente Epitácio) em 1922, ponto final da linha, o que propiciou grande desenvolvimento econômico no Oeste Paulista e a construção original de diversos patrimônios arquitetônicos (SOUZA, 2012). A atual edificação da estação ferroviária Presidente Prudente foi inaugurada em 1944 (ARAKAKI, 2010). A arquitetura era vista como um instrumento de representação das inovações da época. O novo prédio, maior e mais moderno, refletia o crescimento econômico e populacional da cidade.

Categoria

Cat_código: 004 - Municipal (Apêndice A).

Endereço

Município: Presidente Prudente
UF: São Paulo
Bairro: Centro
Rua: Júlio Tiezzi
Complemento: N° 220
CEP: 19010-200
Coordenadas geográficas: - 22° 7' 23,49"; -51° 22' 56,09".

Finalidades

Finalidade original: Estação ferroviária do município de Presidente Prudente.

Finalidade Atual: Serviço de Proteção ao Consumidor (Procon), Serviços Especializados em Engenharia de Segurança e Medicina do Trabalho (SESMT) e casa do artesão.

Estilo arquitetônico

A edificação da Estação Ferroviária Presidente Prudente possui estilo arquitetônico compatível com a década de 40, caracterizado principalmente pela disposição dos volumes geométricos, o que remete ao photomodernismo, com influência *Art Decó* (ARAKAKI, 2010).

Estado de proteção

EP_código: 003 – interesse (Apêndice A)

Nota: projetos futuros de valorização sugerem a criação de um Corredor Histórico no município de Presidente Prudente, com a restauração e conservação dos imóveis de valor histórico e cultural da cidade, dentre eles a Estação Ferroviária (HIRAO e FLOETER, 2012), previsto para 2017 (Centenário de Presidente Prudente).

Estado de conservação e integridade

Opcional, não aplicado.

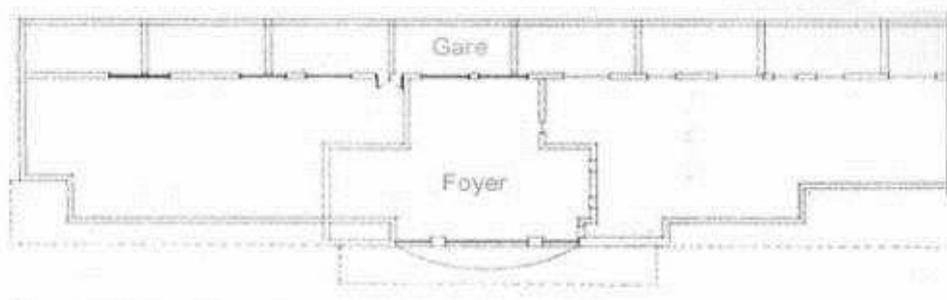
Tipologia

Tipo_codigo: 006 – Ferroviária (Apêndice A)

Galeria de fotos

A Figura 26 ilustra em (a) a planta baixa da edificação da estação ferroviária Presidente Prudente, (b) inauguração em 1944, (c) 1970, (d) 2014.

Figura 26 – Galeria de fotos da Estação Ferroviária Presidente Prudente.



(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte: Acervo municipal e memorial prudentino.

5.1.2 Desenvolvimento do modelo do patrimônio arquitetônico – Estação ferroviária

5.1.2.1 Planejamento e aquisição dos dados

A aquisição das imagens do modelo completo da Estação Ferroviária de Presidente Prudente foi realizada com a câmara NIKON D3200 apoiada sobre tripé. O Quadro 9 traz as principais características dessa câmara.

Quadro 9 - Informações técnicas da Câmara Nikon D3200.

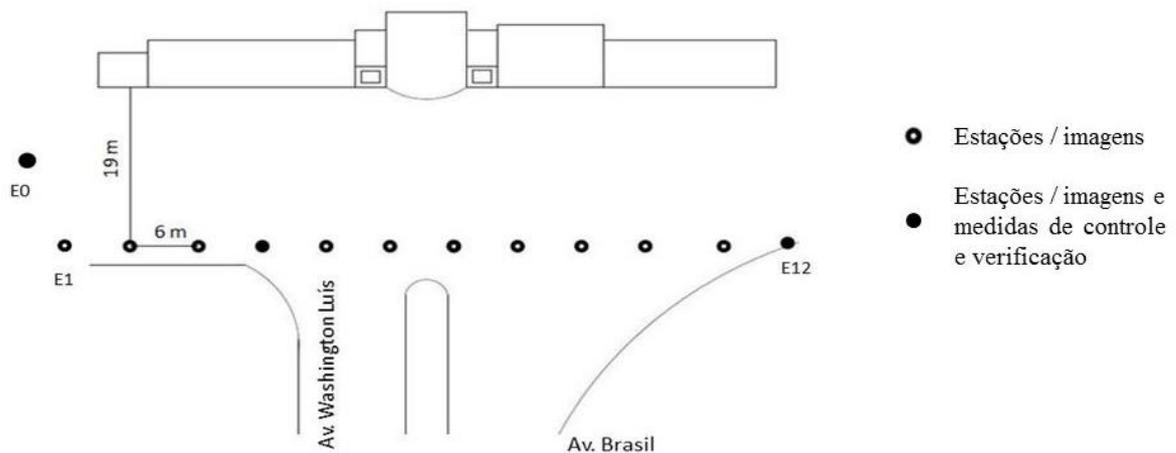
Câmara	Distância Focal nominal	Sensor	Tamanho do sensor	Tamanho do pixel	Dimensões da imagem
Nikon D3200	28 mm	CMOS/24Mpx	23,1 x 15,4 mm	3,8 μ m	6016 x 4000 Pixels

Foram tomadas imagens a partir de 12 estações, previamente implantadas com o auxílio de trena, materializadas com pregos e sinalizadas com tinta. As distâncias entre as estações (base) foram calculadas para garantir 60% de sobreposição entre as fotos (6

metros), enquanto a distância sensor-objeto (19 metros) garante um elemento de resolução no espaço objeto (GSD) de até 5 milímetros. Assim, considerando a distância focal nominal da câmara de 28 mm e a distância média sensor-objeto de 19 metros, a escala da imagem é 1:678. Logo, as imagens utilizadas possuem GSD médio de 2,6 milímetros.

A Figura 27 ilustra o planejamento para a aquisição das imagens e das medidas de controle e verificação, na qual os círculos vazados representam as estações onde foram coletadas as imagens e os círculos sólidos representam as estações onde, além das imagens, também foram realizadas medidas indiretas de pontos na edificação por Topografia. Na estação E0 não foram tomadas imagens. Esta estação foi implantada exclusivamente como base de referência para o levantamento topográfico.

Figura 27 - Croqui da posição das estações de aquisição de dados.



As posições das estações E0 e E4 foram obtidas por rastreamento GNSS com o método relativo estático, com tempo de coleta mínimo de 3 horas, intervalo de rastreamento igual a 5 segundos e máscara de elevação de 15 graus, utilizando um par de receptores GNSS da Topcon Hiper SR (Quadro 10).

Quadro 10- Informações técnicas do receptor GNSS Topcon Hiper SR.

Posicionamento Estático	Sinal	Precisão nominal no posicionamento	
	L1+L2	Horizontal	Vertical
		3 mm + 0,5 ppm x D	5 mm + 0,5 ppm x D

* D representa a distância da linha de base, em Km.

Fonte: HiPer SR Operator's Manual (TOPCON POSITIONING SYSTEM, 2012, p.62)

Considerando os dois pontos com coordenadas conhecidas (E0; E4) optou-se por realizar uma poligonal fechada, o que permite o controle de qualidade rigoroso (erros de fechamento angular e linear).

A partir desta poligonal principal foi possível medir uma série de pontos na fachada utilizando o método de dupla irradiação, no qual cada ponto de interesse é visado a partir de no mínimo duas estações, sendo esta a estratégia adotada para a aquisição dos pontos de controle e verificação.

Para proporcionar uma estimativa inicial da posição do centro perspectivo da câmara (X_0, Y_0, Z_0) a posição das estações foi determinada por topografia. O Quadro 11 apresenta as principais características do equipamento utilizado para o levantamento topográfico, a estação total Topcon série *Image Station* (IS).

Quadro 11 - Informações técnicas da estação total Topcon *Image Station*.

Distância Máxima medida	Com prisma	3000 m
	Sem prisma	250 mm
Acurácia Linear	Modo fino	$\pm (2\text{mm} + 2\text{ppm} \times D)$
Acurácia (angular)	Leitura absoluta	3"

* D representa a distância da linha de base, em km.

Para verificar a acurácia relativa entre os pontos no modelo final foram coletadas 35 distâncias utilizando trena de lona. As arestas medidas foram pré-selecionadas avaliando o baixo e alto contraste na imagem, o que influi diretamente na precisão da restituição.

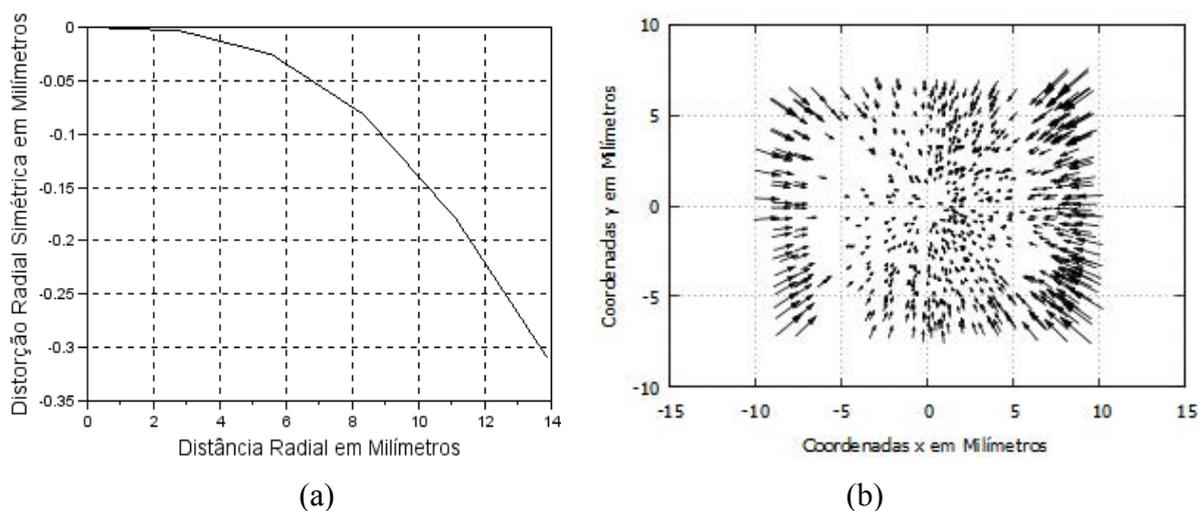
Processamento das imagens

As imagens brutas foram pós-processadas para corrigir a distorção das lentes. Para isso, utilizou-se o programa P_Retif, desenvolvido pelo grupo de pesquisa em Fotogrametria da Unesp de Presidente Prudente (RUY *et al.*, 2004). A correção prévia da distorção radial simétrica e descentrada foi necessária devido a uma limitação do programa utilizado para o processamento (*LPS*), que apresenta problemas quanto à implementação de modelos de distorção para câmaras com grandes distorções das lentes. Os valores dos POI obtidos no processo de calibração encontram-se na seção 5.1.2.2

A Figura 28 apresenta em (a) a curva de distorção radial simétrica do conjunto de lentes com os parâmetros k_1 , k_2 e k_3 , enquanto em (b) ilustra a resultante da

distorção radial simétrica nos eixos x e y, ampliada em 10 vezes, assim como a distribuição espacial das observações utilizadas no processo de calibração.

Figura 28 - (a) curva de distorção radial simétrica; (b) comportamento da distorção radial simétrica nas imagens.



Processamento das medidas de controle e verificação

O processamento dos dados GNSS foi realizado no programa comercial *Trimble Business Center* (TBC). Adotou-se como referência a estação PPTE que pertence à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos sistemas GNSS (RBMC), em função da linha de base curta de aproximadamente 2,73 km.

As coordenadas obtidas no processamento dos dados GNSS, no sistema de referência global, foram convertidas para o sistema topográfico local (STL), considerando E0 como a origem do sistema. Esta transformação foi realizada em um script implementado na plataforma Scilab. Para mais informações sobre a conversão de sistemas, consultar Monico (2008, p. 393).

Com dois pontos de coordenadas conhecidas no referencial local (E0; E4) foi possível obter as coordenadas dos demais pontos da poligonal, no mesmo sistema de referência, através do método topográfico de transporte de coordenadas (VEIGA *et al.*, 2007, p.132).

O controle de qualidade da poligonal foi realizado segundo a norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 13.133 (ABNT, 1994, p.19). As tolerâncias angular (T_α) e linear (T_α) foram calculadas com base nas especificações para poligonais do

tipo 1 (poligonais apoiadas e fechadas em uma só direção e num só ponto). Isto posto, empregou-se a compensação angular e posteriormente a correção do erro linear.

A Tabela 19 apresenta os erros, tolerâncias e valores atingidos para a verificação de qualidade do fechamento angular e linear da poligonal.

Tabela 19 - Erros de fechamento angular e linear da poligonal.

Erros	Tolerância	Calculado
Angular	0°0' 12"	0°0' 02"
Relativo	1: 10.000	1: 26.716
Linear	0,0052 m	0,0044 m

Os cálculos da poligonal foram realizados no Programa comercial Bentley Topograph. Apesar de permitir o cálculo da poligonal e seus respectivos erros, o programa não fornece a precisão dos pontos. Por essa razão, determinou-se a precisão das estações a partir da propagação dos erros, com base nos erros das observáveis (distância, azimute e ângulos horizontais).

As coordenadas dos pontos de controle e verificação foram calculadas utilizando o método topográfico de dupla irradiação e suas precisões foram obtidas a partir do ajustamento pelo método paramétrico com injunção relativa, em que as injunções são as coordenadas das estações E0, E4 e E12, com os respectivos desvios-padrão (GEMAEL, 1994, p.117), desenvolvido na plataforma Scilab. A Tabela 20 traz a média das precisões das estações de referência e a média das precisões dos pontos de controle e verificação nas componentes X,Y,Z, que atendem à precisão sugerida para essa etapa ($1/3 * \epsilon^a_{limite}$, compatível com o GSD das imagens).

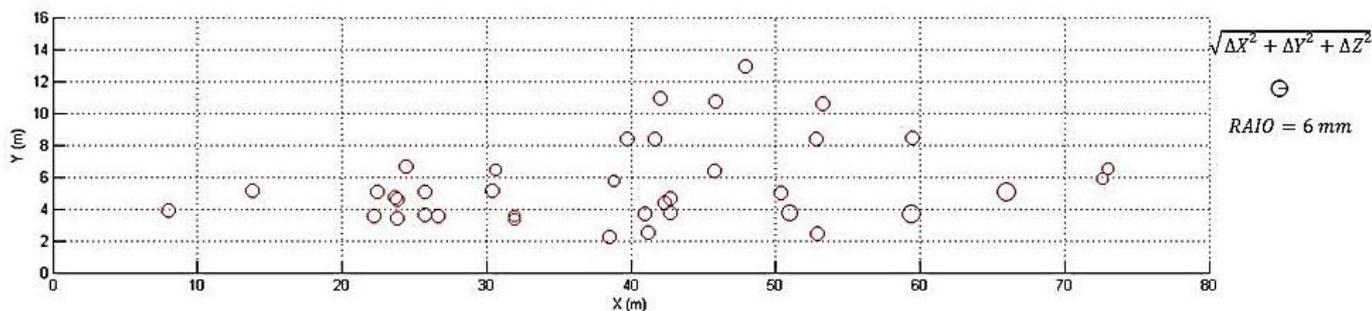
Tabela 20- Média das precisões das medidas topográficas.

Tipo	σ_X (m)	σ_Y (m)	σ_Z (m)
Estações de referência	0,0026	0,0021	0,0040
Pontos de controle e verificação	0,0029	0,0033	0,0025

O *LPS* apresenta algumas limitações quando se utiliza o módulo para Fotogrametria Terrestre (profundidade no eixo Y), como por exemplo, para a restituição do modelo. Para viabilizar o uso do módulo de restituição estereoscópica aplicou-se uma rotação no eixo X com ω igual a 90 graus, rotacionando os eixos Y e Z. Dessa forma simulou-se um caso aéreo em que a altura de voo corresponde à distância entre o sensor e o objeto no caso terrestre. Para evitar coordenadas negativas no sistema local em função das

características do terreno realizou-se também uma translação de 1,5 metros em Y e 30 metros em Z. A Figura 29 traz a distribuição de todos os pontos de controle e dos pontos de verificação (após rotação e translação do sistema).

Figura 29 - Distribuição dos pontos de controle e verificação.



Controle de qualidade para a aquisição – classe A

Segundo a ET/DOC-FOPARQ, o controle de qualidade para a etapa de aquisição das imagens e das medidas de controle e verificação baseia-se em verificar se o GSD é inferior ao limite do erro padrão dessa etapa, que corresponde a 1/3 do erro padrão final do modelo para a acurácia absoluta, na escala de representação 1:50 (5 mm) e se as medidas de controle (σ_{PC}) e verificação (σ_{PV}), possuem acurácia compatível com o GSD.

Como discutido anteriormente, o GSD médio das imagens corresponde a 2,6 milímetros ($GSD < 5mm$) e as medidas de controle e verificação apresentam acurácia compatível ao GSD, como mostra a Tabela 21. Assim, a acurácia dos dados coletados é aceitável em relação ao limite do erro padrão definido para esta etapa, podendo ser utilizados nos processos fotogramétricos posteriores.

5.1.2.2 Orientações

Orientação interior

Para determinar os POI adotou-se o método de calibração de campo usando conjunto de pontos tridimensionais, aliado ao método de câmaras convergentes, com reconhecimento automático dos alvos no padrão ArUco (SILVA, 2014). Para mais detalhes sobre os métodos de calibração ver Seção 2.2.1.

A Figura 30 mostra em (a) o campo de calibração tridimensional e em (b) a identificação automática dos alvos.

Figura 30 - (a) Campo de calibração tridimensional; (b) identificação automática dos alvos no padrão ArUco.



O processamento foi realizado no software CMC (Calibração Múltiplas Câmaras), desenvolvido pelo grupo de pesquisa em Fotogrametria da FCT-UNESP, em linguagem C/C++, com modelo de calibração para câmaras perspectivas convencionais (RUY *et al.*, 2008). Para definir um conjunto de POI (Tabela 21) realizou-se uma primeira calibração considerando todos os parâmetros e a análise de significância dos mesmos.

O efeito dos parâmetros de afinidade (A, B) são inferiores ao erro de medida. Além disso, a magnitude destes parâmetros também é inferior a seus desvios padrão e, por essas razões, estes parâmetros não foram adotados na segunda calibração, que resultou nos parâmetros de orientação interior e respectivos desvio-padrões, apresentados na Tabela 21.

Tabela 21 - Parâmetros de Orientação Interior.

POI ±	f (mm)	x ₀ (mm)	y ₀ (mm)	k ₁ (mm ⁻²)
desvio	28,099	0,1038	-0,0254	1,5398 x 10 ⁻⁴
padrão	0,0018	0,0002	0,0002	1,51 x 10 ⁻⁶
POI ±	k ₂ (mm ⁻⁴)	k ₃ (mm ⁻⁶)	p ₁ (mm ⁻²)	p ₂ (mm ⁻²)
desvio	1,7623 x 10 ⁻⁷	1,12 x 10 ⁻¹⁰	5,68 x 10 ⁻⁶	7,11 x 10 ⁻⁶
padrão	2,060 x 10 ⁻⁸	8,5 x 10 ⁻¹¹	3,5 x 10 ⁻⁷	4,4 x 10 ⁻⁷

A distância focal foi determinada com desvio padrão inferior a um pixel, assim como as coordenadas do ponto principal, também com desvio padrão inferior a um pixel, como sugerido na ET/DOC-FOPARQ (Apêndice A, Seção 6.1.3).

No *LPS*, como as imagens foram corrigidas anteriormente, os parâmetros de distorção e a correção para o deslocamento do ponto principal foram considerados nulos. A distância focal foi considerada fixa em todas as imagens. Também não foi necessário utilizar a opção de modelo de correção adicional.

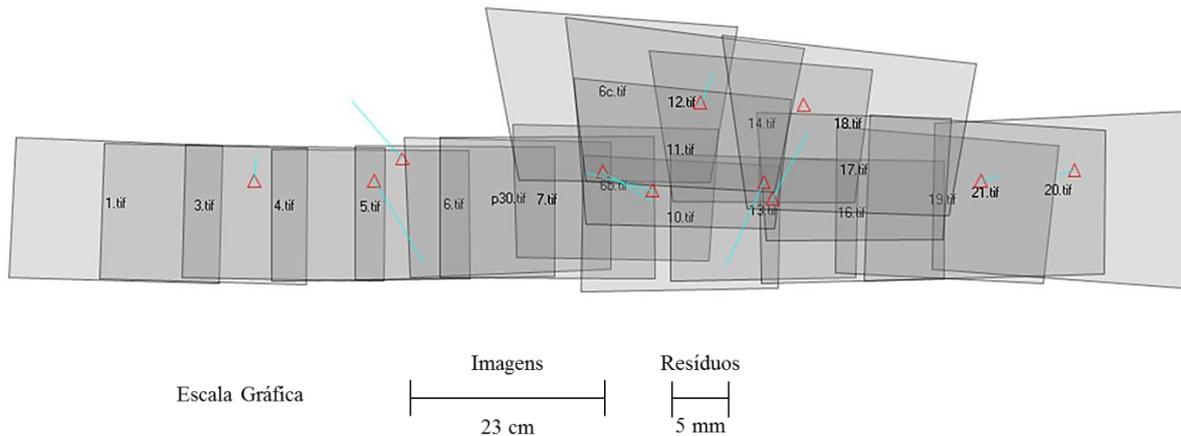
Orientação exterior

A orientação exterior foi determinada indiretamente pelo processo de fototriangulação. Como parâmetros iniciais, adotou-se para a posição das coordenadas das estações (X,Y,Z), obtidas topograficamente pelo método de dupla irradiação (considerando tripés nivelados), injunção com desvio padrão de 0,5 m; e para a atitude, parâmetros iniciais sem injunção de peso.

Os pontos de passagem foram medidos automaticamente e corrigidos manualmente em alguns casos, principalmente em função da dificuldade da aplicação dos processos automáticos de medição de pontos correspondentes em superfícies homogêneas. Contabilizaram-se 232 pontos de passagem com resíduos nas coordenadas imagem inferiores a 1 pixel e REQM global final das imagens inferior a 0,5 pixel (0,37 pixel).

O bloco de imagens (20 imagens) foi apoiado com 11 pontos de controle, com desvio padrão médio de 3 mm, medidos na opção estéreo e com o uso da função de transferência automática de pontos por matching por mínimos quadrados, o que possibilita a realização de medidas com precisão subpixel. A Figura 31 ilustra a distribuição dos pontos de controle no bloco de imagens e a resultante dos resíduos nas componentes X, Y e Z, obtidos após o ajustamento por feixe de raios.

Figura 31- Bloco de imagens, distribuição dos pontos de controle e resíduos obtidos após o ajustamento por feixe de raios.



Para o controle de qualidade na etapa de orientação foram usados 7 pontos de verificação, medidos de maneira análoga aos pontos de controle. Os pontos de verificação foram utilizados, em um primeiro momento, como observações no ajustamento. A Figura 32 ilustra a distribuição dos pontos de verificação no bloco de imagens e a resultante dos resíduos nas componentes X, Y e Z, obtidos após o ajustamento por feixe de raios. Os valores dos resíduos são apresentados na Tabela 22, assim como a média, desvio padrão e REQM dos resíduos dos pontos de verificação na fototriangulação por feixes de raios.

Figura 32- Bloco de imagens, distribuição dos pontos de verificação e seus respectivos resíduos.

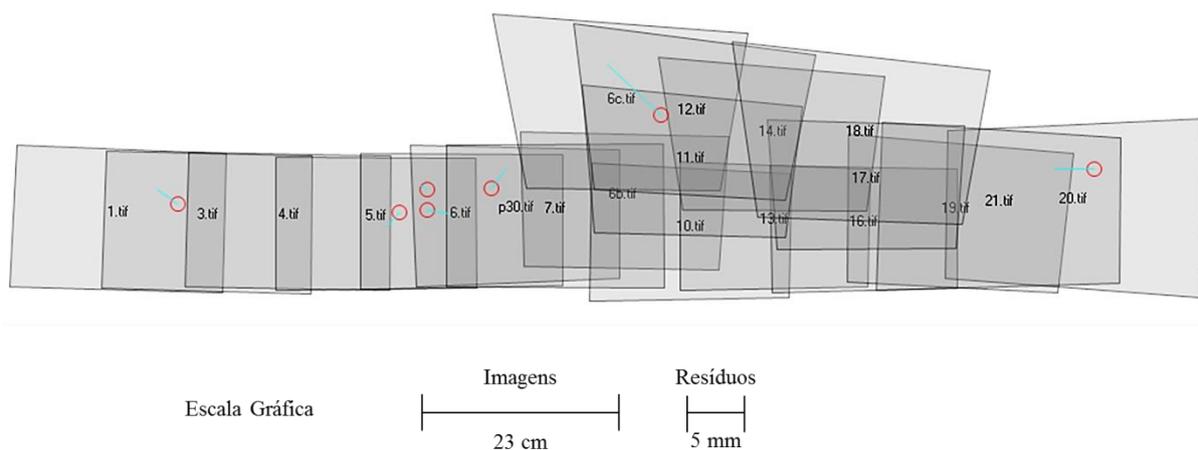


Tabela 22- Discrepâncias individuais dos pontos de verificação e as estatísticas: média, desvio padrão e REQM destas discrepâncias.

ID	ΔX_t (m)	ΔY_t (m)	ΔZ_t (m)
P1	-0,0009	0,0007	-0,0029
P7	-0,0003	0,0002	0,0028
P8	-0,0005	-0,0006	-0,0027
C3	0,0010	-0,0002	0,0055
P9	0,0006	0,0009	0,001
P16	0,0006	0,0005	0,0024
P34	-0,0026	-0,0025	0,0016
Média	-0,0003	-0,00014	0,0011
Desvio padrão	0,0012	0,0012	0,0030
REQM	0,0012	0,0011	0,0030

O REQM dos resíduos dos pontos de verificação nas componentes X e Y corresponde a aproximadamente meio GSD (1,3 mm). Observa-se que esse resultado só pôde ser obtido em função da qualidade subpixel das medidas.

Na componente Z o REQM obtido equivale à aproximadamente um GSD (2,6 mm). É importante lembrar que a coordenada Z, em razão da rotação dos eixos do sistema, corresponde à profundidade, ou seja, distância sensor e objeto para o caso terrestre, que normalmente apresenta resíduos maiores que as outras componentes devido à qualidade da intersecção, definida pela relação base-altura, a geometria das imagens e a precisão e distribuição do apoio.

Verifica-se que o REQM das três componentes é inferior a 10 milímetros ou seja dois terço do limite do erro padrão final do modelo para a acurácia absoluta. Sendo assim a orientação atende ao requisito de qualidade para essa etapa. Porém, é interessante avaliar a distribuição dos pontos e se não existe tendência nas discrepâncias (rever Seção 4.2.4).

Nesse sentido, considerando as coordenadas X,Y,Z dos 7 pontos de verificação foi realizado um teste de tendência a partir da análise de distribuição *t-student*, em que se verificou as seguintes hipóteses: $H_0: \Delta \bar{X} = 0$, não é tendencioso ou $H_1: \Delta \bar{X} \neq 0$, é tendencioso (MERCHANT, 1982).

O valor limite é determinado através da tabela *t* de *Student* para um nível de confiança $(1-\alpha)$ de 95%, com n igual a 7. Assim, se $|t_x| < t_{(n-1; \frac{\alpha}{2})}$ aceita-se a hipótese nula, ou seja, os pontos de verificação não apresentam tendência. A Tabela 23 apresenta os valores tabelados e calculados para este teste de tendência. Observa-se que a estatística *t* satisfaz à desigualdade descrita, portanto não há tendência nas discrepâncias dos pontos de verificação.

Tabela 23 - Valores tabelados e calculados no teste de tendência para as coordenadas X,Y,Z.

Valor	t_x	t_y	t_z
Tabelado	1,943	1,943	1,943
Calculado	0,648	0,319	0,964

Controle de qualidade para as orientações – classe A

Segundo a ET/DOC-FOPARQ, o controle de qualidade para a etapa de orientações baseia-se em verificar para a orientação interior se o desvio padrão na determinação da distância focal e do ponto principal é inferior a 1 pixel, e para a orientação exterior verificar se o REQM dos pontos de verificação é inferior a 2/3 do erro padrão final do modelo para a acurácia absoluta (5 mm).

A Tabela 21 para a orientação interior e a Tabela 22 para a orientação exterior mostram que os requisitos para o controle de qualidade são atendidos, assim o processo fotogramétrico de orientação é aceito em função de limite do erro padrão proposto para esta etapa.

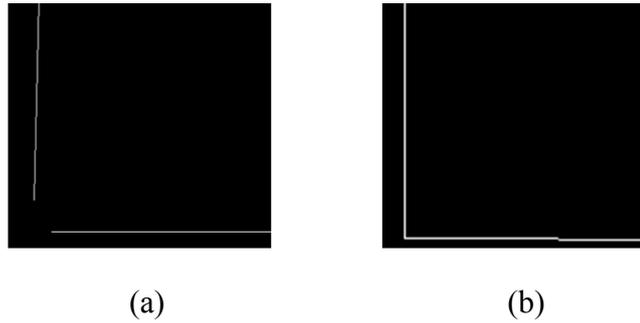
5.1.2.3 Restituição

Adotou-se para a restituição das feições da Estação Ferroviária o método de restituição estereoscópica. Este processo foi realizado em ambiente estéreo, no módulo PRO600 do LPS vinculado ao programa *Microstation*.

Em seguida, as feições, agora vetores do tipo CAD, foram editadas (AutoCAD Map, 2010) para garantir a qualidade topológica do modelo final. Segundo Nogueira Jr (2003) o método de correção da topologia, pode ser manual ou automático. No entanto, sugere-se que esta correção seja manual, pois, se a tolerância escolhida para a verificação for pequena, erros podem ser incluídos no modelo, devido a erros de identificação do programa, como por exemplo, linhas muito próximas que podem ser interpretadas como duplicadas, sendo excluídas.

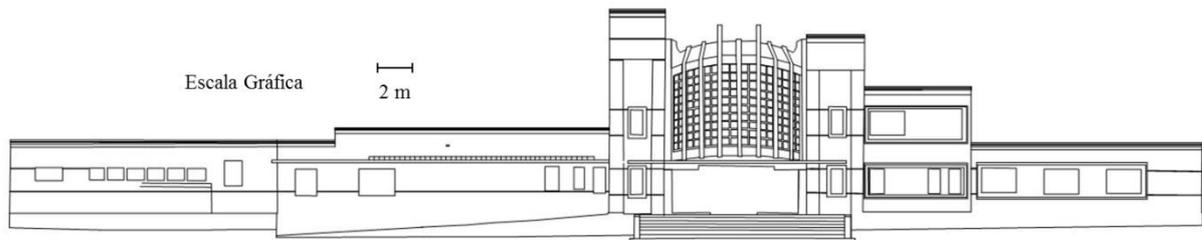
A Figura 33 apresenta alguns exemplos dessa edição, em que (a) ilustra as feições sem edição e (b) com edição da topologia.

Figura 33 - Exemplos de edição da topologia das feições restituídas.



A Figura 34 apenas ilustra o modelo da Estação Ferroviária Presidente Prudente. O Modelo bidimensional completo da Estação Ferroviária na escala de representação 1:50 encontra-se no Apêndice B.

Figura 34 - Ilustração do modelo fotogramétrico final da estação ferroviária.



Nesta etapa verifica-se a acurácia posicional final do modelo, a consistência lógica e completude (rever seções 4.1.1, 4.1.2 e 4.1.3 respectivamente).

Finalmente, o controle de qualidade final do modelo foi feito verificando-se a precisão absoluta do modelo final a partir de 7 pontos de verificação utilizados exclusivamente para o processo de restituição (pontos de verificação distintos dos utilizados para o controle de qualidade da fototriangulação) e a precisão relativa do modelo comparando 35 medidas de distâncias (arestas) realizadas diretamente no patrimônio (referência) com as mesmas distâncias medidas no modelo (estimadas).

Na Tabela 24 encontram-se as discrepâncias entre os valores calculados e os valores medidos em campo, assim como a média, desvio padrão e REQM dos resíduos dos pontos de verificação.

Tabela 24- Discrepâncias individuais dos pontos de verificação da restituição e a média, o desvio padrão e a REQM destas discrepâncias.

ID	ΔX_r (m)	ΔY_r (m)	ΔZ_r (m)
P5	0,0006	0,001	0,0015
P10	0,0005	-0,0016	0,0058
P15	0,0018	0,0004	0,0005
P17	-0,0056	0,0006	-0,0304
P23	-0,0037	-0,0001	-0,0176
P24	0,00015	-0,002	-0,0012
P25	-0,0085	-0,0008	-0,0033
Média	0,0021	0,0004	0,0064
Desvio padrão	0,0039	0,0011	0,0129
REQM	0,0042	0,0011	0,0135

Os REQM das discrepâncias nas componentes X e Y estão em torno de 1 GSD, enquanto na componente Z corresponde a 3 GSD, o que é compatível com a relação base (6 metros)/profundidade(19 metros) de aproximadamente 1:3.

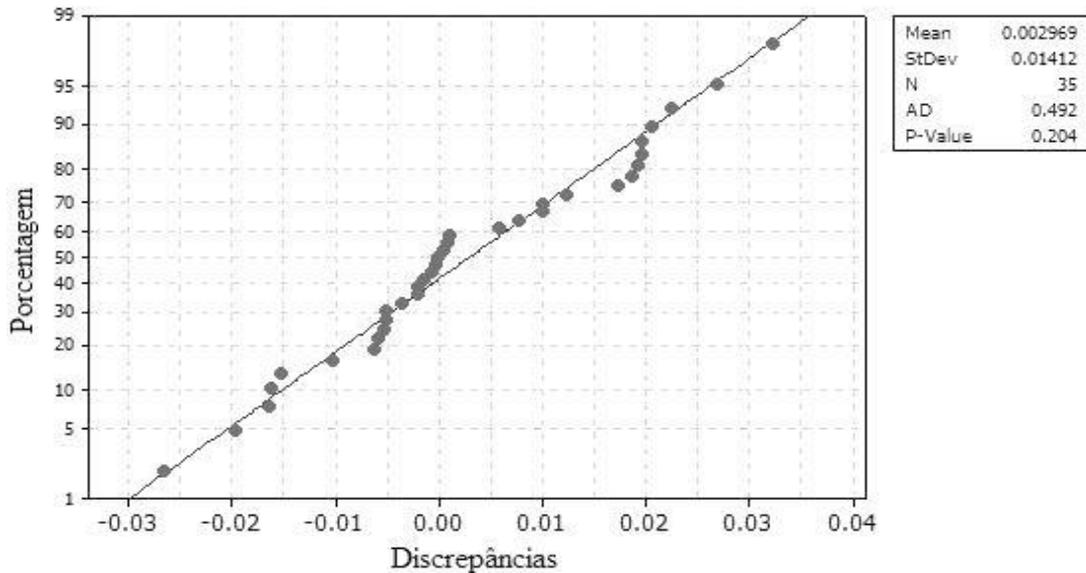
Embora as discrepâncias nos pontos de verificação na restituição tenham atendido à especificação, é interessante avaliar a presença ou ausência de tendência neste conjunto de pontos. A Tabela 25 apresenta os resultados do teste de tendência dos pontos de verificação da etapa de restituição (distribuição *t-student*), onde se verificou as seguintes hipóteses: $H_0: \Delta \bar{X} = 0$, não é tendencioso ou $H_1: \Delta \bar{X} \neq 0$. Constata-se que o valor calculado é inferior ao valor tabelado, o que satisfaz a hipótese nula H_0 . Logo não há tendência nas discrepâncias dos pontos de verificação utilizados na restituição.

Tabela 25 - Valores tabelados e calculados no teste de tendência para os pontos de verificação da restituição.

Valor	t_x	t_y	t_z
Tabelado	1,943	1,943	1,943
Calculado	1.448	0.833	1.154

Após verificar a acurácia absoluta, iniciaram-se as análises da acurácia relativa entre os pontos no modelo. Num primeiro momento, investigou-se a distribuição dos dados e o quão próximos estes estão da distribuição normal. Para isso aplicou-se o teste de normalidade Anderson-Darling, indicado quando o tamanho da amostra é inferior a 25 (ANDERSON e DARLING, 1952). Como resultado tem se que, para um teste de 95% de probabilidade (P-valor 0,05), os resultados apresentam distribuição normal (P-valor>0,05), como mostra a Figura 35.

Figura 35- Teste de normalidade de Anderson-Darling.



O limite do erro padrão final para a acurácia relativa na escala de representação 1:50 é 10 mm ($0,2 \text{ mm} * 50$), o que corresponde ao erro relativo de acordo com a propagação dos erros esperados no processo fotogramétrico, considerando os erros de aquisição e orientação.

Uma vez comprovado que as discrepâncias entre as medidas possuem distribuição normal, calculou-se, então, a média, o desvio padrão e a REQM das discrepâncias das distâncias de referência e das distâncias medidas no modelo, como mostra a Tabela 26.

Tabela 26 - Estatísticas da precisão relativa final do modelo com medidas de controle obtidas diretamente.

Nº de arestas	Média (m)	Desvio Padrão (m)	REQM (m)
35	0,0029	0,0141	0,0142

A REQM das discrepâncias entre as medidas de arestas de referência e as medidas de arestas obtidas no modelo (1,42 cm) não atende o limite proposto na especificação. Ressalta-se, todavia, que as medidas de referência também estão contaminadas com erros, principalmente em função da incerteza da definição dos limites das arestas. Segundo Rodrigues (1979) o erro médio comum na medição com a trena de lona é de 25 cm em 100 m, o que justifica o valor da REQM quando comparado com os valores da REQM em planimetria obtidos na verificação da acurácia absoluta.

Destaca-se, portanto a importância da acurácia das medidas de controle compatível com a aplicação. Nesse sentido, foram calculadas distâncias indiretamente,

considerando as coordenadas dos pontos obtidas diretamente por Topografia (Referência) e as coordenadas dos mesmos pontos obtidas indiretamente no processo de fototriangulação (Estimado). A Tabela 27 traz as estatísticas: média, desvio padrão e REQM das discrepâncias entre as distâncias obtidas por Topografia e obtidas no modelo (valor estimado a partir do cálculo da distância entre pontos com coordenadas de terreno obtidas na fototriangulação).

Tabela 27-Estatísticas da precisão relativa final do modelo com medidas de controle obtidas indiretamente.

Nº de arestas	Média (m)	Desvio Padrão (m)	REQM (m)
15	0,0022	0,0031	0,0036

Com este resultado, aceita-se a acurácia relativa do modelo ($3 \text{ mm} < 10 \text{ mm}$). No entanto, destaca-se que as medidas de distância destas arestas foram calculadas considerando pontos bem definidos e medidas na imagem com qualidade subpixel, logo os erros de restituição do operador não foram considerados.

Porém nota-se claramente a influência dos erros nas medidas de controle no resultado final, uma vez que, considerando o resultado anterior (Tabela 26), a erro na restituição pelo operador deveria ser em torno de 4 GSD, sendo que o erro esperado é em torno de 2 GSD.

A acurácia das medidas das arestas é inversamente proporcional à distância e varia de acordo com a distribuição no modelo. A Tabela 28 apresenta as estatísticas: média e REQM, para as medidas de arestas horizontais com distâncias menores que 10 metros (Horizontais / $<10 \text{ m}$) e com distâncias superiores a 10 metros (Horizontais / $>10 \text{ m}$), assim como as medidas de arestas verticais (Verticais).

Tabela 28 - Análise das diferenças das medidas das arestas conforme a distância e a distribuição no modelo.

Arestas/ distância	Horizontais / $<10 \text{ m}$	Horizontais / $>10 \text{ m}$	Verticais
Média	0,0019	0,0011	0,0066
REQM	0,0027	0,0034	0,0070

As medidas entre arestas horizontais maiores que 10 metros apresentam REQM superior quando comparadas com as arestas horizontais menores que 10 metros, uma vez que as medidas de distância consideram pontos em modelos estereoscópicos diferentes o que implica em maiores erros fotogramétricos, o mesmo valendo para as medidas verticais.

Controle de qualidade da acurácia posicional para o modelo – classe A

Com base nas análises apresentadas pode-se constatar que o erro padrão final do modelo para a acurácia absoluta é inferior ao limite do erro padrão final proposto para a escala gráfica 1:50 na ET/DOC-FOPARQ (15 mm). A REQM dos pontos de verificação é inferior a 15 mm em todas as componentes (Tabela 24). Além disso, não foram detectadas tendência das discrepâncias (Tabela 25).

Para a acurácia relativa, discutiu-se a importância de medidas de controle com acurácia compatível com a aplicação. Numa primeira análise o modelo não atendeu ao limite do erro padrão final para a acurácia relativa de 10 mm (Tabela 26) devido provavelmente à incerteza das medidas de referência feitas com trena. Porém, em uma segunda análise, considerando a discrepância entre as distâncias obtidas por topografia e as distâncias obtidas no modelo indiretamente, notou-se que a REQM para as discrepâncias das medidas de arestas atendeu o requisito quanto à acurácia relativa, uma vez que os erros que contaminavam a medida de referência foram reduzidos (Tabela 27).

Assim o modelo atende aos requisitos de qualidade para acurácia posicional necessária à finalidade da classe A. No entanto, para que o modelo seja considerado compatível com a documentação fotogramétrica classe A, é necessário que este também atenda aos requisitos quanto à completude e a consistência lógica.

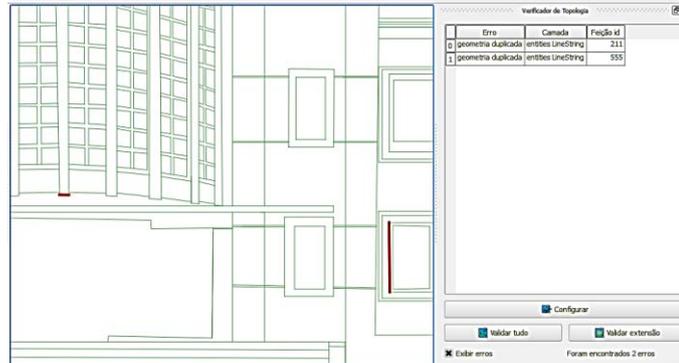
Consistência lógica para o modelo – classe A

Para a análise da consistência lógica do modelo utilizou-se a função de verificação de topologia do programa Quantum GIS (Versão 2.6.1), em que 90% das feições devem ser consistentes. Nesse sentido foram aplicados os seguintes critérios de avaliação:

- a) Duplicação: Verificar se uma feição é representada duas vezes ou mais;
- b) Geometrias inválidas: Verifica se todas as feições possuem geometria válida;
- c) Cruzamentos: Verificar se as feições não se cruzam;
- d) Descontinuidade: Verificar se todos os nós estão unidos.

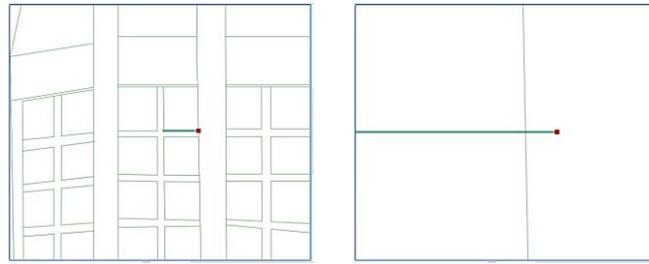
Das 976 feições que compõem o modelo, foram identificadas 2 feições duplicadas (Figura 36), ou seja 0,2 % das feições. Estas duplicatas foram eliminadas, de modo que em um novo teste não foram identificadas feições duplicadas (0%).

Figura 36- Exemplo de duplicação de feições identificadas no modelo.

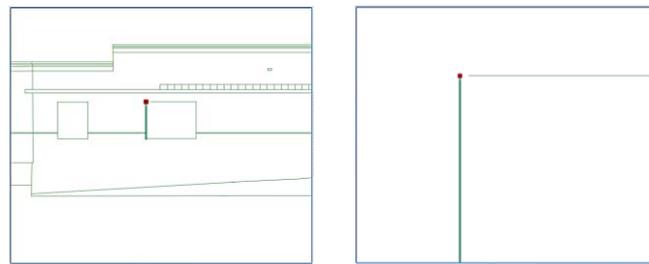


Não foram identificadas geometrias inválidas no modelo. Em contrapartida foram identificados 64 erros de cruzamentos e descontinuidade, ou seja, 6,5% das feições apresentava um destes problemas. A Figura 37 traz em: (a) um exemplo da identificação de feições cruzadas e em (b, c, d) exemplos de descontinuidades. Todos os erros identificados foram corrigidos. Assim, em um novo teste, não foram identificadas feições cruzadas e descontínuas. A Figura 38 destaca em laranja as feições modificadas no modelo, devido à correção dos cruzamentos e descontinuidades. Com base nas análises e considerando a edição dos erros, o modelo atende aos requisitos quanto à consistência lógica, em que, no mínimo, 90% das feições devem ser consistentes.

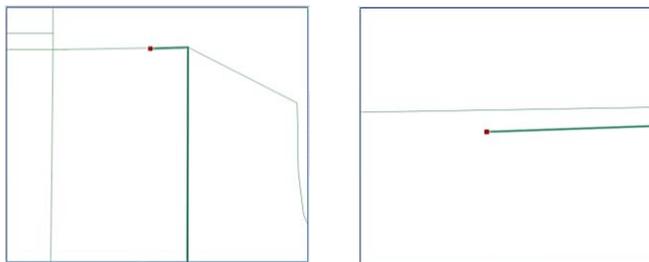
Figura 37 - Exemplo de cruzamento e descontinuidade das feições.



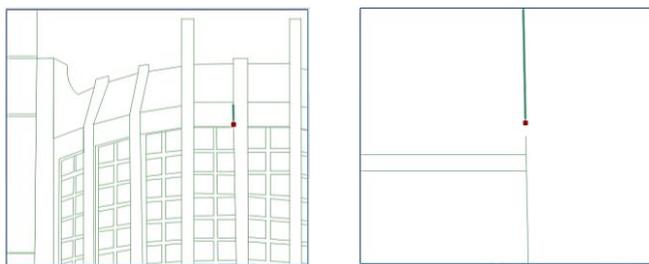
(a)



(b)

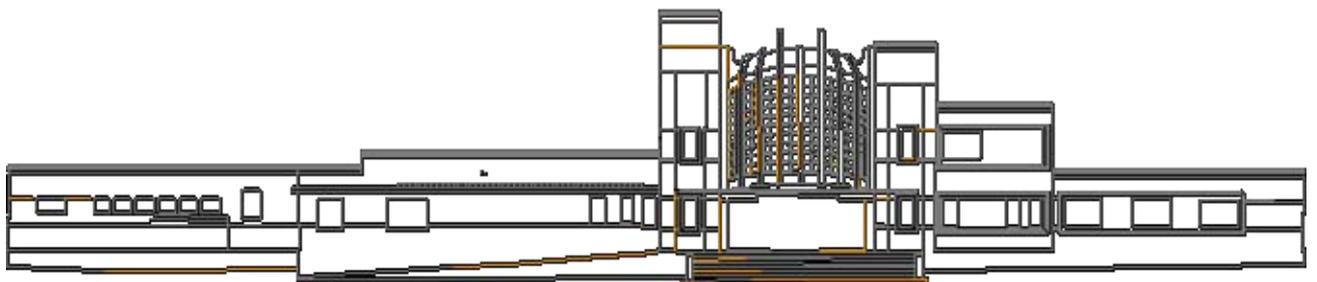


(c)



(d)

Figura 38 - Feições modificadas no processo de correção da consistência lógica do modelo (destacado em laranja).



Completude para o modelo – classe A

A análise da completude do modelo consiste em verificar, no conjunto de dados, a presença e ausência de informações. Segundo a ET/DOC-FOPARQ os modelos devem apresentar 95% dos elementos representativos de interesse definidos pelos usuários (universo de discurso), ou seja, permite-se 5% de omissões. A Tabela 29 apresenta o número de elementos, subdivididos em classes, que compõem o universo de discurso, e o número de elementos deste universo de discurso que foi representado no modelo da estação ferroviária.

Tabela 29 – Número de elementos do universo de discurso para análise de completude e número de elementos representados no modelo.

Elementos	Universo de discurso (n°)	Modelo (n°)
Janelas	32	32
Porta	1	1
Escada/degraus	8	8
Molduras/janela	13	12
Detalhes	25	23
Saídas de água	4	1
Limite dos blocos	5	5
Total (n°)	88	82
Total (%)	100%	96,47%

Considerando todos os elementos que compõem o universo de discurso, 3,52% dos elementos não foram representados, principalmente por motivos de oclusões ou indefinição das arestas. Não foi identificada a presença de comissão. Logo, o modelo atende aos requisitos quanto à completude, em que o limite aceitável de ausências é de 5% e de excesso de informações de 0%.

5.2 Edificação Vila Goulart

O projeto de pesquisa “Persistência no espaço urbano dos edifícios da década de 1940 em Presidente Prudente-SP” foi desenvolvido pelo Departamento de Arquitetura e Urbanismo da FCT/UNESP em parceria com o Departamento de Cartografia e financiado pela Fapesp (Processo: 2011/19621-0). O objetivo desse projeto de pesquisa foi investigar os patrimônios arquitetônicos de cidades médias do Oeste Paulista para preservação, valorização cultural e conscientização da comunidade da importância da identidade local, no qual foi realizado um levantamento bibliográfico dos patrimônios

arquitetônicos da década de 40 da cidade de Presidente Prudente, a criação de um banco de dados com as imagens históricas e atuais e a modelagem bidimensional e tridimensional de alguns edifícios históricos utilizando o programa *PhotoModeler Scanner*.

Esta seção apresenta a análise de qualidade de um dos modelos desenvolvidos durante o projeto de pesquisa descrito (Persistência no espaço urbano dos edifícios da década de 1940 em Presidente Prudente-SP), sendo este um exemplar de edificação do centro histórico do município de Presidente Prudente, antiga Vila Goulart.

5.2.1 Informações descritivas do patrimônio arquitetônico - centro histórico

Nome

Não possui nome oficial, sendo classificado como parte do centro histórico do município de Presidente Prudente (Exemplar de edificação do centro histórico).

Código identificador do IPHAN

Não aplicável.

Data

Data da construção original indefinida.

NOTA: Estima-se entre 1920 e 1930.

Breve descrição histórica

A arquitetura do centro histórico de Presidente Prudente, assim como a organização espacial do conjunto de edificações históricas, tem como principal influência o desenvolvimento da Estrada de Ferro Sorocabana. A região que hoje é o centro comercial de Presidente Prudente, na década de 20 era conhecida como Vila Goulart. Assim, próxima à estação ferroviária localizava-se a maioria dos estabelecimentos públicos e comerciais da época. Além da edificação do centro histórico estudada deste trabalho, destacam-se, na mesma rua, outros exemplos de edificações históricas, como as Casas Pernambucanas (1920), o Banco Frances Italiano (1930) e a Casa Damasco (1920).

Categoria

Cat_código: 004 - Municipal (Apêndice A).

Endereço

Município: Presidente Prudente
UF: São Paulo
Bairro: Centro
Rua: Barão do Rio Branco
Complemento: N° 567
CEP: 19010-000
Coordenadas geográficas: - 22° 7' 24,87"; -51° 23' 18,20".

Finalidades

Finalidade original: Comercial

NOTA: Nas décadas de 30 e 40, a Rua Barão do Rio Branco era uma das ruas mais influentes do município de Presidente Prudente, em razão do caráter comercial, onde se localizavam o Banco Ítalo Brasileiro, o Banco do Estado e diversos estabelecimentos comerciais, como a Casa Damasco e o Cine João Gomes. Nesse contexto acredita-se que a finalidade original era comercial, inclusive devido às características arquitetônicas da edificação que apresenta particularidade de edificações comerciais, como as três grandes portas frontais.

Finalidade Atual: Comercial (Farmácia)

Estilo arquitetônico

Edificação de simplicidade construtiva de influência *Art Decó*.

Estado de proteção

EP_código: 002 – não protegido (Apêndice A)

Estado de conservação e integridade

Opcional, não aplicado.

Tipologia

Tipo_codigo: 002 – Civil (Apêndice A)

Galeria de fotos

A Figura 39 traz em (a) uma vista superior de parte do centro histórico de Presidente Prudente na década de 60, em que a edificação em estudo localiza-se na parte superior da imagem, em frente à Praça Nove de Julho, em (b) uma imagem da Rua Barão do Rio Branco na década de 30, e em (c) a edificação na sua finalidade atual (2014).

Figura 39 - (a) vista superior do centro histórico de Presidente Prudente em 1960, (b) estado atual da edificação em estudo.



(a)

(b)

Fonte: Memoria Prudentina.

5.2.2 Desenvolvimento do modelo do patrimônio arquitetônico – Edificação Vila Goulart

Para o desenvolvimento deste modelo colaborou-se com a aquisição dos dados, o processo de calibração da câmara e, por fim, com a análise de qualidade do modelo, com base na ET/DOC-FOPARQ (Apêndice A).

Os demais procedimentos para a modelagem da edificação foram realizados por um operador externo (graduando em Arquitetura e urbanismo e pesquisador no projeto Persistência no espaço urbano dos edifícios da década de 1940 em Presidente Prudente-SP), enriquecendo o estudo de viabilidade da especificação, já que o operador representa os possíveis usuários da mesma (arquitetos, engenheiros, dentre outros).

Observa-se que não foram feitas intervenções nas tomadas de decisões do operador durante o processo de modelagem.

5.2.2.1 Aquisição dos dados

O conjunto de materiais utilizados para este levantamento foi composto por uma câmara de médio formato (Sony-NEX), tripé para câmaras, alvos codificados de reconhecimento automático do programa *PhotoModeler*, como se vê na Figura 40, (a distribuição dos alvos depende no tamanho e escala do objeto) e trena de aço milimétrica para medidas de arestas de controle (escala) e verificação (apenas a acurácia posicional relativa). O Quadro 12 mostra as principais características da câmara utilizada para a aquisição das imagens.

Foram coletadas 8 imagens sequenciais da fachada da edificação (Figura 41), com sobreposição superior a 50%, distância média sensor-objeto de 5 metros e GSD médio das imagens de 2 mm.

Quadro 12-Informações técnicas da Câmara Sony-NEX.

Câmara	Sony-NEX
Distância Focal nominal	18,0 mm
Tipo/Tamanho do sensor	CMOS/23 mm x 15 mm
Tamanho do pixel	0,0047 mm
Dimensões da imagem	4912 x 3264 pixels

Figura 40- alvos codificados no padrão PhotoModeler para reconhecimento automático.



Figura 41- Sequência de coleta simplificada da edificação.



Controle de qualidade para a aquisição dos dados – classe A

Seguindo a análise da qualidade para a etapa de aquisição recomendada na ET/DOC-FOPARQ, o GSD deve ser inferior ao limite do erro padrão dessa etapa, que consiste em 1/3 do erro padrão final do modelo para a acurácia absoluta. Para a escala de representação 1:100 o limite do erro padrão dessa etapa corresponde a 10 mm. Como discutido anteriormente, o GSD médio das imagens corresponde a 2 milímetros ($GSD < 10$ mm).

As medidas de controle e verificação devem ser compatíveis a 1/3 do erro padrão final do modelo para a acurácia absoluta. Segundo Rodrigues (1979), o erro médio comum na medição com a trena de aço é de 1 cm em 100 m, o que atende o limite proposto

(GSD < 10 mm). Ademais, as distâncias para controle e verificação medidas variam entre 0,50 m e 5 m, sendo que distâncias curtas apresentam menores erros de medida, por exemplo, com a redução dos efeitos de catenária. Assim, a acurácia dos dados coletados é aceitável em relação ao limite do erro padrão definido para a etapa de aquisição na escala de representação 1:100.

5.2.2.2 Orientações interior e exterior

Orientação interior

Embora o programa *Photomodeler* possibilite a calibração automática da câmara utilizando campos planos com alvos de reconhecimento automático, optou-se por realizar a calibração de modo semelhante ao estudo de caso anterior, o que permitiu maior controle do processo de calibração e análise dos conjuntos de parâmetros. O campo de calibração 3D permite a redução de correlação entre os valores da distância focal (OI) e de Z_0 (OE) de modo mais efetivo que no campo 2D (Seção 4.2.3).

Portanto, a calibração da câmara Sony-NEX foi feita utilizando o campo 3D, com alvos no padrão ArUco, o programa científico CMC e o programa de identificação e medida automática de alvos (Localizador de alvos), ambos desenvolvidos pelo grupo de pesquisa em Fotogrametria da FCT/UNESP, como citado anteriormente.

O CMC e o *PhotoModeler* possuem algumas diferenças quanto aos parâmetros de orientação interior utilizados, sendo necessário, portanto, compatibilizar os dados.

Com relação às coordenadas do ponto principal, o CMC apresenta o resultado com relação ao centro da imagem, enquanto o *PhotoModeler* utiliza como origem o canto superior esquerdo da mesma. Logo, para compatibilizar as medidas, aplicou-se uma translação na origem do sistema do CMC para o canto esquerdo superior da imagem e, a partir da nova origem, foram determinadas as coordenadas do ponto principal no mesmo sistema de referência do *PhotoModeler*.

Outra diferença está nos parâmetros de distorção radial simétrica e de distorção descentrada. O CMC fornece os coeficientes de distorção, enquanto o *PhotoModeler* utiliza os coeficientes para a correção da distorção, que possuem o sinal inverso. Com os parâmetros compatibilizados criou-se um arquivo .cam, compatível com o formato aceito pelo

PhotoModeler. A Tabela 30 mostra os parâmetros de orientação exterior calculados no CMC e compatibilizados para o uso no *PhotoModeler*.

Tabela 30- Parâmetros de orientação interior da câmara Sony-NEX no padrão dos programas CMC e *PhotoModeler*.

POI	CMC	<i>PhotoModeler</i>
f (mm)	18,1456 ± 0,004	18,1456 ± 0,004
x ₀ (mm)	-0,0637 ± 0,002	11,4363 ± 0,002
y ₀ (mm)	-0,0299 ± 0,002	7,4701 ± 0,002
k ₁ (mm ⁻²)	-5,9992 x 10 ⁻⁴ ± 7,88 x 10 ⁻⁶	5,9992 x 10 ⁻⁴ ± 7,88 x 10 ⁻⁶
k ₂ (mm ⁻⁴)	5,8899 x 10 ⁻⁷ ± 1,207 x 10 ⁻⁷	-5,8899 x 10 ⁻⁷ ± 1,207 x 10 ⁻⁷
k ₃ (mm ⁻⁶)	3,412 x 10 ⁻⁹ ± 5,64 x 10 ⁻¹⁰	-3,412 x 10 ⁻⁹ ± 5,64 x 10 ⁻¹⁰
p ₁ (mm ⁻¹)	-1,1843 x 10 ⁻⁵ ± 3,47 x 10 ⁻⁶	1,1843 x 10 ⁻⁵ ± 3,47 x 10 ⁻⁶
p ₂ (mm ⁻¹)	2,1938 x 10 ⁻⁵ ± 3,3371 x 10 ⁻⁶	-2,1938 x 10 ⁻⁵ ± 3,3371 x 10 ⁻⁶

Orientação exterior

A orientação exterior das imagens no programa *PhotoModeler* é dividida nas etapas de orientação relativa e orientação absoluta.

A orientação relativa consiste em orientar em posição e atitude o par de fotografias entre si, sem considerar o referencial terrestre, portanto determina-se o sistema fotogramétrico de uma fotografia em relação à outra. Para isso, realizou-se a identificação dos pontos homólogos das imagens, considerando os princípios da geometria epipolar.

Na segunda etapa é necessário transformar as coordenadas para um referencial terrestre, sendo este processo denominado como orientação absoluta. O sistema de referência local foi definido baseado no reconhecimento automático dos alvos codificados, que possibilitam medidas com qualidade subpixel (EOS SYSTEM, 2000), o que possibilitou a identificação de uma escala e a orientação dos eixos (X,Y,Z).

A Tabela 31 apresenta os resíduos máximos e mínimos obtidos nas componentes X, Y e Z dos pontos medidos utilizados para orientar as imagens e o REQM global dos pontos.

Tabela 31 - Resíduo máximo e mínimo dos pontos homólogos para a orientação das imagens.

Resíduos	X (m)	Y(m)	Z(m)	REQM global (m)
Máximo	0,0048	0,0016	0,0058	0,0025
Mínimo	0,0004	0,0004	0,0008	

Controle de qualidade para as orientações – classe A

Para a análise da qualidade da etapa de orientações, seguindo a ET/DOC-FOPARQ, verificou-se o desvio padrão na determinação da distância focal e do ponto principal atende ao limite recomendado (< 1 pixel). A Tabela 30 mostra que estes requisitos são atendidos.

Embora para a orientação exterior seja recomendado avaliar o REQM dos pontos de verificação, não foi possível realizar esta análise neste caso, pois os pontos de verificação não foram coletados, devido à algumas dificuldades encontradas para realizar o apoio de campo no local de estudo. Logo, nesse estudo de caso, avaliou-se apenas a acurácia posicional relativa do modelo (Seção 5.2.2.3). A avaliação da etapa de orientação levou em consideração que os resíduos máximos e mínimos obtidos nas componentes X, Y e Z dos pontos medidos utilizados para orientar as imagens e o REQM global dos pontos são inferiores a 10 mm (Tabela 31).

5.2.2.3 Modelagem

A modelagem da fachada da edificação foi produzida a partir do módulo de restituição monoscópica das imagens do programa *PhotoModeler* (rever Seção 4.2.5). A Figura 42 ilustra essa etapa, sendo que: (a) exemplifica a restituição monoscópica das arestas na imagem e (b) o desenvolvimento do modelo (módulo de visualização 3D). As coordenadas tridimensionais são calculadas a partir do ajustamento por mínimos quadrados dos feixes de raios formadores da imagem, de modo que as feições restituídas monoscopicamente nas imagens são utilizadas para calcular as coordenadas 3D que compõem o modelo. O modelo completo encontra-se no Apêndice C.

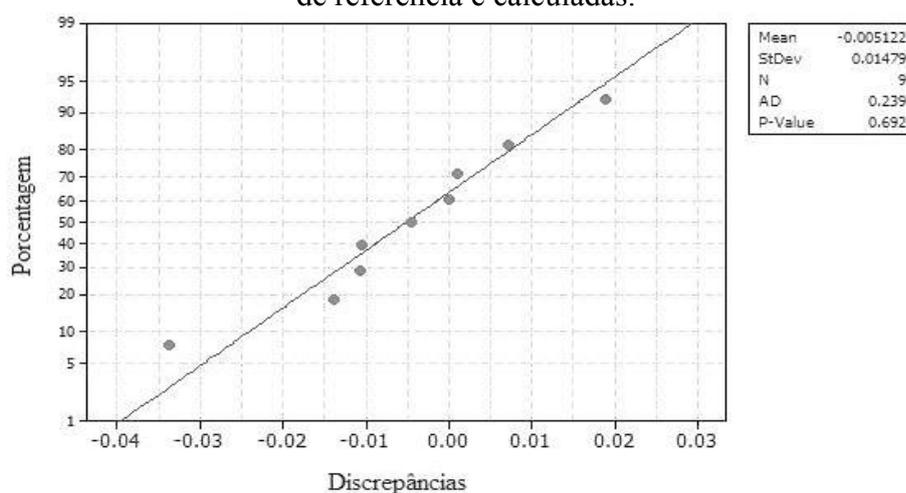
Figura 42 – Processo de modelagem, em que (a) ilustra a restituição de arestas na imagem e (b) o desenvolvimento do modelo.



Para estimar a acurácia relativa do modelo foram medidas diretamente as distâncias entre 8 arestas, com uma trena milimétrica de aço, com erro relativo de 1: 10.000, as quais foram comparadas com as mesmas distâncias medidas no modelo. O número de medidas diretas justifica-se pela baixa quantidade de feições de fácil acesso.

Destarte, aplicou-se ao conjunto de dados o teste de normalidade de Anderson-Darling para de 95% de probabilidade (P-valor 0,05), constatando que os dados apresentam distribuição normal (Figura 43).

Figura 43 - Teste de normalização de Anderson-Darling para as discrepâncias entre as arestas de referência e calculadas.



A Tabela 32 apresenta as estatísticas, média, desvio padrão e REQM das discrepâncias entre as medidas das arestas obtidas diretamente e no modelo. A REQM final

obtida foi 1,58 cm e é inferior ao limite do erro padrão final para a acurácia relativa proposto para a escala de representação 1:100 de 2 cm ($0,2 \text{ mm} * 100$). Logo, o modelo desenvolvido atende à especificação, não tendo sido verificada, contudo, a acurácia absoluta.

Tabela 32- Estatísticas para análise da precisão relativa do modelo desenvolvido no programa *PhotoModeler*.

Nº de arestas	Média (m)	Desvio Padrão (m)	REQM (m)
8	0,0051	0,0148	0,0149

Controle de qualidade da acurácia posicional para o modelo – classe A

Considerando uma escala de representação 1:100, a ET/DOC-FOPARQ recomenda para a análise da acurácia posicional relativa que o erro padrão final do modelo seja inferior ao limite do erro padrão relativo final proposto para esta escala gráfica, neste caso, 20 mm. A REQM das medidas de verificação apresentada na Tabela 33 é inferior a 20 mm, portanto, o modelo atende a acurácia posicional relativa requerida para a documentação fotogramétrica classe A. Verifica-se, também, a consistência lógica e a completude do modelo.

Consistência lógica para o modelo – classe A

Assim como no estudo de caso anterior, a análise da consistência lógica foi realizada no programa Quantum Gis (Versão 2.6.1), considerando os mesmos critérios de avaliação, em que foram obtidos os seguintes resultados:

- a) Duplicação: Em 107 feições foi identificada uma feição duplicada, ou seja, 0,9% das feições são duplicadas (ver Figura 44);
- b) Geometrias inválidas: nenhuma feição com geometria inválida;
- c) Cruzamentos: 1 cruzamento entre feições identificadas, ou seja 0,9% das feições se cruzam (Figura 45.a);
- d) Descontinuidade: 6 nós não unidos, ou seja, 5,6% das feições apresentam descontinuidade (Figura 45.b).

Em primeira análise 7,4% das feições não eram consistentes, o que atende ao limite máximo de 10% imposta na especificação. No entanto, todas as inconsistências

foram corrigidas e, em uma segunda análise, não foram detectados erros quanto aos critérios analisados. A Figura 46 destaca em laranja as feições corrigidas dos erros de cruzamento e descontinuidade.

Figura 44 - Feições duplicadas para o segundo estudo de caso.

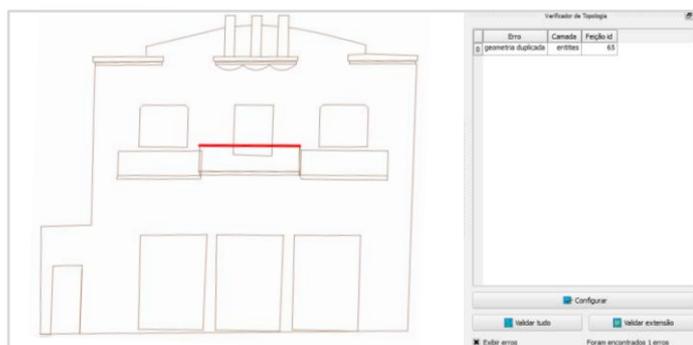


Figura 45 - Exemplo de cruzamento de feições (a) e descontinuidade (b) para o segundo estudo de caso.

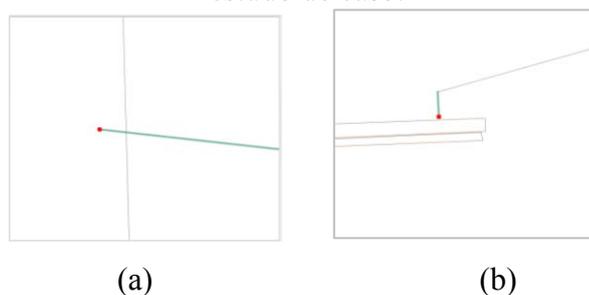
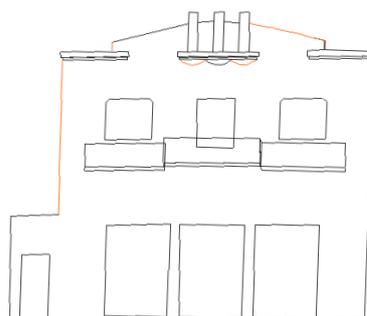


Figura 46 - Feições modificadas após teste de consistência lógica para o segundo estudo de caso.



Completeness para o modelo – classe A

Os elementos do universo de discurso para a análise de completude, assim como os elementos que estão representados no modelo, são apresentados na Tabela 33.

Não foi identificado nenhum elemento em excesso. Embora o modelo atenda ao requisito de qualidade quanto à ausência de elementos ($4,16\% < 5\%$), nota-se a relevância do detalhe que não foi restituído (elemento decorativo acima das janelas, ver figura 43) para a caracterização da edificação, principalmente em razão da simplicidade da edificação.

Um dos motivos da ausência deste elemento é a baixa definição das arestas, dificultando a identificação do elemento pelo operador. Este é um exemplo de feição de baixo contraste que poderia ser melhor identificada utilizando o método de restituição estereoscópica.

Tabela 33 - Elementos do universo de discurso e elementos presentes no modelo para análise de completude do modelo da edificação Vila Goulart.

Elementos	Universo de discurso (n°)	Modelo (n°)
Janelas	3	3
Portas	4	4
Varanda	3	3
Detalhes	13	12
Limite	1	1
Total (n°)	24	23
Total (%)	100%	95,83%

5.3 Monumento à Prudente de Moraes

O estudo de caso da estátua em memória ao ex-presidente e patrono da cidade de Presidente Prudente tem como objetivo exemplificar os modelos que se encaixam na classe B, ou seja, modelos não métricos, cuja finalidade é a visualização interativa dos patrimônios e a divulgação cultural dos mesmos. O conhecimento e valorização do patrimônio arquitetônico pela população é uma das principais ferramentas de preservação, inibindo a descaracterização do patrimônio, principalmente devido a soluções imediatista dos problemas urbanos por parte dos gestores.

Ao longo deste capítulo foram apresentados os estudos de caso utilizando programas com diferentes níveis de controle de qualidade durante o processamento. Embora o Autodesk 123D não permita nenhuma intervenção do operador no processamento do modelo, este é um dos programas mais utilizados pelos usuários para gerar modelos de finalidade classe B, o que motivou sua aplicação neste estudo de caso.

5.3.1 Informações descritivas do patrimônio arquitetônico – Estátua Prudente de Moraes.

Nome

Estátua Prudente de Moraes

Código identificador do IPHAN

Não se aplica

Data

Construção original: 1944

Modificada em 2013, quando foi realocada em frente a antiga Estação Ferroviária Presidente Prudente.

Breve descrição histórica

O busto em homenagem ao presidente Prudente de Moraes é parte do conjunto arquitetônico que caracterizava a Praça da Bandeira. Na década de 30, o crescimento urbano do município de Presidente Prudente, proporcionou o desenvolvimento de espaços públicos como a Praça da Bandeira que teve sua construção finalizada na década de 40.

Categoria

Cat_código: 004 - Municipal (Apêndice A).

Endereço

Município: Presidente Prudente

UF: São Paulo

Bairro: Centro

Praça da Bandeira - Avenida Washington Luís

Complemento: Próximo ao cruzamento entre as avenidas Washington Luís e Brasil, em frente e a antiga estação ferroviária.

Coordenadas geográficas: - 22° 7' 23,28"; -51° 22' 58,14".

Finalidades

Não se aplica

Nota: Monumento em homenagem à Prudente de Moraes, patrono do município de Presidente Prudente.

Estilo arquitetônico

Opcional

Estado de proteção

EP_código: 002 – não protegido (Apêndice A)

Estado de conservação e integridade

Monumento descaracterizado.

Nota: possui pichações e está desvalorizado em razão da desarmonia estética com as outras edificações, principalmente devido à descaracterização da Praça da Bandeira.

Tipologia

Tipo_codigo: 002 – Civil (Apêndice A)

Galeria de fotos

A Figura 47 mostra a Praça da Bandeira do município de Presidente Prudente em 1941, local original do monumento à Prudente de Moraes.

Figura 47 - Praça da Bandeira (1941).



5.3.2 Desenvolvimento do modelo do patrimônio arquitetônico – monumento à Prudente de Moraes

5.3.2.1 Aquisição das imagens

Neste estudo de caso utilizou-se uma câmara Sony DSC-W520 de baixo custo (Quadro 13). Foram tomadas 58 imagens do monumento em diferentes perspectivas,

com superposição mínima de 70% e com duas alturas médias distintas (1,5m e 1,8m), como ilustra a Figura 48. É necessário que as imagens sejam tomadas sequencialmente, com a mesma câmara e distância focal fixa.

Embora a análise da acurácia posicional não se aplique para os modelos que compõem a documentação fotogramétrica classe B, julgou-se interessante para este estudo de caso analisar a acurácia relativa do modelo. Nesse sentido, foram coletas 6 distâncias, para avaliar a acurácia relativa do modelo, utilizando uma trena de aço.

Quadro 13- Informações técnicas da Câmara Sony DSC-W520.

Câmara	Sony DSC-W520
Distância Focal nominal	35 mm
Tipo do sensor	CCD
Dimensões da imagem	2592 x 1944 pixels

Figura 48- Modelo tridimensional e distribuição das estações para a tomada das imagens na interface do programa Autodesk 123D Catch.



5.3.2.2 Modelagem tridimensional

O modelo tridimensional foi processado no programa Autodesk 123D *Catch*, na versão Desktop, baseado nos conceitos de Fotogrametria e Visão computacional (SANTAGATI, 2013).

O processamento da modelagem é automático e utiliza técnicas de SfM (*Structure from Motion*), correspondência de imagens, geração de malhas de triângulos irregulares e renderização. Santagati, Inzerillo e Di Paola (2013), discutem as limitações e potencialidades do programa Autodesk 123D *Catch*, comparando os modelos tridimensionais gerados com LIDAR terrestre aos modelos 3D obtidos com o 123D *Catch*, concluindo que em média, na maioria das aplicações, a acurácia posicional é da ordem de 1 a 2 cm.

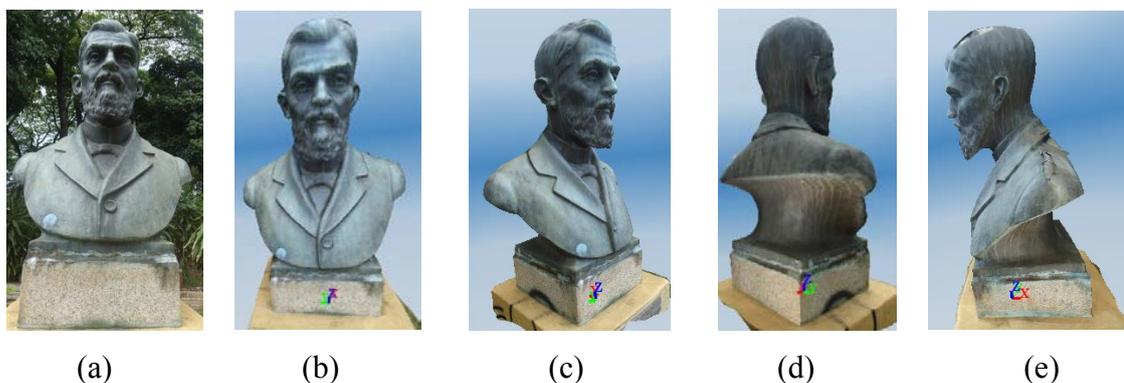
Após o processamento automático das imagens é possível inserir pontos de referência, que permitem definir a escala do modelo e um sistema de coordenadas. Assim como no *Photomodeler*, o 123D *Catch* indica, a partir da medida de um ponto em uma imagem de referência, as linhas epipolares que contém os pontos homólogos nas demais imagens. Mais informações podem ser consultadas nos tutoriais *online* para o 123D *Catch*.

Não foi possível realizar o controle de qualidade de etapas fundamentais no processo fotogramétrico, como os processos de orientação interior e exterior, ou mesmo adicionar parâmetros e injunções de controle. No entanto, relembra-se a finalidade não métrica da Classe B.

Logo, como ferramenta para divulgação do patrimônio arquitetônico para a sociedade, principalmente em plataforma web interativa, que não requer alta precisão, o modelo é interessante, sendo uma opção rápida e de baixo custo, caracterizando-se por finalidade como um modelo classe B.

A Figura 49 exhibe em (a) uma imagem frontal da estátua do busto de Prudente de Moraes e nas demais (b, c, d, e) o modelo tridimensional visto de diferentes perspectivas.

Figura 49 - (a) imagem frontal da estátua; (b, c, d, e) modelo tridimensional da estátua visto em diferentes perspectivas.



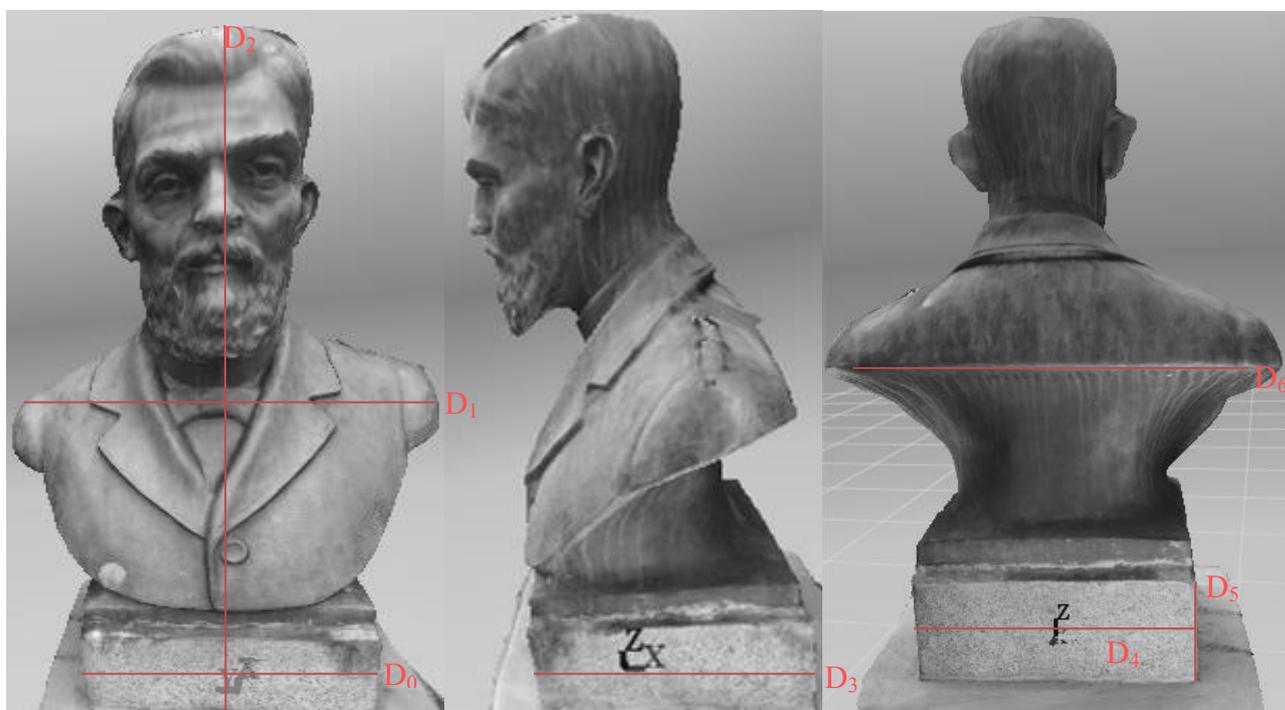
Para analisar a acurácia relativa do modelo, a escala de representação foi fixada em 1:10 (AUTOCAD, 2010), considerando uma medida de distância conhecida (D_0 na Figura 50). A Tabela 34 apresenta as estatísticas, média, desvio padrão e REQM das discrepâncias entre as medidas de distância obtidas diretamente com trena e as mesmas distancias medidas no modelo (ΔD). A Figura 50 ilustra as medidas realizadas.

Apesar dos resultados não serem satisfatórios para atender a necessidade da documentação fotogramétrica Classe A, a acurácia centimétrica obtida é aceitável para a Classe B, considerando sua finalidade visual.

Tabela 34 - Estatísticas para análise da precisão relativa do modelo desenvolvido no programa Autodesk 123D Catch.

Distâncias (D_x)	1	2	3	4	5	6
ΔD	-3 cm	-1,5 cm	1 cm	2 cm	1,7cm	-1cm
Estatísticas (cm)	Média		Desvio Padrão		REQM	
	0,13		2,002		1,832	

Figura 50- Medidas de verificação para o modelo da estátua Prudente de Moraes.

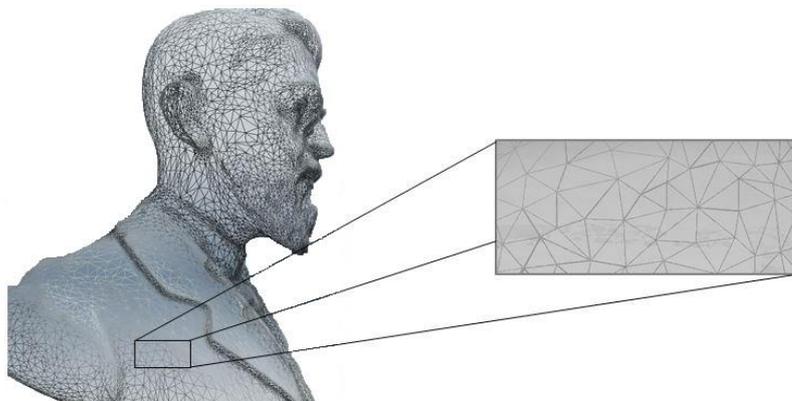


Escala gráfica 39 cm

Consistência lógica para o modelo – classe B

A modelagem tridimensional da superfície da estátua consiste em gerar uma malha de triângulos irregulares a partir da nuvem de pontos obtida no cálculo das coordenadas tridimensionais dos pontos homólogos. Neste processo são considerados requisitos que garantam a consistência lógica do modelo a partir de diversos métodos de triangulação, por exemplo, aplicando a triangulação de Delaunay. A Figura 51 ilustra uma amostra da malha de triângulos irregulares que compõem o modelo.

Figura 51 - amostra da malha de triângulos irregulares que compõem o modelo da estatua de Prudente de Morais.



A triangulação de Delaunay gera uma malha composta por um conjunto de triângulos irregulares, os mais equiláteros possíveis e não sobrepostos, sendo que nenhum dos pontos da malha é interior às circunferências circunscritas a qualquer um dos triângulos gerados (EL-SHEIMY, 1999). Logo não existem feições sobrepostas, com cruzamento ou descontinuas.

Assim a verificação de topologia do programa Quantum GIS avaliou apenas a presença de feições duplicada e/ ou com geometria invalida, sendo que não foi identificada nenhuma ocorrência.

Completude para o modelo – classe B

Quanto à completude todas as feições relacionadas à face e ao busto da estátua foram representadas, no entanto, observa-se a indefinição das fronteiras, em algumas regiões do modelo, principalmente na representação de curvas.

Utilizando o Quantum GIS foram identificadas algumas lacunas (*gaps*) na malha de polígonos, em que, considerando o total de 82.650 feições que constituem o modelo, 220 foram identificadas como lacunas ou falhas, ou seja 0,26%. Porém, atende-se o requisito máximo de ausências de até 5%.

Foram identificadas visualmente feições que não são parte do modelo e sim de objetos próximos a estrutura, que foram registradas nas imagens. Estas comissões foram excluídas. A edição do modelo foi realizada nos programas MeshMixer e Autocad 2010, ambos da Autodesk. Os estudos de caso mostra a viabilidade da especificação técnica para documentação fotogramétrica do patrimônio arquitetônico (ET/ DOC-FOPARQ), baseada nos princípios da Fotogrametria Digital.

CAPÍTULO VI

CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 SÍNTESE

A importância da valorização do patrimônio arquitetônico aliada ao avanço das câmaras, o desenvolvimento de plataformas fotogramétricas digitais e soluções automatizadas, incentivaram o desenvolvimento de muitos modelos fotogramétricos do patrimônio arquitetônico. Porém, poucos desses modelos são utilizados como suporte para trabalhos futuros, em função da falta de confiabilidade dos mesmos.

Com esta motivação, este trabalho propôs uma iniciativa de especificação técnica para a análise de qualidade dos modelos desenvolvidos para a documentação fotogramétrica do patrimônio arquitetônico, com foco na geometria dos modelos e considerando a finalidade da documentação, pensando no futuro e na aplicabilidade dos trabalhos, sem restringi-los apenas ao uso imediato. Para isso, foram realizados estudos teóricos e experimentais.

O escopo inicial do trabalho, apresentado pelo estudo teórico, consistiu na investigação das especificações e normas mais relevantes para a documentação fotogramétrica do patrimônio arquitetônico em nível nacional e internacional. O resultado desse estudo, associado à identificação das principais dificuldades dos usuários, permitiu apontar algumas deficiências nas especificações e normas atuais (escolha do sensor, aquisição, orientações e modelagem). Dentre os problemas identificados, os mais relevantes referem-se à falta de requisitos para o controle de qualidade na produção do modelo e de atualizações em vista dos recentes avanços digitais.

O estudo teórico também foi propício para a identificação das referências normativas utilizadas no desenvolvimento da especificação técnica, como as normas da ABNT, as especificações do programa Monumenta, as especificações da CONCAR e do CIPA, o *Accuracy Standards for Digital Geospatial Data* (ASPRS) e a ISO para informações geográficas (Série 19100).

Foram realizados experimentos para analisar os requisitos que compõem a especificação técnica para a documentação fotogramétrica do patrimônio arquitetônico (ET/DOC-FOPARQ), assim como uma análise para a classificação dos produtos quanto a sua finalidade.

Os produtos podem ser classificados em: Classe A, que têm como finalidade auxiliar projetos de intervenção, que necessitam de acurácia milimétrica e Classe B, que têm como finalidade a divulgação do patrimônio para a população. Ambas as aplicações são ferramentas efetivas de preservação.

Para a análise de qualidade do modelo, foram utilizadas como referências a ISO 19157, a ET-ADGV e a AD-OPAP, em que se estipularam limiares para a análise quanto à acurácia posicional, a consistência lógica e a completude. Também foram avaliados requisitos para auxiliar no desenvolvimento dos processos fotogramétricos intermediários, subdivididos em três grandes etapas: aquisição, orientação e modelagem, sugerindo-se parâmetros para a análise de qualidade desses processos e orientações para o planejamento do projeto.

Por fim, a especificação foi aplicada para o desenvolvimento de os estudos de caso, que contemplam as classe A e B, com o objetivo de validar os requisitos, utilizando programas com diferentes níveis de automação e controle.

O primeiro estudo de caso tratou da documentação fotogramétrica classe A da Estação Ferroviária Presidente Prudente, desenvolvido na plataforma *LPS*, considerando procedimentos rigorosos para a aquisição, orientação e modelagem, em que os requisitos da ET/ DOC-FOPARQ foram considerados viáveis.

O segundo estudo de caso avaliou a documentação fotogramétrica classe A para um exemplar de edificação da antiga Vila Goulart, que hoje é parte do centro histórico do município de Presidente Prudente, desenvolvido no *Photomodeler*. Destaca-se que a modelagem foi realizada por um operador externo, que representa os possíveis usuários da especificação, em que as orientações e avaliações de qualidade propostas para os processos intermediários ajudaram na obtenção do resultado final. O estudo de caso da edificação Vila Goulart também atende aos requisitos da ET/ DOC-FOPARQ.

O terceiro estudo de caso mostrou o processo de modelagem, para a documentação fotogramétrica classe B, da estátua do busto do ex-presidente Prudente de Moraes, utilizando o programa 123D Catch, que vem sendo extensamente aplicado em vários trabalhos que visam a divulgação web do patrimônio arquitetônico. Observa-se que é possível através de equipamentos e programas de baixo custo, divulgar para a sociedade, o patrimônio arquitetônico. A educação cultural da população é uma das ferramentas mais efetivas de preservação, na medida em que evita a descaracterização do patrimônio arquitetônico, em função da especulação imobiliária e problemas de políticas públicas.

Os estudos de caso confirma a proposta inicial de especificação, baseada nas técnicas fotogramétricas. Assim, considera-se que a ET/DOC-FOPARQ é uma especificação técnica viável, que pode ser utilizada para orientar o planejamento, a análise de qualidade e a classificação dos projetos futuros de documentação fotogramétrica do patrimônio arquitetônico.

A ET/DOC-FOPARQ é uma primeira iniciativa para orientar a documentação fotogramétrica do patrimônio arquitetônico fornecendo subsídios para o desenvolvimento normativo brasileiro. Além disso, a especificação permite a transferência de conhecimentos sobre a técnica, a comparação com outros métodos de documentação, o auxílio na aplicação do método documental pelos usuários e a divulgação da documentação fotogramétrica como forma efetiva de preservação.

6.2 RECOMENDAÇÕES GERAIS

Recomenda-se:

- Iniciativas de cooperação entre as universidades e instituições públicas de gestão do patrimônio, de modo que a produção acadêmica seja divulgada e aplicada à sociedade;
- A educação cultural e a documentação como ações prioritárias de preservação, com base em dois conceitos populares de que “só se preserva o que se conhece” e “preservar para ter”;
- O esforço de coexistência entre o velho e o novo e, o respeito ao patrimônio arquitetônico do país, que seja simples, que seja pouco conhecido, mas que é a verdadeira representação da história do povo brasileiro;
- A documentação fotogramétrica, considerando avaliações de qualidade do produto compatíveis com sua finalidade, seja utilizando a ET/ DOC-FOPARQ ou outros critérios.

6.3 TRABALHOS FUTUROS

A ET/ DOC-FOPARQ limita-se à documentação fotogramétrica do patrimônio arquitetônico, como foco na geometria do modelo. Assim, em trabalhos futuros é recomendável:

- Considerar a documentação do patrimônio material como um todo, analisando requisitos que incluem a aplicação das técnicas fotogramétricas para grandes extensões de área, como sítios arqueológicos;
- Avaliar requisitos para a acurácia temática dos modelos, que não foi objeto de estudo nessa pesquisa;
- Analisar requisitos voltados para a qualidade radiométrica das imagens, principalmente para a documentação fotogramétrica Classe B;
- Recomendar procedimentos quanto à representação da textura do modelo e indicação dos materiais, principalmente para a documentação fotogramétrica Classe A;
- Aprofundar as discussões quanto às possibilidades de modelagem geométrica;
- Propor atualizações na especificação, quando se julgar necessário, principalmente em razão do rápido avanço tecnológico.

REFERÊNCIAS

- ALBERTZ, J. Albrecht Meydenbauer: Pioneer of photogrammetric documentation of the cultural heritage. **International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, Potsdam, v. 34, n. 5/C7, p. 19-25, 2001.
- AL-RUZOUQ, R. Photogrammetry for Archaeological Documentation and Cultural Heritage Conservation. In: **Special Applications of Photogrammetry**. 1ed. Croacia: Ed. InTech, 2012, p.97-110.
- ALVES, P. D. V. Avaliação da qualidade de produtos cartográficos: proposta de metodologia para avaliação do componente completude. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 26., 2014, Gramado. **Anais...** Gramado: UFRGS, 2014.
- AMORIM, A. Methodological aspects of architectural documentation. **International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, p.7-15, 2011.
- ANDERSON, T.W.; DARLING, D.A. Asymptotic theory of certain “goodness of fit” criteria based on stochastic processes. **The Annals of Mathematical Statistics**, v.23, n.2, p.193–212, 1952.
- ANDRADE, J. B.; OLIVAS, M. A. A. Calibração de Câmaras Aerofotogramétricas. **Boletim de Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná**, Curitiba, n.26, p.39, 1981.
- ANDRADE, J. B. **Fotogrametria**. 1.ed. Curitiba: SBEE, 1998. 242 p.
- ARAKAKI, E. M. **A Paisagem e os trilhos no Oeste Paulista**: o caso de Presidente Prudente. 2010. 144 f. Tese (Doutorado em arquitetura e urbanismo). FAU, USP, São Paulo.
- ARTESE, G.; DE NAPOLI, L.; ARTESE, S. T.O.F. Laser scanner for the surveying of statues: a test on a real case. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, p. 67- 72, 2012.
- ARTMANN, U.; WÜLLER, D. Differences of digital camera resolution metrology to describe noise reduction artifacts. **IS&T/SPIE Electronic Imaging**, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8403**: Aplicação de linhas em desenhos: Tipos de linhas, largura das linhas: elaboração. Rio de Janeiro, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10068**: Folhas de desenho: layout e dimensões: elaboração. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10582**: Conteúdo da folha para desenho técnico: elaboração. Rio de Janeiro, 1988.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13133**: Execução de levantamentos topográficos: elaboração. Rio de Janeiro, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6492**: Representação de projetos de arquitetura: elaboração. Rio de Janeiro, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14166**: Rede de Referência Cadastral Municipal - Procedimento: elaboração. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8196**: Desenho técnico: emprego de escalas: elaboração. Rio de Janeiro, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13142**: Dobramento de cópias: elaboração. Rio de Janeiro, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14653-7**: A avaliação de bens: Patrimônios Históricos: elaboração. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724**: informação e documentação: trabalhos acadêmicos: apresentação. 3. ed. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Como Escrever Normas Brasileiras: Dicas**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014, 12p.

ATKINSON, K.B. Close Range Photogrammetry and Machine Vision. 1 ed. Escócia: Whittles Publishing, 1996, 370 p.

BAIK, A.; BOEHM, J.; ROBSON, S. Jeddah historical building information modeling “JHBIM” old Jeddah - Saudi Arabia. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, p. 73- 78, 2013.

BARBER, D.; M.MILLS, J.; BRYAN, P. Towards a standard specification for terrestrial laser scanning. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.34 n.5/C15, p. 619-624, 2003.

BIANCO, I.; DEL GIUDICE, M.; ZERBINATTI, M. A database for the architectural heritage recovery between Italy and Switzerland. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, p. 103-108, 2013.

BAZAN, W. S.; TOMMASELLI, A. M. G.; GALO, M.; RUY, R. S. A influência das injunções de orientação relativa na calibração de um sistema dual de câmaras. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 15, n. 3, p.444-466, jul-set, 2009.

BOEHELER, W. Comparison of 3D laser scanning and other 3D measurement techniques. **Recording, Modeling and Visualization of Cultural Heritage**. London: Taylor and Francis, p. 89-100, 2005.

BOLAND, J. ASPRS Camera Calibration Review Panel report-Executive summary. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 66, n. 3, p. 239, 2000.

BOREMAN, G. D. **Modulation Transfer Function in Optical and Electro-Optical Systems**. Bllingham: SPIE Press, 2001, v.4, 110p.

BRASIL. Decreto nº 92.100, de 10 de dezembro de 1985. Estabelece as condições básicas para a construção, conservação e demolição de edifícios públicos. **Coleção de Leis do Brasil**, Rio de Janeiro, v.8, p.520,1985.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**: promulgada em 5 de outubro de 1988. Organização do texto por Juarez de Oliveira. 4. ed. São Paulo: Saraiva, 1990. 168 p. (Série Legislação Brasileira)

BROWN, D. C. Decentering distortion of lenses. **Photogrammetric Engineering**, v.32, n.3, p. 444 - 462, 1966

BROWN, D. C. Close-Range Camera Calibration. **Photogrammetric Engineering**, v.37, n. 8, p. 855-866, 1971.

BROWN, D. **A strategy for multi-camera on-the-job self-calibration**. Institute of Photogrammetry, University of Stuttgart, p.13, 1989.

BRYAN, P. G.; BARBER, D. M.; MILLS, J. P. Towards a standard specification for terrestrial laser scanning in cultural heritage—one year on. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 35, n. B7, p. 966-971, 2004

BRYAN, P. G.; BLAKE, B.; BEDFORD, J. **Metric survey specification for English Heritage**. 2ed. Inglaterra: Ed. English Heritage, 2009. 111 p.

BUCHANAN, C. D. **Photographing historic buildings for the record**. 1. ed. London: HMSO, 1983.

CAMPOS, M.B; TOMMASELLI, A. M. G.; MORAES, A. V. A.; MARCATO, J. Análise comparativa dos resultados obtidos pelos métodos de calibração de campo tridimensional e bidimensional. **Boletim de Ciências Geodésica**. No prelo, 2015.

CARBONNELL, M.; DALLAS, R. The international committee for architectural photogrammetry (CIPA)-aims, achievements, activities. **Photogrammetry**, v. 40, n. 2, p. 193-202, 1985.

CARDACI, A.; VERSACI, A. Image-Based 3d Modeling VS Laser Scanning for the Analysis of Medieval Architecture: the Case of ST. Croce Church in Bergamo. **ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 1, n. 2, p. 155-160, 2013.

CHANDLER, J. H.; FRYER, J. G.; JACK, A. Metric capabilities of low-cost digital cameras for close range surface measurement. **Photogrammetric Record**, p.12–26, March, 2005.

CHARBONNIER, P. et al.. Accuracy Assessment of a Canal-Tunnel 3d Model by Comparing Photogrammetry and Laserscanning Recording Techniques. **ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 1, n. 2, p. 171-176, 2013.

CHRISMAN, N. R. The error component in spatial data. **Geographical information systems**, v. 1, p. 165-174, 1991.

CHRISTOFORI, E.; BIERWAGEN, J. Recording cultural heritage using terrestrial laserscanning—dealing with the system, the huge datasets they create and ways to extract the necessary deliverables you can work with. **ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 1, n. 2, p. 183-188, 2013.

CIPA. **Advice and Suggestions for the furtherance of Optimum Practice in Architectural Photogrammetry Surveys**. Paris: Ed. UNESCO, 1981, 100 p.

CLARKE, T. A.; FRYER, J.G. The development of camera calibration methods and models. **Photogrammetric Record**, v.16, n.91, p.51-66, 1998.

CONARQ. **Modelo de Requisitos para Sistemas Informatizados de Gestão Arquivística de Documentos: e-ARQ Brasil**.. Rio de Janeiro: Arquivo Nacional, 2009, v. 1.1.

CONCAR-Comissão Nacional de Cartografia. **Perfil de Metadados Geoespacial do Brasil: Perfil MGB**, 2011.

CONCAR-Comissão Nacional de Cartografia. **Especificação Técnica para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-EDGV)**, 2011. Rio de Janeiro.

CONRADY, A. Decentered Lens Systems, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 79, p.384-390, 1919.

CORDEIRO, A. L. M.; ROCHA, G. C. O modelo tridimensional digital no registro e análise tectônica de patrimônio arquitetônico moderno. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE DOCUMENTAÇÃO DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO COM O USO DE TECNOLOGIAS DIGITAIS, 2., 2012, Belém. Anais...Belém, 2012.

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

CRAMER, M. **EuroSDR network on Digital camera calibration**. Final Report, Institute of Photogrammetry, University of Stuttgart, 2004.

D'AYALA, D.; SMARS, P. **Minimum requirements for metric use of non-metric photographic documentation**. University of Bath, jul., 2003.

DEBIASI, P.; HAINOSZ, F.; MITSHITA, E. A. Calibração em serviço da câmara Digital de baixo custo com o uso de pontos de apoio altimétrico. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 18, n°2, p.225-241, abr-jun, 2012.

De CARVALHO, F. R. **Error prediction and computation in photogrammetric flight planning**. 1972. 117 f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas), Ohio State University, Ohio.

DSG - Diretoria do Serviço Geográfico. **Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV)**, 2011. Brasília-DF.

DSG - Diretoria do Serviço Geográfico. **Especificação Técnica dos Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais (ET-PCDG)**, 2011 – versão preliminar. Brasília-DF.

EBNER, H. Self-calibrating block adjustment. **International Archives of Photogrammetry and Remote sensing**, v. 13, no 3, Helsink ,1976

EISENHART, C. Realistic Evaluation of the Precision and Accuracy of Instrument Calibration Systems. **Journal of Research of the National Bureau of Standards**, v. 67C, n°. 2, April/June 1963.

EL-SHEIMY, N. **Digital Terrain Modelling**. Calgary: The University of Calgary, 1999

EOS SYSTEMS. **Photomodeler: photogrammetry measurement and 3D modeling software**, 2000. Disponível em: < <http://www.Photomodeler.com>>, acesso em: 08 de julho de 2014.

ERWES, H.; PRADO, W. S.; BRITO, J. L. S.; KOATZ, G. D. Documentação precisa da arquitetura moderna: Utilização de metodologias tridimensionais. **Rev. Fórum Patrimônio**, Belo Horizonte, v.4, n.2, p. 1-13, 2011.

FASSI, Francesco *et al.*. Comparison between laser scanning and automated 3d modelling techniques to reconstruct complex and extensive cultural heritage areas. **3D-ARCH 2013 - 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures**, Trento, v. 5, p.W1, 2013

FGDC- FEDERAL GEOGRAPHIC DATA COMMITTEE; SUBCOMMITTEE FOR BASE CARTOGRAPHIC DATA . **Geospatial Positioning Accuracy Standards**, Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy. Virginia: National Spatial Data Infrastructure, 1998. 25 p.

FOLEY, J. D.; DAM, A. V. **Computers Graphics: Principles and Practice**. 2. ed. Massachusetts: Addison Wesley, 1990. 1174 p.

FRANÇA; Conferência geral da Organização das Nações Unidas para Educação, a Ciência e a Cultura, **Convenção para a proteção do patrimônio mundial, cultural e natural**. Paris, p.20. Out - Nov, 1972.

FRASER, C.S., Automated processes in digital photogrammetric calibration, orientation, and triangulation. **Digital Signal Processing: A Review Journal**, v. 8, n. 4, p. 277-283, 1998.

FRASER, C.S., Automatic camera calibration in close range photogrammetry. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 79, n. 4, p. 381-388, 2013.

FREITAS, P. M. G.; TIRELLO, R. A. Método de registro arqueológico para a documentação arquitetônica de paredes de Taipa de Pilão com tecnologias digitais de baixo custo: A tulha da antiga chácara paraíso em Campinas, São Paulo, um estudo de caso. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE DOCUMENTAÇÃO DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO COM O USO DE TECNOLOGIAS DIGITAIS, 2., 2012, Belém. Anais...Belém, 2012.

FRYER, J. G. **Camera Calibration**. In: ATKINSON, K. B. Close Range Photogrammetry and Machine Vision. Department of Photogrammetry and Surveying: University College London. Whittles Publishing, 1996, 371p.

GALO, M.; TOZZI, C. L. Inclusão de Injunções Epipolares na Solução do Problema de Correspondência. In: SIBBRAPI 97 - X Simpósio Brasileiro de Computação Gráfica e Processamento de Imagem, Campos do Jordão-SP. 1997.

GALO, M.; TOMMASELLI, A. M. G.; HASEGAWA, J. K.; CAMARGO, P. D. O. Significância dos parâmetros de orientação interior na calibração de câmaras In: II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2008, Recife, PE. **Anais...** Recife: PE, p.1-9, 2008

GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento de observações**: aplicações geodésicas. Curitiba: Editora da UFPR, 1994. p. 319.

GIFLE (Grupo de Investigación en Fotogrametría y Láser Escáner). **12 Tips for metric photography of architectural and archaeological cultural heritage to extract 2D/3D/4D measurements**. 2012. Disponível em: gifle.webs.upv.es/Miscellany.php. Acessado em julho de 2014.

GOMES, C. J. M.; PRADO, W. S.; ERWES, H. KOATZ, G. D.; The empress manor: a pioneer photogrammetric Project in Brazil using the 3x3 rules. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, 1999.

GOMIDE, J.H.*et al.* **Manual de elaboração de projetos de preservação do patrimônio cultural**: Cadernos técnicos 1. Brasília: Ed. Instituto do programa Monumenta, 2005. 76 p.

GUARNIERI, A. PIROTTI, F. VETTORE, A. Cultural heritage interactive 3D models on the web: An approach using open source and free software. **Journal of Cultural Heritage**, v. 11, n.3, p. 350-353, 2010.

HABIB, A.; MORGAN, M. Automatic calibration of low-cost Digital cameras. **Journal of Optical Engineering**, v.42, n.4, p.948-955, abr.2003.

HARTLEY, R.; ZISSERMAN, A.; **Multiple View Geometry in Computer Vision**. 1. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.

HIRAO, H.; FLOETER, R. A. O Patrimônio Arquitetônico e Urbanístico de Presidente Prudente: O possível preservado. **TÓPOS: Rev. De Arquitetura e Urbanismo**, v.6, n.2, p. 53-68, 2012.

HOFFMANN C. M. **Geometric & solid modeling: An introduction**. San Mateo: Morgan Kaufman, 1989, 338p.

HOLST, G. C.; LOMHEIM, T.S. **CMOS/CCD Sensor and camera systems**. 2.ed. Bellingham: SPIE PRESS, 2011, 388p.

ICOMOS. **Carta de Veneza**. In: IPHAN. Cartas Patrimoniais. Brasília: Instituto do Patrimônio Histórico, Artístico e Cultural, 1995

ICOMOS. **Principles for the Recording of Monuments Groups of buildings and Sites**. In: 11th ICOMOS General Assembly in Sofia. Paris: ICOMOS, 1996, 52p.

ICOMOS. **Carta de Washington**. In: CURY, I. Cartas patrimoniais. 3. ed, Brasília: Ministério da Cultura: Instituto do Patrimônio Histórico, Artístico e Cultural, 2000. p. 281-284

ICOMOS BRASIL. **Declaração de Curitiba sobre patrimônio e ciência**. Brasília: Ministério da Cultura: Instituto do Patrimônio Histórico, Artístico e Cultural, 2009.

IKEUCHI, K.; NAKASAWA, A.; HASEGAWA, K.; OHISHI, T. The great Buddha project: modeling cultural heritage for VR Systems through observation. In: IEEE AND ACM INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MIXED AND ARGUMENTED REALITY (ISMAR), 2003, Tokyo. **Anais...** Tokyo: IEEE, 2003, p. 7-13.

INSTITUTO ANDALUZ DEL PATRIMONIO HISTÓRICO. **Recomendaciones técnicas para la documentación geométrica de entidades patrimoniales**. 1.ed. Andaluz: Consejería de cultura, 2011, 23 p.

INSTITUTO ESTADUAL DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO DE MINAS GERAIS (IEPHA-MG). **Normas para a apresentação de projetos de restauro do patrimônio edificado**. Belo Horizonte: Superintendência de Conservação e Restauração – Setor de Projetos, 2012.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 2859-1**: Sampling procedures for inspection by attributes. Part 1: Procedures for assessment of declared quality levels. 2. ed. Suíça, 1999.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 19157**: Geographic information- Quality principles. Suíça, 2002.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 19131**: Data production specification. Noruega, 2006.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Economic benefits of standards**. Genebra, 2014. Disponível em: < www.ISO.org.> Acesso em Maio de 2014.

JAZAYERI, I.; FRASER, C. S. Interest operators in close-range object reconstruction. **International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 47, p. 69-74, 2012.

JURAN, J., M.; BLANTON GODFREY, A.; HOOGSTOEL, R., E; SCHILLING, E., G. 1998. **Juran's quality handbook**, 5. ed. New York: McGraw-Hill Professional, 1872 p.

KAINZ, W., Logical Consistency In: GUPTILL, S. C.; MORRISON, J. L., **Elements of Spatial Data Quality**, Elsevier Science, 1997. Cap. 8, p. 109-138.

KATSIANIS, M. TSIPIDIS, S. KOTSAKIS, K. KOUSOULAKOU, A. A 3D digital workflow for archeological intra-site research using GIS. **Journal of Archaeological Science**, n. 35, p. 655-667, 2008.

KENEFICK, J. F.; GYER, M.S.; HARP, W.F. Analytical Self-Calibration. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v.40, 1974.

KOUSSA, C.; KOEHL, M. A simplified geometric and topological modeling of 3D buildings: Combination fo surface-based and solid-based representation In: ASPRS ANNUAL CONFERENCE **Anais...**Baltimore, 2009.

KUZU, Y.; SINRAM, O. Volumetric reconstruction of cultural heritage artifacts. **Archives of CIPA XIXth International Symposium**, 2003.

LETELLIER, R., WERNER S., LEBLANC, F. **Recording, documentation and information management for the conservation of heritage places**: Guiding principles. Los Angeles: The Getty Conservation Institute, 2007, 174 p.

LOSIER, L. POULIOT, J. FORTIN, M. 3D geometrical modeling of excavation units at the archaeological site of Tell Acharneh (Syria). **Journal of Archaeological Science**, n. 34, p. 272-288, 2007.

LUHMANN, T.; ROBSON, S.; KYLE, S.; HARLEY, I.; **Close Range Photogrammetry**: Principles, techniques and applications. 1.ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2006. 510 p.

LUGNANI, J. B. **Introdução à Fototriangulação**. Curitiba: Ed. da UFPR, 1987,134p

MAGALHÃES, L. S.; NASCIMENTO, F. P.; RIBEIRO, B. C. C.; CURVELANO JR. D. Gestão de centros históricos a partir de ferramenta computacional 3D. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE DOCUMENTAÇÃO DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO COM O USO DE TECNOLOGIAS DIGITAIS, 2., 2012, Belém. **Anais...**Belém, 2012.

MATEUS, L.M.C; **Contributos para o projecto de conservação, restauro e reabilitação**: Uma metodologia documental baseada na fotogrametria digital e no varrimento laser 3D terrestre. 2012, v1. Tese (doutorado em arquitetura), Universidade técnica de Lisboa, faculdade de arquitetura, Lisboa.

MATEUS, L.M.C; **Contributos para o projecto de conservação, restauro e reabilitação**: Uma metodologia documental baseada na fotogrametria digital e no varrimento laser 3D terrestre. 2012. v2. Tese (doutorado em arquitetura), Universidade técnica de Lisboa, faculdade de arquitetura, Lisboa.

MÄNTYLÄ, M. Introduction to Solid Modeling. 1.ed. Rockville, Maryland: Computer Science Press, 1988

MERCHANT, D. C. **Analytical photogrammetry**: theory and practice. Notes Revised from Earlier Edition Printed in 1973, The Ohio State University, Ohio State. 1979.

MERCHANT, D.C. Aerial camera calibration: history and status. In: ASPRS 2012 Annual Conference, **Anais...**, Califórnia, 2012.

MERCHANT, D. C.; Spatial Accuracy Standards for Large Scale Line Maps, **Technical Papers of the American Congress on Surveying and Mapping**, p. 222-231, 1982.

MIKHAIL, E. M.; BETHEL, J. S.; MCGLONE, J. C. **Introduction to Modern Photogrammetry**. 1. ed. New York: John Wiley & Sons, 2001. 478 p.

MIKHAIL E.; GRACIE G. Analysis and Adjustment of Survey Measurements, New York: VanNostrand Reinhold Company. 1981, 340 p.

MITISHITA, E. A.; OLIVAS, M. A. A. Calibração de câmaras aerofotogramétricas a partir de aerofotos Digitalizadas. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v.7, n°1, p.64-76,2001.

MITISHITA, E.; DEBIASE, P.; HAINOSK, F.; CENTENO, J. Calibration of low cost Digital camera using data from simultaneous Lidar and Photogrammetric survey. **International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 39, n. B5, 2012

MOHER, D.; LIBERATI, A.; TETZLAFF, J.; ALTMAN, D. G. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. **Annal of Internal Medicine**. v.151, n.4, p. 264-269, 2009.

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

MONIWA, H. **Analytical Camera Calibration of Close-Range Photogrammetry**. 1972. Tese (Thesis of MSC) - University of New Brunswick, New Brunswick, 1972.

MORAES, M. V. A.; TOMMASELLI, A. M. G.; SILVA, S. L. A.; MARCATO JUNIOR, J. Implantação de campo terrestre de calibração de câmaras com uso de alvos codificados In: VIII Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, 2013, Curitiba, Pr. **Anais...** Curitiba: UFPR, 2013.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e metodologias de aplicação**. 4. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2011. 422 p.

MORIGI, M. P.; CASALI, F.; BETTUZZI, M.; BRANCACCIO, R. Application of X-ray computed tomography to cultural heritage diagnostics. **Applied Physics A**. n. 100, p. 653-661, 2010.

MÜLLER, K.; SMOLIC, A.; KASPAR, B.; MERKLE, P.; REIN, T.; EISERT, P.; WIEGAND, T. 3D reconstruction of natural scenes with view-adaptive multi-texturing. In: 3D DATA PROCESSING, VISUALIZATION AND TRANSMISSION, 2004. **Proceedings...** 2nd International Symposium on. IEEE, 2004. p. 116-123.

NATIONAL PARK SERVICE. **Recording Historic Structures**. 2. ed. New Jersey: John Willey & Sons, 2004. 306p.

NAVAS-MOYA, F. A.; NIEVES, J. L.; VALERO, E. M.; GARROTE, E. Measurement of the optical transfer function using a white-dot pattern presented on a liquid-crystal display. **Journal of the European Optical Society-Rapid publications**, v. 8, 2013.

NILL, N. B. **Conversion between sine wave and square wave spatial frequency response of an imaging system**. Mitre corp bedford ma center for integrated intelligence systems, 2001

NING, Y. Y.; HUA, W. K.; MING, C. H.; SHAN, H. W. The standard of management and application of cultural heritage documentation. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, 2011.

NOGUEIRA JR., J. B. Controle de qualidade de produtos cartográficos: uma proposta metodológica. 2003. 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Cartográfica)-UNESP, Campus Presidente Prudente, Presidente Prudente.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Ed. Edgard Bücher Ltda, 1992, 308 p.

OLIVEIRA, L. L. **Cultura é Patrimônio: Um guia**. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2008.

PARK CANADA. **Standards and Guidelines: for the conservation of historic places in Canada**. 2. ed. Ottawa: Park Canada, 2010.

REISS, M.L.L. ; TOMMASELLI, A. M. G. A low-cost 3D reconstruction system using a single shot projection of a pattern matrix. **Photogrammetric Record**, v. 26, p. 91-110, 2011.

REMONDINO, F.; EL-HAKIN, S. Image-based 3D modelling: A review. **Photogrammetric Record**, Oxford, v. 21, p. 269-291, set. 2006.

REMONDINO, F. Heritage Recording and 3D Modeling with Photogrammetry and 3D Scanning. **Remote Sens**. n.3, 2011. p. 1104-1138.

REMONDINO, F.; CAMPANA, S. **3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage: Theory and Best Practices**. Oxford: Archaeopress BAR Publication, 2014.

RESENDE, B. **Raízes Prudentinas 3**. 1.ed. Presidente Prudente: Ed. do autor, 2012, 312 p.

RODRIGUES, J.C. **Topografia**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos, 1979, 115p.

Royal Commission on the Historical Monuments of England (RCHME). **Recording Archaeological Field Monuments: a Descriptive Specification**. Swindon, 1999

RUY, R.S.; TOMMASELLI, A. M. G. Reconstrução automática de estereomodelos a partir de parâmetros de orientação direta do sensor. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 10, n. 1, p. 65-82, 2004.

RUY, R. da S. **Desenvolvimento e validação geométrica de um sistema para mapeamento com câmaras digitais de médio formato**. 2008. 246 p. Tese, Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográfica, UNESP – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

SAINZ, J. Desenho e arquitetura. **Rev. Projeto**, São Paulo, n. 180, p. 79-83, nov. 1994.

SALOMON, D. **Curves and Surfaces do Computer Graphics**. 1.ed. New York: Springer, 2006.465 p.

SANTAGATI, C. New methodologies for cultural heritage enhancement: the case study of auteri chapel in catania from surveying to image based modeling. **International Journal of Research in Engineering and Tecnology**, v.2, n.11, 2013

SANTAGATI, C.; INZERILLO, L.; DI PAOLA, F.. Image-based modeling techniques for architectural heritage 3D digitalization: Limits and potentialities. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 5, n. w2, p. 555-560, 2013.

SAYGI, G.; AGUGIARO, G.; HAMAMCIOGLU-TURAN, M. REMONDINO, F. Evaluation of GIS and BIM roles for the information management of historical buildings. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2013.

SCHENK, T. **Digital Photogrammetry**. The Ohio State University: TerraScience, 1999. v.1.

SCHNEIDER, P. J. EBERLY, D. H. **Geometric Tools for Computer Graphics**. 1.ed. São Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 2003. 1043 p.

SILVA, S. L. A.; TOMMASSELLI, A. M. G.; ARTERO, A. O. Utilização de Alvos Codificados do tipo Aruco na Automatização do Processo de Calibração de Câmaras. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 20, n. 3, p. 636-656, 2014.

SINGH, S. P.; JAIN, K.; MANDLA, V. R. Virtual 3D Campus Modeling by Using Close Range Photogrammetry. **American Journal of Civil Engineering and Architecture**, Newark, v. 1, n. 6, p. 200-205, 2013.

SITTER, D. N.; GODDARD, J. S.; FERRELL, R. K. Method for the measurement of the modulation transfer function of sampled imaging systems from bar-target patterns. **Applied optics**, v. 34, n. 4, p. 746-751, 1995

SOARES, E. K. S.; GOUVEIA, N. D. W.; TINEM, N.; CUNHA, M. C.; VIDAL, W. C. L. Dois registros de arquitetura através de modelo geométrico tridimensional digital: As casas modernas de Augusto Reynaldo em Campina Grande - PB In: SEMINÁRIO NACIONAL DE DOCUMENTAÇÃO DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO COM O USO DE TECNOLOGIAS DIGITAIS, 2., 2012, Belém. **Anais...**Belém, 2012.

SOUKEF, A. Jr. **Sorocabana uma saga ferroviária**. São Paulo: Dialetto, 2001.

SOUZA, J. M. D. Tipologias arquitetônicas nas estações da estrada de ferro Sorocabana. In: COLÓQUIO LATINO AMERICANO SOBRE RECUPERAÇÃO E PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO INDUSTRIAL, 6., 2012, São Paulo. **Anais...** São Paulo: The international committee for the conservation of the industrial heritage, 2012.

STYLIANIDIS, E.; PATIAS, P.; QUINTERO, M. S. **CIPA Heritage documentation: best practices and applications**. 1. ed. Thessaloniki: Ziti Publications, 2011. 105 p.

TELLES, S. S. S; TOMMASSELLI, A. M. G. **A Mathematical model for camera calibration using straight lines**, In: EuroCOW 2005 International Calibration and Orientation Workshop, Castelldefels, Espanha, 25-27 Jan.

THOMPSON, M. M.; GRUNER, H. **Manual of Photogrammetry**: American Society of Photogrammetry. 4 ed. Virginia: Falls Church, 1980.

TOPCON POSITIONING SYSTEM, **HiPer SR Operator's Manual**: Part Number 1000737-01, 2012, 93p.

TORI, R.; ARAKAKI, R.; MASSOLA, A. M. A. **Fundamentos de Computação Gráfica**. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos, 1987.

VECCO, M. A definition of cultural heritage: From the tangible to the intangible. **Journal of Cultural Heritage**, v. 11, n. 3, p. 321-324, 2010.

VEIGA, L. A. K.; ZANETTI, M. A. Z.; FAGGION, P. L. **Fundamentos de Topografia**. Curitiba: Editora da UFPR, 2007.

- VEREGIN, H. Data quality parameters. **Geographical information systems**, v. 1, p. 177-189, 1999.
- VIEIRA, G. S.; OLIVEIRA, I. M.; SOUZA, C. F. C. IPAC - Inventário de proteção de acervo cultural: Os modelos da Bahia e Pernambuco nas décadas de 1970 e 1980. **Rev. Tempo histórico** v.4, n. 1, 2012, p. 1-13.
- VIOLLET-LE-DUC, E. E. **Restauração**. 3.ed. São Paulo: Ateliê Editorial, Tradução: Kühl, B. M., 2007, 76 p.
- WATT, A. **3D Computer Graphics**. 3.ed. Harlow: Pearson Education Limited, 2000. 569 p.
- WALDHAEUSL, P., OGLEBY, C. 3x3-Rules for Simple Photogrammetric Documentation of Architecture. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**, Melbourne v.30, n.5, p. 426-429, 1994.
- WOLF, P.R.; DEWITT, B.A. **Elements of Photogrammetry: with Applications in GIS**. 3 ed. New York: Ed. McGRAW-HILL, 2000.
- YILMAZ, H. M.; YAKAR, M.; GULEC, S. A.; DULGERLER, O. N. **Importance of digital close-range photogrammetry in documentation of cultural heritage**. v.8, n.4, p. 428-433, 2007.
- ZHANG, X.; KASHTI, T.; KELLA, D.; FRANK, T.; SHAKED, D.; ULICHNEY, R.; ALLEBACH, J. P. Measuring the modulation transfer function of image capture devices: what do the numbers really mean?. **IS&T/SPIE Electronic Imaging**, p. 829307-829307, 2012.

APÊNDICE A



20-02-2015

Número de páginas: 32

MARIANA BATISTA CAMPOS
ANTONIO MARIA GARCIA TOMMASELLI
IVANA IVÁNOVÁ

**ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS PARA A DOCUMENTAÇÃO
FOTOGRAMÉTRICA DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO
ET/ DOC-FOPARQ**

SUMÁRIO

1.	SÍNTESE	4
1.2	TERMOS E DEFINIÇÕES	4
1.2.1	_Classe A	4
1.2.2	_Classe B	4
1.2.3	_Documentação Fotogramétrica	5
1.2.4	_Fotogrametria	5
1.2.5	_Patrimônio Cultural Brasileiro	5
1.2.6	_Patrimônio Cultura Material	5
1.2.7	_Patrimônio Arquitetônico ou Edificado	6
1.3	Abreviações	6
1.4	Nome e Acrônimo	7
1.5	Descrição Informal do Produto	7
2	ESCOPO	8
2.1	Identificação	8
2.2	Código Finalidade	8
2.3	Nomenclatura do escopo	8
2.4	Descrição	8
2.5	Limite	9
3	IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO	9
3.1	Título	9
3.2	Título Alternativo	9
3.3	Resumo	9
3.4	Motivação	10
3.5	Categoria	10
3.6	Descrição Geográfica	10
3.7	Tipo de Representação Espacial	10
4	CONTEÚDO E ESTRUTURA	10
4.1	Catálogo de informações descritivas do patrimônio arquitetônico	11
4.2	Catálogo do modelo do patrimônio arquitetônico por Fotogrametria	13
5	SISTEMA DE REFERÊNCIA	15
6	CONTROLE DE QUALIDADE	16
6.1	Acurácia posicional ou geométrica - Classe A	16
6.1.1	_Acurácia absoluta	16
6.1.2	_Acurácia relativa	17
6.1.3	_Acurácia nas etapas do processo fotogramétrico	18
6.2	Consistência lógica	19
6.3	Completeness	20

7. AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DOS DADOS	21
7.1 Recomendações para modelos de Classe A	21
7.1.1_Aquisição – Classe A	21
7.1.2_Orientações – Classe A	24
7.1.3_Modelagem – Classe A	25
7.2 Recomendações para modelos de Classe B	26
7.2.1_Aquisição -- Classe B	26
7.2.2_Orientações -- Classe B	27
7.2.3_Modelagem -- Classe B	27
8. FORMATO DE ENTREGA DOS PRODUTOS	28
8.1 Leiaute	28
8.2 Formato	28
9. INFORMAÇÕES ADICIONAIS	28
9.1 Lista de referências normativas	28
9.2 Agradecimentos	29
9.3 Considerações	29
10. METADADOS	29
REFERÊNCIAS	30

1. SÍNTESE

1.1 Informações Iniciais

Título: Especificações Técnicas para a Documentação Fotogramétrica do Patrimônio Arquitetônico.

Data de referência: 20 de fevereiro de 2015.

Responsáveis: Programa de Pós Graduação em Ciências Cartográficas (PPGCC)

Departamento de Cartografia da FCT/ UNESP.

Eng. Cart. Mariana Batista Campos <mariana.bcampos@gmail.com>

Prof. Dr. Antonio Maria Garia Tommaselli <tomaseli@fct.unesp.br>

Dra. Ivana Ivánová <i.ivanova@fct.unesp.br>

End: Rua Roberto Simonsen, 305 CEP: 19060-900 - P. Prudente, SP

Apoio: Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP)

Linguagem: Por - Português (ISO 639-2)

Categoria: Documentação/ Patrimônio arquitetônico

Formato de distribuição: PDF

1.2 TERMOS E DEFINIÇÕES

1.2.1

Classe A

Compõe a classe A, a documentação fotogramétrica que tem como finalidade apoiar projetos de intervenção e pesquisa (atuais e futuros), que precisam de modelos métricos, que atendam em qualidade compatível com a necessidade da aplicação.

1.2.2

Classe B

Compõe a classe B, a documentação fotogramétrica que tem como finalidade a divulgação ilustrativa ou web, cujo objetivo é a visualização e não a realização de medidas, ou seja, os modelos não são métricos.

1.2.3

Documentação Fotogramétrica

Entende-se como documentação fotogramétrica do patrimônio arquitetônico, o registro não subjetivo do objeto físico, a partir da representação gráfica bidimensional e/ou tridimensional (modelo) desenvolvida por Fotogrametria, com a captura de informações geométrica, radiométrica e adicionais, que expressem o estado físico dos monumentos e edifícios, separados ou contíguos, no qual o armazenamento destes modelos, das imagens produzidas e das informações complementares à utilização dos dados (metadados) caracteriza um acervo fotogramétrico.

1.2.4

Fotogrametria

“Fotogrametria é a arte, ciência e tecnologia de obtenção de informações confiáveis sobre objetos físicos e o meio ambiente através de processos de gravação, medição e interpretação de imagens fotográficas e padrões de energia eletromagnética radiante e outras fontes.” (THOMPSON e GRUNER, 1980, p. 1, tradução nossa).

1.2.5

Patrimônio Cultural Brasileiro

“Constituem o patrimônio cultural brasileiro, os bens, de natureza material e imaterial, tomados individualmente ou em conjuntos, portadores de referência à identidade, à ação, à memória dos diferentes grupos formadores da sociedade brasileira, nos quais se incluem as formas de expressão; os modos de criar, fazer e viver; as criações científica, artística e tecnológica, as obras, objetos, documentos, edificações e demais espaços destinados às manifestações artístico-culturais; os conjuntos urbanos e sítios de valor histórico, paisagístico, artístico, arqueológico, paleontológico, ecológico e científico” (BRASIL, 1988, Art. 216).

1.2.6

Patrimônio Cultural Material

“Entende-se por patrimônio cultural material ou edificado um monumento, conjunto de edifícios ou sítios de valor histórico, estético,

arqueológico, científico, etnológico e antropológico” (UNESCO; FRANÇA, 1972, p.20, tradução nossa).

1.2.7

Patrimônio Arquitetônico ou Edificado

O termo patrimônio arquitetônico não representa apenas os monumentos mais famosos para a sociedade, mas também inclui todo conjunto de edifícios e monumentos, separados ou contíguos, no estado natural ou modificado pelo homem, de um valor incalculável do ponto de vista histórico, artístico e/ou científico para uma dada comunidade (FRANÇA, 1972).

1.3 Abreviações

2D	Bidimensional
3D	Tridimensional
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CE	Conjunto de Edifícios
CONCAR	Comissão Nacional de Cartografia
CQ	Controle de Qualidade
<i>f</i>	distância focal
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
GNSS	Sistema Global de Navegação por Satélite
GSD	<i>Ground Sample Distance</i>
ICOMOS	International Council of MONuments and sites
IPHAN	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
M	Monumentos
MD	Medidas de Distância
MGB	Metadados Geoespaciais do Brasil
OI	Orientação Interior
OE	Orientação Exterior
PA	Patrimônio Arquitetônico
PC	Pontos de Controle
PCB	Patrimônio Cultural Brasileiro
PI	Patrimônio Imaterial

PM	Patrimônio Material
PV	Ponto de Verificação
PPGCC	Programa de Pós Graduação em Ciências Cartográficas
REQM	Raiz do Erro Quadrático Médio
SA	Sítios Arqueológicos
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
STL	Sistema Topográfico Local
ULG	Universidade de Liège
UNESCO	United Nation Educational, Scientific and Cultural Organization
UNESP	Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
x_0	Coordenadas do ponto principal na componente x
y_0	Coordenadas do ponto principal na componente y

1.4 Nome e Acrônimo

Especificações Técnicas para a Documentação Fotogramétrica do Patrimônio Arquitetônico.
ET/ DOC-FOPARQ

1.5 Descrição Informal do Produto

A documentação fotogramétrica possibilita uma base documental sólida para o estudo e a conservação do patrimônio arquitetônico, inclusive para a documentação de monumentos e edificações grandes e complexos, inviável por outras técnicas (CIPA, 1981). Nesse sentido a finalidade da documentação fotogrametria do patrimônio arquitetônico é:

- a) documentar como forma de preservação;
- b) fornecer informação permanente sobre o patrimônio arquitetônico em função dos riscos de destruição ou alteração devido a ações naturais ou humanas;
- c) fornecer informação aos gestores para a elaboração de políticas públicas e o desenvolvimento sustentável das cidades considerando a coexistência entre o "velho e o novo";
- d) fornecer informações aos diversos profissionais como auxílio aos projetos de intervenção, pesquisa, gestão e valorização do patrimônio arquitetônico.

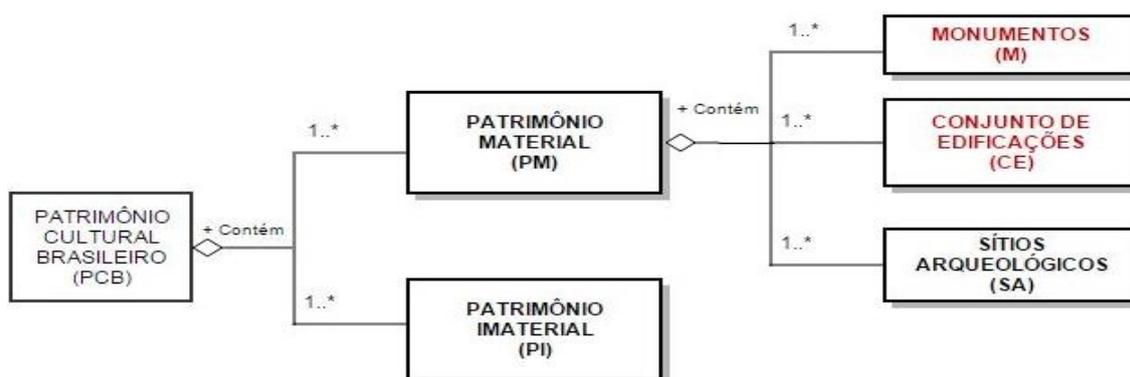
2 ESCOPO

2.1 Identificação

A ET/DOC-FOPARQ descreve requisitos técnicos para a documentação fotogramétrica do patrimônio arquitetônico com tecnologias digitais, em âmbito nacional. A Figura 1 ilustra o cenário geral no qual se enquadra o patrimônio arquitetônico brasileiro, com destaque aos elementos que o compõe (ver Seção 1.2.7).

Esta especificação depende da extensão temporal de outros documentos e, assim, as recomendações da ET/DOC-FOPARQ são válidas, desde que as referências normativas (Seção 9.1), indispensáveis à aplicação desse documento, também sejam válidas ou até que sejam feitas atualizações nos requisitos que compõem esta versão.

Figura 1 – Enquadramento do patrimônio arquitetônico brasileiro (em destaque) no cenário geral do patrimônio cultural brasileiro



2.2 Código Finalidade

Código (ISO 19115, *Geographic information - Metadata*): 015 – Modelo

2.3 Nomenclatura do escopo

PCB/PM-MCE

2.4 Descrição

O patrimônio cultural brasileiro está relacionado a uma diversidade de conceitos, que incluem patrimônios materiais e imateriais. Nesse contexto, esta especificação

é direcionada apenas ao patrimônio material e, em sua subdivisão, apenas aos monumentos e conjunto de edifícios que constituem o patrimônio arquitetônico brasileiro.

Existem também diversas técnicas de documentação que envolvem materiais e métodos distintos, principalmente em função da diversidade de patrimônios. Nessa especificação trata-se apenas dos requisitos para a documentação com técnicas fotogramétricas, com foco na geometria dos modelos. Assim, a descrição do escopo da especificação define-se na documentação Fotogramétrica do patrimônio arquitetônico.

2.5 Limite

Esta especificação é aplicável a todo o território brasileiro.

3 IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO

3.1 Título

Especificações Técnicas para a Documentação Fotogramétrica do Patrimônio Arquitetônico.

3.2 Título Alternativo

ET/ DOC-FOPARQ

3.3 Resumo

Esta especificação técnica é produto da pesquisa intitulada “Proposta de especificação para a documentação fotogramétrica do patrimônio arquitetônico baseada na análise experimental de requisitos” desenvolvida no Programa de Pós Graduação em Ciências Cartográficas (Mestrado), em cooperação com o grupo de pesquisa em Geomática da Universidade de Liège (ULG) e com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). A ET/DOC-FOPARQ tem como finalidade principal estabelecer recomendações para a produção da documentação fotogramétrica do patrimônio arquitetônico e para a análise de qualidade da mesma, com foco na geometria dos modelos gerados por processos inteiramente digitais.

3.4 Motivação

Embora a importância da documentação fotogramétrica na preservação do patrimônio arquitetônico seja reconhecida, a maioria dos produtos realizados para a documentação fotogramétrica não é utilizada em projetos subsequentes, em função do desconhecimento da qualidade destes produtos anteriores. Isto provoca uma grande perda de informação e recursos humanos, devido, principalmente, à falta de classificação quanto à qualidade e finalidade dos projetos, o que motiva a elaboração de uma especificação que, dentre outros benefícios, possibilite aos usuários mensurar a qualidade do produto desenvolvido por eles, avaliando se este é adequado para sua necessidade, ou seja, “*fitness for use*”.

3.5 Categoria

As principais categorias do produto, como definida na ISO 19115 são:

016 - Sociedade (documentação cultural)

017 - Estruturas (patrimônio arquitetônico)

3.6 Descrição Geográfica

Referência ao escopo da especificação: esta especificação possui caráter nacional, sendo aplicável a todo o território brasileiro.

Código: BR - Brasil (ISO 3166-1, 1997).

Código do tipo dos dados: 003 – Revisão (ISO 19115)

3.7 Tipo de Representação Espacial

Os tipos de representação espacial do produto, determinados pela ISO 19115 são:

001 – Vetor

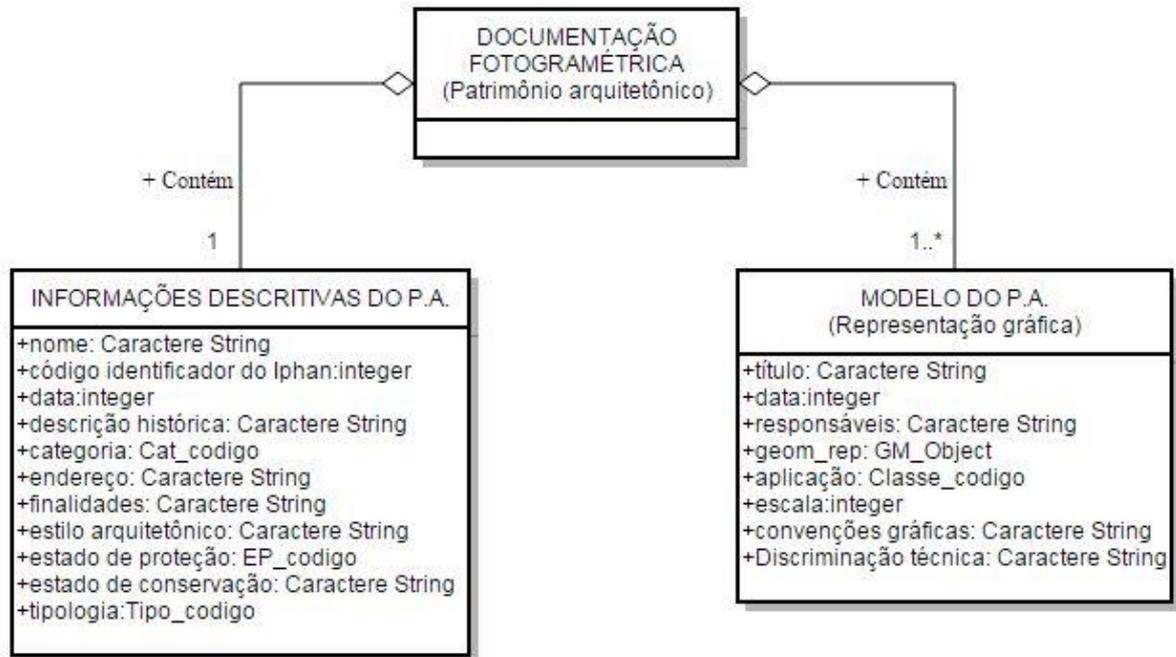
003 - Texto

005 – Modelo estereoscópico

4 CONTEÚDO E ESTRUTURA

O diagrama detalha o conteúdo e estrutura da documentação fotogramétrica do patrimônio arquitetônico em duas grandes classes: informações descritivas do patrimônio (descrição narrativa) e modelo (representação gráfica) do patrimônio arquitetônico produzido com técnicas fotogramétricas.

Figura 2 - Conteúdo e estrutura do produto.



4.1 Catálogo de informações descritivas do patrimônio arquitetônico

Nome: Nome do patrimônio arquitetônico documentado

Condição: obrigatório

Ocorrência: 1

Código identificador do IPHAN: O patrimônio arquitetônico, cadastrado no IPHAN, possui um número de identificação único, que deve ser informado para garantir que os demais documentos desse patrimônio possam ser associados à documentação fotogramétrica quando necessário.

Condição: obrigatório para o patrimônio arquitetônico de categoria nacional (Cat_codigo) e protegido (EP_codigo).

Ocorrência: 1

Data: data da construção original do patrimônio arquitetônico e data das modificações da concepção original da estrutura do P.A, caso exista.

Condição: obrigatório

Ocorrência: [1, n]

Descrição histórica: resumo da importância histórica do patrimônio arquitetônico documentado.

Condição: opcional

Ocorrência: [0, 1]

Categoria: Classificação do patrimônio segundo a responsabilidade de preservação (Cat_código). Ver códigos e definições no Quadro 1.

Condição: obrigatório

Ocorrência: 1

Quadro 1 – Cat_codigo

Nome	Código	Definição
Mundial	001	Patrimônio arquitetônico de relevância universal (Unesco)
Nacional	002	Patrimônio arquitetônico de relevância nacional (IPHAN)
Estadual	003	Patrimônio arquitetônico de relevância estadual (instituições de preservação estaduais)
Municipal	004	Patrimônio arquitetônico de relevância municipal (instituições de preservação municipal)

Endereço: Endereço completo do patrimônio arquitetônico (cidade, bairro, rua, número, complementos, coordenadas geográficas aproximadas e informações adicionais).

Condição: obrigatório

Ocorrência: 1

Finalidades: descrição da ocupação ou finalidade original e atual do patrimônio arquitetônico (válido para conjunto de edificações)

Condição: opcional

Ocorrência: [0, 1]

Estilo arquitetônico: descrição técnica do estilo arquitetônico do patrimônio arquitetônico

Condição: opcional

Ocorrência: [0, 1]

Estado de proteção: Classificação do patrimônio arquitetônico segundo o estado de proteção (EP_código). Ver códigos e definições no Quadro 2.

Condição: obrigatório

Ocorrência: 1

Quadro 2 - (EP_código)

Nome	Código	Definição
Protegido	001	Patrimônio arquitetônico protegido por instituições de caráter mundial, nacional, estadual ou municipal.
Não protegido	002	Patrimônio arquitetônico não protegido
Interesse	003	Patrimônio arquitetônico não protegido, mas com interesse de proteção e cadastro em que a documentação fotogramétrica faz parte do processo de reconhecimento.

Estado de conservação e integridade: Descrição técnica do estado de conservação e integridade na data do levantamento dos dados para a documentação.

Condição: opcional

Ocorrência: [0, 1]

Tipologia: Classificação do patrimônio arquitetônico conforme sua tipologia segundo as terminologias utilizadas pelo IPHAN (IPHAN_Tipo). Ver códigos e definições no Quadro 3.

Condição: obrigatório

Ocorrência: 1.

Quadro 3 -Tipo_codigo

Nome	Código	Definição
Religiosa	001	Patrimônio arquitetônico de tipologia original de caráter religioso
Civil	002	Patrimônio arquitetônico de tipologia original de caráter civil
Oficial	003	Patrimônio arquitetônico de tipologia original de caráter oficial
Militar	004	Patrimônio arquitetônico de tipologia original de caráter militar
Industrial	005	Patrimônio arquitetônico de tipologia original de caráter industrial
Ferrovária	006	Patrimônio arquitetônico de tipologia original de caráter ferroviário
Outra	007	Outras tipologias

4.2 Catálogo do modelo do patrimônio arquitetônico por Fotogrametria

Os elementos descritos nessa sessão estão relacionados à representação gráfica do patrimônio arquitetônico.

Título: Nome do patrimônio arquitetônico documentado no leiaute.

Condição: obrigatório

Ocorrência: 1.

Data: período de produção do modelo do patrimônio arquitetônico (processo completo)

Condição: obrigatório

Ocorrência: 1.

Responsáveis: responsáveis pela produção do modelo do patrimônio arquitetônico com técnicas fotogramétricas

Condição: obrigatório

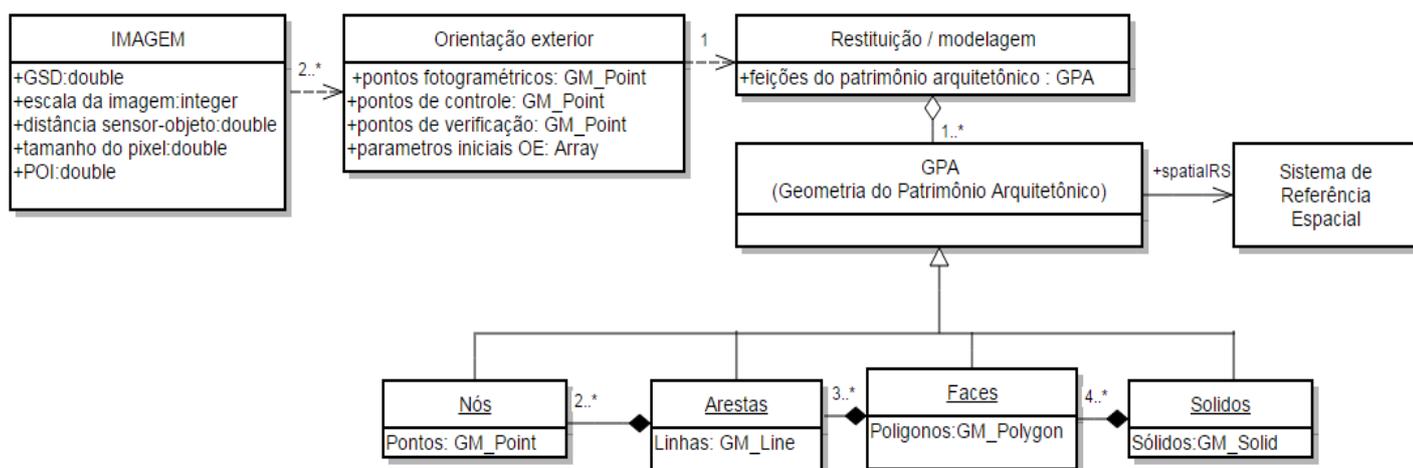
Ocorrência: 1.

Geom_rep: define um objeto (patrimônio arquitetônico) como um conjunto de primitivas geométricas, no mesmo sistema de referência, obtidas a partir dos processos fotogramétricos (ver Figura 3). Informações sobre GM_object consultar a ISO 19107 (*Geographic information- Spatial schema*)

Condição: obrigatório

Ocorrência: [1, n].

Figura 3 – Geom_rep



Aplicação: classe do modelo de acordo com sua finalidade e qualidade compatível (Classe_codigo). Ver códigos e definições no Quadro 4.

Condição: obrigatório

Ocorrência: 1.

NOTA: a indicação da Classe no rodapé da folha é responsabilidade do produtor, assim como a fidelidade da classificação.

Quadro 4-(Classe_codigo)

Classe	Código	Definição
A	001	Modelos com aplicação métrica e qualidade compatível
B	002	Modelos com aplicação não métrica e qualidade compatível

Escala: escala de representação gráfica do modelo do patrimônio arquitetônico, compatível com o controle de qualidade e classificação do produto.

Condição: obrigatório

Ocorrência: 1.

Convenções gráficas: Demais convenções gráficas para desenhos técnicos. Consultar o Manual técnico T34-700: Convenções Cartográficas.

Condição: opcional

Ocorrência: [0, n].

Discriminação técnica: resumo do método utilizado para a modelagem (descrição dos instrumentos, técnicas e programas utilizados).

Condição: opcional

Ocorrência: [0, 1].

5 SISTEMA DE REFERÊNCIA

a) Sistema de referência topográfico Local (STL)

b) Sistema de referência geodésico para o Sistema Geodésico Brasileiro: SIRGAS 2000 (decreto N° 5334/2005)

6 CONTROLE DE QUALIDADE

Considera-se os elementos para a avaliação da qualidade dos dados geográficos segundo a ISO 19157:

Acurácia posicional ou geométrica: Aplicável

Consistência Lógica: Aplicável

Completude: Aplicável

Acurácia temporal: Não aplicável

Qualidade temática: Não aplicável

Linhagem: Não aplicável

A documentação fotogramétrica pode ser classificada em Classe A ou B, de acordo com sua finalidade. Compõe a classe A, a documentação fotogramétrica que tem como finalidade apoiar projetos atuais e futuros de intervenção e pesquisa, que precisam de modelos métricos que atendam em qualidade compatível com a necessidade da aplicação.

Classifica-se como classe B a documentação fotogramétrica que têm como finalidade apenas a divulgação ilustrativa ou para a web, nos quais o objetivo é a visualização e não a realização de medidas, ou seja, os modelos não são métricos.

NOTA: Informar quando algum dos elementos para a avaliação da qualidade dos dados não for aplicado.

6.1 Acurácia posicional ou geométrica - Classe A

6.1.1

Acurácia absoluta

Recomenda-se que o controle de qualidade do modelo baseie-se na análise do limite do erro padrão final para a acurácia absoluta ($\epsilon^a_{\text{limite}}$) e no erro padrão final calculado ($\epsilon_{\text{calculado}}$). Assim, se $\epsilon^a_{\text{limite}} > \epsilon_{\text{calculado}}$ se aceita o modelo para a documentação fotogramétrica como classe A, quanto à acurácia absoluta. A acurácia absoluta deve ser avaliada para cada componente (X, Y, Z).

Assim como adotado pela ET-ADGV, segundo o § 4º do item 2. do Art. 8º do Decreto no 89.817, de 20 de junho de 1984, os termos Desvio Padrão (DP) e Erro Padrão (EP) devem ser considerados como sinônimos para este trabalho.

O limite do erro padrão final para a acurácia absoluta é calculado considerando os erros do processo fotogramétrico mais o erro gráfico, que totaliza 0,3 mm na escala de representação (Equação 1). O erro padrão calculado ($\epsilon_{\text{calculado}}$) é obtido pela raiz do erro quadrático médio (REQM), sendo que os erros são as discrepâncias entre as coordenadas dos pontos de verificação obtidas diretamente em campo (Referência) e as coordenadas dos pontos de verificação estimadas pelos processos indiretos (Estimado) como mostra a Equação 2.

$$\epsilon^a_{\text{limite}} = e_a * \text{DEN}_{\text{ESCALA}} \quad (1)$$

Em que, $\epsilon^a_{\text{limite}}$ é o limite para a precisão final do modelo; e_a corresponde aos erros do processo fotogramétrico (erro de medida, erro nas orientações, erro de projeção) mais o erro gráfico e $\text{DEN}_{\text{ESCALA}}$ ao denominador da escala de representação.

$$\text{REQM} = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^n (\text{Estimado} - \text{Referência})^2} \quad (2)$$

A Tabela 1 traz o limite do erro padrão final para as escalas de plotagem do modelo recomendadas pelo IPHAN - ver Caderno técnico 1 : Manual de Elaboração de Projetos de Preservação do Patrimônio Cultural (GOMIDE *et al*, 2005) .

Tabela 1 - Erro padrão final para a acurácia absoluta do modelo segundo as escalas recomendadas pelo IPHAN.

Escala	1:10	1:50	1:100
(IPHAN)	(Alto nível de detalhe)	(Detalhamento usual)	(Baixo nível de detalhe)
Erro padrão final	3 mm	15 mm	30 mm

6.1.2

Acurácia relativa

O limite do erro padrão final para a acurácia relativa dos modelos ($\epsilon^r_{\text{limite}}$) para a documentação fotogramétrica, não considera os erros sistemáticos, sendo calculado a

partir da propagação dos erros no processo fotogramétrico (0,2 mm) e a escala de representação (Equação 3).

$$\varepsilon^r_{\text{limite}} = e_r * \text{DEN}_{\text{ESCALA}} \quad (3)$$

Em que, $\varepsilon^r_{\text{limite}}$ é o limite para a acurácia relativa final do modelo; e_r corresponde à propagação dos erros randômicos esperados no processo fotogramétrico (0,2 mm) e $\text{DEN}_{\text{ESCALA}}$ ao denominador da escala de representação.

Analogamente à análise da acurácia absoluta, se $\varepsilon^r_{\text{limite}} > \varepsilon_{\text{calculado}}$ se aceita o modelo para a documentação fotogramétrica como classe A, quanto à acurácia relativa. O erro padrão calculado ($\varepsilon_{\text{calculado}}$) é obtido através da Equação 2, onde os erros são as discrepâncias entre as distâncias de verificação obtidas diretamente em campo (referência) e as distâncias de verificação estimadas obtidas por processos indiretos.

A Tabela 2 traz o limite do erro padrão final para a acurácia relativa, considerando as escalas de plotagem do modelo recomendadas pelo IPHAN.

Tabela 2-Erro padrão final para a acurácia relativa do modelo segundo as escalas recomendadas pelo IPHAN.

Escala	1:10	1:50	1:100
(IPHAN)	(Alto nível de detalhe)	(Detalhamento usual)	(Baixo nível de detalhe)
Erro padrão final	2 mm	10 mm	20 mm

6.1.3

Acurácia nas etapas do processo fotogramétrico

Durante todo o processo existem diversas fontes de erro, de modo que é importante limitar o erro padrão em cada etapa, auxiliando na identificação dos erros no processo fotogramétrico e na obtenção da acurácia posicional final requerida.

Assumem-se três grandes etapas principais para a modelagem do patrimônio arquitetônico: a aquisição dos dados, as orientações e a restituição e/ou modelagem. Recomenda-se como critério de análise que o erro padrão parcial para cada uma das etapas seja inferior a 1/3 do limite do erro padrão final para a acurácia absoluta (Tabela 3). O controle de qualidade (CQ) de cada etapa baseia-se na análise dos seguintes parâmetros:

- a) **CQ da etapa de aquisição:** para as imagens, verificar se o GSD é inferior ao erro padrão dessa etapa, que corresponde a 1/3 do erro padrão final do modelo para a acurácia absoluta ($\varepsilon^a_{\text{limite}}$). Para as medidas de controle (σ_{PC}) e verificação (σ_{PV} , σ_{MD}), verificar se a acurácia das medidas é inferior a 1/3 do erro padrão final do modelo para a acurácia absoluta.
- b) **CQ para as orientações:** para a orientação interior verificar se os desvios padrão na determinação da distância focal e do ponto principal são inferiores a 1 pixel. Para a orientação exterior verificar se o REQM das coordenadas tridimensionais dos pontos de verificação é inferior a 2/3 do erro padrão final do modelo para a acurácia absoluta ($\varepsilon^a_{\text{limite}}$);
- c) **CQ para a restituição/modelagem:** para a análise da acurácia absoluta, verificar se o REQM dos pontos de verificação ($REQM_{\Delta_{PV}}$) é inferior ao do erro padrão final absoluto do modelo. Para a análise da acurácia relativa, verificar se o REQM das distâncias de verificação ($REQM_{\Delta_{MD}}$) é inferior ao do erro padrão final relativo do modelo.

Tabela 3 – Resumo do limite do erro padrão das etapas do processo fotogramétrico

Etapas do processo fotogramétrico	Limite	Limite para 1:50	Análises
Aquisição	$1/3 * \varepsilon^a_{\text{limite}}$	5 mm	GSD < Limite $\sigma_{PC}, \sigma_{PV}, \sigma_{MD} < \text{Limite}$
Orientação	$2/3 * \varepsilon^a_{\text{limite}}$	10 mm	OI: $\sigma_f, \sigma_{x_0}, \sigma_{y_0} < 1 \text{ pixel}$ OE: $REQM_{\Delta_{PV}} < \text{Limite}$
Restituição/Modelo	$\varepsilon^a_{\text{limite}}$	15 mm	$REQM_{\Delta_{MD}} < \text{Limite}$

Classe B

Não se aplica.

6.2 Consistência lógica

A consistência lógica é definida como a concordância dos dados com sua estrutura, atribuições e relações lógicas, sendo subdividida em consistências de conceito, de formato, de topologia e de domínio (ISO 19157). O sub-elemento mais importante para a análise do modelo do patrimônio arquitetônico para a documentação fotogramétrica é a

consistência topológica, em que se avalia se o modelo está condizente com as características topológicas dos dados.

A análise da consistência lógica pode evitar erros que seriam interpretados como erros posicionais. Sugere-se que 90% do conjunto de dados seja consistente, independente da classe (A ou B).

As relações topológicas entre pontos, linhas e polígonos são exemplificadas na Especificação Técnica para a Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais (CONCAR, 2010). Em que destaca-se:

- a) Verificação de cruzamentos;

Nota: por exemplo, linhas excessivamente estendidas e feições sobrepostas.

- b) Verificação de descontinuidade;

Nota: por exemplo, linhas desconexas e nós desunidos.

- c) Verificação de duplicatas;

Nota: presença de feições duplicadas no modelo.

- d) Verificação de geometrias inválidas;

Nota: todas as feições devem possuir geometria válida

6.3 Completude

A análise da completude consiste em verificar, no conjunto de dados, a presença, ausência e o excesso de informações (ISO 19157). A análise da completude do conjunto de dados consiste em verificar se as informações registradas no modelo do patrimônio arquitetônico são compatíveis com as informações definidas previamente pelos usuários como relevantes à documentação fotogramétrica (universo de discurso). Pode-se constatar:

- a) Comissão;

NOTA: verificar o excesso de feições e suprimi-las

Sugere-se 0% de feições excedentes.

- b) Omissão;

NOTA: verificar feições faltantes, por exemplo, por motivo de oclusão.

Sugere-se o limite de 5% de feições faltantes.

Estas recomendações são aplicáveis às classes A e B.

7. AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DOS DADOS

7.1 Recomendações para modelos de Classe A

7.1.1

Aquisição – Classe A

Para a escolha da câmara e o planejamento da aquisição das imagens deve-se considerar:

- a) $GSD < 1/3 * \varepsilon^a_{limite}$.

NOTA: O GSD depende de fatores como: tamanho do pixel no sensor, distância câmara-objeto, distância focal da câmara, escala da imagem.

- b) Manter os parâmetros de orientação interior estáveis entre a calibração da câmara e a aquisição das imagens.

NOTA: Manter a distância principal fixa. Para câmaras com autofocus desligar este recurso e fixar mecanicamente a distância principal. Não se recomenda usar lentes com zoom. Não se recomenda a utilização de câmaras com recurso de estabilização da imagem.

- c) Procurar aumentar a profundidade de campo.

NOTA: a profundidade de campo é inversamente proporcional à abertura do diafragma, enquanto que o efeito de algumas das aberrações das lentes é proporcional à abertura. Assim, quanto menor a abertura, menor o efeito das aberrações e maior a profundidade de campo. Por outro lado, quanto menor a abertura maior é o efeito da difração que também afeta a resolução da imagem.

- d) Utilizar sempre um tripé de câmara como acessório.

NOTA: O uso do tripé evita o borramento na imagem, em razão da abertura pequena e do aumento no tempo de exposição.

- e) Capturar múltiplas imagens normais e oblíquas da fachada do patrimônio, de preferência formando estéreo pares.

NOTA: Para garantir a estereoscopia é importante considerar que todos os pontos do objeto sejam fotografados de no mínimo dois pontos de vista distintos, com superposição mínima de 50%, eixos paralelos (caso normal) ou aproximadamente paralelos ($< 3^\circ$); variação de escala menor que 5% e relação base e distância sensor-objeto de aproximadamente $\frac{1}{4}$.

- f) Quando possível evitar a oclusão de feições por outros objetos naturais ou antrópicos.
- g) Para conservar o máximo de informação da imagem possível usar o formato bruto ou aqueles sem compactação com perda.
- h) Evitar sombras: preferir dias nublados e claros para evitar o contraste causado pelas sombras e a diferença radiométrica entre as imagens que prejudica a estereoscopia.

Para a materialização do referencial do projeto, a análise de qualidade do processo de orientação e a análise da acurácia posicional do produto final devem ser mensuradas com as seguintes medidas de controle e verificação:

- i) Pontos de controle: pontos fotoidentificáveis, presentes em, no mínimo, duas imagens (estéreo par), com coordenadas conhecidas no sistema de referência local (X, Y, Z), bem distribuídos no bloco de imagens, de modo que garantam a qualidade geométrica do modelo final. NOTA: Os pontos de controle permitem materializar o referencial do projeto no processo de orientação exterior indireta (Fototriangulação com ajuste por feixes de raios). Também podem ser utilizadas distâncias entre feições fotoidentificáveis (Fototriangulação com ajustamento livre).

- j) Pontos de verificação para o processo de orientação exterior: assim como para as medidas de controle, devem ser selecionados pontos fotoidentificáveis, presentes em no mínimo duas imagens (estéreo par), com coordenadas conhecidas no sistema de referência local (X, Y, Z) e bem distribuídos no bloco de imagens.

NOTA: Evitar a seleção de pontos de verificação próximos aos pontos de controle.

- k) Pontos de verificação para o processo de restituição/modelagem: pontos homogeneamente distribuídos no modelo com coordenadas conhecidas no sistema de referência local (X, Y, Z).

NOTA: Os pontos verificação para o processo de restituição/modelagem permitem verificar a acurácia posicional absoluta do modelo final para a documentação fotogramétrica do patrimônio arquitetônico. Devem ser selecionados pontos distintos dos pontos de controle e verificação para o processo de orientação exterior.

- l) Distâncias de verificação: medidas de distância entre feições bem distribuídas em todo o modelo, de baixo e alto contraste nas imagens.

NOTA: as distâncias de verificação permitem avaliar a acurácia posicional relativa do modelo final para a documentação fotogramétrica do patrimônio arquitetônico

Para a análise da acurácia das medidas de controle e verificação, é importante considerar a propagação rigorosa dos erros do sistema de referência e das técnicas de aquisição (precisão dos equipamentos). Considerando a acurácia necessária para as medidas de controle e verificação recomenda-se:

- m) Métodos topográficos: Aplicáveis para escalas iguais ou menores que 1:50 (para projetos com detalhamento usual ou baixo nível de detalhes).

NOTA: Neste caso seguir as orientações da NBR13133 para a execução de levantamentos topográficos (ABNT,1994).

7.1.2 Orientações – Classe A

Orientação Interior:

- a) Recomenda-se que o desvio padrão da distância focal seja menor ou igual a um pixel ($\sigma_f < 1$ pixel).

NOTA: Independente da técnica de calibração utilizada.

- b) Recomenda-se que os desvios padrão na determinação das coordenadas do ponto principal sejam menores ou iguais a um pixel ($\sigma_{x_0}, \sigma_{y_0} < 1$ pixel).

NOTA: Independente da técnica de calibração utilizada.

- c) Avaliar a significância do conjunto de parâmetros de orientação interior empregados na calibração

NOTA: A significância de cada parâmetro pode ser avaliada considerando se a magnitude do parâmetro é inferior a seu desvio padrão e se o efeito do parâmetro é inferior ao erro de medida.

- d) Optar por métodos automático ou semi-automáticos de localização e medição de pontos em alvos codificados.

NOTA: Estes métodos permitem atingir precisão sub-pixel

- e) Quando possível utilizar campo de calibração 3D principalmente quando o objeto tem variações significativas em profundidade.

Orientação exterior:

- f) Adotar processos de determinação da orientação exterior indiretos

NOTA: Fototriangulação com ajuste por feixes de raios e injunção posicional, para escalas menores que 1:50. Fototriangulação com ajustamento livre (injunções internas), para escalas de alto detalhamento. Para mais informações consultar Atkinson (1996).

- g) Quando apropriado, optar por procedimentos de medição automática ou semi-automática das coordenadas imagem dos pontos de controle e verificação.

NOTA: Medidas sub-pixel.

- h) Verificar se o REQM global dos resíduos das medidas nas imagens é inferior a meio pixel ($< 0,5$ pixel)

- i) REQM dos pontos de verificação $< 2/3 * \epsilon^a_{\text{limite}}$

- j) Realizar análise estatística de tendência dos pontos de verificação.

7.1.3

Modelagem – Classe A

Para escolha da técnica de modelagem:

- a) Selecionar a técnica de modelagem considerando o nível de detalhamento e fidelidade da representação necessária para o projeto.

NOTA: Em função da diversidade de técnicas de computação gráfica, as técnicas de modelagem são limitadas apenas pela compatibilidade da necessidade do projeto (otimização e custo da execução, instabilidade e acurácia do modelo representado, nível de detalhamento e formato) com as características (vantagens e desvantagens) da técnica utilizada.

Para o processo clássico de modelagem em Fotogrametria, a restituição fotogramétrica, considerar:

- b) Quando possível, preferir o método de restituição com visão estereoscópica ao com visão monoscópica.

NOTA: A visão estereoscópica possibilita visualizar a diferença de profundidade, o que beneficia a identificação da fronteira e a restituição das feições, principalmente em feições de baixo contraste (superfícies homogêneas).

Nesta etapa verifica-se a acurácia posicional final do modelo, a consistência lógica e completude (rever seções 6.1, 6.2 e 6.3 respectivamente). Para a avaliação da acurácia posicional analisa-se:

- c) Acurácia posicional absoluta: REQM das discrepâncias nas coordenadas X, Y e Z dos pontos de verificação deve ser menor ou igual ao limite do erro padrão absoluto final ($< \varepsilon^a_{\text{limite}}$);
- d) Acurácia posicional relativa: REQM das discrepâncias em distâncias de verificação deve ser menor ou igual ao limite do erro padrão relativo final ($< \varepsilon^r_{\text{limite}}$);
- e) Para modelos 3D fixar uma escala de representação para a análise de qualidade.
NOTA: Esta escala deve ser indicada caso o usuário queira realizar medidas no modelo.

7.2 Recomendações para modelos de Classe B

7.2.1

Aquisição — Classe B

Para a escolha da câmara e o planejamento da aquisição das imagens:

- a) Aplicam-se para os modelos da classe B as recomendações da Seção 7.1.1 de b – j, (aquisição-classe A).

As medidas de controle que permitem referenciar o modelo a um sistema de referência, sendo possível optar pelo Sistema Topográfico Local ou pelo sistema de referência geodésico adotado pelo sistema geodésico brasileiro (SIRGAS 2000), caso seja necessário o modelo georreferenciado.

- b) Medidas de controle: Pontos fotoidentificáveis, presentes em, no mínimo, duas imagens (estéreo par), com coordenadas conhecidas no sistema de referência local (X, Y, Z), bem distribuídos por toda a área do bloco de imagens e/ou medidas de distância de feições fotoidentificáveis.

As medidas de controle podem ser obtidas a partir dos seguintes métodos, sendo que, quanto mais rigoroso o procedimento, maiores serão os custos de produção:

- c) Métodos geodésicos

NOTA: cálculo das coordenadas pelo Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS).

- d) Métodos topográficos

NOTA: seguir as orientações da NBR13133 para a execução de levantamentos topográficos (ABNT,1994).

7.2.2

Orientações — Classe B

Orientação Interior:

- a) Opcional

NOTA: aplicam-se as recomendações da Seção 7.1.2 de a - e (Orientação-Classe A)

Orientação exterior:

- b) Aplicam-se as recomendações da Seção 7.1.2 de f – g (Orientação-Classe A)

7.2.3

Modelagem — Classe B

Para escolha da técnica de modelagem: selecionar a técnica de modelagem considerando o nível de detalhamento e fidelidade da representação necessária para a aplicação.

Nesta etapa verifica-se a consistência lógica e completude do modelo (rever seções 6.2 e 6.3 respectivamente).

8. FORMATO DE ENTREGA DOS PRODUTOS

8.1 Leiaute

- a) Aplicação de linhas em desenhos (tipos e larguras das linhas): consultar a NBR 8403/84.
- b) Folha de desenho (Leiaute e dimensões): consultar a NBR 10068/87.
- c) Conteúdo da folha para desenho técnico: consultar a NBR 10582/88.
- d) Representação gráfica dos projetos: consultar a NBR 6492/94
- e) Dobramento de cópia: consultar a NBR 13142/99
- f) Emprego de escalas: Consultar o Manual de Elaboração de Projetos de Preservação do Patrimônio Cultural

8.2 Formato

Para o formato de entrega seguir as recomendações do IPHAN no Manual de Elaboração de Projetos de Preservação do Patrimônio Cultural.

9. INFORMAÇÕES ADICIONAIS

9.1 Lista de referências normativas

Advice and Suggestions for the furtherance of Optimum Practice in Architectural Photogrammetry Surveys

Caderno técnico 1 : Manual de Elaboração de Projetos de Preservação do Patrimônio Cultural

ISO 19131:2006 *Geographic information- Data production specification*

ISO 19157:2013 *Geographic information- Data Quality*

ISO 19115:2003 *Geographic information- Metadata*

Metric Survey Specification for Cultural Heritage

NBR 8403/84 – Aplicação de linhas em desenhos – Tipos de linhas – Larguras das Linhas

NBR 10068/87 – Folha de desenho- Leiaute e dimensões

NBR 10582/88- Conteúdo da folha para desenho técnico

NBR 6492/94 – Representação de projetos de arquitetura

NBR 13142/99 - Dobramento de cópia

NBR 8196/99 - Desenho técnico - Emprego de escalas

NBR 13133/94 – Execução de levantamentos topográficos

PERFIL MGB - perfil de Metadados geoespaciais do Brasil (CONCAR)

9.2 Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) - Processo: 2013/ 15940-9, a Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), ao Programa de Pós Graduação em Ciências Cartográficas (PPGCC) e a Universidade de Liège (ULG) (FAPESP - Processo: 2014/07195-4).

9.3 Considerações

Interessados em contribuir com o refinamento desta especificação, favor entrar em contato com os responsáveis por este trabalho (Seção 1.1) com suas críticas e sugestões.

10. METADADOS

Os metadados devem seguir as recomendações do perfil de Metadados geoespaciais do Brasil (Perfil MGB), em conformidade com a ISO 19115.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8403**: Aplicação de linhas em desenhos: Tipos de linhas, largura das linhas: elaboração. Rio de Janeiro, 1984. 88

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10068**: Folhas de desenho: layout e dimensões: elaboração. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10582**: Conteúdo da folha para desenho técnico: elaboração. Rio de Janeiro, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6492**: Representação de projetos de arquitetura: elaboração. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13133**: Execução de levantamento topográfico: elaboração. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13142**: Dobramento de cópias: elaboração. Rio de Janeiro, 1999.

ATKINSON, K.B. Close Range Photogrammetry and Machine Vision. 1 ed. Escócia: Ed. Whittles Publishing, 1996, 370 p.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**: promulgada em 5 de outubro de 1988. Organização do texto por Juarez de Oliveira. 4. ed. São Paulo: Saraiva, 1990. 168 p. (Série Legislação Brasileira).

BRASIL. Portaria nº 053, de 24 de julho de 2002. **Manual técnico T34-700**: Convenções Cartográficas. 2.ed., 2002. 112p.

CIPA. **Advice and Suggestions for the furtherance of Optimum Practice in Architectural Photogrammetry Surveys**. Paris: Ed. UNESCO, 1981, 100 p.

CONCAR-Comissão Nacional de Cartografia. **Perfil de Metadados Geoespacial do Brasil**: Perfil MGB, 2011.

CONCAR-Comissão Nacional de Cartografia. **Especificação Técnica para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-EDGV)**, 2011. Rio de Janeiro.

SG - Diretoria do Serviço Geográfico. **Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV)**, 2011. Brasília-DF.

DSG - Diretoria do Serviço Geográfico. **Especificação Técnica dos Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais (ET-PCDG)**, 2011 – versão

FRANÇA; Conferência geral da Organização das Nações Unidas para Educação, a Ciência e a Cultura, **Convenção para a proteção do patrimônio mundial, cultural e natural**. Paris, p.20. Out - Nov, 1972.

GOMIDE, J.H.*et al.* **Manual de elaboração de projetos de preservação do patrimônio cultural**: Cadernos técnicos 1. Brasília: Ed. Instituto do programa Monumenta, 2005. 76 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 639-2**: Codes for the representation of names of languages. Suíça, 1998.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 19157**: Geographic information- Data Quality. Suíça, 2013.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 19107**: Geographic information- Spatial schema. Suíça, 2003.

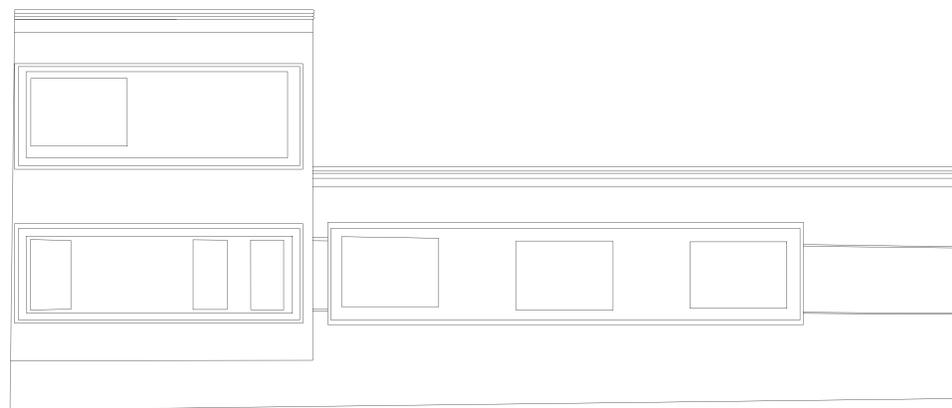
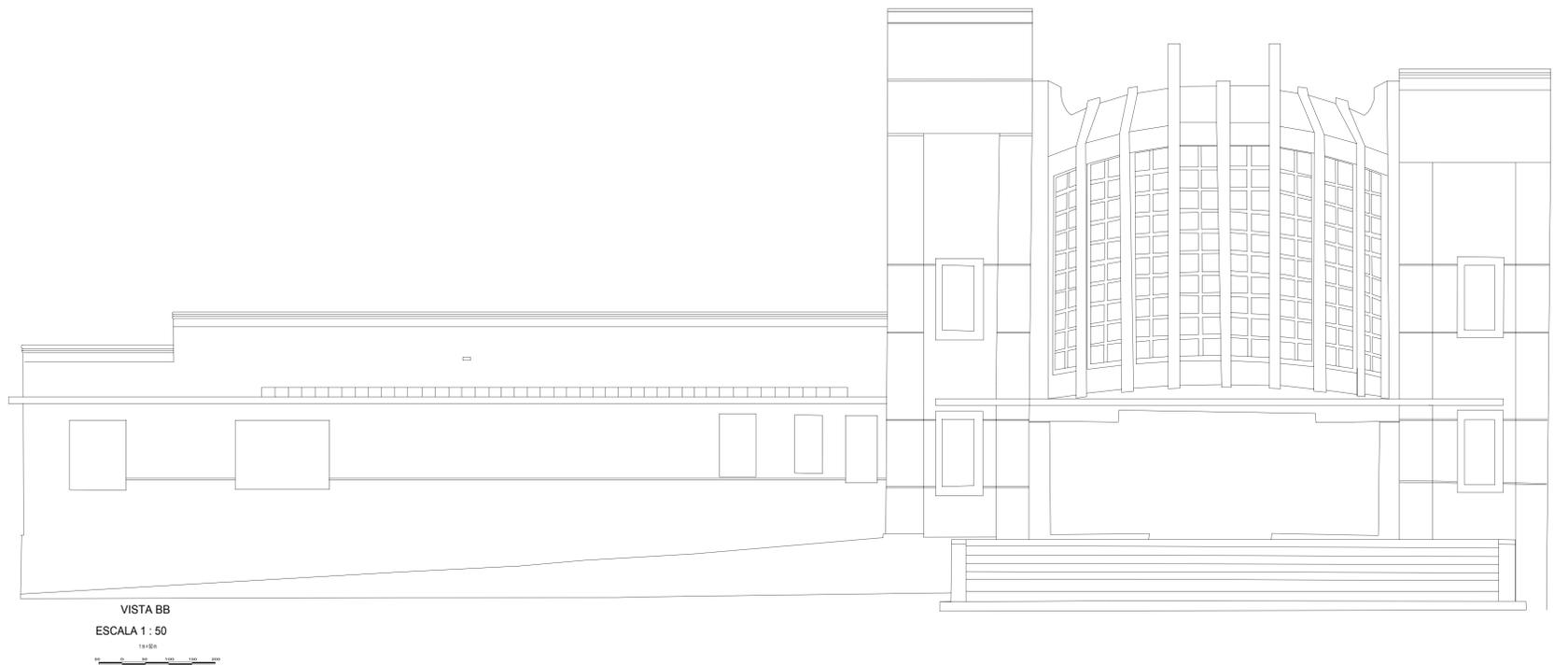
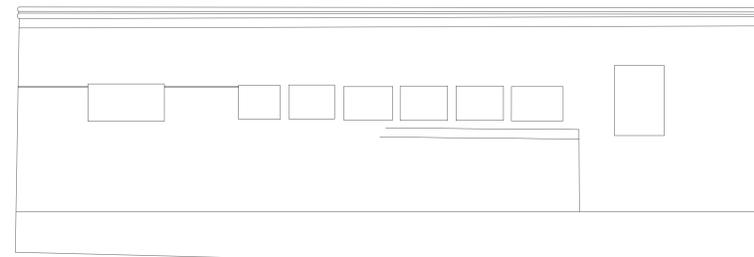
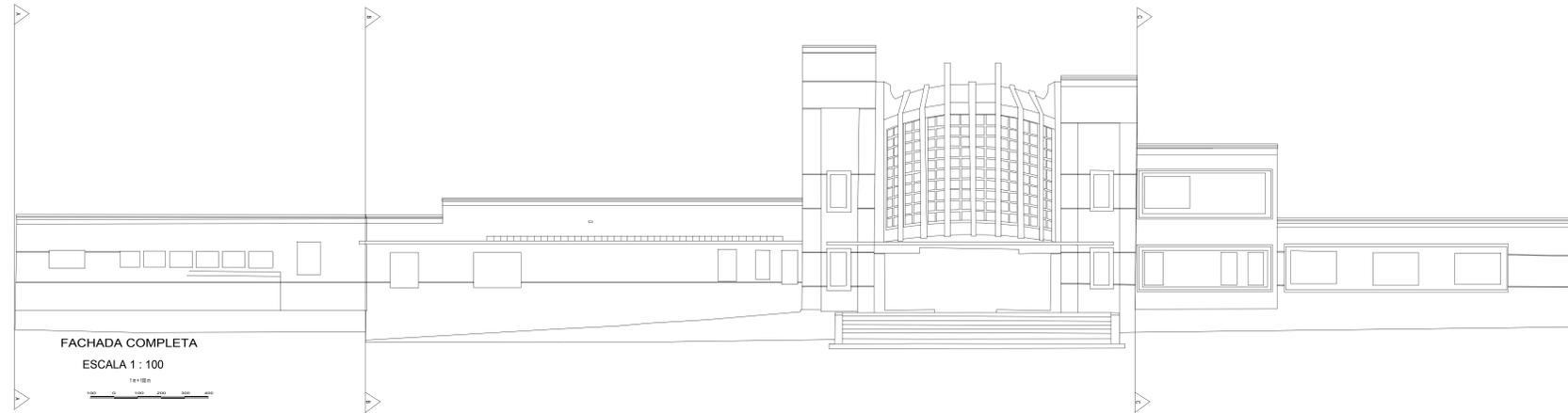
INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 19115**: Geographic information- Metadata. Suíça, 2003.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 19131**: Data production specification. Noruega, 2006.

THOMPSON, M. M.; GRUNER, H. **Manual of Photogrammetry**: American Society of Photogrammetry. 4 ed. Virginia: Falls Church, 1980.

APÉNDICE B

ESTAÇÃO FERROVIÁRIA PRESIDENTE PRUDENTE

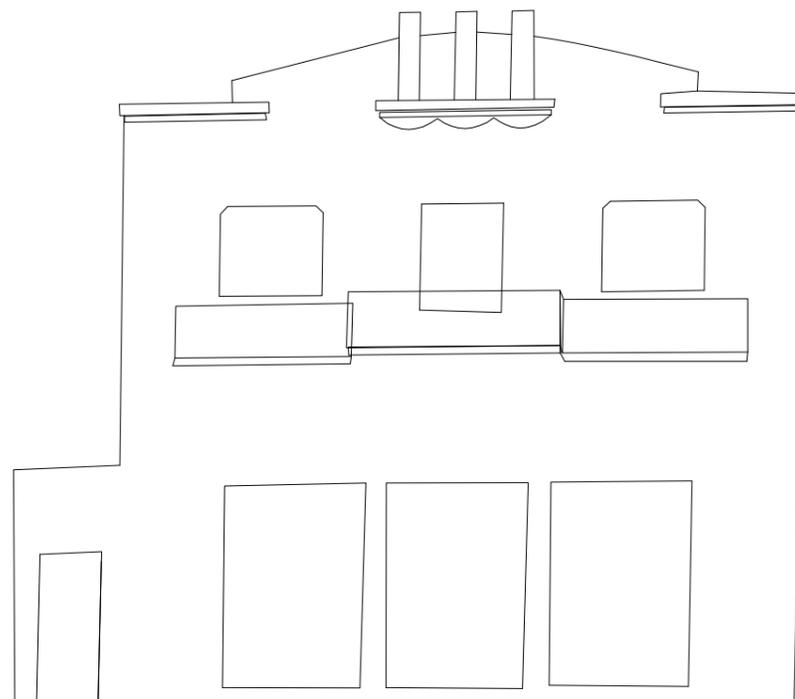


TÍTULO: ESTAÇÃO FERROVIÁRIA PRESIDENTE PRUDENTE	
RESPONSÁVEL TÉCNICO: Eng. Mariana Batista Campos	
CLASSE : A - 001	FOLHA: 001
TIPO: PLANTA DE FACHADA	ESCALA: FACHADA 1:100 VISTAS 1:50
DATA: 26/02/2015	

APÊNDICE C

EDIFICAÇÃO VILA GOULART

EXEMPLAR DE EDIFICAÇÃO DA DÉCADA DE 40
DO CENTRO HISTÓRICO DE PRESIDENTE PRUDENTE



ESCALA 1 : 100



TÍTULO: EDIFICAÇÃO VILA GOULART	
Desenvolvido durante o projeto de pesquisa: Persistência no espaço urbano dos edifícios da década de 40 em Presidente Prudente Departamento de Arquitetura e Urbanismo e Departamento de Cartografia (UNESP)	
CLASSE : A - 001	
TIPO: PLANTA DE FACHADA	FOLHA: 002
DATA: 26/02/2015	ESCALA: 1:100