

ANÁLISE DE REQUISITOS PARA AVALIAÇÃO DE QUALIDADE GEOMÉTRICA NO REGISTRO DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO COM TÉCNICAS FOTOGRAMÉTRICAS

MARIANA BATISTA CAMPOS

MARCUS ANTUNES DE MORAES

PPGCC – PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS CARTOGRÁFICAS
{MARIANAA.BCAMPOS; ANTUNESDEMORAES}@GMAIL.COM

ANTONIO MARIA GARCIA TOMMASELLI

IVANA IVÁNOVÁ

Departamento de Cartografia, Presidente Prudente, SP
{tomaseli; i.ivanova}@fct.unesp.br

ROLAND BILLEN

Universidade de Liège, Departamento de Geomática, Liège, Belgica
rbillen@ulg.ac.be.

RESUMO

O registro adequado de bens arquitetônicos é uma preocupação desde 1885, com os primeiros trabalhos do precursor da Fotogrametria Terrestre, Albrecht Meydenbauer. Em 1987, o *International Council of Monuments and Sites* recomendou a constituição de um registro fotogramétrico de monumentos e sítios arqueológicos. Desde então, a Fotogrametria Terrestre vem sendo a técnica mais utilizada para o levantamento do patrimônio arquitetônico. Essa técnica tornou-se mais rápida e acessível com o avanço das câmaras digitais. Apesar das recomendações do *International Council of Monuments and Sites*, do advento das novas tecnologias e da importância de um registro de qualidade, ainda existem poucos estudos com uma análise rigorosa dos requisitos para o registro de bens arquitetônicos, com foco na geometria dos modelos gerados por processos fotogramétricos inteiramente digitais. Neste contexto, o objetivo do trabalho é propor discussões e análises de requisitos para a avaliação da qualidade planimétrica dos projetos fotogramétricos aplicados ao registro do patrimônio arquitetônico, contribuindo principalmente com o planejamento da aquisição dos dados.

Palavras-chave: documentação patrimonial. arquivo fotogramétrico. controle de qualidade.

ABSTRACT

The documentation of the cultural heritage is a concern since 1885, with the first application of photogrammetry techniques by Albrecht Meydenbauer. In 1987, The International Council of Monuments and sites has recommended the creation of photogrammetry records of monuments and archaeological sites. Since then, the close range photogrammetry has been the most used technique to survey cultural heritage. This technique has become faster and more accessible with the advancement of digital cameras. Despite the recommendations of International Council of Monuments and sites, the advent of new technologies and the importance of a quality evaluation and documentation, there are few studies with a rigorous analysis of the requirements for the cultural heritage documentation, with focus on the geometry of the models generated by digital photogrammetry process. The aim of this work is to propose discussions and analysis of requirements for the evaluation of planimetric quality of photogrammetric projects applied to the cultural heritage documentation.

Keywords: cultural heritage documentation. photogrammetric archives. quality control.

1 INTRODUÇÃO

O patrimônio arquitetônico é uma herança comum sendo consenso que, como tal, deve ser entregue em toda a sua riqueza e autenticidade às gerações futuras (ICOMOS, 1996). A importância do registro é enfatizada pela perda de detalhes com o tempo e nos trabalhos de conservação, levando também à perda da integridade da evidência histórica. Os instrumentos de preservação - inventário, fiscalização e vigilância, tombamento, registro, dentre outras formas de acautelamento - devem ser estudados para cumprir suas funções sociais, fortalecendo a identidade do país e garantindo o direito à memória (VIEIRA *et al.*, 2012).

A aplicação das técnicas fotogramétricas para o registro do patrimônio arquitetônico possui importância reconhecida desde 1987, quando, na VIII Assembleia Geral do ICOMOS (*International Council of Monuments and sites*), recomendou-se aos países-membros a constituição do arquivo fotogramétrico de seus monumentos e sítios (ICOMOS, 1996). O ICOMOS sugere os processos e produtos necessários para o registro, dentre eles o uso de técnicas fotogramétricas, porém não descreve exigências sobre a qualidade dos mesmos (NING *et al.*, 2011), sendo a falta de especificações e padrões um agravante no registro dos bens patrimoniais.

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 avaliar 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 (acesso em abril de 2014).

Apesar da importância de uma documentação de qualidade ainda existem poucas análises dos requisitos para a modelagem a partir de técnicas fotogramétricas. Diante dessa dificuldade propõe-se neste trabalho identificar as principais normas e especificações nacionais (Seção 2.1) e internacionais (Seção 2.2) relacionadas à modelagem a partir de técnicas fotogramétricas, discutir os principais problemas quanto à falta de requisitos que permitam a análise da qualidade geométrica do modelo produzido por técnicas fotogramétricas (Seção 2.3), sugerir uma nova proposta de requisitos quanto à qualidade do produto (Seção 3) e estudar sua viabilidade através de um estudo de caso (Seção 4).

2 IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DAS NORMAS E ESPECIFICAÇÕES

2.1 Norma e especificações brasileiras

No intuito de fixar as diretrizes para a valorização de bens imóveis do Patrimônio Artístico Cultural e Arquitetônico, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), estabeleceu a NBR 14653-7. Com relação ao registro da obra, a única documentação citada está relacionada aos documentos para o tombamento. Porém, este tipo de documentação não auxilia na avaliação de custos futuros para manutenção e/ou restauração, no problema de desconhecimento da população (só se preserva o que se conhece) e na falta de divulgação cultural e turística. A representação gráfica do patrimônio arquitetônico subsidia ações para solucionar tais problemas.

A NBR 6492/94 fixa condições exigíveis para a representação gráfica de projetos de arquitetura. Outras normas da ABNT complementam alguns temas da NBR 6492/94 como, por exemplo, a NBR 8403/84, a NBR 13142/99, a NBR 10582/88 e a NBR 8196/99. Apesar da relevância destas normas, é possível identificar algumas lacunas principalmente com relação à análise de qualidade do produto, não existindo requisitos quanto à acurácia aceitável para o produto final.

Além das normas fornecidas pela ABNT destacam-se algumas especificações de caráter mais específico como os cadernos do programa Monumenta. 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 Monumenta, baseados em suas experiências práticas, nas normas da ABNT e no decreto nº 92.100, elaboraram o Manual de Elaboração de Projetos de Preservação do Patrimônio Cultural (MEPPPC), que faz 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 (Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional) visando aumentar a qualidade das obras de restauro.

O MEPPPC estabelece disposições para a apresentação e padronização gráfica para projetos relacionados com a preservação do patrimônio cultural, como: a documentação fotográfica e iconográfica, os relatórios e a representação gráfica. Destaca-se a normatização das escalas, sendo padrão a utilização da escala 1:50 para levantamentos de fachadas, 1:10 para a representação de detalhes e, eventualmente, 1:100 para algumas aplicações que não requerem alto nível de detalhamento (GOMIDE *et al*, 2005). No entanto, também não foram identificados requisitos quanto à qualidade do registro.

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 apresenta a importância da documentação e ressalta a utilização do Cadastro, da Fotografia e da Fotogrametria como ferramentas de registro. No mesmo contexto, o IEPHA/MG (Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico de Minas Gerais) desenvolveu um caderno de recomendações para padronizar as apresentações de projetos, principalmente para a restauração do patrimônio edificado (IEPHA/MG, 2012). Apesar das especificações desenvolvidas pelos institutos possuírem caráter específico, percebe-se que ainda não apresentam requisitos quanto à qualidade do registro final e das condições e precisões aceitáveis para a aquisição dos dados.

2.2 Especificações internacionais

O *Metric Survey Specification for Cultural Heritage* - MSSCH - (BRYAN *et al*, 2009) é uma especificação inglesa desenvolvida pelo *English Heritage* (EH). A última atualização dessa especificação ocorreu em 2009, na qual foi inserida uma seção especial para a utilização de LASER scanner. Outras especificações internacionais destacam-se como iniciativas na padronização do registro do patrimônio, como as “Regras 3x3” (WALDHAEUSL e OGLEBY, 1994), o *Historic American Building Survey* (HABS; NATIONAL PARK SERVICE, 2004), *Standards and Guidelines for the Conservation of Historic Places in Canada* (SGC; PARK CANADA, 2010), *International Heritage Documentation Standards* (IHDS; NING *et al*, 2007), dentre outras (BUCHANAN, 1993; RCHME, 1999; D’AYALA e SMARS, 2003).

O HABS é parte de um dos programas de documentação do patrimônio americano que apresenta uma série de especificações relativas à produção de relatórios históricos, levantamento fotográfico e desenhos métricos (NATIONAL PARK SERVICE, 2004). O programa HABS, desde 1983, acumula experiências na documentação do patrimônio arquitetônico norte-americano. Por outro lado, é um exemplo do problema das aplicações das inovações tecnológicas nas especificações pré-existentes. O SGC institui o registro adequado como a principal ferramenta para a conservação, preservação, reabilitação e restauração do patrimônio (PARK CANADA, 2010). Apesar de apresentar um guia específico para a conservação do patrimônio edificado, não contempla as técnicas e especificações para levantamento dos dados. Uma contradição, já que um registro de qualidade depende diretamente das técnicas utilizadas para o levantamento dos dados.

O IHDS é uma iniciativa para a padronização internacional dos levantamentos, apresentando recomendações relevantes sobre o conteúdo dessa especificação. Observa-se, entretanto, a dificuldade de padronização mundial devido às características únicas de cada obra e de cada país (NING *et al*, 2007). Também é importante considerar outros padrões internacionais, como, o *Accuracy Standards for Digital Geospatial Data* (ASPRS) e a ISO para informações geográficas (Série 19100).

A maioria das especificações internacionais identificadas foram desenvolvidas antes dos recentes avanços na tecnologia de câmaras digitais, sendo necessária uma atualização dos requisitos.

2.3 Análise comparativa

Para analisar a qualidade das especificações foi considerado o quesito completeza. A completeza está relacionada ao conteúdo do conjunto de dados, a avaliação da presença e da ausência de requisitos e como estes atendem as necessidades do usuário (ISO 19113). Para a análise de completeza, as normas mais relevantes em nível nacional (MEPPPC) e internacional (MSSCH) foram comparadas à ISO 19131, adotada como referência nesse trabalho.

A ISO 19131 sugere orientações (estrutura e conteúdo) para a elaboração de especificações para aquisição e produção de informações geográficas. 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 de normas pela CONCAR (Comissão Nacional de Cartografia). Verificaram-se quais requisitos esperados não constam nas especificações.

O Quadro 1 apresenta na primeira coluna as seções obrigatórias e na segunda coluna as subseções; as próximas colunas apresentam a verificação de completeza: se a linha referente à subseção estiver preenchida (x) significa que este conteúdo está presente na especificação; caso contrário tem-se omissão de informação.

Quadro 1 – Análise de completeza das especificações.

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

Considerando as 18 subseções listadas, o MSSCH apresentou 15 conteúdos completos (83% dos conteúdos), enquanto o MEPPPC apresentou apenas 9 (50% dos conteúdos). É importante avaliar também as seções omitidas. No MSSCH nota-se a

omissão de alguns conteúdos obrigatórios como abreviações e descrição do produto. 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, ao 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.

Assim, em função da falta de requisitos quanto à qualidade do registro do patrimônio arquitetônico, principalmente a nível nacional, propõe-se, na Seção 3, apresentar uma proposta de controle de qualidade do produto, avaliando a acurácia nas três grandes etapas do processo fotogramétrico. Para isso considerou-se os requisitos pré-existentes do programa Monumenta (escala de representação), as normas da ABNT, a proposta de análise de qualidade do MSSCH, as normas da Cartografia e as necessidades dos usuários (revisão sistemática da literatura).

3 PROPOSTA DE REQUISITOS

Seguindo o requisito quanto a escala de plotagem para a documentação do patrimônio arquitetônico recomendado pelo IPHAN (GOMIDE *et al*, 2005), é possível calcular o erro padrão final do modelo considerando o erro planimétrico de 0,3 mm (THOMPSON e ROSENFELD, 1971), como expressa a Equação 1.

$$\varepsilon = e * DEN_{ESCALA} \quad (1)$$

Em que, ε é a acurácia planimétrica final do modelo, e corresponde aos erros do processo fotogramétrico (erro de medida, erro nas orientações, erro de projeção) mais o erro gráfico e DEN_{ESCALA} ao denominador da escala de representação. Assim, para uma escala de representação 1:50 tem-se que o erro padrão final aceitável para a planimetria deverá ser menor que 15 mm (Tabela 1), atendendo a necessidade dos projetos de intervenção. Relembrando que o IPHAN ainda recomenda a entrega do produto analógico e, por esse motivo, foi considerado também o erro gráfico. Um estudo detalhado sobre a predição dos erros no processo fotogramétrico analógico é apresentado em De Carvalho (1972).

Tabela 1 - Erro padrão final do modelo segundo as escalas recomendadas pelo IPHAN.

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

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 precisão final requerida. Nesse caso, assumem-se três grandes etapas principais para a modelagem do patrimônio arquitetônico: a aquisição dos dados (erros de medida), as orientações (erros na orientação) e a restituição e/ou modelagem (erros de projeção). Considerando os erros conhecidos no processo fotogramétrico 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 erro padrão (5 mm para a escala 1:50).

As primeiras etapas consistem no planejamento e na aquisição dos dados (imagens, medidas de controle e verificação). Segundo Bryan *et al* (2009), para atender à necessidade dos projetos de intervenção (conservação, restauro e manutenção), o *Ground Sample Distance* (GSD) das imagens utilizadas para o registro do patrimônio arquitetônico deve ser inferior a 5 mm. Assim, para que as medidas de controle (PC) e verificação (PV) atinjam uma precisão inferior a 1 GSD, recomenda-se a implantação de um sistema topográfico local, para as escalas 1:50 ou 1:100 e uma análise rigorosa da propagação dos erros. É importante considerar que a aquisição das medidas de controle e verificação através de técnicas de topografia é inviável para o nível de precisão requerido na escala de detalhamento 1:10, sendo necessário realizar um processo de medição indireta, considerando uma escala conhecida (distâncias) e ajustamento livre.

A segunda grande etapa consiste no processo de orientações (interior e exterior). Com relação à determinação dos Parâmetros de Orientação Interior (POI), o MSSCH, por exemplo, recomenda 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 profissionais produzem imagens com tamanho de pixel em torno de 6 μ m. Logo seria interessante utilizar como requisito para a precisão da distância focal, o limite máximo de um pixel ($f < 1$ pixel), independente do método utilizado.

Para determinar o conjunto de POI é necessário realizar um estudo de significância dos parâmetros (ESP). A significância de cada parâmetro pode ser avaliada considerando se a magnitude do parâmetro é inferior a seu desvio padrão e em um segundo momento, se o efeito do parâmetro é inferior ao erro de medida (GALO *et al*, 2008).

Os Parâmetros de Orientação Exterior (POE) podem ser determinados de maneira direta ou indireta. Um dos problemas na obtenção direta da posição do centro perspectivo (CP) é mensurar a distância entre o centro de fase da antena GNSS e o ponto nodal posterior (*lever arm*) com precisão compatível com a aplicação, o que requer processos rigorosos (marcação física do ponto nodal, medição direta ou indireta do *lever arm*, centragem e nivelamento da câmara). 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 e inviável para o usuário não especialista. Outro processo complexo e com diversas fontes de erros é a determinação da atitude da câmara diretamente através de uma Unidade de Medida Inercial (IMU). Assim a orientação indireta a partir de processos fotogramétricos como a fototriangulação (WOLF e DEWITT, 2000) é a mais viável para o nível de precisão desejado.

Para a avaliação da qualidade dos processos de orientação recomenda-se analisar se a Raiz do Erro Médio Quadrático (RMSE) das discrepâncias (Δ PV) entre as coordenadas dos pontos de verificação em campo (referência medidos diretamente) e as coordenadas (estimadas) obtidas por processos indiretos (fototriangulação) é inferior à 1/3 do erro padrão final (5 mm). A avaliação de qualidade em cada etapa permite o controle do processo e a identificação de possíveis fontes de erros. Sugere-se também a realização de testes estatísticos para análise de tendência.

A última grande etapa do processo fotogramétrico é a restituição e/ ou modelagem. Em alguns casos, principalmente em imagens de baixo contraste, a restituição de quinas e arestas é sujeita a erros de medida. As especificações não discutem quanto à qualidade na restituição de arestas, sendo este um procedimento importante para garantir a acurácia do modelo. Recomenda-se, para a verificação da qualidade final do modelo, a análise em função da RMSE das discrepâncias entre as distâncias de arestas medidas em campo comparadas às restituídas no modelo (RMSE Δ D) e assim verificar se a precisão obtida é inferior ao erro padrão final (15 mm). Um resumo é apresentado na Tabela 2. Para verificar a viabilidade da metodologia proposta, foi realizado um estudo de caso na Estação Ferroviária de Presidente Prudente.

Tabela 2 – Resumo do Erro padrão das etapas do processo fotogramétrico

Etapas do processo fotogramétrico	Limite	Limite para 1:50	Análises
Aquisição	$1/3 * \epsilon$	5 mm	GSD < Limite σ PC, σ PV < 1 GSD
Orientação	$1/3 * \epsilon$	5 mm	POI: $f < 1$ pixel / ESP POE: RMSE Δ PV < Limite
Restituição/Modelo	ϵ	15 mm	RMSE Δ D < Limite

4 ESTUDO DE CASO

No século XIX, mediante 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, realçando o interesse dos investidores (SOUKEF, 2001). Nesse período fundou-se a Companhia Sorocabana de Estrada de Ferro. Em 1919, a linha tronco da estrada chega a Presidente Prudente (administrada pelo Estado de São Paulo) o que propiciou grande desenvolvimento econômico no Oeste Paulista e a construção original de diversas edificações hoje consideradas patrimônios arquitetônicos. A Estação de Presidente Prudente foi inaugurada em 1919, sendo um novo edifício construído em 1926. Apenas 18 anos depois, em 1944, com o crescimento econômico e populacional da cidade a Estação de Presidente Prudente foi novamente reconstruída. O novo prédio, maior e mais moderno, refletia a prosperidade da cidade e enquadra-se no estilo arquitetônico da época (*Art déco* com sinais de Modernismo).

4.1 Aquisição dos dados

Em primeira visita ao monumento recomenda-se avaliar a localização geográfica do patrimônio (informações preliminares) e os requisitos necessários para o preenchimento da ficha cadastral do IPHAN. A aquisição das imagens do modelo da Estação Ferroviária de Presidente Prudente foi realizada com uma câmara NIKON D3200. O Quadro 2 traz as principais características dessa câmara.

Quadro 2 - 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

Para o planejamento da aquisição considerou-se a metodologia e os requisitos propostos na Seção 3, além de procedimentos de aquisição que garantem a formação de modelos estereoscópicos. Calculou-se então a distância entre as estações (base) para 60% de sobreposição entre as fotos (6 metros) e a distância sensor-objeto (19 metros), com GSD de 4 mm (<5mm). Assim, foram implantadas previamente 12 estações. Os pontos de controle (PC) e verificação (PV) foram obtidos por topografia (dupla irradiação) utilizando estação total (TOPCON GTS-3007), com a implantação de um sistema de referência local, com precisão média de 3 mm em X, Y e Z.

4.2 Orientações

Para determinar os Parâmetros de Orientação Interior (POI) adotou-se o método de calibração de campo usando conjunto de pontos tridimensionais, aliado ao método de câmeras convergentes, com reconhecimento automático dos alvos no padrão ArUco (SILVA, 2012). 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, 2008). Para definir um conjunto de POI (Tabela 3) realizou-se a análise de significância sugerida (Seção 3).

Tabela 3 - Parâmetros de Orientação Interior

POI $\pm$ desvio padrão	f (mm)	x_0 (mm)	y_0 (mm)	k_1 (mm ⁻²)	k_2 (mm ⁻⁴)	k_3 (mm ⁻⁶)
	28.0990	0.1038	-0.0254	$1,5398 \times 10^{-4}$	$1,7623 \times 10^{-7}$	$1,12 \times 10^{-10}$
	± 0.0018	± 0.0002	± 0.0002	$\pm 1,51 \times 10^{-6}$	$\pm 2,060 \times 10^{-8}$	$\pm 8,5 \times 10^{-11}$

O efeito dos parâmetros de distorção descentrada e afinidade são inferiores ao erro de medida, além disso, a magnitude destes parâmetros também é inferior a seus desvios padrão, por essa razão estes parâmetros não foram adotados. Lembrando que a distância

focal foi determinada com precisão inferior a um pixel como sugerido. Para mais informações sobre os processos de calibração de câmaras consultar Andrade (1998).

A orientação exterior foi realizada indiretamente pelo processo de Fototriangulação utilizando o software comercial *Leica Photogrammetry Suite (LPS)* com 50 pontos fotogramétricos com resíduos inferiores a 2 pixels, 13 pontos de controle, 8 pontos de verificação e RMSE final global das imagens inferior a meio pixel (0,401). A Tabela 4 apresenta o desvio padrão, a média e a RMSE dos pontos de controle e verificação.

Tabela 4 - Média, desvio padrão e RMSE das discrepâncias entre os valores medidos e estimados para os pontos de controle e verificação

Pontos	Média			Desvio Padrão			RMSE		
	X (m)	Y (m)	Z (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	X (m)	Y(m)	Z (m)
PC	7,692 $\times 10^{-6}$	7,692 $\times 10^{-6}$	0	3,388 $\times 10^{-3}$	2,585 $\times 10^{-3}$	3,112 $\times 10^{-3}$	3,388 $\times 10^{-3}$	2,585 $\times 10^{-3}$	3,112 $\times 10^{-3}$
PV	2,250 $\times 10^{-4}$	1,412 $\times 10^{-3}$	6,500 $\times 10^{-4}$	4,177 $\times 10^{-3}$	4,510 $\times 10^{-3}$	3,308 $\times 10^{-3}$	4,184 $\times 10^{-3}$	4,756 $\times 10^{-3}$	3,380 $\times 10^{-3}$

Considerando as coordenadas E,N,H dos 8 pontos de verificação foi realizado um teste de tendência a partir da análise de distribuição *t-student* onde verificou-se 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 de t amostral é obtido a partir da Equação 2.

$$t_x = \frac{\Delta\bar{X}}{S_{\Delta X}} \sqrt{n} \quad (2)$$

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 das mesmas discrepâncias e n é o número total de pontos de verificação.

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 5 apresenta os valores tabelados e calculados para este teste de tendência. Observa-se que a estatística t satisfaz a desigualdade descrita, portanto os pontos não são tendenciosos.

Tabela 5 - Valores tabelados e calculados no teste de tendência para as coordenadas X,Y,Z.

Valor	t_x	t_y	t_z
Tabelado	1,895	1,895	1,895
Calculado	0,152	0,886	0,556

4.3 Restituição

Para analisar a qualidade final do modelo foram realizadas medidas diretas de 24 arestas com o auxílio de uma trena. Em um segundo momento foram medidas no modelo as coordenadas dos vértices de cada aresta e calculou-se a distância entre os pontos. A Tabela 6 mostra os valores de média, desvio padrão e RMSE das discrepâncias entre as distâncias medidas e calculadas.

Tabela 6 - Média, desvio padrão e RMSE das discrepâncias entre os valores medidos e estimados para as distâncias das arestas no modelo.

Nº de arestas	Média	Desvio padrão	RMSE
24	-0.0035m	0,0106 m	0,0111 m

Com base nesta análise apresentada pode-se constatar que o erro padrão final do modelo é inferior ao limite do erro padrão final proposto para a escala gráfica 1:50 (< 15 mm), com RMSE igual a 11,1 mm. Isto confirma a proposta inicial de especificação, que é baseada nas técnicas fotogramétricas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O escopo inicial do trabalho, apresentado pelo estudo teórico, consistiu na investigação das especificações e normas mais relevantes para o registro do patrimônio arquitetônico a partir da modelagem com técnicas fotogramétricas 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). Nota-se que os problemas mais relevantes identificados nas normas referem-se à falta de requisitos para o controle de qualidade na produção do modelo e de atualizações em vista dos recentes avanços digitais.

Nesse sentido, este trabalho apresentou a discussão do problema e sugere uma primeira proposta de requisitos para análise de qualidade dos projetos realizados por Fotogrametria. Assim, a metodologia sugerida foi aplicada no estudo de caso da Ferroviária de Presidente Prudente e mostrou-se viável, auxiliando principalmente no planejamento da aquisição. Em trabalhos futuros serão realizados estudos teóricos e experimentais, para avaliar e ampliar as normas e especificações existentes no que se refere à utilização de câmaras digitais, com base em técnicas fotogramétricas, para a modelagem como forma de registro dos bens arquitetônicos.

AGRADECIMENTOS

Os Autores gostariam de agradecer a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) - Processo: 2013/ 15940-9, ao Programa de Pós Graduação em Ciências Cartográficas (PPGCC) e a Universidade de Liège (FAPESP - Processo: 2014/07195-4)

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, J. B. **Fotogrametria**. 1.ed. Curitiba: Ed. SBEE, 1998. 242 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14653-7: A avaliação de bens: Patrimônios Históricos: elaboração**. Rio de Janeiro, 2009.
- BRYAN, P. G.; BLAKE, B.; BEDFORD, J., **Metric survey specification for English Heritage**. 2. ed. Inglaterra: Ed. English Heritage, 2009. 111 p.
- BUCHANAN, C. D. **Photographing historic buildings for the record**. 1. ed. London: HMSO, 1983.
- D'AYALA, D.; SMARS, P. **Minimum requirements for metric use of non-metric photographic documentation**. University of Bath, 2003.
- De CARVALHO, F. R. **Error prediction and computation in photogrammetric flight planning**. 1972. 117 f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas). The Ohio State University, Ohio.
- GALO, M.; TOMMASELLI, A. M. G.; HASEGAWA, J. K.; CAMARGO, P. 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, 2008
- GOMIDE, J. H.; SILVA, P. R.; BRAGA, S. M.N. **Manual de elaboração de projetos de preservação do patrimônio cultural**: Cadernos técnicos 1. Brasília: Ed. Instituto do programa Monumenta, 2005. 76 p
- INTERNATIONAL COUNCIL OF MONUMENTS AND SITES (ICOMOS). **Principles for the Recording of Monuments Groups of buildings and Sites**. In: 11th ICOMOS GENERAL ASSEMBLY IN SOFIA. Paris: ICOMOS, 1996, 52p.

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). **ISO 19131**: Data production specification. Noruega, 2006.

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

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

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.

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

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

NING, Y. Y.; HUA, W. K.; MING, C. H.; SHAN, H. W. The standard of management and application of cultural heritage documentation. Praga. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v.23, 2011.

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.

ROYAL COMMISSION ON THE HISTORICAL MONUMENTS OF ENGLAND (RCHME). **Recording Archaeological Field Monuments**: a Descriptive Specification. Swindon, 1999.

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

SILVA, S. L. A. **Aplicação de Alvos Codificados na Automatização do Processo de Calibração de Câmaras**. 2012. Trabalho de conclusão de curso em Ciências da Computação. Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

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

THOMPSON, M. M.; ROSENFELD, G. H. **On map accuracy specification**. Surveying and Mapping, 1971.

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.

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.