

Implantação e validação de um campo de calibração de câmaras

Igor G.L.M.V. de Souza¹
Mariana A. Cialla¹
Marcela do Valle Machado¹
Paula Debiasi¹

¹ Universidade Federal Rural do Rio Janeiro - UFRRJ
– Seropédica-RJ, Brasil

igorv_souza@hotmail.com.br, marianacialla@gmail.com, marcelavmachado@gmail.com e paula@ufrj.br

Abstract. The use of non-metric cameras for mapping purposes has been shown effective for some applications, among them the production of orthophotos, mosaics and geographic information systems (GIS), and has a low cost of data acquisition compared with the conventional photogrammetric systems. In the generation of cartographic products using metric or non-metric cameras the knowledge of the parameters that define the internal geometry of the camera is a fundamental task, these parameters are called Interior Orientation Parameters (POI). For these reasons the camera calibration is necessary and of paramount importance to applications in aerial and close range Photogrammetry. Through the determination of POI, the measurements performed on an image can be modeled of systematic errors, thus enabling to obtain information metrics object in space. A test field is the deployment of targets on a wall or other device, and is important determine the exact coordinates of these targets, for this purpose is necessary the use of topographic techniques, using precise instruments as a total station. The objective of this work is to deploy a test field calibration of cameras in the Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) and calibrate non-metric cameras using the method of the cameras convergents.

Palavras-chave: camera calibration. non-metric camera. test field

1. Introdução

Para a obtenção de produtos fotogramétricos é necessária a calibração geométrica da câmara, processo que possibilita o conhecimento dos Parâmetros de Orientação Interior (POI). Através da determinação dos POI as medidas realizadas em uma imagem podem ser modeladas dos erros sistemáticos, viabilizando desta forma a obtenção de informações métricas no espaço objeto.

Segundo Galo e Tommasselli (2011), o processo de calibração de câmaras pode ser realizado em campo ou em laboratório. A calibração em laboratório exige a utilização de equipamentos especiais e normalmente é realizada pelos fabricantes das câmaras (Andrade, 1998). Os métodos de campo possibilitam que os POI sejam determinados em condições ambientais e técnicas mais próximas à de funcionamento do sensor e, ainda se apresentam mais econômicos em relação aos métodos de calibração em laboratório.

As câmaras digitais métricas, câmaras projetadas especificamente para aplicações fotogramétricas, são inicialmente calibradas por métodos de laboratório e os POI são disponibilizados através de um documento chamado de certificado de calibração. Apesar de apresentarem estabilidade geométrica estas câmaras possuem um alto custo de aquisição e operação.

O alto custo das câmaras métricas estimula a busca de soluções economicamente mais acessíveis. Uma das alternativas encontradas é a utilização de câmaras não métricas, ou seja, câmaras que são adaptadas para aplicações fotogramétricas. Por não serem câmaras específicas para a Fotogrametria a calibração geométrica é necessária para a determinação dos POI. A calibração destes sensores deve ainda ser realizada de forma periódica para o controle da estabilidade da geometria interna da câmara.

A determinação dos POI de câmaras não métricas pode ser realizada por processos de calibração em campo. Neste processo utiliza-se um conjunto de imagens tomadas em um local preparado com alvos pré-sinalizados, cujas coordenadas tridimensionais são determinadas com grande precisão, tais locais são chamados de campos de calibração.

A crescente utilização de câmaras digitais não métricas para a obtenção de produtos fotogramétricos motivou a realização desta pesquisa, que visa a implantação de um campo de calibração terrestre de câmaras na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). O campo de calibração foi validado a partir da calibração de duas câmaras não métricas do modelo Sony DSC-W320.

2. Metodologia

A área de estudo deste trabalho está localizada no Instituto de Tecnologia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, onde se encontra o anteparo escolhido para a implantação do campo de calibração. A Figura 1 apresenta as etapas realizadas para a implantação do campo de calibração.

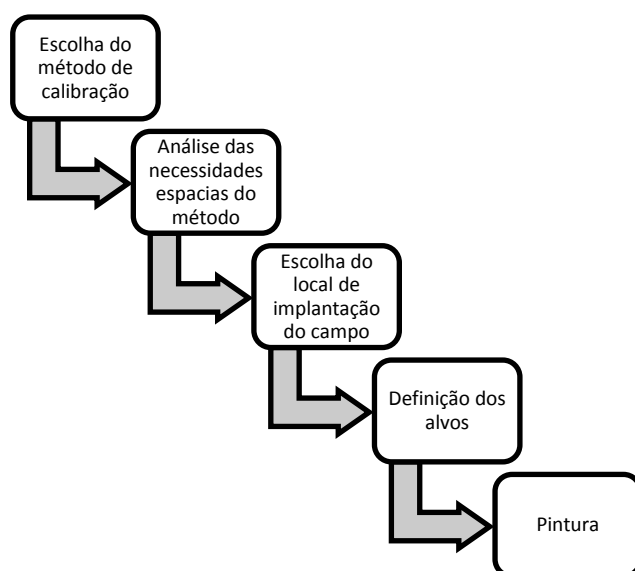


Figura 1- Etapas da construção do campo de calibração

Este estudo utilizou o método de calibração de campo das Câmaras Convergentes, em que os POI da câmara podem ser determinados pelo modelo matemático da condição de colinearidade e o ajustamento realizado com o método dos mínimos quadrados (MMQ).

A construção de um campo de calibração terrestre exige a locação de alvos em um anteparo. Em função do método das Câmaras Convergentes exigir a tomada de fotografias em diversas direções e distâncias, o anteparo escolhido foi uma parede de uma edificação do Instituto de Tecnologia da UFRRJ (Figura 2).



Figura 2- Parede escolhida para a implantação do campo de calibração.

O método de calibração das Câmaras Convergentes necessita de uma grande quantidade de pontos de controle distribuídos nas imagens de forma homogênea (Remondino e Fraser, 2006), assim sendo, foram pintados e alinhados 52 alvos. Para tornar a distribuição dos pontos homogênea foram utilizados instrumentos específicos como prumo e nível de mão.

O material utilizado para a pintura dos alvos foi tinta acrílica branca e preta para piso da linha Novacor fabricada pela Sherwin Williams, visto que esta tinta é altamente resistente, recomendada para uso em garagens e pisos de quadras. O molde dos alvos foi confeccionado em papelão de 3 mm e sinalizados em duas etapas: um molde foi utilizado para pintar a forma quadrada em branco e outro para pintar as marcas pretas de maneira a possibilitar maior contraste ao alvo. A metodologia de implantação se dividiu em algumas etapas conforme Figura 3. A Figura 4 apresenta o campo de prova com os alvos implantados e um detalhe de um dos alvos demarcados.

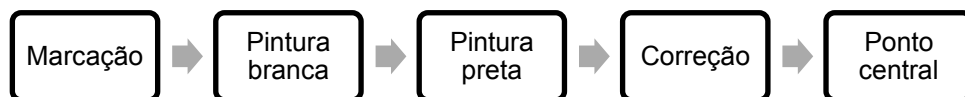


Figura 3- Etapas do processo de pintura

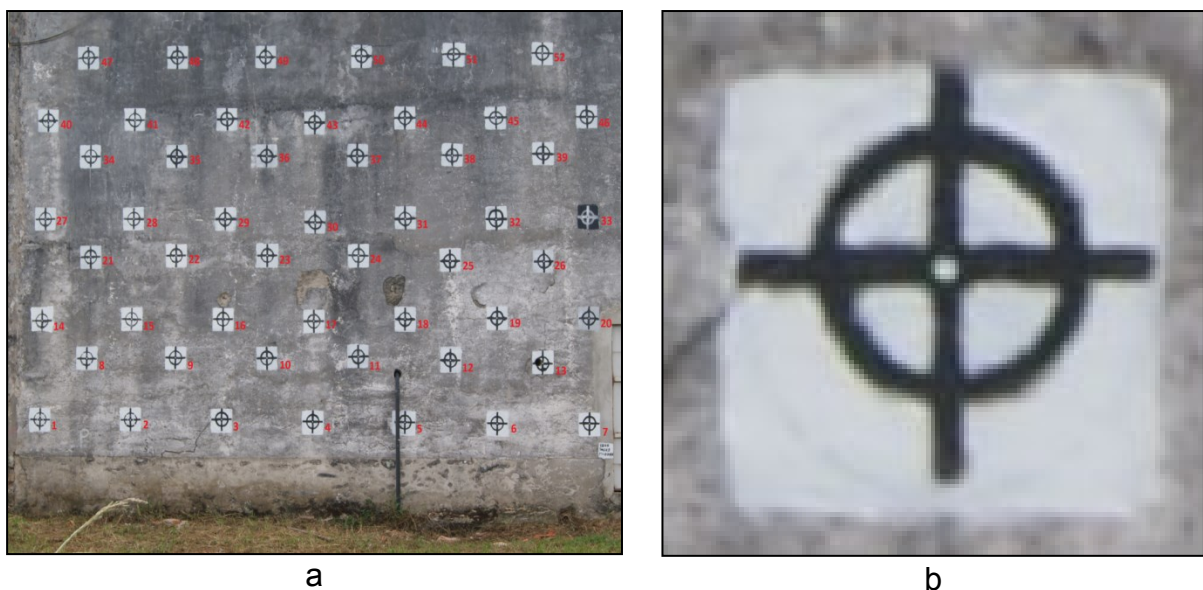


Figura 4: a) Campo de calibração de câmaras da UFRRJ b) Detalhe de um dos alvos

As coordenadas dos alvos do campo de prova devem ser determinadas com precisão. Para a obtenção destas coordenadas foi utilizada uma estação total da marca Foif modelo OTS685, com precisão angular de 5" e linear de 3mm+2ppm.

Para garantir a precisão foram feitas leituras na base de aferição da UFRRJ, as leituras se constituem de três séries de visadas em posição direta (PD) e posição inversa (PI). Os resultados obtidos foram processados em um software de topografia.

As coordenadas dos alvos do campo de prova foram determinadas em um sistema de coordenadas tridimensional local com origem no alvo do canto inferior esquerdo do campo de prova (alvo de nº01 da Figura 4a).

As duas câmaras utilizadas para a validação do campo de calibração implantado são do modelo Sony DSC-W320 (Figura 5). Estas câmaras não métricas com resolução de 14.1 megapixels possuem pixel de aproximadamente 0,001mm e distância focal nominal de 5mm.



Figura 5-Câmara Sony DSC-W320.

O método de calibração das Câmaras Convergentes necessita de fotografias altamente convergentes, e rotacionadas em torno do eixo z, para que seja minimizada a dependência linear entre os parâmetros de orientação interior e exterior. Segundo Andrade (1998), a fim de separar os coeficientes da distorção radial e simétrica daqueles da distorção descentrada, torna-se necessário ao menos uma foto girada em torno do eixo z da câmara em 90°. A obtenção das imagens é o passo inicial para realizar a calibração. Para este processo de obtenção, alguns cuidados foram tomados, os principais foram o bom enquadramento dos alvos e a obtenção de imagens sem sombras e reflexos. Outro cuidado importante na aquisição de imagens foi a definição da posição para a tomada das imagens, (estações de exposição 01, 02 e 03) onde o ângulo formado entre estas fosse de aproximadamente 45°, como mostra a Figura 6.

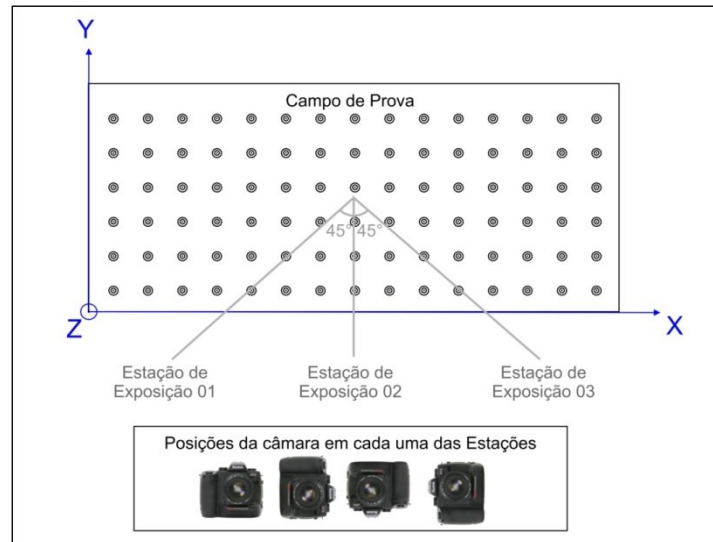


Figura 6- Esquema de aquisição de imagens. Três estações diferentes em cada uma quatro posições, sendo uma a 0°, 90°, 180° e 270°. Fonte: Adaptada de DEBIASI (2012).

As fotografias do campo de calibração foram tomadas no dia 17/04/2012, sendo adquiridas no total 12 imagens por cada uma das câmaras, conforme o esquema apresentado na Figura 6.

3. Resultados e Discussão

O processo de calibração das câmaras se dividiu em sete etapas conforme pode-se observar no fluxograma da Figura 7.

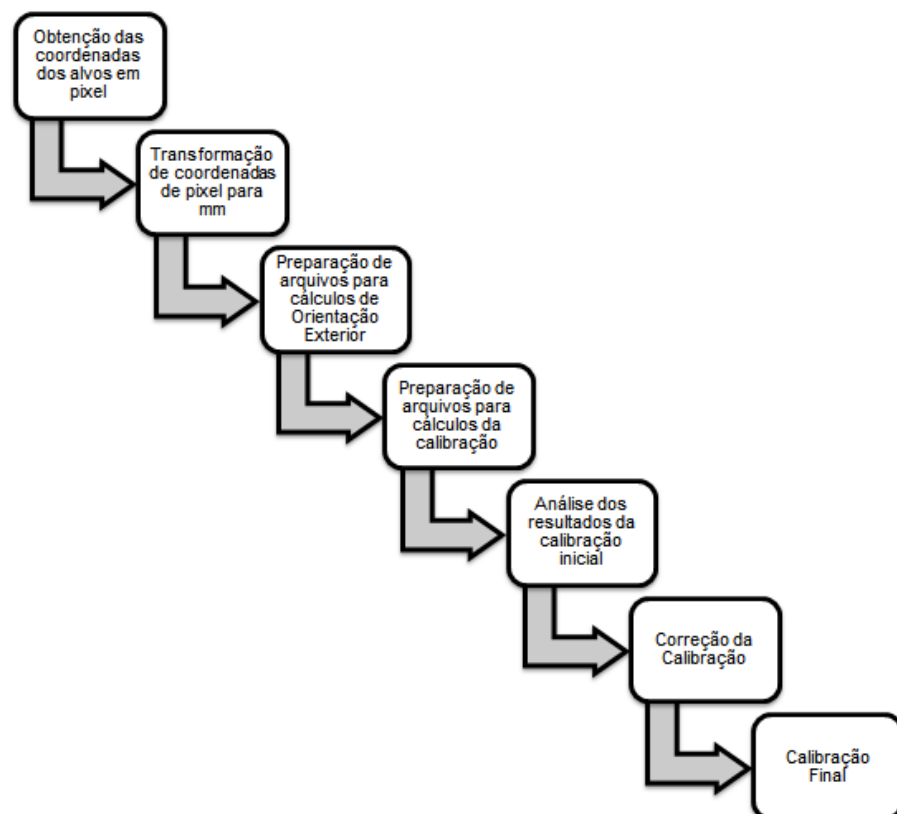


Figura 7-Etapas da calibração

A leitura dos alvos nas imagens foi realizada de forma manual monoscópica no software Envi 4.5, sendo empregada a ferramenta “Pixel Locator”. As coordenadas dos alvos foram transformadas do sistema de coordenadas em pixel para milímetro com base no tamanho do pixel e no número de pixels do *Charged Coupled Device* (CCD). Obtidas as coordenadas dos alvos nas imagens, estas foram organizadas para serem processadas no software científico Calibrav, este software foi desenvolvido por alunos do curso de Pós-graduação de Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná.

Nas calibrações realizadas empregou-se como variância a priori do ajustamento o valor unitário. Foi utilizado como desvio padrão das fotocoordenadas 3 pixels, valor definido através de experimentações. Nos experimentos de calibração foi adotada como precisão o valor único de $1,732\text{e-}03$ m para as três componentes (X, Y e Z).

Os resultados da calibração de ambas as câmaras são apresentados na Tabela 1. Observa-se que os valores determinados para a distância focal em ambas as câmaras foi de aproximadamente 4 mm, diferentemente do apresentado no manual das câmaras. Quanto aos parâmetros de distorção radial simétrica, verificou-se que o parâmetro k_3 não foi considerado significativo em nenhuma das calibrações sendo este retirado do ajustamento. Observa-se uma diferença entre as coordenadas dos pontos principais e distorções das lentes determinadas para cada uma das câmaras. Estas diferenças podem ser decorrentes do tempo e condições de manuseio de cada uma destas câmaras.

Tabela 1- POI determinados nas calibrações das Câmaras 1 e 2

Câmara 01				Câmara 02			
f (mm)	4,129	σf (mm)	0,008	f (mm)	4,075	σf (mm)	0,010
x_0 (mm)	0,016	σx_0 (mm)	0,008	x_0 (mm)	0,006	σx_0 (mm)	0,008
y_0 (mm)	0,061	σy_0 (mm)	0,007	y_0 (mm)	0,073	σy_0 (mm)	0,008
k_1 (mm)	0,1149e-02	σk_1 (mm)	0,293e-03	k_1 (mm)	-1,527e-02	σk_1 (mm)	0,338e-03
k_2 (mm)	-0,240e-03	σk_2 (mm)	0,414e-04	k_2 (mm)	0,248e-03	σk_2 (mm)	0,499e-04
p_1 (mm)	0,326e-03	σp_1 (mm)	0,172e-03	p_1 (mm)	-0,693e-04	σp_1 (mm)	0,181e-03
p_2 (mm)	0,864e-03	σp_2 (mm)	0,163e-03	p_2 (mm)	0,110e-02	σp_2 (mm)	0,1100e-04

Para a verificação da qualidade das calibrações realizadas os resíduos obtidos foram submetidos a análises e testes estatísticos. Para a análise dos resíduos resultantes dos pontos de controle e das fotocoordenadas foi calculado o erro médio quadrático (EMQ) (Tabela 2).

Com base nos resultados dos testes globais realizados com os resíduos das fotocoordenadas obtidos em ambas as calibrações utilizando os valores de tolerância de $\frac{1}{2}$ e 1 pixel pode-se concluir que as medidas realizadas não estavam de acordo com as precisões adotadas. Por este motivo foi realizada uma análise e definido que o valor adequado para a tolerância seria referente a três pixels, satisfazendo assim o teste global unilateral, como mostra a Tabela 3.

Tabela 2- EMQ dos Pontos de Apoio e das fotocoordenadas

EMQ dos Pontos de Apoio			
Câmara 1		Câmara 2	
EMQ X (mm)	0,001	EMQ X (mm)	0,002
EMQ Y (mm)	0,001	EMQ Y (mm)	0,002
EMQ Z (mm)	0,000	EMQ Z (mm)	0,000
EMQ das fotocoordenadas			
Câmara 1		Câmara 2	
EMQ x (mm)	0,003	EMQ x (mm)	0,003
EMQ y (mm)	0,003	EMQ y (mm)	0,003

Com base nos dados apresentados na Tabela 2 verifica-se que os EQM dos resíduos das coordenadas dos pontos de apoio e das fotocoordenadas encontram-se de acordo com as precisões admitidas no processo.

Tabela 3- Teste Global realizado com os resíduos das fotocoordenadas.

Câmara 1		Câmara 2	
σ_0^2	1,000	σ_0^2	1,000
$\hat{\sigma}_0^2$	0,817	$\hat{\sigma}_0^2$	0,643
gl	1008	gl	1106
$\chi^2_{(gl,1-\alpha)}$	1082,973	$\chi^2_{(gl,1-\alpha)}$	1184,480
χ_a^2	823,536	χ_a^2	711,158

Pela análise da Tabela 3 conclui-se que os resultados obtidos no ajustamento da calibração aérea não foram rejeitados para um nível de significância de 5%. Considerando o EQM dos resíduos das fotocoordenadas, provenientes do processo de calibração, verifica-se que estes são inferiores ao valor de precisão tolerável (3 pixels) adotada para as medidas realizadas.

Comparando-se o tamanho do pixel da câmara Sony DCS-W320, que é considerada uma câmara amadora, com o tamanho do pixel de câmaras semi profissionais verifica-se que o tamanho do pixel desta câmara é muito inferior. Desta forma pode-se concluir que os pontos centrais dos alvos que compõem o campo de calibração deveriam ter menor dimensão para a calibração deste tipo de câmara.

4. Conclusões

A utilização de câmaras digitais não métricas se apresenta como uma alternativa para a geração de produtos fotogramétricos, como ortofotos, mosaicos e a sua aplicação em Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Para a geração desses produtos, é de fundamental importância o conhecimento dos POI da câmara, e para tal torna-se indispensável a utilização de um campo de calibração.

A implantação do campo de prova realizada nesta pesquisa possibilitará que o processo de calibração de câmaras não métricas se torne uma operação mais rotineira para os alunos e pesquisadores da UFRRJ possibilitando o desenvolvimento de trabalhos relacionadas com a área de Fotogrametria.

A validação do campo de prova através da calibração das duas câmaras de mesmo modelo se tornou válida para demonstrar a deficiência do campo de calibração implantado, visto que o tamanho dos alvos do campo de prova não foi ideal para a calibração destes sensores em específico.

A diferença entre os POI encontrados para as duas câmaras demonstra que a calibração é de suma importância para a realização de novas pesquisas, visto que mesmo sendo do mesmo modelo os POI das câmaras se apresentaram bastante distintos. Este resultado demonstra a importância da existência de um campo de calibração uma vez que sempre que um produto fotogramétrico for produzido a partir das imagens destes sensores será necessária a calibração da câmara.

Uma das principais vantagens que se observa na utilização do Método das Câmaras Convergentes é a facilidade na aquisição das imagens e processamento dos dados, aliado ao baixo custo e pequeno tempo para a sua realização.

Como trabalhos futuros recomenda-se que o centro dos alvos do campo de prova implantado sejam repintados de forma a possuir um menor diâmetro e que as suas coordenadas sejam novamente determinadas.

Agradecimentos

Os autores agradecem a concessão do software de calibração de câmaras pelo Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR para a realização dos experimentos desta pesquisa.

Esta pesquisa é parte integrante do Trabalho de Conclusão de Curso do aluno de Engenharia de Agrimensura da UFRRJ Igor G.L.M.V. de Souza.

5. Referências

ANDRADE, J. B. Fotogrametria. Curitiba, UFPR, Paraná, 1998.

DEBIASI, P. Desenvolvimento de metodologias de calibração de uma câmara digital de baixo custo integrada com um sistema LIDAR. Curitiba, 2012. (Tese de Doutorado). Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, UFPR, Paraná.

GALO, M.; TOMMASELLI, A. M. G. Calibração de Câmaras. In PITERI, M. A., RODRIGUES, J. C. (Ed.). Fundamentos de visão computacional. Presidente Prudente: FCT/UNESP-PP, 2011. p. 53 - 112.

REMONDINO, F.; FRASER, C. Digital camera calibration methods considerations and comparisons. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, v. XXXVI, pt. 5, 2006.