

# CALIBRAÇÃO EM SERVIÇO DE UM SISTEMA DUAL DE CÂMARAS DIGITAIS COM IMAGENS AÉREAS

CARLOS RODRIGO T. CALDEIRA <sup>(1)</sup>, MARCUS VINÍCIUS A. DE MORAES <sup>(2)</sup>, ANTONIO MARIA GARCIA TOMMASELLI <sup>(3)</sup>

Universidade Estadual Paulista - Unesp - Faculdade de Ciências e Tecnologia - FCT

<sup>(1)</sup>Aluno de Engenharia Cartográfica, <sup>(2)</sup> Bolsista IC-CNPq

<sup>(3)</sup> Departamento de Cartografia, Presidente Prudente - SP

caldeiract@gmail.com, antunesdemoraes@gmail.com, tomaseli@fct.unesp.br

## ABSTRACT

The aim of this work is to assess the feasibility of on-the-job calibration of a image acquisition system composed by two oblique cameras, using relative orientation stability constraints. Experiments were performed with a block of aerial images, with four flight lines, collected by a pair of Fuji S3 Pro cameras.

## 1 INTRODUÇÃO

Um dos problemas ainda estudados em Fotogrametria é a calibração simultâneas de múltiplas câmaras e a utilização destes parâmetros em outros projetos, devido à natural alteração física do sistema. A calibração em serviço (*on-the-job* ou *in-situ*), ou seja, simultaneamente ao ajuste em bloco por feixes de raios, tem sido uma opção prática (CRAMER, 2004). Pode-se, ainda, utilizar algumas injunções relacionadas à estabilidade da orientação relativa entre as câmaras. Para o caso terrestre, esta alternativa mostrou-se viável, como mostraram Bazan et al. (2009).

A proposta deste trabalho é estudar o efeito das injunções de estabilidade da orientação relativa para o caso de um bloco de imagens aéreas tomadas com um sistema de duas câmaras oblíquas, acionadas simultaneamente.

## 2 METODOLOGIA

Os parâmetros resultantes do processo de calibração de uma câmara descrevem a sua geometria interna, incluindo a modelagem das distorções provocadas pelas imperfeições no sistema de lentes, considerando-se um determinado conjunto de parâmetros de orientação interior (POI) (ANDRADE, 2003). As equações de colinearidade (Eq. 1), acrescidas dos modelos de distorção são utilizadas no processo de calibração por métodos de campo.

$$\begin{aligned} F_1 &= x_f - x_0 - \delta x_r + \delta x_d + \delta x_a + f \frac{m_{11}(X - X_0) + m_{12}(Y - Y_0) + m_{13}(Z - Z_0)}{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)} \\ F_2 &= y_f - y_0 - \delta y_r + \delta y_d + \delta y_a + f \frac{m_{21}(X - X_0) + m_{22}(Y - Y_0) + m_{23}(Z - Z_0)}{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)} \end{aligned} \quad (1)$$

onde,  $(x_f, y_f)$  são as coordenadas imagem do ponto,  $(X, Y, Z)$  as coordenadas do ponto no espaço objeto,  $m_{ij}$  elementos da matriz de rotação,  $(x_0, y_0)$  as coordenadas do ponto principal,  $\delta(x, y)_r$ ,  $\delta(x, y)_d$ ,  $\delta(x, y)_a$  as componentes das distorções radial simétrica, descentrada e parâmetros de afinidade, respectivamente,  $f$  a distância focal gaussiana equivalente.

Um processo de calibração de um sistema composto por duas câmaras, por exemplo, deve considerar também a calibração dos elementos de Orientação Relativa (OR) entre as câmaras, que podem ser obtidos em função da orientação exterior de ambas as câmaras ou introduzindo-se injunções de estabilidade no ajustamento por feixes de raios (BAZAN et al., 2009; TOMMASELLI et al, 2010). A hipótese da estabilidade dos parâmetros de orientação relativa, permite estabelecer restrições adicionais a serem impostas ao sistema gerado pelas equações (1). Estas restrições consideram que a matriz de rotação relativa e a distância de base entre os pontos nodais das câmaras (ou as componentes da base) são estáveis, exceto por uma pequena variação randômica. Com isto, podem ser estabelecidas as Equações (2). Considerando as propriedades das matrizes de rotação, existem apenas 3 equações independentes para cada par de imagens tomadas simultaneamente (BAZAN et al, 2009).

$$R_{RO}^t - R_{RO}^{t+1} = 0 \quad D_t^2 - D_{t+1}^2 = 0 \quad (2)$$

onde,  $R_{RO}^t$  e  $R_{RO}^{t+1}$  são as matrizes de rotação relativa entre as câmaras nos instantes  $t$  e  $t+1$ , e  $D_t$  e  $D_{t+1}$  são as distâncias entre os CP's, também nos instantes  $t$  e  $t+1$ .

As equações 3 permitem o cálculo das componentes de base ( $b_x$ ,  $b_y$  e  $b_z$ ) a partir das coordenadas dos centros perspectivos das câmaras 1 e 2 e da matriz de rotação da câmara 1 podendo-se estabelecer injunções de estabilidade nas componentes de base, por meio das equações 4. Estas restrições partem do pressuposto que as componentes da base são estáveis, exceto por uma pequena variação randômica.

$$\begin{bmatrix} b_x \\ b_y \\ b_z \end{bmatrix} = R^{Cl} \begin{bmatrix} X_0^{Cl} - X_0^{C2} \\ Y_0^{Cl} - Y_0^{C2} \\ Z_0^{Cl} - Z_0^{C2} \end{bmatrix} \quad (3) \quad \begin{bmatrix} b_x \\ b_y \\ b_z \end{bmatrix}^{(t)} - \begin{bmatrix} b_x \\ b_y \\ b_z \end{bmatrix}^{(t+1)} = 0 \quad (4)$$

onde,  $b_x$ ,  $b_y$  e  $b_z$  são as componentes de base,  $X_0$ ,  $Y_0$ ,  $Z_0$  as coordenadas dos CP's das câmaras 1 e 2.

Neste trabalho foi utilizado um bloco de imagens aéreas, coletadas por um arranjo composto por duas câmaras Fuji Fine Pix S3Pro de 12 Mpixels, dispostas de forma convergente, com uma altura de voo de aproximadamente 1500 metros e GSD (*Ground Sample Distance*) de 24cm. Foram realizadas 4 faixas de voo, duas das quais em voo cruzado, sendo usadas 28 imagens de cada câmara.

Foram identificados 7 pontos bem definidos para

Experimentos	Focal	Componente de Base	Valor da Distância de Base	Raíz do Erro Médio Quadrático nos pontos de verificação (m)		
				REMQ X	REMQ Y	REMQ Z
A	Fixa $\sigma \pm 0,0000001$ mm	Rotação $\sigma \pm 1'$ e $\sigma B_x B_y B_z$ 1 mm	-----	0,571	0,549	1,355
B	Fixa $\sigma \pm 0,0000001$ mm	-----	-----	0,584	0,502	0,474
C	Fixa $\sigma \pm 0,000001$ mm	Rotação $\sigma \pm 1'$ e $\sigma B_x B_y B_z$ 10 mm	109 mm $\sigma \pm 10$ mm	0,562	0,590	1,560
D	Livre $\sigma \pm 2$ mm	Rotação $\sigma \pm 1'$ e $\sigma B_x B_y B_z$ 10 mm	109 mm $\sigma \pm 10$ mm	0,594	0,552	2,321
E	Livre $\sigma \pm 2$ mm	Rotação $\sigma \pm 1'$ e $\sigma B_x B_y B_z$ 1 mm	-----	0,585	0,532	1,003

Tabela 1: Experimentos de acordo com o tipo de injeção de estabilidade adotado.

serem usados como pontos de apoio e de verificação, os quais foram levantados em campo com um par de receptores GPS de dupla frequência. O bloco de imagens foi importado no software MATCH-AT INPHO, sendo determinadas automaticamente as coordenadas dos pontos fotogramétricos (pontos de passagem) com precisão subpixel, bem como feitas as medidas interativas dos pontos de controle. As coordenadas imagem, os parâmetros de OE e o modelo das câmaras foram exportados para o LPS (*Leica Photogrammetric Suite*) e para o programa CMC (Calibração Multi-Câmaras), desenvolvido pelo Grupo de Fotogrametria da Unesp, o qual permite a calibração com injeções de estabilidade da orientação relativa.

### 3 RESULTADOS E CONCLUSÕES

Foram realizados cinco experimentos utilizando 56 imagens aéreas com 1283 pontos no espaço objeto sendo 4 destes de apoio, 3 de verificação e 1276 fotogramétricos. Os experimentos foram separados de acordo com o tipo de injeções adotadas e descritas na Tabela 1. Todos os resultados dos experimentos estão relacionados somente a câmara 1, pois os resultados da câmara 2 são similares.

Analisando os resultados pode-se verificar que as componentes de base calculadas (Fig. 1c) são maiores do que os valores verdadeiros ( $b_x \sim 4m$ , quando o valor verdadeiro é de 0,109m). Estas discrepâncias indicam um efeito de escala na rede, que pode ser causada por erros

nos pontos de controle ou por problemas numéricos.

A Fig. 1a mostra que os desvios-padrão nos parâmetros de OI estimados mantêm-se dentro de 1-2 pixels, aumentando quando as injeções na distância focal são retiradas. Por outro lado, a Fig. 1b mostra que os desvios padrão das componentes de base são reduzidos ao permitir a variação da focal e ao introduzir uma injeção de valor de base observado (quarta coluna da Tab. 1). Na Fig. 1c mostra-se o desvio padrão nos parâmetros de rotação da orientação relativa, mostrando que a dispersão é efetivamente reduzida ao incluir injeções de estabilidade destes elementos. Estes resultados preliminares mostram a relevância de utilizar as injeções de orientação relativa no caso de calibração em serviço.

### REFERÊNCIAS

ANDRADE, J.B. *Fotogrametria*. Curitiba; SBEE, 1998.  
 BAZAN, W.S., TOMMASELLI, A.M.G, GALO, M., RUY, R.S. Influência das injeções de orientação na calibração de um sistema dual de câmaras digitais. *Boletim de Ciências Geodésicas*, v.15, p.444 - 466, 2009.  
 CRAMER, M. *EuroSDR network on digital camera calibration*. Institute of photogrammetry, University of Stuttgart, Final Report, oct. 2004.  
 TOMMASELLI, A.M.G., GALO, M., MARCATO JUNIOR, J., RUY, R.S., LOPES, R.F. *Registration and Fusion of Multiple Images Acquired with Medium Format Cameras In: Int. Symp. of Photog. and Rem. Sensing Commission I*, Calgary, 2010.

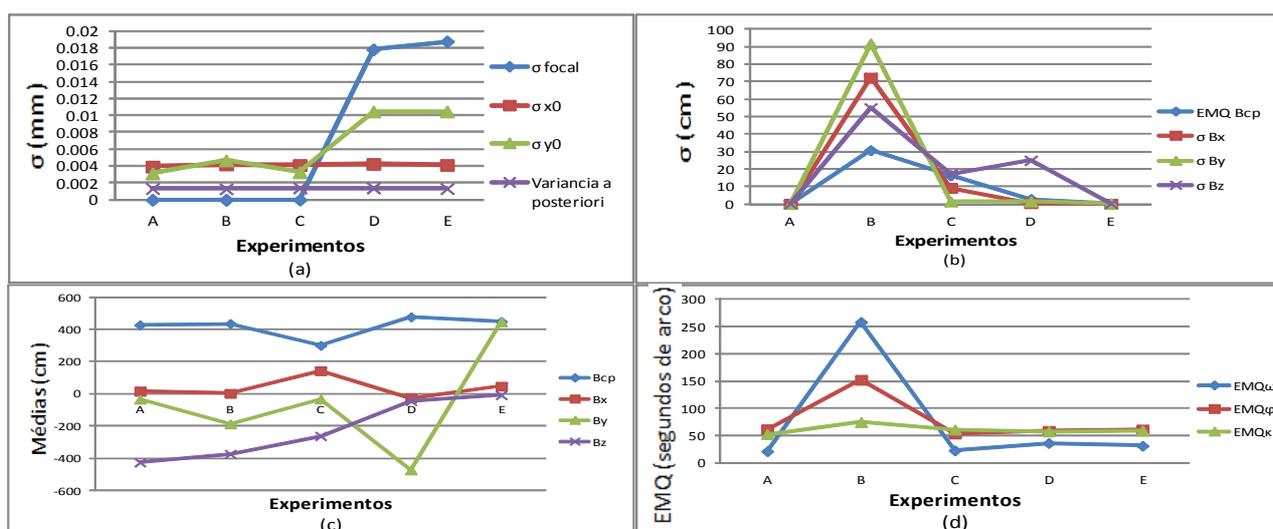


Figura 1: (a) Desvios-padrão dos parâmetros de orientação interior dos experimentos (b) Desvios-padrão das componentes de base e da distância entre os centros perspectivos (c) Médias das componentes de base e da distância entre os centros perspectivos (d) Desvios-padrão dos valores dos ângulos de orientação relativa.