

TESTES DE CALIBRAÇÃO COM O MODELO DE CORREÇÃO DAS LENTES DO SOFTWARE FLEXCOLOR - HASSELBLAD

ROBERTO DA SILVA RUY
ANTONIO MARIA GARCIA TOMMASELLI
MAURICIO GALO
JULIO KIYOSHI HASEGAWA
THIAGO TIEDTKE DOS REIS

Universidade Estadual Paulista - UNESP
Faculdade de Ciências e Tecnologia - FCT
Departamento de Cartografia, Presidente Prudente - SP
rruy@pos.prudente.unesp.br
{tomaseli, galo, hasegawa}@fct.unesp.br
tiedtke@gmail.com

RESUMO – O presente trabalho apresenta uma análise experimental do recurso de correção de distorção das lentes do software Flexcolor da Hasselblad, presente a partir da versão 4.8.1 do software para os modelos de câmara digital Hasselblad H3D. Este recurso, que é optativo, aplica automaticamente uma reamostragem na imagem com correção do efeito de distorção radial simétrica da lente Hasselblad. Para avaliar o impacto desta correção sobre as imagens para as aplicações em Fotogrametria, testes de calibração com duas câmaras Hasselblad H3D-39 Megapixels foram conduzidos. Nestes testes, dois conjuntos de imagens por câmara (com e sem correção) foram processados no software CMC (Calibração Multi-Câmaras). Os resultados obtidos mostraram grande eficiência do recurso de correção de distorção das lentes do software Flexcolor, uma vez que o efeito de distorção sobre as imagens foi praticamente anulado.

ABSTRACT – This paper presents an experimental analysis of the lens distortion algorithm of the Hasselblad Flexcolor software, which is available from the version 4.8.1 for the Hasselblad H3D digital camera models. This algorithm, which is optional, applies an automatic resampling in the image considering the correction of the radial symmetric distortion of the Hasselblad lens. For verifying the impact of this algorithm in the images for Photogrammetric applications, some calibration tests with two Hasselblad H3D-39MP cameras were performed. In these tests, two sets of images per camera (with and without correction) were processed in the CMC (Multi-Camera Calibration) software. The obtained results showed that the distortion effect in the correct images was almost zero.

1 INTRODUÇÃO

O uso de câmaras digitais de pequeno e médio formato tem se tornado uma alternativa cada vez mais considerada em aplicações em Fotogrametria, frente às tradicionais câmaras analógicas e aos modernos sensores digitais de grande formato. Estes modelos de câmaras têm como vantagens a grande disponibilidade no mercado, flexibilidade e custo mais acessível.

Em alguns países, como no Canadá e nos EUA, estas câmaras estão sendo rotineiramente utilizadas, existindo normas específicas para o uso e calibração destes sensores (BRITISH COLUMBIA, 2007).

Como exemplo, tem-se a câmara digital profissional de médio formato Hasselblad H3D, com resolução de 39 megapixels. Este modelo de câmara

integra os sistemas SAAPI (RUY et al, 2007) e DigiCam (DIGICAM, 2008).

Para a importação e gerenciamento das imagens adquiridas pelas câmaras Hasselblad é usado o software Flexcolor. A partir da versão 4.8.1 do software Flexcolor, a Hasselblad disponibiliza um algoritmo de correção do efeito de distorção das lentes. Este recurso é opcional no momento de importação das imagens, e consiste na reamostragem da imagem compensando o efeito de distorção radial simétrica.

Dentro deste contexto, este trabalho apresenta testes de calibração com imagens tomadas sobre o campo de calibração da FCT/UNESP com duas câmaras Hasselblad H3D-39MP, que integram o sistema SAAPI. Foram consideradas imagens com e sem a correção prévia

de distorção do software Flexcolor, e os resultados foram analisados comparativamente.

2 PROGRAMA CMC

O programa CMC (Calibração Multi-Câmaras) foi desenvolvido em um projeto de pesquisa em parceria entre a empresa Engemap Engenharia, Mapeamento e Aerolevantamento Ltda. e o Grupo de Pesquisa em Fotogrametria da UNESP de Presidente Prudente. O CMC permite a calibração simultânea de três câmaras digitais, com opções adicionais de orientação relativa entre câmaras e correções de modelos de erros de trajetória GPS/INS.

O modelo matemático é baseado nas equações de colinearidade estendida aos parâmetros de calibração (deslocamento do ponto principal, distorções ópticas e afinidade - MIKHAIL et al, 2001; Dorstel et al, 2003; FRYER, 1996), estruturado de forma que se possam selecionar quaisquer combinações entre os parâmetros.

As equações de orientação relativa foram desenvolvidas de modo que possam ser aplicadas injunções de estabilidade geométrica entre pares de câmaras na plataforma de coleta, conforme descrito em Bazan (2008).

Para o caso em que se considere o uso de sistema de georreferenciamento direto, equações que modelam os erros de trajetória do sistema GPS/INS (*shift*, *drift*) são também consideradas no processamento. Estes parâmetros absorvem deslocamentos lineares e derivas proporcionais ao tempo decorrente na faixa de voo. Maiores detalhes podem ser encontrados em Burman (1999).

3 EXPERIMENTOS E ANÁLISES

O Flexcolor é o software da Hasselblad que gerencia a transferência das imagens das unidades de armazenamento das câmaras para o computador. As imagens são transferidas no formato bruto, cuja extensão é (.fff), e podem ser salvas nos formatos (.tiff) e (.jpeg) a partir do software Flexcolor. Além disso, o software permite algumas opções de pré-processamento após a importação das imagens das unidades de armazenamento,

como ajustes de histograma, brilho e contraste. Na nova versão do software (versão 4.8), há uma ferramenta que possibilita a correção de distorção das lentes e correção de vinhete para câmaras Hasselblad modelos H3D. Estas correções, segundo o fabricante, foram implementadas no software Flexcolor com base no conhecimento de fabricação das lentes. A correção da distorção pode ou não ser aplicada sobre a imagem antes de salvá-la para o formato de saída (*tiff* ou *jpeg*). Trata-se de uma reamostragem na imagem para a correção do efeito de distorção radial.

Considerando o recurso de correção de distorção das lentes presente no software Flexcolor, alguns testes com o programa de calibração (CMC) foram desenvolvidos. Dois conjuntos de 16 imagens foram adquiridos sobre o campo de calibração da FCT/UNESP com duas câmaras Hasselblad (um conjunto por câmara). As imagens foram transferidas para o computador e foram gerados quatro conjuntos de imagens salvas no formato *tiff*, conforme descrito abaixo:

- Imagens da câmara 1 sem a correção de distorção das lentes;
- Imagens da câmara 1 com a correção de distorção das lentes;
- Imagens da câmara 2 sem a correção de distorção das lentes;
- Imagens da câmara 2 com a correção de distorção das lentes;

As coordenadas de imagem dos alvos do campo de calibração foram medidas no software MID (desenvolvido por Mario L. L. Reiss em sua dissertação de Mestrado: Reiss, 2002) com precisão subpixel. Foram considerados 54 alvos de controle e mais de 20 pontos fotogramétricos. Os quatro conjuntos de imagens foram processados no programa CMC, e os parâmetros estimados encontram-se apresentados na Tabela 1. Foram considerados os parâmetros relacionados a distância focal (f), coordenadas do ponto principal (x_0, y_0) e os coeficientes k_1 e k_2 de distorção radial simétrica. Estes parâmetros são os mais significativos em câmaras com lentes profissionais, de acordo com testes já realizados com estas câmaras.

Tabela 1 - Parâmetros de orientação interior determinados na calibração para as duas câmaras Hasselblad.

	A	B	C	D
f (mm)	50,2220 +/- 0,0066	49,8528 +/- 0,0056	50,0651 +/- 0,0135	49,8132 +/- 0,0081
x_0 (mm)	-0,0192 +/- 0,0020	-0,0171 +/- 0,0015	-0,1354 +/- 0,0050	-0,2642 +/- 0,0032
y_0 (mm)	-0,0367 +/- 0,0022	-0,0060 +/- 0,0018	-0,2007 +/- 0,0062	0,0123 +/- 0,0034
k_1 (mm ⁻²)	-2,6932 * 10⁻⁵ +/- 1,8258 * 10 ⁻⁷	-2,9636 * 10⁻⁸ +/- 9,9408 * 10 ⁻⁸	-2,5597 * 10⁻⁵ +/- 3,2667 * 10 ⁻⁷	-5,5462 * 10⁻⁷ +/- 1,3213 * 10 ⁻⁷
k_2 (mm ⁻⁴)	1,0443 * 10⁻⁸ +/- 4,1523 * 10 ⁻¹⁰	5,1208 * 10⁻¹⁰ +/- 1,4523 * 10 ⁻¹⁰	7,7913 * 10⁻⁹ +/- 7,0253 * 10 ⁻¹⁰	8,5352 * 10⁻¹⁰ +/- 1,5618 * 10 ⁻¹⁰

Para apresentar graficamente os resultados, a Figura 1 traz as curvas de distorção, com e sem a correção

prévia de distorção, para as câmaras 1 (Figura 1a) e 2 (Figura 1b). As curvas foram calculadas a partir dos

valores dos coeficientes de distorção radial simétrica (k_1, k_2) calculados no processo de calibração (Tabela 1).

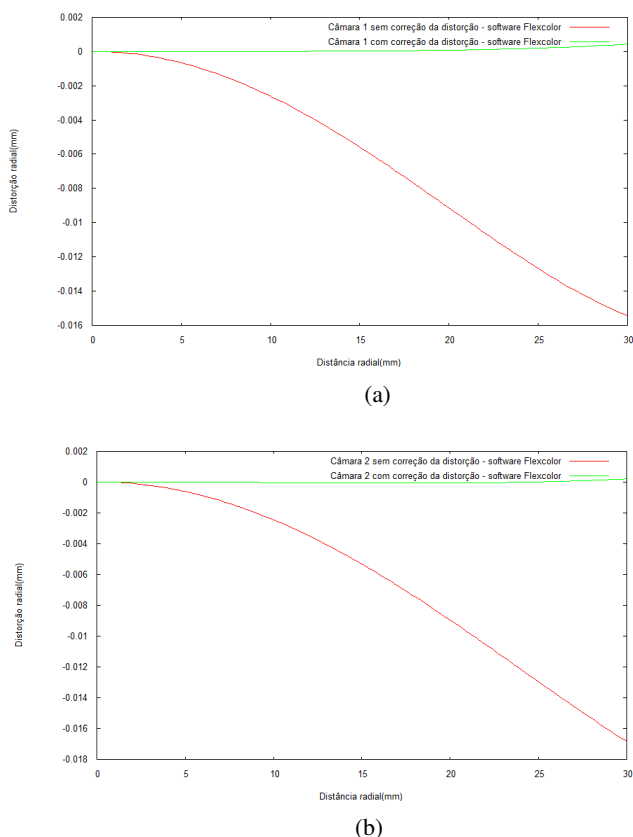


Figura 1: Curvas de distorção das lentes: (a) curvas da câmara 1 com e sem a correção de distorção do software Flexcolor, (b) curvas da câmara 2 com e sem a correção de distorção do software Flexcolor.

Com os resultados apresentados pode-se verificar que os valores dos coeficientes de distorção radial (k_1, k_2) foram reduzidos a valores residuais quando considerada a correção de distorção óptica do software Flexcolor (colunas A em relação a B, e C em relação a D – Tabela 1). Conforme mostra a Figura 1, para a distância radial igual a 30 mm (extremidades das imagens), as distorções nas imagens sem correção prévia (A e C) ficam em torno de 2,4 pixels (0,015-0,016 mm), enquanto que nas imagens pré-corrigidas (B e D) são próximas a zero (0,0003 mm – 0,04 pixel).

Além disso, como esta ferramenta de correção da distorção é aplicada sobre as imagens, tem-se um processo de reamostragem das imagens, que produziu um efeito de escala, conforme verificado pelos valores de distância focal resultantes, em comparação com a distância focal nominal das câmaras, que é 50,3 mm.

Vale destacar ainda que, como a correção de distorção é realizada em relação ao centro da imagem, a posição do ponto principal, definida pelas coordenadas (x_0, y_0) , não é considerada, e seus valores de coordenadas são alterados.

Para verificar a acurácia no espaço objeto, a Tabela 2 apresenta as discrepâncias nos pontos de verificação, assim como os valores de média e Erro Médio Quadrático (EMQ).

Tabela 2 - Discrepâncias nos pontos de verificação (em metros) para os testes de calibração.

		Ponto de verificação				Média	EMQ
		102	110	116	121		
A	X	0,000	-0,001	-0,004	-0,004	-0,002	0,003
	Y	0,002	0,001	0,003	0,001	0,002	0,002
	Z	0,002	0,001	-0,005	0,000	-0,001	0,003
B	X	0,000	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	0,001
	Y	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001
	Z	0,002	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002
C	X	0,002	-0,005	-0,020	0,001	-0,005	0,010
	Y	0,006	0,001	0,009	0,002	0,004	0,006
	Z	0,002	0,000	0,009	-0,019	-0,012	0,019
D	X	0,001	-0,001	-0,007	-0,003	-0,003	0,004
	Y	0,003	0,002	0,004	0,000	0,002	0,003
	Z	0,002	0,001	-0,007	0,000	-0,001	0,004

Pelos valores apresentados na Tabela 2 verifica-se que as calibrações realizadas com as imagens corrigidas da distorção óptica pelo software Flexcolor apresentaram maior acurácia no espaço objeto. Os pontos 116 e 121, que apresentaram em alguns casos maior erro nas componentes de coordenadas, encontram-se localizados nas extremidades do campo de calibração. Deste modo, estes pontos ficam localizados próximos as bordas das imagens, e sofreram maior influência dos efeitos de distorção óptica. Conseqüentemente, seus resíduos e seus erros no espaço objeto foram mais significativos, fundamentalmente nas imagens que não foram previamente corrigidas da distorção (A e C).

Para verificar se os valores residuais obtidos nas calibrações realizadas com as imagens pré-corrigidas (Tabela 1 e Figura 1) são significativos, realizou-se uma fototriangulação no programa CMC fixando os parâmetros de distância focal e coordenadas do ponto principal nos valores calculados (Tabela 1) e os coeficientes de distorção óptica (k_1, k_2) como zero. Deste modo, observaram-se os resultados no espaço objeto, a partir das discrepâncias nos pontos de verificação, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Discrepâncias nos pontos de verificação (em metros) para os testes de Fototriangulação.

		Ponto de verificação				Média	EMQ
		102	110	116	121		
A	X	-0,005	-0,004	-0,051	0,028	-0,008	0,029
	Y	0,014	0,005	0,003	-0,021	0,000	0,013
	Z	0,017	0,012	0,014	0,033	0,019	0,021
B	X	0,000	-0,001	-0,001	-0,002	-0,001	0,001
	Y	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001
	Z	0,002	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002
C	X	0,002	-0,008	-0,100	0,028	-0,020	0,052
	Y	0,010	0,004	0,000	-0,024	-0,003	0,013
	Z	0,018	0,008	0,011	0,048	0,021	0,027
D	X	0,001	-0,001	-0,008	-0,003	-0,003	0,004
	Y	0,003	0,002	0,004	0,000	0,002	0,003
	Z	0,002	0,001	-0,007	0,000	-0,001	0,004

Tabela 4 - Discrepâncias nos pontos de verificação (em metros) para os testes de Fototriangulação com dados nominais.

		Ponto de verificação				Média	EMQ
		102	110	116	121		
A	X	-0,005	-0,004	-0,050	0,027	-0,008	0,029
	Y	0,015	0,006	0,002	-0,022	0,000	0,014
	Z	0,018	0,013	0,019	0,037	0,022	0,024
B	X	-0,001	-0,002	0,002	-0,016	-0,004	0,008
	Y	0,006	0,003	0,002	-0,003	0,002	0,004
	Z	0,000	0,005	0,019	0,024	0,012	0,016
C	X	0,000	-0,008	-0,101	0,016	-0,023	0,051
	Y	0,013	0,005	-0,001	-0,023	-0,001	0,013
	Z	0,013	0,010	0,016	0,059	0,025	0,032
D	X	0,004	-0,005	-0,014	-0,030	-0,011	0,017
	Y	0,011	0,005	0,007	-0,002	0,005	0,007
	Z	0,000	0,004	-0,004	0,028	0,007	0,014

A partir dos resultados apresentados na Tabela 3, em comparação com os resultados mostrados na Tabela 2, verifica-se que ao se desconsiderar a distorção óptica nas imagens pré-corrigidas (B e D) a acurácia no espaço objeto não foi prejudicada, mostrando que os valores residuais obtidos não foram significativos. Já, no caso das imagens que não foram previamente corrigidas, a distorção foi considerada significativa, uma vez que as discrepâncias nos pontos de verificação foram cerca de 6 a 7 vezes superiores aos valores apresentados na Tabela 1.

Em outra situação analisada foi considerada a distância focal nominal das câmaras Hasselblad (50,3 mm) e as coordenadas do ponto principal e distorções ópticas como nulas. Isso simula a situação em que um usuário não tem acesso à processos de calibração e dispõe apenas dos dados nominais das câmaras.

A partir destes dados, uma fototriangulação dos quatro blocos analisados foi realizada, e a Tabela 4 apresenta os resultados obtidos nos pontos de verificação.

Conforma já era esperado, a ausência dos valores calibrados dos parâmetros de orientação interior prejudicou a reconstrução tridimensional dos pontos no espaço objeto, conforme apresentado na Tabela 4.

A degradação de qualidade ficou em torno de 8 vezes para a câmara 1 e 4 vezes para a câmara 2 em comparação com os resultados apresentados na Tabela 2, na qual todos os valores calibrados foram considerados.

Já com relação aos valores da Tabela 3, onde somente a distorção das lentes foi desconsiderada, a degradação de qualidade sobre as imagens pré-corrigidas (B e D) ficou na ordem de 4 vezes.

Nas imagens sem correção prévia (A e C), os resultados apresentados nas Tabelas 3 e 4 foram similares. Isso pode ser explicado pelo fato do valor de distância focal nominal da câmara ser mais próximo do valor calibrado nas situações A e C, o que não ocorre com as imagens pré-refinadas que foram reamostradas e sofreram uma variação de escala. Percebe-se apenas uma pequena variação na componente Z para as situações A e C apresentadas na Tabelas 3 em relação a Tabela 4.

Além disso, as coordenadas do ponto principal obtidas na calibração (Tabela 1) não apresentam grande magnitude, principalmente na câmara 1, fato este que não contribui para uma degradação acentuada da acurácia de pontos no espaço objeto nas situações em que estes parâmetros são desconsiderados.

Em testes anteriores com modelos de câmaras já descontinuados da Hasselblad (H1D-22 Megapixels) observava-se um deslocamento do ponto principal com valor mais acentuado (40 – 70 pixels). Com isso, tomando-se como base as câmaras utilizadas nestas pesquisas, verificou-se que a construção interna das câmaras tornou-se mais precisa nos modelos mais modernos (H3D).

4 CONCLUSÕES

Pelos testes realizados verificou-se que os processamentos de calibração realizados com as imagens pré-corrigidas apresentaram parâmetros de distorção (k_1 , k_2) praticamente nulos, com efeitos na ordem do décimo do pixel na borda da imagem.

Para as imagens que não foram corrigidas pelo software Flexcolor, os parâmetros de distorção calculados permitiram a reconstrução precisa dos pontos no espaço objeto (Tabela 2), contudo não podem ser negligenciados, visto que o efeito na borda da imagem ficou em torno de 2,4 pixels.

Desta forma, para os testes realizados, verificou-se que o uso do algoritmo de correção da distorção das lentes do software Flexcolor pôde ser usado com grande potencialidade, uma vez que ele praticamente elimina a distorção radial simétrica na imagem.

Por fim, destaca-se que os experimentos apresentados neste trabalho foram realizados com imagens coletadas no campo de calibração terrestre, sendo que novos testes desta natureza serão realizados com imagens aéreas.

AGRADECIMENTOS

Os autores desejam externar os agradecimentos à empresa Engemap Engenharia, Mapeamento e Aerolevantamento Ltda., pela cessão dos dados utilizados no trabalho e à FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), que financiou via projeto PIPE a aquisição dos equipamentos.

REFERÊNCIAS

BAZAN, W. S., 2008. Calibração de um sistema dual de câmaras digitais. **Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas)** – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

BRITISH COLUMBIA. Small and Medium format digital camera specifications. Canadian: British Columbia, March-2007. Disponível em: <<http://ilmbwww.gov.bc.ca/bmgs/pba/trim/specs/#digitalcam>>. Acesso em: 27 jan. 2008.

BURMAN, H. Using GPS and INS for orientation of aerial photography. In: **ISPRS Workshop “Direct versus Indirect methods of sensor orientation”**, Barcelona, 1999, pp. 148-157.

DIGICAM. Germany: **IGI-Systems**, 2008. Apresenta informações sobre o sistema DigiCAM. Disponível em: <<http://www.igi-systems.com/products/digicam.htm>>. Acesso em: 03 Mar. 2008.

DÖRTSEL, C.; JACOBSEN, K.; STALLMANN, D. DMC – Photogrammetric Accuracy – Calibration Aspects and Generation of synthetic DMC images. **Optical 3D**

Measurement Techniques VI, Vol. 1, Zurich, Switzerland, pp. 74-82, 2003.

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.

MIKHAIL, E. M., BETHEL, J. S. MCGLONE, J. C. **Introduction to Modern Photogrammetry**. Inc. New York : John Wiley & Sons, 2001, 479p.

REISS, M. L. L., 2002. Restituição fotogramétrica flexível de imagens à curta distância: estudo de métodos e desenvolvimento de protótipo. **Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas)** – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

RUY, R. et al. SA-API – A lightweight airborne image acquisition system: design and preliminary tests. In: 7th Geomatic Week, 2007, Barcelona. **Proceedings of 7th Geomatic Week**, Barcelona: Institut de Geomatica, February 2007.