

## Atualização e geração de produtos cartográficos a partir de imagens obtidas com câmaras analógica e digital

José Marcato Junior <sup>1</sup>  
Ana Paula da Silva Marques <sup>1</sup>  
Caio Domingues Reina <sup>1</sup>  
Guilherme Mauerberg Kerper <sup>1</sup>  
Fernanda Serra da Rocha <sup>1</sup>  
Júlio Kiyoshi Hasegawa <sup>1</sup>  
Mônica Modesta Santos Decanini <sup>1</sup>  
João Carlos Chaves <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Faculdade de Ciências e Tecnologia FCT – Unesp/SP  
Caixa Postal 468 – 19060-900 – Presidente Prudente - SP, Brasil  
{jrmarcato, marques.engcart, cdreina, guikerper}@gmail.com  
fernanda.serra@yahoo.com.br  
{hasegawa, monca, jcchaves}@fct.unesp.br

**Abstract.** The camera is one of the most fundamental device in Photogrammetry field. Considering the geometry, the cameras can be divided in metric and non-metric. The metric cameras are composed by high quality lenses and are used only for mapping purposes. The digital non-metric camera has been more frequently used in photogrammetric projects, providing advantages like: low cost, if compared with the metric cameras; small size, lighter and easy handling. In this context, this paper presents an updating process of FCT/Unesp base map, using images collected by different sensors. It was adopted aerial images collected by the analogical metric camera Wild RC10 in 2003 and by the digital non-metric camera Hasselblad H1D in 2007. It was also generated an ortophoto of the FCT/Unesp. All the photogrammetric process (phototriangulation, restitution, TIN - Triangulated irregular Network- generation and edition, ortophoto generation) was accomplished in LPS (Leica Photogrammetry Suite) software. It was verified that the use of images collected by the digital non-metric camera provide good results in all photogrammetric stages.

**Palavras-chave:** photogrammetry, non-metric cameras, phototriangulation, restitution, fotogrametria, câmaras não métricas, fototriangulação, restituição.

### 1. Introdução

Tradicionalmente, Fotogrametria é definida como uma ciência e arte de obter medidas confiáveis por meio de fotografias. Com o advento de novos tipos de sensores, uma definição mais abrangente de Fotogrametria foi proposta, em 1979, pela Sociedade Americana de 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).

A câmara consiste em um dos principais dispositivos na Fotogrametria, pois, com seu uso obtêm-se imagens, das quais se originam os produtos fotogramétricos (WOLF e DEWITT, 2000). As câmaras fotogramétricas quanto à sua característica geométrica podem ser divididas em métricas e não métricas.

As câmaras métricas são dotadas de lentes com alta qualidade geométrica, e são constituídas de forma a apresentarem características específicas, garantindo a conformidade da projeção perspectiva do modelo, ou seja, a geometria e a estabilidade dos feixes de raios que originam as imagens. Ao passo que as câmaras não métricas, não foram projetadas para fins fotogramétricos, uma vez que não possuem lentes de alta qualidade e seus componentes internos não foram montados para garantir a estabilidade geométrica dos feixes de raios que originam a imagem (WOLF e DEWITT, 2000).

Como a utilização de câmaras métricas se torna, em muitos casos, inviável, devido aos custos elevados, as câmaras não métricas vêm sendo utilizadas com frequência em Fotogrametria, mesmo não sendo projetadas para esta finalidade. Experimentos realizados por Habib e Morgan (2003) e Machado et al. (2003) mostraram que essa instabilidade dos parâmetros de orientação interior não afeta significativamente os resultados e, se essas câmaras forem devidamente calibradas podem proporcionar informações confiáveis. Além de possuírem custos reduzidos quando comparadas com as câmaras métricas, existem outras vantagens no uso deste tipo de câmara, podendo-se citar: grande disponibilidade no mercado e; são pequenas, leves e de fácil manejo.

Neste sentido, o objetivo principal deste trabalho consistiu em realizar a atualização da base cartográfica da FCT/Unesp, utilizando imagens coletadas com a câmara digital não-métrica Hasselblad H1D no ano de 2007 e produzir uma ortofoto da área de estudo. A base cartográfica foi gerada a partir de imagens obtidas com a câmara analógica métrica Wild RC10 em 2003.

## **2. Processos Fotogramétricos**

Apresenta-se a seguir a descrição dos processos de fototriangulação e restituição, os quais foram aplicados neste trabalho.

Lugnani (1987) define fototriangulação como sendo um método fotogramétrico, no qual se determina as coordenadas dos pontos no espaço objeto por meio da relação geométrica de fotos adjacentes devidamente tomadas; de um esparso controle de campo dado para definir o sistema do espaço objeto; e de um conjunto de valores aproximados de parâmetros.

A restituição consiste em um processo de “reconstrução” do terreno fotografado a partir da interseção dos raios (equações de colinearidade) definidos pelos pontos homólogos nos estereopares. Assim, como resultado da restituição, tem-se um modelo óptico tridimensional, denominado modelo estereoscópico do terreno fotografado (ANDRADE, 1998). Neste sentido, a partir do conhecimento da posição de pontos no estereomodelo, torna-se possível representar feições no terreno em um sistema de projeção cartográfica. Como produto final da restituição, tem-se uma carta ou um mapa do terreno fotografado.

Além da carta ou mapa, gerados na restituição, outros produtos podem ser gerados aplicando-se técnicas fotogramétricas, cabendo destacar o DTM (*Digital Terrain Model – Modelo Digital do Terreno*) e a Ortofoto.

Miller e LaFlamme definiram DTM como sendo uma representação estatística da superfície contínua da terra, a partir um grande número de pontos com coordenadas tridimensionais conhecidas e referenciadas a um sistema de coordenadas arbitrário (EL-SHEIMY et al., 2005).

Segundo Mikhail et al. (2001), uma ortofoto é uma foto baseada na projeção ortográfica, ao passo que a foto regular tem por geometria a perspectiva central. De acordo com Andrade (1998), uma ortofoto digital consiste em uma imagem digital em projeção cartográfica. Para gerar uma ortofoto digital a partir de uma imagem aérea digital é necessário conhecer os parâmetros de orientação interior e exterior da câmara no instante da tomada da aerofoto, bem como o modelo digital do terreno no sistema cartográfico requerido.

## **3. Atualização da base cartográfica e geração da ortofoto**

Os materiais disponibilizados por Prado et al. (2006), e utilizados como base da atualização da FCT/Unesp, consistiram em: carta planialtimétrica na escala 1:2000, sistema de referência SIRGAS 2000 e sistema de projeção UTM (MC 51°W e Fuso 22), classificada como Classe A, segundo o PEC – Padrão de Exatidão Cartográfica e; bloco de imagens fototriangulado. O bloco, conforme Figura 1, era composto por duas faixas de fotos, sendo a primeira faixa formada por sete fotos e a segunda por três fotos, da região de Presidente

Prudente. As imagens, digitalizadas com uma resolução de 1200 dpi's (*Dots per Inch* - pontos por polegada), cujo GSD (*Ground Sample Distance* - elemento de resolução no terreno) é de 20 centímetros, foram coletadas com a câmara analógica métrica Wild RC10 em vôo realizado sobre a FCT/Unesp no ano de 2003.

Para atualizar a base cartográfica da Unesp foi utilizado um bloco de imagens digitais, composto por três imagens (Figura 2), coletadas no ano de 2007. As imagens, com GSD de 20 cm, foram obtidas com a câmara digital não-métrica Hasselblad H1D (22 Megapixels), que integra o sistema SAAPI - Sistema Aerotransportado de Aquisição e Pós-processamento de Imagens digitais (RUY et al., 2007) da empresa Engemap.

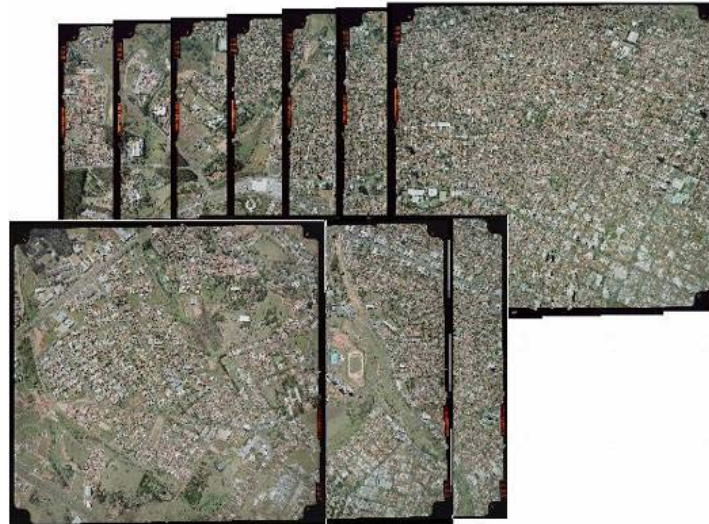


Figura 1: Foto-índice das imagens coletadas com a câmara métrica Wild RC10 em 2003.



Figura 2: Foto-índice das imagens coletadas com a câmara Hasselblad H1D em 2007.

A seguir, apresenta-se o processo de fototriangulação do bloco de imagens obtido por ambas as câmaras (Wild RC10 e Hasselblad H1D), bem como os processos de restituição e geração da ortofoto.

### 3.1 Fototriangulação do bloco de imagens obtidas por sensores analógico e digital

O bloco de imagens utilizado foi formado pelas 10 (dez) imagens coletadas com câmara analógica (Figura 1) e por 3 (três) imagens coletadas com a câmara digital Hasselblad H1D (Figura 2).

A fototriangulação do bloco de imagens foi realizada no software LPS (*Leica Photogrammetry Suite*). O programa LPS não permite que se realize, em um mesmo projeto, o processo de fototriangulação com imagens obtidas por câmaras digitais e analógicas. Assim,

a solução encontrada consistiu na definição de um segundo tipo de câmara analógica, tendo como dados de entrada os parâmetros de orientação interior da câmara digital Hasselblad H1D.

Cabe ressaltar que no processo de fototriangulação a única diferença operacional entre os dois tipos de câmaras, analógica e digital, consiste na medição das marcas fiduciais. Assim, como o quadro (matriz dos CCDs) das câmaras digitais não possuem marcas fiduciais e tem tamanho fixo, considerou-se os cantos dessas imagens como sendo as “marcas fiduciais”.

A câmara Hasselblad H1D foi previamente calibrada no campo de calibração da FCT/Unesp de Presidente Prudente, o qual dispõe de 54 alvos, cujas coordenadas foram precisamente determinadas por intersecção a vante ( $\sigma = \pm 3$  mm). Os parâmetros de calibração, determinados por Bazan et al. (2007) utilizando o aplicativo científico CC (GALO, 1993), são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Dados de calibração da câmara Hasselblad H1D.

$f$ (mm)	$50,1705 \pm 0,0051$
$x_0$ (mm)	$-0,0816 \pm 0,0030$
$y_0$ (mm)	$-0,7294 \pm 0,0021$
$K_1$ (mm <sup>-2</sup> )	$-2,8480 \times 10^{-05} \pm 0,6909 \times 10^{-07}$
$K_2$ (mm <sup>-4</sup> )	$1,3186 \times 10^{-08} \pm 0,4029 \times 10^{-09}$

Na Figura 3, apresenta-se a distribuição dos pontos de apoio, verificação e enlace, medidos no LPS para realizar a fototriangulação.

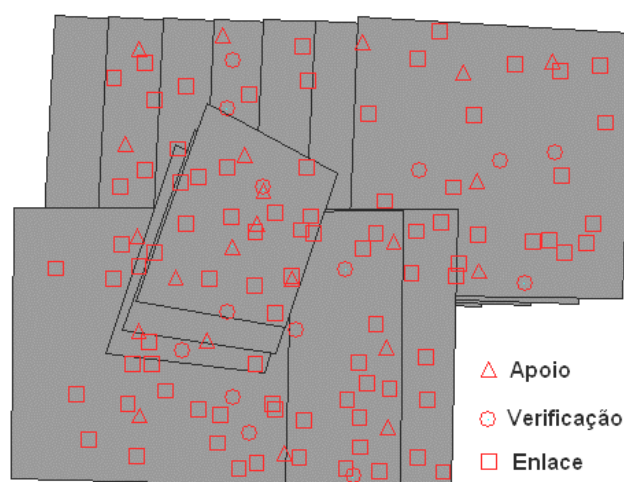


Figura 3: Distribuição dos pontos de apoio, verificação e enlace no bloco de imagens.

Na Figura 4 apresenta-se o resultado da fototriangulação com as 13 imagens (10 imagens coletadas com a câmara Wild RC10 e três imagens da câmara Hasselblad H1D).

Ao analisar a Figura 4, verifica-se um erro médio quadrático (EMQ) bastante pequeno nos resíduos das observações, cerca de 0,02 pixels. Nas componentes planimétricas (X e Y) dos pontos de verificação obteve-se um EMQ de aproximadamente 1 GSD (20 centímetros) e na componente altimétrica (Z) um EMQ de aproximadamente 2 GSD (40 centímetros), sendo portanto estes resultados compatíveis com o esperado em um processo de fototriangulação.

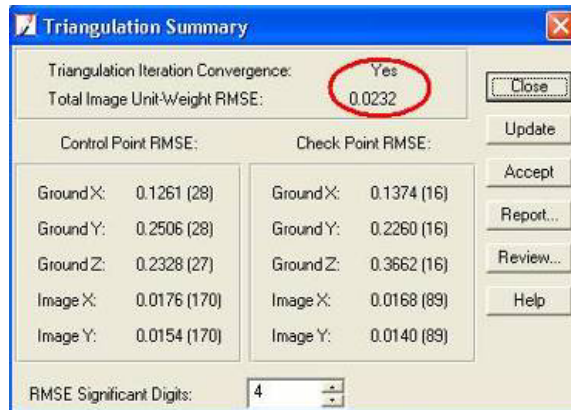


Figura 4: Resultado da fototriangulação.

### 3.2 Restituição

A base cartográfica foi atualizada no LPS, utilizando o módulo PRO600, que permite fazer a restituição das feições visualizadas no modo estéreo, sendo este módulo responsável por fazer a interligação entre o LPS e o software CAD (nesse caso o *Bentley Microstation*).

Nas Figuras 5 e 6 apresenta-se, respectivamente, o exemplo da Central de Laboratórios em formato *raster* e em formato vetorial (após a aplicação do processo de restituição).



Figura 5: Exemplo da Central de Laboratório no formato *raster*.

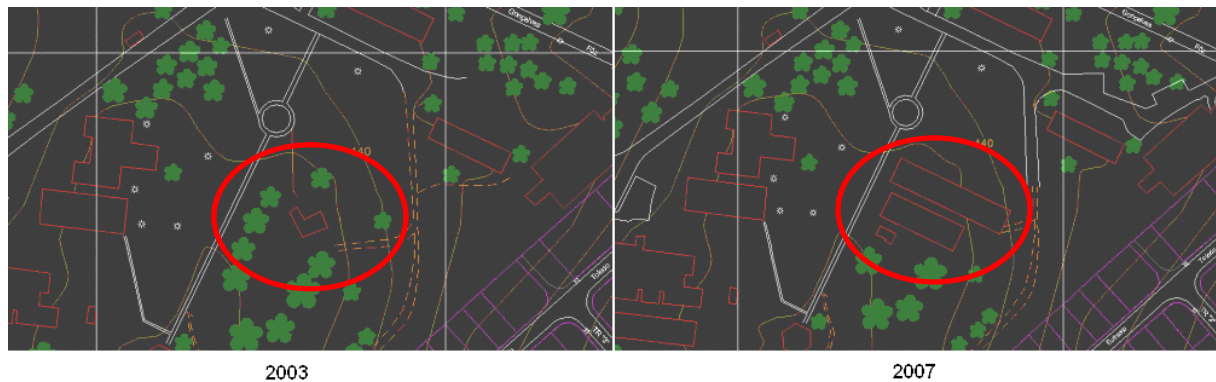


Figura 6: Exemplo da Central de Laboratório no formato vetorial - após aplicação do processo de restituição.

Após a restituição foi realizada a verificação da qualidade da atualização, tendo por base o decreto nº 89.817, o qual apresenta as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Para tanto foram selecionados 10 pontos na restituição para verificação em campo com o GPS.

Segundo Merchant (1982) apud Nogueira (2003), a análise de exatidão de um mapa contempla duas etapas, as quais consistem em analisar as tendências e a precisão, respectivamente. Para realizar essas análises foram calculadas as estatísticas, média e desvio-padrão das discrepâncias amostrais nas componentes E, N e H, as quais são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Média e desvio-padrão das discrepâncias amostrais nas componentes E, N e H.

	E	N	H
Média(m)	0,153	-0,149	0,136
Desvio-Padrão(m)	0,420	0,338	0,494

Na análise de tendência foi utilizado o teste *t de student* com um nível de significância de 10%. Os valores calculados para este teste, considerando o PEC Classe A, foi de 1,15, -1,39 e 0,86 para as componentes E, N e H, respectivamente. Como o valor tabelado é de 2,26 (GEMAEL, 2004), a carta passou no teste de análise de tendência.

Para análise da precisão foi utilizado o teste *qui-quadrado* também com um nível de significância de 10%. Considerando o Erro Padrão para a Classe A do PEC obtiveram-se os seguintes valores calculados do *qui-quadrado* para as componentes E, N e H das coordenadas, respectivamente: 8,83, 5,69 e 4,93. Portanto, como o valor do *qui-quadrado* tabelado é de 14,68(GEMAEL, 2004), a carta atende a precisão preestabelecida para o PEC Classe A.

### 3.3 Geração da ortofoto

No processo de elaboração da ortofoto, inicialmente, gerou-se o TIN (*Triangulated irregular Network* – Rede de triângulos irregulares) no LPS, fazendo-se uso de técnicas de correlação e *matching* de imagens. Muitos pontos do TIN, gerado neste processamento, se encontravam sobre árvores e edificações. Assim, como o objetivo consistia em gerar o modelo digital do terreno, foi necessário realizar a edição do TIN. A edição foi realizada no LPS e consistiu em eliminar os pontos que se encontravam sobrepostos às árvores e edificações, e também em atribuir um valor de Z constante em locais planos, quais sejam: quadras esportivas, campo de futebol, etc. Na Figura 7 apresenta-se os pontos do TIN editado.



Figura 7: TIN, editado no LPS, da região do *campus* da FCT/Unesp.

A etapa posterior consistiu em gerar a ortofoto no LPS (Figura 8). Para tanto foi utilizado o TIN editado e como tamanho do pixel na ortofoto foi atribuído o valor de 20 centímetros, similar ao GSD das imagens digitais.



Figura 8: Ortofoto gerada no LPS, da região do *campus* da FCT/Unesp.

#### 4. Considerações finais

O objetivo principal deste trabalho consistiu em realizar a atualização da base cartográfica da FCT/Unesp, gerada a partir de imagens obtidas com a câmara analógica métrica Wild RC10 em 2003, utilizando imagens coletadas com a câmara digital não-métrica Hasselblad H1D no ano de 2007, e, além disso, produzir uma ortofoto da área de estudo.

Neste sentido, este trabalho se mostrou de grande relevância, pois além de utilizar imagens obtidas por diferentes sensores no processo de atualização da área de interesse, fez uso de imagens coletadas pela câmara digital não-métrica Hasselblad H1D, a qual, mesmo não sendo projetada para fins de mapeamento, proporcionou resultados bastante satisfatórios, permitindo classificar, segundo o PEC, a carta, na escala 1:2000, como Classe A.

Verifica-se também a viabilidade da técnica aplicada, pois, além do uso de imagens coletadas pela câmara digital não métrica Hasselblad H1D, não houve a necessidade de levantar pontos de apoio para realizar a atualização.

Recomenda-se que em trabalhos futuros seja realizada a validação tanto do DTM quanto da ortofoto, gerados neste trabalho.

#### 5. Agradecimentos

Os autores desejam externar os sinceros agradecimentos à empresa Engemap Engenharia, Mapeamento e Aerolevantamento Ltda. pela cessão das imagens utilizadas neste trabalho.

#### 6. Referências

ANDRADE, J. B. **Fotogrametria**. SBEE. Curitiba PR, 1998.

BAZAN, W. S.; TOMMASELLI, A. M. G.; GALO, M. Calibração de um sistema dual de câmaras digitais convergentes. In: **II Simpósio Brasileiro de Geomática e V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas**, 2007, Presidente Prudente. Anais. Presidente Prudente: Universidade Estadual Paulista, 2007. v. 1. p. 726-734.

**Brasil, Decreto n. 89.817 de 20 de junho de 1984**. Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Brasília, Diário Oficial da União, 1984.

EL-SHEIMY, N.; VALEO, C.; HABIB, A. **Digital Terrain Modeling**: acquisition, manipulation, and applications. U.S.A, 2005.

GALO, M. **Calibração e aplicação de câmaras digitais**. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1993.

GEMAEL, C. **Introdução ao Ajustamento de Observações: Aplicações Geodésicas**. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1994.

HABIB, A. F.; MORGAN, M. F. Small format digital cameras for mapping applications: Calibration and Stability Analysis. In: **Série em Ciências Geodésicas**. v. 3, Curitiba, 2003.

MACHADO, A. M. L. et al. Verificação da estabilidade geométrica dos parâmetros de calibração uma câmara digital não métrica de pequeno formato Sony Dsc-f717, In: **Série em Ciências Geodésicas**. Curitiba, 2003, v. 3.

NOGUEIRA, J. B. J. **Controle de Qualidade de Produtos Cartográficos**: uma proposta metodológica. 2003. 143p. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós - graduação em ciências Cartográficas) – UNESP – Presidente Prudente, 2003.

PRADO, F.A.; SOUZA, G.G.B.; SILVA, H.A.; BARBOSA, L.; BARBOSA, L.A. **Geração de base cartográfica a partir de fotografias aéreas digitalizadas**. Trabalho de Graduação - FCT, UNESP, Presidente Prudente, SP, 2006. 91p.

RUY, R. S.; TOMMASELLI, A. M.; HASEGAWA, J. K.; GALO, M.; IMAI, N. N.; CAMARGO, P. O.SAAPI – A lightweight airborne image acquisition system: design and preliminary tests. In: **7<sup>th</sup> Geomatic Week**, 2007, Barcelona. Proceedings of 7<sup>th</sup> Geomatic Week, Barcelona: Institut de Geomatica, February 2007.

THOMPSON, M. M.; GRUNER, H. Foundations of Photogrammetry. In: **Manual of Photogrammetry**. 4 ed. Falls Church:ASP, 1980. p. 1-36.

TOMMASELLI, A. M. G. **Fotogrametria Básica**. Presidente Prudente, 2004. Notas de aulas do Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica - FCT/UNESP.

WOLF, P. R.; DEWITT, B. A. **Elements of Photogrammetry: with applications in GIS**. U.S.A, 2000.