

IMPLEMENTAÇÃO DE UMA FERRAMENTA PARA LOCALIZAÇÃO SEMIAUTOMÁTICA DE PONTOS DE APOIO EM IMAGENS AÉREAS

VANDER LUIS DE SOUZA FREITAS⁽¹⁾
ADILSON BERVEGLIERI⁽²⁾
ANTONIO MARIA GARCIA TOMMASELLI⁽³⁾

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

⁽¹⁾Bolsista PIBIC-CNPq

⁽²⁾Bolsista Fapesp - Doutorado

⁽³⁾Departamento de Cartografia

Presidente Prudente - SP

vandercomp@gmail.com, aberveg@yahoo.com.br, tomaseli@fct.unesp.br

RESUMO – A necessidade de aumentar o nível de automação dos processos fotogramétricos requer a solução do problema de localização automática dos pontos de controle nas imagens. A proposta deste trabalho é apresentar uma ferramenta semiautomática para localização de pontos de apoio em imagens aéreas, através da correlação por área entre os *templates* dos pontos e janelas de busca definidas em tempo de execução. Estes *templates* podem ser alvos sinalizados, no caso de pontos pré-sinalizados, ou pequenos recortes de cenas de controle, originadas a partir de imagens terrestres nadirais de alta resolução, tomadas no momento do levantamento dos pontos de apoio em campo.

Palavras chave: Fotogrametria, localização de pontos de apoio, correlação por área.

ABSTRACT – There is a recognized need for fully automatic photogrammetric processes and one of the drawbacks is the control points location in the digital images. The aim of this paper is to present a semiautomatic tool for ground control points location in digital aerial images, using area based matching. The templates used in the matching process can be signalized targets or subimages of control scenes, generated by high resolution nadir terrestrial images, obtained during the ground surveying.

Key words: Photogrammetry, location of ground control points, area based matching.

1 INTRODUÇÃO

As ferramentas na área de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto ganharam grandes contribuições com os avanços tecnológicos das últimas décadas. A partir disto, abriram-se muitas possibilidades nas pesquisas para desenvolvimento de técnicas e modelos que pudessem melhorar a eficiência, velocidade e robustez na criação de produtos cartográficos. Entretanto, observa-se que ainda há evidente necessidade de automatização, ao menos parcial, de alguns procedimentos, como a localização de pontos de controle em imagens.

Para contribuir na solução operacional deste problema, este trabalho sugere um fluxo semiautomático para localização de pontos de controle em imagens aéreas. Para tanto, foram estudadas algumas metodologias desenvolvidas por Schenk (1999), Mikhail et al (2001), Lopes et al (2007) e Tommaselli et al (2007), as quais sugerem alguns fluxos para a localização, determinação de janelas de busca mínimas e correspondência entre imagens.

Foi desenvolvido um método de localização de pontos de controle em imagens aéreas, o qual necessita de um passo adicional no momento do levantamento de campo, que é a tomada de uma imagem terrestre de alta resolução, na posição nadiral do ponto medido.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Orientação interior

A geometria interna do sensor de aquisição de imagens e as distorções das lentes são modeladas pelos POI (Parâmetros de Orientação Interior): distância focal (f); coordenadas do Ponto Principal (PP) – x_0 e y_0 , que é a projeção ortogonal do Centro Perspectivo (CP) no plano focal do sensor; coeficientes das distorções das lentes (radial simétrica – K_1 , K_2 , K_3 e descentrada – P_1 e P_2) e; parâmetros de afinidade (A e B). Sensores do tipo *frame* (quadro) capturam uma imagem inteira em apenas uma tomada (MIKHAIL et al, 2001).

2.2 Orientação exterior e triangulação multissensor

Os POE (Parâmetros de Orientação Exterior) descrevem a posição e a atitude da câmara no referencial do espaço objeto.

A orientação exterior de um sensor do tipo *frame* é definida por seis parâmetros, dos quais três dizem respeito à posição do CP (X_{CP} , Y_{CP} , Z_{CP}) e os outros três descrevem a atitude do sensor em relação ao referencial do espaço objeto (ω , ϕ e κ). No caso do sensor *pushbroom* (varredura linear), os POE variam para cada linha da imagem (MIKHAIL *et al*, 2001).

A triangulação multissensor é um método de estimação dos POE e das coordenadas de pontos ou linhas no espaço objeto, podendo agrupar observações em imagens adquiridas por diversos sensores, como *frame* e *pushbroom*. É necessário inicialmente definir os modelos matemáticos para projeção de entidades de controle de campo do espaço imagem para o espaço objeto e a operação inversa, em função dos POI, POE e coordenadas em ambos os espaços. No caso de pontos de controle, são utilizadas as equações de colinearidade (Eq. 1), que partem da hipótese de que um ponto no espaço objeto é colinear ao seu correspondente no espaço imagem, passando pelo CP da câmara (MIKHAIL *et al*, 2001).

$$\begin{aligned} x_s &= -f \cdot \frac{m_{11} \cdot (X - X_{CP}) + m_{12} \cdot (Y - Y_{CP}) + m_{13} \cdot (Z - Z_{CP})}{m_{31} \cdot (X - X_{CP}) + m_{32} \cdot (Y - Y_{CP}) + m_{33} \cdot (Z - Z_{CP})} \\ y_s &= -f \cdot \frac{m_{21} \cdot (X - X_{CP}) + m_{22} \cdot (Y - Y_{CP}) + m_{23} \cdot (Z - Z_{CP})}{m_{31} \cdot (X - X_{CP}) + m_{32} \cdot (Y - Y_{CP}) + m_{33} \cdot (Z - Z_{CP})} \end{aligned} \quad (1)$$

Nas Equações 1, m_{ij} são os elementos da matriz de rotação; f é a distância focal da câmara; (X_{CP} , Y_{CP} , Z_{CP}) são as coordenadas do CP no referencial do espaço objeto e; (X , Y , Z) são as coordenadas do ponto no referencial do espaço objeto.

2.3 Orientação indireta utilizando pontos de apoio

Os produtos cartográficos necessitam de precisão geométrica compatível com sua escala. Para atingir esta precisão, os POE determinados diretamente no momento da coleta podem não atender a estes requisitos, devendo ser adicionados elementos de controle de campo para refiná-los. Esta etapa é conhecida como orientação integrada, que é o processo clássico de fototriangulação, quando os POE são refinados e são calculadas as coordenadas dos pontos fotogramétricos no espaço objeto.

Existem algumas maneiras de realizar a orientação indireta: utilizando pontos de apoio, linhas ou áreas. Comumente são utilizados pontos de apoio, porém é necessário localizar e determinar as coordenadas imagem deste pontos e todas as imagens em que este ponto foi registrado. Atualmente, esta tarefa é realizada interativamente por um operador humano.

2.4 Correlação por área entre imagens

O processo de correlação por área entre imagens tem como base a comparação dos tons de cinza (ou dos valores das bandas espectrais) dos pixels em subimagens.

Partindo de uma janela de referência (ou *template*), a qual contém algum elemento de interesse, faz-se a procura do elemento semelhante na outra imagem. Esta deve ter seu espaço de busca restringido por algum critério, formando a janela de pesquisa. Isto é necessário para se aumentar a eficiência computacional e minimizar possíveis ambiguidades, caso existam mais de um elemento similar, que resultam em falsas correlações. Dentro da janela de pesquisa, a começar do início, desloca-se pixel a pixel uma subimagem de mesmo tamanho do *template*, varrendo-se todas as posições. A cada deslocamento, os valores dos pixels são comparados com a finalidade de se medir a similaridade entre as janelas. Tal similaridade é calculada por alguma função que quantifique as semelhanças, as quais podem ser: função erro, produto, quociente, coeficiente de correlação etc. (BERVEGLIERI e TOMMASELLI, 2012).

No caso específico deste trabalho, utilizou-se a função coeficiente de correlação (ρ) – Equação (2), por ser mais robusta e mais empregada nas aplicações práticas.

$$\rho = \frac{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m (g_r(x_i, y_i) - \bar{g}_r)(g_p(x_i, y_i) - \bar{g}_p)}{\sqrt{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m (g_r(x_i, y_i) - \bar{g}_r)^2 \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m (g_p(x_i, y_i) - \bar{g}_p)^2}} \quad (2)$$

Em que: \bar{g}_r e \bar{g}_p são as médias dos tons de cinza das respectivas janelas de referência (g_r) e pesquisa (g_p); (x_i , y_i) é a posição (*linha x coluna*) do pixel; n e m são as dimensões da janela de referência.

A medida do coeficiente de correlação, normalizado ($-1 \leq \rho \leq 1$), é determinado como: se $\rho = 1$, indica grau máximo de similaridade; caso seja $\rho = -1$, ocorre similaridade inversa e, se for $\rho = 0$, não há correlação entre as imagens.

Da aplicação das funções de correlação, obtêm-se respostas na magnitude do pixel, devendo-se proceder a um ajuste subpixel. Neste caso, como em Bazan *et al* (2008), pode-se fazer um refinamento pelo ajuste de uma superfície polinomial ou pela técnica de *Matching* por Mínimos Quadrados.

3 ANTECEDENTES

O grupo de pesquisa em Fotogrametria desenvolveu os programas PMPA (Programa de Medição de Pontos de Apoio) e PVPC (Programa de Visualização de Pontos de Controle) (PETRI e TOMMASELLI, 2011). Ambos serviram como base para o desenvolvimento de um novo fluxo para medição de elementos de controle.

O PMPA conta com estruturas estáticas para armazenar as informações dos pontos que serão medidos, os quais têm suas coordenadas de terreno (E,N,h) lidas em um arquivo de texto. Este software utiliza um alvo sinalizado como *template* para encontrar pontos pré-sinalizados, calculando-se a correlação do *template* com recortes de imagens aéreas, selecionando-se a posição

cujo coeficiente esteja acima de um limiar estabelecido pelo usuário (Figura 1).



Figura 1 – No centro um alvo sinalizado (*template*) e nas laterais exemplos de janelas de pesquisa, contendo os pontos pré-sinalizados.

Estes recortes são obtidos através da projeção das coordenadas de terreno dos pontos para as imagens por meio das equações de colinearidade. A partir das coordenadas obtidas, é feito um recorte na imagem original. As dimensões dos recortes são determinadas com base na precisão dos POE, na exatidão dos pontos no espaço objeto e na posição do ponto na imagem e são calculadas por propagação de covariâncias.

Um problema encontrado é que são obtidas falsas correspondências em áreas onde o fundo do alvo no terreno é diferente do fundo do alvo do *template*. Outro problema está relacionado ao fluxo de execução do programa, que originalmente foi configurado seguindo a ordem em que os pontos estão dispostos no arquivo de entrada (Figura 2). Isto não é desejável, pois pontos pré-sinalizados passam pelo algoritmo de correlação com o alvo sinalizado, e pontos naturais (que não são sinalizados) devem ser medidos interativamente. Isto requer a intervenção do operador a cada ocorrência de um ponto natural e também dos pontos pré-sinalizados que apresentam baixos coeficientes de correlação, o que pode ocorrer a qualquer momento do processo. Além disso, a cada medição, tanto de pontos pré-sinalizados quanto de naturais, as imagens utilizadas eram salvas em disco, o que resultava em um aumento do tempo de execução do software.

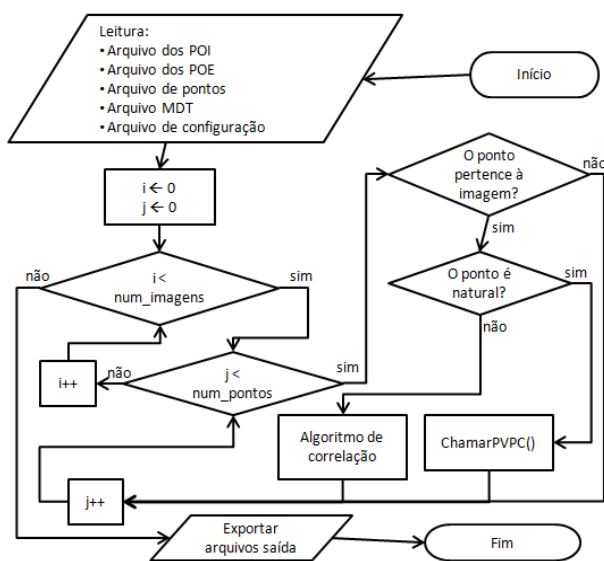


Figura 2 – Diagrama do fluxo de execução do software. As variáveis *i* e *j* representam índices de iteração.

Para a correlação entre os *templates* e as janelas de busca utilizaram-se algoritmos de correspondência por área baseados em cores, os quais foram desenvolvidos e implementados por Silva et al (2007) e que, mais tarde, receberam algumas adaptações feitas por Petri e Tommaselli (2011), acrescentando-se algoritmos de correspondência subpixel implementados por Bazan et al (2008).

Observou-se, portanto, que eram necessárias algumas alterações no fluxo de execução do software, para aumentar sua eficiência operacional, e diminuir as operações de acesso a disco.

4 DESENVOLVIMENTO

Inicialmente foram revisadas as técnicas de medição de pontos de apoio em imagens descritas nos trabalhos de Lopes et al (2007) e Tommaselli et al (2007), acompanhado de uma análise das funcionalidades necessárias para implementação de um software de medição semiautomática de pontos de apoio. Após esta etapa, fez-se uma análise detalhada do programa PMPA, para levantar características positivas e negativas, a fim de melhorá-lo.

Os pontos naturais possuem apenas um croqui, para auxiliar na medição interativa. Por outro lado, os pré-sinalizados podem ser usados em algoritmos de reconhecimento e medição automáticos, através de processos de segmentação e cálculo do centroide, por exemplo, para alvos circulares (Figura 1). Foi inserida uma nova categoria de ponto: o ponto natural com cena de controle. Este ponto possui uma imagem terrestre, tomada no momento do levantamento em campo, que pode ser utilizada como *template* na correspondência por área, inclusive com precisão subpixel. Neste trabalho, os pontos pré-sinalizados e naturais com cenas de controle estão sendo tratados igualmente, uma vez que passam pelos mesmos algoritmos de correlação por área.

Inicialmente, foram feitas algumas alterações no arquivo que contém as coordenadas dos pontos. Antes possuía os valores identificadores do ponto e suas coordenadas, seguidos dos desvios-padrão e dos nomes das imagens *template* (no caso de pré-sinalizados). Inseriu-se uma nova informação que é o caminho da imagem do croqui do ponto ou da cena de controle.

Um novo fluxo de execução foi criado para o software, partindo da leitura dos arquivos de entrada, medição dos pontos naturais, medição automática dos pontos pré-sinalizados e, por fim, medição interativa dos pontos que apresentaram baixa correlação. Para tanto, foi implementada uma estrutura de dados dinâmica, para armazenar as informações dos pontos. A estrutura de escolhida foi a estrutura dinâmica lista encadeada (PUGA et al, 2009), a qual permite operações de inserção e exclusão a partir de qualquer posição da estrutura. Deste modo, foram criadas quatro listas: uma para pontos pré-sinalizados, uma para pontos naturais, outra para pontos pré-sinalizados cujos coeficientes de correlação tenham

sejam menores que o limiar de aceitação e, por fim, uma para os *templates*.

Na Figura 3 é possível verificar o novo fluxo de execução do software, com as etapas da localização representadas por cores diferentes (localização de pontos naturais, pré-sinalizados e pontos abaixo do limiar de aceitação).

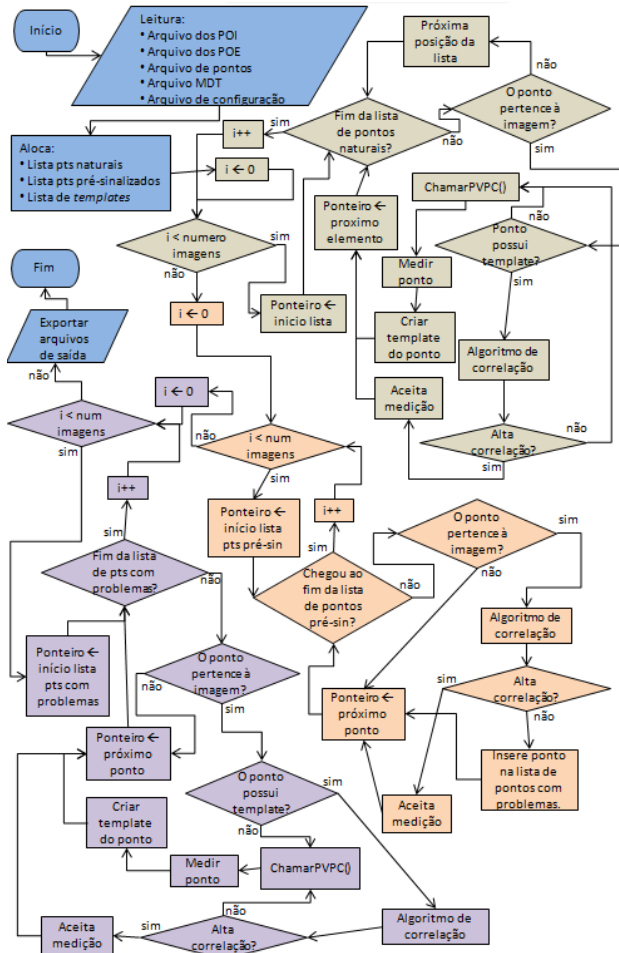


Figura 3 – Diagrama revisado do fluxo de execução do software. A variável *i* representa um índice de iteração.

No momento da leitura do arquivo dos pontos de apoio, os *templates* são carregados na memória e adicionados à lista correspondente. Da mesma maneira, os pontos são inseridos nas listas de pontos naturais e pré-sinalizados (ou naturais com cenas de controle). Em seguida, iniciam-se as medições, em primeiro lugar pelos pontos naturais, sendo que, nestes casos, é necessário que o recorte da janela de busca, feito na imagem com o ponto, seja salvo em disco, para que seja medido interativamente pelo programa PVPC (Figura 4a). A cada ponto medido, é feito outro recorte na imagem, nas coordenadas apontadas pelo operador, para que as próximas imagens em que este ponto aparecer possam utilizá-lo como *template* na correlação. Este novo *template* é também adicionado à lista de *templates*.

As dimensões das janelas de busca são determinadas por propagação de covariâncias, tendo

como parâmetros os desvios padrão dos POE e das coordenadas dos pontos.

Os próximos pontos a serem medidos são os pré-sinalizados, cujos *templates* são comparados com as janelas de busca, pelo algoritmo de correlação. Todas as janelas com coeficientes abaixo do limiar são adicionadas à lista de pontos pendentes. O objetivo disto é reduzir ao mínimo as tarefas interativas do operador, evitando, ainda, que ele tenha que aguardar a execução dos processos de correlação sequenciais. Sendo assim, ao fim da medição dos pontos pré-sinalizados, aqueles que obtiveram baixa correlação devem ser medidos manualmente sendo criados novos *templates* para medições posteriores.

Vale ressaltar que este processo de criação de *templates* em tempo de execução pode resultar em um mesmo ponto com vários *templates*, porém nenhum deve ser descartado. O motivo principal para esta multiplicidade de recortes é a diferença entre pontos de vista, o que pode gerar oclusões ou obstruções parciais. Por exemplo, um ponto localizado ao lado de um edifício alto pode aparecer em uma imagem e estar oculto em outra.

O programa cria um arquivo, denominado *Log.dat*, que armazena todos os passos da execução dos algoritmos para detecção e medição dos pontos. Assim, é possível visualizar toda a execução do programa *a posteriori*, como em um relatório.

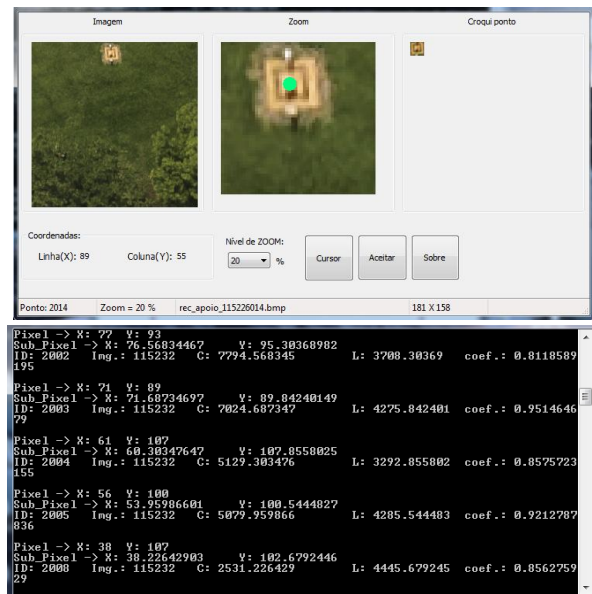


Figura 4 – (a) Tela de medição interativa; (b) fluxo de execução no console.

No projeto inicial do PMPA (Figura 4b), apenas imagens no formato PPM eram suportadas, sendo agora admitidas também no formato TIFF. Para tanto, foi utilizada a biblioteca LibTIFF (LIBTIFF, 2012).

5 EXPERIMENTO

Foi realizado um experimento com três imagens aéreas da região de Presidente Prudente, obtidas por uma

câmara Hasselblad 60, no dia 29 de novembro de 2011, a 960 m de altitude e GSD (*Ground Sample Distance* - tamanho do pixel no terreno) de 0,07 m.

Neste bloco, foram medidos 7 pontos de controle, e os *templates* utilizados foram extraídos de imagens terrestres nadirais coletadas durante o levantamento dos pontos de apoio em campo, com uma câmara *Fuji S3 Pro*, equipada com lentes *Bower Fisheye* de 8 mm, a qual foi fixada a um bastão vertical de aproximadamente 4,6 m de comprimento, apoiado sobre um tripé. Esta técnica, embora descrita sucintamente, é uma modificação importante em relação ao projeto original, que usava apenas modelos de pontos pré-sinalizados ou pontos naturais sem imagens associadas, sendo agora utilizados pontos naturais, dos quais foram adquiridas imagens terrestres nadirais (cenas de controle). Estas imagens foram retificadas, utilizando parâmetros de orientação previamente determinados, para só então darem origem aos *templates*. Na Figura 5, é possível observar a forma de coleta de uma imagem, os equipamentos utilizados e o resultado da retificação.

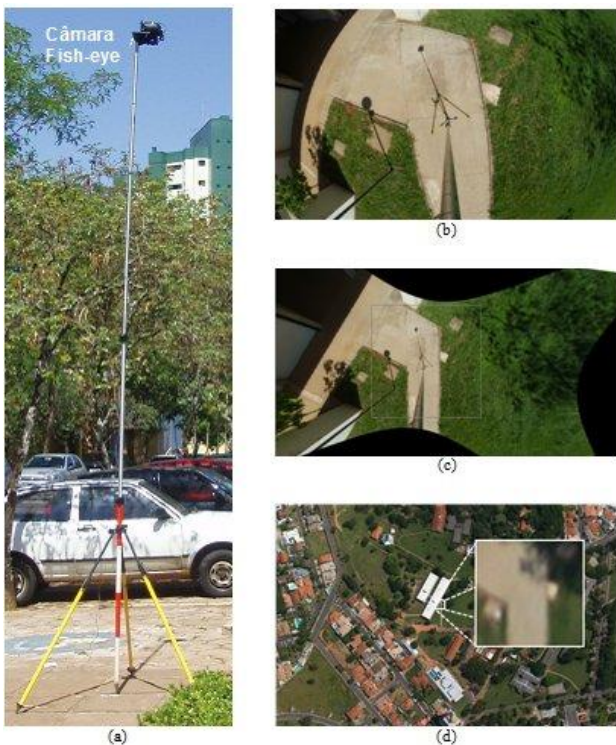


Figura 5 - (a) Equipamento de coleta da imagem; (b) Imagem original; (c) Imagem retificada, com os limites do recorte definidos; (d) Imagem aérea com a definição do espaço de busca.

Fonte: (BERVEGLIERI e TOMMASELLI, 2012).

Os POI da câmara são apresentados na Tabela 1, ao passo que os POE determinados diretamente, por um receptor GPS de dupla frequência e uma unidade de medida inercial embarcados, são apresentados na Tabela 2. Estes valores foram obtidos com uma incerteza de 40cm para a posição do CP e 1° para as rotações. As coordenadas dos pontos de controle no espaço objeto são mostradas na Tabela 3.

Tabela 1– Modelo de sensor.

Câmara	Hasselblad 60
Distância focal (mm)	50,88998
Coordenadas do ponto principal (x, y) (mm)	(0,00216, -0,00076)
K_1, K_2, K_3	-3,37e-07; -1,0e-09; 1,06e-12
P_1, P_2	2,73359e-07; 4,18904e-07
Dimensões do sensor (c, l)	(8956, 6708)
Tamanho do pixel [μ m]	6.00 x 6.00

Fonte: Engemap.

Tabela 2 – Parâmetros de Orientação Exterior determinados diretamente por um GPS e uma IMU.

ID da imagem	115226	115229	115232
ω (graus decimais)	0,3450	2,0282	2,1693
ϕ (graus decimais)	1,5442	1,2557	0,1994
κ (graus decimais)	-89,7632	-88,7404	-90,2532
X_{CP} (m)	457829,943	457984,662	458140,600
Y_{CP} (m)	7553594,964	7553596,943	7553597,345
Z_{CP} (m)	963,845	963,074	962,656

Fonte: Engemap.

Tabela 3 – Coordenadas dos pontos de apoio.

ID do ponto	E (m)	N (m)	h (m)
01	458165,462	7553380,158	415,981
02	458113,413	7553406,291	422,973
03	458078,072	7553455,339	428,254
04	458141,026	7553571,987	423,726
05	458078,094	7553575,182	428,249
08	458067,705	7553736,657	425,722
14	457821,748	7553834,954	427,680

Nos experimentos, foram utilizados *templates* de dimensões variadas, pois foi levada em consideração a posição elevada da câmara, a presença do tripé na imagem e as distorções. O menor deles tem tamanho 9 x 9 pixels e o maior 35 x 35 pixels. Foram empregados parâmetros aproximados de orientação exterior (Tabela 2), nos quais foram introduzidos desvios-padrão da ordem de 40 cm para as coordenadas X_{CP} , Y_{CP} e Z_{CP} .

Observou-se que desvios menores fizeram com que alguns pontos fossem projetados fora dos recortes, por conta da precisão do georreferenciamento da imagem e, portanto, não era possível realizar a medição. Quanto maior a precisão dos parâmetros de orientação, o desvio-padrão decresce e, com isto, as janelas de busca podem ser menores, tornando o processo mais rápido e com menor possibilidade de falsos positivos.

A Tabela 4 mostra os resultados da correlação.

Por meio dos experimentos foi possível observar que as estratégias de busca desenvolvidas funcionam e otimizam o processo de medição automática de pontos de apoio. Em todos os pontos testados houve correlação acima do limiar mínimo. Nesse teste não foram usados alvos pré-sinalizados, mas apenas as cenas terrestres. Os algoritmos de correspondência ainda estão em desenvolvimento para permitir maior robustez.

Tabela 4 – Resultados da correlação entre os templates terrestres e os recortes feitos na imagem.

Imagem	Ponto	Template (pixels)	Janela de busca (pixels)	coef. corr
115226	14	35 x 35	229 x 229	0,91
115229	1	15 x 15	229 x 229	0,89
115229	2	19 x 19	229 x 229	0,82
115229	3	17 x 17	229 x 229	0,95
115229	4	9 x 9	229 x 229	0,85
115229	5	23 x 23	229 x 229	0,86
115229	8	29 x 29	229 x 229	0,92
115229	14	35 x 35	229 x 229	0,91
115232	1	15 x 15	229 x 229	0,91
115232	2	19 x 19	229 x 229	0,81
115232	3	17 x 17	229 x 229	0,95
115232	4	9 x 9	229 x 229	0,86
115232	5	23 x 23	229 x 229	0,92
115232	8	29 x 29	229 x 229	0,86

6 CONCLUSÕES

Foi introduzido um novo fluxo de processamento no PMPA, trazendo maior eficiência operacional, pois agora o usuário não precisa manter supervisão constante à execução, nem intervir a qualquer momento. Basta que localize interativamente os pontos naturais logo no início, e no fim os pontos que obtiveram baixos coeficientes de correlação, enquanto que os pontos pré-sinalizados (ou naturais com cenas de controle) são localizados automaticamente. Esta diferença ficará mais evidente com um grande volume de pontos.

Os *templates* e os pontos passaram a ser armazenados em estruturas dinâmicas do tipo lista, diminuindo sobremaneira os acessos a disco.

No experimento apresentado, foi introduzida uma inovação, que é a utilização de imagens nadirais de alta resolução, ao invés de *templates* sintéticos de um alvo.

Algoritmos de *matching* mais eficientes estão em desenvolvimento, utilizando técnicas baseadas em características (SIFT), e não apenas correlação por área, como atualmente.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de externar seus agradecimentos ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo apoio a esta pesquisa na forma de uma bolsa PIBIC e auxílio à pesquisa (Edital Universal, proc. 477738/2009-5), e Fapesp (proc. 2010/16954-5).

REFERÊNCIAS

BAZAN, W. S.; TOMMASELLI, A. M. G.; GALO, M.; TELLES, S. S. S. Métodos para extração de feições retas com precisão subpixel, **Boletim de Ciências Geodésicas**, v.14, p.128 – 148, 2008.

BERVEGLIERI, A.; TOMMASELLI, A. M. G. Experimentos com correspondência por área para imagens multiescala. In: SIMGEO – SIMPÓSIO BRASILEIRO

DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, IV, 2012, Recife. **Anais...** Recife, 2012. v. 1.

LIBTIFF. TIFF **Library and Utilities Home Page**. Disponível em: < <http://www.libtiff.org/> > Acesso em: 09 mar. 2012.

LOPES, R. F., MARQUES, A. P. S., TOMMASELLI, A. M. G. Avaliação experimental de um processo automático de medição de pontos homólogos em fototriangulação In: XXIII Congresso Brasileiro de Cartografia, 2007, Rio de Janeiro. **Anais....** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia, 2007. v.1. p. 914 – 920.

MARCATO JUNIOR, J. **Fototriangulação em bloco de imagens orbitais com modelos rigorosos baseados em pontos e retas**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas). Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente – SP.

MEDEIROS, N. G.; TOMMASELLI, A. M. G. Um modelo para orientação de imagens orbitais baseado em feições retas, **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 12, n. 2, p. 175-194, 2006.

MIKHAIL, E. M.; BETHEL, J. S.; McGLONE, J.C. **Introduction to Modern Photogrammetry**. John Wiley&Sons, 2001, 479 p.

PETRI, R. A. L.; TOMMASELLI, A.M.G. Desenvolvimento de uma ferramenta de extração de pontos e linhas de controle em imagens orbitais. In: Congresso de Iniciação Científica da Unesp, 23, 2010, Presidente Prudente: UNESP, 2010, 4 p. Disponível em: <http://prope.unesp.br/xxii_cic/trabalhos_fase1.php> Acesso em: 23 maio 2012.

PUGA, S; RISSETTI, G. **Lógica de programação e estruturas de dados com aplicações em Java**. 2 ed. São Paulo: Pearson, 2009, 262p.

SCHENK, T. **Digital Photogrammetry: Background, Fundamentals, automatic orientation procedures**. Laurelville: TerraScience. 1999. 428p.

SILVA, P. H. A., TOMMASELLI, A. M. G, GALO, M. Um estudo sobre o uso do modelo de cor RGB no processo de correspondência por correlação. **Boletim de Ciências Geodésicas**. v.13, p.91 - 106, 2007.

TOMMASELLI, A. M. G, LOPES, R. F., MARQUES, A. P. S. Desenvolvimento de uma estratégia para a medição automática de pontos homólogos em fototriangulação In: II Simpósio Brasileiro de Geomática e V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, 2007, Presidente Prudente. **Anais....** Presidente Prudente, S.P.: Universidade Estadual Paulista, 2007. v.1. p. 646 – 654.