

DESENVOLVIMENTO DE FOTOTRIANGULAÇÃO POR FEIXE DE RAIOS COM CALIBRAÇÃO EM SERVIÇO

T. A. M. Thomaz^a, M. L. L. Reiss^b

^a BOLSISTA DE INSTITUIÇÃO EXTERNA – FAPERGS, Estudante do Curso de Engenharia Cartográfica, UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil – thiago.thomaz@ufrgs.br

^b Dept. de Geodésia, UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil – mario.reiss@ufrgs.br

INTRODUÇÃO

Fotogrametria é a ciência e tecnologia que estuda técnicas para extrair medidas de objetos através de fotografias.

Para tornar essas medidas possíveis é necessário determinar as rotações e a posição da câmara no instante da tomada da fotografia, além de se ter calibrados os efeitos sistemáticos da câmara. Para obter a orientação externa (rotações e posição), uma das maneiras é por fototriangulação, procedimento onde também podem ser modelados os efeitos sistemáticos, permitindo sua determinação.

A Fotogrametria possui muitas aplicações em diversas áreas da ciência, como engenharia civil, engenharia mecânica, arquitetura, medicina, etc. No mapeamento terrestre, a Fotogrametria se mostrou uma excelente ferramenta para realizar levantamentos de grandes áreas, como uma cidade ou até mesmo um estado.

DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

Neste trabalho é apresentado o desenvolvimento de uma metodologia denominada de Fototriangulação por Feixes de Raios com Calibração em Serviço, que usa o modelo de colinearidade para relacionar o espaço-imagem com o espaço-objeto por meio de alguns pontos de apoio conhecidos no objeto e medidos nas imagens, e muitos outros de ligação medidos apenas nas imagens. Nessa operação também são calculados os pontos de ligação no referencial do objeto. Todo este procedimento é realizado em uma operação de estimação de parâmetros por MMQ (Método dos Mínimos Quadrados).

A Equação de Colinearidade, que relaciona um ponto no referencial do objeto, sua representação na fotografia e o centro perspectivo da mesma, é dada pela seguinte expressão:

$$x' = x_0 + \Delta x - c \cdot \frac{r_{11} \cdot (X - X_{CP}) - r_{12} \cdot (Y - Y_{CP}) - r_{13} \cdot (Z - Z_{CP})}{r_{31} \cdot (X - X_{CP}) - r_{32} \cdot (Y - Y_{CP}) - r_{33} \cdot (Z - Z_{CP})}$$

$$y' = y_0 + \Delta y - c \cdot \frac{r_{21} \cdot (X - X_{CP}) - r_{22} \cdot (Y - Y_{CP}) - r_{23} \cdot (Z - Z_{CP})}{r_{31} \cdot (X - X_{CP}) - r_{32} \cdot (Y - Y_{CP}) - r_{33} \cdot (Z - Z_{CP})}$$

Onde:

x' e y' são as coordenadas do ponto fotogramétrico;
 x_0 e y_0 são as coordenadas do ponto principal;
 c é a distância focal;
 X, Y e Z são as coordenadas do ponto no referencial do objeto;
 X_{CP}, Y_{CP} e Z_{CP} são as coordenadas do centro perspectivo da câmara no referencial do objeto;
 $R_{i,j}$ são os elementos da matriz de rotação referenciada aos ângulos κ, ϕ e ω .

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\phi \cdot \cos\kappa & \cos\phi \cdot \sin\kappa + \sin\phi \cdot \sin\omega \cdot \cos\kappa & \sin\phi \cdot \sin\omega \cdot \cos\kappa - \cos\phi \cdot \sin\omega \cdot \cos\kappa \\ -\cos\phi \cdot \sin\kappa & \cos\phi \cdot \cos\kappa - \sin\phi \cdot \sin\omega \cdot \sin\kappa & \sin\phi \cdot \sin\omega \cdot \sin\kappa + \cos\phi \cdot \sin\omega \cdot \sin\kappa \\ \sin\phi & -\sin\phi \cdot \cos\omega & \cos\phi \cdot \cos\omega \end{bmatrix}$$

E Δx e Δy representam as distorções causadas pelos erros sistemáticos.

Há ferramentas comerciais que fazem esse tipo de fototriangulação, entretanto, são caras e de códigos fechados. Ferramentas acadêmicas, como a desenvolvida por Galo, denominada CC (1993), apesar de ter ótimo desempenho, está disponível para o público em geral em uma versão limitada. Dentro desse contexto, objetiva-se elaborar uma solução com códigos abertos e sendo feita com custos reduzidos.

Para este trabalho foram desenvolvidos alguns experimentos. Dados reais controlados foram coletados, processados no programa CC, e serão utilizados para comparação com os dados processados por um programa ainda em desenvolvimento.



Figuras 1 e 2. Exemplo de fotografias usadas nos testes.



As fotografias utilizadas, obtidas visando a placa de calibração do LAFOTO, tiveram os pontos fotogramétricos necessários – pontos de controle, com coordenadas conhecidas – obtidos no programa MID.

O programa MID (Monocomparador de Imagens Digitais) foi desenvolvido pelo orientador desse trabalho (REISS, 2007) em linguagem de programação C++, para facilitar as operações fotogramétricas, permitindo que elas fossem realizadas no ambiente do sistema operacional Microsoft Windows. O aplicativo fundamental para este trabalho foi o que realiza transformação de coordenadas da tela do computador, para o sistema fotogramétrico.

Para realizar o ajustamento no programa CC era preciso configurar arquivos com todos os parâmetros necessários para a fototriangulação com calibração. Em seguida era executado um aplicativo que realiza o ajustamento para determinação das incógnitas. Esse tipo de operação foi realizada por diversas vezes, de maneira a poder fazer uma análise mais embasada do procedimento.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

O próprio programa CC realiza a análise da qualidade do ajustamento verificando o teste do X^2 (lê-se “qui-quadrado”), e informa a situação encontrada – “rejeitado” ou “não-rejeitado” – no arquivo de saída. Esse teste é realizado com a comparação entre o fator de variância a priori e o fator de variância em função dos resíduos, sendo que para aprovação do teste, a discrepância encontrada não pode ser superior à um fator tabelado, dado conforme o grau de liberdade do problema e um nível de confiança adotado.

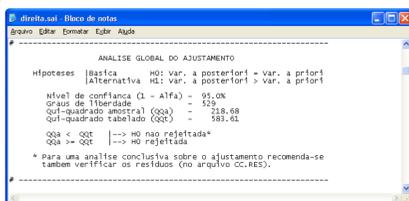


Figura 3. Trecho do arquivo de saída gerado – Análise do ajustamento.

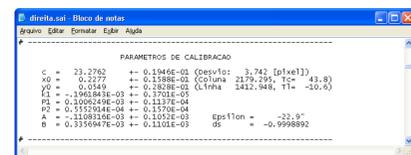


Figura 4. Trecho do arquivo de saída gerado – Parâmetros de calibração.

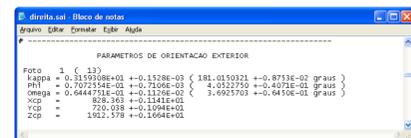


Figura 5. Trecho do arquivo de saída gerado – Parâmetros de orientação interior.

Outra forma de análise é pela verificação gráfica das posições e dos resíduos encontrados no ajustamento, para tanto é utilizado o aplicativo Gnuplot.

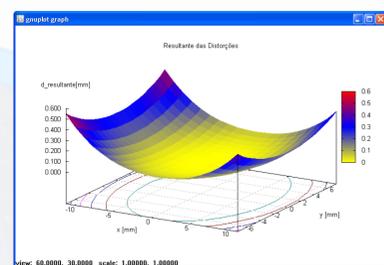
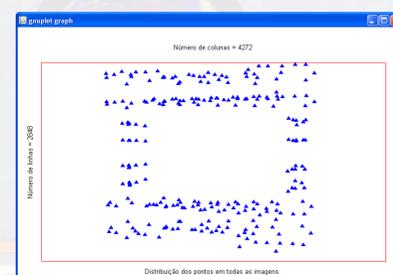
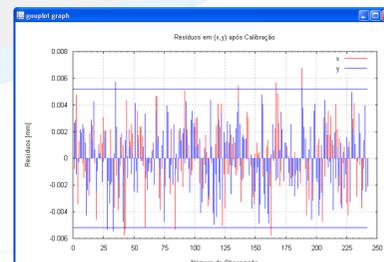


Figura 6. Exemplo de gráfico do Gnuplot para testes realizados – Resultante das distorções nas fotografias.



Figuras 7. Exemplo de gráfico do Gnuplot para testes realizados – Distribuição dos pontos de apoio nas imagens.



Figuras 8. Exemplo de gráfico do Gnuplot para testes realizados – Resíduos planimétricos dos pontos após a calibração.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Percebeu-se com a realização da fototriangulação que essa operação é fundamental para a fotogrametria moderna, visto que a otimização dos procedimentos visa a melhoria do tempo despendido e dos fatores de cálculo, que são em menor quantidade. Isso permite que sejam utilizadas mais fotografias e parâmetros com os mesmo recursos computacionais.

Referências

LUGNANI, João B. **Introdução à Fototriangulação**. Curitiba: UFPR, 1987. 134 páginas.
ANDRADE, José B. **Fotogrametria**. Curitiba: SBEE, 1998. 258 páginas.
GALO, Maurício. **Calibração e Aplicação de Câmaras Digitais**. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) - Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1993.
REISS, Mário L.L. **Reconstrução Tridimensional Digital de Objetos à Curta Distância por Meio de Luz Estruturada**. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) - Curso de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2007.