

Calibração de câmeras e fontes de erros para triangulação fotogramétrica

Hugo Mazon¹
Giancarlo Philippi Zacchi²
Ricardo Martins³

^{1,2,3} Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - 88040-970 - Florianópolis - SC, Brasil
hugo_mazon@hotmail.com¹
gpzacchi@yahoo.com²
enghariamartins@yahoo.com.br³

Abstract. Throughout the history of Photogrammetry, according to Andrade (2003), many methods and devices were developed aiming at attaining the highest accuracy, coupled with the lowest cost in the determination of coordinates. Indeed, mechanical equipment, the analog solution, were developed to the fullest. The optical and mechanical systems allow high precision and were robust enough to last many years, but extremely expensive. The evolution of electronics allowed more precise solutions, fast and economical. All measurements or observations, are affected by errors of different classes. So it is impossible to determine the true magnitude of a distance or an angle measured. The exact value is only in our imagination. You can not get over the likely value. For Brito (2007), the bundle block adjustment represents a major advance in photogrammetric techniques, for allowing the coordinates of various points on the ground from the interpolation of only a few points in the field, streamlining production costs photogrammetric. Because it is an interpolation process is not error free. However, if complied with adequate details for each scale to obtain the basic points of support, we arrive at acceptable results for the topographic mapping (scales of 1:250,000 and less), or even for the cadastral mapping (scale of 1: 2000 and higher). The parameters obtained are essential in the practice phototriangulation subsequent rectification, orthorectification and restitution. It highlights the fact the fundamental importance of this task is therefore essential to its judicious.

Palavras-chave: Photogrammetry, phototriangulation, photogrammetric techniques, fotogrametria, fototriangulação, técnicas de fotogrametria.

1. Introdução

Etimologicamente, a palavra fotogrametria (cujos radicais vêm do grego: photon [luz], graphos [escrita] e metron [medições]) significa medições executadas através 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, explicados por Thompson e Gruner (1980), a 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.

Ao longo da história da Fotogrametria, segundo Andrade (2003), muitos métodos e equipamentos foram desenvolvidos procurando atingir a mais alta precisão, aliado ao mais baixo custo na determinação de coordenadas. Na verdade, os equipamentos mecânicos, de solução analógica, foram desenvolvidos ao máximo. Os sistemas ópticos e mecânicos permitiam alta precisão e eram suficientemente robustos para durar longos anos, mas extremamente caros. A evolução da eletrônica permitiu soluções mais precisas, rápidas e econômicas.

2. Metodologia de Trabalho

Para chegar ao objetivo proposto, foi utilizado como procedimento metodológico uma vasta pesquisa bibliográfica com o intuito de adquirir conceitos e fundamentações teóricas acerca do assunto abordado.

Fez parte da metodologia de pesquisa a coleta de bibliografias em artigos científicos, banco de teses e dissertações da Biblioteca Digital da Universidade Federal de Santa Catarina e livros da Biblioteca Central da Universidade Federal de Santa Catarina, entre outras bibliografias consultadas.

3. Resultados e Discussão

3.1 Parâmetros de Calibração

O procedimento para obtenção dos parâmetros intrínsecos é conhecido como calibração. Para Brown (1966), calibrar uma câmara significa encontrar um conjunto de parâmetros de orientação interior e Andrade e Olivas (1981); Tommaselli e Tozzi (1990); Galo (1993); Mitshita e Olivas (2001); Machado et al (2003); Andrade (2003) mencionam ainda seus respectivos desvios-padrão, que inclui a modelagem das distorções provocadas pelo sistema de lentes da câmara e que pode ser feita usando tanto feições pontuais, quanto retas, adicionam os autores Prescott e Mclean (1997); Habib et al (2002); Habib e Morgan (2003); e Telles e Tommaselli (2005).

A calibração da câmara envolve a determinação do grupo de parâmetros necessários para a reconstrução do feixe perspectivo gerador da imagem. Os parâmetros existentes, também chamados de parâmetros de calibração são: ponto principal (X_0, Y_0), distância focal (f), coeficientes de distorção radial simétrica (K_1, K_2, K_3) e os coeficientes de distorção descentrada (P_1, P_2).

O deslocamento do ponto principal (X_0, Y_0) é ocasionado pela não coincidência entre o eixo óptico da câmara e o centro fiducial da fotografia como mostra a Figura 1.

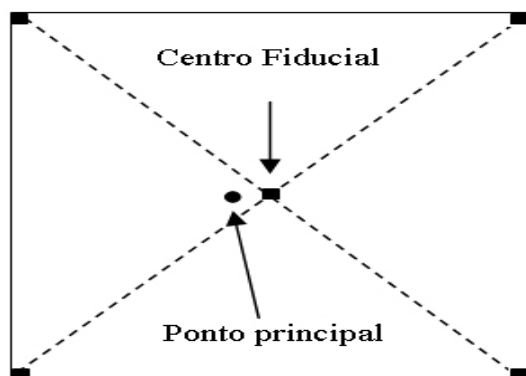


Figura 1. Deslocamento entre o ponto principal e o centro fiducial.

A distorção radial simétrica (K_1, K_2, K_3) pode ser encarada como sendo a parcela não desejável da refração sofrida por um raio de luz ao atravessar uma lente. Desta forma, um raio de luz que antes de penetrar na câmara, forma um ângulo α com o eixo óptico, ao atravessar o sistema de lentes irá resultar em um ângulo $\alpha + 2\alpha$ causando um deslocamento r na posição da imagem no plano do negativo, explica Andrade (1998). A Figura 2 mostra o efeito da distorção radial simétrica.

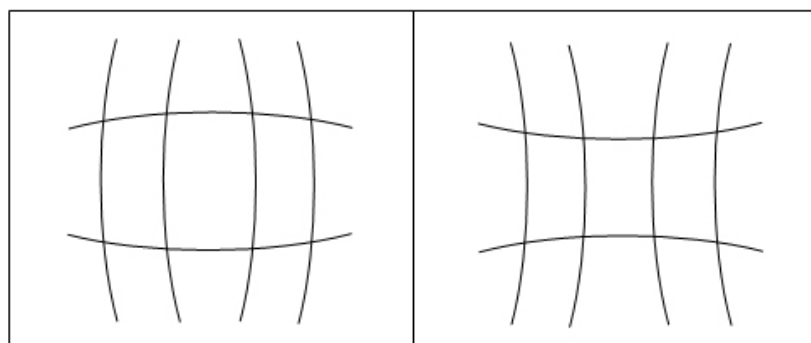


Figura 2. Efeitos da distorção radial simétrica.

A distorção descentrada (P1, P2) é gerada pela impossibilidade do fabricante em alinhar perfeitamente os eixos ópticos das lentes que compõe uma objetiva. Essa distorção resulta em um deslocamento na imagem e é composta pelas componentes tangencial e radial simétrica. A Figura 3 mostra o efeito da distorção descentrada.

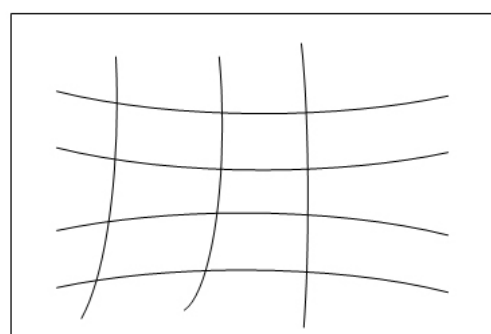


Figura 3. Efeitos da distorção descentrada.

As lentes, por não serem perfeitas, produzem uma imagem imprecisa. Estes defeitos da imagem recebem o nome de aberrações. A combinação de lentes e de alguns elementos adicionais podem minimizar estes defeitos. Entre eles:

- a) Aberração esférica - causa: polimento das lentes;
- b) Coma - causa: polimento das lentes;
- c) Astigmatismo ou curvatura de campo - causa: polimento das lentes;
- d) Aberração cromática - causa: diferentes características refrativas das várias cores que compõem a luz branca;
- e) Distorção radial - causa: polimento das lentes;
- f) Distorção tangencial - causa: não centragem das lentes.

As quatro primeiras aberrações prejudicam a nitidez da imagem fotográfica (círculo de confusão), enquanto que as distorções prejudicam a geometria (posição) dos objetos na imagem.

Os parâmetros de calibração, determinados por Bazan et al. (2007), utilizando o aplicativo científico CC de Galo (1993) são apresentados na Tabela 1, onde:

- a) f - Distância focal gaussiana equivalente da câmera;
- b) x_0 e y_0 - Coordenadas do ponto principal no sistema da imagem;
- c) K_1 , K_2 e K_3 - Parâmetros de distorção radial simétrica;
- d) P_1 e P_2 - Parâmetros de distorção descentrada;
- e) A e B - Coeficientes de afinidade.

Tabela 1. Parâmetros de orientação interior calibrados. Por sistema Dual.

CÂMERA 1	CÂMERA 2
----------	----------

$f \text{ (mm)} \pm \sigma$	$50,070 \pm 0,0060$ (0,67 pixels)	$50,124 \pm 0,0059$ (0,66 pixels)
$x_0 \text{ (mm)} \pm \sigma$	$-0,287 \pm 0,0085$ (0,95 pixels)	$-0,665 \pm 0,0067$ (0,75 pixels)
$y_0 \text{ (mm)} \pm \sigma$	$-0,054 \pm 0,0076$ (0,85 pixels)	$-0,276 \pm 0,0058$ (0,64 pixels)
$K_1 \text{ (mm)} \pm \sigma$	$0,288 \times 10^{-2} \pm 0,420 \times 10^{-6}$	$-0,285 \times 10^{-4} \pm 0,290 \times 10^{-6}$
$K_2 \text{ (mm)} \pm \sigma$	$0,141 \times 10^{-4} \pm 0,193 \times 10^{-8}$	$0,107 \times 10^{-7} \pm 0,121 \times 10^{-8}$
$K_3 \text{ (mm)} \pm \sigma$	$-0,200 \times 10^{-6} \pm 0,300 \times 10^{-11}$	$0,700 \times 10^{-11} \pm 0,200 \times 10^{-11}$
$P_1 \text{ (mm)} \pm \sigma$	$0,218 \times 10^{-1} \pm 0,104 \times 10^{-5}$	$0,832 \times 10^{-6} \pm 0,801 \times 10^{-6}$
$P_2 \text{ (mm)} \pm \sigma$	$-0,327 \times 10^{-1} \pm 0,114 \times 10^{-5}$	$-0,600 \times 10^{-5} \pm 0,768 \times 10^{-6}$
$A \pm \sigma$	$-0,174 \times 10^{-4} \pm 0,186 \times 10^{-4}$	$0,647 \times 10^{-5} \pm 0,105 \times 10^{-4}$
$B \pm \sigma$	$-0,576 \times 10^{-4} \pm 0,233 \times 10^{-4}$	$-0,573 \times 10^{-4} \pm 0,140 \times 10^{-4}$

3.2 Tipos de Erros

Os tipos de erros são divididos da seguinte forma:

- Erros grosseiros: Este erro é devido à inabilidade do medidor, sendo facilmente evitáveis através de treinamento e prática. Resultam de um descuido e pode ser evitado efetuando as medições com cuidado. Este tipo de erro é descoberto repetindo-se a medição, isto é, fazendo medições de controle;
- Erros acidentais (ou aleatórios): O termo acidental não tem aqui conotação de acidente e sim imprevisibilidade. Os erros acidentais são as imprevisões inevitáveis que afetam cada medida. Estes erros são provocados pela imperfeição dos nossos sentidos, por irregularidades atmosféricas e por pequenos erros inevitáveis na construção dos instrumentos. Os erros acidentais atuam de maneira completamente irregular sobre os resultados das medições e se apresentam com sinal positivo e negativo. Somente estes erros irregulares e acidentais são considerados na compensação e no ajustamento através de estatística;
- Erros sistemáticos: Os erros sistemáticos atuam num só sentido e possuem ou sinal positivo, ou negativo. Erros sistemáticos são provocados por medidas não conformes (por exemplo, trena dilatada, baliza torta e prumo de cantoneira desretificado), pela ação unilateral da atmosfera sobre a linha de visada e por instrumentos desretificados ou mal calibrados. Estes erros devem ser eliminados na medida do possível, tomando-os em conta nos cálculos, pelo conhecimento de sua magnitude determinada anteriormente, usando métodos de medição apropriados e aferindo cuidadosamente os instrumentos;
- Erros de arredondamento: São proporcionados por consequência da facilidade de manipulação numérica inadequada, normalmente causados pelo uso de números com poucas casas decimais. O arredondamento deve ser compatível com a precisão da medição e devem ser aplicados nos resultados finais, ou seja, na apresentação dos resultados, assim minimizando o possível erro.

3.3 Aferição, Calibração e Ajustes

Segundo o INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial):

- Calibração ou aferição significa constatar os desvios de medidas e os valores reais corretos. Os instrumentos de medição não sofrem alteração alguma;
- Ajustar ou Regular significa interferir no equipamento de tal forma que os desvios de medição seja reduzidos ao mínimo possível, ou que as medidas não ultrapassem limites previamente estabelecidos.

3.4 Análise da Precisão das Leituras

A precisão da média obtida numa série de leituras de um equipamento, deve ser maior ou igual que a sua precisão nominal, ou seja, o valor da precisão da média deve ser menor que a PN, ($M < PN$).

Se um equipamento obtiver numa série de leituras precisão inferior à especificada pelo fabricante, deve-se refazer o trabalho para averiguação dos procedimentos de campo. Permanecendo a precisão inferior, é necessário o encaminhamento do equipamento para aferição junto à assistência técnica.

A precisão não garante qualidade da leitura. Garante apenas que o procedimento e que o equipamento estão adequados com o especificado pelo fabricante. O que garante a qualidade (exatidão) é a confiabilidade do equipamento/fabricante e a redução dos erros sistemáticos.

3.5 Propagação de Erros

Se as medidas topográficas (direções, ângulos, leituras estadimétricas, distâncias, fases da portadora, etc) são consideradas variáveis aleatórias, sujeitas às leis da estatística, as quantidades derivadas delas (coordenadas, distâncias, áreas, volumes, etc) também o são. Em outras palavras, os erros dos elementos observados se propagam às grandezas derivadas e tal propagação se faz através do modelo funcional que relaciona as observações com os parâmetros procurados.

A fórmula que expressa a relação entre os erros das observações e as dos parâmetros é denominada “fórmula de propagação das variâncias” ou “lei de propagação dos erros”. A análise da incerteza utilizando a Lei de Propagação de Erros (por variância), é muito útil, principalmente no planejamento de projetos de levantamentos que exigem estudos preliminares e objetivam definir os instrumentos e métodos a serem utilizados naquela campanha. No caso dos projetos que utilizam medições de ângulos e distâncias, o estudo da propagação do erro baseado no conhecimento dos valores aproximados para ângulos e distâncias, e das variâncias provenientes de experiências anteriores ou das especificações dos instrumentos utilizados, conduzidos antes das operações de campo, caracterizando assim uma otimização “a priori” do processo.

3.6 Fontes de Erros Fotogramétricos

De acordo com Parma et al. (2002, p. 1), a aplicação da fotogrametria exige o desenvolvimento de um eficiente planejamento e “utiliza-se grandezas mensuráveis pontuais, lineares, gravitacionais, entre outras obtidas direta ou indiretamente”. Neste sentido, entende-se que para a consolidação do processo de aplicação da fotogrametria, torna-se importante a mensuração dos resultados e a identificação das fontes de erro.

Desta forma Silva (2008, p. 6) aduz que “a teoria dos erros cuida exatamente da análise dos erros cometidos durante as medições de campo para saber se eles são estatisticamente aceitáveis e se suas magnitudes são inferiores a determinados limites impostos”.

Muito embora não exista uma precisão do significado da palavra erro, sabe-se que diferentes autores o usam com sentidos diferentes. No entanto, explica Parma et al. (2002, p. 2), “pode-se considerar como uma estimativa ou quantificação da incerteza de uma medida. Quanto menos verdadeira seja uma medida, tanto maior será o erro que ela tem”.

3.7 Erros Causados pelo Relevo

Segundo o Manual of Photogrammetry (1980, p. 466), o erro se materializa em decorrência da curvatura da terra. “Uma fotografia aérea resulta de uma projeção central em uma parte da superfície da terra numa imagem plana e a curvatura da superfície não pode ser projetada num plano pela transformação.

Os erros causados pelo relevo são:

- a) Previsíveis;
- b) Quanto maior o afastamento maior o erro.

O que pode-se inferir, que angulações agudas não levam a precisão.

3.8 Erros Causados pela Instabilidade da Câmera

Para Loch e Lapolli (1994, p. 33-37), “por melhor que seja o plano de vôo, isso pode não ocorrer”. Observa-se movimentos lineares e angulares, que exigem o entendimento do conceito de paralaxe. A máquina assume comparativamente o olhar do operador, e esta variação referencial ocorre em decorrência do deslocamento da aeronave, com ventos de proa e popa, alterando a velocidade do avião; com ventos transversais, causando a saída do avião da rota prevista, da mudança da altura da aeronave, e também causado pela mudança da pressão atmosférica.

3.9 Erros Causados pela Refração Atmosférica

“Uma preocupação no plano de vôo, diz respeito as condições atmosféricas”, afirma Andrade (2003, p.44-45). Como o número de dias pode ser um limitador para o planejamento do vôo, é prudente que se levante uma carta meteorológica para a identificação do planejamento das ações, posto que para Ferreira (2010), refração é entendida como “mudança na direção em que as ondas da luz, do calor ou do som se propagam ao passarem de um tipo de substância para outro”. Desta forma, dias ensolarados e sem nuvens são os melhores momentos para captura das imagens, sabendo-se que sombras compridas podem obscurecer pequenas feições e em ambientes tropicais, a ocorrência de luzes falsas, ocasionadas pela distância zenital ou *hot-spot*, podem gerar contraste da imagem, e isto ocorrerá quanto maior for a umidade relativa do local. Desta forma para Mitishita (1986, p. 101) os controles verdadeiros para as aerotriangulações, são os levantamentos planialtimétricos, os planimétricos e os altimétricos.

Desta forma, para que haja controle da qualidade dos produtos e o ajustamento dos erros sejam realizados, Andrade et al. (2006, p.8) propõe:

- a) Avaliar os dados coletados em campo;
- b) Obter maior eficiência e certeza no resultado final do trabalho;
- c) Precisão e confiabilidade devidamente avaliadas.

No entanto, torna-se necessário observar também as marcas fiduciais, os pontos de controle e os pontos fotogramétricos, além de aplicar o método dos mínimos quadrados (MMQ), tendo como resultado final produtos tais como cartas ou mapas com qualidade.

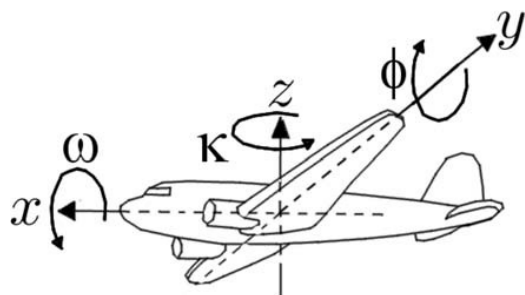
3.10 Triangulação Fotogramétrica

Para Andrade (2003), Fototriangulação é uma técnica fotogramétrica para determinação de coordenadas de pontos num referencial específico.

Um dos processos fundamentais do mapeamento topográfico a partir de imagens fotográficas: a fototriangulação é, para Brito (2007), o processo de se determinar as coordenadas de terreno (ou do espaço-objeto) dos pontos fotogramétricos selecionados sobre as imagens fotográficas (espaço-imagem).

A aerotriangulação tem como objetivo principal a determinação precisa dos parâmetros de orientação de uma imagem no espaço, consiste na determinação das coordenadas tridimensionais da estação de exposição no espaço objeto (X_0, Y_0, Z_0) e a atitude desta estação representada pelos ângulos de Euler (κ, ϕ, ω), bem como coordenadas de outros pontos necessários à restituição fotogramétrica ou para elaboração de ortofotos (Mitishita e Santos Jr., 2004). Os ângulos de Euler (κ, ϕ, ω), por seu turno, significam rotações sofridas

pelo sistema local de coordenadas x , y e z (de cada câmara) em relação ao referencial do terreno (X , Y e Z), explica Brito (2007).



FONTE: Brito, 2007.

Figura 4: Parâmetros de atitude de um sensor fotogramétrico colocado em plataforma aérea.

Segundo Andrade (2003), a Fototriangulação tem como maior objetivo, fornecer coordenadas precisas para os pontos necessários para a orientação absoluta de modelos fotogramétricos para restituição ou para a elaboração de ortofotos. Sendo assim, também para o mesmo autor, talvez, a tarefa mais importante num processo de mapeamento. Neste mesmo raciocínio, Brito (2007) crê que a fototriangulação seja uma das soluções matemáticas mais elegantes da engenharia cartográfica, uma vez que permite a economia de tempo na produção de dados cartográficos digitais, bem como implica notável redução dos custos de produção dos mapas topográficos, especialmente no que se refere às operações de levantamento geodésico e topográfico.

3.11 Pontos de Controle Para Fototriangulação

Para que a fotogrametria atinja resultados satisfatórios, deve-se dispor de dados iniciais de boa qualidade, sem, contudo, implicar dispêndios excessivos. Esses dados iniciais constituem-se, basicamente, na determinação dos pontos de controle de campo, bem como na determinação de pontos de teste da qualidade do mapeamento produzido, de acordo com Brito (2007).

A finalidade primordial, mas não a única, dos pontos de controle é a materialização do referencial com que se deseja trabalhar, explica Andrade (2003).

Andrade (2003) mostra que para se materializar um referencial tridimensional alguns parâmetros terão que ser conhecidos, como por exemplo, parâmetros que definam a posição da origem do sistema, a orientação de seus três eixos e a unidade de medida. Injunções também se fazem necessárias. Por exemplo, adotar os valores de sete coordenadas correspondentes a três pontos no referencial que desejamos materializar.

Para que as coordenadas de pontos do espaço objeto geradas sejam referidas a um sistema de coordenadas pré-definido, necessário se faz que, um mínimo de pontos de controle de campo seja fornecido como dados (não necessariamente constantes). O não fornecimento desses pontos de controle de campo deixa indefinido o sistema de referência do espaço objeto dando origem a problemas de deficiência de posto da matriz dos coeficientes das equações normais, afirma Arana (1994).

Segundo Brito (2007), em se falando na relevância do planejamento do controle de campo, outro aspecto importante para a fototriangulação diz respeito às precisões do levantamento de campo. O autor julga oportuno remeter o leitor para as Especificações e normas gerais para levantamentos geodésicos em território nacional, IBGE (1983), e para as Especificações e normas gerais para levantamentos GPS, IBGE (2006).

Os pontos devem ser escolhidos em lugares nítidos, preferencialmente de fácil acesso, como cantos de cercas, estradas ou construções. Consideram-se más escolhas árvores, regiões

homogêneas e locais próximos de espelhos d'água . Segundo o mesmo autor, Brito (2007), no desenvolvimento do seu trabalho os pontos escolhidos são marcados nas cópias das fotos do vôo por intermédio de circunferências desenhadas com lápis dermatográficos. A equipe de campo usará essa informação para determinar as coordenadas de terreno dos pontos escolhidos. No verso da foto, ou em fichas especiais, é desenhado um croqui ou é anexada uma foto da localização exata do ponto. Outras informações pertinentes também podem ser anotadas (descrição do itinerário realizado para chegar ao ponto, pontos notáveis próximos etc.).

Vôos de calibração ou treinamento (método caro e pouco usual) pode-se contar com a pré-sinalização, que é a marcação in loco dos pontos a serem coletados antes da execução do vôo. Ao serem fotografados, os sinais ficam visíveis nas fotos, acelerando o processo de identificação, conforme Brito (2007).

4. Conclusões

Todas as medidas ou observações feitas, estão afetadas de erros de diferentes classes. Assim é impossível determinar a verdadeira magnitude de uma distância ou de um ângulo medido. O valor exato fica somente na nossa imaginação. Não se pode obter mais que o valor provável.

Para Brito (2007), a fototriangulação representa um grande avanço nas técnicas fotogramétricas, por permitir a obtenção de coordenadas de vários pontos no terreno a partir da interpolação de apenas alguns pontos de campo, racionalizando custos na produção fotogramétrica.

Por se tratar de um processo de interpolação, não é isento de erros. Porém, se respeitadas as precisões adequadas a cada escala na obtenção dos pontos de apoio básicos, chega-se a resultados aceitáveis para o mapeamento topográfico (escalas de 1:250.000 e menos), ou até mesmo para o mapeamento cadastral (escalas de 1:2.000 e maiores). Os parâmetros obtidos na fototriangulação são essenciais nas práticas posteriores da retificação, ortorretificação e restituição. Ressalta-se aí a importância fundamental dessa tarefa, sendo então essencial a sua realização criteriosa.

Referencias Bibliográficas

AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. **Manual of photogrammetry**. Virgínia, ASP, 1980.

Andrade, J. B. **Fotogrametria**. Curitiba: SBEE, 2003.

Arana, J. M. **Integração do GPS com a Fotogrametria** - Departamento de Cartografia FCT/Unesp. Estudo elaborado em 1994.

Brito, J. L. N. e S. **Fotogrametria Digital** – Rio de Janeiro: Ed UERJ, 2007. 196 p.

Ercolin, Leonardo, Filho. **Extração Semi-Automática de Feições Lineares e a Calibração dos Parâmetros Intrínsecos de Câmeras**. Escola Politécnica – Universidade de São Paulo (USP), 2004.

Ferreira, Aurélio Buarque de Holanda. **Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa**. Curitiba: Positivo, 2004.

LOCH, Carlos e ERBA, Diego Afonso. **Cadastro técnico multifinalitário: rural e urbano**. Cambridge, MA: Lincoln Institute of Land Police, 2007. <http://www.scribd.com/doc/2452660/UFPR-Eng-Car>, acessado em 29/04/2010.

LOCH, Carlos e LAPOLLI, Édis Mafra. **Elementos básicos da fotogrametria e sua utilização prática**. Florianópolis, UFSC, 1994.

MITISHITA, Edson Aparecido. **Deteção de erros grosseiros nas aerotriangulações**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba: 1986, 245 p.

MITISHITA, Edson Aparecido. **Aerotriangulação de Imagens Obtidas com Câmara não Métrica e de Pequeno Formato Apoiada com Dados LIDAR**. CD-Rom. COBRAC, 2004.

PARMA, Gabriel Cremona, et all. **Propagação de erros nos levantamentos cadastrais**. CD-Rom. COBRAC, 2002.

SILVA, Irineu da. **Princípios básicos da teoria dos erros**. Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 2008.

TELLES, Sandra E. de Souza; **Um Modelo Para Calibração de Cameras Digitais baseado em Linhas Retas**. Dissertação – UNESP Universidade Estadual Paulista, 2004.

Yanaga, Silvia Sayuri. **Fotogrametria Digital à Curta Distancia na Documentação do Patrimonio Arquitetonico – Estudo de Caso**. Universidade Federal de Santa Catarina Centro Tecnológico Programa de Pós-Graduação em Arquitetura E Urbanismo.