

Calibração da Câmara Pentax PAMS 645 utilizada em Trabalhos de Fotogrametria à curta Distância

Jani Mara Martins ¹
Cláudio César Zimmermann ²
Carlos Loch ³

Universidade Federal de Santa Catarina
Centro Tecnológico
Departamento de Engenharia Civil
Campus Universitário - Caixa Postal 476
Cep: 88040-900 - Florianópolis - SC - Brasil
Tel: (048) 231 - 9598 Ramal 31 - Fax: (048) 231 - 9770

¹ Engenheira Civil e Mestranda em Engenharia Civil/UFSC - GT Cadastro - UFSC

✉ ecv3jmm@ecv.ufsc.br

² Professor e Mestre em Engenharia Civil - GT Cadastro – UFSC

✉ ecv1ccz@ecv.ufsc.br

³ Professor e Coordenador GT Cadastro

✉ loch@ecv.ufsc.br

Conteúdo	
	1. Introdução
	2. Objetivos
	3. Metodologia
	3.1 Projeção a ser adotada
	3.2 Tomada das fotografias
	3.3 Medida de distância exata no grid de calibração
	3.4 Transferência do arquivo digital das oito fotos para o disco rígido
	3.5 Início do programa de calibração da Câmara
	4. Conclusões
	5. Referências Bibliográficas

Resumo: Este trabalho tem como objetivo demonstrar o procedimento para a calibração da Câmara PENTAX PAMS 645, utilizada para trabalhos de fotogrametria à curta distância. Com a utilização do software "Calibrator", utilizado para calibração de câmaras de médio formato, que acompanha o software "PHOTOMODELER", específico para modelagem em 3D, identifica-se todas as orientações internas da câmara que são necessárias para a reprodução de modelos digitais em 3 dimensões. Após o processamento da calibração, a câmara estará em condições de ser utilizada com o "PHOTOMODELER". Dependendo do resultado obtido com a iteração, os valores dos erros encontrados poderão ser minimizados, tomando-se alguns cuidados, desde a obtenção dos diapositivos para a calibração, até a marcação dos pontos de controle e marcas fiduciais nos mesmos. Desta forma, com a câmara devidamente calibrada, poderão ser obtidos modelos em 3D com maior precisão e confiabilidade.

Palavras Chaves: Fotogrametria à Curta Distância, Calibração de Câmaras.

Abstract: This work has as objective to demonstrate the procedure for PENTAX'S PAMS 645 Camera calibration, used for works in Close Range Photogrammetry. With the use of the software "Calibrator", used for calibration of cameras of medium format, that accompanies the software "PHOTOMODELER", specific for modelate in 3D, identifies all the internal orientations of the camera that are necessary for the reproduction of digital models in 3 dimensions. After the processing of the calibration, the camera will be in conditions of being used with "PHOTOMODELER". Depending on the result obtained with the iteration, the values of the found mistakes can be minimized, being taken some cares, from the obtaining of the slides for the calibration, until the demarcation of the control points and your fiduccials mark in the same ones. This way, with the camera properly calibrated, will can be obtained models in 3D with larger precision and accuracy.

Key words: Close Range Photogrammetry, Camera Calibration, Photogrammetry.

1. Introdução

Atualmente, os projetos de avaliação e restauração de monumentos pertencentes ao Patrimônio Histórico, a nível nacional e internacional, estão sendo desenvolvidos com o auxílio da Fotogrametria à Curta Distância, sendo que no Brasil esta metodologia encontra-se em fases iniciais de pesquisa.

A metodologia utiliza câmaras de médio formato que devem estar devidamente calibradas, uma vez que as mesmas serão utilizadas para a reconstituição de edificações em meio digital e as medidas devem representar o objeto real. Neste trabalho realizou-se a

calibração da câmara fotográfica PENTAX PAMS 645.

Através do software "Calibrator" utilizado para calibração de câmaras de médio formato que acompanha o software "PHOTOMODELER", específico para modelagem em 3D, identifica-se todas as orientações internas da câmara, sendo esta utilizada como instrumento de medição, necessário para a reprodução de modelos digitais em 3 dimensões.

Após o processamento da calibração, a câmara estará em condições de ser utilizada com o "PHOTOMODELER". Dependendo do resultado obtido com a iteração, os valores dos erros encontrados poderão ser minimizados, tomando-se alguns cuidados, desde a obtenção dos dispositivos para a calibração, até a marcação dos pontos de controle e marcas fiduciais nos mesmos.

Desta forma, com a câmara devidamente calibrada, poderão ser obtidos modelos em 3D com maior precisão e confiabilidade, tendo medidas muito próximas das medidas reais do objeto.

2. Objetivos

- Calibrar a câmara Pentax PAMS 645, de médio formato, utilizada para trabalhos de reconstituição de fachadas, através da Fotogrametria à Curta Distância;
- Definir os parâmetros internos da câmara Pentax PAMS 645;
- Capacitar a câmara para representar as medidas reais com maior acurácia.

3. Metodologia

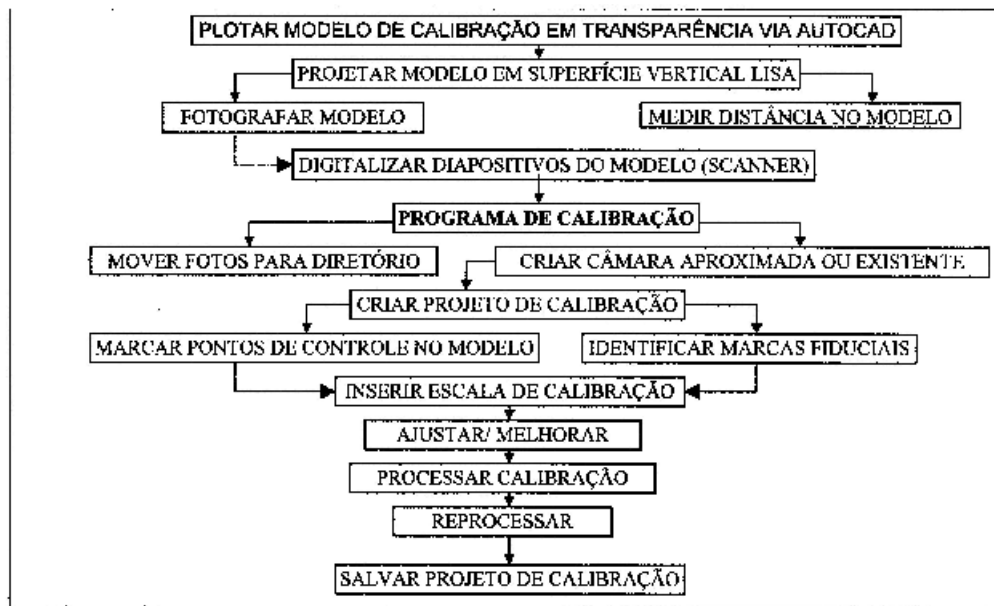


Fig. 1: Fluxograma para obtenção da calibração da Câmara PENTAX PAMS 645

Para gerar um modelo tridimensional no Photomodeler, é necessário que antes seja feita a calibração da Câmara, determinando seus parâmetros internos.

Calibração é o processo de determinação das características de uma câmara para que a mesma possa ser usada como um instrumento que gerará um produto de medição.

O PhotoModeler pode usar fotografias tiradas por diferentes tipos de câmaras. Para que o PhotoModeler possa usar as informações de uma imagem, ele precisa de valores para alguns parâmetros específicos da câmara. Geralmente, é preciso conhecer a distância focal das lentes, a escala de digitalização (que é o tamanho do formato CCD de um scanner ou câmara digital) e o ponto principal (onde o eixo ótico das lentes intercepta a fotografia). Para otimizar a exatidão, são usados parâmetros que descrevem as características de distorção das lentes.

A Calibração da Câmara é o método de encontrar valores para esses parâmetros da câmara. Uma vez que a câmara é calibrada, ela fornecerá medições com exatidão = acurácia.

A calibração segue alguns passos descritos abaixo:

Primeiro deve-se criar uma câmara aproximada, com os dados da câmara que será calibrada, de acordo com a caixa de diálogo abaixo:

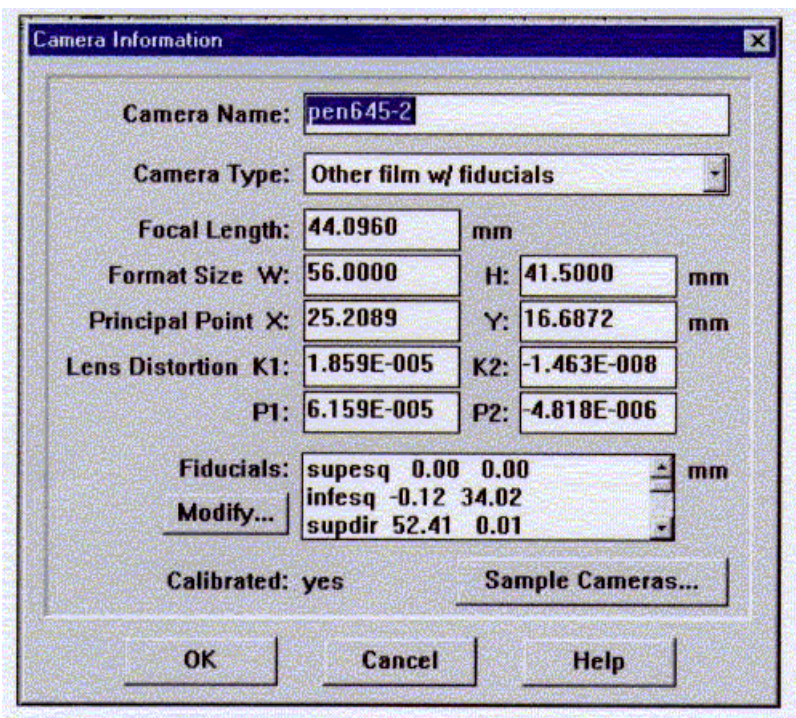


Fig. 2: Informações da câmara

De acordo com a caixa de diálogo acima, deve-se descrever a câmara (*Camera Name*), indicar em qual classe de câmara se enquadra (*Camera Type*), incluir distância focal (45.0000 mm), tamanho do formato do diapositivo ($W: 56.0000\text{ mm}; H: 41.5000\text{ mm}$), Ponto Principal ($X: 28.0000\text{ mm}; Y: 20.7500\text{ mm}$), marcas fiduciais da câmara obtidas do certificado de calibração da mesma.

As marcas fiduciais da câmara Pentax estão referenciadas com os eixos coordenados $(0,000; 0,000)$ no centro da foto e no Photomodeler os eixos coordenados $(0,000; 0,000)$ estão localizados no canto superior esquerdo da foto. Portanto as coordenadas devem ser transladadas de acordo com estes dados.

Tabela 1: Coordenadas das marcas fiduciais no certificado de calibração

Ptos. Fiduciais	X (mm)	Y (mm)
F1	-26,149	17,013
F2	-26,265	-17,009
F3	26,144	-17,009
F4	26,258	17,005
F5	-25,101	17,013
F6	-25,220	-16,994
F7	25,101	-16,992
F8	25,211	17,006

Tabela 2: Deslocamento das coordenadas em relação ao canto superior esquerdo

Ptos. Fiduciais	X (mm)	Y (mm)
F1	0,000	0,000
F2	-0,120	34,020
F3	52,290	34,020
F4	52,410	0,010

F5	1,050	0,000
F6	0,930	34,010
F7	50,250	34,010
F8	51,360	0,010

3.1 Projeção a ser adotada

Esta decisão é importante pois o modelo fotografado deve apresentar o mínimo de distorções possível. Portanto, a melhor solução adotada foi a projeção do modelo impresso em transparência, em uma superfície plana e lisa através de um retroprojeter. O modelo projetado deve ser grande o suficiente para que preencha o campo de visão da câmara, ao mesmo tempo que a distância câmara-objeto não pode ser inferior a 1,70 m, pois não há possibilidade de foco, mesmo com a abertura do diafragma em $f/22$.

3.2 Tomada das fotografias

a) *Modelo de calibração:*

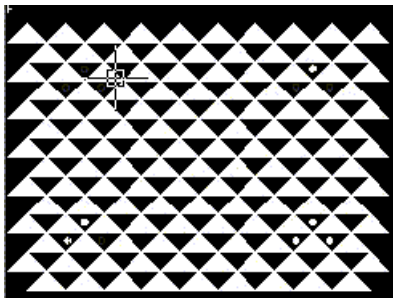


Fig. 3: Modelo de Calibração

b) *Ajuste da tomada das fotos:* A facilitação do trabalho é conseguida com um breve planejamento das fotos, de acordo com as considerações abaixo:

b.1) *Tamanho da sala:* deve ser grande o bastante para acomodar o projetor, possuindo ainda uma ampla parede plana e limpa para a projeção;

b.2) *Tipo de parede:* a parede deve ser plana, lisa, limpa, isenta de papel de parede;

b.3) *Iluminação ambiente:* controle a iluminação da sala para prover o maior contraste possível para o slide/poster. Tomar cuidado de fazer a sala suficientemente iluminada para que as marcas fiduciais possam ser examinadas, mas não tão claras a ponto de ofuscar o modelo projetado. Um teste preliminar deve ser feito e revelado em uma hora, utilizando valores de ± 3 f-stops distintos (diferentes aberturas do diafragma);

b.4) *Uso de um tripé:* recomendado para menores aberturas do diafragma (número f-stop maior);

b.5) *Uso do flash:* deve ser evitado para não ofuscar o objeto imageado;

b.6) *Foco:* procurar manter todo o slide de calibração em foco, aumentando se necessário e o quanto for possível para isso o valor do f-stop. Ideal seria que o foco se mantivesse igual àquele que será utilizado nos trabalhos futuros (para uma ponte de grandes dimensões, por exemplo, provavelmente a câmara estará focada no infinito - se esta opção estiver disponível). A calibração ideal considera a câmara com foco no infinito;

b.7) *Retroprojeter:* deve-se esperar que este se aqueça por algum tempo para sua estabilização.

c) *Restrições no posicionamento:* A lista a seguir apresenta, em ordem de prioridade decrescente, pontos importantes que devem ser considerados na tomada das fotos, quais sejam:

c.1) O padrão de calibração deve apresentar ângulos retos em seus vértices extremos. Por exemplo, se o modelo tem 1 metro de largura, a diferença entre a medida A e a medida B não deve ultrapassar 2,5 cm ou $1/40$ da largura.

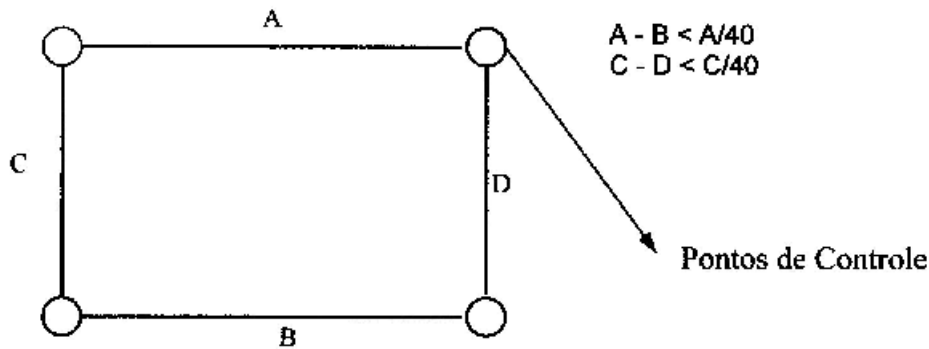


Fig. 4: Localização dos pontos de controle

- c.2) Todos os pontos de controle devem aparecer em todas as fotos;
 - c.3) O padrão de calibração deve ser mantido plano na parede onde está projetado/ afixado;
 - c.4) O padrão de calibração deve tanto quanto possível preencher o visor da câmara;
 - c.5) As posições da câmara devem, aproximar-se de 45º da vertical e horizontal, como requerido;
 - c.6) Para as câmaras que apresentam filme (como a Pentax), a maioria das marcas fiduciais disponíveis deve aparecer nas fotografias. Se a câmara possui duas marcas fiduciais, ambas deverão aparecer, para o caso de 3 ou mais marcas certificar-se de que pelo menos três delas poderão ser restituídas;
 - c.7) As fotografias devem ter um bom foco ao longo do modelo (pequena presença de manchas, devido a problemas com profundidade de campo, é aceitável;
 - c.8) As fotografias devem ter um bom contraste, ao mesmo tempo em que não devem apresentar o grid ofuscado por excesso de luminosidade;
 - c.9) padrão deve estar limpo. Nenhuma sombra ou mancha forte deve aparecer na área da fotografia;
 - c.10) Todas as fotografias devem ser obtidas com o mesmo ajuste de foco;
 - c.11) Manter a câmara focada na distância em que será usualmente aplicada nos projetos futuros.
- O Photomodeler realiza alguma auto-calibração durante seu processamento 3D, quando existem suficientes pontos marcados nas fotografias. Mesmo que o processo de calibração afaste-se do ideal. O Photomodeler continua produzindo bons modelos tridimensionais quando da presença de elevado número de pontos espacialmente identificados (acima de 50 pontos 3D).
- d) Posicionamento da câmara: Para obter os dados necessários para a calibração da câmara, seis ou mais fotos tomadas de diferentes ângulos e de uma densa grade de pontos é necessária. O processo de calibração trabalha com uma grade específica.

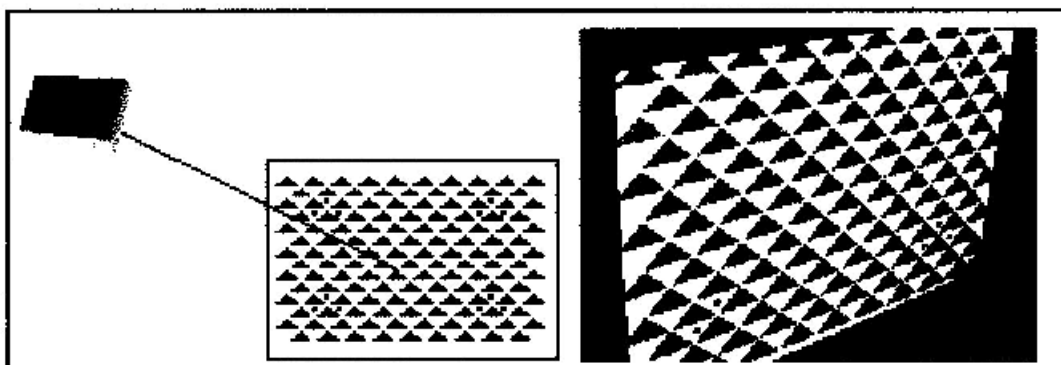


Fig. 5: a) Posição 1 da câmara (superior esquerda); b) fotografia obtida

A exemplo da posição da câmara mostrada na figura 5, procede-se a tomada de fotos do modelo para as seguintes posições:

- Posição 2 da câmara - Posição Média Esquerda
- Posição 3 da câmara - Posição Média Esquerda em Formato Paisagem
- Posição 4 da câmara - Posição Inferior Esquerda
- Posição 5 da câmara - Posição Superior Direita
- Posição 6 da câmara - Posição Média Direita
- Posição 7 da câmara - Posição Média Direita em Formato Paisagem
- Posição 8 da câmara - Posição Inferior Direita

3.3 Medida de distância exata no grid de calibração

O Camera Calibrator necessita de uma distância entre os pontos de controle 1 e 4 no padrão de calibração projetado, como mostrado na figura 5.14. Esta distância deve ser obtida no mesmo momento da tomada das fotos. Esta medida pode ser tomada com uma fita métrica, e deve ser o mais precisa possível. Deve-se procurar medir mais de uma vez, de 1 para 4 e de 4 para 1. Para esta calibração a medida D feita foi de 2,048 m.

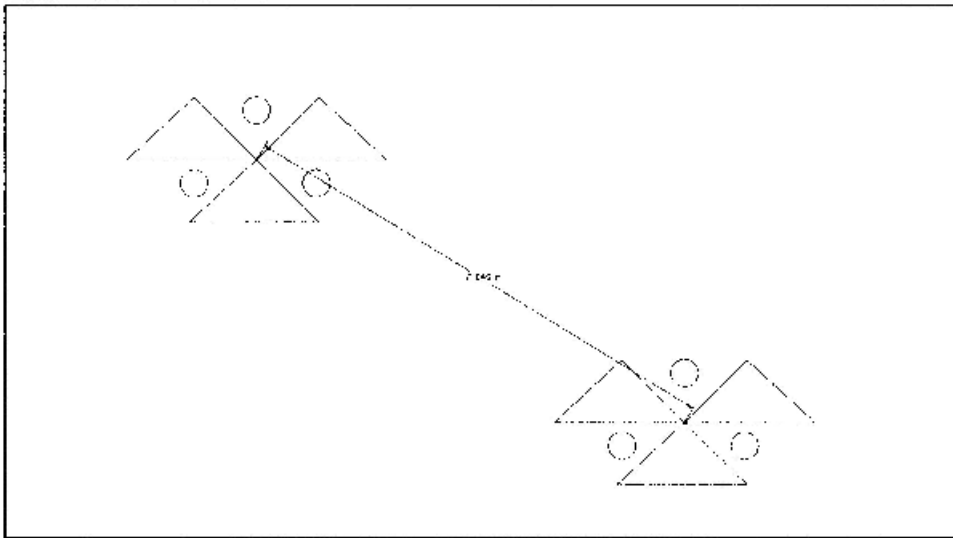


Fig. 6: Medida no grid de calibração

Se possível, prolongar na parede ou na impressão as arestas dos triângulos de modo a determinar de maneira mais precisa os pontos 1 e 4, como mostrado abaixo:

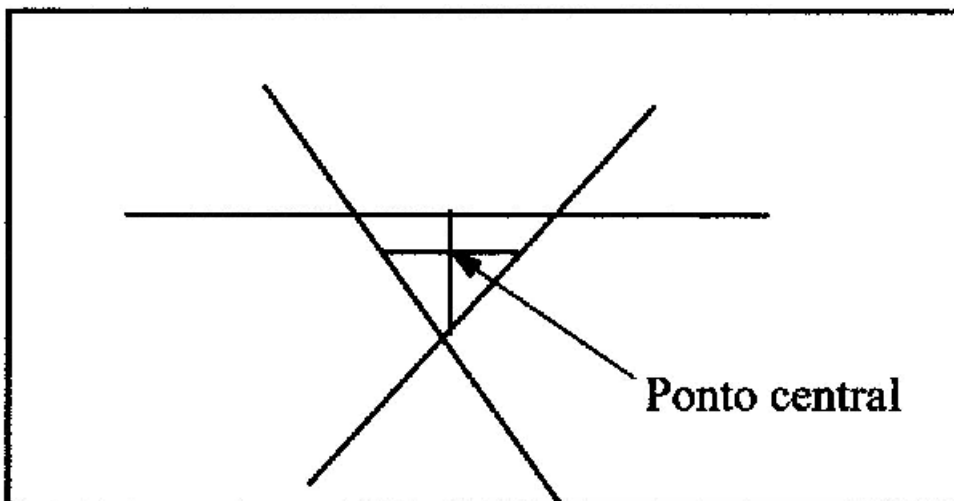


Fig. 7: Centralização do ponto

3.4 Transferência do arquivo digital das oito fotos para o disco rígido

As fotos devem ser convertidas para uma representação digital de forma a serem armazenadas por um sistema computacional. O Camera Calibrator trabalha com os seguintes modelos de armazenamento de imagens: Targa - TGA, TIFF, GIF, PCX, DCX, BMP, DIB, JPEG, WMF, WPG, PICT, IFF, Photoshop-PSD e Kodak Photo C-PCD.

Para esta calibração as imagens foram salvas em JPEG em escalas de cinza, para gerar um arquivo que não ocupe muita memória em disco e torne o trabalho mais agilizado.

Os negativos foram escanizados, usando o software de escanização TWAIN que acompanha o Scanner e as imagens salvas em um dos formatos aceitos pelo Photomodeler. Este procedimento é necessário pois o Photomodeler não consegue ler diretamente do scanner.

3.5 Início do programa de calibração da Câmara

Para calibrar uma câmara deve-se criar e processar um projeto de Calibração, usando o *Camera Calibrator*. O projeto de calibração será composto de 8 fotos tomadas do grid (modelo) de calibração, uma distância em escala e alguns parâmetros de início da câmara. O projeto de calibração é similar ao Projeto de Medição no Photomodeler.

Para iniciar um novo projeto de calibração é necessário:

- a) Criar uma nova câmara ou abrir uma câmara existente;
- b) Mover as fotografias de calibração para um diretório que não contenha nenhuma outra fotografia: o *Camera Calibrator* usará todas as fotografias contidas neste diretório no projeto de calibração;
- c) Criar um novo projeto de calibração usando o *New Calibration Project*
- d) Marcar os pontos de controle no modelo: Em cada fotografia do modelo devem ser marcados os 4 pontos de controle, identificados por 3 círculos. A sequência de marcação dos pontos de controle será:
 - controle # 1: três círculos vazios
 - controle # 2: um preenchido, dois círculos vazios
 - controle # 3: dois preenchidos, um círculo vazio
 - controle # 4: três círculos preenchidos

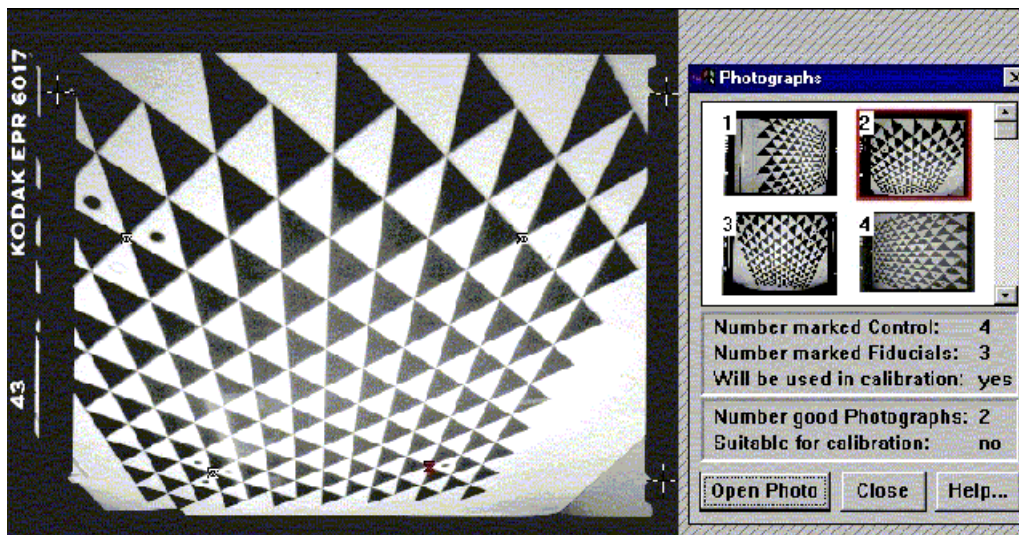


Fig. 8: Pontos de controle no modelo de calibração

Estes pontos de controle devem ser marcados com a máxima precisão possível, pois deles também depende o sucesso da calibração.

e) Identificar as marcas fiduciais em cada uma das oito fotografias do modelo. O *Camera Calibrator* não reposicionará estes pontos fiduciais como faz com os pontos de controle, portanto devem ser marcados o mais precisamente possível. Deve-se marcar, no mínimo 3 marcas fiduciais em cada fotografia.

f) Entrar com a escala de calibração: Para calibrar uma câmara, o programa *Camera Calibrator* requer uma distância medida corretamente entre dois pontos no modelo de calibração. A distância requerida é a distância entre os pontos 1 e 4 medida no momento da tomada das fotos do modelo de calibração que para esta calibração é de 2,048 m;

g) Processar a calibração: A calibração é um processo de dois estágios. No primeiro estágio confere a localização dos pontos marcados nos vértices dos triângulos, e no segundo estágio processa a calibração;

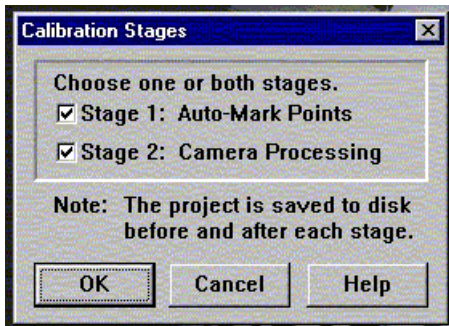


Fig. 9: Estágios de calibração

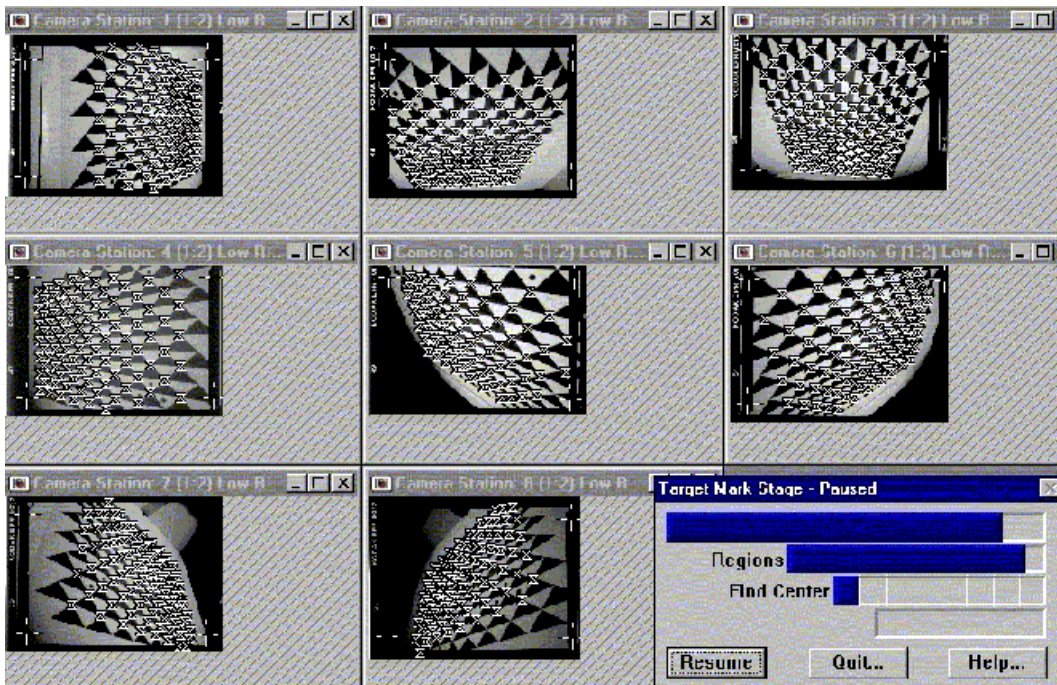
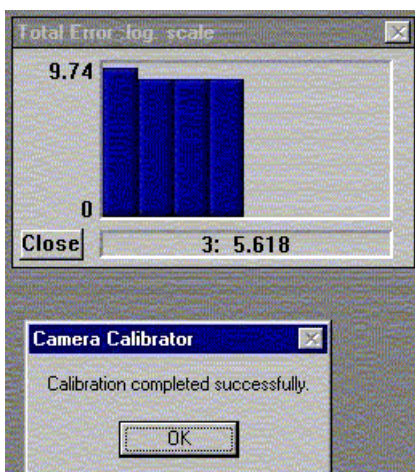


Fig. 10: Processamento da calibração

Ao final do processamento da calibração, que leva em torno de 1 hora, verifica-se o sucesso da calibração ou não. Baseado nesta informação é que a câmara pode ser utilizada com o Photomodeler.



4. Conclusões

O processamento da calibração se dá em várias iterações e ao final, são mostrados os erros totais de calibração. Esta calibração teve um total de 3 iterações com o erro total de 5,618.

Este erro de calibração pode ser reduzido, e para isto deve-se observar alguns cuidados durante todo o processo, desde o momento da tomada das fotografias do modelo, até o resultado final do mesmo. Estes cuidados são relacionados a seguir:

- i) Focalização do modelo projetado e equipamento de projeção de boa qualidade;
- ii) Luminosidade adequada para evitar que os negativos fiquem muito escuros impedindo de se visualizar os pontos de controle e marcas fiduciais;
- iii) Cuidado durante a projeção para que a região onde ficam as marcas fiduciais (colocadas no modelo no momento da revelação do filme) seja clara, evitando que estas fiquem em regiões escuras do modelo, o que dificulta muito no momento de localizar o ponto exato das marcas fiduciais que devem ser alocadas com a máxima precisão possível;
- iv) O processo de revelação do filme também deve ser considerado, pois é necessário que este seja o Processo de Revelação E6, com secagem natural a frio e sem enrolamento dos negativos, o que dificulta a colocação dos negativos no scanner;
- v) Cuidado absoluto na marcação dos pontos de controle e das marcas fiduciais. Quanto aos pontos de controle observar cuidadosamente a marcação de acordo com a ordem certa dos quatro pontos de acordo com o descrito no item d (Seção 3.5). Com relação às marcas fiduciais, estas também devem ser rigorosamente alocadas na posição exata de acordo com o que foi determinado na criação da câmara, pois uma troca de posição apenas é suficiente para não processar a calibração.

5. Referências Bibliográficas

Bähr, H. P. Appropriate Pixel Size for Orthophotography. Anais of International Society for Photogrammetry and Remote Sensing. XVIIth ISPRS Congress, Washington, D.C., 1992, Vol. I

Boron, A. Homogeneity of geometry of images scanned using UMAX 1200 SE. *Proceedings of geodesy and environmental engineering commission*, vol. 38, Krakou, Poland, 1995, 133-145.

Bolla, G. Sub Diretor do Setor de Cultura e Comunicação da UNESCO - Le fil des Pierres - Photogrammètrie et Conservation des Monuments - Kodak-Pathé, *Institut Géographique National, Caisse National des Monuments Historiques et ddes Sites*, França, 1984.

Fuchs C. & Ruwiedel S. Digittization and rectification of transparencies with the analytical plotter P3, *ISPRS, XVII Congress*, vol. XXIX, Part. B2, Commission II, 1992, 18-24.

Loch C. & Lapolli, E. M. Elementos Básicos da Fotogrametria e sua Utilização Prática. Florianópolis, *Editora da UFSC*, 1994. 104 p.

MANUAL DO PHOTODELER - 3.0

Martins, J. M. A fotogrametria terrestre no auxílio a projetos de recuperação do patrimônio histórico. *Trabalho de Conclusão de Curso*. Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC. 174 pp. 1997.