

# RETIFICAÇÃO DE IMAGENS DIGITAIS DE FACHADAS COM PRÉ-CORREÇÃO DAS DISTORÇÕES DAS LENTES

*Reconstitution of facade digital image by means of calibration of lens distortion*

DANIEL CARNEIRO DA SILVA

[danielcs@ufpe.br](mailto:danielcs@ufpe.br)

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da  
Geoinformação

## RESUMO

Existe um esforço de entidades internacionais para divulgação de técnicas que facilitem o estudo e conservação de prédios históricos. A fotogrametria arquitetural é importante neste contexto porque permite a reconstituição métrica e morfológica do objeto examinado e atualmente pode se beneficiar com a crescente oferta de câmaras digitais amadoras. Porém uma precisão geométrica adequada só é obtida com essas câmaras seguindo procedimentos relativamente complexos para não-fotogrametristas, como calibração, medição dos pontos de apoio com estações totais, ajustamento da fototriangulação e restituição com equipamentos e programas especiais. Por outro lado para alguns tipos de trabalhos de cadastro para futuras restaurações de prédios, que têm planos verticais predominantes nas fachadas, é possível realizar o levantamento com métodos mais simples. Este trabalho mostra o desenvolvimento de um sistema de baixo custo para aquisição das imagens, composto por câmara digital com 2048x1536 pixels, medições diretas com trenas e processamento das imagens com programas para correção das distorções das lentes e retificação. As imagens retificadas podem ser usadas para compor um arquivo a custo baixo e que podem ser restituídas para obtenção de medidas em programas tipo CAD. O método foi aplicado na Igreja de Nossa Senhora do Rosário em Recife.

## ABSTRACT

International entities have been making an effort for the divulgation of techniques that facilitate the study and conservation of historical building and works of art. Photogrammetry is crucial in this context since it allows the metric morphologic reconstitution of the examined object. At present, digital amateur cameras have been used in the architectural photogrammetry, but the attainment of geometric

precision is only reached following the relatively complex photogrammetric procedures, so such calibration, control point surveying, adjustment of the phototriangulation and compilation by using special hardware and software. However, for some types of works so such cadastre for future restoration of buildings with facades that have a predominant vertical plan, it is possible to carry out the survey with simpler methods. This work shows a system of low cost for images acquisition, that is formed by an unexpensive digital camera, direct measurements with tapes and processing of the images by programs that correct lens distortion and perform rectification. The rectified images can be used to compose an archive of low cost and they can be restituted for attainment of the measures in programs type CAD. The method was applied in the Church of Nossa Senhora do Rosário in Recife, PE.

## 1. INTRODUÇÃO

O CIPA (International Committee for Architectural Photogrammetry) criado pelo ICOMOS (International Council of Monuments and Sites) em colaboração com outras entidades como a ISPRS (International Society of Photogrammetry and Remote Sensing) tem feito um esforço para a divulgação de técnicas que facilitem o estudo e conservação de prédios históricos e obras de arte. A fotogrametria é crucial neste contexto desde que permite a reconstituição métrica e morfológica do objeto examinado e muitos trabalhos têm sido feito neste sentido internacionalmente como por exemplo: ALMAGRO (1999), BORGES e BORGES (1999), JAUREGUI e JAUREGUI (2000) e PEREIRA et al. (2004).

No Brasil a divulgação e uso de fotogrametria arquitetural é incipiente, mas existem alguns trabalhos como os de MARTINS et al (1998), GOMES et al (1999), SILVA e DALMOLIN (2000), MENDONÇA e FERRAZ (2001), GROETELAARS e AMORIM (2005), que mostram a viabilidade da técnica e que têm despertado o interesse das entidades governamentais responsáveis pela preservação de prédios e sítios históricos.

Nos últimos tempos a fotogrametria arquitetural vem também se beneficiando da crescente oferta de câmaras digitais métricas e amadoras (PEIPE, 1999; CARDENAL et al., 2004), mas ainda persiste o problema de obtenção de qualidade e de precisão geométrica, que só é resolvido com procedimentos fotogramétricos relativamente complexos para não-fotogrametristas. São usadas várias técnicas fotogramétricas em levantamentos de prédios históricos como: a restituição monoscópica (SILVA e DALMOLIN, 2000) e estereoscópica (PEREIRA et al., 2004) e ortofotografias (BARATI et al., 2000). Também se tem usado a fotogrametria integrada com SIG (HONGO et al, 2000 ) e com nuvem de pontos de laser-scanner terrestre e realidade virtual (KERSTEN et al, 2004). A maioria das pesquisas abordam levantamentos completos em três dimensões e visualização

estereoscópica, nos quais os melhores resultados são conseguidos com o uso de medição de pontos de apoio com estações totais ou com ajustamento de redes de pontos e uso de câmaras calibradas.

Porém nem sempre é necessário todo este aparato de equipamentos de alto custo e uso de técnicas específicas de cálculo de coordenadas. Para alguns tipos de levantamentos para cadastro, futuras restaurações ou prevenção contra incêndios, podem ser empregados métodos mais simples e mais acessíveis à arquitetos e restauradores, como nos trabalhos desenvolvidos por SILVA E DALMOLIN (2000) ou HONGO et al (2000). GROETELAARS e AMORIM (2005) relacionam vários programas comerciais que podem ser usados em fotogrametria arquitetural digital com certa simplicidade. Dentre os apresentados, os mais completos, inclusive com fotogrametria estereoscópica, estão o Photomodeler ([www.photomodeler.com](http://www.photomodeler.com)) e o ShapeCapture ([www.shapecapture.com](http://www.shapecapture.com)). Outros, como o DigiCad ([www.interstudio.net](http://www.interstudio.net)), Elconvision ([www.elconvision.com](http://www.elconvision.com)), PhotoPan ([www.photoplan.net](http://www.photoplan.net)), Archimedes ([www.archimedes3d.com](http://www.archimedes3d.com)), Photo3D ([www.photo3d.com](http://www.photo3d.com)), ImageModeler ([www.realviz.com](http://www.realviz.com)) têm recursos de retificação de fotografias simples e alguns até de reconstituição de volumes. Um exemplo de uso do programa gráfico CorelDraw ([www.corel.com](http://www.corel.com)) é mostrado em MOREIRA (2005).

Neste contexto de busca por alternativas mais simples que usem fotografias para documentação e levantamentos de fachadas, este trabalho propõe a retificação de fotografias inclinadas, obtidas com câmaras digitais de baixo custo, empregando a transformação projetiva. A retificação de fotografias analógicas pode ser realizada com métodos gráficos, analíticos ou óticos-mecânicos (SLAMA, 1980; BOQUERA et al, 1999) e foi bastante utilizada no passado principalmente com o objetivo de preparação fotografias para mosaicos. Com a retificação uma fotografia inclinada é convertida em vertical (fotografia aérea) ou horizontal (fotografia terrestre). Com o desenvolvimento dos computadores e técnicas de processamento de imagens digitais pode-se facilmente usar de transformação projetiva para proceder a tal retificação (KASSER E EGELS, 2002), com uma característica muito importante que é não necessitar da posição e orientação da câmara, ao contrário dos demais métodos.

A transformação projetiva pode ser facilmente programada, usando linguagens de alto nível, e as coordenadas necessárias para obtenção dos parâmetros de transformação podem ser obtidos a partir da medição de um quadrilátero definido sobre a fachada. A única restrição a um uso maior dessas metodologias mais simples refere-se às câmaras, visto que as lentes introduzem distorções significativas nas imagens, nas quais devem ser feitas as correções necessárias a partir de informações adquiridas num processo de calibração. Esta calibração é um processo relativamente complexo e será brevemente discutido. São ainda apresentados os programas usados e os resultados alcançados na Igreja de Nossa Senhora do Rosário, em Recife-PE

As imagens retificadas podem ser usadas para compor um arquivo a custo muito baixo. Quando necessário, posteriormente, podem ser restituídas para obtenção das medidas desejadas em programas tipo CAD, de uso comum e disponíveis na maioria dos escritórios de arquitetura e engenharia.

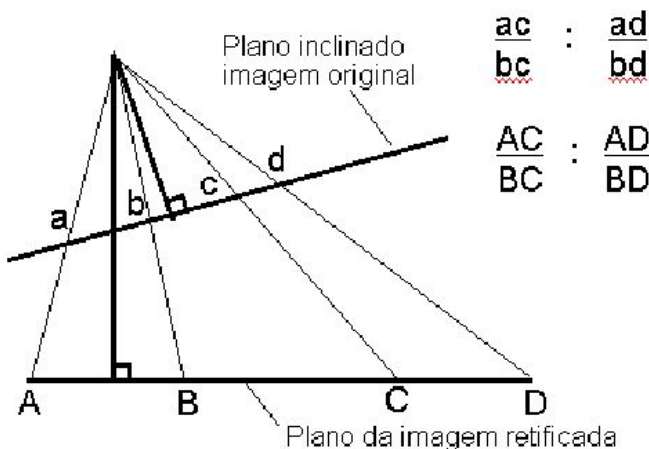
## **2. GEOMETRIA PROJETIVA E RETIFICAÇÃO DE FOTOGRAFIAS**

Na geometria euclidiana os lados dos objetos em três ou duas dimensões têm comprimentos e suas interseções determinam ângulos entre eles. Além disso duas linhas são paralelas se estão num plano e nunca se interceptam. Essas propriedades não mudam quando se aplicam as transformações euclidianas de rotação e translação, mas no processamento de fotografias torna-se claro que a geometria euclidiana não é suficiente (BIRCHFIELD, 1998), porque os comprimentos e ângulos não são no geral preservados.

As propriedades da geometria euclidiana são mais claramente percebidas quando são relacionadas com as propriedades das geometrias de similaridade, afim e projetiva. Na verdade a geometria euclidiana é um sub-conjunto da similaridade, a similaridade da afim e afim da projetiva. Todas essas transformações são muito usadas e de enorme importância em topografia, geodésia e fotogrametria. Mais detalhes sobre suas propriedades podem ser consultadas em BIRCHFIELD (1998), LUGNANI (1987) ou SLAMA (1980).

Todas as transformações de rotação, translação, escalas uniforme e não uniforme, deformação paralela, perspectiva e composição de projeções lineares, são permitidas na transformação projetiva; que preserva a colinearidade entre os pontos e linhas retas, incidência (posição do ponto numa linha) e as razões de proporções chamadas de harmônicos. Na Figura 1 os segmentos *ab*, *bc* e *cd* têm como equivalentes os segmentos *AB*, *BC* e *CD* que obedecem as proporções harmônicas. As proporções são válidas para todos os segmentos de retas existentes no plano da imagem original inclinada e também para as retas transformadas no plano da imagem retificada.

Figura 1. Razões de proporção da transformação projetiva



A transformação projetiva (equação 1) é a transformação natural para converter uma imagem inclinada livre de inclinações, no processo chamado em fotogrametria de retificação. Com imagens retificadas, elas passam a ter uma escala, um plano de referência verdadeiramente horizontal (para fotografias aéreas) ou vertical (para fotogrametria terrestre), e com elas podem ser montados mosaicos e realizados outros trabalhos fotogramétricos. A rigor as fotografias aéreas só são convertidas em verdadeiramente verticais com a transformação projetiva se forem usados pontos com mesma altitude, ou seja, se os pontos que não tiverem deslocamento relativo entre si devido ao relevo. O mesmo vale para as fotografias terrestres, pois a retificação só ocorre para os pontos no mesmo plano.

$$x' = \frac{a_1x + a_2y + a_3}{a_4x + a_5y + 1} \quad (1)$$

$$y' = \frac{a_6x + a_7y + a_8}{a_4x + a_5y + 1}$$

em que  $x'$ ,  $y'$  são as coordenadas do pontos já transformados

$x$ ,  $y$  são as coordenadas da imagem original

$a_1$  a  $a_8$  são os parâmetros da transformação projetiva no plano.

As equações (1) não são lineares mas podem ser transformadas para um sistema homogêneo cuja solução pode ser vista por exemplo em LUGNANI(1987). Os seus oito parâmetros podem ser recuperados com o mínimo de quatro pontos com coordenadas medidas na imagem e com seus homólogos conhecidos sobre a fachada. A forma de medição das coordenadas será detalhada na Seção 4. É importante salientar que muitas linguagens de programação de alto nível como JAVA, C++, MatLab e outros, já têm rotinas prontas que efetuam a transformação projetiva diretamente bastando apenas entrar com quatro pontos homólogos medidos na imagem original e na imagem final.

### **3. CALIBRAÇÃO DA CÂMARA E DISTORÇÕES DAS LENTES**

#### **3.1 Importância da calibração das câmaras**

Todos os sistemas óticos têm aberrações oriundas da própria natureza da luz e de defeitos de fabricação das lentes. Este problema é resolvido com a calibração das câmaras, que determina os seus parâmetros geométricos (dimensões da imagem, distância focal, e distorções) que permitirão a correção dos erros sistemáticos introduzidos nas imagens. Vale lembrar que o termo calibração de câmara em visão de computador se refere à recuperação da posição e orientação da câmara no sistema de coordenadas do objeto (CLARKE E FRYER, 1998).

A calibração é um processo é relativamente complexo para não fotogrametristas e as alternativas são: adquirir câmaras com certificados de calibração (como as oferecidas por <http://www.photomodeler.com/products03.html>); aprender o processo disponibilizado por algumas programas como o PhotoModeler; solicitar o apoio de pessoal de instituições que podem fazer a calibração, como por exemplo, dos cursos de engenharia cartográfica de Recife (UFPE), Curitiba (UFPR), Rio de Janeiro (IME), Presidente Prudente (UNESP) ou Porto Alegre (UFRS). Alguns dos programas discutidos acima, como o Digicad 3D e Photo 3D, usam artifícios que avaliam curvaturas em linhas que deviam ser retas e executam as correções de distorção radial das imagens.

Mais detalhes sobre a calibração de câmaras analógicas podem ser vistos em Slama (1980) ou Andrade(1998). Para câmaras digitais o processo de calibração é pouco alterado, apenas com a inclusão de considerações sobre o tamanho do pixel, no sensor ou no objeto, e geometria de distribuição dos mesmos.

O método de calibração e modelos matemáticos usado neste trabalho são os mesmos usados em TOMMASELLI e TOZZI (1990, 1991), GALO(1993), MACHADO et al (2003), MACHADO et al (2004) e SANTOS JR et al (2004). No modelo funcional, são usadas as coordenadas brutas  $x$ ,  $y$  de pontos pré-sinalizados medidos nas imagens; e são aplicadas as correções:  $x_0$  e  $y_0$  (coordenadas do ponto principal);  $dr_x$ ,  $dr_y$  para a distorção radial simétrica;  $dp_x$  e  $dp_y$  para a distorção descentrada; e  $dq_x$  e  $dq_y$  para a deformação afin da imagem (principalmente

diferença de largura e altura dos elementos sensores); até se chegar às coordenadas corrigidas  $x'$ ,  $y'$ , conforme a equação abaixo .

$$\begin{aligned} x' &= x - x_o - dr_x - dp_x - dq_x \\ y' &= y - y_o - dr_y - dp_y - dq_y \end{aligned} \quad (2)$$

em que ,

$$\begin{aligned} dr_x &= (x - x_o) dr/r \\ dr_y &= (y - y_o) dr/r \end{aligned} \quad (3)$$

com ,

$$dr = K_1 r^3 + K_2 r^5 + K_3 r^7 \quad (4)$$

e

$$r = [(x - x_o)^2 + (y - y_o)^2]^{1/2} \quad (5)$$

$$dp_x = P_1(r^2 + 2(x - x_o)^2 + 2P_2(x - x_o)(y - y_o)) \quad (6)$$

$$\begin{aligned} dp_y &= P_2(r^2 + 2(y - y_o)^2 + 2P_1(x - x_o)(y - y_o)) \\ dq_x &= A(y - y_o) \end{aligned} \quad (7)$$

$$dq_y = B(y - y_o)$$

### 3.2 Calibração da câmara Power Shot A300

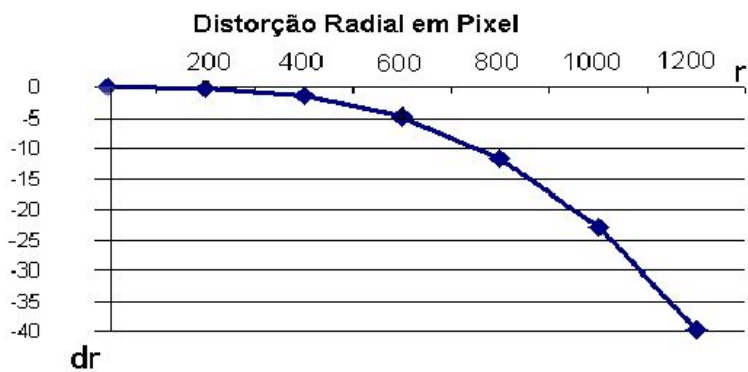
Neste trabalho foi usada uma câmara digital modelo Power Shot A300 da Canon com 2048x1536 pixels. A câmara foi calibrada rigorosamente usando o modelo da Seção 3.1 e com dados obtidos do campo de pontos pré-sinalizados do Decart/UFPE, fotocoordenadas medidas em fotografias convergentes e ajustamento pelos mínimos quadrados de feixes de raios. As coordenadas foram calculadas em pixels e também em milímetros. A seguir são apresentados e discutidos apenas os resultados mais importantes .

Na Tabela 1 estão os resultados da calibração em pixels para facilitar a visualização de ordem de grandeza das distorções em imagens digitais obtidas com câmaras não-métricas. Como já notado em outros experimentos, (MACHADO et al ,2003; SANTOS JR et al 2004), as distorções nas imagens são muito significativas: o deslocamento do ponto principal é de 12,5 pixels para  $x_o$  e -21,8 pixels para  $y_o$ . A distorção radial simétrica ficou caracterizada apenas pelo termo  $K_1$ , sendo que os demais parâmetros foram considerados significativos, segundo verificação feita com análise de componentes principais (SILVA, 2005). Essa distorção corresponde a um deslocamento na borda da imagem, a 1024 pixels do centro, de 25 pixels (Figura 1).

Tabela 1. Resultados da calibração da câmara Canon Powershot A-300

Parâmetro	Valor em pixel
F	1900,0
Xo	12,5
Yo	-21,8
K1	-2,293E-08
P1	1,444E-07
P2	1,568E-06
A	9,527E-05
B	-1,378E-04
Formato	2048,0x1536,0

Figura 2. Curva de distorção radial simétrica em pixels



3.3 Correções das distorções e retificação

Uma imagem com distorções da magnitude mostrada na curva da Figura 2 inviabiliza o uso da mesma diretamente numa retificação ou em qualquer processo fotogramétrico, a não ser que o programa de processamento seja capaz de efetuar a devida compensação. Com essa finalidade foi desenvolvido um programa em Matlab com o modelo de correção dado pela equação (2) e os parâmetros obtidos da calibração apresentados na Tabela 2. A imagem corrigida ( p. ex. a Figura 3.b) é obtida pelo chamado mapeamento indireto, isto é, se parte das coordenadas da imagem final (x', y') e usando a equação (2) se obtém a posição na imagem bruta (x,y). Com as coordenadas dessa posição na imagem bruta se calcula a cor do pixel que preencherá a posição (x', y') usando a interpolação bilinear.

Na fotografia da fachada da Figura 3.a é possível perceber as distorções quando a mesma é comparada com a fotografia corrigida na Figura 3.b.



Figura 3. Fotografia (a) com as distorções das lentes e (b) corrigida das distorções



Um dos processos mais simples para obter a projeção ortogonal de uma fachada a partir de somente uma fotografia inclinada é através da retificação com a transformação projetiva discutida na Seção 2. Para este trabalho foi usado um programa desenvolvido em JAVA, com rotinas da biblioteca JAI (Java Advanced Imaging) que efetua os cálculos da transformação e gera nova imagem retificada a partir da reamostragem dos pixels da imagem original. Os dados de entrada do programa e os resultados serão discutidos na Seção 4 a seguir.

Os programas usados neste trabalho em MatLab e Java deverão ser traduzidos para linguagens que têm melhor desempenho com imagens de maior tamanho e formarão um pequeno sistema para retificação e mosaico de imagens digitais, que estará disponível em breve para distribuição.

#### 4 RETIFICAÇÃO USANDO MEDIÇÕES DIRETAS NA FACHADA

Para o cálculo da transformação projetiva usando o programa de retificação são necessárias as coordenadas de no mínimo quatro pontos bem distribuídos pela fachada, que formem um quadrilátero (Figura 4). As coordenadas desses pontos devem ser definidas a partir de medições diretas com trena. O procedimento dado a seguir é praticamente similar ao usado por GOMES ET AL (1999):

- Definir primeiro qual o plano vertical da fachada será usado como referência para a transformação.
- Escolher dois pontos na parte inferior que estejam no mesmo nível, de modo que na imagem retificada as linhas horizontais fiquem niveladas.
- Escolher dois pontos altos que formem um quadrilátero com os dois pontos baixos e cuja altura seja possível medir diretamente com trena, bastão ou mira graduada.

- É importante que as posições relativas e/ou absolutas dos pontos acima e abaixo, possam ser medidas, principalmente se não estiverem na mesma vertical.

Teoricamente, conforme as proporções harmônicas discutidas na Seção 2, até a medição de uma simples janela no plano principal da fachada seria suficiente, mas é conveniente que se utilizem figuras as maiores possíveis. Todos os cuidados devem ser tomados para minimizar os erros de medição com trena e serem escolhidos cantos da fachada muito bem definidos e visíveis nas imagens.

A aplicação desse método no levantamento da fachada da Igreja de Nossa Senhora do Rosário, em Recife, Pernambuco, é mostrada nas Figuras 4 a 6. Na Figura 4 estão indicadas as medições feitas com trena. As posições dos pontos e as diferenças de prumo (15 cm para dentro entre os pontos 1-3 e 2-4), formaram um trapézio regular. Usando estes pontos também se definiu um sistema de coordenadas arbitrário com origem a 15cm a esquerda do ponto 1. As coordenadas para entrada no programa são todas em pixels, com a origem no canto superior esquerdo da imagem, sendo as linhas equivalentes a Y e colunas a X. Como as medições de campo são em metros é necessário definir uma escala para as proporções da imagem final, o que é feito usando a maior medida efetuada, como a que liga os pontos 1 e 2 na base da figura. É recomendável que na imagem retificada seja mantida a mesma quantidade de pixels entre os pontos 1 e 2.

A partir das coordenadas em pixel do ponto 1 são calculadas as demais coordenadas do trapézio da imagem retificada.

1-Primeiro é feito o cálculo do tamanho do pixel na imagem baseando-se nas coordenadas dos pontos 1 e 2 e na distância em metros obtida em campo pela fórmula:

$$D_{pixel} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (8)$$

$$R_{pixel} = \frac{D_{pixel}}{D_{campo}} \quad (9)$$

Em que,

$D_{pixel}$  é a distância de 1 a 2 que é de 923 pixels.

$D_{campo}$  é a distância em metros de 1 a 2 igual a 9,26m

$R_{pixel}$  é a relação de pixel/m que será usado na transformação das outras medidas ≈ 99,676 pixels/m

2- Correção da altura do ponto 2 (Y) para ficar nivelado com o ponto 1  
linha de pt2 = linha pt1 = 1379

3- Correção da coluna (ou X) do pt2  
coluna de pt1 + distância (1-2)(em pixels) = 556 + 923 = 1479

4- Cálculo do ponto 3  
diferença altura 2-3 = 8,70m x 99,679 = 867,18 ≈ 867

linha pt 3 = linha pt 2 - 867 = 1379 - 867 = 512

diferença de prumo : 0,15m x 99,679 ≈ 15

coluna pt 3 = coluna pt 2 + 15 = 1479 + 15 = 1494

#### 5- Cálculo do ponto 4

coluna pt4 = coluna pt1 - 15 = 556 - 15 = 541

linha pt4 = linha pt3 = 512

Na Tabela 2 estão as coordenadas em pixels dos pontos medidos na imagem inclinada e as calculadas acima. Todas elas são dados de entrada no programa de retificação, junto com a imagem já está pré-corrigida das distorções das lentes, conforme procedimento da Seção 3.3.

Na Figura 5 os pontos medidos na fachada (fotografia inclinada) estão marcados com um círculo. Naturalmente no caso de imagens com inclinação muito forte as feições mais distantes são menos nítidas e o processo de retificação não pode corrigir este problema. A solução seria tomar algumas fotografias com zoom, retificá-las a parte e montar um mosaico sobre a imagem de base.

Com as imagens retificadas posteriormente podem ser feitas correções mais precisas de escala num programa tipo CAD.

Figura 4. Exemplo das medições na fachada da Figura 5

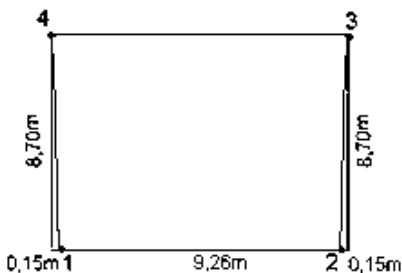


Tabela 2. Valores usados no cálculo da transformação projetiva em pixels.

<i>Coordenadas lidas na imagem inclinada</i>			<i>Coordenadas calculadas para retificação</i>		
Ponto	Col (x)	Lin (y)	Ponto	Col (x)	Lin (y)
1	556	1379	1	556	1379
2	1479	1382	2	1479	1379
3	1457	558	3	1494	512
4	582	564	4	541	512

Figura 5. Pontos do quadrilátero de referência medidos na imagem inclinada



Figura 6. Imagem retificada



As coordenadas calculadas (coluna 2 da Tabela 1) são introduzidas no programa de transformação que gera um imagem retificada como a mostrada na Figura 6. Essa imagem foi ajustada e impressa na escala 1:50 para testes de precisão.

Foram realizados várias medições de distâncias horizontais e verticais na fachada impressa na escala 1:50. As medidas foram comparas com medições de campo a trena e também com medidas retiradas de uma restituição analógica existente da igreja, realizada em estereorestuidor de primeira ordem TOPOCART. As diferenças de medições variam de 1a 3cm, e estão compatíveis com a precisão exigida nos levantamentos comuns a trena, de fachadas e levantamentos de prédios. Essas comparações permitiram inclusive que se descobrisse um erro na medida da altura incluída no primeiro teste. Para fins de checagem de todo processo é portanto conveniente que sejam tomadas mais algumas medidas extras em campo, além daquelas usadas para definir o quadrilátero de referência.

A simplicidade do método pode ser aproveitada para levantamentos de fachadas predominantemente planas. Pode-se aplicar o método individualmente para cada plano significativo existente e posteriormente montar um mosaico de toda fachada. Detalhes e ornamentos muito pequenos que não possivelmente não fiquem nítidos podem ser fotografados com zoom, retificados a parte e superpostos à imagem principal.

## 5. CONCLUSÕES

A proposta de usar medições diretas com trenas em fachadas com grandes painéis planos e uso de programa simples de retificação de imagens inclinadas com a transformação projetiva, mostrou-se viável para apoiar projetos de preservação e cadastro de prédios históricos e obras de arte.

A maior dificuldade para uso do método por outros técnicos, como arquitetos e restauradores, é a necessidade de calibração das câmaras digitais, que têm distorções das lentes muito significativas e chegam a algumas dezenas de pixels, mas isto pode ser contornado com o apoio de instituições, como por exemplo, os vários Departamentos de Engenharia Cartográfica existentes no Brasil.

A existência no mercado de vários programas comerciais de baixo custo destinados a modelagem 3D e retificação, e venda de câmaras digitais pré-calibradas também pode incrementar o uso de fotogrametria arquitetural por não-fotogrametristas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMAGRO, A. Photogrammetry for Everybody. *XVII CIPA Symposium* Recife/Olinda. 1999. International Society of Photogrammetry and Remote sensing. Anais em CD. 1999.

- ANDRADE, J.B. *Fotogrametria*. Curitiba: SBEE. 258 p. 1998.
- BARATI, L; BITELLI, G; UNGUENDOLI, M; ZANUTA. Digital orthophotos as a tool for the restoration of monuments. In : *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. V. XXXIII part B, p. 62-69. 2000.
- BIRCHFIELD, A. *An introduction to projective geometry (for computer vision)*. Disponível em <http://vision.satnford.edu/~birch/projective/>. 22p. mar, 1998. (acessado em 15.02.2005). 1998.
- BORGES, M.L.V.B; BORGES, P.A. Practical applications of architectural photogrammetry in the documentation of historical building and cities, for effective utilization by architects, planners and heritage preservations professionals. In: *XVII CIPA Symposium*. Recife/Olinda. 1999. International Society of Photogrammetry and Remote sensing. Anais em CD. 1999.
- CARDENAL ET AL. Evaluation of a digital non metric camera (CanonD30) for the photogrammetric recording of historical buildings. In : *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. V. XXXIII part B, p. 564-569. 2004.
- GALO, M. *Calibração e Aplicação de Câmaras Digitais*, Curitiba, 1993, Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, UFPR.
- GOMES, C. J.M; PRADO, W. S; ERWES, H. Solar da Imperatriz- o primeiro projeto fotogramétrico brasileiro utilizando as regras 3x3. In: *XIX Congresso Brasileiro de Cartografia*. Recife. 1999. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto. Anais em CD. 1999.
- GROETELAARS, N. J; AMORIM, A. L. Um panorama das ferramentas digitais para Fotogrametria Terrestre. In: *XVII Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico*. Graphica 2005. Recife 2005. Associação Brasileira de Expressão Gráfica. Anais em CD. 2005.
- HONGO, K ET AL. Development of image-based information system for restoration of cultural heritage. In : *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. V. XXXIII part B, p. 372-379. 2000.
- JAUREGUI, L. M; JAUREGUI, M. Terrestrial photogrammetry applied to architectural restoration and archeological surveys. In : *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. V. XXXIII part B, p. 401-405. 2000.
- KASSER, M; EGELS, Y. *Digital Fotogrammetry*. Londres: Taylor & Francis. 351 p. 2002.
- KERSTEN, T. H; PARDO, C. A; LINDSTAEDT, M. 3D acquisition, modelling and visualization of North German castles by digital architectural photogrammetry. In : *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. V. XXXIII part B, p. 126-132. 2004.
- LUGNANI, J. B. *Introdução à fototriangulação*. Curitiba: Imprensa Universitária. 134 p. 1987.

- MACHADO, A. M. L; MITISHITA, E. A; SANTOS JR, R. L; BARBOSA, F. P. Verificação da Estabilidade Geométrica dos parâmetros de calibração de uma câmara digital de pequeno Formato Sony DSC-F717. In: *Série em Ciências Geodésicas*, v. 3. p. 292-3009. 2003.
- MACHADO, A. M. L; MITISHITA, E.A; SANTOS JR, R. L. Estudo de Caso: Correção de Erros Sistemáticos em Câmaras Digitais não Métricas. In: *I Simpósio de Ciências Geodésicas e Tec. da Geoinf.* Recife: Decart-UFPE. Anais em CD. 9p. 2004.
- MARTINS, J. M.; RENUNCIO, L. E.; Loch, C. Restituição digital da Igreja de São João Batista; In: *COBRAC 98 · Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário* · Florianópolis: UFSC. 1998.
- MENDONÇA, F. J. B., FERRAZ, D. P. Levantamento tridimensional preciso de edificações e superfícies técnicas a partir de fotografias In: *XX Congresso Brasileiro de Cartografia*, 2001, Porto Alegre. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia, 2001.
- MOREIRA, D.C. Desenho Arquitetônico de Reconstituição: A Fachada do Antigo Teatro Municipal de Campinas. In: *XVII Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico*. Graphica 2005. Recife 2005. Associação Brasileira de Expressão Gráfica. Anais em CD. 2005.
- PEIPE, J. High resolution digital cameras. In: *XVII CIPA Symposium*. Recife/Olinda. 1999. International Society of Photogrammetry and Remote sensing. Anais em CD. 1999.
- PEREIRA, Z; MORGADO, A; GOMES, P.L. Comparison of different approaches to create architectural archives. In : *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. V. XXXIII part B, p. 552-559. 2004.
- SANTOS JR, R. L; MITISHITA, E.A; MACHADO, A. M. L. Calibração de Câmaras Digitais Intervaladas de um Ano. In: *I Simpósio de Ciências Geodésicas e Tec. da Geoinf. – I Simgeo* Recife: Decart-UFPE. Anais em CD. 15p. 2004.
- SILVA, D. C. Seleção de Parâmetros Adicionais na Calibração de Câmaras com uso de Componentes Principais. In: *I Simpósio de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação – I Simgeo*. Recife. DECART-UFPE. Anais em CD. 2004
- SILVA, S; DALMOLIN, Q. Recording of historical monuments for Mono-differential restitution. In : *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. V. XXXIII part B, p. 157-159. 2000.
- SLAMA, C.C (ed) *Manual of Photogrammetry*. 4<sup>o</sup> Edition. Fall Church: American Society of Photogrammetry. 1056 p. 1980.
- TOMMASELLI, A. M. G; TOZZI, C. L. Técnicas de calibração de câmaras em visão computacional. In: *Jornada EPUSP/IEEE em Computação Visual*, 1990. São Paulo. 1990.

---

. Calibração de Câmaras digitais. In: *Anais XV Congresso Brasileiro da Cartografia*. São Paulo. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia. p. 239-249. 1991.

(Recebido em setembro de 2005. Aceito e março de 2006).