

Reconstrução tridimensional de formas arquitetônicas através da fotogrametria terrestre digital

Henrique José Lins Ferreira de Andrade¹
Carlos Alberto Borba Schuler²

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências – CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica – DECart.

^{1,2} Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação - PPGCGTG

henrique_andradef@yahoo.com.br, cschuler@ufpe.br

Abstract. How determined forms inserted architectural in the physical space in the present, they could be reconstructed in the future? The three-dimensional reconstruction of determined object better allows to visualization and assimilation of this, however this if only makes possible when it has precision in the collected information. Amongst the diverse existing techniques to get these information, the digital terrestrial photogrammetry reveals adequate for definitive situations. The present work has for objective to show to the potentialities of the terrestrial photogrammetric techniques digital ideals to the survey of forms architectural. Initially it was proceeded calibration from the non-metric camera Canon EOS 5D, determining the geometric parameters of this. After this stage if defined as study object the monument created in homage to the Doctor Manoel Antônio de Moraes Rego, who was president of the School of Engineering of Pernambuco, located in the ground floor of the Center of Technology and Geosciences in the Federal University of Pernambuco. On this a photographic survey in field was carried through and later it had the processing of these data gotten through PhotoModeler software. The final result was the three-dimensional reconstruction of the forms architectural of the monument. Thus, this work serve as the basis for the project area of preservation of historical sites and monuments, due to the need to document the objects quickly, precisely, with the use of available resources and low cost.

Palavras-chave: three-dimensional reconstruction, historic monuments, cultural heritage documentation, reconstrução tridimensional, monumentos históricos, documentação do patrimônio cultural.

1. Introdução

A Fotogrametria tem se mostrado uma importante ferramenta para obtenção de formas e medidas desde o surgimento, em meados do século XIX. Apesar de uma das primeiras aplicações da Fotogrametria estar relacionada ao levantamento de monumentos históricos, esta técnica passou muito tempo praticamente restrita à produção de mapas planialtimétricos a partir de fotos aéreas (Cartografia), área que permitiu que a Fotogrametria desse grandes avanços (GROETELAARS, 2004).

A Arquitetura e o Urbanismo são áreas do conhecimento que necessitam frequentemente do levantamento e da documentação de objetos existentes, seja para o desenvolvimento de novos projetos ou ainda de reforma, ampliação, restauração, seja para o estudo e planejamento de cidades. A Fotogrametria Digital representa uma poderosa técnica para a obtenção de medidas, criação de modelos 2D, 3D (fotorrealísticos ou não) e ortofotos, uma vez que apresenta uma série de vantagens com relação às formas tradicionais de levantamento (como medição direta e levantamento topográfico), dentre as quais podem ser citadas: redução de custos, rapidez, precisão e flexibilidade. É mais simples o deslocamento da câmera para a tomada das fotografias, do que a medição direta sobre o objeto. Além disso, as fotos podem ser reutilizadas, para a obtenção de novas medidas ou de outros detalhes do objeto fotografado (GROETELAARS, 2004).

Apesar das vantagens de utilização e das facilidades oferecidas pela Fotogrametria Terrestre Digital para a documentação de formas arquitetônicas, esta técnica é ainda pouco

conhecida e estudada, e raramente utilizada no Brasil. A maioria dos trabalhos sobre Fotogrametria Digital aplicada à Arquitetura e Urbanismo tem sido desenvolvida por universidades e instituições de pesquisas no âmbito internacional, e divulgada principalmente nos anais dos simpósios e conferências do *International Council on Monuments and Sites* (ICOMOS), da *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (ISPRS) e do *International Committee for Architectural Photogrammetry* (CIPA).

No caso particular desta pesquisa, procurou-se fundamentar e demonstrar o uso de técnicas fotogramétricas para o levantamento de formas arquitetônicas. Através de um exemplo prático, foram discutidas as potencialidades e limitações da Fotogrametria Digital, em especial a Fotogrametria Terrestre ou à Curta Distância, como técnica de levantamento.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Materiais utilizados para a elaboração do trabalho

- **Câmara Digital SLR (*Single Lens Reflex*)**

A câmara utilizada para adquirir as imagens digitais foi uma Canon EOS 5D (*full frame*) de 13,3 *Megapixels*. Esta câmara trabalha com uma matriz CMOS (*Complementary Metal-Oxide-Semiconductor*) com comprimento (L) de 35,8 mm e altura (V) de 23,9 mm, com número efetivo de 12,8 *Megapixels*. O *pixel* é quadrado com dimensão de 8 μm . A máxima resolução existente na câmara é de 4368 *pixels* (L) x 2912 *pixels* (V). As imagens são gravadas em um cartão de memória de 2 *Gigabytes*, no formato JPEG ou RAW.

O sistema de lentes da marca Canon tem zoom óptico fixo e distância focal de 50 mm (nominal). A focalização da imagem pode ser automática ou manual. As imagens são transferidas para o micro computador através da porta de comunicação USB (*Universal Serial Bus*). As figuras 1 e 2 mostram a câmara Canon EOS 5D. Neste trabalho todas as imagens foram sempre tomadas com a focalização manual, distância focal fixada para o infinito.



Figuras 1 e 2. Câmara Canon EOS 5D (vistas frontal e posterior)

Fonte: <http://www.dpreview.com>

- **Tripé Fotográfico Profissional; Trena (Comprimento = 7,5 metros); Caderneta de Campo; Computador e Aplicativos Computacionais: *PhotoModeler* e *Microsoft Word 2010*.**

2.2 Experimentos Realizados

2.2.1. Calibração da câmara

Neste processo foi usado no *PhotoModeler* um campo de pontos formado por um padrão (figura 3), reconhecidos automaticamente pelo programa, cujas posições são medidas em várias imagens adequadamente obtidas e que entram como dados nos modelos matemáticos do *software*.

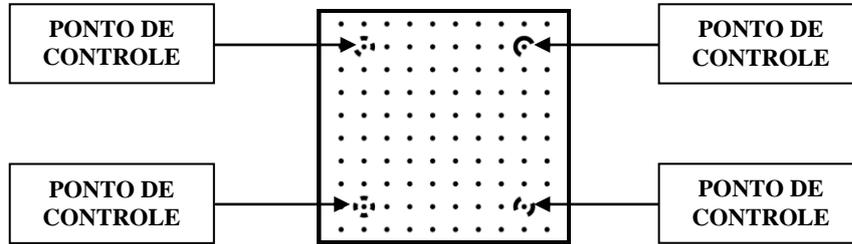


Figura 3. Grade de calibração e detalhe dos pontos de controle

Para o processo de calibração foram tomadas imagens da grade de calibração no dia 30 de maio de 2009, em quatro posições em volta da mesma, com rotações em torno do eixo Y (figura 4). Foram obtidas 3 imagens em cada uma das posições, perfazendo assim um total de 12 imagens (figura 5).

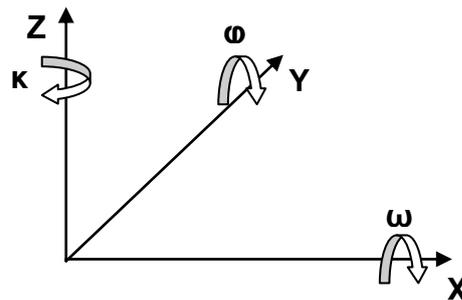
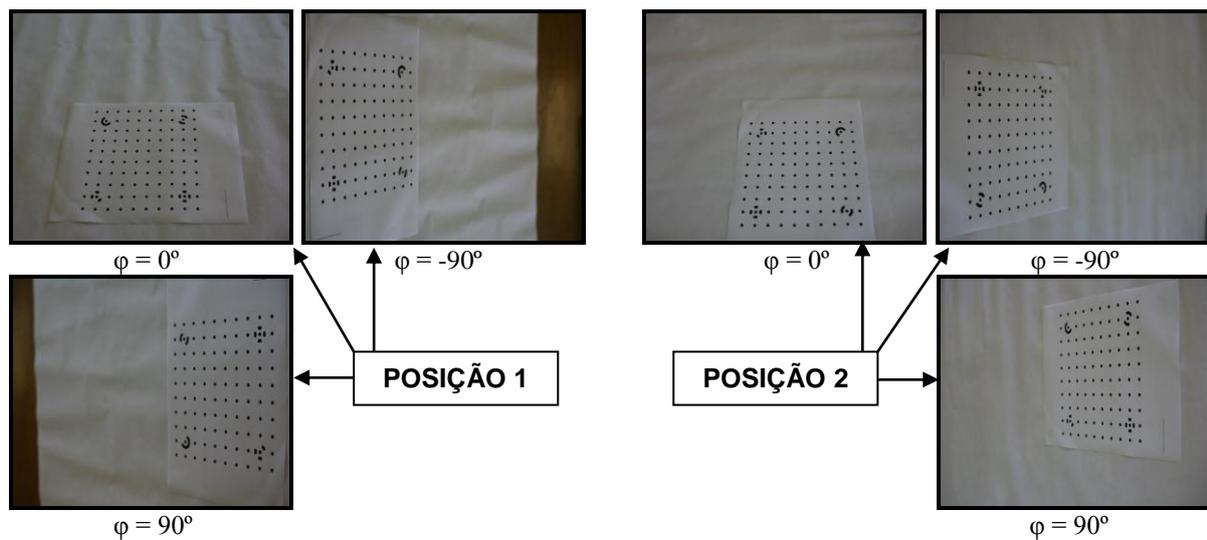


Figura 4. Sistema do Espaço Objeto (X, Y e Z) e Ângulos de Atitude (ω , φ , e κ)



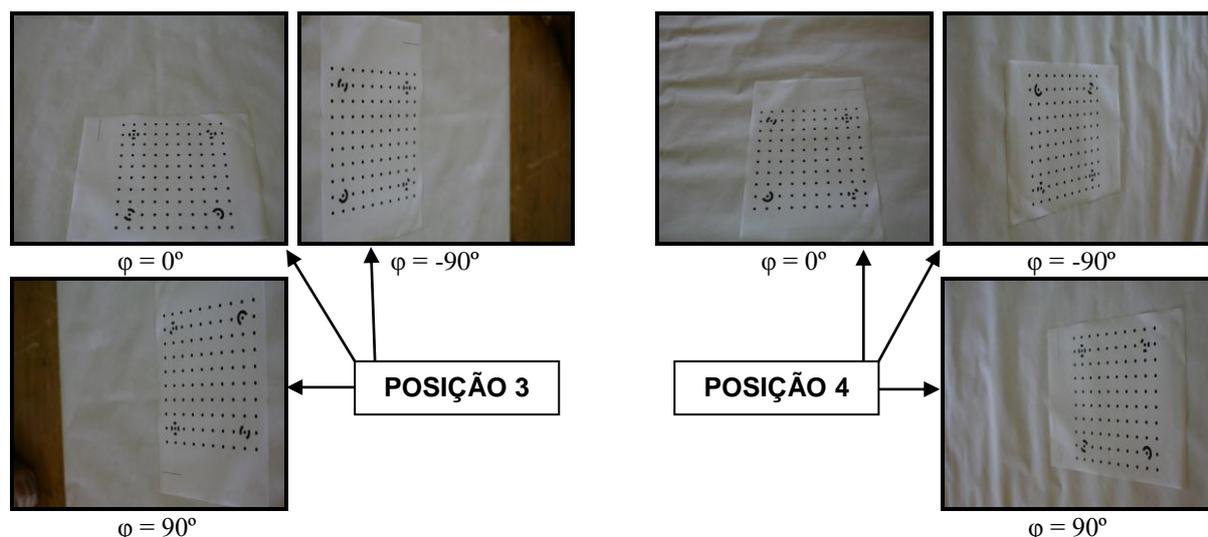


Figura 5. Posições de tomada das imagens

2.2.2. Reconstrução tridimensional de um monumento arquitetônico

Para viabilizar as análises das aplicações do método proposto no presente trabalho, foi definido um monumento arquitetônico teste para a elaboração do projeto geométrico. O monumento em questão é em homenagem ao Doutor Manoel Antônio de Moraes Rego (figura 6), que foi presidente da Escola de Engenharia de Pernambuco, este fica localizado no térreo do Centro de Tecnologia e Geociências na Universidade Federal de Pernambuco/UFPE.



Figura 6. Monumento em homenagem ao Dr. Manoel Antônio de Moraes Rego

No dia 01 de junho de 2009, foram fixados 32 alvos com raio interno de 5 mm sobre o monumento, para serem utilizados como pontos de controle em etapas posteriores. Após isso

foi realizado um levantamento fotográfico, obtendo-se várias imagens para formar um banco de dados para os estudos.

Para a criação do modelo tridimensional no *Photomodeler* é necessário informar primeiramente os parâmetros da câmara utilizada (etapa conhecida como **orientação interna**), os quais foram obtidos através do procedimento de **calibração da câmara**. A seguir, as fotografias foram importadas e traçadas as características de interesse sobre as imagens com as ferramentas de desenho (ponto, linha, aresta, curva). Após o traçado das características de interesse nas fotos, foi necessário orientá-las externamente, procedimento que permitiu determinar as posições e orientações da câmara no momento da tomada fotográfica. Este processo é conhecido como fototriangulação por feixes perspectivos ou ajuste em bloco, pois todas as posições e orientações das imagens são calculadas simultaneamente, a partir da identificação dos pontos homólogos nas várias fotografias e da identificação de alguns pontos na imagem com pontos de controle.

Esta operação é dividida em duas fases: na primeira, **orientação relativa**, determinou-se a posição relativa entre as fotografias, a partir da identificação dos pontos homólogos nas fotografias. Isto permitiu ao programa determinar a posição dos pontos no modelo, a partir da interseção dos raios das fotografias. Na segunda operação, chamada de **orientação absoluta**, estabeleceu-se a escala real e a rotação (eixos x, y e z) do modelo geométrico tridimensional.

Depois das fotografias devidamente orientadas, pode-se visualizar no *3D Viewer* (janela do *PhotoModeler*) o modelo geométrico 3D em “estrutura de arame” gerado (figura 7). A partir da determinação das superfícies que o formam e da aplicação das texturas obtidas através das fotos, é possível obter o modelo fotorrealístico do objeto fotografado (figura 8).

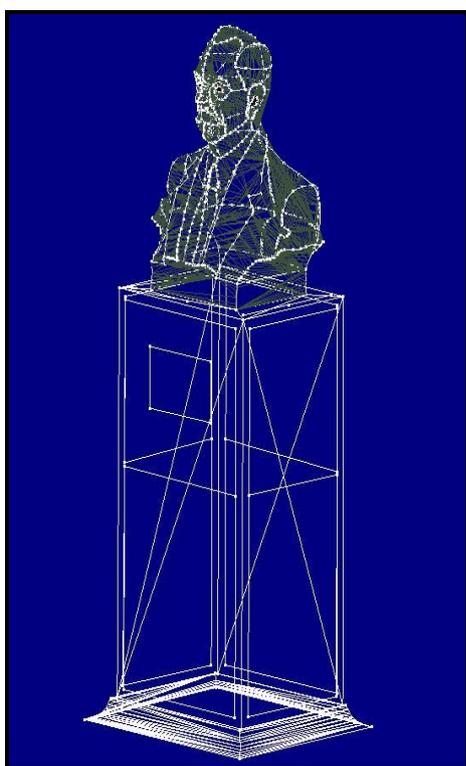


Figura 7. Modelo geométrico 3D em estrutura de arame



Figura 8. Modelo geométrico 3D com textura fotorrealística

3. Resultados e Discussão

Após o processamento das imagens no *PhotoModeler*, foi gerado um relatório que forneceu os parâmetros de calibração, cujos resultados mais importantes estão na tabela 1.

Tabela 1. Resultados da calibração da câmara Canon EOS 5D no *PhotoModeler*

Distância Focal (f)	55,192 mm
Coordenada X ₀ do Ponto Principal	17,926 mm
Coordenada Y ₀ do Ponto Principal	12,023 mm
Parâmetro K ₁ da Distorção Radial Simétrica	3,939 x 10 ⁻³
Parâmetro K ₂ da Distorção Radial Simétrica	4,059 x 10 ⁻⁸
Formato	35,884 mm x 23,927 mm

Um dos parâmetros que se notou uma significativa diferença foi a distância focal que possui um valor nominal de 50,000 mm e que após a calibração foi determinada que a mesma possui 55,192 mm de valor real. Por isso é de suma importância que tenhamos uma câmara devidamente calibrada para que não haja discrepâncias significativas quando quisermos gerar os produtos fotogramétricos.

Quanto ao modelo tridimensional, foi realizada uma análise comparativa baseada em medições efetuadas em campo (tabela 2).

Tabela 2. Comparações entre medidas em campo e no modelo tridimensional

DISTÂNCIA ENTRE OS PONTOS	MEDIDO EM CAMPO	MEDIDO NO MODELO	ERRO	ERRO PERCENTUAL (%)
P43-P176	0,975 m	0,980 m	0,005 m	0,51
P44-P177	0,975 m	0,978 m	0,003 m	0,31
P43-P44	0,478 m	0,479 m	0,001 m	0,21
P177-P188	0,380 m	0,378 m	-0,002 m	-0,53
P188-P192	0,479 m	0,476 m	-0,003 m	-0,63
P192-P176	0,379 m	0,376 m	-0,003 m	-0,79

Nota-se que o erro está numa faixa de 0 a 1 cm.

Verificou-se também que o modelo possui algumas regiões com “pontas”, indicando que a modelagem não resolveu totalmente as curvas do objeto. Isso poderia ter sido minimizado com a utilização de mais pontos de controle, que deveriam ter sido colocados sobre o busto, possibilitando uma melhor modelagem do mesmo.

Não foi possível gerar a textura fotorealística sobre a parte do busto (figura 9) e em uma área da parte superior do pilar (figura 10), devido à iluminação ambiente não estar homogênea sobre estes no momento da obtenção das imagens; por isso optou-se em aplicar uma textura de cor homogênea sobre ambos.

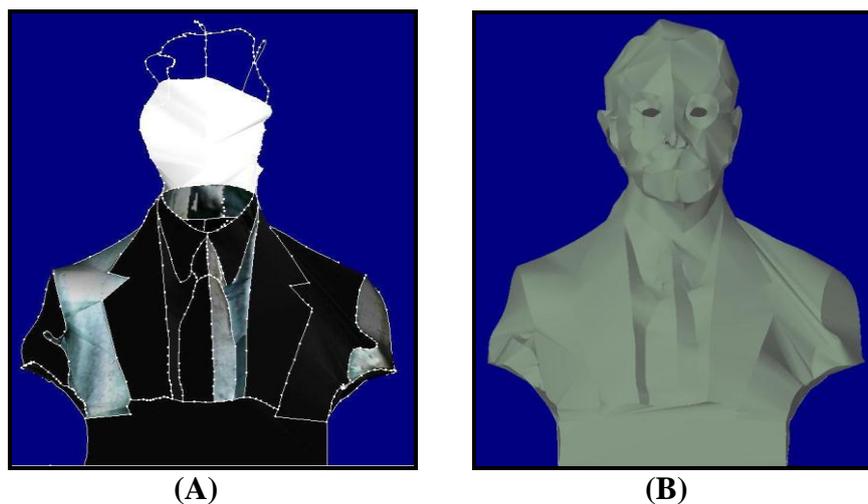


Figura 9. Busto com problemas na textura fotorealística (A) e Busto com a textura de cor homogênea (B)

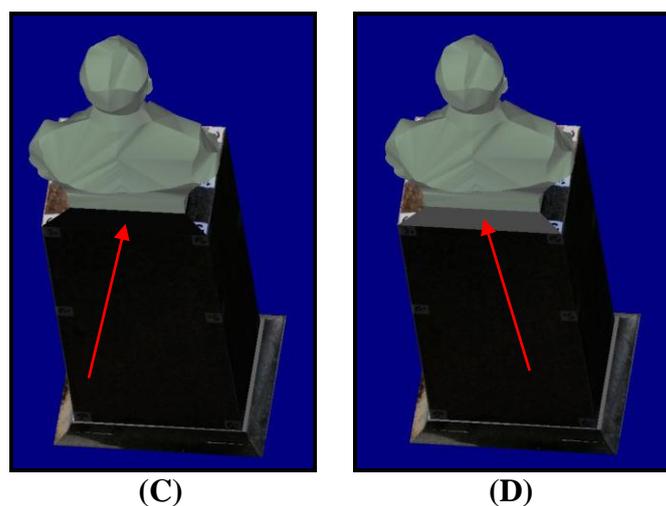


Figura 10. Parte superior do pilar com problemas na textura fotorealística (C) e Parte superior do pilar com textura de cor homogênea (D)

4. Conclusões

A partir dos experimentos realizados foi possível fazer uma avaliação do método adotado, das potencialidades e limitações da ferramenta, da precisão dos resultados e sugerir procedimentos que permitam a obtenção de resultados mais precisos e de melhor qualidade.

Foi visto que a qualidade e precisão dos resultados estão relacionados principalmente com os seguintes aspectos:

- qualidade da calibração da câmara e dos outros dispositivos utilizados;
- resolução da câmara;
- posicionamentos da câmara na tomada fotográfica;
- precisão com que o operador marca as feições dos objetos durante a restituição.

A quantidade de informações e a precisão dos resultados estarão intimamente ligadas à densidade e à localização dessas marcas. Esta sinalização poderá também ser usada não somente para a avaliação da qualidade dos resultados, como para aumentar a precisão do modelo.

No *PhotoModeler* foi possível a visualização fotorealística a partir da aplicação de texturas extraídas das fotos, o que permite documentar e representar o objeto com uma quantidade maior de detalhes, uma vez que as fotos retratam o estado de conservação, as cores, as fissuras dos objetos. Existem também algumas limitações decorrentes não do programa, mas da própria Fotogrametria. É uma técnica que permite levantar somente objetos que estejam visíveis nas fotografias. Assim, muitas vezes, é necessário obter mais dados para completar as informações.

Mundialmente vários grupos científicos e instituições ligadas à conservação de monumentos e sítios têm procurado a técnica da fotogrametria terrestre digital, pois como visto neste trabalho, a mesma tem possibilitado processos mais eficientes para o cadastramento de formas arquitetônicas, visto que um dos maiores problemas existentes para a preservação do patrimônio arquitetônico, consiste na falta de registros. A documentação precisa dos monumentos é uma etapa fundamental para sua conservação e restauração, e também uma forma de divulgação para o público em geral. E a Fotogrametria tem muito a contribuir, não só para a documentação de patrimônio histórico e cultural, como para o levantamento de edificações e ambientes urbanos comuns.

Agradecimentos

Os autores do artigo agradecem à FACEPE, pela possibilidade de aquisição da câmara digital, através do processo APQ-0807-1.07/08. E a CAPES pela concessão de uma bolsa de Mestrado durante o período 2010-2012 ao discente Henrique José Lins Ferreira de Andrade.

Referências Bibliográficas

CANON INC., **Canon EOS 5D Digital - Manual de Instruções**. 2005.

Digital Photography Review

Disponível em: <<http://www.dpreview.com/>>. Acesso em: 20.nov.2009.

GROETELAARS, N. J. **Um estudo da Fotogrametria Digital na documentação de formas arquitetônicas e urbanas**. 2004. 257p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador. 2004.