

# Fotogrametria digital à curta Distância aplicada ao Levantamento da Fachada do Pavilhão central da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Carla Cristina Bragança da Silva <sup>1</sup>  
João Luiz Jacintho <sup>2</sup>  
Luiz Guimarães Barbosa <sup>3</sup>

UFRRJ - Departamento de Engenharia

23890-000 Seropédica RJ

<sup>1</sup> [ccbragancas@hotmail.com](mailto:ccbragancas@hotmail.com)

<sup>2</sup> [jacinthojl@gmail.com](mailto:jacinthojl@gmail.com)

<sup>3</sup> [luizgb@ufrj.br](mailto:luizgb@ufrj.br)

**Resumo:** Este trabalho apresenta uma das aplicações da Fotogrametria, a Fotogrametria à Curta Distância. Esta metodologia pode ser aplicada no levantamento de fachadas de edifícios utilizando câmeras não-métricas. A utilização de fotografias obtidas com câmeras não-métricas é possível em situações onde a superfície da fachada seja aproximadamente um plano. Isso permite o uso de um modelo matemático para a retificação da imagem, no caso deste trabalho, utilizou-se a Transformação Linear Direta – DLT. Não sendo conhecidos os ângulos de atitude da câmera estes são obtidos através de um ajuste do modelo matemático a partir de parâmetros obtidos por pontos de controle, coletados na superfície do objeto fotografado, com o auxílio de uma estação total. A transformação entre os planos, foi feita utilizando o software fotogramétrico PhotoPlan da empresa alemã Kubit. Após a retificação a imagem é vetorizada, originando por fim uma planta da fachada.

**Palavras chaves:** Fotogrametria a curta distância, Transformação Projetiva, Photoplan.

**Abstract:** This paper presents an application of Photogrammetry, Photogrammetry at close range. This methodology can be applied in the survey of building facades using non-metric cameras. The use of photographs obtained with non-metric cameras is possible in situations where the surface of the facade is about a plan. This allows the use of a mathematical model for the rectification of the image, in the case of this work, we used the Direct Linear Transformation - DLT. Not known the attitude of the camera angles they are derived by adjusting the mathematical model based on parameters obtained by control points, collected on the surface of the object photographed with the aid of a total station. The transformation between the planes was made using the software of the German company photogrammetric PhotoPlan Kubit. After grinding the image is vectorized, leading finally a plan of the facade.

**Keywords:** Close Range Photogrammetry, Projective Transformation, PhotoPlan.

## 1. Introdução

Apesar de no Brasil a aerofotogrametria encontrar maior campo de atuação, pode-se dizer que a fotogrametria terrestre também é bastante utilizada, principalmente tratando-se de levantamentos para conservação de sítios históricos, manutenção e conservação de patrimônios histórico-culturais e afins.

Para o auxílio na conservação destes tipos de edificações, a fotogrametria terrestre a curta distância, também conhecida como fotogrametria arquitetural, tem sido utilizada em grande escala em países europeus, sendo que no Brasil sua utilização tem sido apenas em alguns casos isolados.

Faz-se necessário, porém ressaltar que no presente trabalho, uma particularidade interessante será discutida, pois devido ao alto custo correspondente ao uso de câmeras métricas, utilizou-se fotografias obtidas com câmeras não métricas e, portanto fez-se necessário a utilização de software que corrige as deformações utilizando a transformação projetiva, e pontos de controle.

## 2. Revisão literária

Fotogrametria terrestre é uma importante parte da fotogrametria. Ela trabalha com fotografias obtidas por câmeras localizadas na superfície da terra, ou próximas a ela. As câmeras usadas podem ser manuseadas, apoiadas em tripés ou suspensas em torres ou outras designações especiais. (WOLF, 2002). Quando a distância entre a câmera e o objeto é inferior a 100 m, a fotogrametria terrestre é também denominada de Close-Range Photogrammetry (Fotogrametria a curta distância), que é a técnica de obtenção de informação geométrica, ou seja, posição, tamanho e forma de algum objeto, que fora imageado previamente (GRUSSENMEYER ET AL, 2002; COELHO, 2002)

Comparada com a aerofotogrametria, a fotogrametria terrestre, particularmente a fotogrametria arquitetural, não se limita a fotografias verticais obtidas com câmeras especiais. A metodologia da fotogrametria terrestre tem mudado significativamente e várias formas de aquisição de imagens têm sido utilizadas. Novas técnicas de processamento dos dados, também têm tornado o uso de fotografias não métricas largamente utilizáveis, como por exemplo, o uso de softwares exclusivos para transformação, tratamento e retificação de imagens, que determinam as distorções através de um ajustamento a partir de pontos de controle mensurados no espaço-objeto. (GRUSSENMEYER ET AL).

## 3. Materiais e métodos

Para desenvolvimento deste projeto utilizou-se os seguintes materiais:

- ◆ Uma câmera digital Nikon Coolpix com resolução espacial de 8.1 megapixels;
- ◆ Uma estação total da marca Leica modelo TCR805 Pinpoint R400, com precisão angular de  $\pm 5''$  e linear de  $\pm (3 \text{ mm} + 2 \text{ PPM} \times D)$ , sendo D a distância em quilômetros;
- ◆ Um miniprisma;
- ◆ Uma trena de microfibra com 30metros;
- ◆ Um par de receptores GNSS de dupla freqüência da marca Topcon modelo Hiper+ que rastreia as constelações GPS (Americana) e Glonass (Russia) com precisão horizontal de  $\pm (3\text{mm} + 1\text{ppm} \times D)$ , e precisão vertical de  $\pm (5\text{mm} + 1,4\text{ppm} \times D)$ , sendo D a distância do vetor em quilômetros;
- ◆ Software Topcon Tools 6.11;
- ◆ Datageosis 2005 Educacional;
- ◆ Photoplan da Kubit;
- ◆ AutoCAD 2010.

### 3.1. Tomada das Fotografias

Primeiramente escolheu-se o objeto a ser imageado que foi a face do lado direito da entrada principal do prédio da UFRRJ (P1), onde possui uma fonte com leões esculpidos em bronze, conforme mostra a Figura 1.



**Figura 1 – Obtenção das Fotografias**

A seguir, fez-se a obtenção das fotos propriamente dita. Esse procedimento requereu cuidado técnico no que se refere ao posicionamento da câmera fotográfica. Principalmente pelo fato de não se ter a câmera apoiada sobre um suporte estável. As fotos foram tomadas de forma que a câmera estivesse posicionada perpendicularmente ao plano imageado.



**Figura 2 – Fotografia selecionada para Retificação**

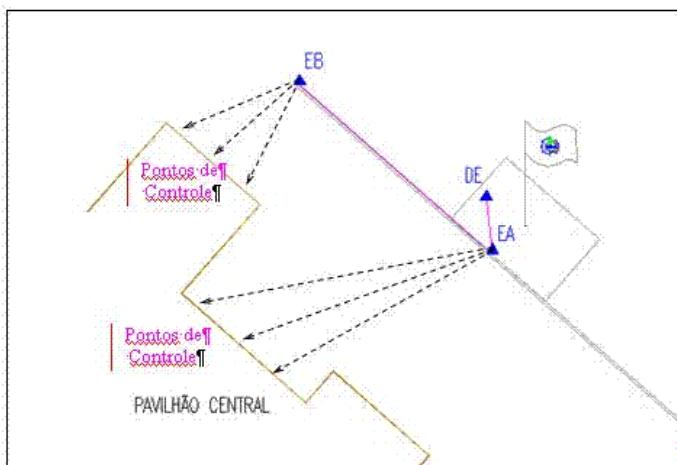
### 3.2. Obtenção dos Pontos de Controle

Depois de selecionar as fotos, foi necessária a obtenção de pontos de controle para que fosse possível sua retificação.

A idéia da retificação é obter uma foto onde todos os ângulos e proporções do plano indicado do objeto correspondam à realidade. Para que as distorções devido à posição da câmera sejam eliminadas, que significa que a imagem tem que parecer como se um observador olhasse o plano do objeto de uma distância infinita e estes lhe parecessem paralelos, faz-se necessário a obtenção de informações de referência medidas no objeto. Um instrumento apropriado para a aquisição destas informações é uma estação total.

O levantamento dos pontos de controle foi feito na face da frente do prédio principal da UFRRJ (P1) utilizando a estação total Leica TCR805, configurada para medição sem uso do prisma.

A metodologia de levantamento utilizada foi uma poligonal aberta, partindo da estação denominada EA com ré em DE e vante na estação EB. (Figura 2)



**Figura 3 – Croqui da poligonal do levantamento**

A partir da poligonal (figura 2), os pontos de controle foram obtidos através de irradiações. Os pontos de controle devem estar no mesmo plano vertical, o qual será considerado o plano de retificação. Por isso essa metodologia mostra-se apropriada apenas para objetos com sua superfície basicamente plana, como uma fachada com paredes relativamente lisa.

O critério para a eleição destes pontos foi observar a distribuição destes no plano da fotografia, o que deveria respeitar uma distribuição homogênea, preferencialmente nas bordas relevantes da fotografia além de destacar feições que viessem a ser de fácil identificação no momento da retificação. A configuração destes pontos interferirá decisivamente no resultado.

Para cada fotografia a ser retificada, devem ser obtidos pelo menos quatro pontos de controle, devido à natureza do modelo matemático de retificação, a saber, a transformação projetiva. Porém, para obter superabundância ou grau de liberdade na determinação do modelo matemático através do ajustamento pelo método dos mínimos quadrados, foram obtidos pelo menos cinco pontos. Isso permite determinar a qualidade do produto oriundo do modelo matemático, ou seja, a foto retificada.

### 3.3. Apoio da Poligonal e Transporte de Coordenadas

Os pontos que serviram de referência para o levantamento topográfico dos pontos de controle, foram determinados através da tecnologia GNSS. Lembrando que apenas os pontos EA e DE foram determinados com esta tecnologia, pois o ponto EB, foi determinado com o método clássico (poligonação). Neste trabalho utilizou-se o receptor Hiper+ da Topcon de dupla freqüência que recebe sinais da constelação GPS e GLONASS (Figura 5).



**Figura 4 – Receptor de dupla freqüência Hiper Plus.**

Para que fosse possível alcançar uma precisão milimétrica, o rastreamento teve duração de no mínimo uma hora em cada ponto. O intervalo entre as observações foi de 5 segundos, máscara de elevação de 15° e antena com altura de 2 metros no ponto EA, 1,42m no ponto DE e 1,35 m no ponto EB.

O transporte de coordenadas foi feito através do posicionamento por satélites a partir das estações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo RIOD (prédio do IBGE) e ONRJ (Observatório Nacional) para os pontos de referência na área de estudo, ou seja, de levantamento. O software utilizado para o processamento foi o Topcon Tools 6.11, onde as coordenadas das estações RBMC entraram como injunção e as alturas das antenas obtidas da monografia das referidas estações. A determinação dos erros sistemáticos oriundos dos efeitos atmosféricos ocorreu com modelos padrões utilizados pelo software, sendo que o usuário neste programa não tem opção para a escolha de outros modelos.

Esse transporte foi feito para três pontos (Figura 2) com coordenadas planas obtidas em sistema UTM-SIRGAS 2000 ( $MC=-45^\circ$ ) e depois transformadas para o sistema topográfico local tendo como ponto de referência o marco DE.

### 3.4. Retificação das fotos

Após o transporte de coordenadas, os dados para a determinação dos pontos de controle foram processados no software DataGeosis 2005 educacional, e desta maneira cada ponto de controle passa a ter suas coordenadas.

Devido estarem georreferenciados, ao serem plotados na plataforma CAD em 3D, os pontos de controle aparecem sobrepostos. Isto ocorre porque o levantamento com estação total utiliza o plano XYZ, mas considerando a fachada, as feições que nos interessam são as coordenadas XZ. Para solucionar este problema foi feita um rotação sobre o eixo X de modo que o eixo Z substituisse o eixo Y.

Após a rotação dos eixos, as medidas passam a traduzir o esperado, e através do aplicativo PhotoPlan inicia-se o processamento das imagens digitais. Tendo sido definido o plano de retificação plana, utilizou-se o comando Retificação de Imagens por Pontos de Controle, selecionando tais pontos de controle, já com as coordenadas cartesianas transformadas pelo programa.

Estes pontos foram correlacionados um a um para que a retificação fosse feita. Levando em consideração que apesar de terem sido observados diversos outros pontos para auxílio no processo de vetorização, os pontos relacionados à fotografia devem fazer parte do mesmo plano vertical.

Após a configuração dos pontos e sua devida correlação aos pontos na fotografia, iniciou-se o processamento da retificação.

A fotografia uma vez retificada (Figura 4) torna-se ideal para a vetorização, que é feita através do software AutoCAD.



**Figura 5 – Fotografia retificada**

#### 4. Resultados e Discussões

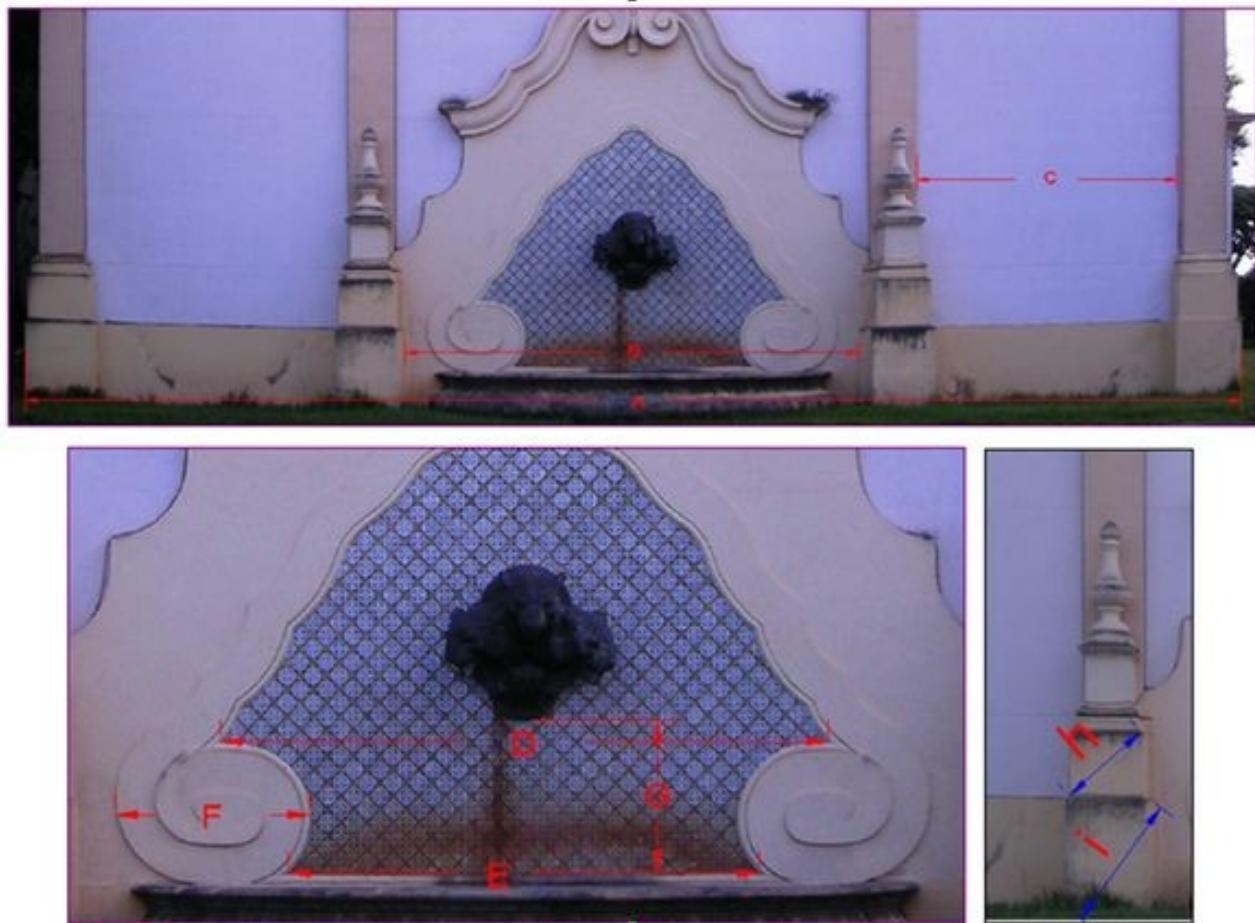
Após o processo de retificação da fotografia o software gera um relatório onde podemos obter o desvio padrão de cada ponto de controle. A Tabela 1 apresenta estas informações.

PC <sub>campo</sub>	PC <sub>PhotoPlan</sub>	X	Y	Z	Desvio	Desvio X	Desvio Y
21	10	0,0000	14,2876	0,6859	0,0007	0,0005	0,0005
36	9	17,5984	14,2876	0,6859	0,0056	0,0033	-0,0046
24	8	17,5984	1,5708	0,0000	0,0070	0,0033	0,0007
21	7	0,0000	1,5708	0,0000	0,0054	0,0032	-0,0044
74	11	8,7811	8,1961	0,0107	0,0107	-0,0073	0,0078

Desvio Padrão: 0,0067

**Figura 6 – Tabela 1 - Pontos de controle com coordenadas locais (CAD) em metros**

Para verificar a qualidade da imagem retificada, realizaram-se medições in loco, utilizando uma trena de fibra de vidro de 30,00m. Foram discriminados alvos para identificar as medidas. Cada alvo foi medido em uma serie de três medidas, (Figura 7), para que fosse possível obter o valor mais provável e seu respectivo erro padrão.



**Figura 7 – Disposição das medidas para validação dos pontos**

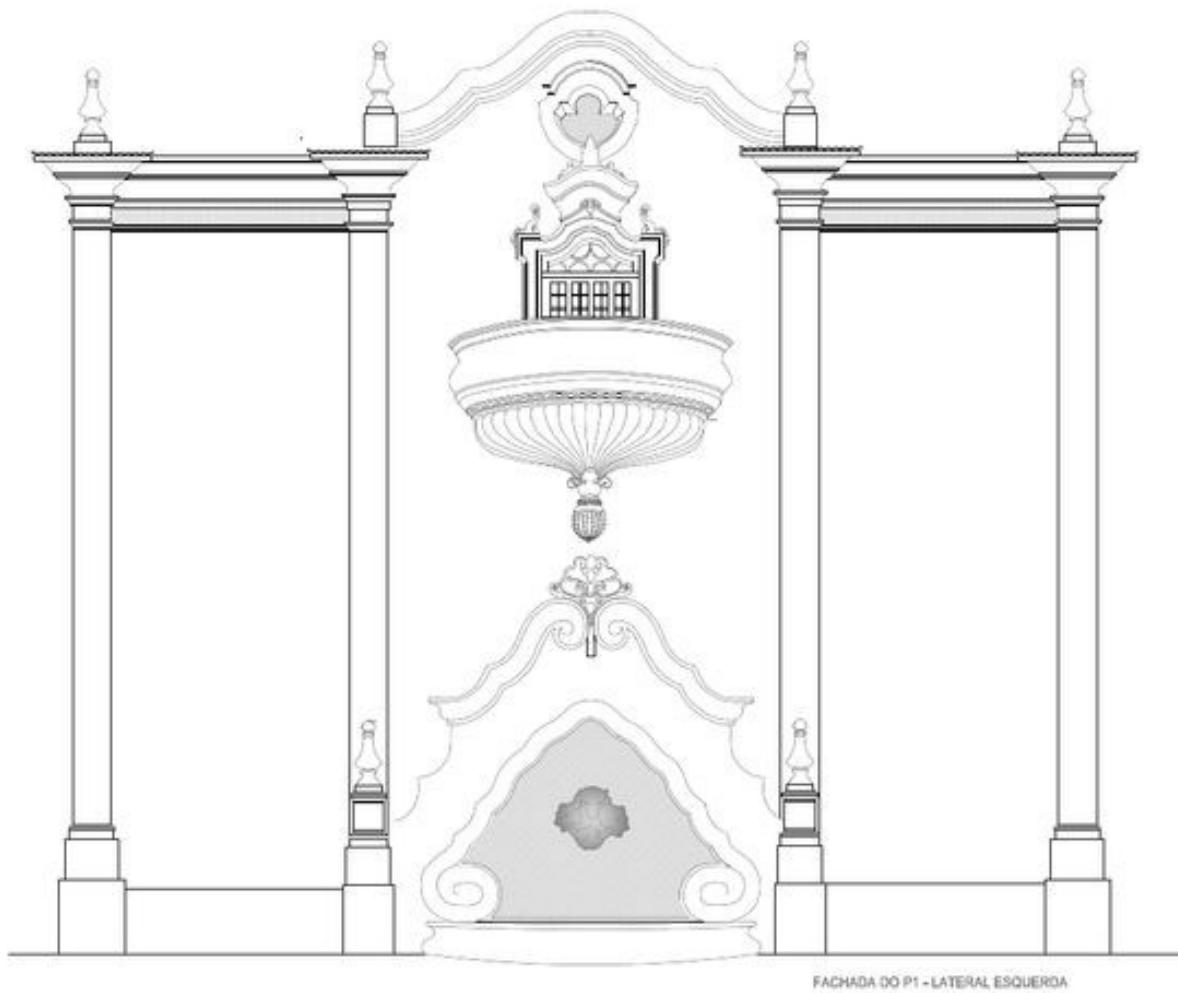
As medidas obtidas com o levantamento à trena, assim com as medidas feitas sobre a fotografia foram assim organizadas na Tabelas 2 para comparar os resultados.

Segmentos	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Medidas à trena	20,13	7,51	4,31	4,96	3,89	1,59	1,27	1,15	1,67
Medidas sobre Fotografia Retificada	20,01	7,50	4,31	4,99	0,87	1,59	1,28	1,19	1,67
Diferença	-0,12	+0,01	0,00	+0,03	-0,02	0,00	+0,01	+0,04	0,00
Erro padrão (95%)	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,04

**Figura 8 – Tabela 2 - Comparação entre as medidas feitas à trena e sobre a fotografia em metros.**

Com base nos dados da tabela 2 verificou-se que a média das diferenças entre cada medida de verificação foi de -0,01 m e um erro padrão de  $\pm 0,09$  m com um nível de confiança de 95%. Verificou-se também que em função dos segmentos medidos o segmento “A” pode ser considerado um “blunder” e isso ocorreu devido a dificuldade de se medir diretamente esta distância por causa das saliências da parede. Diante disto, desconsiderou-se esta medição e encontrou uma nova média das diferenças de +0,01 m e um erro padrão (95%) de  $\pm 0,04$  m, sendo que a diferença mínima encontrada foi de -0,02 m e a máxima de 0,04 m.

A partir da fotografia retificada, originou-se a planta da fachada conforme pode-se verificar a seguir. (Figura 9)



**Figura 9 – Planta da fachada**

## 5. Conclusões e recomendações

### 5.1. Conclusões

As diferenças encontradas entre as medidas feitas a trena e sobre a fotografia retificada variaram de -0,02 m a 0,04 m, o que não é muito apropriado para um levantamento arquitetônico. No entanto podemos identificar alguns fatores que provavelmente contribuíram para tais resultados.

Assim como dito anteriormente, a retificação por transformação projetiva mostra-se eficaz quando os pontos de referência ou pontos de controle encontram-se no mesmo plano. Isto ocorre porque ao determinarmos quais pontos serão nossa referência, estamos com estes pontos formando mesmo um plano onde a fotografia vai ser “ajustada”. No momento do levantamento, alguns pontos importantes podem ter sido ignorados. Os pontos eleitos para o plano de retificação podem não estar perfeitamente sobre o mesmo plano, e isto certamente afetou o resultado. A eleição dos pontos em feições muito externas as arestas da fachada foi feita equivocadamente. O feixe da estação certamente pode ter-se propagado em pontos como a extremidade do prédio, onde há vértices.

Esta metodologia já é bastante utilizada em vários países e no Brasil esta em ascensão. O software utilizado neste projeto, para a retificação das fotos, fornece uma grande variedade de ferramentas como correção de distorção das lentes e mosaicagem, que apesar de não terem sido utilizadas no presente trabalho sãs úteis e também eficientes.

Mediante a uma gama de softwares que facilitem a aplicação de métodos fotogramétricos, no entanto, tais ferramentas não substituem a necessidade de um conhecimento básico de matemática e Fotogrametria.

## 5.2. Recomendações

Os resultados obtidos estão diretamente relacionados à forma como foi adquiridos os pontos de referência. Recomenda-se, no momento da aquisição de pontos de controle, certificar-se de que estes estarão sobre pontos visíveis no objeto e identificáveis na fotografia, e sempre estando sobre o mesmo plano vertical. Apesar da automação do software quanto à retificação e reamostragem da imagem, as particularidades de fotogrametria devem ser rotina para o usuário. Um trabalho mais detalhado poderá ser feito lançando mão de recursos de mosaicagem e correção das distorções das lentes que o software proporciona.

## 6. Referências Bibliográficas

**ALMAGRO A.:** *Photogrammetry for everybody*. Proceedings of the Symposium of CIPA in Recife/Olinda, Brasil, October 3–6, 1999

**ATKINSON,K.B.:** *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*, Department of Geomatic Engineering University College London. 2001

**COELHO FILHO,L.C.T.; BRITO,J.L.N. e S.:** *Fotogrametria Digital*. Rio de Janeiro: EDUERJ, 2007, 196 p.

**MIKHAIL,E.M.; BETHEL,J.S.; MCGLONE,C.:** *Introduction to Modern Photogrammetry*. John Wiley & Sons. 2001

**WOLF PR; DEWITT BA.:** *Elements of Photogrammetry with applications in GIS*. EEUU: McGraw-Hill; 2000

## Agradecimentos

À Kubit Software por ceder à UFRRJ, uma versão educacional do software PhotoPLan, para realização deste trabalho.

Ao Alessandro Wallace Barros dos Santos, Wallace Alessandro Barros dos Santos, João Luiz Jacintho, Frank Mitschke, Manfred Bugglin, Valdemar Rudi, Armin Schmich, Sonja Meier, Bernhardt Schaefer, Jakub Rojek, João Gonçalves Bahia e Luiz Guimarães Barbosa pelo apoio prestado no desenvolvimento deste trabalho.