

# Uma Ferramenta para Mensuração Fotogramétrica Monoscópica

Mário Luiz Lopes Reiss <sup>1</sup>

Bolsista FAPESP – Programa de Pós-graduação em Ciências Cartográficas

Antônio Maria Garcia Tommaselli <sup>2</sup>

Prof. Adjunto do Departamento de Cartografia

Universidade Estadual Paulista – Unesp  
Faculdade de Ciências e Tecnologias – FCT  
Rua Roberto Simonsen, 305.  
19060-900 Presidente Prudente SP

<sup>1</sup> ✉ [mreiss@prudente.unesp.br](mailto:mreiss@prudente.unesp.br)

<sup>2</sup> ✉ [tomaseli@prudente.unesp.br](mailto:tomaseli@prudente.unesp.br)

<b>Conteúdo</b>	<b>1 Introdução</b> <b>2 Metodologia</b> 2.1 Orientação das imagens 2.1.1 Estimação das Rotações 2.1.2 Determinação da posição do Centro Perspectivo da câmara 2.2 Protótipo do sistema de medição 2.2.1 Sistema de coleta de dados 2.2.2 Sistema de processamento dos dados <b>3 Experimentos</b> 3.1 Testes com dados simulados 3.2 Teste com dados reais controlados 3.3 Análise dos resultados <b>4 Conclusões</b> <b>5 Referências bibliográficas</b>
-----------------	---

**Resumo :** O avanço da tecnologia tem propiciado o surgimento de novas ferramentas que podem ser aplicadas aos levantamentos fotogramétricos. Um problema de crescente interesse para as municipalidades é a restituição de fachadas de construções, monumentos históricos ou de placas de propaganda (outdoors) para finalidades cadastrais ou para fins de recolhimento de impostos e taxas. Foi desenvolvido um método monoscópico para a extração de medidas em superfícies planas baseado em uma câmara digital e um telémetro. Um modelo matemático específico para a obtenção da matriz de rotação foi adaptado para o caso das arestas verticais e horizontais. Deste modo, não são necessários quaisquer elementos de apoio, bastando apenas a distância da câmara à superfície plana do objeto. O sistema pode ser aplicado em vários problemas de mensuração, sendo o principal atrativo o baixo custo do sistema.

**Palavras chave :** Fotogrametria Digital, Restituição monoscópica sem pontos de apoio.

**Abstract :** The progress of technology has created new tools that can be applied to photogrammetric surveying. A problem of growing interest for the municipalities is the restitution of facades of constructions, historical monuments or outdoors aiming cadastral surveying or tax collection. A monoscopic method has been developed for measurement of flat surfaces based on a digital camera and a telemeter. A specific mathematical model for the rotation matrix computation was adapted to use vertical and horizontal edges. Using this technique no control points are required, being used the distance from the camera to the surface to provide scale control. The system can be applied in several measurement problems, and it is attractive due its low cost.

**Keywords :** Digital Photogrammetry, Monoplotting without control points

## 1 Introdução

A Fotogrametria é atualmente uma tecnologia amplamente empregada como ferramenta para levantamentos de dados urbanos para finalidades cadastrais. Suas técnicas propiciam uma rápida obtenção dos dados pertinentes aos objetos de interesse, que são armazenados em fotografias e das quais pode-se extrair medidas fiéis dos objetos da cena.

Uma das modalidades da Fotogrametria, a Fotogrametria Terrestre, é muito utilizada em aplicações não cartográficas, como levantamentos de fachadas de monumentos históricos e sítios arqueológicos para fins de restauração; levantamentos de fachadas de edificações, para processos de comparação entre as especificações contidas no projeto e as realizadas na construção (as *built*).

A motivação inicial deste projeto foi a solicitação de uma prefeitura local que queria uma metodologia prática para medição de placas de propaganda (outdoors) para taxação e, ao mesmo tempo, cadastrar o tipo de material anunciado para prevenção de abusos e veiculação de material inadequado, como por exemplo, propagandas de cigarros próximas a escolas.

Uma solução para a determinação de áreas e distâncias sobre as placas seria o uso de técnicas estéreo-fotogramétricas convencionais. Entretanto, alguns fatores inerentes à Fotogrametria convencional tornariam a sua utilização onerosa, no que diz respeito ao uso operacional e técnico para as aplicações mencionadas acima, dentre as quais podem ser citadas:

1. A necessidade de sinalizar e determinar por processos topográficos as coordenadas de pontos de apoio sobre o objeto a ser medido;
2. A necessidade de serem coletadas várias imagens para permitir a restituição por interseção fotogramétrica;

3. O uso de *Software* estereofotogramétrico, que é caro;
4. A necessidade de operadores experientes.
5. Solução exigiria equipamentos e pessoal técnico que demandam recursos financeiros incompatíveis com o retorno obtido com esta fiscalização e inexistentes em muitas prefeituras. Sendo assim, a solução teria que ser uma técnica que necessitasse: de um profissional minimamente qualificado; fosse prática e confiável; e tivesse um custo reduzido.

Considerando-se, no entanto, as vantagens da utilização da Fotogrametria no processo de aquisição e medição de objetos contidos em cenas fotografadas, bem como o crescente avanço no desenvolvimento dos sistemas sensores digitais (câmaras) e de processamento (microcomputadores), decidiu-se fazer um estudo, que solucionasse o problema da restituição de forma rápida, precisa e satisfazendo às exigências mencionadas.

Com base nas restrições do projeto e considerando a experiência do Grupo de Fotogrametria da Unesp em aplicações não cartográficas da Fotogrametria, foi desenvolvida uma abordagem não convencional para tal problema que suprime as restrições apresentadas.

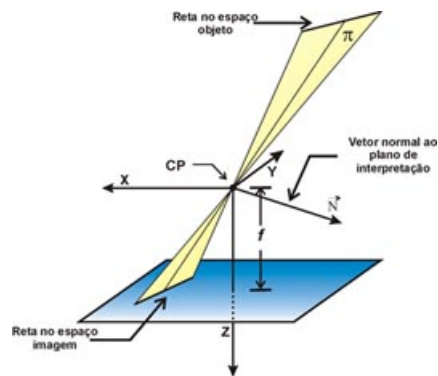
O princípio da solução apresentada é a restituição monoscópica com o uso de feições lineares verticais e horizontais presentes na cena fotografada, para a determinação da orientação da imagem sem nenhum contato físico com o objeto a ser restituído, ou seja, **nenhum ponto de apoio**. A posição do centro perspectivo (CP) é determinada por um telêmetro a laser acoplado a uma câmara digital. O método é monoscópico, isto é, exige apenas uma imagem, se a superfície for plana, o que é verdade para as aplicações apresentadas e outras em estudo.

## 2 Metodologia

### 2.1 Orientação das imagens

#### 2.1.1 Estimação das Rotações

Foi estudado um modelo específico para a estimação do movimento de corpos rígidos, baseado na utilização de linhas retas: o modelo de Liu e Huang (1988), que se fundamenta na correspondência de retas homólogas no espaço imagem e no espaço objeto (Figura 1).



**Fig. 1** : Representação do vetor normal ao plano de interpretação no espaço imagem

A grande vantagem do método de Liu e Huang (1) é a separação, em dois estágios, do cálculo das rotações (1º estágio) e das translações (2º estágio).

Modelo (1):

$$n^T \cdot R \cdot N = 0$$

Onde:

$n$  é o vetor das direções da reta no espaço objeto;

$N$  é o vetor normal ao plano projetante no espaço imagem; e

$R$  é a matriz de rotações ( $\kappa$ ,  $\varphi$  e  $\omega$ ) do referencial da imagem em relação ao referencial do objeto (2).

Modelo (2):

$$R_{\text{img}} = \begin{bmatrix} \cos \kappa \cdot \cos \varphi & \sin \kappa \cdot \cos \omega + \cos \kappa \cdot \sin \varphi \cdot \sin \omega & \sin \kappa \cdot \sin \omega - \cos \kappa \cdot \sin \varphi \cdot \cos \omega \\ -\sin \kappa \cdot \cos \omega & \cos \kappa \cdot \cos \omega - \sin \kappa \cdot \sin \varphi \cdot \sin \omega & \cos \kappa \cdot \sin \omega + \sin \kappa \cdot \sin \varphi \cdot \cos \omega \\ \sin \kappa & -\cos \varphi \cdot \sin \omega & \cos \varphi \cdot \cos \omega \end{bmatrix}$$

No modelo (1) as incógnitas seriam as rotações implícitas nos termos da matriz de rotação.

Reiss e Tommaselli (1998 e 1999) particularizaram o modelo (1) para o caso de orientação utilizando-se de linhas verticais (3a) e horizontais (3b), resultando nos modelos a seguir:

Modelo (3a):

$$f \cdot \cos \theta \cdot r_{11} + f \cdot \sin \theta \cdot r_{21} - p \cdot r_{31} = 0$$

Modelo (3b):

$$f \cdot \cos \theta \cdot r_{12} + f \cdot \sin \theta \cdot r_{22} - p \cdot r_{32} = 0$$

Donde:

$f$  é a distância focal calibrada da câmara;

$\theta$  e  $p$  são os parâmetros de representação das retas na sua forma normal, no espaço imagem; e

$r_{ij}$  são os elementos da matriz  $R\kappa\phi\omega$  de rotação (para  $i,j = 1...3$ )

Como os modelos matemáticos expressos em (3a) e (3b) são do tipo implícito, como em (4), o método utilizado para estimar as rotações,  $\kappa$ ,  $\phi$  e  $\omega$ , é o Método Combinado. Pelo fato destas equações serem não lineares, há a necessidade de iterações no ajustamento.

O modelo matemático do Método Combinado é definido em Gemael (1994) por:

Modelo (4):

$$F(L_a, X_a) = 0$$

e reúne tanto parâmetros ajustados como valores observados ajustados, porém ligados por uma função não explícita.

Sendo  $n$  o número de valores observados,  $u$  o número de parâmetros e  $r$  o número de equações, o vetor de correção dos parâmetros ajustados do Método Combinado, é dado por:

Modelo (5):

$${}_u X_1 = - \left( {}_r A_u^T {}_r M_r^{-1} {}_r A_u \right)^{-1} {}_r A_u^T {}_r M_r^{-1} W_1$$

Onde:

$A$  é matriz das derivadas da função em relação aos parâmetros  $X_a$ ;

$B$  é matriz das derivadas da função em relação às observações ajustadas  $L_a$ ;

$W$  é o vetor da aplicação das observações e dos parâmetros aproximados na função (vetor do erro de fechamento).

Com os modelos 3a e 3b são necessárias no mínimo três equações para estimar  $\kappa$ ,  $\phi$  e  $\omega$ , com pelo menos uma delas com orientação diferente.

### 2.1.2 Determinação da posição do Centro Perspectivo da câmara

No segundo estágio do modelamento matemático desenvolvido por Liu e Huang (1988) é tratada a determinação das translações do referencial da imagem em relação ao de objeto. Todavia, a metodologia proposta por Reiss e Tommaselli (1998 e 1999) dispensa esta segunda fase. A determinação da posição do CP é feita através de medida direta usando um telêmetro a laser acoplado à câmara.

As relações entre dois sistemas tridimensionais quaisquer (Figura 2a) são dadas, genericamente, pela transformação de similaridade:

Modelo (6):

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \lambda \cdot R \cdot \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix}$$

Particularizando para os referenciais do espaço objeto e do telêmetro:

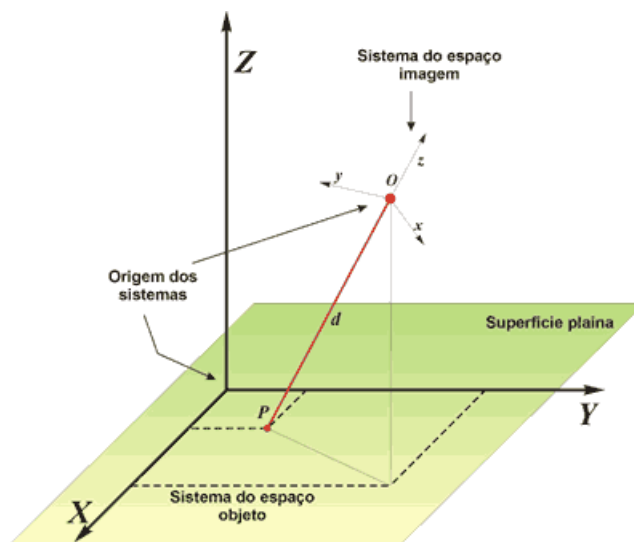
$Y_0$  e  $Z_0$  são as coordenadas do centro de fase do telêmetro em relação ao referencial do objeto;

$Y$  e  $Z$  são as coordenadas do ponto  $P$  no referencial do objeto;

$x$ ,  $y$  e  $z$  são as coordenadas do ponto  $P$  no referencial do telêmetro;

$R$  é a matriz de rotação;

$\lambda$  é um fator de escala, no caso  $\lambda = 1$



**Fig.2 :** Posição do CP da câmara em relação ao espaço objeto.

Pode-se observar que a coordenada  $Z$  do ponto  $P$ , neste caso, é nula. Devido à particularidade do sistema, que visa a medição em superfícies planas, algumas considerações podem ser feitas no modelo (6) sem prejuízo no cálculo de distâncias e áreas sobre a superfície. Uma delas, é que as coordenadas do ponto  $(X, Y)$  sejam nulas (Figura 2b). Outra importante observação é que a distância inclinada é medida a partir da origem do sistema e, portanto os elementos  $(x, y)$  também são nulos. Sendo assim do modelo (6) tem-se:

Modelo (7):

$$\begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{21} & r_{31} \\ r_{12} & r_{22} & r_{32} \\ r_{13} & r_{23} & r_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{31}d \\ r_{32}d \\ r_{33}d \end{bmatrix}$$

Onde:

$d = -z$  é a distância medida com o telêmetro;  
 $R^{-1} = RT$  ( $R$  é ortogonal).

## 2.2 Protótipo do sistema de medição

O sistema que está sendo desenvolvido para medição de superfícies planas visa a determinação de distâncias e áreas de feições definidas pelo usuário. Para a obtenção de tais resultados, vários procedimentos e cálculos são necessários, os quais, dividem-se em duas etapas: coleta de dados em campo e processamento dos dados obtidos.

### 2.2.1 Sistema de coleta de dados

O sistema de coleta de dados em campo é baseado na utilização de uma câmara digital e um telêmetro.

Uma imagem digital é um conjunto de elementos de imagem espacialmente ordenados em um arranjo matricial, cuja posição é dada por (coluna, linha), sendo que a cada elemento de imagem (pixel) é associado um tom de cinza ou cor, expresso genericamente por  $g(x, y)$ , que são valores inteiros armazenados em "palavras" de  $n$  bits.



**Fig.3 :** Protótipo do sistema de coleta de dados em campo

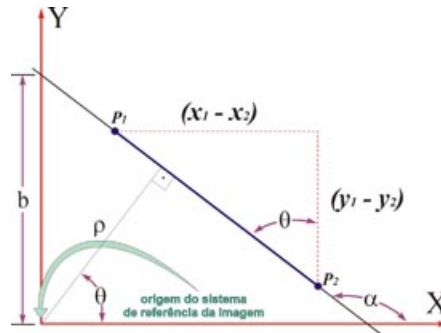
A coleta das imagens utilizando câmaras digitais se justifica devido a várias vantagens, dentre as quais estão a possibilidade de processamento dos dados quase que simultaneamente à sua aquisição e armazenamento, e uma considerável rigidez proporcionada pelo sistema sensor da câmara, o *microchip* CCD (*Charge Coupled Device*). O CCD é composto de sensores pontuais dispostos em forma de matriz e, devido às suas propriedades construtivas, possuem deformações ínfimas que podem ser desprezadas. Tal sistema proporciona a eliminação da necessidade de marcas fiduciais, ao contrário do que ocorre com câmaras analógicas.

O telêmetro é acoplado à câmara digital, por meio de um suporte, e propicia a obtenção da distância entre o CP da câmara ao objeto de interesse (Figura 03a). No campo, o usuário coleta a imagem do objeto de interesse e na seqüência aciona o telêmetro para medir a distância necessária para a determinação da posição do CP da câmara em relação ao objeto (Figura 3b).

### 2.2.2 Sistema de processamento dos dados

Na fase de processamento dos dados obtidos em campo, primeiramente, a imagem do objeto de interesse é transferida para o computador por meio de um software que acompanha a câmara.

Para o cálculo dos parâmetros de orientação da imagem serão necessárias observações das retas na imagem. Estas observáveis são os parâmetros das retas, das quais sabe-se sua orientação no espaço objeto: as arestas aproximadamente horizontais ou verticais.



**Fig.4** : Elementos de representação normal e paramétrica da reta

Uma reta no plano pode ser representada através de sua equação na forma normal (8) ou paramétrica (9):

Modelo 8:

$$x \cdot \cos \theta + y \cdot \sin \theta - \rho = 0$$

ou

Modelo 9:

$$Y = a \cdot X + b$$

A representação da reta utilizada neste trabalho é a dada pela equação (8), cujos elementos são:

Modelo 10:

$$d = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

Modelo 11:

$$\theta = \arctan \left( \frac{x_1 - x_2}{y_2 - y_1} \right)$$

Modelo 12:

$$\rho = - \frac{x_2 \cdot y_1 - x_1 \cdot y_2}{d}$$

$x_i$  e  $y_i$  são as coordenadas no referencial imagem refinadas das retas usadas para orientação;  
 $\theta$  e  $\rho$  são os parâmetros que representam as retas na sua forma normal.

As coordenadas dos pixels de uma imagem digital estão referenciadas ao sistema de coordenadas de máquina (semelhante ao sistema cartesiano, com eixo  $y$  invertido, com origem no canto superior esquerdo da imagem e em unidade de pixel). Para a realização

de processos computacionais sobre coordenadas extraídas em imagens digitais, faz-se necessário transformá-las para um sistema com origem no centro da imagem. Para isto basta que sejam feitas uma translação e uma reflexão no eixo  $x$ . Posteriormente, um fator de escala correspondente ao tamanho do pixel deve ser multiplicado às coordenadas para convertê-las ao sistema métrico. Outro tratamento importante feito sobre as coordenadas da imagem é a correção dos efeitos sistemáticos (ver Galo, 1993; Tommaselli e Nóbrega, 1998).

A partir dos  $\theta$  e  $\rho$  calculados para cada reta, é realizado o ajustamento para a estimação dos valores das rotações do referencial da imagem em relação ao referencial do espaço objeto ( $\kappa$ ,  $\varphi$  e  $\omega$ ). Os elementos de translação são calculados através da medida de distância obtida, em campo, com o telémetro. Com as translações e rotações, pode-se reduzir as coordenadas dos pontos da imagem para o referencial do espaço objeto por meio da **Equação de Colinearidade Inversa** (13).

Modelo 13:

$$X = X_0 + (Z - Z_0) \cdot \frac{r_{11}X + r_{21}Y - r_{31}f}{D}$$

$$Y = Y_0 + (Z - Z_0) \cdot \frac{r_{12}X + r_{22}Y - r_{32}f}{D}$$

$$D = r_{12}X + r_{23}Y - r_{33}f$$

Onde:

$X$ ,  $Y$  e  $Z$  são as coordenadas do espaço objeto;  
 $x$  e  $y$  são as coordenadas no espaço imagens refinadas;  
 $f$  é a distância focal calibrada.

Finalmente, de posse das coordenadas que definem as feições no espaço imagem, pode-se calcular distâncias entre pontos e as áreas de polígonos.

Para otimizar a fase de processamento dos dados foram desenvolvidas algumas rotinas de programação, que atualmente, estão sendo incorporadas em um protótipo de *software* de medição, que executa este trabalho semiautomaticamente (Figura 05). Este protótipo possui ferramentas simples para a coleta de pontos que definem feições sobre as imagens, algoritmos que executam e calculam a orientação exterior da imagem utilizando a metodologia proposta e ferramentas que calculam distâncias e áreas sobre a imagem orientada.



Fig. 5 : Interface do protótipo de restituição

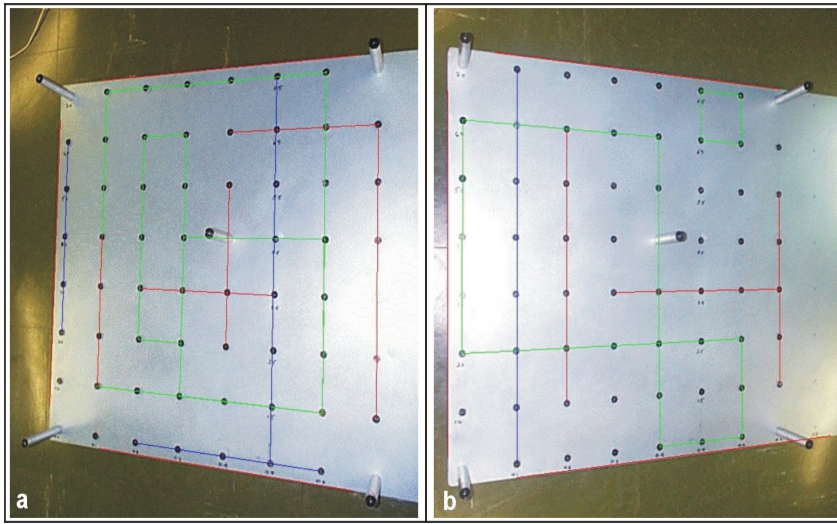
### 3 Experimentos

#### 3.1 Testes com dados simulados

Para testar se o modelo particularizado, dado pelas equações (3a) e (3b), funciona adequadamente foram realizados testes com dados numéricos simulados, nos quais os parâmetros eram conhecidos previamente. Várias repetições foram executadas, das quais a maior diferença entre o resultado esperado e o obtido foi inferior 1,5' para as rotações e 1,5% de uma área medida (Reiss e Tommaselli, 1999). Tais resultados mostraram a funcionalidade do modelo matemático de Liu e Huang particularizado para o caso de **linhas horizontais e verticais**.

#### 3.2 Teste com dados reais controlados

Na intenção de avaliar o protótipo do *software* em desenvolvimento, foram realizados dois experimentos com dados reais controlados. Para tanto, foram coletadas imagens de uma placa de invar com pontos sinalizados e com geometria bem definida. Estas imagens (Figura 06) foram submetidas a um processo de fototriangulação, no qual foram determinados os parâmetros de orientação exterior da câmara em relação ao sistema de coordenadas definidas na placa. Nesta placa, a distância entre cada ponto adjacente é de 100mm.



**Fig.6** : Placa de invar com pontos sinalizados

Nas imagens foram observados pontos (dois a dois) que definissem retas horizontais e verticais, variando o número de retas, e realizado o processo de determinação das rotações da imagem. Os parâmetros de translação que foram utilizados são os oriundos da triangulação (simulando um telêmetro), e através deles e das rotações, foi realizado o processo de retificação das coordenadas lidas no espaço imagem para o espaço objeto usando a equação de colinearidade inversa.

Foram calculadas distâncias e áreas bem definidas no espaço imagem e conhecidas no espaço objeto utilizando o *software* em desenvolvimento.

As distâncias e áreas no espaço objeto são conhecidas porque a placa é padrão ( $\Delta x = \Delta y = 100\text{mm}$ ).

As orientações padrão ( $\kappa$ ,  $\varphi$  e  $\omega$ ,  $X_0$ ,  $Y_0$  e  $Z_0$ ) foram obtidas usando um programa de calibração/fototriangulação (Galo, 1993).

**Tabela 1** : Dados dos experimentos realizados com o *software* em desenvolvimento

Nº linhas	Experimento 1				Experimento 2				
4	<b>Rotações</b>								
		<b>Valor Medido</b>	<b>Valor Conhecido</b>	$\Delta$	<b>Valor Medido</b>	<b>Valor Conhecido</b>	$\Delta$		
	<b>k</b>	179°54'36,600"	179°56'16,609"	0°01'14,000"	180°06'47,303"	180°14'29,504"	0°07'42,201"		
	<b><math>\varphi</math></b>	27°17'13,052"	26°58'16,110"	-0°18'56,942"	331°50'55,860"	331°36'36,814"	-0°14'19,046"		
	<b><math>\omega</math></b>	5°05'34,794"	5°05'16,526"	-0°00'18,268"	1°00'30,291"	1°19'35,130"	0°19'04,839"		
	<b>Áreas</b>								
		<b>Valor Medido (mm)</b>	<b>Valor Conhecido (mm)</b>	$\Delta$ (mm)	% $\Delta$	<b>Valor Medido (mm)</b>	<b>Valor Conhecido (mm)</b>	$\Delta$ (mm)	% $\Delta$
	<b>A<sub>1</sub></b>	290207.3	300000.0	9792.7	3.3	159503.9	160000.0	496.1	0.3
	<b>A<sub>2</sub></b>	86049.7	90000.0	3950.3	4.4	9959.5	10000.0	40.4	0.4
	<b>A<sub>3</sub></b>	39749.8	40000.0	250.2	0.6	40624.6	40000.0	-624.5	-1.6
	<b>Distâncias</b>								
	<b>D<sub>1</sub></b>	401.1	400.0	-1.1	-0.3	700.2	700.0	-0.2	0.0
	<b>D<sub>2</sub></b>	401.9	400.0	-1.9	-0.5	500.5	500.0	-0.5	-0.1
	<b>D<sub>3</sub></b>	700.3	700.0	-0.3	0.0	100.3	100.0	-0.3	-0.3
	<b>Rotações</b>								
		<b>Valor Medido</b>	<b>Valor Conhecido</b>	$\Delta$	<b>Valor Medido</b>	<b>Valor Conhecido</b>	$\Delta$		
<b>k</b>	179°53'52,231"	179°56'16,609"	0°02'24,378"	180°07'44,980"	180°14'29,504"	0°06'44,524"			

6	$\varphi$	27°14'17,400"	26°58'16,110"	-0°16'01,290"	331°51'12,619"	331°36'36,814"	-	0°14'35,805"	
	$\omega$	5°09'54,884"	5°05'16,526"	-0°04'38,358"	1°00'13,336"	1°19'35,130"	-	0°19'21,770"	
	<b>Áreas</b>								
		<b>Valor Medido (mm)</b>	<b>Valor Conhecido (mm)</b>	<b><math>\Delta</math> (mm)</b>	<b>%<math>\Delta</math></b>	<b>Valor Medido (mm)</b>	<b>Valor Conhecido (mm)</b>	<b><math>\Delta</math> (mm)</b>	<b>%<math>\Delta</math></b>
	<b>A<sub>1</sub></b>	289774.8	300000.0	10225.2	3.4	159464.5	160000.0	535.5	0.3
	<b>A<sub>2</sub></b>	85878.8	90000.0	4121.2	4.6	9976.2	10000.0	23.3	0.2
	<b>A<sub>3</sub></b>	39691.0	40000.0	309.0	0.8	39806.9	40000.0	193.1	0.5
	<b>Distâncias</b>								
	<b>D<sub>1</sub></b>	400.9	400.0	-0.9	-	700.2	700.0	-0.2	0.0
	<b>D<sub>2</sub></b>	399.9	400.0	0.1	0.0	500.5	500.0	-0.5	-
<b>D<sub>3</sub></b>	700.4	700.0	-0.4	0.0	100.4	100.0	-0.4	-	
8	<b>Rotações</b>								
		<b>Valor Medido</b>	<b>Valor Conhecido</b>	<b><math>\Delta</math></b>	<b>Valor Medido</b>	<b>Valor Conhecido</b>	<b><math>\Delta</math></b>		
	<b>k</b>	179°53'33,190"	179°56'16,609"	0°02'43,419"	180°10'50,885"	180°14'29,504"	0°03'38,619"		
	$\varphi$	27°15'23,251"	26°58'16,110"	-0°17'07,141"	332°00'38,570"	331°36'36,814"	0°24'01,756"		
	$\omega$	5°11'36,300"	5°05'16,526"	-0°06'19,774"	1°20'37,693"	1°19'35,130"	0°01'02,563"		
	<b>Áreas</b>								
		<b>Valor Medido (mm)</b>	<b>Valor Conhecido (mm)</b>	<b><math>\Delta</math> (mm)</b>	<b>%<math>\Delta</math></b>	<b>Valor Medido (mm)</b>	<b>Valor Conhecido (mm)</b>	<b><math>\Delta</math> (mm)</b>	<b>%<math>\Delta</math></b>
	<b>A<sub>1</sub></b>	289801.1	300000.0	10198.9	3.4	158429.4	160000.0	1570.6	1.0
	<b>A<sub>2</sub></b>	85856.3	90000.0	4143.7	4.6	9875.8	10000.0	124.2	1.2
	<b>A<sub>3</sub></b>	39700.7	40000.0	299.3	0.8	40530.0	40000.0	-530.0	-
<b>Distâncias</b>									
<b>D<sub>1</sub></b>	401.1	400.0	-1.1	-	700.1	700.0	-0.1	0.0	
<b>D<sub>2</sub></b>	399.9	400.0	0.1	0.0	498.4	500.0	1.6	0.3	
<b>D<sub>3</sub></b>	701.6	700.0	-1.6	-	100.9	100.0	-0.9	-	

Tabela 2 - Valores médios para os parâmetros avaliados

**Rotação**

	<b>Valor Medido</b>	<b>Valor Conhecido</b>	<b><math>\Delta</math></b>	<b>Valor Medido</b>	<b>Valor Conhecido</b>	<b><math>\Delta</math></b>
<b>k</b>	179°54'00,674"	179°56'16,609"	0°02'15,935"	180°08'27,723"	180°14'29,504"	0°06'01,781"
$\varphi$	27°15'37,901"	26°58'16,110"	-0°17'21,149"	331°54'15,683"	331°36'36,814"	-0°17'38,869"
$\omega$	5°09'01,993"	5°05'16,526"	-0°03'45,467"	1°07'07,107"	1°19'35,130"	0°12'28,023"

**Áreas**

	<b>Valor Medido (mm)</b>	<b>Valor Conhecido (mm)</b>	<b><math>\Delta</math> (mm)</b>	<b>%<math>\Delta</math></b>	<b>Valor Medido (mm)</b>	<b>Valor Conhecido (mm)</b>	<b><math>\Delta</math> (mm)</b>	<b>%<math>\Delta</math></b>
<b>A<sub>1</sub></b>	289927.7	300000.0	10072.3	3.4	159132.6	160000.0	867.4	0.5
<b>A<sub>2</sub></b>	85928.3	90000.0	4071.7	4.5	9937.2	10000.0	62.8	0.6

<b>A<sub>3</sub></b>	39713.8	40000.0	286.2	0.7	40320.5	40000.0	-320.5	-0.8
----------------------	---------	---------	-------	-----	---------	---------	--------	------

#### Distâncias

<b>D<sub>1</sub></b>	401.0	400.0	-1.0	-0.3	700.2	700.0	-0.2	0.0
<b>D<sub>2</sub></b>	400.6	400.0	-0.6	-0.1	499.8	500.0	0.2	0.0
<b>D<sub>3</sub></b>	700.8	700.0	-0.8	-0.1	100.5	100.0	-0.5	-0.5

### 3.3 Análise dos resultados

Pelos resultados dos experimentos realizados, apresentados na Tabela 1, algumas considerações podem ser levantadas:

#### Rotações:

Dos resultados apresentados pode-se observar que as rotações possuem uma variação de discrepâncias aleatórias, não importando a quantidade de retas observadas, ao contrário do que se esperava, que com o aumento das retas as discrepâncias diminuíssem. Serão realizados mais experimentos para determinar as causas deste comportamento.

Outra importante observação é que o valor absoluto da maior diferença entre as rotações conhecidas e as calculadas, obtidas para  $\varphi$  no experimento 2 com 8 retas, foi inferior a 25'. Os valores médios das discrepâncias para  $\varphi$  foi inferior a 20'.

#### Áreas:

O cálculo de áreas nos dois experimentos resultou em valores adequados para a aplicação, sendo que a maior discrepância calculada não ultrapassou 5% do valor total conhecido (4.6% na área **A<sub>2</sub>** do primeiro experimento, com 6 e 8 retas). Na média, 4.5% foi o maior erro em área obtido.

#### Distâncias:

Para as distâncias calculadas, o maior erro obtido foi inferior a 0.9% do valor da distância conhecida.

### 4 Conclusões

Os experimentos com dados reais controlados resultaram em valores satisfatórios para as áreas e distâncias calculadas pelo *software*, podendo ser utilizado em vários problemas de mensuração.

Um problema que está sendo resolvido é a não coincidência do feixe *laser*, emitido pelo telêmetro, com o prolongamento do eixo ótico da câmara, o que provoca uma pequena diferença na escala no objeto restituído.

Em uma próxima etapa o programa em desenvolvimento terá seu código fonte reformulado, sendo integradas rotinas de extração automática de feições, já desenvolvidas em uma dissertação de Mestrado anterior (Artero, 1999), com as quais serão determinadas automaticamente as feições lineares contidas nas imagens e que serão utilizadas na orientação.

### Agradecimentos

Os autores desejam expressar seus agradecimentos à FAPES (Fundação de Amparo de Pesquisa do Estado de São Paulo) pela concessão de bolsa de Mestrado para o desenvolvimento do projeto "*Restituição Fotogramétrica Flexível de Imagens de Curta Distância: Estudo de Métodos e Desenvolvimento de Protótipo*", do qual este trabalho é o estudo de viabilidade.

### 5 Referências bibliográficas

- Artero, A. O.; Tommaselli, A. M. G.** *Técnicas Para a Extração de Feições Lineares em Direções Pré-especificadas*. In: XIX Congresso Brasileiro de Cartografia e XVII Simpósio Internacional de Fotogrametria Arquitetônica e Arqueológica, 1999, Recife. Anais do XIX Congresso Brasileiro de Cartografia, Sociedade Brasileira de Cartografia, 1999, v. 1, n. 1, pp. 1 – 10.
- Galo, Maurício.** *Calibração de Câmaras Digitais*. Curitiba, 1993. Dissertação de Mestrado - Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná.
- Gemael, Camil.** *Introdução ao Ajustamento de Observações*. Ed. UFPR, Curitiba, 1994. 319p.
- Liu, Y.; Huang, T. S.** *Estimation of Rigid Body Motion Using Straight-line Correspondences*. Computer Vision, Graphics and Image Processing, v.44, n. 1, 1988.
- Reiss, M. L. L.; Tommaselli, A. M. G.** *Orientação de Imagens Digitais a Partir de Arestas Verticais e Horizontais*. Presidente Prudente, 1998. Relatório de Bolsa PAE, Curso de Engenharia Cartográfica – Departamento de Cartografia, Faculdade de Ciências e Tecnologia / Universidade Estadual Paulista.
- \_\_\_\_\_. *Levantamento Fotogramétrico Monoscópico de Superfícies Planas: Aplicação na Determinação de áreas de Outdoors*. In: XIX Congresso Brasileiro de Cartografia e XVII Simpósio Internacional de Fotogrametria Arquitetônica e Arqueológica, 1999, Recife. Anais do XIX Congresso Brasileiro de Cartografia, Sociedade Brasileira de Cartografia, 1999, CD Rom.
- Tommaselli, A. M. G.; Nóbrega, R. A. A.** *Qualidade Geométrica de Câmaras Digitais*. In: GISBRASIL, 1997, Curitiba – PR. Anais em CD Rom, Curitiba, FatorGis, 1997, v. 1, n. 1, pp. 1 – 10.

