

VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DA MONORESTITUIÇÃO NA CONSTRUÇÃO DE BASE CARTOGRÁFICA DIGITAL URBANA

Feasible use of Mono-plotting While Constructing of Urban Digital Base Map

Prof. EDSON A. MITISHITA

Prof.^a. MARY A. A. OLIVAS

Universidade Federal do Paraná

Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas

e-mails: mitishit@geoc.ufpr.br; mary@geoc.ufpr.br

RESUMO

O presente trabalho apresenta resultados obtidos na extração de informações planimétricas a partir de fotografias aéreas de grande escala, visando a construção de base digital urbana com a utilização do Sistema Fotogramétrico Monorestituído Digital, desenvolvido na Universidade Federal do Paraná, para microcomputadores PC e o Sistema CAD MicroStation PC. Para a realização de testes foram utilizadas aerofotos na escala 1: 6.000, do Centro Politécnico da UFPR, localizado na cidade de Curitiba, digitalizadas com resolução de 25 μ m, em Scanner Fotogramétrico (Sistema Leica/Helava). As mais importantes etapas envolvidas no processo foram: transformação da imagem fotográfica analógica para meio digital, levantamentos geodésicos para definição de pontos de apoio, obtenção das informações altimétricas da região, orientação interior e exterior das aerofotos, digitalização das entidades de interesse e transformação matemática da digitalização. Para a obtenção das informações altimétricas, foi realizada uma varredura estereofotogramétrica dos modelos envolvidos, utilizando um restituidor digital ISM DIAP, com espaçamento entre pontos de aproximadamente 15 metros. Uma análise qualitativa dos resultados foi realizada comparando-se as coordenadas determinadas pela monorestituição e as coordenadas calculadas por intersecção de raios. Para avaliação da exatidão da monorestituição, foram realizadas medidas de distâncias lineares no terreno, utilizando trenas de fibra de vidro e comparadas com distâncias obtidas na monorestituição.

ABSTRACT

This paper presents results obtained from the extraction of planimetric information from aerial photographs of great scale, for the construction of urban

digital base by using the System of Digital Mono-plotting, developed at the Federal University of Parana for microcomputers PC and the System CAD MicroStation PC. The tests were carried out with the use of aerial photographs in the scale 1:6.000, taken at the Polytechnic Center of the UFPR, located in the municipality of Curitiba, scanned with 25 μ m resolution, in a Photogrammetric Scanner (Leica/Helava System). The most important stages involved in the process were: changing the film-based photograph into a digital format, geodetical surveying for establishment of the control points, obtaining the elevation data of the area, internal and external orientation of the aerial photographs, digitalization of the entities of interest and mathematical transformation of the digitalization. In order to get the Digital Terrain Model, a stereoscopic scanning of the involved models was accomplished by using a stereoscopic plotting instrument ISM DIAP with spacing among points of approximately 15 meters. A qualitative analysis of the results was done through the comparison of the coordinates obtained from mono-plotting and the coordinates calculated by stereo image intersection of rays. The evaluation of the accuracy of the mono-plotting was performed through the comparison of measures of linear distances in the space object by using a fiberglass measure tape and the distances obtained from mono-plotting.

1 INTRODUÇÃO

Dependendo da aplicação a que se destina o mapeamento digital, verifica-se que a técnica de monorestituição de aerofotos pode ser aplicada, com grande vantagem em relação aos outros procedimentos tradicionais de restituição [CORTES, 1998].

Nos dias atuais, a sua utilização é crescente, tendo em vista as facilidades computacionais, o maior desenvolvimento da fotogrametria digital e a existência de sistemas fotogramétricos voltados para esta aplicação.

Uma malha de pontos com coordenadas espaciais, representativa do relevo da região a ser trabalhada, pode ser considerada como sendo o pré-requisito à aplicação da monorestituição. O número de pontos necessários à caracterização matemática da superfície é função do tipo de relevo existente. A qualidade do modelamento matemático do relevo é um dos principais fatores para a precisão na retificação das coordenadas planimétricas de pontos que definem uma entidade mapeada [MITISHITA, 1997].

Procedimentos e técnicas de mapeamento que otimizem o tempo e custo despendido na realização dos trabalhos, têm sido pesquisados e desenvolvidos nestes últimos anos.

Atualmente, mapeamentos de regiões urbanas em grandes escalas, têm tido alta procura junto às empresas de engenharia de levantamentos, devido à necessidade de informações atualizadas voltadas à implantação de sistemas de informações cadastrais e de gerenciamento de utilidades públicas.

Neste trabalho, são discutidos aspectos práticos e teóricos da aplicação da monorestituição ao mapeamento urbano a partir de aerofotos digitais de grande escala.

2 MONORESTITUIÇÃO DIGITAL

A fundamentação matemática do modelo principal, aplicado na monorestituição, está baseado na proposta apresentada por MAKAROVIC (1973), que consiste em transformar as coordenadas fotogramétricas (x_p, y_p) , de pontos observados na aerofoto, para o referencial geodésico cartesiano tridimensional local (X_L, Y_L, Z_L) , utilizando-se das equações de colinearidade inversa e de modelamento matemático de superfícies (M.D.T. – Modelo Digital de Terreno), conforme mostrado na equação (01).

$$X_L = X_o + (Z_L - Z_o) \frac{m_{11}x_p + m_{21}y_p + m_{31}c}{m_{13}x_p + m_{23}y_p + m_{33}c} \quad (01)$$

$$Y_L = Y_o + (Z_L - Z_o) \frac{m_{12}x_p + m_{22}y_p + m_{32}c}{m_{13}x_p + m_{23}y_p + m_{33}c}$$

(X_o, Y_o, Z_o) = Coordenadas da estação de exposição no referencial geodésico cartesiano tridimensional local;

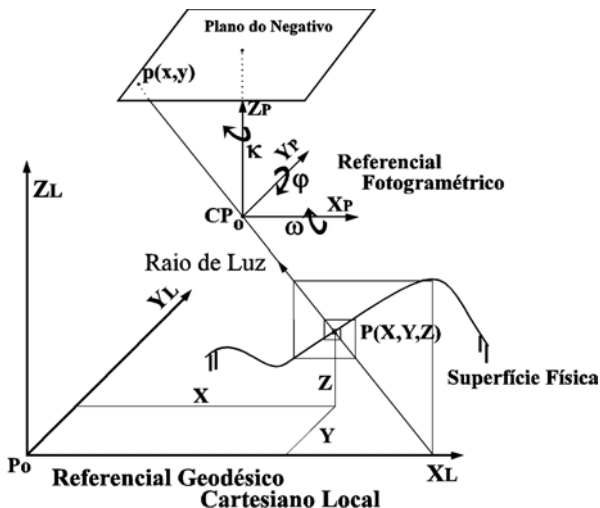
c = Distância focal calibrada da câmara aerofotogramétrica;

m_{ij} = Elementos da matriz de rotação $(R(\chi)R(\phi)R(\omega))$

Neste trabalho, para a solução da formulação matemática apresentada (01), denominada “retificação planimétrica”, tem-se a necessidade de parâmetros de orientação exterior e interior da aerofoto e de um Sistema de Modelamento Digital de Superfícies que possibilite a interpolação da coordenada altimétrica (Z_L) em função das coordenadas planimétricas do ponto. Os valores finais das coordenadas planimétricas são determinados, dentro de uma dada precisão, por um processo iterativo, conforme mostra a figura (01). Maiores detalhes podem ser encontrados em MITISHITA (1997).

Várias aplicações da técnica da monorestituição e soluções alternativas podem ser encontradas em MASRY (1979), LUGNANI (1985), DAL POZ (1991), DAL POZ (1993), VILLARREAL (1992), WOLTER (2000), SCHIMALSKI (2001), SOUZA (2001).

FIGURA 01 - CONVERGÊNCIA NO PROCESSO ITERATIVO



Após a convergência, as coordenadas no referencial geodésico local são transformadas para o referencial de um sistema de projeção cartográfica para a elaboração do mapeamento digital vetorial num sistema de computação gráfica (C.A.D – “Computer Aided Design”).

3 MATERIAIS EMPREGADOS

Para a realização deste trabalho, foram utilizadas três aerofotos na escala média de 1:6.000, tomadas com câmara Zeiss RMK A 15/23, com cone grande angular de distância focal calibrada igual a 153,528 mm.

As aerofotos formam dois modelos fotogramétricos (recobrimento longitudinal de 60%), sendo que a aerofoto central recobriu toda a área do Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná cujas dimensões aproximadas são de 1,5 x 1,5 quilômetros. As aerofotos foram digitalizadas num “escanner” fotogramétrico modelo DSW-100 (Leica/Helava) com resolução de 0,025 mm. Para apoio de campo foram utilizados seis pontos existentes na região da cobertura aerofotogramétrica, levantados com técnicas de posicionamento GPS relativo.

Utilizou-se do sistema fotogramétrico MonoRestituídor Digital, (MITISHITA, 1999), associado com os programas MicroStation e Descartes e sistema estereofotogramétrico ISM DIAP da empresa Aeroimagem Aerfotogrametria S/A.

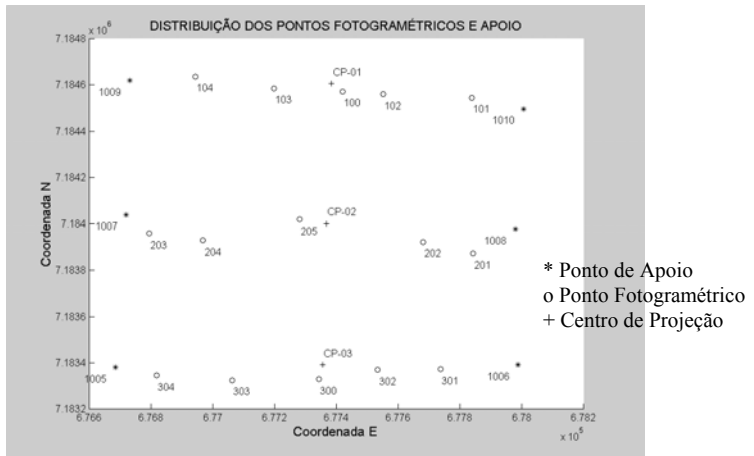
4 DENSIFICAÇÃO DO APOIO

Para se ter uma melhor distribuição de pontos fotogramétricos de apoio, necessários às orientações fotogramétricas, realizou-se a aerotriangulação com a

técnica de ajustamento simultâneo de modelos, onde foram determinadas as coordenadas de quinze (15) pontos fotogramétricos em forma de detalhes fotoidentificáveis, distribuídos próximos às regiões de “Grubber”, a fim de permitir uma melhor orientação absoluta dos dois modelos fotogramétricos.

Os modelos fotogramétricos foram observados no sistema fotogramétrico MonoRestituídor Digital e ajustados por técnicas de Ajustamento Simultâneo de modelos. A figura 02 mostra a distribuição espacial de pontos fotogramétricos e pontos de apoio na região trabalhada.

FIGURA 02 – DISTRIBUIÇÃO DE PONTOS FOTOGAMÉTRICOS E APOIO NA REGIÃO

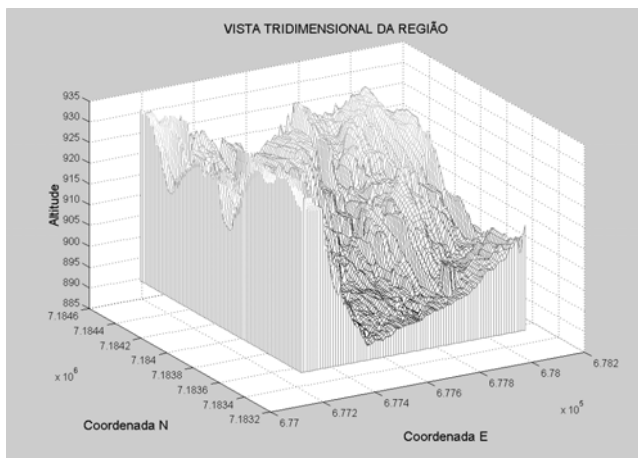


5 INFORMAÇÕES ALTIMÉTRICAS

Empregando-se o sistema digital ISM DIAP, realizou-se a perfilagem estereoscópica dos dois modelos fotogramétricos, obtendo-se uma malha de pontos de referência, necessária à modelagem matemática do relevo da região. O intervalo médio entre pontos amostrados foi de aproximadamente 15 metros, resultando uma grade irregular com 9.100 pontos. A figura 03 mostra a representação tridimensional da região perfilada.

Os parâmetros necessários às orientações das aerofotos no sistema ISM DIAP, foram determinados no sistema MonoRestituídor. A tabela 02 mostra os valores dos parâmetros de orientação exterior e respectivas precisões, obtidas no ajustamento por MMQ realizado.

FIGURA 03 – REPRESENTAÇÃO TRIDIMENSIONAL DA REGIÃO A SER TRABALHADA



6 MODELAMENTO MATEMÁTICO DO RELEVO

Um sistema de modelamento de superfície exige algoritmos matemáticos capazes de interpolar a coordenada altimétrica dentro das precisões necessárias à retificação das coordenadas planimétricas do ponto. Neste trabalho empregou-se o algoritmo denominado de superfície triangular plana, conforme mostrado em MITISHITA, (1997).

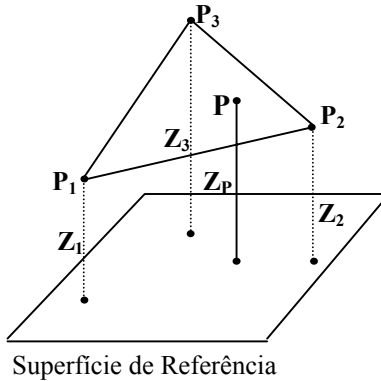
O procedimento de interpolação está baseado numa estrutura de pontos de referência em forma de triangulação (poliedro de faces triangulares planas). Aproximando-se o interior de cada face triangular a um plano que passe pelos três pontos do triângulo e o ponto a ser interpolado, contido neste triângulo, conforme é mostrado na figura 04. A função de interpolação da coordenada altimétrica (Z) pode ser dada por:

$$Z(x, y) = ax + by + d \quad (02)$$

Os valores dos coeficientes da função (02) são inequivocamente determinados com as informações contidas no triângulo.

Trata-se de um procedimento de interpolação altimétrica que apresenta grande vantagem quanto ao tempo de processamento e facilidade de programação, porém apresenta desvantagem por não tratar matematicamente a continuidade entre os triângulos. Este procedimento apresenta resultados tanto melhores quanto menor o espaçamento entre os pontos de referência (maior número de triângulos).

FIGURA 04 - TRIÂNGULO E O PONTO INTERNO A SER INTERPOLADO



7 AVALIAÇÃO DA PRECISÃO

Para a avaliação da precisão da monorestituição neste trabalho, as coordenadas das entidades planimétricas pontuais restituídas, foram novamente determinadas com a fotogrametria analítica convencional (interseção de raios homólogos).

Empregando-se o sistema MonoRestituídor para a realização das observações fotogramétricas dos pontos homólogos e utilizando-se das equações de colinearidade (03), o modelo fotogramétrico é formado matematicamente no referencial fotogramétrico.

$$x_p = -c \frac{m_{11}(X - X_o) + m_{12}(Y - Y_o) + m_{13}(Z - Z_o)}{m_{31}(X - X_o) + m_{32}(Y - Y_o) + m_{33}(Z - Z_o)} \quad (03)$$

$$y_p = -c \frac{m_{21}(X - X_o) + m_{22}(Y - Y_o) + m_{23}(Z - Z_o)}{m_{31}(X - X_o) + m_{32}(Y - Y_o) + m_{33}(Z - Z_o)}$$

Após a análise de precisão na formação analítica do modelo fotogramétrico (paralaxes verticais residuais nos pontos fotogramétricos, inferiores a meio “pixel”), o modelo foi ajustado para o referencial geodésico local, empregando-se os pontos fotogramétricos de apoio e a transformação conforme no espaço (04). Ver maiores detalhes em MERCHANT, (1979), LUGNANI, (1987), MITISHITA, (1986).

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \lambda M \begin{bmatrix} X_L - X_o \\ Y_L - Y_o \\ Z_L - Z_o \end{bmatrix} \quad (04)$$

(X, Y, Z) = Coordenadas dos pontos no referencial fotogramétrico;

(X_o, Y_o, Z_o) = Parâmetros de translação;

λ = Fator de escala;

M = Matriz de rotação ($R(\chi)R(\varphi)R(\omega)$).

8 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste item apresentam-se e discutem-se os resultados obtidos nos experimentos com a técnica de monorestituição aplicada ao mapeamento de grandes escalas.

8.1 Orientação Interior

Utilizou-se a transformação Afim Geral no plano para a transformação do referencial de máquina para o fiducial, observando-se quatro marcas fiduciais. Os resultados obtidos no ajustamento por MMQ são apresentados na tabela 01.

TABELA 01 – RESULTADOS OBTIDOS NAS ORIENTAÇÕES INTERIORES REALIZADAS

ORIENTAÇÃO INTERIOR	
AEROFOTO 01	
Rm x = 0,003 mm	Rm y = 0,010 mm
AEROFOTO 02	
Rm x = 0,004 mm	Rm y = 0,010 mm
AEROFOTO 03	
Rm x = 0,001 mm	Rm y = 0,002 mm
Rm = Resíduo médio (valor absoluto)	

Os resultados apresentados na tabela 01 mostram que o ajustamento do modelo ficou dentro das precisões requeridas, considerando-se a resolução na digitalização das aerofotos.

8.2 Orientação Exterior

Utilizando-se as equações de colinearidade (03) e as coordenadas dos pontos fotogramétricos no referencial geodésico, foram determinados os parâmetros de orientação exterior das aerofotos, empregando-se ajustamento por MMQ. A tabela 02 mostra os principais resultados obtidos.

As precisões apresentadas na tabela 02 são superiores à metade da resolução geométrica da aerofoto (tamanho do “pixel”), mostrando que os parâmetros de orientação exterior foram determinados dentro de valores esperados.

Injunções absolutas foram empregadas nas coordenadas dos pontos fotogramétricos no referencial geodésico, admitindo-se variância nula no ajustamento. Desta forma, as precisões são apresentadas somente no referencial fotogramétrico.

TABELA 02 - RESULTADOS OBTIDOS NAS ORIENTAÇÕES EXTERIORES REALIZADAS

PARÂMETROS DE ORIENTAÇÃO EXTERIOR	
AEROFOTO 01	
$\kappa = 4,6744004 \pm 0,0000329$ rd	$\varphi = 0,0018996 \pm 0,0000698$ rd
$\omega = -0,0094733 \pm 0,0000974$ rd	$X_o = 677384,161 \pm 0,090$ m
$Y_o = 7184605,282 \pm 0,102$ m	$Z_o = 1903,656 \pm 0,053$ m
EMQ em x = $\pm 0,012$ mm	EMQ em y = $\pm 0,009$ mm
AEROFOTO 02	
$\kappa = 4,6779050 \pm 0,0000165$ rd	$\varphi = 0,0036540 \pm 0,0000415$ rd
$\omega = -0,0085116 \pm 0,0000404$ rd	$X_o = 677367,195 \pm 0,051$ m
$Y_o = 7184000,091 \pm 0,052$ m	$Z_o = 1904,021 \pm 0,016$ m
EMQ em x = $\pm 0,009$ mm	EMQ em y = $\pm 0,011$ mm
AEROFOTO 03	
$\kappa = 4,6919568 \pm 0,0000229$ rd	$\varphi = 0,0125161 \pm 0,0000490$ rd
$\omega = -0,0094103 \pm 0,0000750$ rd	$X_o = 677354,980 \pm 0,061$ m
$Y_o = 7183390,201 \pm 0,079$ m	$Z_o = 1905,263 \pm 0,037$ m
EMQ em x = $\pm 0,011$ mm	EMQ em y = $\pm 0,007$ mm

8.3 Interseção de Raios

Visando a determinação das coordenadas das entidades pontuais por interseção de raios, foram realizadas, no sistema Monorestituído, as orientações relativas e absolutas dos modelos fotogramétricos. Os resultados são apresentados na tabela 03.

TABELA 03 – RESULTADOS DE ORIENTAÇÕES RELATIVA E ABSOLUTA REALIZADAS

ORIENTAÇÕES RELATIVA E ABSOLUTA		
MODELO 01/02		
Paralaxe vertical residual média (valor absoluto) = 0,004 mm		
Emq x = $\pm 0,014$ mm	Emq y = $\pm 0,012$ mm	Emq z = $\pm 0,051$ mm
Rm X = 0,015 m	Rm Y = 0,017 m	Rm Z = 0,040 m
MODELO 02/03		
Paralaxe vertical residual média (valor absoluto) = 0,004 mm		
Emq x = $\pm 0,019$ mm	Emq y = $\pm 0,024$ mm	Emq z = $\pm 0,052$ mm
Rm X = 0,009 m	Rm Y = 0,015 m	Rm Z = 0,041 m
Emq = Erro médio quadrático obtido nas coordenadas de modelo		

Considerando-se como erro máximo admissível para as observações fotogramétricas o valor de 0,050 mm (valor de uma marca estereoscópica num sistema fotogramétrico analítico), os valores das precisões obtidas nas orientações encontram-se dentro da tolerância, geralmente empregada para a escala média das aerofotos utilizadas.

8.4 Análise Qualitativa da Monorestituição de Entidades Lineares

São apresentadas as precisões obtidas na monorestituição de entidades planimétricas que possuam pontos definidores do seu traçado gráfico e a condição de serem bem visíveis nas aerofotos.

As coordenadas determinadas com a monorestituição são comparadas com as calculadas através do procedimento de interseção de raios.

Para adequação à técnica de monorestituição, as entidades escolhidas não devem apresentar elevação em relação ao terreno, pois a transformação matemática empregada na retificação planimétrica do ponto, trabalha em conjunto com o modelamento matemático do relevo que geralmente não considera as alturas das edificações.

8.4.1 Monorestituição da Aerofoto Central (02)

Utilizando-se o sistema MonoRestituídor Digital, foram restituídas sessenta e quatro (64) entidades planimétricas, distribuídas por toda a aerofoto. Os pontos identificáveis na aerofoto que foram empregados na caracterização gráfica das entidades somam o total de cento e quarenta e oito (148). Comparando-se as coordenadas geodésicas determinadas com a monorestituição e as calculadas com o procedimento de interseção (tomadas neste trabalho como corretas), determinou-se às discrepâncias médias nas coordenadas, os valores de 0,159 m para E (Este) e 0,145 m para N (Norte) e seus desvios padrão, respectivamente os valores 0,134m e 0,122m.

Tomando-se como referência o erro padrão, onde se tem o intervalo de confiança de $\pm \sigma$, ou mais o menos um desvio padrão, o que corresponde uma probabilidade de 68,27% da média encontrar-se dentro deste intervalo, ver ANDRADE, (1998).

Desta forma, tem-se que os erros padrões das discrepâncias são respectivamente $\pm 0,134$ m para a coordenada E (Este) e $\pm 0,122$ m para a coordenada N (Norte) ou 68,27% dos pontos testados encontram-se dentro destes intervalos.

Admitindo-se a precisão de um mapeamento em função da escala média da aerofoto e do máximo erro tolerável no posicionamento da marca estereoscópica de medida num sistema fotogramétrico analítico o valor de 0,050 mm, tem-se para a escala 1:6.000 uma discrepância planimétrica máxima o valor de 0,30 metros. Nestas condições verificou-se que o procedimento de monorestituição, para entidades planimétricas ao nível do solo, apresentou 68,27% dos pontos testados dentro do limite de erro aceitável para a referida escala de trabalho.

Pelas precisões obtidas na monorestituição, concluiu-se que a perfilagem realizada no sistema fotogramétrico ISM DIAP, apresentou precisões compatíveis com as exigidas, bem como uma distribuição adequada de pontos de referência para a correta caracterização do relevo da região em questão.

8.4.2 Monorestituição das Aerofotos Laterais 01 e 03

Com o objetivo de verificar a precisão do processo da monorestituição na ligação de aerofotos, foram restituídas, nas aerofotos 01 e 03, as mesmas entidades planimétricas restituídas na aerofoto central (02).

Foram restituídas vinte e duas (22) entidades gráficas na aerofoto da esquerda (01) e quarenta e três (43) na aerofoto da direita (03). Deste conjunto resultaram noventa e nove (99) pontos que foram corretamente identificáveis na aerofoto da esquerda (01) e cinquenta e um pontos (51) na aerofoto da direita.

Empregando-se o mesmo procedimento de verificação, adotado na monorestituição da aerofoto central, determinou-se para a aerofoto da direita as médias de discrepâncias nas coordenadas, os valores de 0,175 metros para a coordenada (Este) e 0,144 metros para a coordenada (Norte) e seus erros padrões, respectivamente os valores de $\pm 0,158$ e $\pm 0,135$ metros. Para a aerofoto da esquerda os valores de 0,175 metros para a coordenada (Este) e 0,098 metros para a coordenada (Norte) e seus erros padrões, respectivamente os valores de $\pm 0,148$ e $\pm 0,066$ metros. As precisões obtidas na monorestituição das entidades planimétricas ao nível do solo, nas aerofotos vizinhas a central, são equivalentes as obtidas na monorestituição da região central.

Pelos resultados obtidos, conclui-se que o procedimento de monorestituição de aerofotos isoladas, aplicado no mapeamento de entidades planimétricas ao nível do solo, apresentou bons resultados na ligação de aerofotos restituídas.

8.5 Análise Qualitativa da Monorestituição de Edificações

Realizou-se alguns experimentos práticos de monorestituição de edificações em área urbana com diferentes alturas em relação à superfície, com o propósito de verificar as dimensões dos erros cometidos nas coordenadas de pontos que permitam a sua representação planimétrica.

Como, geralmente não se tem um modelamento matemático de uma superfície que considera as alturas das edificações, as coordenadas planimétricas dos pontos que definem a edificação são fortemente afetadas pelo deslocamento da imagem devido à projeção central que varia em função da altura da edificação e sua localização no quadro do negativo, em relação ao ponto principal da aerofoto. Os exemplos a seguir, mostram o comportamento da monorestituição no mapeamento de edificações.

As figuras 04, 05, 06 e 07 mostram como as imagens das edificações estão posicionadas nas respectivas fotos e as tabelas 04, 05, 06 e 07 mostram as diferenças resultantes da comparação das coordenadas obtidas com a monorestituição e interseção de raios. Nas tabelas, DE é a diferença em metros, entre as coordenadas E (este) obtidas pela monorestituição e interseção de raios, DN é a diferença em metros, entre as coordenadas N (norte) e Pcea é a posição do centro da edificação na aerofoto.

O experimento N° 1 mostra os resultados da monorestituição de edificação com altura em relação ao solo de aproximadamente vinte e cinco (25) metros, utilizando-se as aerofotos 01, 02 e 03 respectivamente.

FIGURA 04 – VISUALIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO I NAS AEROFOTOS 01, 02 E 03

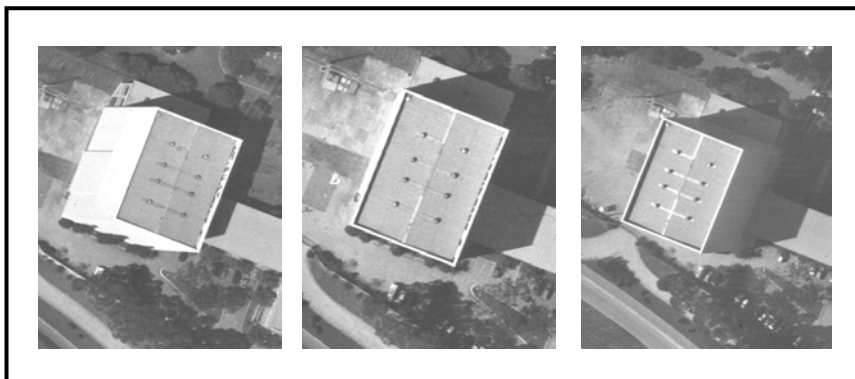


TABELA 04 – COMPARAÇÃO DA MONORESTITUIÇÃO E INTERSEÇÃO DE RAIOS – EDIFICAÇÃO I

VERIFICAÇÃO DA MONORESTITUIÇÃO – EDIFICAÇÃO I						
	AEROFOTO 01		AEROFOTO 02		AEROFOTO 03	
PTO	DE (m)	DN (m)	DE (m)	DN (m)	DE (m)	DN (m)
1	1,813	16,114	0,993	0,280	0,120	-15,576
2	1,556	17,623	1,150	0,820	0,546	-15,210
3	0,769	16,834	-0,021	1,230	-0,001	-14,616
4	0,919	15,348	-0,281	0,718	-0,531	-14,962
MÉDIA	1,264	16,480	0,460	0,762	0,034	-15,091
Pcea	98,604	-1,684	3,426	-2,456	-93,553	-1,124

O experimento N° 2 mostra os resultados da monorestituição de edificação com altura em relação ao solo de aproximadamente cinco (5) metros, utilizando-se as aerofotos 01, 02 e 03 respectivamente.

FIGURA 05 – VISUALIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO II NAS AEROFOTOS 01, 02 E 03



TABELA 05 – COMPARAÇÃO DA MONORESTITUIÇÃO E INTERSEÇÃO DE RAIOS - EDIFICAÇÃO II

VERIFICAÇÃO DA MONORESTITUIÇÃO – EDIFICAÇÃO II						
	AEROFOTO 01		AEROFOTO 02		AEROFOTO 03	
PTO	DE (m)	DN (m)	DE (m)	DN (m)	DE (m)	DN (m)
1	1,726	2,880	1,876	-0,540	1,056	-3,770
2	1,496	3,266	1,866	-0,484	1,376	-3,994
3	2,129	3,615	2,269	-0,355	1,799	-4,345
4	2,512	3,704	2,432	-0,064	1,632	-3,636
MÉDIA	1,966	3,366	2,111	-0,361	1,466	-3,936
Pcea	85,036	-47,528	-7,340	-48,422	-101,813	-47,320

O experimento N° 3 mostra os resultados da monorestituição de edificação com altura em relação ao solo de aproximadamente doze (12) metros, utilizando-se as aerofotos 01, 02 e 03 respectivamente.

FIGURA 06 – VISUALIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO III NAS AEROFOTOS 01, 02 E 03

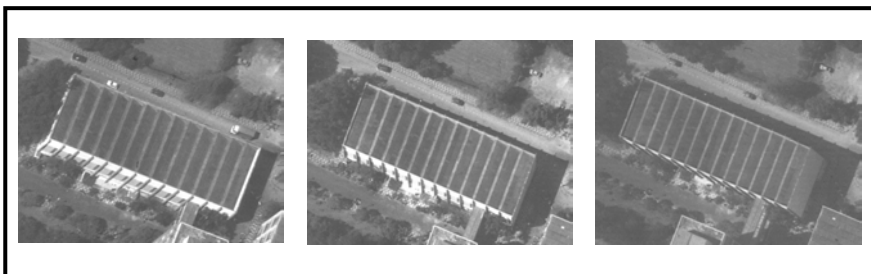


TABELA 06 – COMPARAÇÃO DA MONORESTITUIÇÃO E INTERSEÇÃO DE RAIOS - EDIFICAÇÃO III

VERIFICAÇÃO DA MONORESTITUIÇÃO – EDIFICAÇÃO III						
	AEROFOTO 01		AEROFOTO 02		AEROFOTO 03	
PTO	DE (m)	DN (m)	DE (m)	DN (m)	DE (m)	DN (m)
1	-4,142	5,158	-4,762	0,252	-4,975	-6,672
2	-4,986	4,598	-5,106	0,582	-5,204	-6,771
3	-4,835	7,018	-4,855	0,018	-4,262	-5,442
4	-6,034	6,869	-5,554	0,109	-4,136	-5,972
MÉDIA	-4,999	5,911	-5,069	0,240	-4,644	-6,214
Pcea	87,622	75,841	-6,688	75,467	-102,293	77,411

O experimento N° 4 mostra os resultados da monorestituição de edificação com altura em relação ao solo de aproximadamente cinco (05) metros, utilizando-se as aerofotos 01, 02 e 03 respectivamente.

FIGURA 07 – VISUALIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO IV NAS AEROFOTOS 01, 02 E 03



TABELA 07 – COMPARAÇÃO DA MONORESTITUIÇÃO E INTERSEÇÃO DE RAIOS - EDIFICAÇÃO IV

VERIFICAÇÃO DA MONORESTITUIÇÃO – EDIFICAÇÃO IV						
	AEROFOTO 01		AEROFOTO 02		AEROFOTO 03	
PTO	DE (m)	DN (m)	DE (m)	DN (m)	DE (m)	DN (m)
1	-0,317	3,901	-0,377	0,121	-0,570	-2,837
2	-0,082	5,102	-0,732	0,482	-0,332	-2,520
3	-0,092	4,930	-0,432	0,110	-0,072	-2,618
4	-0,260	3,973	-0,110	0,007	-0,387	-3,179
MÉDIA	-0,188	4,476	-0,413	0,180	-0,340	-2,788
Pcea	82,969	5,322	-10,360	4,672	-105,705	6,214

Os resultados apresentados sobre monorestituição de edificações, sem o conhecimento de suas alturas, mostram de forma bem clara que o afastamento da imagem da edificação, em relação ao ponto principal da aerofoto tem maior influência nas discrepâncias das coordenadas dos pontos retificados (deslocamento devido à projeção).

Imagens de edificações que se encontravam próximas ao centro da aerofoto, mesmo tendo grande altura, não apresentaram elevadas discrepâncias (Edificação I – Aerofoto 02). A imagem da edificação IV, estando próximo ao centro da aerofoto 02, teve suas coordenadas retificadas pela monorestituição dentro de limites de erros aceitáveis. Por outro lado, a monorestituição da mesma edificação na aerofoto 01, apresentou discrepâncias acima dos limites aceitáveis de erros.

Empregando-se a representação tradicional destas entidades cartográficas, através de um polígono fechado, definido pelos seus vértices, verifica-se que a monorestituição não se aplica de forma satisfatória.

A utilização de aerofotos, provenientes de uma câmara com cone normal pode minimizar os deslocamentos devidos à projeção. Uma outra alternativa é a utilização de símbolos cartográficos para a representação destas entidades cartográficas ou a utilização de um modelamento matemático de elevações que levem em conta as alturas das edificações.

8.6 Verificação da Exatidão da Monorestituição

Neste trabalho, verificou-se a exatidão da monorestituição de entidades lineares ao nível do solo, através do seguinte procedimento: empregando-se uma trena de fibra de vidro, foram medidas as distâncias lineares de cinquenta e duas (52) entidades mapeadas, variando de 4,00 a 104,00 metros. Os valores das distâncias medidos no terreno foram comparados com os valores calculados a partir das coordenadas dos vértices determinados com a monorestituição.

Admitindo-se o valor de distância medida no terreno como correta, calculou-se o valor de discrepância, entre a distância medida no terreno e a distância calculada com as coordenadas obtidas da monorestituição.

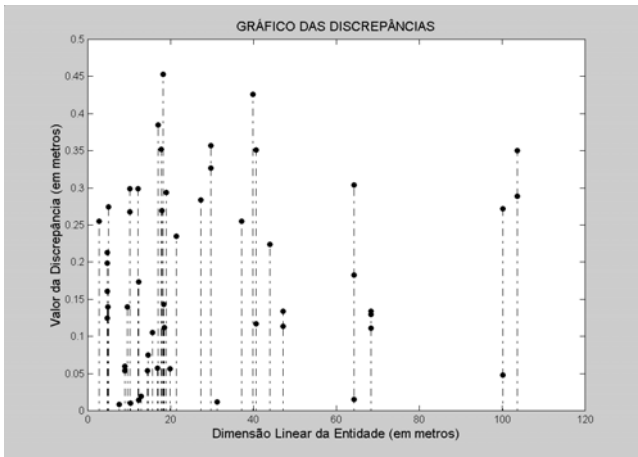
No conjunto resultou para a média das discrepâncias absolutas o valor de 0,187 metros e o erro padrão de $\pm 0,122$ metros.

Admitindo-se como máxima discrepância planimétrica tolerável o valor de 0,050 mm na escala da foto (valor de uma marca estereoscópica num sistema fotogramétrico analítico) ou 0,30 metros no terreno e adotando-se o erro padrão, onde se tem o intervalo de confiança de $\pm \sigma$ (mais o menos um desvio padrão) que corresponde a uma probabilidade de 68,27% da média encontrar-se dentro deste intervalo. Verifica-se que existe uma probabilidade de 68,27% da média das discrepâncias obtidas encontrar-se dentro da precisão requerida para o mapeamento na escala em questão ou que 68,27% das discrepâncias determinadas encontram-se dentro do limite aceitável de erro.

A figura 08 mostra os valores das distâncias lineares observadas no terreno e respectivas discrepâncias obtidas.

Os resultados do experimento, comprovam também que as precisões das coordenadas dos pontos de apoio, determinadas com o GPS, da aerotriangulação, da perfilagem para a definição do relevo e a determinação de coordenadas por interseção de retas, apresentadas neste trabalho, encontram-se dentro da tolerância de discrepância necessária para a realização de um mapeamento para a referida escala média da aerofoto digital utilizada.

FIGURA 08 – VISUALIZAÇÃO GRÁFICA DAS DISCREPÂNCIAS OBTIDAS NAS DISTÂNCIAS



9 CONCLUSÕES

Dos resultados obtidos neste trabalho, apresentam-se as seguintes conclusões:

1. A avaliação da técnica de monorestituição no sistema fotogramétrico Monorestituído, visando à construção de base cartográfica urbana com aerofotos digitais em escala grande e com a utilização de um D.T.M convencional (somente relevo), apresentou resultados dentro das precisões toleráveis, somente quando aplicado à restituição de entidades planimétricas ao nível do solo;
2. A utilização da monorestituição no levantamento de edificações não apresentou bons resultados, pois devido à projeção central da aerofoto, tem-se grandes deslocamentos da imagem em função da posição que a mesma se encontra em relação ao ponto principal na aerofoto. Como não se tem a altura da edificação,

a retificação planimétrica dos pontos que definem graficamente a edificação não funciona corretamente;

3. As resoluções das aerofotos digitais foram suficientes para as obtenções das precisões necessárias ao mapeamento para a respectiva escala da foto;
4. As precisões das coordenadas dos pontos de apoio, da aerotriangulação, da perfilagem de pontos, estão dentro dos valores necessários a realização do mapeamento para a respectiva escala da aerofoto;
5. O intervalo entre pontos no terreno, empregado para a definição matemática do relevo foi suficiente para as precisões necessárias para os experimentos de monorestituição realizados;
6. Os experimentos realizados com a monorestituição de aerofotos contíguas, mostraram que as diferenças obtidas nas coordenadas de entidades comuns, estão dentro das precisões toleráveis ou melhor, não foram verificadas discrepâncias acima do tolerável na região comum entre duas aerofotos monorestituídas.

10. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as seguintes colaborações: alunos do curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, disciplina de Tópicos Especiais em Fotogrametria, ano 1997, pelo levantamento dos pontos de apoio; alunos do curso de Engenharia Cartográfica Daniel C. Granemann e Edilson E. Teixeira, na realização das medidas de distâncias no campo; Empresas Aeroimagem na realização da perfilagem e Esteio na execução do vôo aerofotogramétrico e digitalização das aerofotos.

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, J. B. **Fotogrametria**. Curitiba; SBEE, 258 p: il. 1998. ISBN 85-86180-07-6.
- CORTES, J. B. R. **O Uso de Fotografia Aéreas de Pequeno Formato Digitalizadas em mapeamento Topográfico Planimétrico**. Curitiba, 1998. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.
- DAL POZ, A. P. **Monorestituição: Uma Nova Solução**. In: XV CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA (1991 : São Paulo). **Anais...** São Paulo : S.B.C., 1991, Vol. 2, p. 269-274.
- DAL POZ, A. P. **Monorestituição Aplicada à Atualização Cartográfica**. In: XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA (1993 : Rio de Janeiro). **Anais...** Rio de Janeiro : S.B.C., 1993, Vol. 2, p. 410-417.

- LUGNANI, João Bosco. **Aprimoramentos para Atualização Cartográfica**. Curitiba, 1985. Tese (Professor Adjunto) - Departamento de Geociências, Universidade Federal do Paraná.
- LUGNANI, João Bosco. **Introdução à Fototriangulação**. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1987.
- MAKAROVIK, B. **Digital Mono-Ploters**. I.T.C. Journal, Vol. 1 p. 101-122, 1973.
- MASRY, S. E. **Digital Mapping Using Entities: a New Concept**. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 45(2) p. 193- 200, february, 1979.
- MERCHANT, Dean C. **Analytical Photogrammetry: Theory and Practice, part I**. Columbus, Ohio, 1979. Department of Geodetic Science, The Ohio State University.
- MITISHITA, E. A. **Detecção de Erros Grosseiros nas Aerotriangulações**. Curitiba, 1986. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.
- MITISHITA, E. A. **Monorestituição Digital de Aerofotos, Associada com Sistema de Computação Gráfica C.A.D., para Fins de Mapeamento na Área Florestal**. Curitiba, 1997. Tese (Doutoramento em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- MITISHITA, E. A.; MACHADO, A. L. Sistema Monorestituidor digital. XIX CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, Recife: 1999. **Anais do Congresso**, Recife, Fotogrametria, 1999, CD_ROM.
- SCHIMALKI, M. B. **Monorestituição: Uma Metodologia para Geração Rápida de Mapeamento Urbano Digital a Baixo Custo**. Curitiba, 2001. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.
- SOUZA, S. R. N. **Uso da Monorestituição Digital, Aerofotos de Pequena Escala e Modelamento Matemático de Superfície (DTM) para Realização de Mapeamento Planimétrico**. Curitiba, 2001. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.
- VILLAREAL, P. E. G. **Atualização de Mapas Digitais com Fotografias Aéreas Singulares**. Curitiba, 1992. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.
- WOLTER, F. R. **Uso da Monorestituição e DTM para Mapeamento de Unidades Fisiográficas para Estudos de solos**. Curitiba, 2000. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

(Recebido em 28/10/01. Aceito para publicação em 25/03/02.)