

(\*) Eng.<sup>o</sup> Gerente do Sistema Cartográfico Metropolitano da Grande São Paulo

## Cartografia Metropolitana

No momento em que as preocupações do órgão federal responsável pela política urbana se voltam para o estabelecimento das normas técnicas para a Cartografia Metropolitana, julgamos serem oportunas as abordagens sobre o assunto que faremos a seguir.

O primeiro e importante passo para a montagem e estruturação de um SISTEMA CARTOGRÁFICO METROPOLITANO consiste nas definições sobre a sistematização das folhas dos seus mapeamentos, o sistema de projeção cartográfica a ser adotado e as precisões, monumentação e densidades dos seus apoios básicos, horizontal e vertical (vértices e referências de nível), que servirão não só para implantação de mapeamentos, como também de referência obrigatória para todos os trabalhos geodésicos, topográficos, cartográficos, estudos, anteprojetos, projetos, implantação e acompanhamento de obras a se realizarem na região metropolitana.

Em seguida, de acordo com as necessidades e disponibilidades financeiras, virá a definição da escala e equidistância das curvas de nível dos mapeamentos convencionais básicos, precedida de um estudo visando uma relação ótima custo-benefício.

Pressupondo-se que, por razões óbvias de ordem técnico-econômica, os levantamen-

tos serão realizados pelo método aerofotogramétrico, uma escolha judiciosa das escalas dos recobrimentos aerofotogramétricos deverá ser feita, visando também o aproveitamento das aerofotografias para os futuros mapeamentos temáticos utilizando técnicas de fotointerpretação e tendo como base os mapeamentos convencionais ou seus derivados.

Seguir-se-ão a elaboração das normas para a execução dos mapeamentos, apresentação dos mapeamentos nas escalas básicas, acompanhamento e recebimento dos serviços cartográficos, verificação da qualidade dos aerolevantamentos, arquivamento dos produtos finais, atualização das cartas topográficas e programas de treinamento do pessoal, não só da equipe do Sistema, como dos usuários do mesmo.

O alicerce do Sistema está nas malhas de pontos de apoio básico horizontal e vertical, constituídas, respectivamente, de vértices geodésicos de 1.<sup>a</sup> e 2.<sup>a</sup> ordem e de referências de nível de precisão, todos devidamente monumentados e monografados com descrição de seus acessos e outros dados para sua identificação. Uma malha de vértices geodésicos de apoio imediato aos projetos e obras urbanos com a densidade de 2

vértices por 6 Km<sup>2</sup>, ou 2 vértices por cada folha na escala de 1:5.000, seria o mínimo desejável, ao passo que, uma referência de nível de precisão por Km<sup>2</sup> atenderia à implantação dos referidos projetos e obras.

Recobrimentos aerofotogramétricos serão planejados, com escalas e características geométricas e de fidelidade na definição das imagens das fotos compatíveis com os requisitos exigidos pelos levantamentos aerofotogramétricos, objetivando a implantação dos mapeamentos convencionais básicos, e pelas técnicas de fotointerpretação, visando os mapeamentos temáticos de apoio às diferentes atividades do planejamento metropolitano.

A escolha das escalas dos mapeamentos convencionais básicos, na dependência de um judicioso estudo com análises das necessidades e possibilidades financeiras da região, objetivará a obtenção de **um mapeamento para planos e estudos**, abrangendo toda a região metropolitana, e de **um mapeamento cadastral**, abrangendo apenas as áreas urbanizadas e em processo de urbanização. Quanto à esta escolha, as opções seriam as mostradas pelo seguinte quadro:

Estas opções se baseiam em variáveis de natureza técnica e que têm influência marcante na composição dos custos dos



OPÇÕES PARA A ESCOLHA DOS Mapeamentos Convencionais Básicos									
Planificação convencional básica	Opção	Escala	Posterioridade da escolha	Área a ser mapeada	Método de levantamento	Pontos cotados em cruzamento das ruas	Irregularidade das edificações		
Planificação convencional básica	1	1:5.000	5m	Toda região metropolitana	Recobr. aereofotogramétrico	Recobr. aereofotogramétrico 1:15.000 ou 1:20.000			
	2	1:5.000	5m	Somente as que não foram abrangidas p/mas. cab. esc. 1:1.000	Recobr. aereofotogramétrico	Recobr. aereofotogramétrico 1:15.000 ou 1:20.000			
	3	1:10.000	10m ou 5m	Toda região metropolitana	Recobr. aereofotogramétrico	Recobr. aereofotogramétrico 1:15.000 ou 1:20.000			
	4	1:10.000	10m ou 5m	Somente as que não foram abrangidas p/mas. cab. esc. 1:1.000	Recobr. aereofotogramétrico	Recobr. aereofotogramétrico 1:15.000 ou 1:20.000			
	5	1:10.000	10m ou 5m	Somente as que não foram abrangidas p/mas. cab. esc. 1:1.000	Recobr. aereofotogramétrico	Recobr. aereofotogramétrico 1:15.000 ou 1:20.000			
Planificação convencional básica	1	1:1.000	1m	Áreas urbanizadas e em processo de urbanização	Clássico	Precisão 10m V E			
	2	1:1.000	1m	Idem	Idem	Precisão 10m V E			sim
	3	1:1.000	1m	Idem	Idem	Precisão 10m V E			sim
	4	1:1.000	1m	Idem	Idem	Precisão 10m V E			
	5	1:2.000	1m	Idem	Clássico	Precisão 10m V E			
	6	1:2.000	1m	Idem	Idem	Precisão 10m V E			
	7	1:2.400	1m	Idem	Idem	Precisão 10m V E			
	8	1:2.400	1m	Idem	Idem	Precisão 10m V E			
<p>Opções</p> <p>19- 3,1 20- 2,2 21- 1,4 22- 0,7 23- 3,3 24- 4,4 25- 3,6 26- 3,8</p> <p>27- 2,1 28- 2,3 29- 2,4 30- 3,2 31- 4,3 32- 3,5 33- 4,6 34- 4,8</p> <p>35- 1,3 36- 2,5 37- 1,1 38- 4,1 39- 3,4 40- 4,5 41- 3,7</p>									

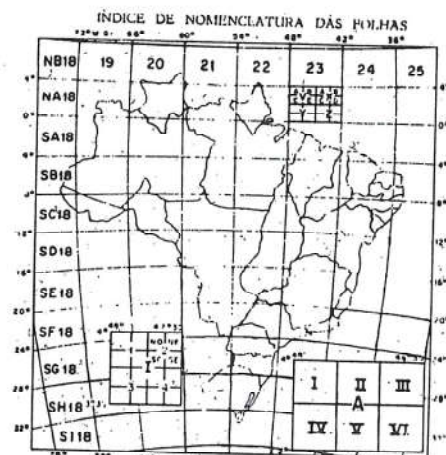
Com o referenciamento do Sistema Cartográfico Metropolitano ao Sistema Cartográfico Nacional, adviriam vantagens em termos de aproveitamento das informações contidas nas folhas de carta dos seus mapeamentos, pela geocodificação das mesmas. Assim sendo, será de toda conveniência que os seus mapeamentos, tanto os convencionais básicos, como os deles derivados, fiquem enquadrados no Sistema Cartográfico Nacional, a partir do mapeamento em menor escala do mesmo, que é o na escala de 1:25.000, de acordo com os quadros seguintes:

mapeamentos convencionais básicos, objeto de definição.

Tendo em vista a realidade brasileira, se adotarmos o critério de otimização da utilização dos referidos mapeamentos para as múltiplas necessidades do planejamento metropolitano, cabendo a cada usuário complementá-las de acordo com as suas necessidades, parece que, economicamente, a escolha recairia na 22ª ou 23ª opção e, assim, ficariam definidos: mapeamento na escala de 1:10.000 com curvas de nível equidistantes de 10m ou 5m, abrangendo toda a região metropolitana, e mapeamento na escala de 1:2.000 com curvas de nível equidistantes de 1m, com pontos cotados em aparelho restituidor de precisão, nos cruzamentos, finais, mudanças de "grade" e de direção de todas as ruas.

A fim de que possam ser obtidos os demais mapeamentos de interesse do planejamento e administração metropolitanos, é mister que as folhas dos mes-

mos sejam restituídas nos seus formatos padrões e com a altimetria separada da planimetria, possibilitando as futuras reduções e ampliações de acordo com as finalidades dos referidos mapeamentos.



QUADRO RESUMO DA SISTEMATIZAÇÃO DE FOLHAS							
ESCALA DO MAPEAMENTO		ÍNDICE DE NOMENCLATURA		DIMENSÕES GEOGRÁFICAS		CAMPOS	
CONSIDERADA	DE ENQUADRAMENTO	DESAGREGAÇÃO DA FOLHA DE ENQUADRAMENTO (Nº DE FOLHAS)	FORMA DE DESAGREGAÇÃO	LONGITUDE	LATITUDE	A ACRESCENTAR	ACUMULADO
1:1.000.000			Ver quadro anterior.	6°	4°		3
1:500.000	1:1.000.000	4	V	3°	2°	1	4
1:250.000	1:500.000	4	Y	1,5°	1°	1	5
1:100.000	1:250.000	6	Z	30'	30'	1	6
1:50.000	1:100.000	4	A	15'	15'	1	7
1:25.000	1:50.000	4	B	7,5'	7,5'	1	8
1:10.000	1:25.000	6	C	3' 45"	2' 30"	1	9
1:5.000	1:10.000	4	D	1' 52,5"	1' 15"	1	10
1:2.000	1:5.000	6	E	37,5"	37,5"	1	11
1:1.000	1:2.000	4	F	18,75"	18,75"	1	12
1:500	1:1.000	4	G	9,375"	9,375"	1	13

As folhas hachuradas nos quadros acima teriam os seguintes índices de nomenclaturas:

SF-23 (escala 1:1.000.000)  
 SF-23-X (escala 1:500.000)  
 SF-23-X-A (escala 1:250.000)  
 SF-23-X-A-II (escala 1:100.000)  
 SF-23-X-A-II-3 (escala 1:50.000)  
 SF-23-X-A-II-3-SE (escala 1:25.000)  
 SF-23-X-A-II-3-SE-C (escala 1:10.000)  
 SF-23-X-A-II-3-SE-C-II (escala 1:5.000)  
 SF-23-X-A-II-3-SE-C-II-5 (escala 1:2.000)  
 SF-23-X-A-II-3-SE-C-II-5-B (escala 1:1.000)  
 SF-23-X-A-II-3-SE-C-II-5-B-I (escala 1:500)

As dimensões geográficas apresentadas, a partir da escala de 1:10.000, representadas por arcos de longitude e latitude impostas às folhas, permitem a apresentação das folhas do Sistema Cartográfico Metropolitano no padrão A.1 da ABNT, vindo a facilitar os seus manuseio e arquivamento.

Os elementos necessários à composição do Sistema e à utilização dos produtos cartográficos componentes serão obtidos, facilmente, com a utilização de computação eletrônica,



onde podem ser calculados, para cada folha: índice de nomenclatura; valor do coeficiente de deformação linear (K) calculado para o ponto central da folha; valor da convergência meridiana (y) calculado para o ponto central da folha; coordenadas geográficas dos quatro cantos; e as coordenadas plano retangulares dos quatro cantos.

Como os índices de nomenclatura referenciadores das folhas de cartas componentes do Sistema serão apresentados por um número bastante elevado de campos, o emprego dos mesmos seria complicadíssimo, tornando difícil a identificação das folhas. A fim de ser evitado este inconveniente poder-se-ia fazer uma correlação dessa sistematização com uma outra abreviada na forma matricial, tendo como origem o canto noroeste da folha do Mapeamento Sistemático Nacional que abranja toda a região metropolitana. Suponhamos que uma folha na escala de 1:500.000 fosse a referenciadora e teríamos as folhas na escala 1:25.000 referenciadas à mesma da seguinte maneira:



A folha hachurada terá o índice de nomenclatura abreviada: 57 (escala 1:25.000)

As folhas dos mapeamentos, em escalas maiores, seriam enquadradas nas fo-

lhas do mapeamento na escala de 1:25.000, de acordo com o quadro seguinte:

SISTEMATIZAÇÃO DAS FOLHAS COM CÓDIGOS ABREVIADOS DE ÍNDICES DE NOMENCLATURA					
ESCALAS DO MAPEAMENTO DO SCM		ÍNDICE ABREVIADO DE NOMENCLATURA		DÍGITOS ( Nº )	
CONSIDERADA	DE ENQUADRAMENTO	DESAGREGAÇÃO DA FOLHA DE ENQUADRAMENTO ( Nº DE FOLHAS )	FORMA DE DESAGREGAÇÃO	A ACRESCENTAR	ACUMULADO
1:10.000	1:25.000	6	1 3 4 5 6 7	1	3
1:5.000	1:10.000	4	1 2 3 4	1	4
1:2.000	1:5.000	6	1 2 3 4 5 6	1	5
1:1.000	1:2.000	4	1 2 3 4	1	6
1:500	1:1.000	4	1 2 3 4	1	7

As folhas correspondentes aos hachurados teriam, a partir da folha identificada no quadro anterior, os seguintes índices abreviados de nomenclatura:

572 (escala 1:10.000)  
5721 (escala 1:5.000)  
57214 (escala 1:2.000)  
572142 (escala 1:1.000)  
5721423 (escala 1:500)

Esta sistematização abreviada possibilitará ainda a compatibilização do SCM ao CTM — Cadastro Técnico Municipal. Sabe-se que a **menor unidade** do CTM é o lote, mas que a **unidade básica** adotada para efeitos de **controle e codificação** é a **quadra**.

A codificação a ser estabelecida para a quadra, para fins de **geocodificação**, terá de seguir alguns **princípios**, tais como: a **planta de referência cadastral** (escala 1:10.000 ou 1:5.000, enquadrada no SCM) será a referência para localização; a **planta cadastral** (escala 1:1.000 ou 1:2.000 do SCM) será um des-

dobramento da planta de referência cadastral; a **planta de quadra** (escala 1:1.000 ou 1:500) será referenciada à planta cadastral e o **código de quadra** será indicado pela **localização do seu centro geográfico** na **planta cadastral**.

Para compatibilização destes princípios com a sistematização das plantas do SCM, teremos que levar em conta algumas das seguintes características destas: as folhas do SCM, em qualquer escala, têm **dimensões variáveis**, em função da sua **posição** dentro do **fuso UTM** e são definidas por coordenadas geográficas dos seus cantos e por suas dimensões, em termos de arcos de longitude e latitude.

Tomemos, por exemplo, uma folha na escala 1:1.000 tendo as dimensões de 53,5cm, em longitude, e 58cm, em latitude. Compatibilizando os princípios do CTM e as características das folhas do SCM acima mencionadas, poderíamos ter as seguintes alternativas para o dimensionamento e enquadra-



mento das plantas de quadra:

1) Desdobramento da planta de referência cadastral na escala de 1:2.000 (ou 1:1.000) em plantas na escala de 1:1.000 (ou 1:500) como quadrículas daquela e depois subdividir estas em quadrículas de dimensões adequadas para obtenção das plantas de quadra, codificando-as.

2) Prosseguimento das subdivisões do SCM, a partir da planta cadastral (1:2.000 ou 1:1.000), até a folha na escala de 1:100, o que resultaria num reticulado de 96 retângulos com dimensões de 6,7 cm, em longitude e 7,3 cm, em latitude. Cada retícula poderia corresponder a uma planta na escala de 1:100 com o formato A-1 da ABNT.

3) Utilização da própria parametrização UTM da folha na escala de 1:1.000 do SCM, ficando as quadrículas (parâmetros) como plantas de quadra.

Essa compatibilização ficaria na dependência do consenso dos técnicos das áreas de Cartografia, Sistema de Informações Técnicas e Cadastros Técnicos Municipais.

Após estas abordagens sobre as vantagens do referenciamento do SCM ao Sistema Cartográfico Nacional e do CTM ao SCM, tendo em vista a geocodificação das informações, passemos à polêmica questão do sistema de projeção cartográfica

fica adotado, o UTM (Universal Transversa de Mercator).

Sabe-se que é impossível mapear-se um esferóide num plano, conservando-se, simultaneamente, a forma e as distâncias segundo os meridianos e os paralelos.

Usando-se a expressão  $\Delta L(\text{mm}) = \frac{13}{243}(\text{km})$  (onde  $\Delta l$  é a deformação de esfericidade da Terra e  $L$ , uma distância qualquer medida, considerando-se a superfície da Terra como plana) e considerando-se um erro de 1cm/km (1 : 100.000) teremos:

$$\frac{\Delta L(\text{mm})}{L(\text{km})} = \frac{1}{0,1}$$

$$\frac{13(\text{km})}{243 L(\text{km})} = \frac{1}{0,1}$$

$$L(\text{km}) = \frac{\sqrt{243}}{0,1} = \frac{\sqrt{2430}}{1} = 49,295 \text{ km}$$

Ou seja, numa circunferência de raio igual a 24,648 km pode-se, com erro relativo de 1:100.000, realizar medidas lineares, considerando a Terra como plana.

Admitindo-se a precisão de 1:35.000, para a locação de obras de engenharia,  $L(\text{km})$  será igual a 83,324 km e ter-se-á uma circunferência de raio igual a 41,662 km, quando, na prática, uma precisão de 1:10.000 seria

aceitável, desde que o apoio básico horizontal tenha uma densidade de pontos compatíveis com a mesma.

Supondo-se que todas as medições feitas, para a construção do mapa, atendam a estas prescrições rigorosas e que o plano topográfico de referência seja um plano médio em relação ao relevo do terreno, chegar-se-á ao momento de realizar medidas neste mapa para projetar-se as obras a serem implantadas no terreno.

Tomando-se a metade do erro gráfico, que é aproximadamente o limite da percepção visual, como parâmetro limite de erro numa representação gráfica (0,1 mm), ter-se-á o limite de erro (metade do menor detalhe registrável) nas escalas entre 1:10.000 e 1:500, de acordo com o quadro seguinte:

Escala	Limite de erro no terreno
1:10.000	± 1,0 m
1: 5.000	± 0,5 m
1: 2.000	± 0,2 m
1: 1.000	± 0,1 m
1: 500	± 0,05 m

Considerando-se que, para cada medida de distância feita na carta, o erro absoluto cometido será o dobro do limite de erro acima considerado, pode-se montar o seguinte quadro:

ESCALA	Limite de erro absoluto no terreno para distâncias medidas na carta.	Erro relativo na medida de distância na carta.			
		1 m	10 m	100 m	1000 m
1:10.000	2 m	—	1:5	1:50	1:500
1: 5.000	1 m	—	1:10	1:100	1:1000
1: 2.000	0,4 m	1:2,5	1:25	1:250	1:2500
1: 1.000	0,2 m	1:5	1:50	1:500	1:5000
1: 500	0,1 m	1:10	1:100	1:1000	1:10000



Acontece que, toda vez que um projeto de engenharia é locado no terreno, é feito um levantamento topográfico específico para a locação do mesmo, onde os erros decorrentes do graficismo e outros são ajustados durante o referido levantamento, tendo como apoio os pontos planimétricos e altimétricos deixados no terreno, como referências, em levantamento topográfico anterior realizado especificamente para o projeto em questão.

Assim sendo, é muito difícil construir-se uma carta, mesmo na escala 1:500, que sirva, indistintamente, para todos os projetos de engenharia. Cada projeto exige um levantamento topográfico específico e outro para a sua locação no terreno.

O sistema de projeção cartográfica UTM (Universal Transversa de Mercator), adotado pela Cartografia Sistemática Nacional, é uma projeção conforme com coeficiente de deformação linear básico ( $K_0$ ) igual a 0,9996 (relação, no meridiano central do fuso, entre o raio do cilindro secante — superfície de projeção — e o raio do elipsóide — superfície de referência), aplicada em fusos de  $6^\circ$  com meridianos centrais múltiplos de  $6^\circ + 3^\circ$ . O coeficiente de deformação local ( $K$ ) varia de 0,9996 no meridiano central, aumentando num e noutro sentido, passando pelo valor 1, situado a  $1^\circ 37'$ , aproximadamente, do meridiano central e atingindo o valor de 1,001, nos extremos do fuso.

Assim, o sistema UTM, conservando a forma (ângulos), apresenta deformações mínimas nas distâncias. Os erros decorrentes do  $K$  máximo, para as distâncias medidas na carta, podem ser observados no quadro seguinte:

Distância	Distâncias ÷ K K = 1,001	Erro Absoluto	Erro Relativo
1 m	0,9990009 m	0,9991 mm	1:1.000
10 m	9,990009 m	9,991 mm	1:1.000
100 m	99,90009 m	99,91 mm	1:1.000
1000 m	999,0009 m	999,1 mm	1:1.000

Os erros decorrentes do  $K$  mínimo, para as distâncias medidas na carta, podem ser observados no quadro seguinte:

Distância	Distância ÷ K K = 0,9996	Erro Absoluto	Erro Relativo
1 m	1,0004 m	0,4 mm	1:2.500
10 m	10,004 m	4,0 mm	1:2.500
100 m	100,04 m	40 mm	1:2.500
1000 m	1000,4 m	400 mm	1:2.500

Para o caso do  $K$  máximo, a maior distância a ser medida numa folha de carta, na escala de 1:2.000, sem que o erro da projeção UTM ultrapasse o erro gráfico absoluto, seria de 400 m e, no caso do  $K$  mínimo, seria de 1.000 m.

Além da deformação linear ( $K$ ), considera-se ainda a altitude da região considerada pois, no sistema UTM, todos os pontos são projetados sobre a superfície de referência (elipsóide).

Necessário se torna a correção de uma distância medida na carta, relativamente a altitude do ponto médio da referida distância, segundo a expressão, que será somada ao valor da

distância medida, já corrigida de  $K$ :

$$C = S H_m \frac{1}{R}$$

Onde:

- $C$  é o fator de elevação
- $S$  é a distância medida na carta
- $H_m$  é a média das altitudes dos pontos extremos da distância medida
- $R$  é o raio médio do elipsóide de referência e igual a  $\sqrt{MN}$  ( $M$  é o raio da seção meridiana,  $N$  é o raio da seção normal e

$R$  pode ser tabelado para a região considerada).

Estas explicações poderão ser fornecidas nos dados marginais do espaço extramoldura das cartas, com o valor de

$\frac{R}{10^{-10}}$  já calculado. Por exemplo, para a região da Grande São Paulo e Baixada Santista  $\frac{R}{10^{-10}} = 1571 \times 10^{-10}$ .

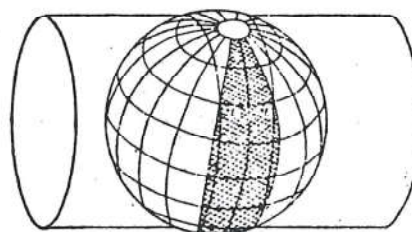
Assim, uma distância de 1.000 m, medida em carta, no sistema de projeção UTM, nessa região, onde  $K = 0,9996$ , para uma altitude média de 800 m, teria as seguintes correções:

1) deformação linear —  $1.000 \text{ m} \div 0,9996 = 1.000,4 \text{ m}$

2) fator de elevação —  $1.000 \times 800 \times 1571 \times 10^{-10} = 0,126 \text{ m}$ . A distância corrigida seria de 1.000,526 m.

Supondo uma outra região com  $K = 1,001$  e com a mesma correção de altitude, poderíamos montar o quadro seguinte:

Distância medida na carta	Erro absoluto para K = 0,9996 e $H_m = 800 \text{ m}$	Erro absoluto para K = 1,001 e $H_m = 800 \text{ m}$	Erro Relativo K = 0,9996 $H_m = 800 \text{ m}$	Erro Relativo K = 1,001 $H_m = 800 \text{ m}$
1.000 m	0,5257 m	0,873 m	1:1.901	1:1.145
100 m	0,0526 m	0,0873 m	1:1.901	1:1.145
10 m	0,00526 m	0,00873 m	1:1.901	1:1.145
1 m	0,000526 m	0,000873 m	1:1.901	1:1.145





Donde se conclui que, para os exemplos considerados neste quadro, as maiores distâncias que poderiam ser medidas numa carta, na escala de 1:2.000, sem que os erros da projeção UTM ultrapassassem o erro gráfico absoluto, seriam respectivamente de 380 m e 229 m.

Nos levantamentos topográficos clássicos as medidas topográficas são consideradas isentas de erros compatíveis com a escala da carta, porém, as medidas realizadas sobre a mesma não podem isentar-se do erro gráfico. Por isso, costuma-se definir a precisão da mesma pelo erro gráfico ( $\Delta < 0,2$  mm).

Pela análise dos quadros apresentados conclui-se que a adoção da projeção UTM, com fusos de 6° e cilindro secante, em cartas na escala de 1:2.000, desde que tomadas as precauções das correções, nas distâncias medidas, da deformação linear e da altitude, somente traria vantagens, em termos de sistematização do mapeamento e de geocodificação das informações, pelo seu referenciamento ao Sistema Cartográfico Nacional.

Nos levantamentos aerofotogramétricos intervêm os erros inerentes à restituição e ao desenho final: orientação dos modelos estereoscópicos nos aparelhos restituidores, colocação da marca espacial sobre o modelo, desenho, retoque e gravação. Neste caso, a precisão é definida pelo erro médio de posição de um ponto na carta, que é função da probabilidade de 90% dos erros de posição dos pontos representados serem menores que 0,5 mm, para as cartas em escalas maiores que 1:20.000, sendo o seu valor de  $\pm 0,3$  mm, na escala da carta. Isto vem reforçar ainda mais o emprego do sistema de projeção

UTM, em cartas dos mapeamentos convencionais básicos do SCM, obtidos por método aerofotogramétrico.

O erro planimétrico de posição nos levantamentos aerofotogramétricos é obtido pela expressão:

$$M_p = \pm \sqrt{M_{pt}^2 + M_i^2 + M_{pp}^2 + M_{d1}^2 + M_{d2}^2}$$

onde:

$M_p$  — é o erro total planimétrico em uma carta de pontos bem definidos (erro quadrático médio da posição de um ponto);

$M_{pt}$  — é o erro cometido na orientação absoluta dos modelos estereoscópicos, usando pontos de aerotriangulação;

$M_i$  — é o erro de identificação;

$M_{pp}$  — é o erro devido às deformações na projeção ou na observação do modelo estereoscópico;

$M_{d1}$  — é o erro do operador ao retocar a restituição;

$M_{d2}$  — é o erro no gravado ou no retoque final.

O ITC (International Training Center), em 1967, apresentava os seguintes valores médios para estes erros, considerando os aparelhos restituidores da época e que são os ainda usados no momento, no Brasil:

$M_{pt}$  — 0,040 mm, na escala da foto, para pontos de apoio fotogramétrico, obtidos por aerotriangulação compensada em bloco, e 0,060 mm, para os referidos pontos, obtidos por aerotriangulação compensada por faixas;

$M_i$  — 0,030 mm, na escala da foto;

$M_{pp}$  — 0,020 mm, na escala da foto;

$M_{d1}$  — 0,15 mm, na escala da restituição;

$M_{d2}$  — 0,10 mm, na escala do desenho final (gravação).

Valorizando os elementos da expressão de  $M_p$ , teremos para a escala de 1:10.000, com recobrimento aerofotogramétrico na escala de 1:40.000 e compensação em bloco para a aerotriangulação  $M_p = \pm 2,809$  m; e para a escala de 1:2.000, com recobrimento aerofotogramétrico na escala de 1:8.000 e idêntica compensação para a aerotriangulação  $M_p = \pm 0,562$  m.

Donde poderemos montar o quadro seguinte:

Escala	Limite de erro absoluto no terreno para distâncias — medidas na carta	Erro relativo na medida de distância na carta			
		1 m	10 m	100 m	1.000 m
1:10.000	5,62 m	-	1:1,8	1:18	1:178
1:5.000	2,81 m	-	1:3,6	1:36	1:356
1:2.000	1,12 m	-	1:8,9	1:89	1:893 <sup>2</sup>
1:1.000	0,56 m	1:1,8	1:18	1:178	1:1786
1:500	0,28 m	1:3,6	1:36	1:357	1:3571



Comparando os erros deste quadro com os do quadro de exemplos referentes aos erros da projeção UTM para os valores de  $K = 0,9996$ ,  $K = 1,001$  e  $H_m = 800$  m, chegamos a conclusão de que, para a escala de 1:2.000, os erros da projeção UTM são inferiores aos erros fotogramétricos para todas as distâncias consideradas, medidas na carta.

Para a altimetria, nos levantamentos aerofotogramétricos, a precisão é referida à equidistância das curvas de nível. O erro de altura de 90% dos pontos interpolados deve ser inferior à metade da equidistância. Aplicando a tabela de probabilidade para equidistância de 1m, chega-se a um valor de  $\pm 0,3$  m, para o erro médio de altura.

Quanto às equidistâncias mínimas, para as cartas obtidas por método aerofotogramétrico, o método europeu utiliza a expressão:

$$\text{Equidistância mínima (m)} =$$

$$5 \sqrt{M_h^2 h + M_{ht}^2}$$

onde:

$M_h$  — é o erro altimétrico do aparelho restituidor (em metro)

$M_{ht}$  — é o erro devido ao processo de compensação da aerotriangulação (em metro)

Para a carta na escala de 1:10.000, com recobrimento aerofotogramétrico na escala de 1:40.000, utilizando câmara grande angular, teríamos:

$$h = 6.120\text{m (altura de vôo);}$$

$$M_h = 0,2\% h = 1,224\text{m (considerando o aparelho restituidor topográfico);}$$

$$M_{ht} = 0,25\% h = 1,53\text{m (por faixas)}$$

donde a equidistância mínima = 9,979m

Para a carta na escala 1:2.000, com recobrimento aerofotogramétrico na escala de 1:8.000, utilizando câmara grande angular, teríamos:

$$h = 1224\text{m;}$$

$$M_h = 0,15\% h = 0,1836\text{m (utilizando aparelho restituidor de precisão).}$$

Como os pontos do apoio altimétrico deverão ser obtidos por nivelamento geométrico, de precisão 50mm  $\sqrt{K}$  (sendo K, o comprimento da linha nivelada em Km), fariamos as seguintes considerações: densidade de 1 RN por Km<sup>2</sup>; cada modelo esteoscópico abrangendo uma área no terreno de 0,95 Km<sup>2</sup>, com dimensões de 0,736 Km e 1,288 Km; e o comprimento máximo de linha nivelada de 1 Km para, partindo de RN chegar ao ponto de apoio altimétrico. Assim, o erro altimétrico seria de 50mm, por ponto nivelado e teríamos:  $M_{ht} = 0,05\text{m}$ , e a equidistância mínima seria de 0,951m.

Se os recobrimentos aerofotogramétricos, utilizando câmaras grande angulares para a construção da carta na escala de 1:10.000, fossem nas escalas de 1:35.000, 1:25.000 e 1:20.000 teríamos, respectivamente, por este critério, equidistâncias mínimas de 8,572m, 6,123m e 4,898m. Utilizando câmaras supergrande angulares em recobrimentos aerofotogramétricos, nas escalas de 1:40.000 e 1:35.000, as equidistâncias mínimas seriam de, respectivamente, 5,635m, e de 4,930m.

Quanto aos pontos cotados pelos aparelhos restituidores de precisão, a precisão é função da altura de vôo. Os modernos aparelhos de restituição podem

cotar pontos com uma precisão de 0,15‰ (0,15 por mil) da altura de vôo. Assim para as escalas de recobrimento aerofotogramétrico de 1:4.000 e 1:8.000, utilizando câmaras grande angulares, ter-se-ão pontos cotados com precisões, respectivamente, de  $\pm 0,0918\text{m}$  e  $\pm 0,1836\text{m}$ .

Supondo a obtenção das fotografias com uma combinação câmara-emulsão, dando poder resolutivo de 50 linhas por milímetro, o que significa que, em um milímetro, 50 linhas seriam bem definidas, ou seja, uma linha por 0,02mm, poder-se-á, assim, obter a ampliação dessas fotografias, de 10 vezes, em considerando como o limite de percepção visual, 0,2mm.

Os detalhes com dimensões até 0,8m, 0,6m e 0,5m seriam identificáveis nitidamente nos recobrimentos aerofotogramétricos nas escalas de 1:40.000; 1:30.000 e 1:25.000; e de dimensões até 0,04m no recobrimento na escala de 1:8.000. Estes dados são muito importantes também para os trabalhos de fotointerpretação visando os mapeamentos temáticos.

Pelas abordagens até agora realizadas, concluiremos que, por critérios técnicos e econômicos, os mapeamentos convencionais básicos, referenciados ao Sistema Cartográfico Nacional, poderiam ser definidos da seguinte maneira:

1) Mapeamento na escala de 1:10.000, com curvas de nível equidistantes de 10m obtido por levantamento aerofotogramétrico, a partir de recobrimento aerofotogramétrico na escala de 1:40.000, utilizando câmara grande angular, abrangendo toda a área da região metropolitana. Seria básico para o desenvolvimento de trabalhos de planejamento, elaboração de estudos de concepção para pré-orçamento das soluções mais



viáveis, visando a obtenção de melhor relação de custo-benefício, estudos gerais e referência cadastral. Para uma equidistância das curvas de nível de 5m, seria conveniente o recobrimento aerofotogramétrico na escala de 1:35.000, utilizando câmara supergrande angular.

2) Mapeamento na escala de 1:2.000, com curvas de nível equidistantes de 1m, obtido por levantamento aerofotogramétrico a partir de recobrimento aerofotogramétrico na escala de 1:8.000, com câmara grande angular, cobrindo as áreas urbanizadas e em processo de urbanização da região metropolitana, fornecendo as **Plantas Cadastrais**, base física dos Cadastros Técnicos Municipais e, conseqüentemente, do Sistema de Informações Técnicas para o Planejamento Metropolitano. Essas plantas, complementadas por levantamentos topográficos executados com as precisões requeridas, especialmente, de acordo com a natureza dos projetos; poderiam servir de base para: pré-projetos executivos de serviços públicos (água e esgoto) e de obras viárias; seleção de terrenos; pré-projetos de implantação de edificações e instalações públicas e privadas; etc. Ainda serviriam de base para a elaboração de plantas, em escala de 1:1.000 ou 1:500, para projetos específicos, pela simples ampliação fotográfica e redesenho, ou pela execução de serviços de campos amarrados às mesmas.

A partir do mapeamento convencional básico, na escala de 1:10.000, podem ser obtidos os seguintes mapeamentos:

Mapeamento planimétrico, na escala de 1:5.000, obtido por ampliação fotográfica e redesenho, básico para:

— carta geral dos cadastros;

- referência cadastral dos cadastros técnicos municipais;
- plantas de zoneamento e setorização;
- plantas de valores de terreno;
- plantas indicativas de serviços urbanos (água, esgoto, eletricidade, iluminação pública, drenagem, guias e sarjetas, pavimentação, telefone e gás).

O registro das informações referentes a equipamentos urbanos é um elemento de grande valia para: indicação da situação existente em matéria de distribuição de equipamentos urbanos, as atividades de planejamento, programação e coordenação dos serviços de implantação de obras em vias públicas, auxiliar no estabelecimento de valores de imóveis, (planta de valores de terrenos) e servir de base para escolha de terrenos para projetos públicos e privados.

Mapeamento na escala de 1:25.000, obtido por redução e redesenho (caso não exista mapeamento sistemático nesta escala na região metropolitana), que será muito útil para o desenvolvimento da cartografia temática nos temas relativos à caracterização do meio físico, estrutura urbana, uso do solo, desenvolvimento econômico-social, recursos hídricos e poluição ambiental.

Mapeamento na escala de 1:100.000 tendo como objetivos:

- possibilitar a obtenção de informações sobre o espaço geográfico metropolitano, de forma rápida e sintética;
- oferecer uma base cartográfica de precisão que possa ser utilizada para registro de dados decorrentes de trabalhos mais detalhados realizados em escalas maiores;

- obter cartas monocromáticas isoladas contendo: planimetria, altimetria, hidrografia e cobertura vegetal, que se constituam em bases cartográficas operacionalmente versáteis, oferecendo a possibilidade de serem combinadas a fim de se tornarem adequadas a atender às múltiplas necessidades do planejamento metropolitano;
- oferecer um produto final, impresso a cores, de interesse geral.

A partir do mapeamento convencional básico, na escala de 1:2.000, podem ser obtidos os seguintes mapeamentos:

Mapeamento planimétrico, na escala de 1:1.000, resultante de ampliação e redesenho das folhas, na escala de 1:2.000, conservando as mesmas características de precisão, acrescidas dos inevitáveis erros da ampliação fotográfica e do redesenho. Este mapeamento teria a finalidade de permitir o posicionamento, com maior nitidez, de informações complementares, de caráter específico e julgadas necessárias para quando o mapeamento, na escala de 1:2.000, não oferecer **espaço geográfico suficiente**. Dependendo da finalidade, poderia ter seus elementos reajustados por medições de campo e reambulacão. Entre outras utilidades, poderia servir para: alinhamento, nivelamento e emplacamento de edificações, base do cadastro físico de equipamentos urbanos (água, esgoto, drenagem, pavimentação, eletricidade, telefone e gás), e apoio às plantas de quadra do Cadastro Técnico Municipal.

No caso do espaço geográfico ainda não ser suficiente, na escala de 1:1.000, poder-se-iam



ser obtidas, a partir desse mapeamento, plantas na escala de 1:500, desde que os elementos nelas contidos tenham suas dimensões cotadas e houvesse trabalhos complementares de campo. Assim, poderiam ser cadastradas as redes de água contendo: localização das linhas na via pública em relação aos alinhamentos existentes, diâmetro e tipo do material, comprimento dos trechos principais das redes localizadas, localização de hidrantes e registros, nós e cruzamentos. O mesmo aconteceria para as redes de esgotos contendo: comprimento de rede compatível com as dimensões da folha, perfil em escala vertical de 1:100, código, comprimento, diâmetro, declividades e material do trecho, localização mais provável do coletor na via pública e sua amarração a alinhamentos fixos, código e posição dos poços de visitas e sua amarração a pontos e/ou alinhamentos fixos, cotas dos centros de tampões, cotas dos fundos dos poços de visita, cota da soleira dos coletores dos poços de visita, etc.

A montagem de um Sistema Cartográfico Metropolitano, fisicamente representado pelos vértices e referências de nível do apoio básico implantados na área, mapeamentos convencionais básicos, e mapeamentos derivados destes, constitui-se num investimento vultoso, exigindo que, considerações como as que foram feitas até agora, sejam levadas seriamente em consideração, atentando-se para a realidade brasileira de um País pobre e com um processo muito acelerado e desordenado de expansão urbana, onde as soluções de seus problemas têm que ser rápidas, técnicas e economicamente viáveis.

### Bibliografia

Castello Branco, Moysés — AVALIAÇÃO DA PRECISÃO DE UMA CARTA PELO ERRO MÉDIO QUADRÁTICO — separata do ANUÁRIO Nº 17 da DIRETORIA DO SERVIÇO GEOGRÁFICO — 1967.

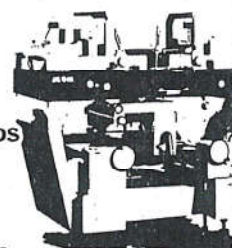
CODEPLAN — COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DO PLANALTO CENTRAL — PROJETO SICAD-SISTEMA CARTOGRÁFICO DO DISTRITO FEDERAL — consultor especial Eng.º Carlos Eduardo de Miranda Lisboa — Brasília — 1976.

GEGRAN-GRUPO EXECUTIVO DA GRANDE SÃO PAULO — PROJETO SISTEMA CARTOGRÁFICO METROPOLITANO — coordenação do Eng.º Carlos Eduardo de Miranda Lisboa — São Paulo — 1972.

LIMA, Divaldo Galvão — A Cartografia e o Planejamento Metropolitano — páginas 19 a 42 — VIII Congresso Brasileiro de Cartografia — Fortaleza — 1977

Notari, José Moura — SELEÇÃO DE INSTRUMENTOS FOTOGRAMÉTRICOS — INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA — IME — Rio de Janeiro — 1973.

- triangulação aérea
- digitalização
- entrada para banco de dados
- apoio aerofotogramétrico



Levantamentos Aerofotogramétricos Para:

- projetos de estradas
- aproveitamentos hidroelétricos
- plantas cadastrais
- projetos de irrigação



**MAPSERVICE**

SERVIÇOS DE MAPEAMENTO LTDA.

RUA PAGEÚ, 38 SP fones 275 7321 e 276 0639