

JOÃO FERNANDO CUSTÓDIO DA SILVA

# VERIFICAÇÃO DE MODELOS HIDRÁULICOS

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas para obtenção do grau de Mestre em Ciências pela Universidade Federal do Paraná.

CURITIBA  
1983

VERIFICAÇÃO DE MODELOS HIDRÁULICOS

DISSERTAÇÃO

Apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências  
Geodésicas para obtenção do Grau de Mestre em  
Ciências pela Universidade Federal do Paraná

por

JOÃO FERNANDO CUSTÓDIO DA SILVA, Engenheiro Cartógrafo

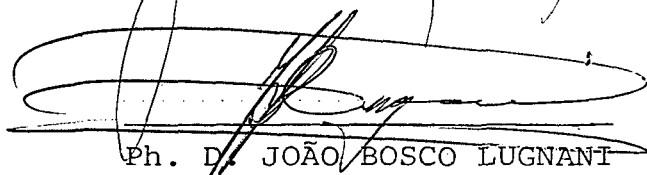
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

1983

BANCA EXAMINADORA



Ph. D. JOSÉ BITTENCOURT DE ANDRADE, Orientador



Ph. D. JOÃO BOSCO LUGNANI



M. Sc. FRANÇOIS ALBERT ROSIER

DEDICATÓRIA

A  
minha esposa,  
Maria de Lourdes.

## AGRADECIMENTOS

O autor agradece sinceramente a

Prof. Dr. JOSÉ BITTENCOURT DE ANDRADE, Orientador.

Prof. Dr. CAMIL GEMAEL.

UNESP - Universidade Estadual Paulista, Campus de Presidente Prudente.

CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

CEHPAR - Centro de Hidráulica e Hidrologia Prof. Parigot de Souza.

DEC/SOE/COPEL - Departamento de Engenharia Civil da Superintendência de Obras Especiais da Cia. Paranaense de Energia Elétrica.

Eng<sup>o</sup> JOÃO FERNANDO DA ROCHA BRUNO,

M. Sc. MARY ANGÉLICA DE AZEVEDO OLIVAS.

DENIZE VALÉRIO, pelo trabalho de datilografia.

AKEMI SHIMASAKI, pelo trabalho de ilustração.

Os professores e colegas do CPGCG,

Os colegas do Departamento de Cartografia do IPEAPP/UNESP.

## RESUMO

Modelos hidráulicos são construídos a partir de cartas topográficas. A verificação da similaridade geométrica foi proporcionada pela fotogrametria analítica. É apresentada uma breve revisão de conceitos de fotogrametria analítica e teoria de modelos hidráulicos. São comentados aspectos relativos ao levantamento de informações para consecução do objetivo proposto. Doze testes de fototriangulação foram realizados, variando-se o número de pontos de controle, introduzindo-se injunções de distância ou fixando-se uma das fotos. Seus resultados são apresentados em tabelas. A verificação proposta é efetuada com base em uma aplicação selecionada, calcada em um teste de hipótese estatística, através da comparação entre as cotas interpoladas (supostas corretas) graficamente do mapa topográfico e as cotas ajustadas na fototriangulação.

## ABSTRACT

Hydraulic models are made based on topographic maps. The geometric similarity was checked by analytical photogrammetry. A brief review of analytical photogrammetry concepts and theory of hydraulic models is presented. Concerning aspects to collected information with the finality of getting the proposed objective are commented. Twelve phototriangulation experiments were tested, varying the number of control points, introducing distance constraints or fixing one photo. Their results are presented in tables. The proposed check is realized with basis on a selected phototriangulation test and supported by a statistic hypothesis test, by way of comparison between the graphically interpolated heights (assumed exact) from the topographic maps and the adjusted heights in the phototriangulation.

## SUMÁRIO

	Pág.
TÍTULO .....	i
Dedicatória .....	iii
Agradecimentos .....	iv
Resumo .....	v
Abstract .....	vi
Lista de Figuras .....	x
Lista de Quadros .....	xii
1. INTRODUÇÃO .....	01
1.1. Escopo .....	02
1.2. CEHPAR .....	04
2. CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES .....	05
2.1. Fototriangulação analítica .....	06
2.1.1. Sistemas de coordenadas .....	06
2.1.1.1. Sistema de coordenadas fiduciais .....	06
2.1.1.2. Sistema de coordenadas fotogramétricas ..	08
2.1.1.3. Sistema de coordenadas do espaço objeto .....	08
2.1.2. Condição de colinearidade .....	08
2.1.3. Erros sistemáticos .....	11
2.1.3.1. Deformação do filme .....	11
2.1.3.2. Distorção ótica .....	12
2.1.3.2.1. Distorção radial simétrica .....	13
2.1.3.2.2. Distorção descentrada .....	13
2.1.3.3. Refração fotogramétrica .....	14
2.1.4. Matriz de rotação .....	14
2.1.5. Equação de observação .....	16
2.1.5.1. Injunções de posição .....	19
2.1.5.2. Injunções de distância .....	20
2.1.6. Fotografias convergentes .....	23
2.1.7. Câmara fotogramétrica .....	24

	Pág.
2.1.7.1. Câmera Rolleiflex SLX .....	25
2.1.8. Restituídor analítico .....	28
2.1.8.1. PLANICOMP C-100 .....	28
2.1.8.1.1. Máquinas .....	30
2.1.8.1.2. Programas do sistema .....	30
2.1.9. Programas computacionais .....	31
2.1.9.1. Programa RESEAU .....	31
2.1.9.2. Programa TRISO .....	34
2.1.9.3. Programa CALI .....	35
2.2. Modelos hidráulicos .....	37
2.2.1. Princípios da teoria das dimensões .....	38
2.2.2. Princípios da teoria da similaridade .....	40
2.2.2.1. Similaridade geométrica .....	40
2.2.2.2. Similaridade cinemática .....	41
2.2.2.3. Similaridade dinâmica .....	41
2.2.2.4. Similaridade constitutiva .....	41
2.2.3. Modelo hidráulico de Segredo .....	42
3. PROCEDIMENTOS PARA LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES .....	44
3.1. Fase de campo .....	45
3.1.1. Sinalização .....	45
3.1.2. Obtenção das fotografias .....	47
3.1.3. Determinação de coordenadas-objeto .....	51
3.1.3.1. Coordenadas planimétricas .....	51
3.1.3.2. Coordenadas altimétricas .....	56
3.1.4. Determinação de distâncias no modelo hidráulico ...	56
3.2. Fase de gabinete .....	57
3.2.1. Obtenção de coordenadas-imagem (fotografias) .....	57
3.2.2. Numeração dos pontos-imagem (programa RESEAU) .....	62
3.2.3. Correção da deformação do filme (programa TRISO) .....	64
3.2.4. Fototriangulação (programa CALI) .....	66



	Pág.
4. APLICAÇÃO (TESTES DE FOTOTRIANGULAÇÃO) .....	67
4.1. Testes do Grupo I .....	70
4.1.1. Subgrupo I-A .....	70
4.1.2. Subgrupo I-B .....	71
4.2. Testes do Grupo II .....	72
4.2.1. Subgrupo II-A .....	73
4.2.2. Subgrupo II-B .....	74
4.3. Seleção dos testes .....	74
4.3.1. Do Grupo I .....	74
4.3.2. Do Grupo II .....	74
4.4. Análise de resíduos .....	99
4.5. Conclusão .....	106
5. VERIFICAÇÃO DO MODELO HIDRÁULICO .....	107
5.1. Metodologia .....	108
5.2. Obtenção das cotas interpoladas .....	109
5.3. Cálculo de discrepâncias e intervalos de confiança .....	111
5.4. Erro médio da discrepância .....	112
5.5. Teste estatístico para a diferença de duas médias .....	114
5.6. Conclusão .....	117
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	119
6.1. Conclusões .....	120
6.2. Recomendações .....	121
APÊNDICE .....	123
I - Curva de distorção radial .....	124
II - Outros testes realizados .....	129
III - Pontos e distâncias no modelo hidráulico .....	131
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	132

## LISTA DE FIGURAS

NÚMERO	TÍTULO	PÁG
1	Fluxo ilustrado do trabalho .....	03
2.1.	Sistemas de coordenadas .....	07
2.2.	Câmara fotogramétrica e sistema de coordenadas fiduciais .....	07
2.3.	Condição de colinearidade .....	09
2.4.	Esquema de aplicação de uma injunção de posi ção a uma matriz N já formada .....	22
2.5.	Esquema de aplicação de uma injunção de distân cia a uma matriz N já formada .....	22
2.6.	Fotografias convergentes a $45^{\circ}$ e com uma expo sição ortogonal em k .....	27
2.7.	"Reseau" com 121 pontos, com intervalos de 5 mm .....	27
2.8.	Componentes de um restituidor analítico (RA) .....	29
2.9.	Configuração básica do sistema PLANICOMP C-100 .....	32
2.10.	Esquema de numeração do "reseau" pelo programa RESEAU ..	33
2.11.	Fotografia do modelo reduzido de Segredo .....	43
3.1.	Alvos planos e esféricos e imagens correspondentes ..	48

NÚMERO	TÍTULO	Pág.
3.2.	Esquema das posições da câmara para tomar as 4 fotos .....	49
3.2a	As quatro fotografias utilizadas .....	50
3.3.	Situação física das observações topográficas ...	52
3.4.	Sistema de coordenadas local e medida angular horizontal .....	52
3.5.	Esquema do fluxo de trabalho na fase de gabinete ..	58
3.6. (a,b,c)	Situação do "reseau" no instante da exposição e do negativo no porta-placas .....	59-60
3.7.	Forma dos dados de entrada para o programa RESEAU..	63
3.8.	Forma dos dados para o programa TRISO .....	65
5.1.	Esquema da metodologia utilizada para verifica <u>ç</u> ção da discrepância .....	110
5.2.	Esquema de interpolação linear gráfica .....	110
6.1.	Sugestão para uma nova verificação da geometria do modelo reduzido .....	121
A-1.	Curva da distorção radial simétrica .....	127
A-2.	Curva da distorção radial simétrica balanceada .....	128
A-3.	Regiões de distorção positiva e negativa do quadro focal	128
A-4.	Croqui dos pontos e distâncias no modelo hidráulico .....	131

LISTA DE QUADROS

NÚMERO	TÍTULO	PÁG.
2.1.	Dimensões de quantidades usadas em estudos hidráulicos .....	39
3.1.	Distâncias medidas à trena no modelo hidráulico ....	56
4.1.	Testes realizados e suas características .....	68
4.2.	Submatriz variância-covariância do ponto 1102 ..	71
4.3a	Características, orientação interior, orientação exterior e análise estatística do teste nº 1. ....	75
4.4a	Idem, teste nº 2. ....	77
4.5a	Idem, teste nº 3. ....	79
4.6a	Idem, teste nº 4. ....	81
4.7a	Idem, teste nº 5. ....	83
4.8a	Idem, teste nº 6. ....	85
4.9a	Idem, teste nº 7. ....	87
4.10a	Idem, teste nº 8. ....	89
4.11a	Idem, teste nº 9. ....	91
4.12a	Idem, teste nº 10. ....	93
4.13a	Idem, teste nº 11. ....	95
4.14a	Idem, teste nº 12. ....	97

NÚMERO	TÍTULOS	PÁG.
4.3b	Verificação da exatidão, teste nº 1. ....	76
4.4b	Idem, teste nº 2. ....	78
4.5b	Idem, teste nº 3. ....	80
4.6b	Verificação da exatidão e média dos desvios-pa drão estimados para coordenadas-objeto ajusta- das, teste nº 4. ....	82
4.7b	Idem, teste nº 5. ....	84
4.8b	Verificação da exatidão, teste nº 6. ....	86
4.9b	Idem, teste nº 7. ....	88
4.10b	Idem, teste nº 8. ....	90
4.11b	Verificação da exatidão e média dos desvios-pa drão estimados para coordenadas-objeto ajusta- das, teste nº 9. ....	92
4.12b	Verificação da exatidão, teste nº 10. ....	94
4.13b	Idem, teste nº 11. ....	96
4.14b	Idem, teste nº 12. ....	98
4.15.	Análise de resíduos, teste nº 5. ....	100
4.16.	Idem, teste nº 9. ....	101
4.17.	Fatores de incremento do erro médio de coorde- nadas de foto ....	102

NÚMERO	TÍTULO	PÁG.
4.18.	Coordenadas planimétricas (XY) ajustadas - tes <u>tes</u> 5 e 9 - e valores absolutos das discrepân <u>cias</u> em mm no modelo hidráulico .....	104
4.19.	Coordenadas altimétricas (Z) ajustadas - tes <u>tes</u> 5 e 9 - e valores absolutos das discrepân <u>cias</u> em mm no modelo hidráulico .....	105
5.1.	Intervalos de confiança para $Z_i$ e resí <u>duos</u> qua <u>dráticos</u> $(Z_A - Z_i)^2$ .....	113
A-I-1	Distorções radiais simétricas .....	126
A-II-1	Testes realizados e não apresentados .....	130

## 1. INTRODUÇÃO

## INTRODUÇÃO

### 1.1. Escopo

A fotogrametria à curta distância tem-se apresentado como uma ferramenta útil no apoio a projetos de arquitetura e engenharia de modo geral, além de outros campos de aplicação. O uso de câmaras não-métricas é frequente nessas tarefas. O conhecimento da orientação interior é necessário para o relacionamento dos espaços imagem e objeto.

Esta pesquisa trata com a aplicação da fotogrametria à curta distância para verificação da construção de modelos hidráulicos. Esses são versões reduzidas de protótipos, isto é, projetos a serem estudados.

Os modelos hidráulicos são construídos a partir de um mapa topográfico restituído através de técnicas estereofotogramétricas. Uma vez concluídos, não é feita uma verificação global e sistemática de sua qualidade, com respeito ao mapa topográfico que lhe deu origem. Tal fato suscitou interesse de investigação, tanto pelo CPGCG (Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná - Curitiba - PR.), como pelo CEHPAR (Centro de Hidráulica e Hidrologia Prof. Parigot de Souza). O cenário é o modelo hidráulico de Segredo.

Pretende-se então utilizar-se dos meios e equipamentos disponíveis no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná, a fim de verificar se o dito modelo hidráulico representa o respectivo protótipo, no aspecto geométrico, desconsiderando os erros de representação da carta em relação ao terreno (Fig. 1).

A verificação proposta será possível levando-se um



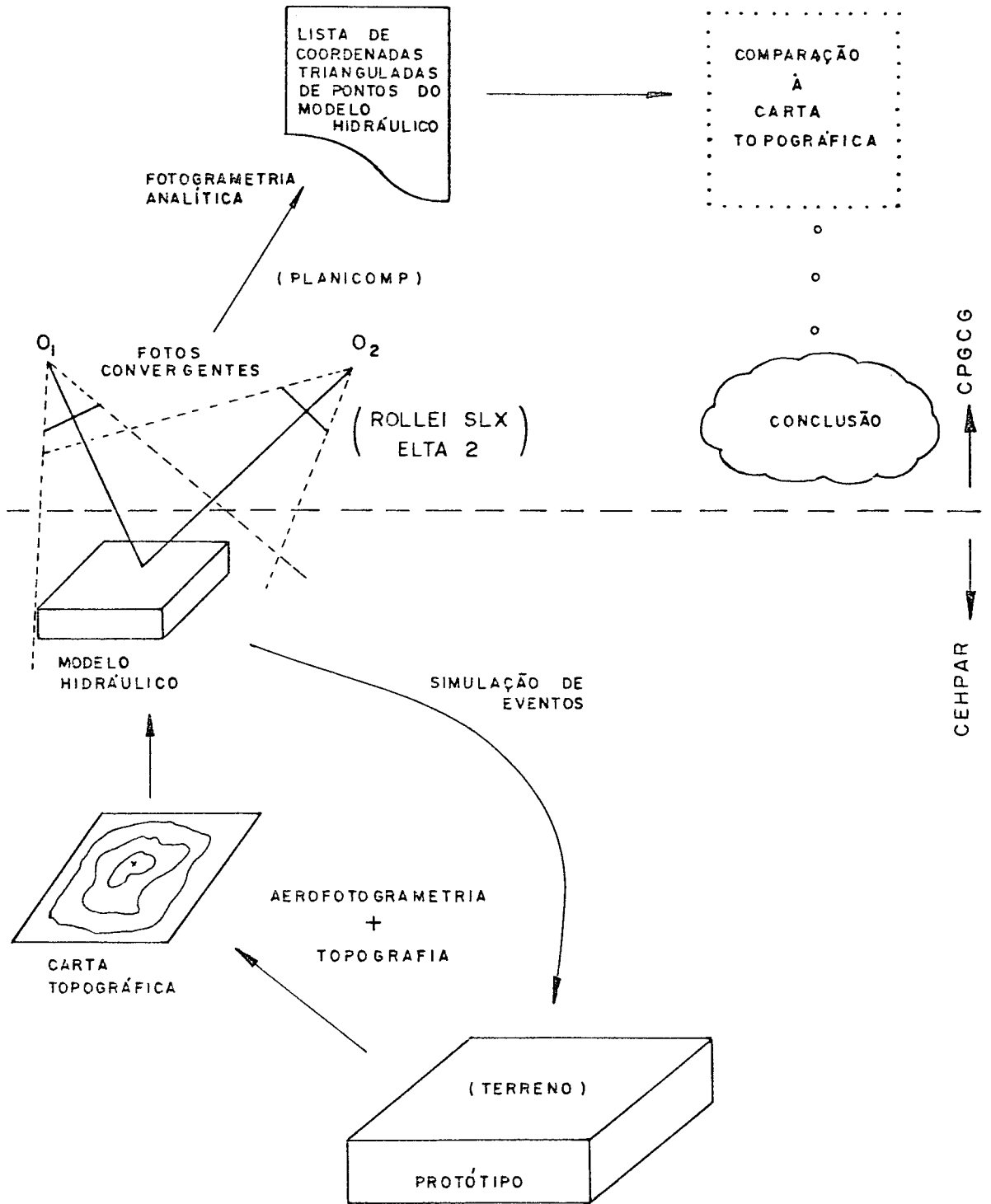


FIGURA 1. Fluxo ilustrado do trabalho realizado.

ponto do modelo hidráulico através de suas coordenadas, obtidas analiticamente, ao mapa topográfico e, então, observar se o mesmo concorda com a cota interpolada graficamente.

As coordenadas dos pontos do modelo hidráulico serão obtidas através de fototriangulação analítica, o que é feito por um programa de computador escrito em linguagem FORTRAN, o qual considera a possibilidade de recuperar-se os parâmetros de orientação interior. Todas as etapas e tarefas que precedem a utilização deste programa computacional são apresentadas e discutidas.

Em face dos resultados das aplicações realizadas, poder-se-á concluir a respeito da proposição deste trabalho.

## 1.2. CEHPAR

O CEHPAR, fundado em 1959 por um grupo de professores sob a liderança do Professor Pedro Viriato Parigot de Souza, vem operando desde 1970 com base em um convênio entre a Universidade Federal do Paraná - UFPR e a Companhia Paranaense de Energia Elétrica - COPEL. Sob este convênio, a COPEL provê o pessoal técnico e administrativo necessário ao CEHPAR para desenvolver atividades acadêmicas e de pesquisas.

A maioria das atividades de pesquisa aplicada no CEHPAR tem sido concentrada em estudos de modelos de pequenas escalas de estruturas hidráulicas e sobre a análise de dados básicos hidrológicos. Além disto, há todo o equipamento necessário para medir a descarga de rios e transporte de sedimentos.

Várias empresas nacionais, principalmente as estatais que militam no ramo, vêm se servindo do CEHPAR para estudos e verificação de seus projetos.

## 2. CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

## CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

Inicia-se aqui um conjunto de definições e considerações, a fim de nortear a leitura deste trabalho em toda sua extensão.

### 2.1. Fototriangulação analítica

A solução do problema fotogramétrico, isto é, a obtenção de coordenadas de pontos no espaço objeto, é conduzida matematicamente. A participação do instrumental fotogramétrico limita-se a uma câmara métrica ou não, a um comparador (mono ou estéreo) ou a um restituidor analítico, podendo ser estendida a um dispositivo transferidor de pontos, se necessário.

#### 2.1.1. Sistemas de coordenadas.

Definem-se a partir da Fig. 2.1., adaptando-se à fotogrametria à curta distância. | 17 |

##### 2.1.1.1. Sistema de coordenadas fiduciais ( $x'y'$ ).

Origem no centro fiducial, é ortogonal. O eixo  $x'$  coincide com a linha que une as marcas fiduciais opostas que mais se aproximam do eixo horizontal da câmara e positivo do centro para a direita. O eixo  $y'$  é perpendicular ao eixo  $x'$ , já cente ao plano da foto. (Figuras 2.1. e 2.2.).

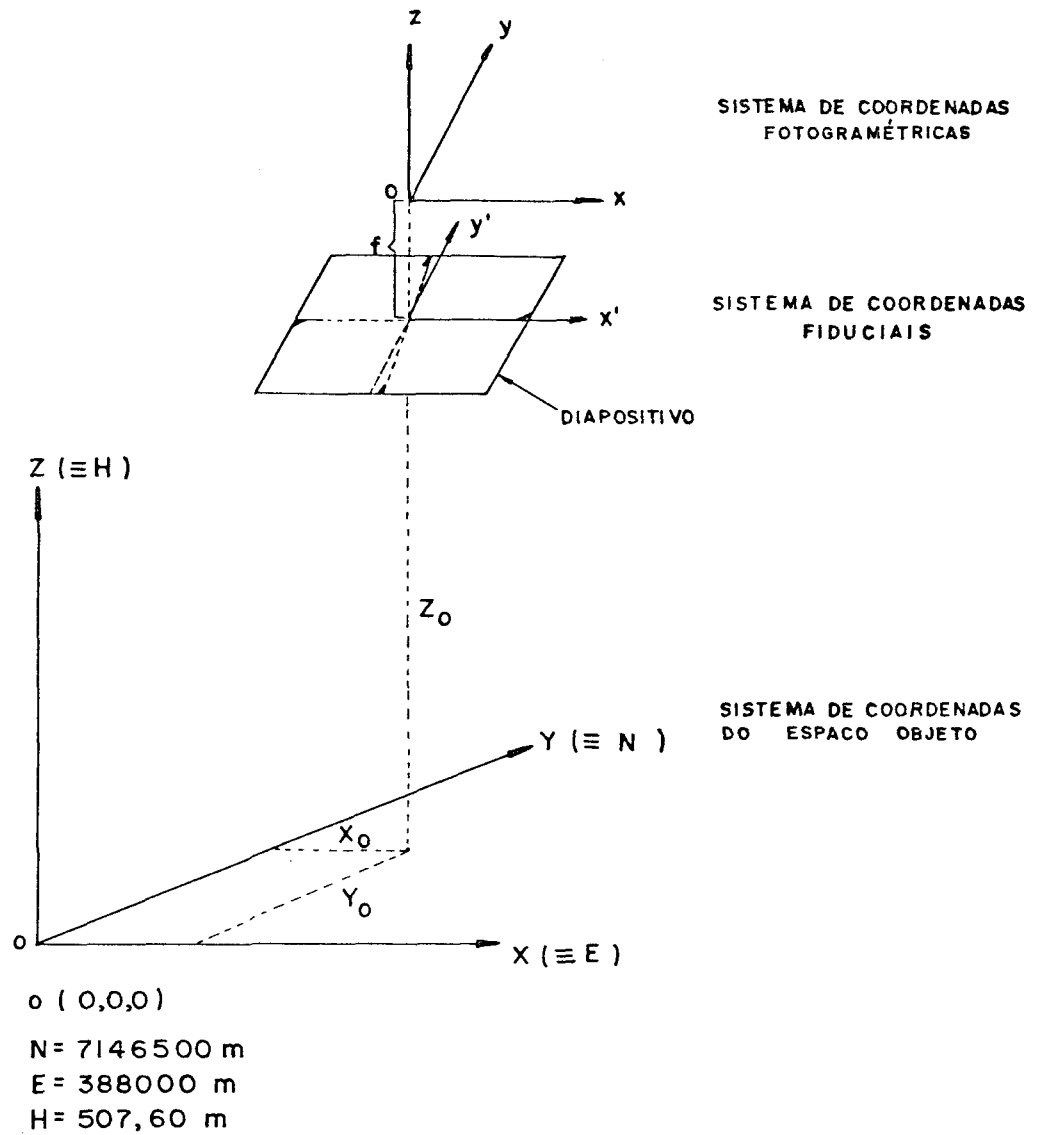


FIGURA 2.1. Sistemas de coordenadas.

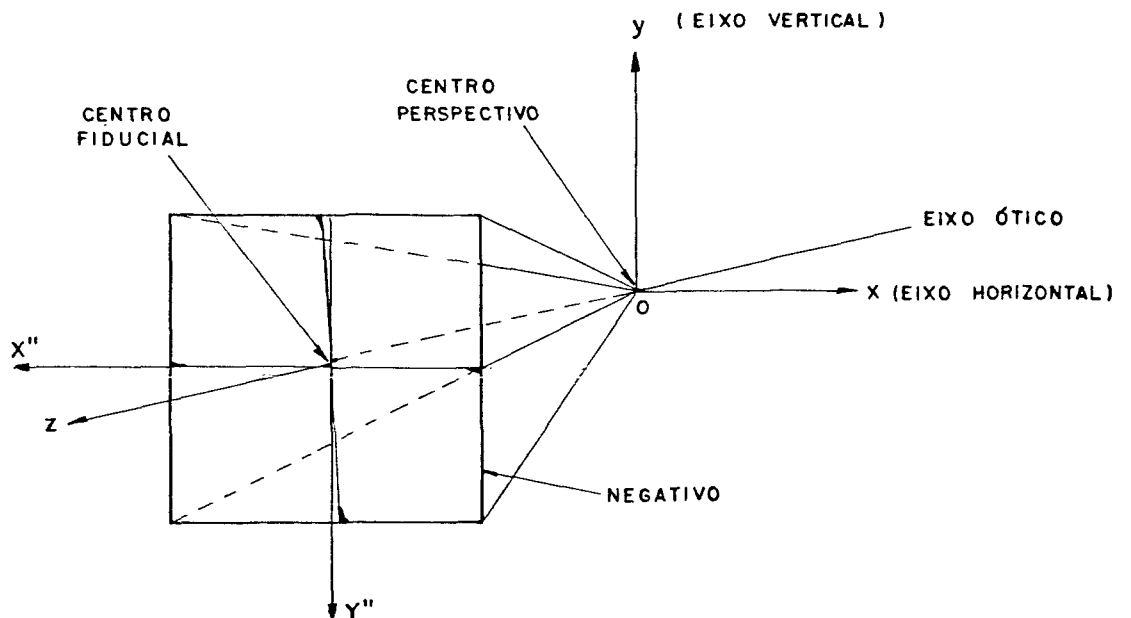


FIGURA 2.2. Câmera fotogramétrica e sistema de coordenadas fiduciais.

### 2.1.1.2. Sistema de coordenadas fotogramétricas

Origem no centro perspectivo ( $o$ ), é ortogonal, destrógiro, com o eixo  $x$  paralelo ao eixo fiducial  $x'$  e positivo no mesmo sentido. O eixo  $y$  é paralelo ao plano da foto e normal ao eixo  $x$ . O eixo ótico abriga o eixo  $z$  com orientação positiva para o negativo. Assim, se o negativo é observado, tem-se  $f$  positivo e inversamente para o diapositivo.

### 2.1.1.3. Sistema de coordenadas do espaço objeto (OXYZ)

É um sistema tri-dimensional, local e destrógiro. Sua origem no modelo hidráulico é o ponto 1108 (0,0,0), o qual materializa as coordenadas do sistema UTM (Universal Transverso de Mercator)  $E = 388.000$  m e  $N = 7.146.500$  m e a altitude do plano de referência de 507,60 m.

Sua orientação é dada pelas direções paralelas e de mesmo sentido entre os eixos  $X$  e  $E$ ,  $Y$  e  $N$  e  $Z$  e  $H$ .

### 2.1.2. Condição de colinearidade

Esta condição é a peça fundamental da fotogrametria analítica. A imposição de que o centro perspectivo  $O$ , o ponto imagem  $a$  e o ponto objeto  $A$  (Fig. 2.3.) devem estar numa mesma reta permite escrever |26| :

$$a = k.M.A. \quad (2.1.)$$

ou

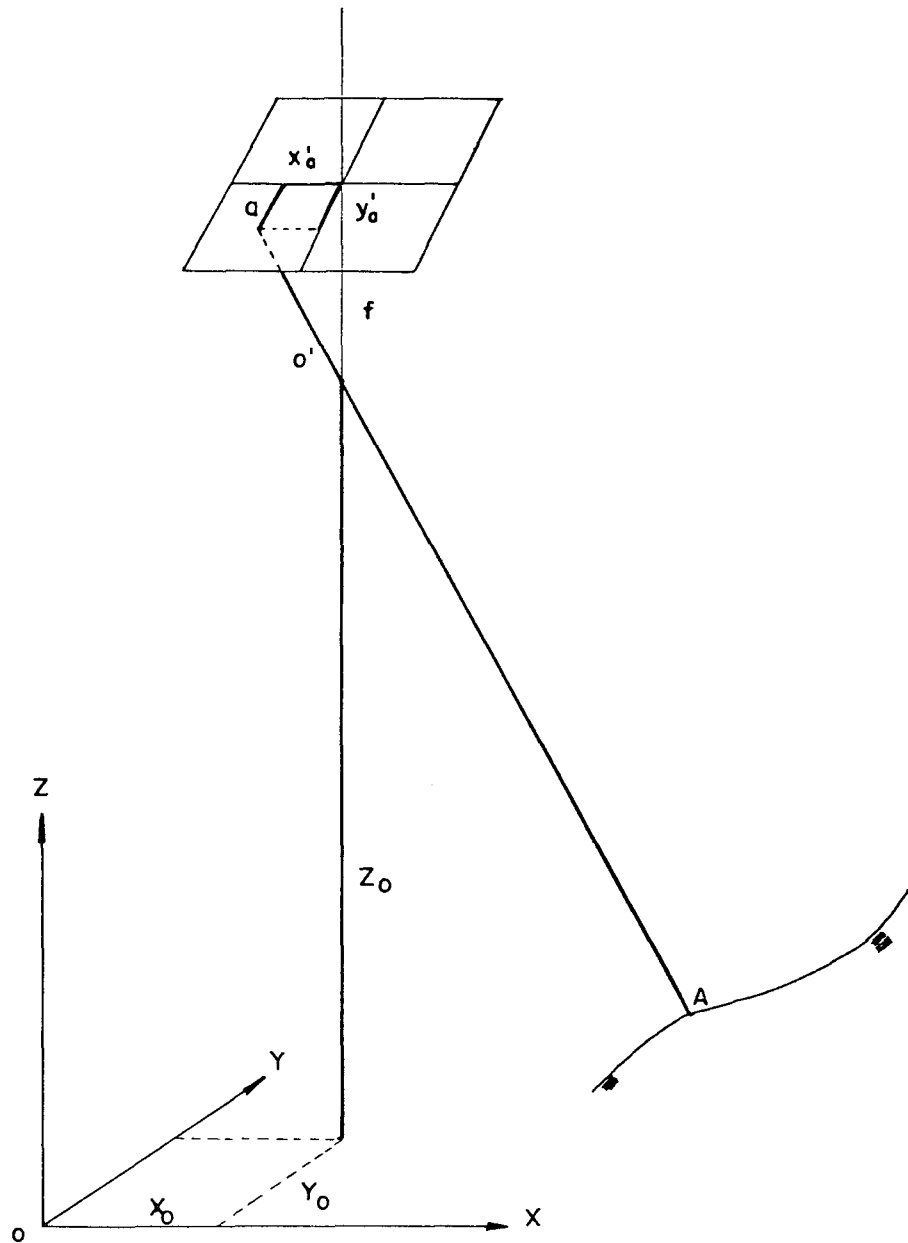


FIGURA 2.3. Condição de colinearidade

$$\begin{bmatrix} x'_a - x'_o \\ y'_a - y'_o \\ f \end{bmatrix} = k \cdot \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_A - X_O \\ Y_A - Y_O \\ Z_A - Z_O \end{bmatrix} \quad (2.2.)$$

Efetuando-se os produtos e operando a divisão  $(x'_a - x'_o)/(f)$  e  $(y'_a - y'_o)/(f)$ , obtêm-se:

$$x'_a - x'_o = f \frac{m_{11}(X_A - X_O) + m_{12}(Y_A - Y_O) + m_{13}(Z_A - Z_O)}{m_{31}(X_A - X_O) + m_{32}(Y_A - Y_O) + m_{33}(Z_A - Z_O)} \quad (2.3a)$$

$$y'_a - y'_o = f \frac{m_{21}(X_A - X_O) + m_{22}(Y_A - Y_O) + m_{23}(Z_A - Z_O)}{m_{31}(X_A - X_O) + m_{32}(Y_A - Y_O) + m_{33}(Z_A - Z_O)} \quad (2.3b)$$

onde:

- $x'_o, y'_o$  : coordenadas do ponto principal no sistema fiducial,
- $x'_a, y'_a$  : coordenadas de um ponto imagem no sistema fiducial,
- $f$  : distância principal de projeção (distância focal da câmara se focalizada para o infinito),
- $m_{ij}$  : elementos da matriz de rotação, função dos ângulos eulerianos  $\omega \phi \kappa$ ,
- $X_O, Y_O, Z_O$  : coordenadas do centro perspectivo no sistema objeto e
- $X_A, Y_A, Z_A$  : coordenadas de um ponto objeto no sistema objeto.



As equações (2.3.) são a forma mais comum das equações de colinearidade. Desde que estas equações envolvem todos os elementos do problema, a saber, orientação interior, orientação exterior, coordenadas-imagem e coordenadas-objeto, torna-se possível a solução de qualquer problema da fotogrametria convencional.

### 2.1.3. Erros sistemáticos

São os desvios da condição de colinearidade causados por situações físicas diversas.

Dos erros sistemáticos discutidos abaixo, a deformação do filme apresenta caráter irregular e é tratada à priori, enquanto que as distorções óticas têm comportamento regular e seus efeitos são considerados como variáveis aleatórias (parâmetros) incôgnitas recuperadas no ajustamento.

#### 2.1.3.1. Deformação do filme

A deformação do filme é causada por fatores, tais como, variação da temperatura, umidade, tensão e envelhecimento do material. Além disto, há o problema da não planura do filme, particularmente em câmaras desprovidas de dispositivo de sucção.

Os modelos matemáticos que corrigem as coordenadas de foto destes males não consideram estes fenômenos físicos em si. Um tratamento analítico relacionando os sistemas de coordenadas de comparador e fiducial, encontra parâmetros que permitem transformar, absorvendo distorções, as coordenadas entre os dois sistemas, o que pode ser feito "a priori", isto é, antes de iniciarse o ajustamento das observações.

A transformação afim isogonal é uma transformação de quatro parâmetros que mantém a forma. Participam

dela a translação da origem, uma rotação e escala uniforme ao longo dos eixos. É conveniente aplicá-la aos casos de fotografias obtidas por câmaras equipadas com "reseau" (item 2.1.7.1.), resultando correções aos efeitos da deformação do filme, considerados o trabalho e a não-planura. |17|.

Eis as expressões matemáticas da transformação:

$$\text{forma direta: } x^C = ax' + by' + c \quad (2.4a)$$

$$y^C = -bx' + ay' + d \quad (2.4b)$$

$$\text{forma inversa: } x' = \frac{a(x^C - c) - b(y^C - d)}{a^2 + b^2} \quad (2.5a)$$

$$y' = \frac{b(x^C - c) + a(y^C - d)}{a^2 + b^2} \quad (2.5b)$$

onde:

$x^C, y^C$  : coordenadas de comparador

$x', y'$  : coordenadas fiduciais

$a, b$  : parâmetros de rotação e escala

$c, d$  : parâmetros de translação.

### 2.1.3.2. Distorção ótica.

A distorção é uma das cinco aberrações das lentes, de finidas por SEIDEL. Tem caráter radial e simétrico, causando o deslocamento da imagem. |06|

### 2.1.3.2.1. Distorção radial simétrica.

A quantificação do efeito da distorção radial simétrica é dada por:

$$dx_1 = (K_1 \cdot r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6 + \dots) \cdot x \quad (2.6a)$$

$$dy_1 = (K_1 \cdot r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6 + \dots) \cdot y \quad (2.6b)$$

onde:

$$x = x' - x'_0 \quad (2.7a)$$

$$y = y' - y'_0 \quad (2.7b)$$

$$r^2 = x^2 + y^2 \quad (2.8.)$$

$k_i, i = 1, 2, 3$  : parâmetros recuperados no ajustamento para uma câmara não-calibrada.

$k_i, i > 4$  : parâmetros de distorção geralmente desprezados.

### 2.1.3.2.2. Distorção descentrada.

Composta pelas distorções tangencial e radial assimétrica é medida pelas expressões abaixo:

$$dx_2 = [P_1(r^2 + 2x^2) + 2P_2xy] (1 + P_3r^2 + \dots) \quad (2.10a)$$

$$dy_2 = [P_2(r^2 + 2y^2) + 2P_1xy] (1 + P_3r^2 + \dots) \quad (2.10b)$$

onde:  $P_1$  e  $P_2$  são parâmetros recuperados no ajustamento, para uma câmara não calibrada e  $P_3$ , etc., são geralmente desprezados.

### 2.1.3.3. Refração fotogramétrica.

A trajetória de um raio de luz sofre continuamente um desvio devido às variações do índice de refração.

Nesta pesquisa, a refração não é considerada em virtude da proximidade da câmara em relação ao objeto.

### 2.1.4. Matriz de rotação.

A matriz  $M$ , produto de três matrizes ortogonais, foi definida considerando a rotação  $\omega$  como primária, a rotação  $\phi$  secundária e  $\kappa$  terciária. Então, [17] :

$$M = R_3(\kappa) \cdot R_2(\phi) \cdot R_1(\omega) \quad (2.11.)$$

ou

$$M = M_\kappa \cdot M_\phi \cdot M_\omega, \quad \text{onde} \quad (2.12.)$$

$$M_\omega = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\omega & +\text{sen}\omega \\ 0 & -\text{sen}\omega & \cos\omega \end{bmatrix} \quad ; \omega : \text{rotação primária}$$

$$M_{\phi} = \begin{bmatrix} \cos\phi & 0 & -\text{sen}\phi \\ 0 & 1 & 0 \\ +\text{sen}\phi & 0 & \cos\phi \end{bmatrix} ; \quad \phi: \text{rotação secundária}$$

$$M_{\kappa} = \begin{bmatrix} \cos\kappa & +\text{sen}\kappa & 0 \\ -\text{sen}\kappa & \cos\kappa & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} ; \quad \kappa: \text{rotação terciária.}$$

A matriz M, tal como apresentada, aplica transformações sucessivas, passivas, isto é, gira os sistemas de coordenadas de cada foto em relação ao sistema de coordenadas do objeto, dado como fixo.

Efetuando-se os produtos indicados, tem-se:

$$M = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{bmatrix} ,$$

$$m_{11} = \cos\phi \cdot \cos\kappa$$

$$m_{12} = \text{sen}\omega \cdot \text{sen}\phi \cdot \cos\kappa + \cos\omega \cdot \text{sen}\kappa$$

$$m_{13} = -\cos\omega \cdot \text{sen}\phi \cdot \cos\kappa + \text{sen}\omega \cdot \text{sen}\kappa$$

$$m_{21} = -\cos\phi \cdot \text{sen}\kappa$$

$$m_{22} = -\text{sen}\omega \cdot \text{sen}\phi \cdot \text{sen}\kappa + \cos\omega \cdot \cos\kappa$$

$$m_{23} = \cos\omega \cdot \text{sen}\phi \cdot \text{sen}\kappa + \text{sen}\omega \cdot \cos\kappa$$

$$m_{31} = \text{sen}\phi$$

$$m_{32} = -\text{sen}\omega \cdot \text{cos}\phi$$

$$m_{33} = \text{cos}\omega \cdot \text{cos}\phi$$

#### 2.1.5. Equação de observação

$$F_x = x' - x'_0 - dx_1 - dx_2 - f \frac{N_1}{D} = 0 \quad (2.13a)$$

$$F_y = y' - y'_0 - dy_1 - dy_2 - f \frac{N_2}{D} = 0 \quad (2.13b)$$

$dx_1, dy_1$  : correção às coordenadas de foto devido à distorção radial simétrica.

$dx_2, dy_2$  : correção às coordenadas de foto devido à distorção descentrada.

$N_1$  : numerador da (2.3a)

$N_2$  : numerador da (2.3b)

$D$  : denominador das (2.3.).

A quantidade de equações de observação com condição, nesse caso, será o dobro do número de pontos-imagem observados nas fotografias. Para ilustrar, é dado o exemplo abaixo:

3 = número de fotografias

10 = número de pontos no campo

10 = número de pontos por foto (ver fotos convergentes).

Então, os dez pontos de campo aparecem nas três foto

grafias e assim tem-se:  $2 \times 10 \times 3 = 60$  equações.

Para avaliar a quantidade de incógnitas considera-se o triplo do número de pontos de campo; em outras palavras, significa estimar as coordenadas XYZ destes pontos. Assim, para dez pontos de campo, há trinta coordenadas incógnitas:  $3 \times 10 = 30$  coordenadas incógnitas.

Contudo, faz-se necessário arbitrar o sistema de coordenadas do objeto. Isso pode ser feito fixando-se dois pontos com coordenadas (XYZ) e mais um (Z) não alinhado com os dois anteriores, através de injunções.

Além disso, os elementos da orientação exterior das fotos, a saber,  $\omega \phi \kappa X_0 Y_0 Z_0$ , são variáveis a serem ajustadas. Seu número total será seis vezes o número de fotos:

$$6 \times 3 = 18 \text{ elementos de orientação exterior incógnitos}$$

Prosseguindo o equacionamento do problema, admite-se trabalhar com os dados de calibração da câmara com valores aproximados. Daí, o problema ganha oito novas incógnitas. São elas:

$f$  : distância principal de projeção,

$x_0, y_0$  : coordenadas do ponto principal,

$K_1 K_2 K_3$  : constantes para a distorção radial simétrica, e

$P_1 P_2$  : constantes para a distorção descentrada.

Neste exemplo, portanto, tem-se um sistema de 60 equações a  $30 + 18 + 8 = 56$  incógnitas.

As (2.13.) formam um modelo matemático não-linear com respeito aos parâmetros. A já consagrada linearização por Taylor transforma o modelo para a forma seguinte:

$$BV + AX + W = 0 \quad (2.14.)$$

onde A é formada por submatrizes da forma

$$A = \frac{\partial F}{\partial (\text{pontos de campo, orientação exterior, orientação interior})} \quad (2.15.)$$

$$\text{ou } A = [A_c \ A_e \ A_i] \quad (2.16.)$$

O vetor das incôgnitas é constituído pelos subvetores:

$$X = [X_C \ X_E \ X_I]^T \quad (2.17.)$$

onde:

$$X_C = [dX \ dY \ dZ]^T \quad (2.18.)$$

$$X_E = [d\omega \ d\phi \ d\kappa \ dX_0 \ dY_0 \ dZ_0]^T \quad (2.19.)$$

$$X_I = [df \ dx_0 \ dy_0 \ d\kappa_1 \ d\kappa_2 \ d\kappa_3 \ dP_1 \ dP_2]^T \quad (2.20.)$$

O vetor dos erros de fechamento é formado por:

$$W = \begin{bmatrix} x_{\text{observado}} - x_{\text{calculado}} \\ y_{\text{observado}} - y_{\text{calculado}} \end{bmatrix} \quad (2.21.)$$

A solução para X é dada por:

$$X = -N^{-1} \cdot U \quad (2.22.)$$

$$N = A^t \cdot P \cdot A \quad (2.23.)$$

$$U = A^t \cdot P \cdot W \quad (2.24.)$$

sendo P a matriz dos pesos  $(P = \sigma_0^2 \cdot \Sigma_{L_b}^{-1})$

$\sigma_0^2$  : variância da unidade de peso,

$\Sigma_{L_b}^{-1}$  : inversa da matriz variância-covariância das observações.



Devido ao truncamento da série de Taylor no 2º termo e aos valores aproximados atribuídos aos parâmetros, a solução é iterativa e será aceita quando os testes de convergência indicarem discrepâncias inferiores a valores pré-estabelecidos.

#### 2.1.5.1. Injunções de posição.

Ao ser feita a avaliação do número de incógnitas do problema, verificou-se que todos os pontos tinham coordenadas a penas aproximadas, isto é, incógnitas. Entretanto, ressalva era feita no sentido de arbitrar-se um sistema de coordenadas para o objeto. Isto pode ser feito, atribuindo-se a um certo número de pontos, variâncias às suas coordenadas. [02].

Assim, no exemplo acima, foram fixados três pontos, sendo  $A(X_A, Y_A, Z_A)$ ,  $B(X_B, Y_B, Y_B)$  e  $C(Z_C)$  não alinhados. Esse conjunto de injunções é o mínimo de informações que possibilita a solução da (2.22.), mas agora ligeiramente reformulada:

$$X = -(N+N_i)^{-1} \cdot (U+U_i) \quad (2.25.)$$

$$N_i = C^T \cdot P_i \cdot C \quad (2.26.)$$

$$U_i = C^T \cdot P_i \cdot W \quad (2.27.)$$

$$P_i = \sigma_o^2 \cdot \Sigma_{L_{b_i}}^{-1} \quad (2.28.)$$

$P_i$  = sub-matriz peso da injunção de posição

$\sigma_o^2$  = variância da unidade de peso

$\Sigma_{L_{b_i}}^{-1}$  = inversa da sub-matriz variância-covariância das observações relativas à injunção.

$$C = \frac{\partial(\text{modelo matemático da injunção})}{\partial(\text{parâmetros})}$$

Modelo matemático da injunção de posição:

$$X_b - X_a = 0 \quad (a)$$

$$Y_b - Y_a = 0 \quad (b) \quad (2.29.)$$

$$Z_b - Z_a = 0 \quad (c)$$

A Fig. (2.4.) esquematiza a aplicação de uma injunção a uma matriz N já formada.

#### 2.1.5.2. Injunção de distância.

O modelo matemático desta injunção é:

$$d_{ij} = \left[ (XG_i - XG_j)^2 + (YG_i - YG_j)^2 + (ZG_i - ZG_j)^2 \right]^{1/2} \quad (2.30.)$$

A distância entre dois pontos (i e j) pode ser medida com razoável simplicidade e precisão. As escalas vertical e horizontal tornam-se, assim, enriquecidas.

A matriz C, neste caso (na realidade, as suas colunas não-nulas), é formada pelas seguintes expressões |02| :

$$C_i \left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial d_{ij}}{\partial XG_i} = \frac{XG_i - XG_j}{d_{ij}^c} \\ \frac{\partial d_{ij}}{\partial YG_i} = \frac{YG_i - YG_j}{d_{ij}^c} \\ \frac{\partial d_{ij}}{\partial ZG_i} = \frac{ZG_i - ZG_j}{d_{ij}^c} \end{array} \right. \quad (2.31a)$$

$$C_j \left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial d_{ij}}{\partial XG_j} = - \frac{\partial d_{ij}}{\partial XG_i} \\ \frac{\partial d_{ij}}{\partial YG_j} = - \frac{\partial d_{ij}}{\partial YG_i} \\ \frac{\partial d_{ij}}{\partial ZG_i} = - \frac{\partial d_{ij}}{\partial ZG_i} \end{array} \right. \quad (2.31b)$$

onde  $d_{ij}^C$  são as distâncias calculadas.

Convém ressaltar que se trata de uma função com seis elementos variantes; por isso, a matriz  $C$ , derivada desta função em relação às variáveis, é um vetor linha. Pode-se, então, escrever:

$$C = [0 \dots C_i \ C_j \dots 0] \quad (2.32.)$$

O vetor erro de fechamento da injunção é:

$$W_i = d_{ij}^{obs} - d_{ij}^{calc} \quad (2.33.)$$

Esquemáticamente, a aplicação de uma injunção de distância é dada pela Fig. 2.5.

onde:

$$N_{ii} = C_i^T \cdot P \cdot C_i$$

$$N_{ji} = N_{ij}^T = -N_{ii}$$

$$N_{jj} = N_{ii}$$

$$U_i = C_i^T \cdot P \cdot W$$

$$N_{ij} = -C_i^T \cdot P \cdot C_i = -N_{ii}$$

$$U_j = -U_i$$

Como se vê, a injunção de distância equivale a sobre-

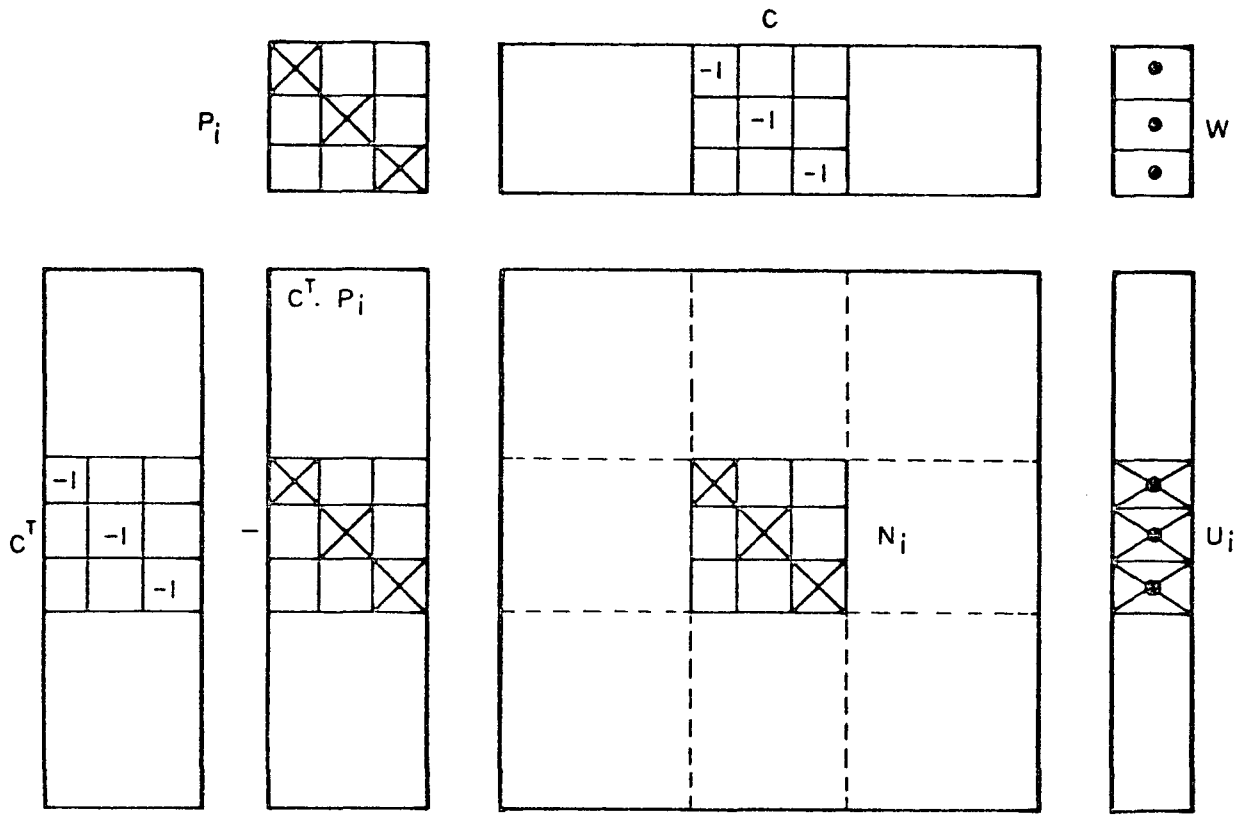


FIGURA 2.4. Esquema de aplicação de uma injunção de posição a uma matriz  $N$  já formada .

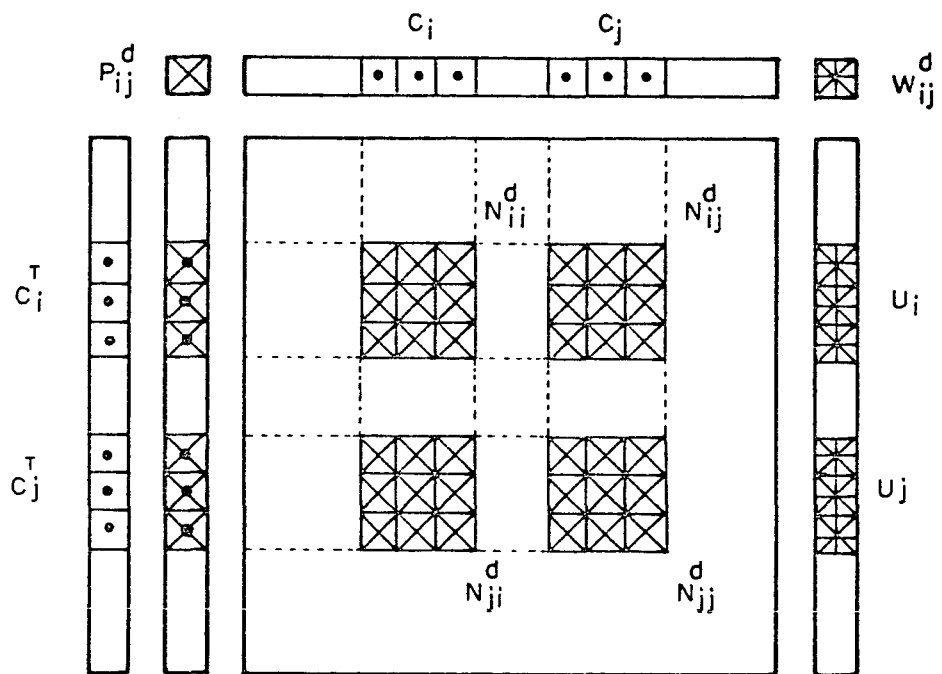


FIGURA 2.5. Esquema de aplicação de uma injunção de distância a uma matriz  $N$  já formada .

por-se as submatrizes indicadas às posições dos pontos  $i$  e  $j$  na matriz  $N$  e vetor  $U$ .

#### 2.1.6. Fotografias convergentes

O uso de fotos convergentes é muito interessante na solução de alguns problemas fotogramétricos ainda que aumente o esforço computacional, devido ao incremento da área de superposição entre as fotos, o que acarreta um número maior de pontos-imagem observados e conseqüentemente maior número de equações.

Considerando-se um relevo, cuja movimentação é pequena em relação à distância câmara-objeto, para fotos verticais, cria-se uma correlação entre os elementos  $x_o, y_o$  e  $f$  e  $X_o, Y_o$  e  $Z_o$ , a qual seria evitada conhecendo-se as coordenadas do centro perspectivo "a priori", o que traz problemas adicionais [03].

Se o objetivo de um determinado trabalho fôr a recuperação dos parâmetros de orientação interior, seria impossível solucionar o problema da inversão da matriz  $N$ , uma vez que surgiria uma dependência linear na matriz  $A$ . Uma das maneiras de se contornar este obstáculo é o emprego de fotos convergentes, com a vantagem adicional de não ser necessário o conhecimento prévio da orientação exterior das fotos.

Outra característica importante da convergência entre fotos é a possibilidade de se fixar apenas um feixe em uma posição e atitude arbitrárias e deixar que os demais livremente se ajustem a ele.

Para informações mais aprofundadas consultar [03], [08], [14] e [21].

Contudo, somente com a convergência não se recuperam os parâmetros do cone interno. Os mecanismos primários da compensação projetiva foram suprimidos, mas surgem agora compensa-

ções entre os elementos de orientação interior e os elementos angulares da orientação exterior. Assim, para contornar mais esse obstáculo deve-se obter, pelo menos, uma exposição ortogonal em  $\kappa$ . Para demonstração, referir-se a [14].

As inclinações da câmara em torno do eixo  $y$  caracterizam as orientações convergentes. Exposições com  $\Delta\phi$  em torno de  $45^\circ$  (Fig. 2.6.) favorecem a exploração do método. Entretanto, deve-se ressaltar que nem sempre é possível obter fotos com estas inclinações, devido às condições do local de trabalho.

#### 2.1.7. Câmara fotogramétrica.

Em geral, as câmaras utilizadas em tarefas fotogramétricas são especialmente projetadas, de tal modo que tenham geometria estável, lentes objetivas com baixa distorção, enfim, que sejam sensores da melhor definição geométrica possível do objeto. As câmaras que atendem a estas qualificações são ditas câmaras métricas.

Entretanto, outros tipos de câmaras têm sido usadas na fotogrametria. Por exemplo, as câmaras não-métricas, embora diverjam das recomendações, apresentam algumas vantagens em relação às câmaras métricas, [13]:

- a) disponibilidade geral,
- b) flexibilidade na focalização,
- c) algumas são equipadas com motor, permitindo uma rápida sucessão de fotos,
- d) geralmente são menores e mais leves,
- e) portáteis, facilitam a orientação em qualquer direção,
- f) usam filmes de aquisição facilitada e
- g) menor preço.

Em contrapartida, são enumeradas as seguintes desvantagens:

- a) voltadas para alta resolução, as lentes apresentam distorção irregular e maior,
- b) instabilidade da orientação interior,
- c) não há marcas fiduciais,
- d) ausência de níveis de auxílio à orientação e
- e) ausência de dispositivo de aderência (planura) do filme.

Algumas providências bastam para superar as desvantagens. Os problemas de irregularidade da distorção e instabilidade da orientação interior podem ser monitorados introduzindo parâmetros no modelo matemático, como já explicado. Também um adequado modelo de transformação resolve os problemas de não planura (e trabalho) do filme, referindo as medidas ao sistema fiducial. Este, por sua vez, é materializado pelo "reseau", adaptado à câmara.

O "reseau" é um conjunto de pontos identificados por pequenas cruzetas, constituindo uma malha de pontos geralmente numa placa de cristal que recobre todo o quadro da imagem, com espaçamentos rigorosamente iguais. Para ilustrar, veja-se a Fig. 2.7.. Deve ser colocado entre o centro perspectivo e o plano da imagem, mas adjacente a este.

#### 2.1.7.1. Câmara Rolleiflex SLX

A câmara Rolleiflex SLX é fabricada por Rollei Braunschweig/FRG para atender a finalidades múltiplas. Inteiramente eletrônica, alimentada por uma bateria própria recarregável de 12V., permite obter até mil fotografias, sob temperaturas de

20°C aproximadamente, com a carga da bateria adquirida em 3 horas. Entretanto, se o tempo de carga dado à bateria fôr de cerca de quinze minutos, há potência suficiente para cem exposições aproximadamente.

Suas objetivas intercambiáveis têm distância focal de 40,50,80,120,150,250 e 350mm, sendo que a Planar 80 mm f/2.8 é usada como objetiva padrão. Por se tratar de lentes intercambiáveis, a cada vez que se adapta um conjunto de lentes ao corpo da câmara, justifica-se uma calibração, uma vez que a geometria interna se altera.

A amplitude de velocidade dos filmes utilizados varia desde 25 ASA/15 DIN a 6400 ASA/39 DIN, que corresponde na prática à disponibilidade do mercado [01] , [24]. Pode-se empregar filme de rolo 120 (12 exposições) ou 220 (24 exposições), para o formato de fundo padrão, isto é, 6x6cm.

A velocidade do obturador pode ser ajustada ao modo "rápido", isto é, 1/2 a 1/500 s. ou ao modo "lento", 1 a 30 s. Quando se usa o controle de exposição automático, deve-se observar que uma luz vermelha é acesa internamente, avisando a inadequação da velocidade escolhida. O seletor deve então ser alterado, até que tal fato deixe de ocorrer.

Para exposições contínuas, colocar o interruptor central em C (contínuo). Pressionar, liberando o obturador, mantendo-o assim. A câmara expõe e avança o filme, enquanto essa situação fôr mantida, à razão de 1,5 exposições por segundo.

Esta câmara em particular, vem equipada com um "reseau" de 121 pontos (Fig. 2.7.), regularmente espaçados de 5mm. As marcas (cruzetas) foram gravadas com erros inferiores ao micron, sendo  $m_x = 0,8 \mu\text{m}$  e  $m_y = 0,9 \mu\text{m}$  [04].



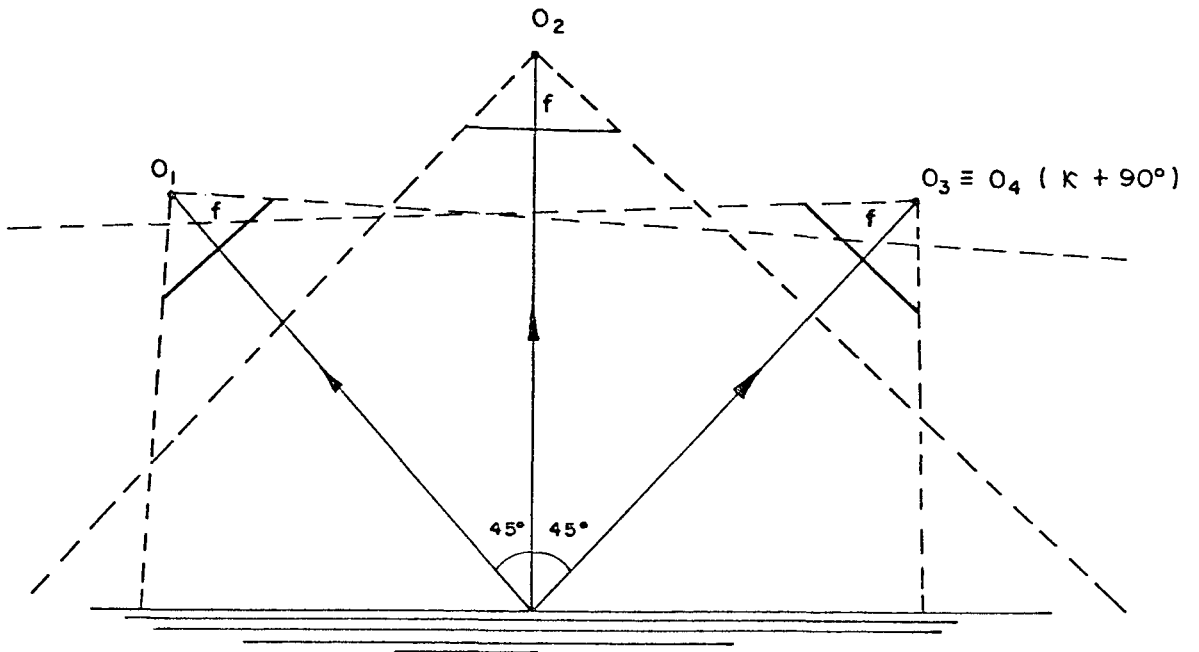


FIGURA 2.6 . Fotografias convergentes a  $45^\circ$  e com uma exposição ortogonal em  $K$  .

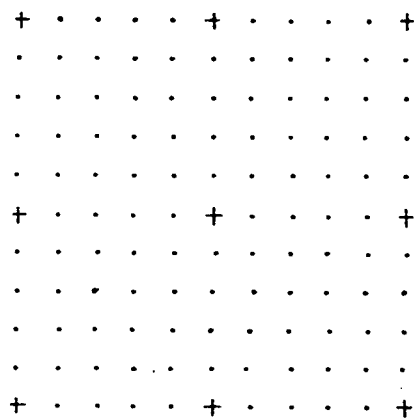


FIGURA 2.7. "reseau" com 121 pontos , com intervalos de 5 mm .

### 2.1.8. Restituídor analítico (RA)

Segundo HELAVA [11], seu inventor:

"Restituídor analítico é um estereorestituídor com projeção analítica. Esta é uma transformação de coordenadas-objeto para coordenadas-imagem ou vice-versa, entendendo-se transformação como um conjunto de coordenadas obtidas a partir de outro, baseado em um relacionamento matemático".

Para ilustrar, é dada através da Fig. (2.8.) uma representação conceitual de um RA.

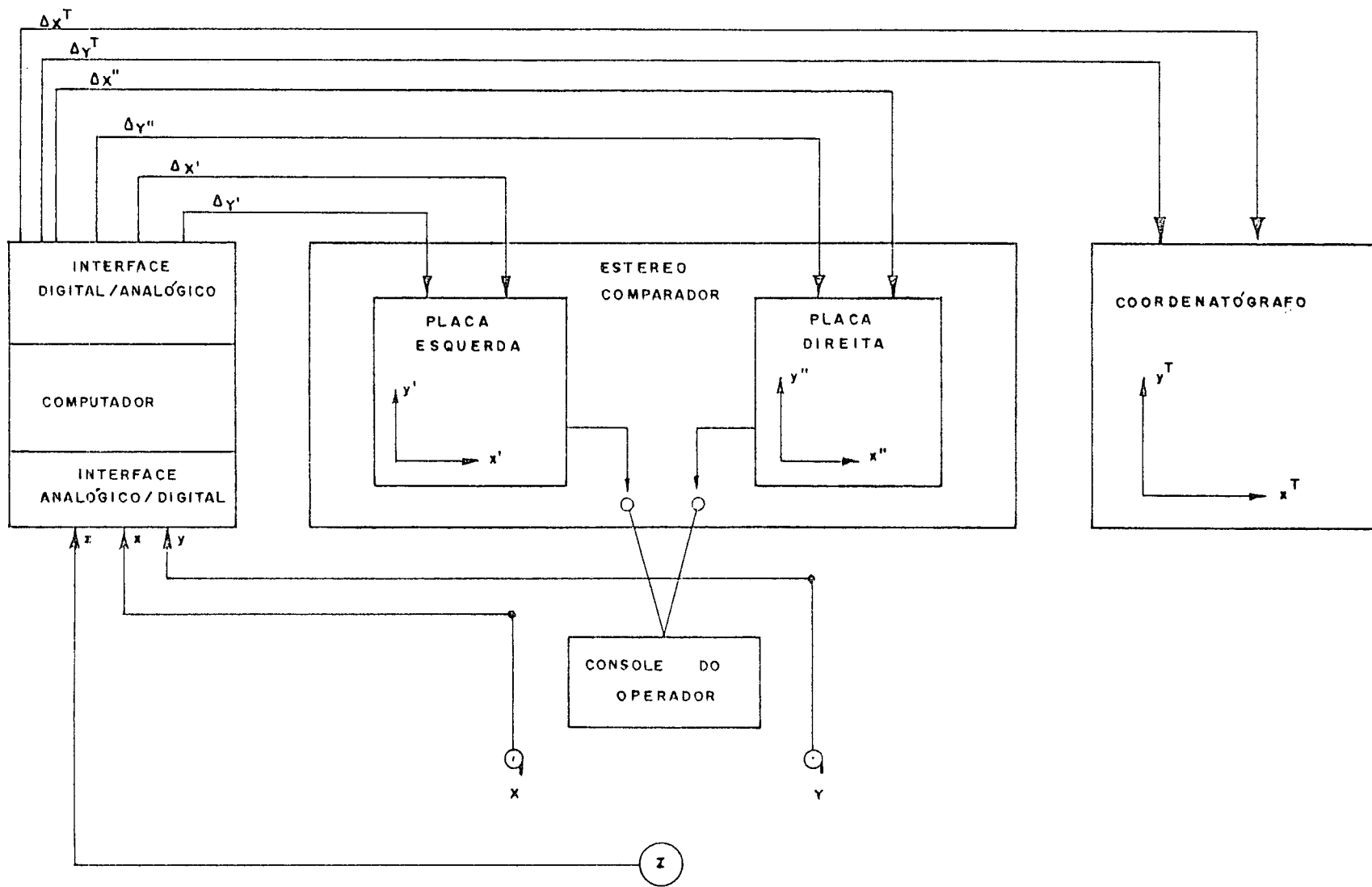
O funcionamento básico de um RA é relativamente simples. O operador movimenta as manivelas (movimentos x e y) percorrendo as fotos individualmente, em cada um dos dois porta-placas, ou ainda, percorrendo o modelo estereoscópico, se as fotos estiverem relativamente orientadas, com o auxílio do disco pedal (movimento z), que move a marca-índice. Estes movimentos são traduzidos em impulsos para o computador, que os acumula como um somatório e, em tempo real, continuamente fornece coordenadas correspondentes ao ponto, dadas pela equação de colinearidade (2.3.). Estas coordenadas podem ser referidas ao sistema do comparador, sendo (x'y') da imagem esquerda e (x"y") da direita. Podem também ser coordenadas de modelo (xyz), se duas imagens estiverem relativamente orientadas, ou, ainda, coordenadas no sistema do espaço objeto (XYZ) de um ponto em um modelo ou imagem absolutamente orientados.

As possibilidades de um RA são tão amplas, que fugiria do escopo deste trabalho enumerá-las. É conveniente, entretanto, citar as características principais do sistema analítico utilizado neste trabalho.

#### 2.1.8.1. PLANICOMP C 100

O sistema ZEISS/PLANICOMP C 100 foi apresentado ao XIII Congresso da Sociedade Internacional de Fotogrametria, rea

FIGURA 2.8 . Componentes de um R.A.A .



lizado em Helsinki, em 1976. A unidade instalada no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, em meados de abril de 1982, é composta de:

#### 2.1.8.1.1. Máquinas.

- a) unidade básica ótico-mecânica com ótica de observação; carros porta-fotos comandados por servo-motores; manivelas, disco-pedal; etc.,
- b) painel de comando com teclas para chamar os programas; indicador de coordenadas e teclado digital de entrada; etc.,
- c) mini-computador HP-1000 com memória de 128 K palavras, unidade de disco (um fixo e outro móvel) de 20 M bytes,
- d) terminal de mesa para dialogar com o computador,
- e) impressora,
- f) mesa automática de desenho DZ-7.

#### 2.1.8.1.2. Programas do sistema

O sistema dispõe de aproximadamente 80 programas de aplicação. Os grupos mais importantes de programas são:

- a) calibração
- b) orientação interior, relativa e absoluta
- c) transferência e manipulação de dados
- d) medição de aerotriangulação
- e) medição de modelos digitais de terreno
- f) cálculo de magnitudes geométricas
- g) desenho "on-line" e "off-line"
- h) ajustamento de faixas trianguladas
- i) ajustamento de feixes em bloco.

Os programas estão escritos em FORTRAN. Além destes programas de fotogrametria, é possível escrever, compilar e processar outros tipos, desde que a unidade fotogramétrica não esteja sendo usada.

A resolução dos servosistemas do PLANICOMP é de 1  $\mu\text{m}$ , entretanto a precisão é da ordem de 4  $\mu\text{m}$  para a planimetria e 6  $\mu\text{m}$  para altimetria em tarefas não especificadas [12].

A título de ilustração é dada a Fig. (2.9.).

#### 2.1.9. Programas computacionais.

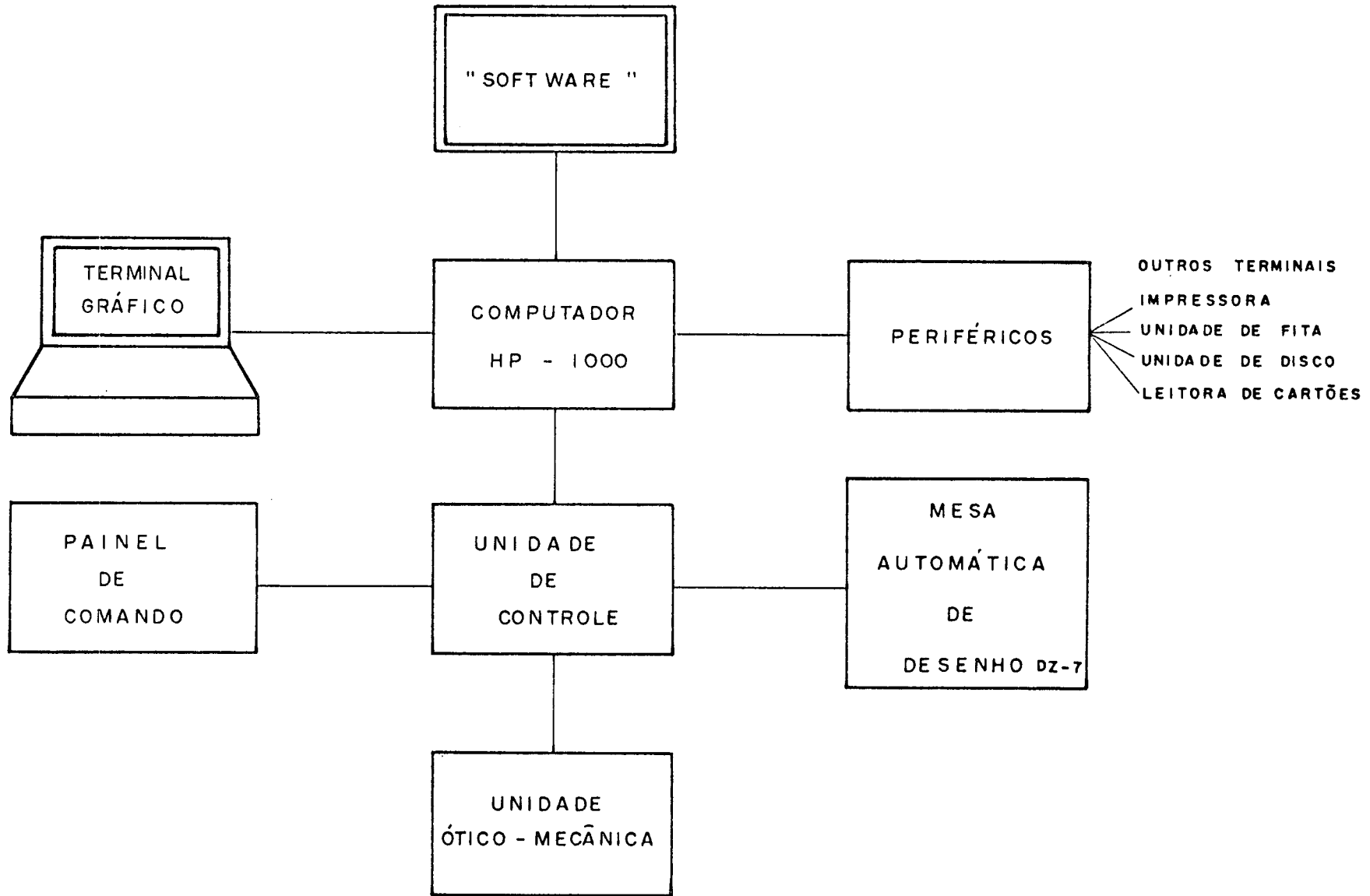
A solução numérica do problema formulado foi conduzida por meio de três programas computacionais escritos em FORTRAN desenvolvidos por professores-pesquisadores do CPGCG.

##### 2.1.9.1. Programa RESEAU

Este programa numera os pontos que constituem propriamente o "reseau". Elaborado por Mary Angélica de Azevedo Olivas [21] e Martin Behmann, seu funcionamento é basicamente o seguinte:

- a) as quatro primeiras leituras devem ser dos pontos fiduciais laterais na sequência 1  $\rightarrow$  2  $\rightarrow$  3  $\rightarrow$  4,
- b) os demais pontos podem ser lidos em qualquer ordem,
- c) ao ponto inferior esquerdo, o programa atribuirá o número 105105; tomando-se os três primeiros dígitos para  $x'$  e os três últimos para  $y'$ , a numeração dos pontos será composta a crescendo-se o fator 5 ao número imediatamente anterior, conforme a direção considerada (Fig. 2.10.),

FIGURA 2.9. Configuração básica do sistema PLANICOMP C100.



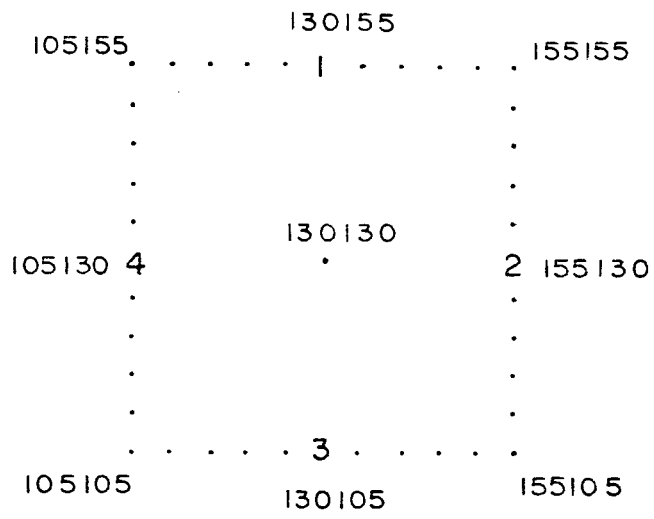


FIGURA 2.10. Esquema de numeração do "reseau", pelo programa RESEAU.

d) a forma de entrada dos dados é  $NF(I), NP(I), IX(I), IY(I)$ , onde:

NF : número da foto

NP : número do ponto (igual a zero, "reseau"; diferente de zero, ponto de passagem),

IX : coordenada x de máquina (inteiro)

IY : coordenada y de máquina (inteiro).

Por exemplo: 1 00 10695 12594

1 99 10740 13691

Observação: É obrigatório existir pelo menos duas séries de observações.

e) a saída do programa RESEAU é um arquivo de coordenadas de pontos do "reseau" com a numeração codificada. Assim:

NF	NP	IX	IY	pontos
1	130130	10695	12594	(reseau)
1	99	10740	13691	(passagem).

#### 2.1.9.2. Programa TRISO

Também elaborado por OLIVAS | 22 | , a partir do arquivo AFTR (aplicação da transformação afim), de autoria do Prof. José Bittencourt de Andrade, este programa aplica a transformação isogonal às coordenadas de pontos imagens. Cabe aqui uma explicação a respeito da escolha desta transformação. Devido à proximidade das cruzetas do "reseau" (distam 5mm entre si), o emprego da transformação afim geral incorria num caso de superparametrização, pois que o parâmetro de falta de ortogonalidade é praticamente nulo. Além disto, os fatores de escala ao longo dos eixos  $x'$  e  $y'$  são admitidos iguais,



no intervalo. Assim, tem-se apenas um fator de escala, uma rotação e duas translações, caracterizando as equações (2.4.) e (2.5.).

Seu funcionamento é como se segue:

- a) Lê e armazena o número codificado dos pontos do "reseau" e suas coordenadas calibradas, isto é, corretas.
- b) Lê o arquivo de saída do RESEAU (numeração e coordenadas observadas).
- c) Lê as coordenadas de pontos de passagem e respectivos números identificadores.
- d) Confronta as duas séries de coordenadas e elimina observações correspondentes com discrepância superior a  $10 \mu\text{m}$  ( $\sim 3\sigma$ ).
- e) Encontra parâmetros de transformação entre coordenadas de comparador e fiduciais, sendo que um ponto de passagem deve existir entre pelo menos três pontos-reseau, ou será abandonado.
- f) Informa as coordenadas ajustadas, isto é, corrigidas da deformação do filme e desvio-padrão médio das coordenadas  $x$  e  $y$ .

#### 2.1.9.3. Programa CALI

O arquivo CALI.FOR foi elaborado pelo Doutor José Bittencourt de Andrade, tendo sido adaptado e ampliado (equações de calibração) por OLIVAS [21]. Essencialmente consta de um programa principal e sete subrotinas. A subrotina INPUT apenas lê os dados de entrada, que são números de controle, coordenadas, variâncias, etc. A subrotina BLOCK monta as equações normais (matriz  $N$ ), o vetor  $U$  e resolve a equação (2.22.). A subrotina OUTPUT cuida de imprimir os resultados.

A cada aplicação o dimensionamento deve ser refeito , de modo a economizar memória de computador. Esta tarefa está simplificada uma vez que os comentários existentes no programa principal orientam para este fim.

Como já comentado, este programa faz calibração e triangulação, simultaneamente, se necessário. O termo calibração neste trabalho deve ser entendido como recuperação de parâmetros da orientação interior, uma vez que não foram adotadas técnicas para este fim específico. Veja-se [04] , [21] . Já a foto-triangulação tratada por este programa, aceita fotos de qualquer natureza, verticais ou oblíquas. A restrição que deve ser feita é acerca da quantidade de fotos e pontos envolvidos no problema, de modo que a matriz normal possa ser invertida pelo computador disponível. Uma maneira de se contornar este possível obstáculo para micro-computadores, é adotar a técnica de particionamento matricial na solução da expressão (2.22.).

## 2.2. Modelos Hidráulicos

Segundo YALIN [28], um modelo hidráulico é um dispositivo de precisão para investigação experimental de um fenômeno hidromecânico, o qual pode dar informação confiável somente se suas escalas forem determinadas de acordo com certas regras definidas, isto é, se esboçadas corretamente.

Este conceito deixa transparecer que, se o esboço não estiver correto, então o modelo estará errado desde o princípio. Para que isto não ocorra, o esboço deve apresentar as escalas, relacionando protótipo (espaço dos fenômenos reais) e modelo (versão reduzida destes fenômenos) obedecendo às condições de similaridade.

Matematicamente, pode-se estabelecer os critérios de similaridade, através do conhecimento da natureza física do fenômeno sob investigação. Infelizmente, isto nem sempre é possível e as condições de semelhança permanecem desconhecidas.

Para contornar tal dificuldade, um outro caminho consideravelmente mais efetivo para determinar os critérios de similaridade é o método dimensional.

O método dimensional, inicialmente, sofreu várias restrições, até ser aceito. Suspeitava-se de que o mesmo se constituía em um meio de obter resultados frequentemente errôneos. Prevaleceu a pertinência daqueles que nele acreditavam, provando ser uma ferramenta útil se adequadamente usada. O método dimensional, também denominado método da pesquisa experimental, permite a determinação dos critérios de similaridade através de estudos dimensionais das características do fenômeno ideal.

Entretanto, a aplicação dos critérios de similaridade

para esboço de modelos hidráulicos, na prática, é frequentemente impedida por razões de natureza física ou técnica. Por exemplo, a aceleração da gravidade pode ser considerada a mesma para o protótipo e o modelo reduzido, porque as diferenças quantitativas existentes são pequenas. Isto significa que a escala da aceleração é praticamente igual à unidade. Também são iguais à unidade as escalas de densidade e viscosidade do fluido, uma vez que a água é utilizada no modelo. Por estas razões, o experimentador (pesquisador) vê-se diante da impossibilidade de esboçar o modelo, atendendo à semelhança constitutiva.

De qualquer maneira, a solução exata sempre deve ser determinada em primeiro lugar, para, posteriormente, ser verificada sua exequibilidade e o grau de correção da solução adotada.

### 2.2.1. Princípios da teoria das dimensões

Sejam  $L$ ,  $T$  e  $M$  as unidades para comprimento, tempo e massa, isto é, as unidades fundamentais da Mecânica.

Seja  $\underline{a}$  uma quantidade mecânica função das unidades fundamentais  $L$ ,  $T$  e  $M$ .

$$|\underline{a}| = f [L, T, M] \quad (2.34)$$

Então as unidades de  $\underline{a}$  são:

$$|\underline{a}| = L^\alpha \cdot T^\beta \cdot M^\gamma \quad (2.35)$$

A quantidade mecânica  $\underline{a}$  é uma quantidade dimensional, se pelo menos um dos expoentes ( $\alpha$ ,  $\beta$  ou  $\gamma$ ) for diferente de zero.

Assim, para

- a)  $\alpha \neq 0$ ,  $\beta = 0$ ,  $\gamma = 0$  tem-se uma quantidade geométrica
- b)  $\alpha \neq 0$ ,  $\beta \neq 0$ ,  $\gamma = 0$  tem-se uma quantidade cinemática
- c)  $\alpha \neq 0$ ,  $\beta \neq 0$ ,  $\gamma \neq 0$  tem-se uma quantidade dinâmica.

O Quadro 2.1, abaixo, relaciona algumas quantidades frequentemente usadas em estudos hidráulicos.

Quadro 2.1 - Dimensões de quantidades usadas em estudos hidráulicos.

Quantidade dimensional	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
Comprimento	1	0	0
Tempo	0	1	0
Massa	0	0	1
Velocidade	1	-1	0
Aceleração	1	-2	0
Fluxo volumétrico	3	-1	0
Força (peso)	1	-2	1
"stress" (pressão)	-1	-2	1
Densidade	-3	0	1
Peso específico	-2	-2	1
Viscosidade	-1	-1	0
Viscosidade cinemática	2	-1	0
Trabalho (energia)	2	-2	1
Potência	2	-3	1

### 2.2.2. Princípios da Teoria da Similaridade

Tratando-se os fenômenos hidromecânicos em dois "espaços" distintos, ou em outras palavras, em dois sistemas referenciais de unidades fundamentais distintos, pode-se estabelecer as seguintes transformações:

$$L'' = \lambda_L \cdot L'$$

$$T'' = \lambda_T \cdot T' \quad (2.36)$$

$$M'' = \lambda_M \cdot M'$$

onde os sistemas  $S'$  e  $S''$  se interrelacionam através dos fatores de proporcionalidade  $\lambda_L$ ,  $\lambda_T$  e  $\lambda_M$ .

Estas relações conduzem à idéia de que é possível estudar fenômenos que ocorrem na natureza, reduzindo-os proporcionalmente. Este procedimento, em geral, mantém as condições de semelhança entre causa e efeito.

#### 2.2.2.1. Similaridade Geométrica

A semelhança geométrica advém da primeira condição das (2.36), onde

$$\lambda_L = \frac{L''}{L'} \quad (2.37)$$

$L''$  e  $L'$  representam dois comprimentos correspondentes nos sistemas  $S''$  e  $S'$ .

#### 2.2.2.2. Similaridade Cinemática

As duas primeiras proporcionalidades das (2.36), se verificadas, propiciam a semelhança cinemática entre dois sistemas:

$$\lambda_L = \frac{L''}{L'} \quad e \quad \lambda_T = \frac{T''}{T'} \quad (2.38)$$

$L''$ ,  $T''$  e  $L'$ ,  $T'$  representam comprimentos e intervalos de tempo correspondentes nos sistemas  $S''$  e  $S'$ , para o mesmo fenômeno.

#### 2.2.2.3. Similaridade Dinâmica

Quando os sistemas  $S''$  e  $S'$  relacionam-se através das três condições das (2.36),

$$\lambda_L = \frac{L''}{L'} \quad ; \quad \lambda_T = \frac{T''}{T'} \quad e \quad \lambda_M = \frac{M''}{M'} \quad (2.39)$$

são ditos dinamicamente similares.

Conservando para  $L''T''$  e  $L'T'$  as explicações acima,  $M''$  e  $M'$  são valores relativos às massas de partículas, que se correspondem em  $S''$  e  $S'$ , tal que  $\lambda_M$  se mantém constante, ao longo das trajetórias semelhantes.

#### 2.2.2.4. Similaridade constitutiva

Além das condições de semelhança geométrica, cinemática

ca e dinâmica, existem as condições de semelhança entre as propriedades físicas dos materiais, isto é, a natureza do fluido (viscosidade  $\mu$  e densidade  $\rho$ ), a natureza do material granular (diâmetro  $D$ , densidade  $\rho$ ), entre outros.

### 2.2.3. Modelo hidráulico de Segredo

Versão reduzida do protótipo a ser construído no rio Iguaçu, nas escalas planimétrica e altimétrica 1:100, visando reproduzir as condições de similaridade.

Construído a partir de informações geométricas obtidas da carta topográfica da região, escala 1:1000, na forma de perfis topográficos. Estes são locados no modelo reduzido com espaçamento entre 30 e 50 cm (30 a 50 m no protótipo), variável em função do grau de dificuldade em representar o relevo.

Uma fotografia do mesmo é mostrada à página 43, à título de ilustração.



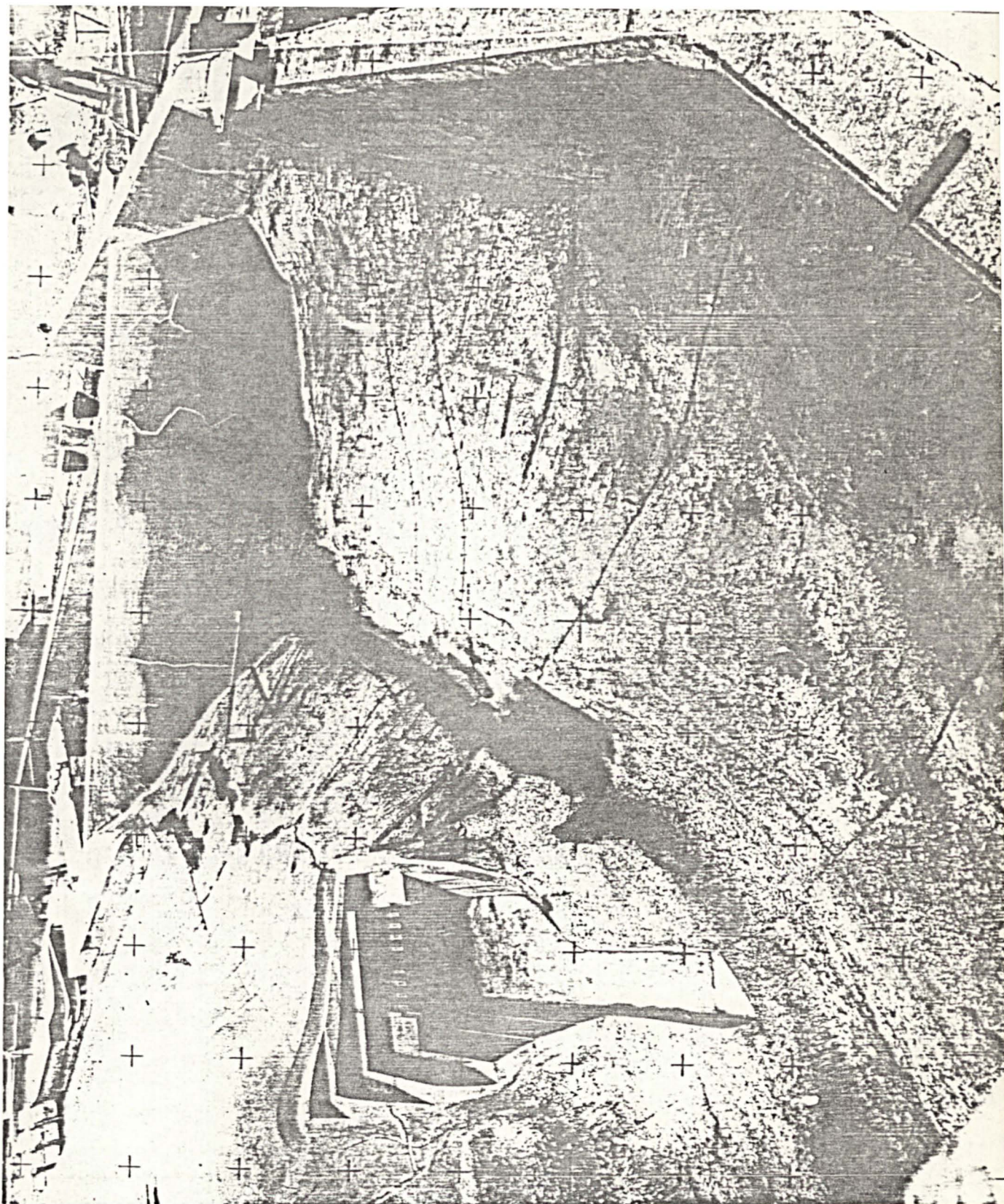


Figura 2.11. Fotografia do modelo hidráulico de Segredo

### 3. PROCEDIMENTOS PARA LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES

## PROCEDIMENTOS PARA LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES

Os trabalhos realizados para a execução desta pesquisa foram divididos em duas fases: uma de campo, ou seja, operações no modelo hidráulico, outra de gabinete, a qual diz respeito à utilização de equipamento para leitura de coordenadas fotogramétricas e o processamento de dados.

### 3.1. Fase de campo

O cenário desta etapa foi o modelo hidráulico de Se gredo, construído nas instalações do CEHPAR.

#### 3.1.1. Sinalização

Inicialmente o modelo hidráulico foi sinalizado através de esferas de isopor de cerca de 8 mm de diâmetro, nos pontos de interesse (pontos de controle e pontos de passagem).

A razão da escolha de esferas de isopor de diâmetro de 8 mm foi a seguinte:

"Para superar dificuldades de deformação perspectiva associadas com alvos planos, particularmente no caso de fotos convergentes, alvos esféricos são algumas vezes usados. O diâmetro dos alvos esféricos pode ser calculado de maneira semelhante à dos alvos planos no caso normal da fotogrametria terrestre" [13].



"O diâmetro aparente do alvo esférico deve ter pelo menos 5/3 do diâmetro aparente da marca de medir do instrumento usado." | 12 | Assim:

diâmetro da marca-índice (PLANICOMP) = 40  $\mu\text{m}$  = 0,04 mm ( $d_m$ )

diâmetro da imagem do alvo esférico = (5/3).40  $\cong$  67  $\mu\text{m}$  =  
= 0,067 mm ( $d_a$ )

diâmetro do alvo esférico no modelo hidráulico = 0,067.E mm ( $D_a$ )

E : fator de escala para o alvo considerado = S/f

S : distância câmara-objeto

f : considerar a distância focal das lentes usadas.

$$D_a = (d_a/f).S = (0,067/80).S \quad (3.1.)$$

Vê-se que à medida que S varia, o diâmetro da esfera-objeto varia em proporção direta. Tem-se, portanto, para cada ponto (alvo) um S distinto e, conseqüentemente, um diâmetro  $d_i$  diferente. Evidente que, ao considerar-se outra estação de exposição e os mesmos pontos, novos diâmetros seriam calculados. Dessa maneira, o trabalho tornar-se-ia impraticável. Por isso, tornou-se mais atraente a adoção de um diâmetro médio para os alvos, abrindo-se mão da fixação do diâmetro-imagem. Contudo, para o cálculo-base de  $D_a$ , foram adotados:

$$d_a = 0,067 \text{ mm}$$

$$S = 9 \dots 10 \text{ m}$$

$$f = 80 \text{ mm}$$

$$\text{Então: } D_{a1} \cong 7,5 \text{ mm} ; D_{a2} \cong 8,4 \text{ mm}$$

$$D_a = (D_{a1} + D_{a2})/2 \cong 8,0 \text{ mm} \quad (3.2.)$$

As esferas de isopor foram coladas sobre pontos do modelo hidráulico com espaçamentos aproximadamente regulares entre si.

Embora o uso da esfera de isopor adequa-se ao caso de fotos convergentes, dando uma imagem circular, deve ser lembrado que seu ponto de visada, não coincide com o ponto a ser sinalizado no modelo hidráulico; comparado ao alvo plano, esta é uma pequena desvantagem. O alvo plano-circular sinaliza o ponto almejado com boa precisão, mas sua imagem transforma-se numa elipse (Fig. 3.1.).

### 3.1.2. Obtenção das fotografias

Com a câmara Rollei SLX, equipada com o sistema de lentes Planar  $f=80\text{mm}$  e "reseau", foram feitas 4 exposições, uma em cada estação.

Sobre um andaime existente no local, a câmara foi fixada num tripé e posicionada em três lugares distintos, estabelecendo-se três pontos de vista. A quarta fotografia foi obtida a partir de uma estrutura tubular armada em outro extremo do modelo hidráulico com a câmara girada em  $\kappa$  de  $90^\circ$  (ver pág. 24 e Fig. 3.2.).

Os eixos óticos de cada exposição estão representados pelas linhas tracejadas, caracterizando fotografias convergentes. Infelizmente, dada a situação do local, não houve possibilidade de se obter fotos com convergência de  $45^\circ$  aproximadamente.

Para complementar as informações sobre a obtenção das fotografias, relaciona-se abaixo:

Abertura relativa:  $f/11$

Tempo de exposição:  $1/2$  s (devido à baixa luminosidade do local).

Filme utilizado: KODAK VERICHROME PAN, 125-ASA.

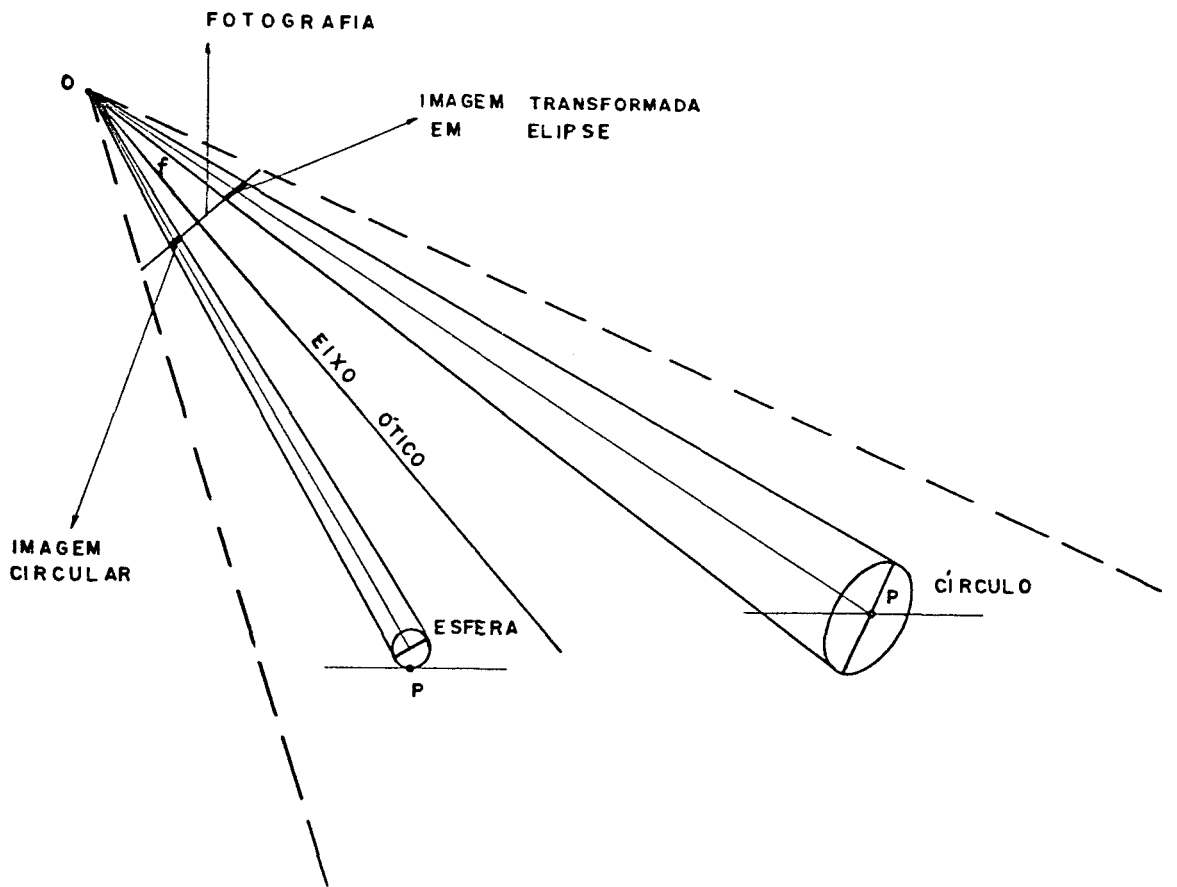
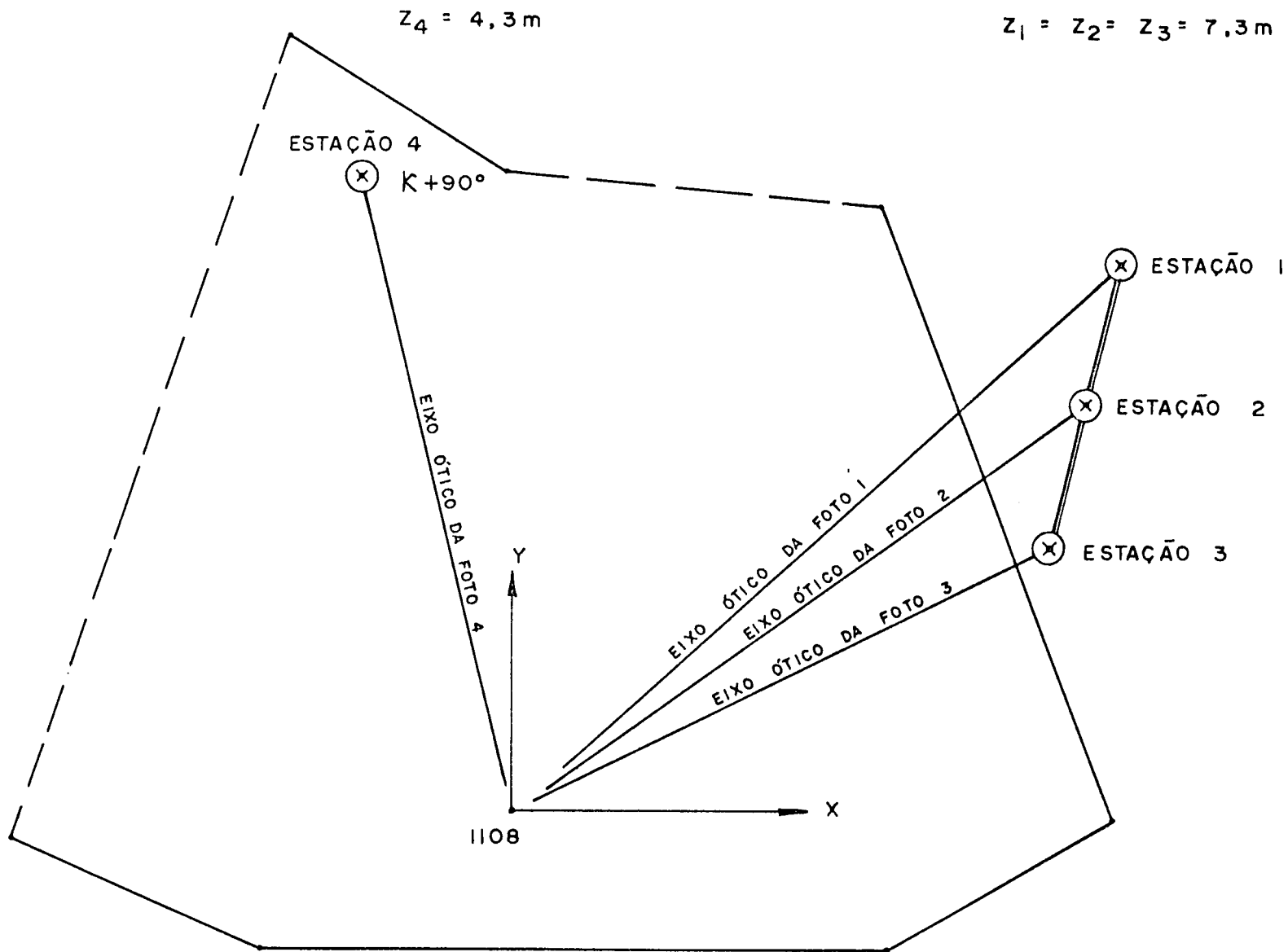


FIGURA 3.1. Alvos planos e esféricos e imagens correspondentes.

FIGURA 3.2. Esquema das posições da câmara para tomar os 4 fotos.



escala aproximada = 1 : 50

1



2



3



4

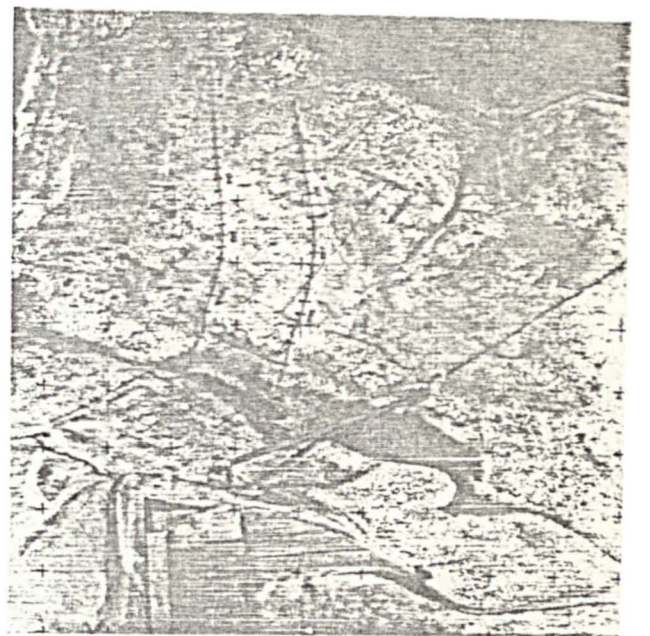


Figura 3.2a - As quatro fotografias utilizadas.



### 3.1.3. Determinação de coordenadas-objeto (MH).

O sistema ZEISS REG ELTA 2 proporcionou observações de distância direta da estação ao ponto ( $d$ ), do ângulo (distância) zenital ( $Z$ ) e do ângulo horizontal ( $A$ ), referido a uma origem arbitrária ( $\theta$ ), sobre os pontos sinalizados do MH, com o fim de determinar-se as coordenadas planimétricas de 28 pontos no sistema local para servirem de valores aproximados às incógnitas no ajustamento da fototriangulação.

As coordenadas altimétricas foram proporcionadas através de nivelamento geométrico, empregando-se o nível ZEISS NI 2, também para funcionarem como valores iniciais.

As correções às coordenadas XYZ, isto é, planialtimétricas, serão dadas pelo ajustamento da fototriangulação e são esperadas ser de pequena monta, devido ao equipamento empregado na obtenção das medidas oferecer alta resolução.

#### 3.1.3.1. Coordenadas planimétricas.

O sistema ELTA 2 foi estacionado sobre um ponto qualquer fora do MH, de modo a permitir intervisibilidade com os demais pontos a serem observados.

Considere-se a Figura 3.3., onde:

$$D = d \cdot \cos(Z - 90^\circ) \quad (3.3.)$$

sendo  $D$  : distância horizontal ( $EP''$ )

$d$  : distância inclinada ( $E'P'$ )

$Z$  : distância zenital ( $E'P'$ )

Procura-se deduzir as coordenadas planimétricas dos pontos observados e, então, faz-se (Fig. 3.4.):

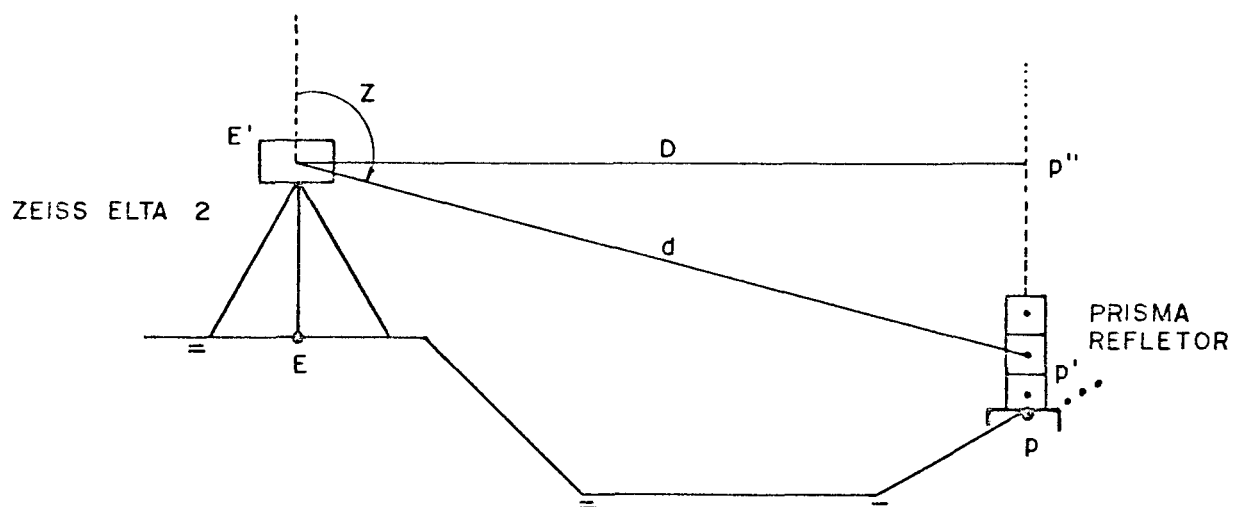


FIGURA 3.3. Situação física das observações (topográficas).

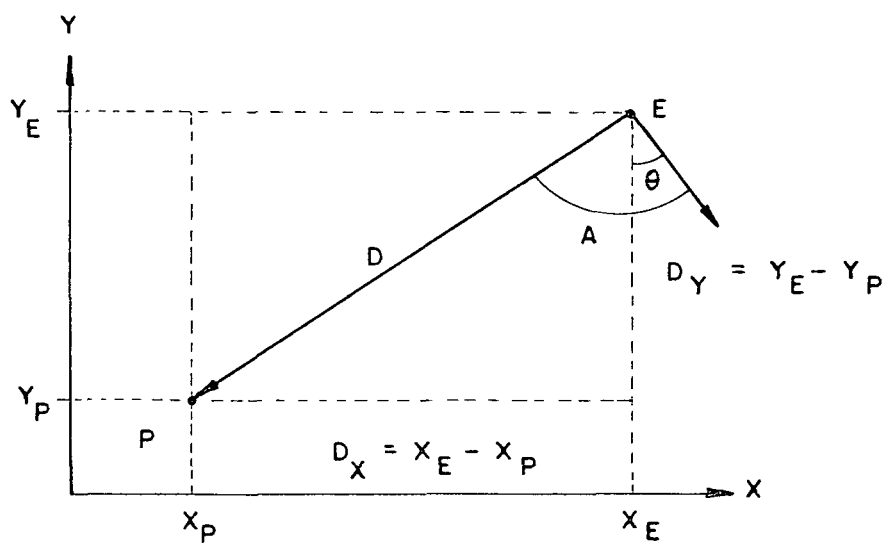


FIGURA 3.4. Sistema de coordenadas local ( eixo Z saindo do papel ) e medida angular horizontal.

$$X_P = X_E - DX \quad (3.4a)$$

$$Y_P = Y_E - DY \quad (3.4b)$$

$$DX = D \cdot \text{sen}(A - \theta) \quad (3.5a)$$

$$DY = D \cdot \text{cos}(A - \theta) \quad (3.5b)$$

No modelo matemático completo, tem-se:

$$F(X): -X_P + X_E - d \cdot \text{cos}(Z - 90^\circ) \cdot \text{sen}(A - \theta) = 0 \quad (3.6a)$$

$$F(Y): -Y_P + Y_E - d \cdot \text{cos}(Z - 90^\circ) \cdot \text{cos}(A - \theta) = 0 \quad (3.6b)$$

sendo:  $X_P, Y_P$  : coordenadas do ponto observado.

$X_E, Y_E, \theta$  : parâmetros.

$d, Z, A$  : observações.

A partir de três pontos de apoio, escreveram-se seis equações a três incógnitas. Caracterizou-se então um sistema superabundante. O MMQ usa as funções na forma linear com respeito às incógnitas e observações. Linearizando-se as (3.6.) por Taylor, chega-se a:

$$AX + BV + W = 0 \quad (3.7.)$$

A solução de (3.7.) é dada por:

$$\hat{X} = -(A^t M^{-1} A)^{-1} \cdot (A^t M^{-1} W) \quad (3.8.)$$

$$M = B \cdot P^{-1} \cdot B^t \quad (3.9.)$$

$$P^{-1} = \frac{1}{\sigma_0^2} \cdot \Sigma_{L_b} \quad (3.10.)$$

(3.11.) é a matriz variância-covariância das observações.

$$X_a = X_o + \hat{X} \quad (3.11.)$$

$$L_a = L_b + \hat{V} \quad (3.12.)$$

$$\hat{V} = P^{-1} \cdot B^t \cdot K \quad (3.13.)$$

$$K = -M^{-1} (AX + W) \quad (3.14.)$$

$$W = F(X_a, L_a) \quad (3.15.)$$

Solucionado o problema, a partir de valores aproximados para os parâmetros, os demais pontos tiveram suas coordenadas determinadas aplicando-se as (3.4.).

Segue-se a lista de observações de pontos de apoio e respectivas coordenadas:

Nº ponto	d(m)	A(°)	Z(°)	X(m)	Y(m)	h(m)
1101	6,822	36,2453°	106,2566°	0,937	0,791	-0,069
1106	7,321	37,7874°	104,7764°	0,491	0,452	-0,026
1108	7,945	38,8989°	103,4021°	0,0	0,0	0,0

Os valores iniciais dos parâmetros foram determinados com algum critério, a fim de se minimizar o número de iterações. As coordenadas da estação E foram medidas à trena, enquanto que o ângulo de orientação  $\theta$  foi obtido do modo seguinte:

Da Fig. (3.4.):

$$\operatorname{tg}(A - \theta) = \frac{\Delta X}{\Delta Y}$$

$$(A - \theta) = \operatorname{arc\,tg} \frac{\Delta X}{\Delta Y}$$

ponto	DX (m)	DY (m)	tg(A - $\theta$ )	(A - $\theta$ )
1101	3,525	5,520	0,638575	32,561284 $^{\circ}$
1106	3,971	5,859	0,677749	34,127404 $^{\circ}$
1108	4,462	6,311	0,707077	35,260607 $^{\circ}$

$$1101 : \theta = 3,684026^{\circ} \quad (A - (A - \theta)) = \theta$$

$$1106 : \theta = 3,659996^{\circ}$$

$$1108 : \theta = 3,638293^{\circ} \quad ; \text{ somados e tirada a média, obtêm-se:}$$

$$\theta = 3,660768433^{\circ} = 0,063892462 \text{ rad.}$$

$$\text{Então: } X_o = 4,462 \text{ m}$$

$$Y_o = 6,311 \text{ m}$$

$$\theta_o = 0,063892462 \text{ rad.}$$

Os valores ajustados dos parâmetros, após duas iterações, cujo critério de convergência foi  $\Delta\sigma < 0,001$ , são:

$$\sigma = |V^T_{PV}/(n-u)|^{1/2} \tag{3.16.}$$

$\Delta\sigma$  : diferença entre os desvios-padrão a posteriori da unidade de peso de duas iterações sucessivas.

$$X_E = 4,490$$

$$Y_E = 6,292 \text{ m}$$

$$\theta = 0,059125403 \text{ rad.} = 3,387636^{\circ}$$

### 3.1.3.2. Coordenadas altimétricas.

Estas foram determinadas por meio de nivelamento geométrico, a partir de uma RN monumentada próxima ao MH. As cotas dos pontos sinalizados estão referidas à origem  $0(0, 0, 0)$ , coincidente com o ponto 1108, na escala do MH. Traz a vantagem de se trabalhar com pequenos números e como desvantagem as cotas negativas.

As cotas obtidas são introduzidas no ajustamento como valores aproximados.

### 3.1.4. Determinação de distâncias no MH.

Visando explorar a possibilidade de enriquecer a solução da fototriangulação (2.1.5.2.), três séries de distâncias espaciais foram medidas à trena no MH. Veja-se o quadro abaixo:

pontos		distância	desvio-
de	para	média	padrão
111	118	1,015 m	0,001 m
111	115	3,156 m	0,001 m
1103	1108	2,848 m	0,001 m

Quadro 3.1.: distâncias medidas à trena no MH.

Observação: Outras distâncias foram medidas entre pontos, cujos resíduos de coordenadas de foto após o ajustamento acusaram valores da ordem de décimos de milímetros na escala do

negativo, sendo por isso rejeitados e conseqüentemente as distâncias entre eles.

### 3.2. Fase de gabinete.

Conforme já anunciado, os trabalhos foram desenvolvidos nos sistemas PLANICOMP e DEC-10. Através de um fluxograma, esta fase é sistematizada na Fig. 3.5.

#### 3.2.1. Obtenção de coordenadas-imagem (fotográficas).

As coordenadas-imagem foram determinadas a partir de medidas efetuadas sobre os negativos, utilizando-se o sistema PLANICOMP como comparador.

O primeiro aspecto que convém salientar é a colocação do negativo no porta-placas do PLANICOMP. O lado da emulsão deve ficar voltado para baixo. No "reseau" da Rollei do CPGCG há uma pequena marca gravada em forma de "v", com o propósito de sinalizar o seu canto superior direito (Fig. 3.6.), no instante da exposição. A fim de que a imagem possa ser observada na posição direta, o negativo deve ser colocado no porta-placas com a marca "v" voltada para o canto inferior esquerdo.

O negativo colocado no porta-placas e orientado aproximadamente ao sistema de máquina, a fim de facilitar a operação de leitura, está em condições de ser observado.

No "software" do sistema PLANICOMP há o programa codificado como B70, o qual presta-se à leitura de coordenadas de placa, isto é, coordenadas de pontos no sistema de máquina. A

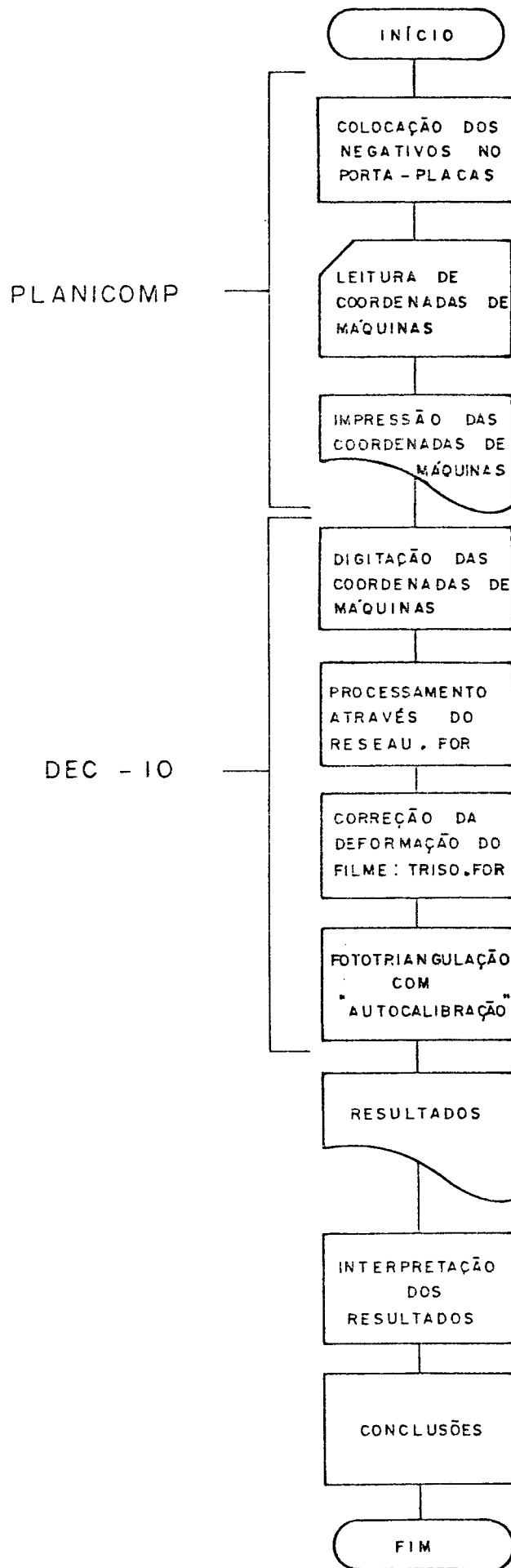


FIGURA 3.5 .Esquema do fluxo de trabalho na fase de gabinete .



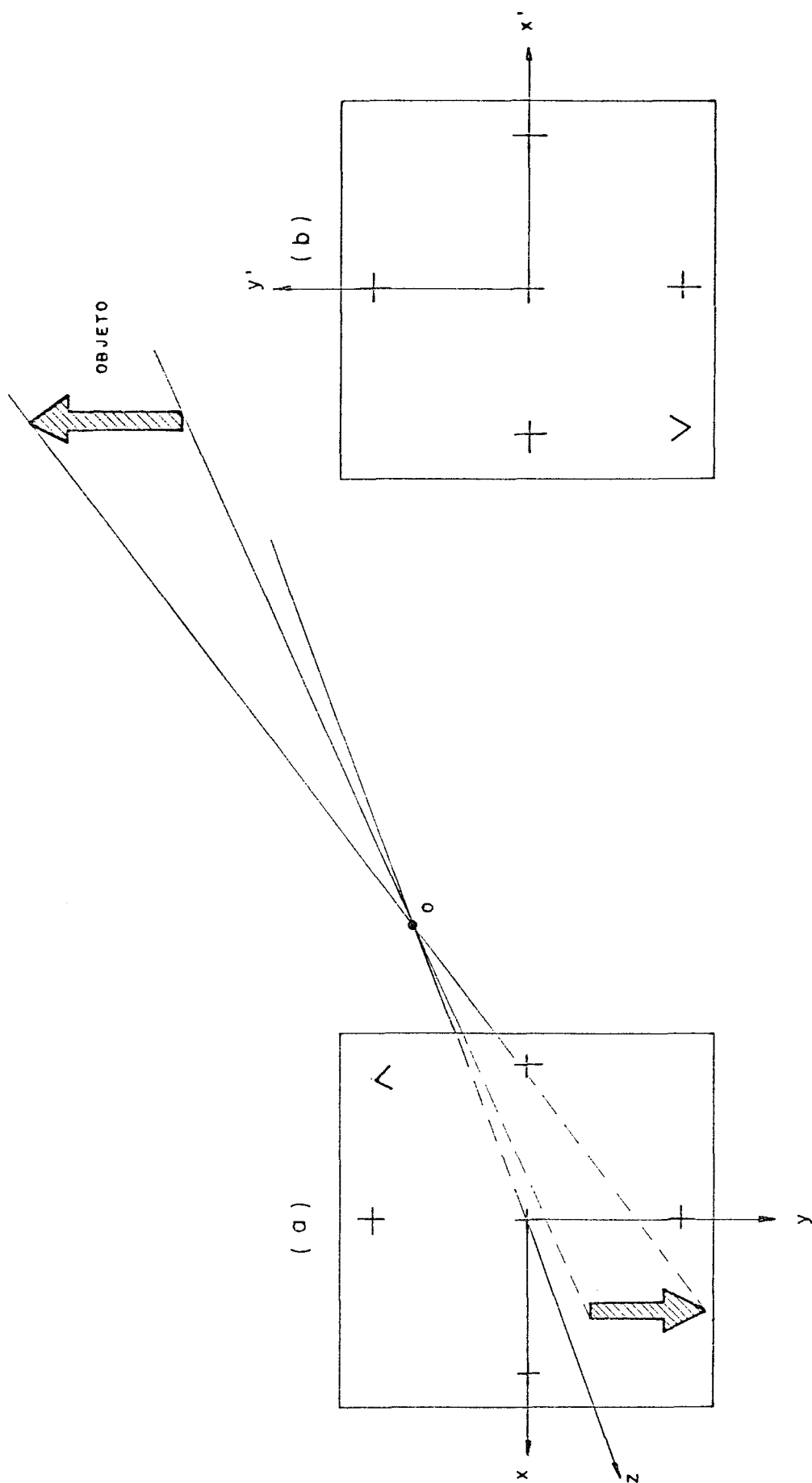


FIGURA 3.6. (a) Situação do "reseau" no instante da exposição.  
 (b) Situação do negativo no porta-placas.



Figura 3.6c - Situação do negativo no porta-placas.

operação deste programa é extremamente simples. Inicialmente, deve ser feito o controle dos parâmetros, através do programa de aplicação PARAMETER CONTROL. Isto é, atualizar, se necessário, os valores que regem a operação do B70. Em seguida, via painel de comando, o programa B70 é chamado. Daí em diante, o operador leva a marca de referência ao ponto de interesse e faz o sistema registrar a identificação e coordenadas deste ponto, automaticamente [28].

A saída da informação pode ser dada em uma das seis unidades: terminal de vídeo (1), discos (2 e 3), fitas cassetes (4 e 5), impressora (6).

Se os programas computacionais mencionados em (2.1.9.) estivessem editados no sistema PLANICOMP (HP 1000), o trabalho teria tido melhor rendimento. Entretanto, estes programas estão armazenados no sistema DEC 10 do CCE/UFPR, fato que gerou uma solução de continuidade no esquema de automatização.

Considerando-se os dois últimos parágrafos, a rotina estabelecida foi fazer a saída dos dados na impressora do sistema PLANICOMP e daí digitá-los de modo a serem armazenados num arquivo em disco no sistema DEC-10. Uma rotina que funcionaria quase automaticamente seria a armazenagem dos dados numa fita cassete (unidade de saída 4 ou 5) do sistema PLANICOMP. Daí, levada a um sistema decodificador, a fim de transferir seus dados para uma fita magnética de rolo, de modo a ser lida no sistema DEC-10. Entretanto, esta solução traria um elemento complicador à pesquisa, qual seja, seu caráter inédito, considerado o sistema PLANICOMP, fato que, no entender do autor, afastaria a pesquisa do seu objetivo maior.

Voltando à observação dos negativos, duas séries de leituras foram obtidas de cada um. Em média, em cada foto foram

observados 75 pontos de "reseau" e 30 pontos imagem, totalizando 105 pontos por foto. Este número multiplicado por quatro dá o número aproximado de pontos lidos, isto é, 420. Como cada negativo foi medido duas vezes, este número dobrado dá 840: o número médio de vezes que a marca de referência foi posicionada para leitura. Dobrando-se mais uma vez, chega-se à quantidade média de coordenadas de máquina (x,y) armazenadas: 1680.

Observação: Foi dito em (3.1.3.) que havia 28 pontos medidos no modelo hidráulico; entretanto, o número de pontos sinalizados foi maior, embora nem todos tenham sido medidos.

### 3.2.2. Numeração dos pontos-imagem (programa RESEAU).

Pouco há a ser acrescentado em relação ao item (2.1.9.1.). Entretanto, merece ser evidenciado o fato de que o armazenamento das coordenadas de máquina é feito apenas uma vez em um arquivo que será processado pelo programa RESEAU. O resultado deste processamento é automaticamente armazenado em outro arquivo, que será por sua vez processado pelo programa TRISO e assim por diante.

Para ilustrar, a Figura 3.7. mostra o esquema de armazenamento dos dados a serem processados pelo RESEAU,

Portanto, o retângulo representante do bloco de dados de entrada possui 840 linhas por 5 colunas. Cada linha equivale a um registro da posição da marca de referência. Acrescente-se mais uma linha no final do arquivo para informar o encerramento.

A coluna NADA assimila os zeros perfurados pelo dispositivo de registro do comparador no cartão de dados. Embora cartões não tenham sido usados neste trabalho, a coluna NA

	NADA	NF	NP	IX	IY	
1ª SÉRIE DE LEITURAS DA FOTO 01	00	01	00	( I )	( I )	4 LINHAS EQUIVALENDO ÀS 4 MARCAS FIDUCIAIS
	00	01	00	( I )	( I )	DEMAIS "reseau"
	00	01	100 1000	( I )	( I )	PONTOS - PASSAGEM
2ª SÉRIE DE LEITURAS DA FOTO 01	00	01	00	( I' )	( I' )	4 LINHAS EQUIVALENDO ÀS 4 MARCAS FIDUCIAIS ANTERIORES
	00	01	00	( I' )	( I' )	DEMAIS "reseau"
	00	01	100 1000	( I' )	( I' )	PONTOS - PASSAGEM
3ª SÉRIE DE LEITURAS DA FOTO 04	00	04	00	( I'' )	( I'' )	4 LINHAS EQUIVALENDO ÀS 4 MARCAS FIDUCIAIS
	00	04	00	( I'' )	( I'' )	DEMAIS "reseau"
	00	04	100 1000	( I'' )	( I'' )	PONTOS - PASSAGEM

FIGURA 3.7. Forma dos dados de entrada para o programa RESEAU .

DA foi mantida para não alterar o programa RESEAU.

A forma do bloco de dados de saída é levemente alterada. A coluna NADA é eliminada e a coluna NP é atualizada com os pontos-reseau codificados conforme (2.1.9.1.e).

### 3.2.3. Correção da deformação do filme (programa TRISO).

À semelhança do item anterior, para ilustrar a organização dos dados de entrada, é mostrada a Figura 3.8., construída a partir das informações (2.1.9.2a,b,c).

O resultado do processamento deste arquivo de dados, pelo programa TRISO, é um relatório que informa quais os pontos ("reseau" ou alvo) que foram eliminados pelo critério da discrepância maior do que  $10 \mu\text{m}$ , entre duas coordenadas medidas de um mesmo ponto. Informa também os coeficientes da transformação isogonal para cada ponto-alvo, as suas coordenadas ajustadas ao sistema fiducial e o desvio-padrão médio das coordenadas  $x'$  e  $y'$

Para as quatro fotos utilizadas, os desvios-padrão médios das coordenadas foram:  $\sigma_{x'} = 3,0 \mu\text{m}$  e  $\sigma_{y'} = 4,0 \mu\text{m}$ .

A média aritmética simples entre eles foi adotada como desvio-padrão das coordenadas de foto. Consequentemente, a variância considerada no trabalho foi  $\sigma_{\text{foto}}^2 = 1,225 \times 10^{-5} \text{ mm}^2$ .

O número do ponto-alvo e suas coordenadas fiduciais ajustadas são armazenadas num terceiro arquivo de dados, o qual será processado na fototriangulação.

Nº E COORDENADAS DO  
" reseau " CALIBRADO

NP	X	Y
105105	- 25 .	- 25 .
155155	25 .	25 .

SAÍDA DO RESEAU

NF	NP	IX	IY

FIGURA 3.8. Forma dos dados de entrada para o programa TRISO .

### 3.2.4. Fototriangulação (programa CALI)

O objetivo do presente trabalho, relembrando, é a verificação da construção de um modelo hidráulico. A metodologia proposta estabelece que "as coordenadas de alguns pontos do modelo hidráulico são testadas nos mapas topográficos que serviram de base para a construção do modelo hidráulico. Estas coordenadas serão dadas pelo processo da fototriangulação analítica, realizada pelo programa CALI.

O ajustamento das observações é simultâneo. As coordenadas procuradas são encontradas, a partir de valores aproximados, juntamente com as demais incógnitas do problema. Deve-se cuidar, entretanto, da avaliação dos valores aproximados. Por exemplo, os ângulos eulerianos  $\omega_0 \phi_0 \kappa_0$  não devem discrepar de mais de  $20^\circ$  em relação aos seus valores estimados, sob pena de impossibilitar a convergência da solução procurada.

No programa CALI as derivadas das equações de condição (2.13.) estão com o sinal trocado, se comparadas às derivadas apresentadas por MERCHANT [17]. Isto equivale a trocar o sinal da distância focal "f" (distância principal de projeção). Ora, o negativo colocado no porta-placas, de modo que a imagem fique na posição direta, comporta-se semelhante a um diapositivo. Em (2.1.1.2.) foi dito que  $f < 0$  para o diapositivo. Considerando agora a troca de sinal da derivada, deduz-se que a distância focal neste caso é positiva, portanto,  $f = +80$  mm, valor esse que é lido como uma aproximação ao parâmetro distância focal.

A forma dos dados de entrada segue a do arquivo de saída do programa TRISO. Contudo, faz-se necessário acrescentar várias informações de interesse específico a cada processamento, ou seja, a cada teste. Para isto, no arquivo CALI.FOR há comentários instrutivos.



#### 4. APLICAÇÃO (TESTES DE FOTOTRIANGULAÇÃO)

APLICAÇÕES (TESTES DE VERIFICAÇÃO)

A investigação proposta, na fase de gabinete, resumiu-se a um conjunto de testes, divididos ou reunidos em grupos para melhor compreensão de suas características semelhantes. O quadro abaixo resume estas características, para 12 testes.

Quadro 4.1 - Testes realizados e suas características.

GRUPO	SUB-GRUPO	TESTES	Nº PONTOS	Nº PONTOS CONTROLE	Nº DA FOTO FIXA	Nº DISTÂNCIAS
I	I-A	1	27	3 (*)	-	-
		2	27	5	-	-
	I-B	3	28	3 (*)	-	-
		4	28	4	-	-
		5	28	4	-	3
		6	28	3	-	3
II	II-A	7	28	-	4	1
		8	28	-	4	2
		9	28	-	4	3
	II-B	10	28	-	1	1
		11	28	-	1	2
		12	28	-	1	3

(\*) Número de injunções mínimo, isto é, 2HV e 1V; superabundância zero para definir o sistema de coordenadas-objeto.

Nos testes referentes ao grupo I foram utilizados pontos de controle. Os do grupo II abrem mão do controle, fixando-se uma das quatro fotos. Os subgrupos I-A e I-B diferem entre si da quantidade de pontos-objeto, 27 e 28, respectivamente; nos testes dos subgrupos II-A e II-B a diferença está na foto considerada fixa, a nº 4 e a nº 1, respectivamente.

Os resultados destes experimentos são apresentados a seguir, em quadros, nos quais distinguem-se as características de cada teste, elementos de orientação interior e orientação exterior, análise estatística e verificação da exatidão.

Merece ser explicado que os desvios-padrão (DP) dos elementos ajustados da orientação interior são obtidos extraíndo-se a raiz quadrada das variâncias dadas pelo ajustamento (diagonal da MVC - matriz variância covariância).

$$DP = \sqrt{\sigma_{ii}^2} \quad (4.1)$$

Entretanto, quando nenhuma foto é fixada, as variâncias-médias dos elementos da orientação exterior são calculadas entre as 4 fotos (também pelas variâncias obtidas através do ajustamento). Os desvios-padrão (DP) são dados pela soma dos desvios quadráticos em relação à variância-média, extraíndo-se a raiz quadrada.

$$DP = \sqrt{(\sum r_i^2 / (n-1))} \quad ; \quad (4.2)$$

$$r_i = \sigma_{ii}^2 - \bar{\sigma}^2 \quad (4.3)$$

#### 4.1. Testes do grupo I

À medida que os testes forem apresentados, comentários serão feitos a título de esclarecimento.

##### 4.1.1. Subgrupo I-A

Os testes 1 e 2 apresentam resultados que induzem a crer que os parâmetros  $K_2$  e  $K_3$  são efetivamente nulos, uma vez que os valores de  $x_0$ ,  $y_0$  e  $P_1$ ,  $P_2$ , que se correlacionam, apresentam-se relativamente grandes. Fisicamente, a explicação para esta correlação está no fato de que o ponto principal ( $x_0$ ,  $y_0$ ) é dado pela interseção do eixo ótico com o plano da fotografia, sendo que o eixo ótico está afetado pela operação de montagem do sistema de lentes, produzindo a distorção tangencial, cujos parâmetros são  $P_1$  e  $P_2$ .

As variâncias-médias da orientação exterior do teste 1 são menores do que as do teste 2, devido ao fato de que o sistema de coordenadas-objeto é definido por 7 valores (2HV, 1V). Pode-se dizer que a geometria interno do bloco (4 fotos) é preservada, sem ser afetada pelos erros das coordenadas-objeto.

Por outro lado, o teste 2 apresenta as variâncias dos elementos de orientação interior menores do que as do teste 1. Parece crível que o cone interno de cada exposição está menos afetado de erros observacionais, uma vez que o número de pontos de controle foi aumentado para 5. Em outras palavras, parte dos erros acidentais pode estar sendo descarregada na orientação exterior, por causa da superabundância na definição do sistema de coordenadas-objeto.

Em relação à exatidão, comparando-se os pontos 1102(\*) e 1105, o teste 2 apresenta melhores resultados do que o teste 1.

Quadro 4.2 - Sub-MVC do ponto 1102.

	XG	YG	ZG
XG	$9,1808 \cdot 10^{-5}$	$-6,4269 \cdot 10^{-6}$	$-2,9145 \cdot 10^{-6}$
YG	$-6,4269 \cdot 10^{-6}$	$2,8774 \cdot 10^{-5}$	$7,5188 \cdot 10^{-6}$
ZG	$-2,9145 \cdot 10^{-6}$	$7,5188 \cdot 10^{-6}$	$4,4017 \cdot 10^{-5}$

#### 4.1.2. Subgrupo I-B

Os testes reunidos neste subgrupo diferem dos anteriores na quantidade de pontos, 28. Além disto, o mais importante, é que os parâmetros  $K_2$ ,  $K_3$  foram fixados com valor nulo, mediante a atribuição de variâncias muito pequenas, o que equivale a pesos demasiadamente grandes.

$$K_2 = K_3 = 0 \quad ; \quad \sigma_{K_2}^2 = \sigma_{K_3}^2 = 10^{-35} \quad (4.4)$$

(\*) OBSERVAÇÃO: A coordenada Y do ponto 1102 foi definida com evidente erro grosseiro, em todos os testes, como será notado. Contudo, tal fato serve para mostrar que uma coordenada aproximada mal estimada pode ser corrigida a contento, sem interferir no resultado global, como pode-se ver na sub-MVC do ponto em questão, conforme quadro abaixo:

Com isto os resultados acusam valores provavelmente mais realistas, uma vez que as coordenadas do ponto principal  $(x_0, y_0)$  agora aproximam-se de zero. Também os valores de  $P_1$  e  $P_2$  assumem maior significância, pois nos testes anteriores seus desvios-padrão apresentavam valores na mesma ordem de grandeza da natureza dos parâmetros.

Dos quatro testes realizados, dois se destacam: o teste 4, na verificação da exatidão das coordenadas ajustadas e nas variâncias estimadas da orientação exterior ( $\sigma_\phi^2$  e  $\sigma_k^2$ ); o teste 5, apresentando variâncias estimadas menores tanto para orientação interior, quanto exterior ( $\sigma_\omega^2$ ).

O teste 4 foi realizado com quatro pontos de controle, enquanto que o teste 5 aproveitou os mesmos pontos, além de três distâncias medidas à trena.

Por causa da aparente semelhança entre estes testes, foram calculadas as médias dos desvios-padrão para as coordenadas XYZ. A comparação entre elas indica vantagem para o teste 5, o qual estima menor desvio-padrão planimétrico.

#### 4.2 Testes do grupo II

A característica principal destes experimentos é a fixação de uma determinada foto. Isto é, um feixe é orientado e posicionado em relação ao sistema de coordenadas-objeto, enquanto os demais ajustam-se livremente a ele.

Se a finalidade de um trabalho for apenas a calibração de câmaras, este método abre mão do controle no espaço-objeto, permitindo, ainda, fixar-se, arbitrariamente, um feixe pers

pectivo. Neste trabalho, entretanto, isto não ocorre, uma vez que o que se pretende é a determinação de um conjunto de coordenadas de pontos no modelo hidráulico, por meio de uma fototriangulação. Reitere-se, contudo, que os elementos de orientação interior são determinados no ajustamento, conforme já frisado, em capítulo anterior (acima).

Para fixar-se um dos feixes perspectivos, adotou-se o seguinte:

- 19) escolher a foto cuja MVC de testes anteriores proporcionou as menores variâncias;
- 29) atribuir variâncias iguais a  $10^{-4}$  a cada um dos seis elementos da orientação exterior |21|

Isto feito, para a foto 1, os valores escolhidos foram retirados da listagem (output) do teste 5, enquanto que para a foto 4 os valores foram retirados da listagem do teste 6.

Observe-se que, em virtude da primeira condição, acima, tais valores estão afetados pelos ajustamentos anteriores.

#### 4.2.1. Subgrupo II-A

Neste subgrupo estão reunidos três experimentos tendo a foto 4 fixada, variando-se o número de injunções de distância. Tendo por base as variâncias estimadas dos parâmetros da orientação interior, exterior e exatidão das coordenadas, o teste 9, com três injunções de distância, sobrepuja os demais (7 e 8) em todos os aspectos, sendo, então, o escolhido deste elenco.

#### 4.2.2. Subgrupo II-B

Neste subgrupo a foto 1 foi considerada fixa em três experimentos, também caracterizados pela variação do número de injunções de distância.

Da mesma maneira que o anterior o teste 12 (três in junções de distância) supera os testes 10 e 11, nas mesmas ba ses, sendo também o escolhido deste conjunto. Contudo, observa-se que os desvios-padrão das variâncias-médias mostram perda de significância por serem maiores do que as estimativas das mé dias das variâncias.

#### 4.3. Seleção dos testes

Dentre os experimentos destacados, dois foram escolhidos para a comparação entre as coordenadas de pontos do modelo hidráulico e a carta topográfica.

##### 4.3.1. Do grupo I

Entre os testes 4 e 5, foi escolhido o teste 5, por que utilizou três injunções de distância, tornando-se assim com patível com os melhores resultados do grupo II.

##### 4.3.2. Do grupo II

Entre os testes 9 e 12, foi escolhido o teste 9, por



QUADRO 4.3a: Características, orientação interior, orientação exterior e análise estatística.

TESTE Nº 1 SUB-GRUPO I-A

	PONTOS DE APOIO	OBSERVAÇÕES
NPT = 27	1100(3) 1108(3)	injunção mínima
NPC = 3	1103(1)	

	VALORES INICIAIS		VALORES AJUSTADOS		D.P. ( $\sqrt{\sigma^2}$ )	
	PARÂMETROS	VARIÂNCIAS	PARÂMETROS	VARIÂNCIAS ( $\sigma^2$ )		
INTERIOR	f	80 mm	l.	80,7190 mm	0,1566	0,3957
	x <sub>0</sub>	0	0,001	-0,0145 mm	0,0009	0,0305
	y <sub>0</sub>	0	0,001	-0,0134 mm	0,0010	0,0309
ORIENTAÇÃO	K <sub>1</sub>	0	0,001	-1,3926.10 <sup>-5</sup>	8,8826.10 <sup>-12</sup>	2,9804.10 <sup>-6</sup>
	K <sub>2</sub>	0	0,001	8,1467.10 <sup>-9</sup>	7,9904.10 <sup>-17</sup>	8,9389.10 <sup>-9</sup>
	K <sub>3</sub>	0	0,001	-6,9976.10 <sup>-12</sup>	7,1606.10 <sup>-23</sup>	8,4620.10 <sup>-12</sup>
	P <sub>1</sub>	0	0,001	-9,5002.10 <sup>-6</sup>	4,8563.10 <sup>-11</sup>	6,9687.10 <sup>-6</sup>
	P <sub>2</sub>	0	0,001	2,9152.10 <sup>-5</sup>	1,3990.10 <sup>-10</sup>	1,1828.10 <sup>-5</sup>

	VALORES INICIAIS		VARIÂNCIAS AJUSTADAS MÉDIAS	D.P. MÉDIO
	PARÂMETROS	VARIÂNCIAS		
EXTERIOR	x <sub>0</sub>		0,0049 m <sup>2</sup>	0,0016 m
	y <sub>0</sub>		0,0026	0,0008
	z <sub>0</sub>		0,0040	0,0015
ORIENTAÇÃO	ω		0,10617 <sup>o</sup>	0,02479 <sup>o</sup>
	φ		0,18874	0,00367
	k		0,18795	0,00828

ANÁLISE ESTATÍSTICA	VARIÂNCIA À PRIORI : 1	Nº DE ITERAÇÕES : 5	
	VARIÂNCIA À POSTERIORI : 1,045	CRITÉRIOS DE CONVERGÊNCIA	
	χ <sup>2</sup> CALCULADO : 108,652	ANGULAR	0,001
	GRAUS DE LIBERDADE : 104	CALIBRAÇÃO	0,001
	I.C. χ <sup>2</sup> ( 0,005 ) : 144,530	COORDENADAS	0,001
	99 % χ <sup>2</sup> ( 0,995 ) : 70,965	VARIÂNCIA FOTO-COORD. = 1,225x10 <sup>-5</sup>	

TEMPO DE CPU = 3min 06s

QUADRO 4.3b: VERIFICAÇÃO DA EXATIDÃO  
C.: controle

TESTE Nº 1

SUB-GRUPO I-A

PONTO	COORDENADAS		RESÍDUO	
	CONHECIDAS ( I )	AJUSTADAS ( II )	( I ) - ( II )	
1100	X	2,0000 m	2,0000 m	0,0 C
	Y	-0,6075	-0,6075 m	0,0 C
	Z	0,2217	0,2217 m	0,0 C
1101	X	0,9369	0,9347	0,0022
	Y	0,7912	0,7918	-0,0006
	Z	-0,0690	-0,0664	-0,0026
1102	X	0,5700	0,5647	0,0053
	Y	1,2740	1,8748	-0,6008
	Z	-0,2910	-0,2867	-0,0043
1103	X	0,5700	0,5644	0,0056
	Y	2,7740	2,7653	0,0087
	Z	0,3290	0,3290	0,0 C
1105	X	0,0100	0,0096	0,0004
	Y	1,8804	1,8754	0,0050
	Z	-0,3030	-0,3004	-0,0026
1106	X	0,4911	0,4894	0,0017
	Y	0,4524	0,4520	0,0004
	Z	-0,0262	-0,0254	-0,0008
1108	X	0,0000	0,0000	0,0 C
	Y	0,0000	0,0000	0,0 C
	Z	0,0000	0,0000	0,0 C

QUADRO 4.4a: Características, orientação interior, orientação exterior e análise estatística.

TESTE Nº 2 SUB-GRUPO I-A

		PONTOS DE APOIO			OBSERVAÇÕES
NPT =	27	1100(3)	1103(3)	1108(3)	
NPC =	5	1101(3)	1106(3)		

		VALORES INICIAIS		VALORES AJUSTADOS		D.P. ( $\sqrt{\sigma^2}$ )
		PARÂMETROS	VARIÂNCIAS	PARÂMETROS	VARIÂNCIAS ( $\sigma^2$ )	
INTERIOR	f	80 mm	l.	80,7557 mm	0,1522	0,3902
	x <sub>0</sub>	0	0,001	-0,0145 mm	0,0009	0,0305
	y <sub>0</sub>	0	0,001	-0,0135 mm	0,0010	0,0309
ORIENTAÇÃO	k <sub>1</sub>	0	0,001	-1,3814.10 <sup>-5</sup>	8,8389.10 <sup>-12</sup>	2,9730.10 <sup>-6</sup>
	k <sub>2</sub>	0	0,001	7,9130.10 <sup>-9</sup>	7,9720.10 <sup>-17</sup>	8,9286.10 <sup>-9</sup>
	k <sub>3</sub>	0	0,001	-6,7309.10 <sup>-12</sup>	7,1366.10 <sup>-23</sup>	8,4478.10 <sup>-12</sup>
	p <sub>1</sub>	0	0,001	-8,8597.10 <sup>-6</sup>	4,7192.10 <sup>-11</sup>	6,8696.10 <sup>-6</sup>
	p <sub>2</sub>	0	0,001	2,7962.10 <sup>-5</sup>	1,3508.10 <sup>-10</sup>	1,1622.10 <sup>-5</sup>

	VALORES INICIAIS		VARIÂNCIAS AJUSTADAS MÉDIAS	D.P. MÉDIO
	PARÂMETROS	VARIÂNCIAS		
EXTERIOR	x <sub>0</sub>		0,0155 m <sup>2</sup>	0,0060 m
	y <sub>0</sub>		0,0028	0,0010
	z <sub>0</sub>		0,0063	0,0035
ORIENTAÇÃO	ω		0,33111 <sup>o</sup> 2	0,21556 <sup>o</sup>
	φ		0,87600	0,19136
	k		0,39393	0,22156

ANÁLISE ESTADÍSTICA	VARIÂNCIA À PRIORI : 1		Nº DE ITERAÇÕES : 5	
	VARIÂNCIA À POSTERIORI : 0,973		CRITÉRIOS DE CONVERGÊNCIA	
	χ <sup>2</sup> CALCULADO : 108,972		ANGULAR	0,001
	GRAUS DE LIBERDADE : 112		CALIBRAÇÃO	0,001
	I.C. χ <sup>2</sup> ( 0,005 ) : 154,090		COORDENADAS	0,001
	99 % χ <sup>2</sup> ( 0,995 ) : 77,407		VARIÂNCIA FOTO-COORD. = 4,225x10 <sup>-5</sup>	

TEMPO DE CPU = 3min 06s

QUADRO 4.4b: VERIFICAÇÃO DA EXATIDÃO  
C.: controle

TESTE Nº 2

SUB-GRUPO I-A

PONTO	COORDENADAS		RESÍDUO (I) - (II)	
	CONHECIDAS (I)	AJUSTADAS (II)		
1100	X	2,0000 m	2,0020	-0,0020 C.
	Y	-0,6075	-0,6102	0,0027 C
	Z	0,2217	0,2215	0,0002 C
1101	X	0,9369	0,9372	-0,0003 C
	Y	0,7912	0,7935	-0,0023 C
	Z	-0,0690	-0,0678	-0,0012 C
1102	X	0,5700	0,5684	0,0016
	Y	1,2740	1,8794	-0,6054
	Z	-0,2910	-0,2883	-0,0027
1103	X	0,5700	0,5690	0,0010 C
	Y	2,7740	2,7715	0,0025 C
	Z	0,3290	0,3290	0,0000 C
1105	X	0,0100	0,0123	-0,0023
	Y	1,8604	1,8809	-0,0005
	Z	-0,3030	-0,3027	-0,0003
1106	X	0,4911	0,4905	0,0006 C
	Y	0,4524	0,4537	-0,0013 C
	Z	-0,0262	-0,0273	0,0011 C
1108	X	0,0000	-0,0007	0,0007 C
	Y	0,0000	0,0016	-0,0016 C
	Z	0,0000	-0,0025	0,0025 C

QUADRO 4.5a: Características, orientação interior, orientação exterior e análise estatística.

TESTE Nº 3

SUB-GRUPO I-B

	PONTOS DE APOIO	OBSERVAÇÕES
NPT = 28	1101(3)      1108(3)	injunção mínima
NPC = 3	1103(1)	

	VALORES INICIAIS		VALORES AJUSTADOS		D.P. ( $\sqrt{\sigma^2}$ )	
	PARÂMETROS	VARIÂNCIAS	PARÂMETROS	VARIÂNCIAS ( $\sigma^2$ )		
INTERIOR	f	80 mm	1.	80,7507 mm	0,1878	0,4334.
	x <sub>0</sub>	0	0,001	-0,0022 mm	0,0010	0,0311
	y <sub>0</sub>	0	0,001	-0,0070 mm	0,0010	0,0313
ORIENTAÇÃO	k <sub>1</sub>	0	0,001	-0,9506.10 <sup>-5</sup>	7,8593.10 <sup>-13</sup>	8,8653.10 <sup>-7</sup>
	k <sub>2</sub>	0	10 <sup>-35</sup>	0,4207.10 <sup>-26</sup>	1.10 <sup>-35</sup>	3,1623.10 <sup>-18</sup>
	k <sub>3</sub>	0	10 <sup>-35</sup>	0,2966.10 <sup>-23</sup>	1.10 <sup>-35</sup>	3,1623.10 <sup>-18</sup>
	p <sub>1</sub>	0	0,001	-0,1139.10 <sup>-4</sup>	8,9350.10 <sup>-11</sup>	9,4525.10 <sup>-6</sup>
	p <sub>2</sub>	0	0,001	0,2566.10 <sup>-4</sup>	1,9466.10 <sup>-10</sup>	1,3952.10 <sup>-5</sup>

	VALORES INICIAIS		VARIÂNCIAS AJUSTADAS MÉDIAS	D.P. MÉDIO
	PARÂMETROS	VARIÂNCIAS		
EXTERIOR	x <sub>0</sub>		0,0161 m <sup>2</sup>	0,0047 m
	y <sub>0</sub>		0,0064	0,0024
ORIENTAÇÃO	z <sub>0</sub>		0,0101	0,0036
	ω		0,2127 <sup>o</sup> 2	0,0233 <sup>o</sup>
	φ		0,8107	0,0607
	k		0,6314	0,0543

ANÁLISE ESTADÍSTICA	VARIÂNCIA A PRIORI : 1	Nº DE ITERAÇÕES : 5	
	VARIÂNCIA A POSTERIORI : 0,9989	CRITÉRIOS DE CONVERGÊNCIA	
	χ <sup>2</sup> CALCULADO : 96,893	ANGULAR	0,001
	GRAUS DE LIBERDADE : 97	CALIBRAÇÃO	0,001
	I.C. χ <sup>2</sup> ( 0,005 ) : 136,165	COORDENADAS	0,001
	99 % χ <sup>2</sup> ( 0,995 ) : 65,327	VARIÂNCIA FOTO-COORD. = 4,225x10 <sup>-5</sup>	

TEMPO DE CPU = 3min 19s

## QUADRO 4.5b; VERIFICAÇÃO DA EXATIDÃO.

C : CONTROLE.

TESTE Nº 3

SUB-GRUPO I-B

PONTO		COORDENADAS		RESÍDUO
		CONHECIDAS ( I )	AJUSTADAS ( II )	( I ) - ( II )
1101	X	0,9369	0,9369	
	Y	0,7912	0,7912	controle
	Z	-0,0690	-0,0690	
1102	X	0,5700	0,5678	0,0022 m
	Y	1,2740	1,8760	-0,6020 m
	Z	-0,2910	-0,2874	-0,0036 m
1103	X	0,5700	0,5710	-0,0010
	Y	2,7740	2,7667	0,0073
	Z	0,3290	0,3290	controle Z
1105	X	0,0100	0,0120	-0,0020
	Y	1,8804	1,8776	0,0028
	Z	-0,3030	-0,2999	-0,0031
1106	X	0,4911	0,4907	0,0004
	Y	0,4524	0,4517	0,0007
	Z	-0,0262	-0,0268	0,0006
1108	X	0,0	0,0	
	Y	0,0	0,0	controle
	Z	0,0	0,0	

QUADRO 4.6a: Características, orientação interior, orientação exterior e análise estatística.

## TESTE Nº 4 SUB-GRUPO I-B

		PONTOS DE APOIO		OBSERVAÇÕES
NPT =	28	1101 (3)	1106 (3)	
NPC =	4	1103 (3)	1108 (3)	

		VALORES INICIAIS		VALORES AJUSTADOS		D.P. ( $\sqrt{\sigma^2}$ )
		PARÂMETROS	VARIÂNCIAS	PARÂMETROS	VARIÂNCIAS ( $\sigma^2$ )	
INTERIOR	f	80 mm	1.	80,7569 mm	0,1868	0,4322
	x <sub>0</sub>	0	0,001	-0,0022 mm	0,0010	0,0311
	y <sub>0</sub>	0	0,001	-0,0070 mm	0,0010	0,0313
	K <sub>1</sub>	0	0,001	-0,9502.10 <sup>-5</sup>	7,8529.10 <sup>-13</sup>	8,8617.10 <sup>-7</sup>
ORIENTAÇÃO	K <sub>2</sub>	0	10 <sup>-35</sup>	0,4209.10 <sup>-26</sup>	1.10 <sup>-35</sup>	3,1623.10 <sup>-18</sup>
	K <sub>3</sub>	0	10 <sup>-35</sup>	0,2968.10 <sup>-23</sup>	1.10 <sup>-35</sup>	3,1623.10 <sup>-18</sup>
	P <sub>1</sub>	0	0,001	-0,1126.10 <sup>-4</sup>	8,8914.10 <sup>-11</sup>	9,4294.10 <sup>-6</sup>
	P <sub>2</sub>	0	0,001	0,2547.10 <sup>-4</sup>	1,9367.10 <sup>-10</sup>	1,3917.10 <sup>-5</sup>

	VALORES INICIAIS		VARIÂNCIAS AJUSTADAS MÉDIAS	D.P. MÉDIO
	PARÂMETROS	VARIÂNCIAS		
EXTERIOR	x <sub>0</sub>		0,0107 m <sup>2</sup>	0,0043 m
	y <sub>0</sub>		0,0017	0,0005
	z <sub>0</sub>		0,0048	0,0010
ORIENTAÇÃO	ω		0,1332 <sup>o</sup> 2	0,0434 <sup>o</sup>
	φ		0,5676	0,1429
	K		0,3888	0,1615

ESTATÍSTICA	VARIÂNCIA À PRIORI : 1	Nº DE ITERAÇÕES : 5	
	VARIÂNCIA À POSTERIORI : 0,9505	CRITÉRIOS DE CONVERGÊNCIA	
ANÁLISE	χ <sup>2</sup> CALCULADO : 96,951	ANGULAR	0,001
	GRAUS DE LIBERDADE : 102	CALIBRAÇÃO	0,001
	I.C. χ <sup>2</sup> ( 0,005 ) : 142,140	COORDENADAS	0,001
	99 % χ <sup>2</sup> ( 0,995 ) : 69,354	VARIÂNCIA FOTO-COORD. = 1,225x10 <sup>-5</sup>	

TEMPO DE CPU = 3min 19s.

QUADRO 4.6b: EXATIDÃO E MÉDIA DOS DESVIOS-PADRÃO ESTIMADOS  
PARA COORDENADAS-OBJETO AJUSTADAS.

C : CONTROLE.

n = 28 pontos	DESVIOS - PADRÃO ESTIMADOS ( m )		
	DPX	DPY	DPZ
MÉDIA	0,0092	0,0089	0,0183
D. P.	0,0031	0,0032	0,0118

TESTE Nº 4

SUB - GRUPO I-B

PONTO		COORDENADAS		RESÍDUO
		CONHECIDAS ( I )	AJUSTADAS ( II )	( I ) - ( II )
1101	X	0,9369	0,9380	-0,0011 C
	Y	0,7912	0,7928	-0,0016 C
	Z	-0,0690	-0,0688	-0,0002 C
1102	X	0,5700	0,5677	0,0023
	Y	1,2740	1,8800	-0,6060
	Z	-0,2910	-0,2885	-0,0025
1103	X	0,5700	0,5701	-0,0001 C
	Y	2,7740	2,7732	0,0008 C
	Z	0,3290	0,3289	0,0001 C
1105	X	0,0100	0,0105	-0,0005
	Y	1,8804	1,8813	-0,0009
	Z	-0,3030	-0,3014	-0,0016
1106	X	0,4911	0,4908	0,0003 C
	Y	0,4524	0,4523	0,0001 C
	Z	-0,0262	-0,0265	0,0003 C
1108	X	0,0	-0,0009	0,0009 C
	Y	0,0	-0,0007	0,0007 C
	Z	0,0	0,0003	-0,0003 C



QUADRO 4.7a: Características, orientação interior, orientação exterior e análise estatística.

## TESTE Nº 5 SUB-GRUPO I-B

	PONTOS DE APOIO	OBSERVAÇÕES
NPT = 28	1101(3)      1106(3)	3 distâncias
NPC = 4	1103(3)      1108(3)	

	VALORES INICIAIS		VALORES AJUSTADOS		D.P. ( $\sqrt{\sigma^2}$ )	
	PARÂMETROS	VARIÂNCIAS	PARÂMETROS	VARIÂNCIAS ( $\sigma^2$ )		
INTERIOR	f	80 mm	l.	80,2769 mm	0,1005	0,3170
	x <sub>0</sub>	0	0,001	-0,0038 mm	0,0010	0,0310
	y <sub>0</sub>	0	0,001	-0,0083 mm	0,0010	0,0313
ORIENTAÇÃO	K <sub>1</sub>	0	0,001	-0,1007.10 <sup>-4</sup>	6,6080.10 <sup>-13</sup>	8,1290.10 <sup>-7</sup>
	K <sub>2</sub>	0	10 <sup>-35</sup>	0,3124.10 <sup>-26</sup>	10 <sup>-35</sup>	3,1623.10 <sup>-12</sup>
	K <sub>3</sub>	0	10 <sup>-35</sup>	0,2170.10 <sup>-23</sup>	10 <sup>-35</sup>	3,1623.10 <sup>-12</sup>
	P <sub>1</sub>	0	0,001	=0,1864.10 <sup>-4</sup>	6,2753.10 <sup>-11</sup>	7,9217.10 <sup>-6</sup>
	P <sub>2</sub>	0	0,001	0,3904.10 <sup>-4</sup>	1,1442.10 <sup>-10</sup>	1,0697.10 <sup>-5</sup>

	VALORES INICIAIS		VARIÂNCIAS AJUSTADAS MÉDIAS	D.P. MÉDIO
	PARÂMETROS	VARIÂNCIAS		
EXTERIOR	x <sub>0</sub>		0,0101 m <sup>2</sup>	0,0041 m
	y <sub>0</sub>		0,0014	0,0004
	z <sub>0</sub>		0,0033	0,0005
ORIENTAÇÃO	ω		0,1327 <sup>o</sup>	0,0440 <sup>o</sup>
	φ		0,5684	0,1431
	k		0,3904	0,1620

ANÁLISE ESTADÍSTICA	VARIÂNCIA A PRIORI : 1	Nº DE ITERAÇÕES : 5	
	VARIÂNCIA A POSTERIORI : 1,020	CRITÉRIOS DE CONVERGÊNCIA	
	χ <sup>2</sup> CALCULADO : 107,100	ANGULAR	0,001
	GRAUS DE LIBERDADE : 105	CALIBRAÇÃO	0,001
	I.C. χ <sup>2</sup> ( 0,005 ) : 145,725	COORDENADAS	0,001
99 % χ <sup>2</sup> ( 0,995 ) : 71,770	VARIÂNCIA FOTO-COORD. = 1,225x10 <sup>-5</sup>		

TEMPO DE CPU = 3min 19s

QUADRO 4.7b; EXATIDÃO E MÉDIA DOS DESVIOS-PADRÃO ESTIMADOS  
PARA COORDENADAS-OBJETO AJUSTADAS.

C : CONTROLE.

n = 28 pontos	DESVIOS - PADRÃO ESTIMADOS ( m )		
	DPX	DPY	DPZ
MÉDIA	0,0077	0,0077	0,0183
D. P.	0,0019	0,0032	0,0118

TESTE Nº 5

SUB - GRUPO I-B

PONTO		COORDENADAS		RESÍDUO
		CONHECIDAS ( I )	AJUSTADAS ( II )	( I ) - ( II )
1101	X	0,9369	0,9373	-0,0004 C
	Y	0,7912	0,7936	-0,0024 C
	Z	-0,0690	-0,0686	-0,0004 C
1102	X	0,5700	0,5680	0,0020
	Y	1,2740	1,8790	-0,6050
	Z	-0,2910	-0,2879	-0,0031
1103	X	0,5700	0,5701	-0,0001 C
	Y	2,7740	2,7701	0,0039 C
	Z	0,3290	0,3283	0,0007 C
1105	X	0,0100	0,0119	-0,0019
	Y	1,8804	1,8803	0,0001
	Z	-0,3030	-0,3010	-0,0020
1106	X	0,4911	0,4909	0,0002 C
	Y	0,4524	0,4535	-0,0011 C
	Z	-0,0262	-0,0262	0,0000 C
1108	X	0,0	-0,0003	0,0003 C
	Y	0,0	0,0005	-0,0005 C
	Z	0,0	0,0003	-0,0003 C

QUADRO 4.8a: Características, orientação interior, orientação exterior e análise estatística.

TESTE Nº 6

SUB-GRUPO I-B

		PONTOS DE APOIO		OBSERVAÇÕES
NPT =	28	1101(3)	1108(3)	3 distâncias
NPC =	3	1103(1)		

ORIENTAÇÃO	INTERIOR	VALORES INICIAIS		VALORES AJUSTADOS		D.P. ( $\sqrt{\sigma^2}$ )
		PARÂMETROS	VARIÂNCIAS	PARÂMETROS	VARIÂNCIAS ( $\sigma^2$ )	
	f	80 mm	1.	80,2709 mm	0,1007	0,3173
	x <sub>0</sub>	0	0,001	-0,0038 mm	0,0010	0,0310
	y <sub>0</sub>	0	0,001	-0,0082 mm	0,0010	0,0313
	K <sub>1</sub>	0	0,001	-0,1007.10 <sup>-4</sup>	6,6092.10 <sup>-13</sup>	8,1297.10 <sup>-7</sup>
	K <sub>2</sub>	0	10 <sup>-35</sup>	0,3130.10 <sup>-26</sup>	10 <sup>-35</sup>	3,1623.10 <sup>-18</sup>
	K <sub>3</sub>	0	10 <sup>-35</sup>	0,2173.10 <sup>-23</sup>	10 <sup>-35</sup>	3,1623.10 <sup>-18</sup>
	P <sub>1</sub>	0	0,001	-0,1877.10 <sup>-4</sup>	6,2854.10 <sup>-11</sup>	7,9281.10 <sup>-6</sup>
	P <sub>2</sub>	0	0,001	0,3923.10 <sup>-4</sup>	1,1463.10 <sup>-10</sup>	1,0707.10 <sup>-5</sup>

ORIENTAÇÃO	EXTERIOR	VALORES INICIAIS		VARIÂNCIAS AJUSTADAS MÉDIAS	D.P. MÉDIO
		PARÂMETROS	VARIÂNCIAS		
	x <sub>0</sub>			0,0146 m <sup>2</sup>	0,0047 m
	y <sub>0</sub>			0,0031	0,0011
	z <sub>0</sub>			0,0036	0,0005
	ω			0,2015 <sup>o</sup> 2	0,0199 <sup>o</sup>
	φ			0,8017	0,0599
	K			0,6281	0,0534

ANÁLISE ESTADÍSTICA	VARIÂNCIA A PRIORI : 1	Nº DE ITERAÇÕES : 5	
	VARIÂNCIA A POSTERIORI : 1,069	CRITÉRIOS DE CONVERGÊNCIA	
	χ <sup>2</sup> CALCULADO : 106,9	ANGULAR	0,001
	GRAUS DE LIBERDADE : 100	CALIBRAÇÃO	0,001
	I.C. χ <sup>2</sup> ( 0,005 ) : 139,750	COORDENADAS	0,001
	99 % χ <sup>2</sup> ( 0,995 ) : 67,743	VARIÂNCIA FOTO - COORD. = 1,225x10 <sup>-5</sup>	

TEMPO DE CPU = 3min 19s

## QUADRO 4.8b: VERIFICAÇÃO DA EXATIDÃO.

C : CONTROLE.

TESTE Nº 6

SUB-GRUPO I-B

PONTO		COORDENADAS		RESÍDUO
		CONHECIDAS ( I )	AJUSTADAS ( II )	( I ) - ( II )
1101	X	0,9369	0,9376	-0,0007 C
	Y	0,7912	0,7918	-0,0006 C
	Z	-0,0690	-0,0691	0,0001 C
1102	X	0,5700	0,5690	0,0010
	Y	1,2740	1,8776	-0,6036
	Z	-0,2910	-0,2876	-0,0034
1103	X	0,5700	0,5723	-0,0023
	Y	2,7740	2,7683	0,0057
	Z	0,3290	0,3290	0,0000 C
1105	X	0,0100	0,0129	-0,0029
	Y	1,6804	1,8793	0,0011
	Z	-0,3030	-0,3004	-0,0026
1106	X	0,4911	0,4909	0,0002
	Y	0,4524	0,4520	0,0004
	Z	-0,0262	-0,0266	0,0004
1108	X	0,0	-0,0007	0,0007 C
	Y	0,0	-0,0006	0,0006 C
	Z	0,0	0,0001	-0,0001 C

QUADRO 4.9a: Características, orientação interior, orientação exterior e análise estatística.

## TESTE Nº 7 SUB-GRUPO II-A

	PONTOS DE APOIO	OBSERVAÇÕES
NPT = 28		Foto 4 fixa
NPC = -		1 distância

ORIENTAÇÃO	INTERIOR	VALORES INICIAIS		VALORES AJUSTADOS		D.P. ( $\sqrt{\sigma^2}$ )
		PARÂMETROS	VARIÂNCIAS	PARÂMETROS	VARIÂNCIAS ( $\sigma^2$ )	
	f	80 mm	1.	80,7507 mm <sub>me</sub>	0,1878	0,4334
	x <sub>0</sub>	0	0,001	-0,0022 mm <sub>me</sub>	0,0010	0,0311
	y <sub>0</sub>	0	0,001	-0,0070 mm <sub>me</sub>	0,0010	0,0313
	k <sub>1</sub>	0	0,001	-0,9506.10 <sup>-5</sup>	7,8593.10 <sup>-13</sup>	8,8653.10 <sup>-7</sup>
	k <sub>2</sub>	0	10 <sup>-35</sup>	0,4207.10 <sup>-26</sup>	10 <sup>-35</sup>	3,1623.10 <sup>-18</sup>
	k <sub>3</sub>	0	10 <sup>-35</sup>	0,2966.10 <sup>-23</sup>	10 <sup>-35</sup>	3,1623.10 <sup>-18</sup>
	p <sub>1</sub>	0	0,001	-0,1139.10 <sup>-4</sup>	8,9350.10 <sup>-11</sup>	9,4525.10 <sup>-6</sup>
	p <sub>2</sub>	0	0,001	0,2566.10 <sup>-4</sup>	1,9466.10 <sup>-10</sup>	1,3952.10 <sup>-5</sup>

ORIENTAÇÃO	EXTERIOR	VALORES INICIAIS ≡ Ajust.		VARIÂNCIAS AJUSTADAS MÉDIAS	D.P. MÉDIO
		PARÂMETROS	VARIÂNCIAS		
	x <sub>0</sub>	-1,991	0,0001	0,0011 m <sup>2</sup>	0,0007 m
	y <sub>0</sub>	4,607	0,0001	0,0002	0,0001
	z <sub>0</sub>	4,283	0,0001	0,0002	0,0001
	ω	-37,10240	0,0001	0,0043 <sup>o2</sup>	0,0031 <sup>o</sup>
	φ	-20,50842	0,0001	0,0050	0,0034
	k	203,20700	0,0001	0,0005	0,0004

ANÁLISE ESTATÍSTICA	VARIÂNCIA A PRIORI : 1	Nº DE ITERAÇÕES : 5	
	VARIÂNCIA A POSTERIORI : 0,9989	CRITÉRIOS DE CONVERGÊNCIA	
	χ <sup>2</sup> CALCULADO : 96,893	ANGULAR	0,001
	GRAUS DE LIBERDADE : 97	CALIBRAÇÃO	0,001
	I.C. χ <sup>2</sup> ( 0,005 ) : 136,165	COORDENADAS	0,001
	99 % χ <sup>2</sup> ( 0,995 ) : 65,327	VARIÂNCIA FOTO-COORD. = 4,225x10 <sup>-5</sup>	

TEMPO DE CPU = 3min 19s

QUADRO 4.9b: VERIFICAÇÃO DA EXATIDÃO.

TESTE Nº 7

SUB - GRUPO II-A

PONTO		COORDENADAS		RESÍDUO
		CONHECIDAS ( I )	AJUSTADAS ( II )	( I ) - ( II )
1101	X	0,9369	0,9400	-0,0031
	Y	0,7912	0,7841	0,0071
	Z	-0,0690	-0,0811	0,0121
1102	X	0,5700	0,5726	-0,0026
	Y	1,2740	1,8664	-0,5924
	Z	-0,2910	-0,2989	0,0079
1103	X	0,5700	0,5770	-0,0070
	Y	2,7740	2,7550	0,0190
	Z	0,3290	0,3157	0,0133
1105	X	0,0100	0,0182	-0,0082
	Y	1,8804	1,8685	0,0119
	Z	-0,3030	-0,3110	0,0080
1106	X	0,4911	0,4947	-0,0036
	Y	0,4524	0,4458	0,0066
	Z	-0,0262	-0,0386	0,0124
1108	X	0,0	0,0048	-0,0048
	Y	0,0	-0,0043	0,0043
	Z	0,0	-0,0114	0,0114

QUADRO 4.10a: Características, orientação interior, orientação exterior e análise estatística.

TESTE Nº 8

SUB-GRUPO II-A

	PONTOS DE APOIO	OBSERVAÇÕES
NPT = 28		Foto 4 fixa
NPC = -		2 distâncias

	VALORES INICIAIS		VALORES AJUSTADOS		D.P. ( $\sqrt{\sigma^2}$ )	
	PARÂMETROS	VARIÂNCIAS	PARÂMETROS	VARIÂNCIAS ( $\sigma^2$ )		
INTERIOR	f	80 mm	l.	80,9103 mm	0,1491	0,3861
	x <sub>0</sub>	0	0,001	-0,0018 mm	0,0010	0,0311
	y <sub>0</sub>	0	0,001	-0,0071 mm	0,0010	0,0313
	K <sub>1</sub>	0	0,001	-0,9307.10 <sup>-5</sup>	7,2396.10 <sup>-13</sup>	8,5086.10 <sup>-7</sup>
ORIENTAÇÃO	K <sub>2</sub>	0	10 <sup>-35</sup>	0,3770.10 <sup>-26</sup>	10 <sup>-35</sup>	3,1623.10 <sup>-18</sup>
	K <sub>3</sub>	0	10 <sup>-35</sup>	0,2687.10 <sup>-23</sup>	10 <sup>-35</sup>	3,1623.10 <sup>-18</sup>
	P <sub>1</sub>	0	0,001	-0,8348.10 <sup>-5</sup>	7,4844.10 <sup>-11</sup>	8,6512.10 <sup>-6</sup>
	P <sub>2</sub>	0	0,001	0,2051.10 <sup>-4</sup>	1,5318.10 <sup>-10</sup>	1,2377.10 <sup>-5</sup>

	VALORES INICIAIS = Ajust.		VARIÂNCIAS AJUSTADAS MÉDIAS	D.P. MÉDIO	
	PARÂMETROS	VARIÂNCIAS			
EXTERIOR	X <sub>0</sub>	-1,991	0,0001	0,0011 m <sup>2</sup>	0,0007 m
	Y <sub>0</sub>	4,607	0,0001	0,0002	0,0001
	Z <sub>0</sub>	4,283	0,0001	0,0002	0,0001
ORIENTAÇÃO	ω	-37,10240	0,0001	0,0040 <sup>02</sup>	0,0028 <sup>00</sup>
	φ	-20,50842	0,0001	0,0046	0,0031
	K	203,20700	0,0001	0,0004	0,0004

ESTATÍSTICA	VARIÂNCIA À PRIORI : 1	Nº DE ITERAÇÕES : 5	
	VARIÂNCIA À POSTERIORI : 0,9954	CRITÉRIOS DE CONVERGÊNCIA	
ANÁLISE	χ <sup>2</sup> CALCULADO : 97,549	ANGULAR	0,001
	GRAUS DE LIBERDADE : 98	CALIBRAÇÃO	0,001
	I.C. χ <sup>2</sup> ( 0,005 ) : 137,360	COORDENADAS	0,001
	99 % χ <sup>2</sup> ( 0,995 ) : 66,133	VARIÂNCIA FOTO - COORD. = 1,225x10 <sup>-5</sup>	

TEMPO DE CPU = 3min 12s

QUADRO 4.10b: VERIFICAÇÃO DA EXATIDÃO.

TESTE Nº 8

SUB - GRUPO II-A

PONTO		COORDENADAS		RESÍDUO
		CONHECIDAS ( I )	AJUSTADAS ( II )	( I ) - ( II )
1101	X	0,9369	0,9550	-0,0181
	Y	0,7912	0,7633	0,0279
	Z	-0,0690	-0,1060	0,0370
1102	X	0,5700	0,5863	-0,0163
	Y	1,2740	1,8497	-0,5757
	Z	-0,2910	-0,3245	0,0335
1103	X	0,5700	0,5910	-0,0210
	Y	2,7740	2,7419	0,0321
	Z	0,3290	0,2925	0,0365
1105	X	0,0100	0,0298	-0,0198
	Y	1,6804	1,8518	0,0286
	Z	-0,3030	-0,3366	0,0330
1106	X	0,4911	0,5080	-0,0169
	Y	0,4524	0,4238	0,0286
	Z	-0,0262	-0,0633	0,0371
1108	X	0,0	0,0164	-0,0164
	Y	0,0	-0,0277	0,0277
	Z	0,0	-0,0360	0,0360



QUADRO 4.11a: Características, orientação interior, orientação exterior e análise estatística.

## TESTE Nº 9 SUB-GRUPO II-A

	PONTOS DE APOIO	OBSERVAÇÕES
NPT = 28		Foto 4 fixa
NPC = -		3 distâncias

	VALORES INICIAIS		VALORES AJUSTADOS		D.P. ( $\sqrt{\sigma^2}$ )	
	PARÂMETROS	VARIÂNCIAS	PARÂMETROS	VARIÂNCIAS ( $\sigma^2$ )		
INTERIOR	f	80 mm	l.	80,2692 mm	0,1009	0,3176
	x <sub>0</sub>	0	0,001	-0,0038 mm	0,0010	0,0310
	y <sub>0</sub>	0	0,001	-0,0082 mm	0,0010	0,0313
ORIENTAÇÃO	K <sub>1</sub>	0	0,001	-0,1007.10 <sup>-4</sup>	6,6093.10 <sup>-13</sup>	8,1298.10 <sup>-7</sup>
	K <sub>2</sub>	0	10 <sup>-35</sup>	0,3126.10 <sup>-26</sup>	10 <sup>-35</sup>	3,1623.10 <sup>-18</sup>
	K <sub>3</sub>	0	10 <sup>-35</sup>	0,2170.10 <sup>-23</sup>	10 <sup>-35</sup>	3,1623.10 <sup>-18</sup>
	P <sub>1</sub>	0	0,001	-0,1881.10 <sup>-4</sup>	6,2952.10 <sup>-11</sup>	7,9342.10 <sup>-6</sup>
	P <sub>2</sub>	0	0,001	0,3928.10 <sup>-4</sup>	1,1480.10 <sup>-11</sup>	3,3882.10 <sup>-6</sup>

	VALORES INICIAIS e Ajust.		VARIÂNCIAS AJUSTADAS MÉDIAS	D.P. MÉDIO	
	PARÂMETROS	VARIÂNCIAS			
EXTERIOR	x <sub>0</sub>	-1,991	0,0001	0,0008 m <sup>2</sup>	0,0004 m
	y <sub>0</sub>	4,607	0,0001	0,0002	0,0001
	z <sub>0</sub>	4,283	0,0001	0,0002	0,0001
ORIENTAÇÃO	ω	-37,10240	0,0001	0,00340 <sup>2</sup>	0,00230°
	ψ	-20,50842	0,0001	0,0038	0,0025
	K	203,20700	0,0001	0,0004	0,0003

ESTADÍSTICA	VARIÂNCIA A PRIORI : 1	Nº DE ITERAÇÕES : 5	
	VARIÂNCIA A POSTERIORI : 1,079	CRITÉRIOS DE CONVERGÊNCIA	
ANÁLISE	χ <sup>2</sup> CALCULADO : 106,821	ANGULAR	0,001
	GRAUS DE LIBERDADE : 99	CALIBRAÇÃO	0,001
	I.C. χ <sup>2</sup> ( 0,005 ) : 138,555	COORDENADAS	0,001
	99 % χ <sup>2</sup> ( 0,995 ) : 66,938	VARIÂNCIA FOTO-COORD. = 1,225x10 <sup>-5</sup>	

TEMPO DE CPU = 3min 19s

QUADRO 4.11b: EXATIDÃO E MÉDIA DOS DESVIOS-PADRÃO ESTIMADOS  
PARA COORDENADAS-OBJETO AJUSTADAS.

n = 28 pontos	DESVIOS - PADRÃO ESTIMADOS ( m )		
	DPX	DPY	DPZ
MÉDIA	0,0131	0,0160	0,0196
D.P.	0,0002	0,0004	0,0003

TESTE Nº 9

SUB - GRUPO II-A

PONTO		COORDENADAS		RESÍDUO
		CONHECIDAS ( I )	AJUSTADAS ( II )	( I ) - ( II )
1101	X	0,9369	0,9373	-0,0004
	Y	0,7912	0,7914	-0,0002
	Z	-0,0690	-0,0689	-0,0001
1102	X	0,5700	0,5687	0,0013
	Y	1,2740	1,8772	-0,6032
	Z	-0,2910	-0,2875	-0,0035
1103	X	0,5700	0,5719	-0,0019
	Y	2,7740	2,7679	0,0061
	Z	0,3290	0,3291	-0,0001
1105	X	0,0100	0,0126	-0,0026
	Y	1,8804	1,8789	0,0015
	Z	-0,3030	-0,3003	-0,0027
1106	X	0,4911	0,4905	0,0006
	Y	0,4524	0,4516	0,0008
	Z	-0,0262	-0,0265	0,0003
1108	X	0,0	-0,0010	0,0010
	Y	0,0	-0,0010	0,0010
	Z	0,0	0,0002	-0,0002

QUADRO 4.120: Características, orientação interior, orientação exterior e análise estatística.

TESTE Nº 10 SUB-GRUPO II-B

	PONTOS DE APOIO	OBSERVAÇÕES
NPT = 28		Foto 1 fixa
NPC = -		1 distância

ORIENTAÇÃO	INTERIOR	VALORES INICIAIS		VALORES AJUSTADOS		D.P. ( $\sqrt{\sigma^2}$ )
		PARÂMETROS	VARIÂNCIAS	PARÂMETROS	VARIÂNCIAS ( $\sigma^2$ )	
	f	80 mm	1.	80,7507 mm	0,1878	0,4334
	x <sub>0</sub>	0	0,001	-0,0022 mm	0,0010	0,0311
	y <sub>0</sub>	0	0,001	-0,0070 mm	0,0010	0,0313
	k <sub>1</sub>	0	0,001	-0,9506.10 <sup>-5</sup>	7,8593.10 <sup>-13</sup>	8,8653.10 <sup>-7</sup>
	k <sub>2</sub>	0	10 <sup>-35</sup>	0,4207.10 <sup>-26</sup>	1.10 <sup>-35</sup>	3,1623.10 <sup>-18</sup>
	k <sub>3</sub>	0	10 <sup>-35</sup>	0,2966.10 <sup>-23</sup>	1.10 <sup>-35</sup>	3,1623.10 <sup>-18</sup>
	p <sub>1</sub>	0	0,001	-0,1139.10 <sup>-4</sup>	8,9350.10 <sup>-11</sup>	9,4525.10 <sup>-6</sup>
	p <sub>2</sub>	0	0,001	0,2566.10 <sup>-4</sup>	1,9466.10 <sup>-10</sup>	1,3952.10 <sup>-5</sup>

ORIENTAÇÃO	EXTERIOR	VALORES INICIAIS ≡ Ajust.		VARIÂNCIAS AJUSTADAS MÉDIAS	D.P. MÉDIO
		PARÂMETROS	VARIÂNCIAS		
	x <sub>0</sub>	4,264	0,0001	0,0004 m <sup>2</sup>	0,0006 m
	y <sub>0</sub>	5,549	0,0001	0,0002	0,0001
	z <sub>0</sub>	7,282	0,0001	0,0002	0,0001
	ω	-36,66719	0,0001	0,0014 o <sup>2</sup>	0,0017 o
	φ	26,55531	0,0001	0,0017	0,0025
	k	52,40167	0,0001	0,0002	0,0001

ANÁLISE ESTATÍSTICA	VARIÂNCIA A PRIORI : 1		Nº DE ITERAÇÕES : 5	
	VARIÂNCIA A POSTERIORI : 0,9989		CRITÉRIOS DE CONVERGÊNCIA	
	χ <sup>2</sup> CALCULADO : 96,893		ANGULAR	0,001
	GRAUS DE LIBERDADE : 97		CALIBRAÇÃO	0,001
	I.C. χ <sup>2</sup> ( 0,005 ) : 136,165		COORDENADAS	0,001
	99 % χ <sup>2</sup> ( 0,995 ) : 65,327		VARIÂNCIA FOTO - COORD. = 1,225x10 <sup>-5</sup>	

TEMPO DE CPU = 3min 12s

QUADRO 4.12b: VERIFICAÇÃO DA EXATIDÃO.

TESTE Nº 10

SUB-GRUPO II-B

PONTO		COORDENADAS		RESÍDUO ( I ) - ( II )
		CONHECIDAS ( I )	AJUSTADAS ( II )	
1101	X	0,9369	0,9229	0,0140
	Y	0,7912	0,7792	0,0120
	Z	-0,0690	-0,0832	0,0142
1102	X	0,5700	0,5541	0,0159
	Y	1,2740	1,8606	-0,5866
	Z	-0,2910	-0,3032	0,0122
1103	X	0,5700	0,5560	0,0140
	Y	2,7740	2,7501	0,0239
	Z	0,3290	0,3102	0,0188
1105	X	0,0100	-0,0003	0,0103
	Y	1,5604	1,8617	0,0187
	Z	-0,3030	-0,3162	0,0132
1106	X	0,4911	0,4781	0,0130
	Y	0,4524	0,4402	0,0122
	Z	-0,0262	-0,0409	0,0147
1108	X	0,0	-0,0111	0,0111
	Y	0,0	-0,0107	0,0107
	Z	0,0	-0,0139	0,0139

QUADRO 4J3a: Características, orientação interior, orientação exterior e análise estatística.

## TESTE Nº 11 SUB-GRUPO II-B

	PONTOS DE APOIO	OBSERVAÇÕES
NPT = 28		Foto 1 fixa
NPC = -		2 distâncias

	VALORES INICIAIS		VALORES AJUSTADOS		D.P. ( $\sqrt{\sigma^2}$ )	
	PARÂMETROS	VARIÂNCIAS	PARÂMETROS	VARIÂNCIAS ( $\sigma^2$ )		
INTERIOR	f	80 mm	l.	80,9103 mm	0,1491	0,3861
	x <sub>0</sub>	0	0,001	-0,0018 mm	0,0010	0,0311
	y <sub>0</sub>	0	0,001	-0,0071 mm	0,0010	0,0313
	K <sub>1</sub>	0	0,001	-0,9307.10 <sup>-5</sup>	7,2395.10 <sup>-13</sup>	8,5086.10 <sup>-7</sup>
ORIENTAÇÃO	K <sub>2</sub>	0	10 <sup>-35</sup>	0,3770.10 <sup>-26</sup>	10 <sup>-35</sup>	3,1623.10 <sup>-18</sup>
	K <sub>3</sub>	0	10 <sup>-35</sup>	0,2687.10 <sup>-23</sup>	10 <sup>-35</sup>	3,1623.10 <sup>-18</sup>
	P <sub>1</sub>	0	0,001	-0,8348.10 <sup>-5</sup>	7,4844.10 <sup>-11</sup>	8,6512.10 <sup>-6</sup>
	P <sub>2</sub>	0	0,001	0,2051.10 <sup>-4</sup>	1,5318.10 <sup>-10</sup>	1,2377.10 <sup>-5</sup>

	VALORES INICIAIS ≡ Ajust.		VARIÂNCIAS AJUSTADAS MÉDIAS	D.P. MÉDIO	
	PARÂMETROS	VARIÂNCIAS			
EXTERIOR	x <sub>0</sub>	4,264	0,0001	0,0004 m <sup>2</sup>	0,0006 m
	y <sub>0</sub>	5,549	0,0001	0,0002	0,0001
	z <sub>0</sub>	7,282	0,0001	0,0002	0,0001
ORIENTAÇÃO	ω	-36,66719	0,0001	0,0013 <sup>o</sup>	0,0016 <sup>o</sup>
	φ	26,55531	0,0001	0,0016	0,0023
	K	52,40167	0,0001	0,0002	0,0001

ESTATÍSTICA	VARIÂNCIA A PRIORI : 1	Nº DE ITERAÇÕES : 5	
	VARIÂNCIA A POSTERIORI : 0,9954	CRITÉRIOS DE CONVERGÊNCIA	
ANÁLISE	χ <sup>2</sup> CALCULADO : 97,549	ANGULAR	0,001
	GRAUS DE LIBERDADE : 98	CALIBRAÇÃO	0,001
	I.C. χ <sup>2</sup> ( 0,005 ) : 137,360	COORDENADAS	0,001
	99 % χ <sup>2</sup> ( 0,995 ) : 66,133	VARIÂNCIA FOTO-COORD. = 1,225x10 <sup>-5</sup>	

TEMPO DE CPU = 3min 19s

QUADRO 4.13b: VERIFICAÇÃO DA EXATIDÃO.

TESTE Nº 11

SUB-GRUPO II-B

PONTO		COORDENADAS		RESÍDUO
		CONHECIDAS ( I )	AJUSTADAS ( II )	( I ) - ( II )
1101	X	0,9369	0,9020	0,0349
	Y	0,7912	0,7515	0,0397
	Z	-0,0690	-0,1238	0,0548
1102	X	0,5700	0,5318	0,0382
	Y	1,2740	1,8369	-0,5629
	Z	-0,2910	-0,3448	0,0538
1103	X	0,5700	0,5336	0,0364
	Y	2,7740	2,7302	0,0438
	Z	0,3290	0,2707	0,0583
1105	X	0,0100	-0,0247	0,0347
	Y	1,5804	1,8380	0,0424
	Z	-0,3030	-0,3579	0,0549
1106	X	0,4911	0,4556	0,0355
	Y	0,4524	0,4114	0,0410
	Z	-0,0262	-0,0813	0,0551
1108	X	0,0	-0,0352	0,0352
	Y	0,0	-0,0411	0,0411
	Z	0,0	-0,0541	0,0541

QUADRO 4.14a: Características, orientação interior, orientação exterior e análise estatística.

TESTE Nº 12

SUB-GRUPO II-B

	PONTOS DE APOIO	OBSERVAÇÕES
NPT = 28		Foto 1 fixa
NPC = -		3 distâncias

ORIENTAÇÃO	INTERIOR	VALORES INICIAIS		VALORES AJUSTADOS		D.P. ( $\sqrt{\sigma^2}$ )
		PARÂMETROS	VARIÂNCIAS	PARÂMETROS	VARIÂNCIAS ( $\sigma^2$ )	
	f	80 mm	l.	80,2692 mm	0,1009	0,3176
	x <sub>0</sub>	0	0,001	-0,0038 mm	0,0010	0,0310
	y <sub>0</sub>	0	0,001	-0,0082 mm	0,0010	0,0313
	K <sub>1</sub>	0	0,001	-0,1007.10 <sup>-4</sup>	6,6093.10 <sup>+13</sup>	8,1298.10 <sup>-7</sup>
	K <sub>2</sub>	0	10 <sup>-35</sup>	0,3126.10 <sup>+26</sup>	10 <sup>+35</sup>	3,1623.10 <sup>-18</sup>
	K <sub>3</sub>	0	10 <sup>-35</sup>	0,2170.10 <sup>+23</sup>	10 <sup>+35</sup>	3,1623.10 <sup>-18</sup>
	P <sub>1</sub>	0	0,001	-0,1881.10 <sup>-4</sup>	6,2952.10 <sup>+11</sup>	7,9342.10 <sup>-6</sup>
	P <sub>2</sub>	0	0,001	0,3928.10 <sup>-4</sup>	1,1480.10 <sup>+10</sup>	1,0714.10 <sup>-5</sup>

ORIENTAÇÃO	EXTERIOR	VALORES INICIAIS e Ajust.		VARIÂNCIAS AJUSTADAS MÉDIAS	D.P. MÉDIO
		PARÂMETROS	VARIÂNCIAS		
	x <sub>0</sub>	4,264	0,0001	0,0003 m <sup>2</sup>	0,0004 m
	y <sub>0</sub>	5,549	0,0001	0,0002	0,0001
	z <sub>0</sub>	7,282	0,0001	0,0001	0,0001
	ω	-36,66719	0,0001	0,0012 ° <sup>2</sup>	0,0013 °
	ψ	26,55531	0,0001	0,0013	0,0019
	K	52,40167	0,0001	0,0002	0,0001

ANÁLISE ESTATÍSTICA	VARIÂNCIA A PRIORI : 1		Nº DE ITERAÇÕES : 5	
	VARIÂNCIA A POSTERIORI : 1,079		CRITÉRIOS DE CONVERGÊNCIA	
	χ <sup>2</sup> CALCULADO : 106,821		ANGULAR	0,001
	GRAUS DE LIBERDADE : 99		CALIBRAÇÃO	0,001
	I.C. χ <sup>2</sup> ( 0,005 ) : 138,555		COORDENADAS	0,001
	99 % χ <sup>2</sup> ( 0,995 ) : 66,938		VARIÂNCIA FOTO-COORD. = 4,225x10 <sup>-5</sup>	

TEMPO DE CPU = 3min 19s

QUADRO 4.14b: VERIFICAÇÃO DA EXATIDÃO.

TESTE Nº 12

SUB-GRUPO II-B

PONTO		COORDENADAS		RESÍDUO ( I ) - ( II )
		CONHECIDAS ( I )	AJUSTADAS ( II )	
1101	X	0,9369	0,9374	-0,0005
	Y	0,7912	0,7937	-0,0025
	Z	-0,0690	-0,0674	-0,0016
1102	X	0,5700	0,5680	0,0020
	Y	1,2740	1,8791	-0,6051
	Z	-0,2910	-0,2867	-0,0043
1103	X	0,5700	0,5701	-0,0001
	Y	2,7740	2,7701	0,0039
	Z	0,3290	0,3295	-0,0005
1105	X	0,0100	0,0120	-0,0020
	Y	1,8804	1,8804	0,0
	Z	-0,3030	-0,2998	-0,0032
1106	X	0,4911	0,4909	0,0002
	Y	0,4524	0,4535	-0,0011
	Z	-0,0262	-0,0251	-0,0011
1108	X	0,0	-0,0003	0,0003
	Y	0,0	0,0006	-0,0006
	Z	0,0	0,0014	-0,0014



que apresenta melhor exatidão para as coordenadas ajustadas. Além disto, o teste 12 mostra desvios-padrão das variâncias-médias para a orientação exterior da mesma ordem de grandeza das estimativas das médias de variâncias, isto é, com perda de significância.

Para efeito de comparação com o teste 5 do subgrupo I-B, também foram calculadas as médias dos desvios-padrão estimados das coordenadas-objeto ajustadas pelo teste 9.

#### 4.4. Análise de resíduos

Dos grupos I e II, tomando-se então os testes 5 e 9, respectivamente, e calculando-se os resíduos de coordenadas de fotos e de pontos de controle, são calculados o erro médio quadrático das coordenadas de foto ajustadas, para cada foto e também para todas as fotos, bem como o erro médio quadrático das coordenadas dos pontos de controle.

Estudando-se os quadros seguintes (4.15 e 4.16), constata-se que os erros médios das médias para ambos os testes (5 e 9) são iguais, significando, então, que tanto o teste 5, quanto o teste 9, deverão proporcionar resultados equivalentes na comparação de coordenadas de pontos do modelo hidráulico, obtidas por fototriangulação, à carta topográfica.

Definem-se:

$m_x, m_y$  : erro médio quadrático de uma observação  $x$  e  $y$ , respectivamente.

## QUADRO 4.15 : ANÁLISE DE RESÍDUOS

TESTE Nº 5

SUB-GRUPO - I - B

Nº DE PONTOS	FOTO	SOMATÓRIO DE RESÍDUOS QUADRÁTICOS (mm <sup>2</sup> )		ERRO MÉDIO QUADRÁTICO (mm)		ERRO MÉDIO DA MÉDIA (µm)	
		$v_x^2$	$v_y^2$	$m_x$	$m_y$	$m_{\bar{x}}$	$m_{\bar{y}}$
26	1	0,0203	0,0160	+0,0285	+0,0253	5,6	5,0
28	2	0,0250	0,0282	+0,0304	+0,0323	5,7	6,1
26	3	0,0233	0,0212	+0,0305	+0,0291	6,0	5,7
19	4	0,0191	0,0143	+0,0326	+0,0282	7,5	6,5

PONTOS DE CONTROLE	$v_x$ (m)	$v_y$ (m)	$v_z$ (m)	$v_x^2$ (m <sup>2</sup> )	$v_y^2$ (m <sup>2</sup> )	$v_z^2$ (m <sup>2</sup> )
1101	0,0004	0,0024	0,0004	$0,16 \cdot 10^{-6}$	$5,76 \cdot 10^{-6}$	$0,16 \cdot 10^{-6}$
1103	0,0001	-0,0039	-0,0007	$0,01 \cdot 10^{-6}$	$15,21 \cdot 10^{-6}$	$0,49 \cdot 10^{-6}$
1106	-0,0002	0,0011	0,0000	$0,04 \cdot 10^{-6}$	$1,21 \cdot 10^{-6}$	$0,00 \cdot 10^{-6}$
1108	-0,0003	0,0005	0,0003	$0,09 \cdot 10^{-6}$	$0,25 \cdot 10^{-6}$	$0,09 \cdot 10^{-6}$
SOMA	0,0000	0,0001	0,0000	$0,30 \cdot 10^{-6}$	$22,43 \cdot 10^{-6}$	$0,74 \cdot 10^{-6}$
m = ERRO MÉDIO QUADRÁTICO				$0,32 \cdot 10^{-3} m$	$2,73 \cdot 10^{-3} m$	$0,50 \cdot 10^{-3} m$
				0,32 mm	2,73 mm	0,50 mm

DISTÂNCIAS (m)					
DISTÂNCIA		"OBSERV."	VARIÂNCIA	"AJUSTADA"	RESÍDUO
DE	PARA				
1103	1108	2,848	$10^{-6}$	2,847	-0,001
111	118	1,015	$10^{-6}$	1,017	0,002
111	115	3,156	$10^{-6}$	3,156	0,000

## QUADRO 4.16 : ANÁLISE DE RESÍDUOS

TESTE Nº 9

SUB-GRUPO II - A

Nº DE PONTOS	FOTO	SOMATÓRIO DE RESÍDUOS QUADRÁTICOS (mm <sup>2</sup> )		ERRO MÉDIO QUADRÁTICO (mm)		ERRO MÉDIO DA MÉDIA (μm)	
		$v_x^2$	$v_y^2$	$m_x$	$m_y$	$m_{\bar{x}}$	$m_{\bar{y}}$
26	1	0,0204	0,0160	0,0286	0,0253	5,6	5,0
28	2	0,0251	0,0282	0,0305	0,0323	5,8	6,1
26	3	0,0233	0,0213	0,0305	0,0292	6,0	5,7
19	4	0,0191	0,0143	0,0326	0,0282	7,5	6,5

DISTÂNCIAS					
DISTÂNCIA		"OBSERV. "	VARIÂNCIA	"AJUSTADA "	RESÍDUO
DE	PARA				
1103	1108	2,848	$10^{-6}$	2,847	-0,001
111	118	1,015	$10^{-6}$	1,017	0,002
111	115	3,156	$10^{-6}$	3,156	0,000

$$m_{x'} = \pm \sqrt{\frac{\sum v_{xi}^2}{n-1}} \quad (4.5a)$$

$$m_{y'} = \pm \sqrt{\frac{\sum v_{yi}^2}{n-1}} \quad (4.5b)$$

$m_{x'} , m_{y'}$  : erro médio da média

$$m_{x'} = m_x / \sqrt{n} \quad (4.6a)$$

$$m_{y'} = m_y / \sqrt{n} \quad (4.6b)$$

Verifica-se também que o erro médio das coordenadas de foto é maior do que a precisão esperada do PLANICOMP C 100 (4  $\mu\text{m}$  para  $x'$  ou  $y'$ ) e maior do que o desvio-padrão atribuído as coordenadas de foto (3,5  $\mu\text{m}$ ). Os fatores de incremento estão tabulados no quadro abaixo.

Quadro 4.17: Fatores de incremento do erro médio de coordenadas de foto

Nº da Foto	$m_{x'}$ ( $\mu\text{m}$ )	$m_{y'}$ ( $\mu\text{m}$ )	fator de incremento			
			PLANICOMP C 100		DESVIO-PADRÃO	
			x ( $\mu\text{m}$ )	y	x ( $\mu\text{m}$ )	y
1	5,6	5,0	1,400	1,250	1,600	1,429
2	5,7	6,1	1,425	1,525	1,629	1,743
3	6,0	5,7	1,500	1,425	1,714	1,629
4	7,5	6,5	1,875	1,625	2,143	1,857

Analisando, agora, as discrepâncias entre as coordenadas ajustadas, planimétricas (quadro 4.18) e altimétricas (quadro 4.19), pode-se verificar que os valores mais prováveis para as coordenadas, dados por ambos os testes, pouco diferem entre si. Para ser mais exato, os erros médios das discrepâncias encontradas foram:

a) médias

$$\text{em X : } m_x = 0,96 \text{ mm}$$

$$\text{em Y : } m_y = 1,84 \text{ mm}$$

$$\text{em Z : } m_z = 1,00 \text{ mm}$$

b) máximas discrepâncias

$$\text{em X : } DX = 2,1 \text{ mm}$$

$$\text{em Y : } DY = 3,3 \text{ mm}$$

$$\text{em Z : } DZ = 2,2 \text{ mm}$$

QUADRO 4.18: Coordenadas planimétricas (XY) ajustadas - testes 5 e 9 - e valores absolutos das discrepâncias em milímetros no modelo hidráulico

Nº PONTO	TESTE 5		TESTE 9		DISCREPÂNCIAS	
	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	DX (mm)	DY (mm)
103	1,8283	1,2585	1,8286	1,2555	0,3	3,0
104	2,1741	0,3236	2,1737	0,3203	0,4	3,3
106	1,4843	-0,6509	1,4831	-0,6538	1,2	2,9
107	1,1899	0,1895	1,1892	0,1870	0,6	2,5
108	0,8885	1,0544	0,8866	1,0523	0,1	2,1
109	0,6319	2,0546	0,6329	2,0526	1,0	2,0
110	0,4606	2,9635	0,4627	2,9614	2,1	2,1
111	-0,3213	2,5867	-0,3195	2,5853	1,8	1,4
112	-0,0824	1,3834	-0,0820	1,3820	0,4	1,4
113	0,0883	0,4620	0,0879	0,4605	0,4	1,5
114	0,4574	-0,5807	0,4562	-0,5826	1,2	2,1
115	-0,6559	-0,5480	-0,6569	-0,5491	1,0	1,1
116	-0,6711	0,4507	-0,6714	0,4498	0,3	0,9
117	-0,7587	1,3427	-0,7583	1,3419	0,5	0,8
118	-0,8754	1,7337	-0,8744	1,7327	1,0	1,0
125	-1,5640	0,9634	-1,5639	0,9633	0,1	0,1
126	-1,5710	0,2058	-1,5715	0,2056	0,5	0,2
127	-1,6287	-0,4793	-1,6296	-0,4796	0,9	0,3
129	-2,6798	0,0329	-2,6802	0,0335	0,4	0,6
130	-2,6221	0,9422	-2,6220	0,9429	0,1	0,7
1101	0,9373	0,7936	0,9373	0,7914	0,0	2,2
1102	0,5680	1,8790	0,5687	1,8772	0,7	1,8
1103	0,5701	2,7701	0,5719	2,7679	1,8	2,2
1104	-0,0004	2,4972	0,0012	2,4956	1,6	1,6
1105	0,0119	1,8803	0,0126	1,8789	0,7	1,4
1106	0,4909	0,4535	0,4905	0,4516	0,4	1,9
1107	1,1824	-0,4620	1,1812	-0,4644	1,1	2,4
1108	-0,0003	0,0005	-0,0010	-0,0010	0,7	1,5

$$\sum v_i^2 = 24,49 \quad \sum v_i^2 = 91,66$$

$$m_{DX} = 0,96 \quad m_{DY} = 1,84$$

QUADRO 4.19: Coördenas altimétricas ( Z ) ajustadas - testes 5 e 9 - e valores absolutos das discrepâncias em : mm no M. H.

Nº PONTO	TESTE 5 Z ( m )	TESTE 9 Z ( m )	DISCREPÂNCIAS DZ ( mm )
103	-0,0727	-0,0735	0,8
104	-0,0012	-0,0027	1,5
106	0,1582	0,1568	1,4
107	0,0057	0,0049	0,8
108	-0,0864	-0,0866	0,2
109	-0,0390	-0,0386	0,4
110	0,4693	0,4702	0,9
111	0,4187	0,4200	1,3
112	-0,0984	-0,0978	0,6
113	-0,0347	-0,0347	0,0
114	0,0520	0,0514	0,6
115	0,2615	0,2616	0,1
116	-0,0166	-0,0160	0,6
117	-0,0783	-0,0773	1,0
118	0,4298	0,4310	1,2
125	-0,0558	-0,0544	1,4
126	0,0643	0,0654	1,1
127	0,3487	0,3495	0,8
129	0,3072	0,3089	1,7
130	-0,0098	-0,0077	2,2
1101	-0,0686	-0,0689	0,3
1102	-0,2879	-0,2875	0,4
1103	0,3283	0,3291	0,8
1104	0,2089	0,2100	1,1
1105	-0,3010	-0,3003	0,7
1106	-0,0262	-0,0265	0,3
1107	0,0315	0,0304	1,1
1108	0,0003	0,0002	0,1

$$\sum v_j^2 = 27,16$$

$$m_{DZ} = 1,00$$

#### 4.5. Conclusão

Neste capítulo foram apresentados os testes realizados, de maneira a ser possível a comparação entre os resultados obtidos. Isto feito, os dois testes considerados mais representativos foram cotejados entre si, pela análise de resíduos nas coordenadas ajustadas (foto) e pela estimativa de precisão das coordenadas-objeto.

Assim, entre os testes 5 e 9, fica selecionado o teste 5 porque emprega pontos de controle e distâncias, estas facilmente determináveis, enquanto que o teste 9 fixa um feixe de raios, o quê, na prática, para determinação de coordenadas, não é de fácil realização.



## 5. VERIFICAÇÃO DO MODELO HIDRÁULICO

## VERIFICAÇÃO DO MODELO HIDRÁULICO

### 5.1. Metodologia

A metodologia utilizada para realizar a verificação do modelo reduzido apresenta-se ilustrada na Figura 5.1.

Considerando que os pontos sinalizados na superfície do modelo hidráulico foram escolhidos aleatoriamente, obedecendo, entretanto, a um espaçamento mais ou menos regular, essa foi a alternativa que melhor se apresentou para proceder à verificação proposta.

As coordenadas planimétricas ajustadas no programa de fototriangulação funcionaram de entrada na carta topográfica, mediante as seguintes transformações:

$$E = E_0 + 100 \cdot X = 388.000 \text{ m} + 100 X \quad (5.1)$$

$$N = N_0 + 100 \cdot Y = 7.146.500 \text{ m} + 100 Y$$

onde

$E, N$  : coordenadas do sistema de representação UTM

$E_0, N_0$  : origem do sistema de coordenadas local (do modelo hidráulico), conforme 2.1.1.3.

$X, Y$  : coordenadas planimétricas ajustadas na fototriangulação, no sistema local

100 : fator de escala protótipo/modelo.

## 5.2. Obtenção das cotas interpoladas

A altitude  $H$  relativa ao ponto locado na carta topo - gráfica foi obtida por interpolação linear gráfica, ilustrada pela Figura 5.2. e dada pela expressão abaixo:

$$H_P = H_A + \frac{\overline{AP}}{\overline{AB}} \cdot EV \quad (5.2)$$

onde

$H_P$  : altitude interpolada do ponto  $P$

$H_A$  : valor da curva de nível que contém  $A$

$\overline{AP}$ ,  $\overline{AB}$  : distâncias medidas entre os pontos  $A$  e  $P$  e  $A$  e  $B$ , respectivamente

$EV$  : equidistância vertical igual a 1 m, no caso.

Assim a (5.2) resume-se a:

$$H_P = H_A + \frac{\overline{AP}}{\overline{AB}} \quad (5.3)$$

O valor de  $H$  interpolado para o ponto 1108 (origem), pela (5.3), foi:

$$H_{1108} = 507,31 \text{ m}$$

Todos os demais pontos tiveram suas altitudes interpoladas transformadas para o sistema do modelo reduzido (em metros), mediante a expressão abaixo:

$$Z_i = (H_P - H_{1108}) \cdot 0,01 \quad (5.4)$$

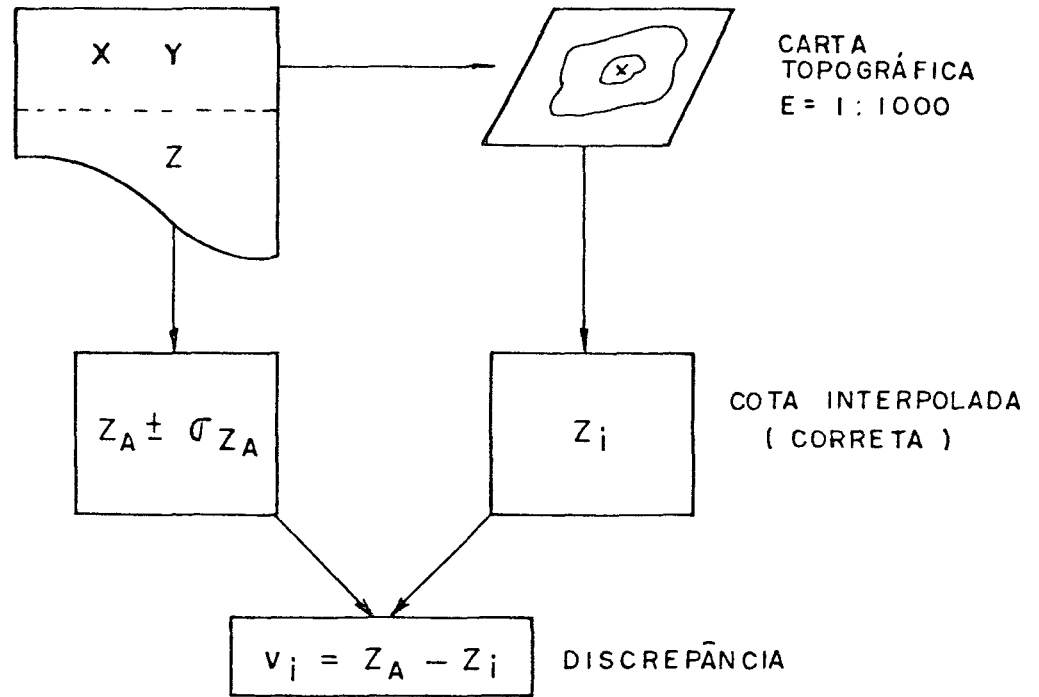


FIGURA 5.1. Esquema da metodologia utilizada para verificação da discrepância .

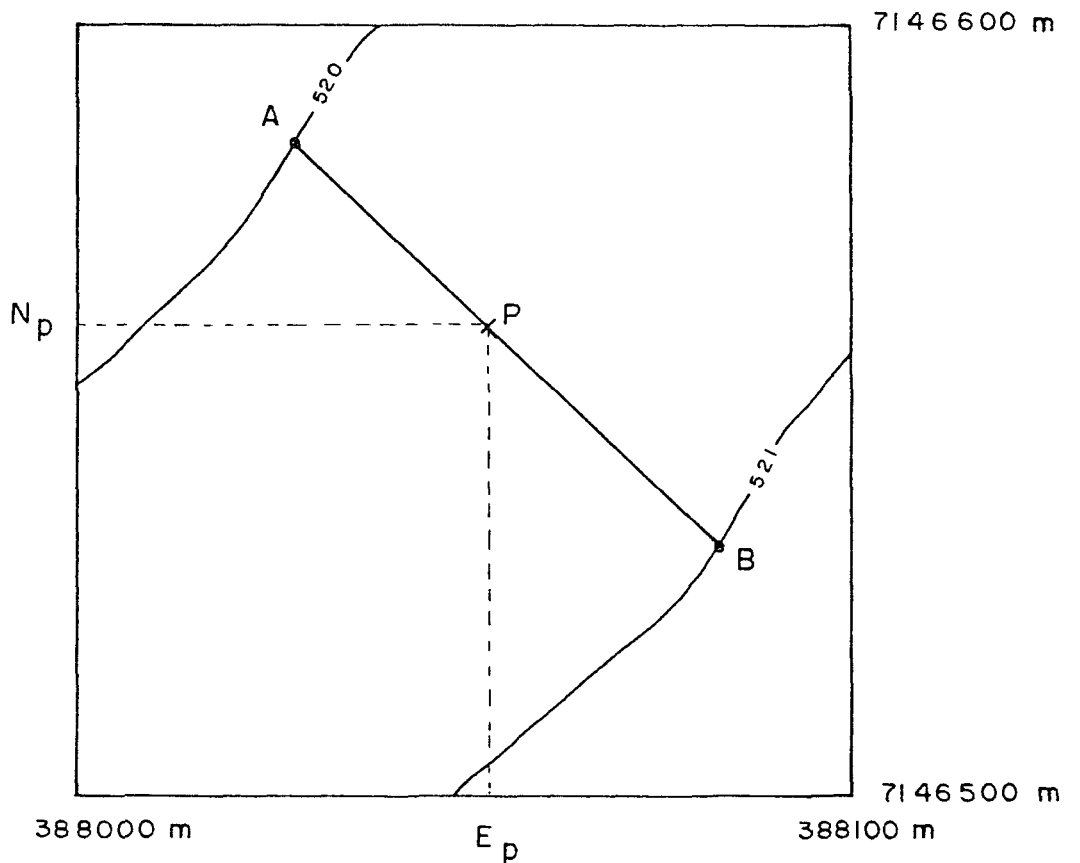


FIGURA 5.2. Esquema de interpolação linear gráfica.

Para obter  $Z_i$  em milímetros no mesmo sistema bastou, então, multiplicar a (5.4) por 1000, resultando:

$$Z_i = (H_P - H_{1108}) \cdot 10 \quad (5.5)$$

### 5.3. Cálculo de discrepâncias e intervalos de confiança

Admitindo  $Z_i$ , a cota interpolada, como um valor isento de erro,  $Z_A$ , a cota estimada, traz consigo um desvio-padrão associado, obtido da MVC *à posteriori*.

Da teoria da probabilidade [18], pode-se afirmar que, para um intervalo de confiança de 99%,

$$P \left| -2,576 \cdot \sigma_Z < Z_A - Z_i < 2,576 \cdot \sigma_Z \right| = 99\% \quad (5.6)$$

ou

$$P \left| Z_A - 2,576 \cdot \sigma_Z < Z_i < Z_A + 2,576 \cdot \sigma_Z \right| = 99\% \quad (5.7)$$

O Quadro 5.1 apresenta 24 pontos pesquisados, onde:

coluna 1 : identificação do ponto

coluna 2 : desvio-padrão estimado ( $\sigma_Z$ )

coluna 3 : cota ajustada ( $Z_A$ )

coluna 4 : limite inferior do intervalo ( $L_i$ )

$$L_i = Z_A - 2,576 \cdot \sigma_Z$$

coluna 5 : cota interpolada, correta ( $Z_i$ )

coluna 6 : limite superior do intervalo ( $L_s$ )

$$L_s = Z_A + 2,576 \cdot \sigma_Z$$

coluna 7 : resíduos quadráticos =  $v_i^2 = (Z_A - Z_i)^2$

Verifica-se que os 24 intervalos de confiança abrangem os respectivos  $Z_i$ , para o nível de significância de 1%.

Os valores das cotas ajustadas ( $Z_A$ ) estão corrigidos do efeito sistemático provocado pelo emprego de alvos esféricos. Da Figura 3.1 nota-se que a imagem observada na fotografia (círculo) representa um plano passante pelo centro da esfera. A média dos diâmetros das esferas utilizadas é aproximadamente igual a 8 mm. Assim, das cotas  $Z_A$  ajustadas na fototriangulação foi subtraído o erro sistemático de 4 mm.

#### 5.4. Erro médio da discrepância

Ao construir-se o modelo hidráulico deve ser admitido um erro padrão para todo o modelo, ao invés de um erro padrão para cada ponto. Obtendo-se o somatório da coluna 7, chega-se ao erro médio quadrático da discrepância em Z, denotado por  $m_{\Delta Z}$ , assim:

$$\sum v_i^2 = 3222,05 \text{ mm}^2 \quad (5.8)$$

$$m_{\Delta Z} = \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n-1}} = 11,8 \text{ mm} \quad (5.9)$$

$$m_{\Delta \bar{Z}} = \frac{m_{\Delta Z}}{\sqrt{n}} = 2,4 \text{ mm} \quad (5.10)$$

QUADRO 5.1: Intervalos de confiança para  $Z_i$  e resíduos quadráticos  $(Z_A - Z_i)^2$

$$IC = 99\% ; \quad P \left[ -2,576 \cdot \sigma_Z < |Z_A - Z_i| < 2,576 \cdot \sigma_Z \right] = 99\%$$

$$\alpha = 1\% ; \quad P \left[ Z_A - 2,576 \cdot \sigma_Z < Z_i < Z_A + 2,576 \cdot \sigma_Z \right] = 99\%$$

Nº PUNTO ①	$\sigma_Z$ (mm) ②	$Z_A$ (mm) ③	$Z_A - 2,576 \cdot \sigma_Z$ ④ (mm)	$Z_i$ (mm) ⑤	$Z_A + 2,576 \cdot \sigma_Z$ ⑥ (mm)	$(Z_A - Z_i)^2$ (mm <sup>2</sup> ) ⑦
103	21,0	-76,7	-130,8	-67,8	-22,6	79,21
104	28,2	-5,2	-77,6	7,9	67,4	171,61
106	20,9	154,2	100,4	175,2	208,0	441,00
107	13,8	1,7	-33,8	10,8	37,2	82,81
108	7,8	-90,4	-110,5	-83,0	-70,3	54,76
109	7,0	-43,0	-61,0	-32,1	-25,0	136,81
110	11,3	465,3	436,2	456,4	494,4	79,21
112	11,2	-102,4	-131,3	-90,0	-73,5	153,76
113	7,8	-38,7	-58,8	-38,3	-18,6	0,16
114	9,2	48,0	24,3	36,8	71,7	125,44
115	17,7	257,5	211,9	278,5	303,1	441,00
116	18,2	-20,6	-67,5	-13,8	26,3	46,24
117	21,0	-82,3	-136,4	-82,4	-28,2	0,01
125	32,9	-59,8	-144,6	-52,7	25,0	50,41
126	31,7	60,3	-21,4	73,9	142,0	184,96
127	31,9	344,7	262,5	370,3	426,9	655,36
129	48,6	303,2	178,0	313,2	426,4	100,00
130	49,1	-13,8	-140,3	-10,5	112,7	10,89
1101	8,9	-72,6	-95,5	-67,1	-49,7	30,25
1103	9,9	324,3	298,8	336,6	349,8	156,25
1104	13,6	204,9	169,9	208,4	239,9	12,25
1106	5,7	-30,2	-44,9	-29,3	-15,5	0,81
1107	15,9	27,5	-13,5	42,1	68,5	213,16
1108	9,1	-3,7	-27,1	0,0	19,7	13,69

### 5.5. Teste estatístico para a diferença de duas médias

É visto que

$$v_i = \Delta Z = Z_A - Z_i \quad (5.11)$$

Logo,

$$m_{\Delta Z}^2 = m_{Z_A}^2 + m_{Z_i}^2 \quad (5.12)$$

Mas,

$$m_{Z_i} = 0$$

Então,

$$m_{\Delta Z} = m_{Z_A} \quad (5.13)$$

Tem-se, portanto, duas amostras:

Amostra I

$m_{\Delta Z} = 11,8 \text{ mm}$  : erro médio quadrático da discrepância em Z

$m_{\Delta \bar{Z}} = 2,4 \text{ mm}$  : erro médio da discrepância média

$n_1 = 24 \text{ pontos}$ : tamanho da amostra.



Amostra II

$m_{Z_A} \equiv \text{DPM} = 18,3 \text{ mm}$  : média dos desvios-padrão (estimados)  
para as cotas ajustadas

$m_{\bar{Z}_A} \equiv \hat{\sigma}_{\text{DPM}} = 11,8 \text{ mm}$  : erro médio da estimativa

$n_2 = 28 \text{ pontos}$  : tamanho da amostra.

Para efetuar-se o teste estatístico, admitindo-se

a)  $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma^2$

b) amostras independentes.

Formulam-se,

1º passo:

$$H_0 : \mu_{\Delta_Z} = \mu_{\text{DPM}}$$

$$H_1 : \mu_{\Delta_Z} \neq \mu_{\text{DPM}}$$

onde

$H_0$  - hipótese básica

$H_1$  - hipótese alternativa

$\mu_{\Delta_Z}$  - média populacional das discrepâncias

$\mu_{\text{DPM}}$  - média populacional dos desvios-padrão.

2º passo:

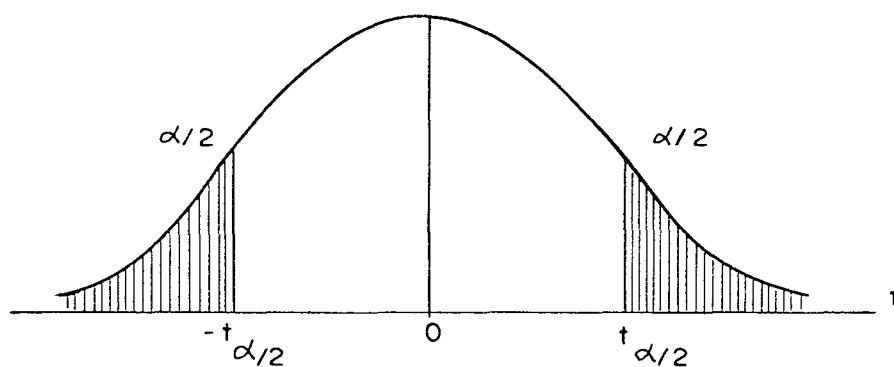
nível de significância =  $\alpha = 0,01$  (1%)

e, concordantemente,

intervalo de confiança = IC = 0,99 (99%)

3º passo:

região de rejeição - hachuras



4º passo:

$$\text{graus de liberdade} = GL = n_1 + n_2 - 2 \quad (5.14)$$

$$\text{desvio-padrão amostral} = s = \sqrt{\frac{(n_1-1)(m_{\Delta\bar{Z}})^2 + (n_2-1)(m_{\bar{Z}_A})^2}{GL}} \quad (5.15)$$

$$\text{estatística } t(\text{Student}) = t = \frac{|m_{\Delta\bar{Z}} - m_{\bar{Z}_A}|}{s \sqrt{\frac{n_1 + n_2}{n_1 \cdot n_2}}} \quad (5.16)$$

5º passo:

Se  $|t| > t_{\alpha/2}$  , rejeita-se  $H_0$ .

Calculando-se, pela ordem, as (5.14), (5.15) e (5.16), obtêm-se:

$$GL = 50$$

$$s = 8,82$$

$$|t| = 2,649$$

Da tabela de distribuição t de Student [09] , retira-se:

$$t_{0,01}^{50} = 2,682$$

Conclui-se pela não rejeição da hipótese básica,  $H_0$ , uma vez que

$$|t| < t_{0,01}^{50} , \text{ ie}$$

$$2,649 < 2,682$$

## 5.6. Conclusão

Estatisticamente, portanto, as discrepâncias verificadas entre as cotas ajustadas e interpoladas são nulas, ou seja, são inerentes ao método empregado. Em outras palavras, o resíduo calculado tem a mesma ordem de grandeza do desvio-padrão da

cota ajustada, a qual estima a interpolada.

Em suma, o modelo hidráulico de Segredo está compatível com as informações dadas pela carta topográfica da região , ao nível de significância de 1%.

## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 6.1. Conclusões

- 1.<sup>a</sup>) O modelo hidráulico de Segredo apresenta geometria compatível com a carta topográfica que lhe deu origem, ao nível de significância  $\alpha = 1\%$  e com erro médio de altimetria  $m_{\Delta Z} \cong 12$  mm, aliás 1,2 vezes maior do que o desvio-padrão atribuído às coordenadas-objeto.
- 2.<sup>a</sup>) O erro médio quadrático das coordenadas de foto ajustadas está compatível com a precisão esperada do PLANICOMP, descontadas as influências dos fatores externos.
- 3.<sup>a</sup>) As variâncias *à posteriori* de elementos de orientação exterior para uma foto fixada são menores do que as estimativas das mesmas variâncias *à posteriori*, quando se utiliza controle no espaço-objeto. Entretanto, a exatidão de coordenadas XYZ estimadas fica condicionada à qualidade dos elementos de orientação fixados para aquela foto.
- 4.<sup>a</sup>) O emprego da câmara não-métrica, ou parcialmente métrica, Rollei SLX, em virtude de sua portabilidade e simplicidade de manuseio, facilita sobretudo as tomadas de fotos, mesmo ocupando estações de difícil acesso.
- 5.<sup>a</sup>) O prazo para a verificação do modelo hidráulico pode ser de 3 dias, considerando todas as fases.

5.<sup>a</sup>) A metodologia é simples, acessível e de baixo custo.

## 6.2. Recomendações

1.<sup>a</sup>) Apesar do aparente erro sistemático em altimetria (na realidade há apenas uma translação do sistema referencial), o uso de alvos esféricos deve ser testado em outros experimentos em virtude da facilidade de seu manejo.

2.<sup>a</sup>) Uma verificação mais abrangente da qualidade geométrica do modelo reduzido seria interessante envolvendo protótipo-carta-modelo, conforme figura abaixo. Por exemplo, sinalizando o protótipo, representando na carta e reproduzindo no modelo reduzido.

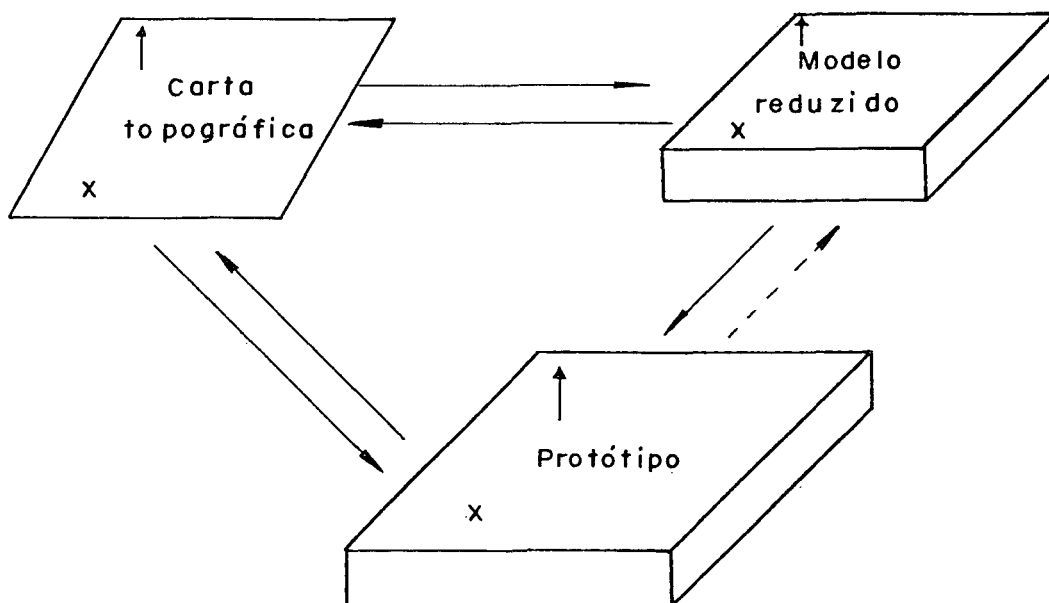


FIGURA 6.1. Sugestão para uma nova verificação da geometria do modelo reduzido.

3.<sup>a</sup>) Outros estudos hidro-mecânicos poderiam ser realizados com apoio da fotogrametria à curta distância, tais como:

a) no modelo hidráulico e/ou no protótipo

i. arrastamento de materiais sólidos

ii. erosão de margens.

Obs.: estes problemas foram constatados pelo autor quando em contato com o Laboratório Central de Engenharia Civil da CESP - Cia. Energética de São Paulo, Ilha Solteira - SP.

b) no modelo hidráulico

i. desvio de rio

ii. enchente catastrófica.

Obs: a simulação de enchente catastrófica para o modelo hidráulico de Rosana (usina hidrelétrica em construção no rio Paranapanema) foi assistida pelo autor no Laboratório de Hidráulica de Jupiá - SP., quando, aproveitando a oportunidade, recomendou o emprego da fotogrametria à curta distância para documentação e análise da referida simulação.

4.<sup>a</sup>) Verificação do modelo reduzido empregando outros conjuntos de lentes (diferentes distâncias focais) com a câmara Rollei SLX.

5.<sup>a</sup>) Verificação do modelo reduzido empregando a câmara estereométrica, explorando o caso normal e casos oblíquos, com tratamento analógico e analítico das fotografias.



APÊNDICE

## I - CURVA DE DISTORÇÃO RADIAL SIMÉTRICA

Referindo-se às equações deduzidas em |06| :

$$\delta_x = (K_1 \cdot r^2 + K_2 \cdot r^4 + K_3 \cdot r^6 + \dots)(x - x_0) \quad (A-1)$$

$$\delta_y = (K_1 \cdot r^2 + K_2 \cdot r^4 + K_3 \cdot r^6 + \dots)(y - y_0)$$

Do teste 5:

$$c = 80,2769 \text{ mm}$$

$$K_1 = -0,1007 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^{-2}$$

$$K_2 = K_3 = 0$$

$$\delta_x = K_1 \cdot r^2 (x - x_0)$$

$$\delta_y = K_1 \cdot r^2 (y - y_0)$$

(A-2)

$$\delta r = (\delta x^2 + \delta y^2)^{1/2}$$

$$\delta r = \left[ K_1^2 \cdot r^4 (x - x_0)^2 + K_1^2 \cdot r^4 (y - y_0)^2 \right]^{1/2}$$

$$\delta r = K_1 \cdot r^2 \left[ (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 \right]^{1/2}$$

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = r^2$$

$$\delta r = K_1 \cdot r^3 \quad (\text{A-3})$$

$$\delta r' = \frac{c - c'}{c} \cdot r + \frac{c'}{c} \cdot K_1 \cdot r^3 + \dots \quad (\text{A-4})$$

Anulando  $\delta r'$  em  $r = 25$  mm, obtêm-se:

$c' = 79,7748$  mm (distância principal de projeção ajustada para  $\delta r' = 0$  em  $r = 25$  mm).

$$K_0' = \frac{c - c'}{c} = 0,0063 = 6,2544 \cdot 10^{-3}$$

$$K_1' = \frac{c'}{c} \cdot K_1 = -1,007 \cdot 10^{-5}$$

$$\delta r' = K_0' \cdot r + K_1' \cdot r^3 \quad (\text{A-5})$$

As figuras A-1 e A-2 referem-se às curvas de distorção radial simétrica ( $\delta r$  e  $\delta r'$ ).

A figura A-3 ilustra o quadro focal da câmara com as regiões de distorção radial simétrica positiva e negativa. A circunferência de raio  $r = 25$  mm representa o lugar geométrico de pontos de distorção nula.

Quadro A-I-1: DISTORÇÕES RADIAIS SIMÉTRICAS

$r$ (mm)	$\delta r$ ( $\mu\text{m}$ )	$\delta r'$ ( $\mu\text{m}$ )
0	0	0
2,5	-0,2	15,5
5,0	-1,3	30,0
7,5	-4,2	42,7
10,0	-10,1	52,5
12,5	-19,7	58,6
15,0	-34,0	60,0
17,5	-54,0	55,8
20,0	-80,6	45,0
22,5	-114,7	26,7
25,0	-157,3	0,0
27,5	-209,4	-36,1
30,0	-271,9	-82,6
32,5	-345,7	-140,3
35,0	-431,8	-210,1

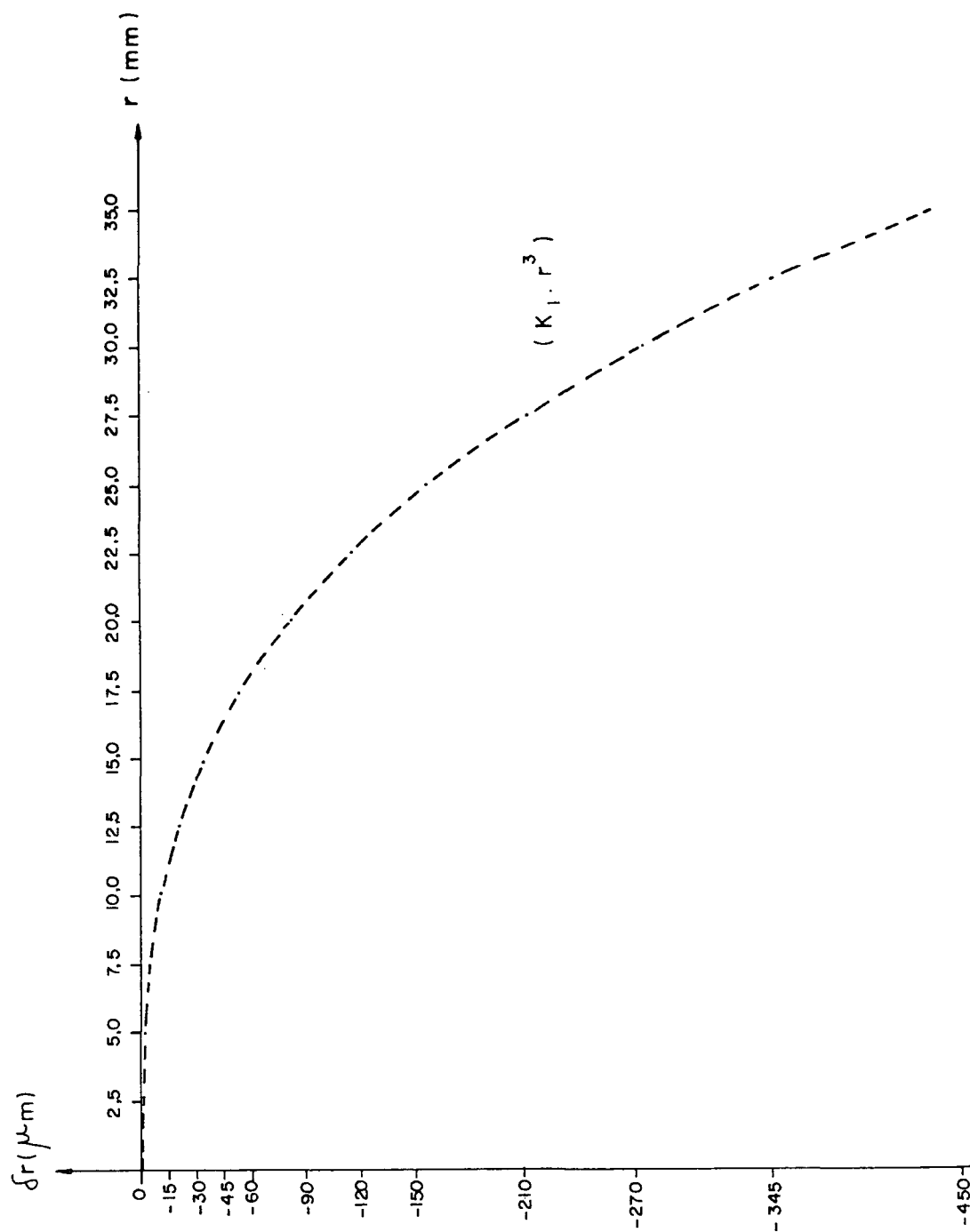


FIGURA A-1. Curva da distorção radial simétrica.

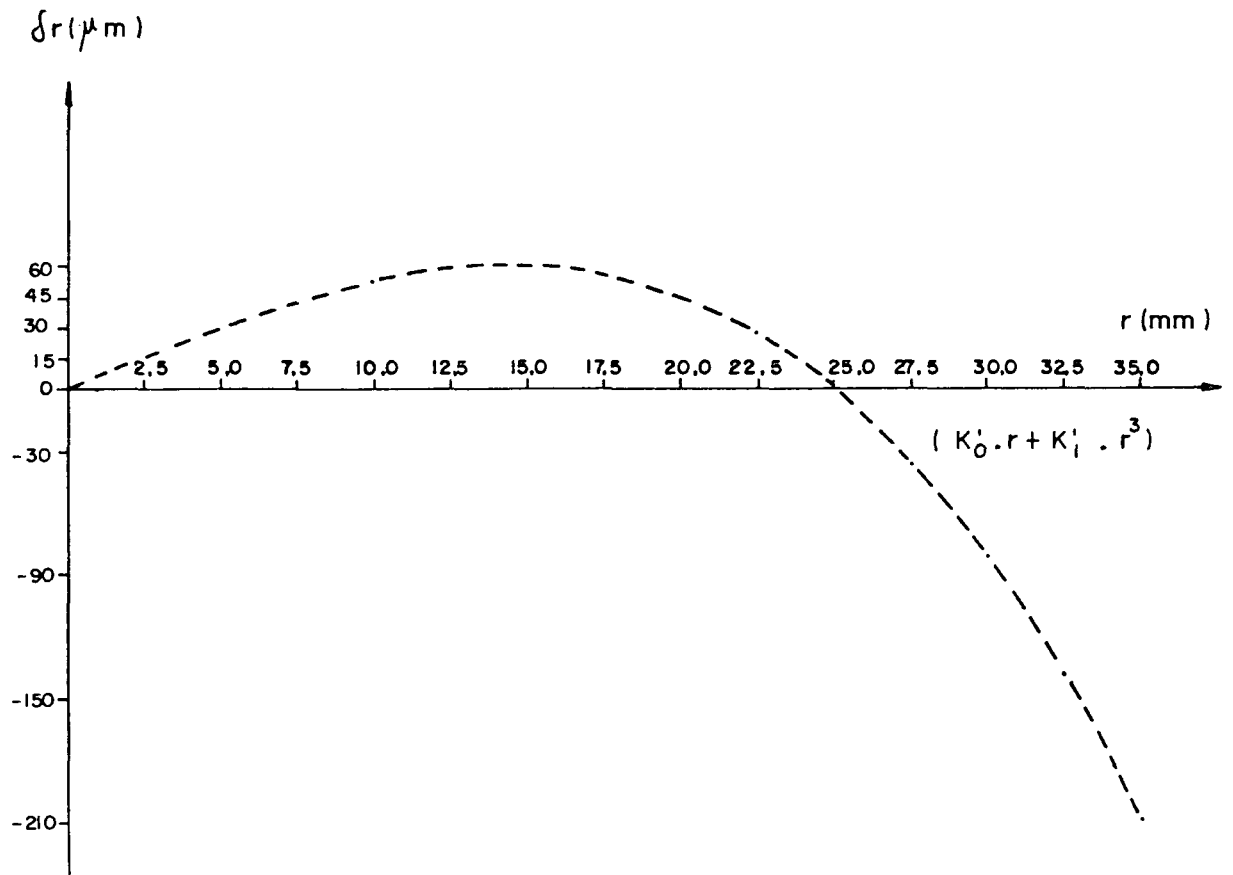


FIGURA A-2. Curva da distorção radial simétrica balanceada para  $r=25$  mm.

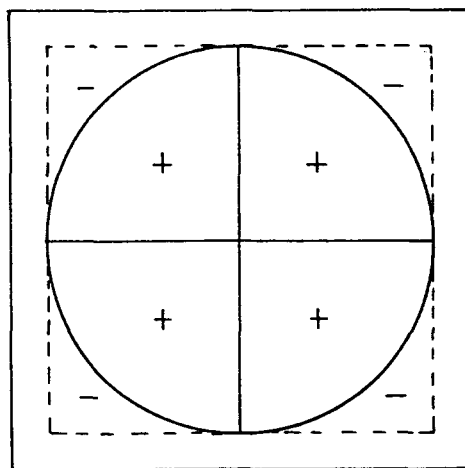


FIGURA A-3. Regiões de distorção positiva e negativa do quadro focal .

## II - OUTROS TESTES REALIZADOS

Além dos doze experimentos discutidos no Capítulo IV, foram realizados dez outros, sempre com quatro fotografias, mas variando-se a quantidade de pontos-objeto, o controle, os critérios de convergência e as variâncias para fixar determinados elementos.

As características gerais dos mencionados testes, bem como alguns comentários sobre resultados estão tabulados no Quadro A-II-1.

Estes experimentos não foram considerados na avaliação para seleção de um teste para comparação de coordenadas à carta, porque representam um conjunto que serviu de aprendizagem inicial para usar os programas computacionais citados em (2.1.9). Também porque as amostras de pontos variaram em quantidade e qualidade, pois alguns foram rejeitados ao apresentarem resíduos da ordem de décimos de milímetro nas coordenadas de foto.

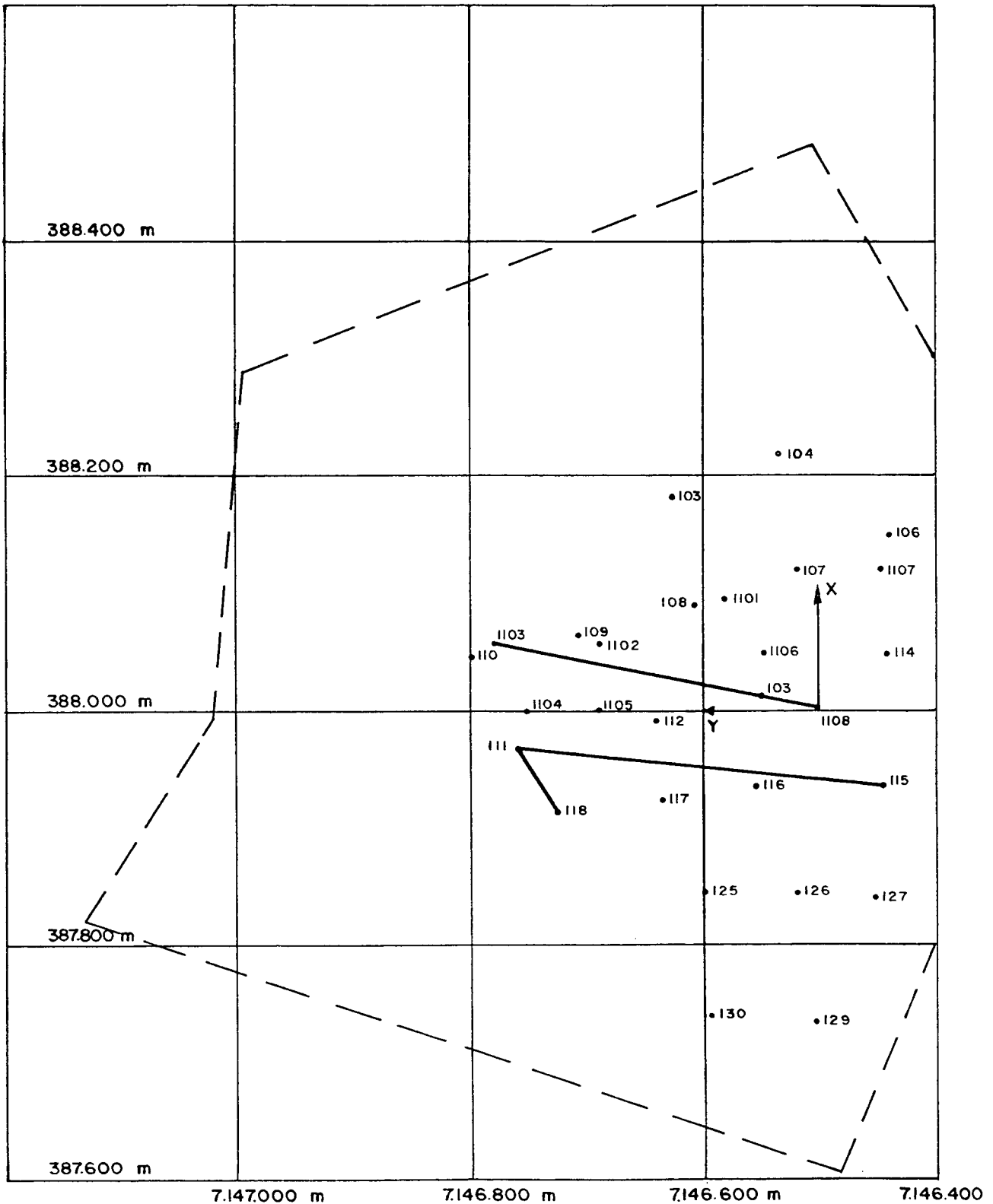
De uma maneira geral, os resultados são semelhantes aos dos doze testes considerados.

QUADRO A II - I . Experimentos realizados e não apresentados .

Nº do teste	Nº de pontos	Controle	Nº de iterações	Observações
1	14	2HV, 1V	6	- poucos pontos - treinamento - programa estava alterado
2	14	2HV, 1V	4	- poucos pontos - treinamento - parâmetros melhorados - programa alterado na O.I. - programa alterado
3	19	2HV, 1V	3	- parâmetros $f, x_0, y_0$ fixados com $\sigma^2 = 10^{-20}$ - parâmetros $K_1, K_2, K_3, P_1, P_2$ fixados com $\sigma^2 = 10^{-30}$ - após ajustamento $f, K_1$ e $P_2$ mantiveram-se fixos - resíduos de coordenadas de foto da ordem de décimos de mm - programa alterado.
4	20	2HV, 1V	4	- idem anterior.
5	20	2HV, 1V	5	- variâncias normais ( $1$ e $10^{-3}$ ) para $f$ e demais parâmetros O.I. - resíduos de coordenadas de foto da ordem de décimos de mm.
6	20	2HV, 1V 1 dist.	5	- idem anterior.
7	20	2HV, 1V 4 dist.	5	- variância de $P_2 = 10^{-35}$ - resíduos ... 0,1 mm.  - variâncias de $K_2$ e $K_3 = 10^{-35}$
8	26	4HV	5	- variâncias de pontos de controle = $10^{-2}$ (nos testes anteriores $10^{-4}$ ) - $\chi^2$ grande indica que o programa continuava com engano.  - programa corrigido
9	31	4HV 6 dist.	5	- variâncias de $K_2$ e $K_3 = 10^{-35}$ - variâncias de pontos de controle = $10^{-4}$
10	28	foto 4 fixa 3 dist.	5	- variâncias de $K_2$ e $K_3 = 10^{-35}$ - variâncias da O.E. da foto 4 - $10^{-1}$ para ângulos e - $10^{-1}$ para coordenadas-estação - MVC à posteriori: variâncias das coordenadas estimadas da ordem de $cm^2$ .



III · PONTOS E DISTÂNCIAS NO MODELO HIDRÁULICO



• Pontos sinalizados

Escala aproximada = 1:50

→ Distâncias observadas

FIGURA A-4. Croqui dos pontos e distâncias no modelo hidráulico

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- |01| ALBERTZ, J. & KREILING, W. Photogrammetric guide.  
Karlsruhe, Wichmann Verlag, 1974. 271 p.
- |02| ANDRADE, J.B. de. Photogrammetric refraction. s.l.  
The Ohio State University, 1977. 117 p.
- |03| ANDRADE, J.B. de & OLIVAS, M.A. de A. Calibração de câmaras aerofotogramétricas. B. Univ. Federal do Paraná, Geodésia nº 26. Curitiba, 1981. 39 p.
- |04| ANDRADE, J.B., BÄHR, H-P & OLIVAS, M.A. de A. Calibration and resolution test of Rollei-SLX reseau camera. Congresso de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, Camberra, Austrália, 1982.
- |05| ATKINSON, K.B. Developments in close range photogrammetry. London, Applied Science, 1980.
- |06| BROWN, D.C. Decentering distortion of lenses. Photogrammetric Engineering, 32(3):444, may 1966.
- |07| CERVO, A.L. & BERVIAN, P.A. Metodologia científica. 2<sup>a</sup> ed. São Paulo, McGraw Hill do Brasil, 1978. 144 p.
- |08| FAIG, W. & MONIWA, H. Convergente photos for close range. Photogrammetric Engineering. Falls Church, VA, American Society of Photogrammetry, 39(06):605-610, jun., 1973.
- |09| FONSECA, J.S. & MARTINS, G. de A. Curso de estatística. 3<sup>a</sup> ed. São Paulo, Atlas, 1980.

- |10| GEMAEEL, Camil. Ajustamento de observações geodésicas: no  
ções de estatística. Curitiba, Curso de Pós-Graduação  
em Ciências Geodésicas, 1975. 54 p.
- |11| HELAVA, U.V. Analytical plotter basics, In: Analytical  
Plotter Symposium and Workshop of the American Society  
of Photogrammetry, 1, Reston, VA., 1980, p. 13-29.
- |12| HOBBIIE, D. C-100 PLANICOMP, Photogrammetric Engineering  
and Remote Senging. Falls Church, VA, American Society  
of Photogrammetry, 43(11):1367-75, nov., 1977.
- |13| KARARA, H.M. Handbook of non-topographic photogrammetry.  
s.l. American Society of Photogrammetry, 1978.
- |14| KENEFICK, J.F. et alli. Analytical self-calibration.  
Photogrammetric Engineering. Falls Church, VA, American  
Society of Photogrammetry, 38(11):1117-26, nov., 1972.
- |15| KONECNY, G. How the analytical plotter works and differs  
from analog plotters, In: Analytical Plotter Symposium  
and Workshop of the American Society of Photogrammetry ,  
1, Reston, VA., 1980, p. 31-75.
- |16| \_\_\_\_\_. Software aspects of analytical plotters. Photo -  
grammetric Engineering and Remote Sensing. Falls Church,  
VA., American Society of Photogrammetry, 43(11):1363-6,  
nov., 1977.

- |17| MERCHANT, D.C. Analytical photogrammetry: theory and practice. 2. ed. s.l., The Ohio State University, 1979.
- |18| MIKHAIL, E.M. Observations and least squares. New York, Dun-Donnelley; 1976. 497 p.
- |19| MOFFITT, F.H. & MIKHAIL, E.M. Photogrammetry. 3<sup>a</sup> ed., New York, Harper & Row, 1980. 648 p.
- |20| OJO, A.B.O. Structure of mathematical models and instability of fiducial mark configurations in image coordinate refinement. s.l., The Ohio State University, 1976.
- |21| OLIVAS, M.A. de A. Calibração de câmaras fotogramétricas. Aplicação dos métodos: câmaras convergentes e campos mistos. Curitiba, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, 1980. 98 p.
- |22| \_\_\_\_\_. Comunicação pessoal.
- |23| PINTO, N.L. de S. Modelos em barragens e estruturas anexas: modelos hidráulicos, modelos de estruturas de concreto, modelos de maciços de terra e enrocamento; modelos físicos e matemáticos. 1) modelos físicos. In: XI Seminário Nacional de Grandes Barragens. Fortaleza, nov./dez., 1976.

- |24| ROLLEI BRAUNSCHWEIG. Rolleiflex SLX: The Camera. (Manual de instruções).
- |25| SEIXAS, J.J. de. Trajetórias e velocidades marítimas. Revista Brasileira de Cartografia, (22):39-51, dez. , 1978.
- |26| SLAMA, C.C. Aerotriangulation. In: American Society of Photogrammetry. Manual of Photogrammetry. 4. ed. , Falls Church, VA, 1980. p. 453-518.
- |27| SZCZECOWSKI, B. & MUCHA, A. The photogrammetric measurements of water ripples on hidrotecnic models. In: International Archives of Photogrammetry, XIV<sup>th</sup> Congress, Hamburg, 1980. V. XXIII, pt. B5, p. 724-731.
- |28| YALIN, M.S. Theory of hidraulic models. London, The MacMillan, 1971. 266 p.
- |29| ZEISS WEST GERMANY. B-70 program. In: C-100 Planicomp; sistema analítico de restitución: manual de manejo.