

# “Retificação Analítico-Fotogramétrica de uma Imagem Landsat MSS Bulk Processada no Brasil, Visando sua Aplicação na Cartografia”

Autor: José Niu Lopes dos Santos — Ten Cel Eng Cart — MSc

## Introdução

Visando à consecução de nossos objetivos, desenvolvemos o presente trabalho em 4 partes:

- Na primeira parte, faz-se uma rápida síntese sobre o programa LANDSAT e suas repercussões no meio científico internacional. Também são citados os equipamentos e material utilizados na pesquisa;
- Na segunda parte, são apresentados os procedimentos adotados para a retificação de uma imagem LANDSAT MSS BULK processada no INPE (Brasil);
- Na terceira parte, apresenta-se uma análise dos resultados e algumas observações sobre a pesquisa, além de se fazer as conseqüentes recomendações;
- Finalmente, na quarta parte, como conclusão, são apresentadas sugestões sobre a utilização de imagens na atualização e (ou) confecção de cartas.

## Parte 1

### Considerações Gerais

#### 1.1 Síntese Retropectiva

Na década dos 1960, com o incremento da aplicação das técnicas de sensoriamento remoto a uma grande gama de atividades, o governo norte-americano, através da NASA, iniciou os estudos sobre a viabilidade da construção e lançamento de uma série de satélites, para a pesquisa de recursos terrestres, que recebeu a denominação de ERTS (Earth Resources Technology Satellite). Iniciado em 1967, o programa resultou em uma série de 6 satélites denominados ERTS A, B, C, D, E e F. Após o lançamento, se o satélite atingisse com sucesso a órbita prevista, ele passaria a designar-se ERTS 1, 2, 3, 4, 5 e 6.

O satélite ERTS-A foi lançado em 23 julho de 1972 e permaneceu ativo até 06 de janeiro de 1978. Por ocasião do lançamento do ERTS-B, em 22 de janeiro de 1975, a NA-

SA rebatizou, oficialmente, o programa ERTS para programa LANDSAT, a fim de distingui-lo do programa de satélites oceanográficos SEASAT, e o satélite ERTS-1, já em órbita, foi, retroativamente, chamado LANDSAT-1. O ERTS-B tornou-se, após o lançamento, o LANDSAT-2. A continuação do programa resultou no lançamento do LANDSAT-3, em 05 de maio de 1978, e do LANDSAT-4, em 16 de julho de 1982.

O programa LANDSAT provocou, em todas as nações, uma grande dinamização na pesquisa dos recursos e potencialidades da Terra. Em apenas sete meses após os primeiros produtos estarem disponíveis, mais de uma centena de publicações, de conteúdo significativo, foram apresentadas no simpósio da NASA, em New Carralton, em 1973.<sup>01</sup> Em curto prazo, as aplicações dos produtos LANDSAT abrangeram um imenso campo, trazendo, direta ou indiretamente, numerosos benefícios à humanidade.

Na prática as informações LANDSAT (extraídas de imagens ou fitas CCT) não são aplicadas isoladamente, mas usadas em combinação com documentos cartográficos, fotografias e outras informações existentes.

Quanto às imagens, de início não houve preocupação de tratamento geométrico, as volumosas cópias de imagens bulk, espalhadas pela NASA, apresentaram fidelidade geométrica aceitável e foram suficientes para diversas aplicações práticas, cujos limites de precisão eram de menor exigência.

Porém, nos últimos anos, com as exigências de maior precisão, o tratamento geométrico das imagens passou a preocupar os usuários. Assim, hoje, já muitas publicações se dedicam à análise geométrica da imagem LANDSAT, isto é, definição do modelo matemático mais apropriado para descrever-lhe a geometria (ver BÄHR<sup>02, 03, e 04</sup>; KRATKI<sup>05</sup>; WONG<sup>06</sup>; SANTOS<sup>07</sup>).

A análise geométrica prevê os parâmetros particulares para os procedimentos de retificação, geralmente diferentes de cena para cena — O presente trabalho se ocupará, justamente, do tratamento geométrico de uma imagem MSS bulk, processada no Brasil.

## 1.2 Proposição do Trabalho — Procedimentos

Como se sabe, no Brasil dispõe-se de um sistema de recepção e gravação dos dados LANDSAT, em Cuiabá—MT. As fitas gravadas (HDDT) são enviadas ao laboratório de processamento de imagens em Cachoeira Paulista. Após o processamento das fitas HDDT, o INPE coloca à disposição dos usuários os seguintes produtos: — fitas CCT, que podem ser usadas nos computadores eletrônicos, e imagens em transparência positiva, transparência negativa, ou papel fotográfico.

Assim, as imagens LANDSAT MSS que se dispõe no Brasil (processadas pelo INPE), já deverão vir corrigidas das duas distorções geométricas mais significativas:

- a) Diferença de escalas em x e y — “afinidade”<sup>08</sup>;
- b) Efeito da rotação da Terra.

Propõe-se pois, no presente trabalho, analisar a precisão geométrica de tais imagens (LANDSAT MSS BULK) processadas pelo INPE, em Cachoeira Paulista, através da comparação dos resultados obtidos pela aplicação de quatro diferentes modelos matemáticos de transformação na retificação analítica de uma daquelas imagens. Os modelos matemáticos utilizados foram os que se seguem:

- a) Transformação de Helmert (similaridade);
- b) Transformação Afim;
- c) Polinômio de segunda ordem;
- d) Polinômio de terceira ordem.

O trabalho foi desenvolvido através dos seguintes procedimentos:

- a) identificação de pontos numa imagem LANDSAT MSS BULK, processada pelo INPE, (cena completa e dividida em quadrantes) e medição de suas coordenadas no PLANICOMP C—100;
- b) desenvolvimento de programas visando o cálculo e ajustamento de parâmetros para as transformações de similaridade, afim e polinômios de 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> ordens;
- c) pela correspondência ponto a ponto (imagem cartas topográficas), determinação de parâmetros específicos para cada transformação, mediante cálculo e ajustamento pelo MMQ, utilizando variadas quantidades de pontos de apoio;
- d) aplicação de tais parâmetros na transformação das coordenadas dos pontos da imagem (medidas no PLANICOMP) para coordenadas UTM;
- e) comparação de tais coordenadas transformadas (Helmert, Afim, Polinômio de 2<sup>o</sup> grau e Polinômio de 3<sup>o</sup> grau), com as coordenadas UTM dos pontos correspondentes, extraídas das cartas topográficas disponíveis

## 1.3 Equipamento e Material Utilizados

Para desenvolvimento do trabalho proposto utilizou-se, entre outros, o equipamento e material a seguir:

- a) Imagem LANDSAT MSS BULK:
  - Uma cena completa, nos canais 5 e 6, abrangendo o município de Curitiba e outros, em filmes positivos, na escala 1:1.000.000, e em papel fotográfico nas escalas 1:500.000 e 1:250.000.
  - Um Sistema Analítico de Restituição PLANICOMP C—100 (assistido por uma unidade de processamento HP 1000 F).
- b) Cinquenta e três (53) cartas topográficas da DSG, FIBGE e outras, correspondentes à área coberta pela cena completa da imagem (cinco folhas na escala 1:100.000 e quarenta e oito folhas na escala 1:50.000).
- d) Um terminal, para comunicação com o sistema DEC-10, do Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná.
- e) Uma impressora acoplada ao terminal
- f) Diversos (folhas de impressão, papel vegetal, papel milimetrado, material de escritório, etc).

## Parte 2

### Processamento Geométrico da Imagem

#### 2.1 Procedimentos Práticos

Uma solução rigorosa (“fotogramétrica”), para o processamento geométrico de imagens LANDSAT — MSS, exigiria a aplicação de equações de colinearidade (ver BÄHR<sup>04</sup>).

Porém existe um limite teórico, para a precisão geométrica em imagens numéricas, de, aproximadamente  $\pm A/3$  onde A representa as dimensões dos pixels. No caso de imagens LANDSAT MSS BULK, portanto, a precisão teórica máxima possível seria de, aproximadamente, 26m. Os resultados práticos têm que se subordinar a esse valor.<sup>09</sup>

Assim é possível, na prática, substituir as fórmulas rigorosas por expressões mais simples, como transformações de similaridade, afins e outros polinômios. Foi, justamente, através destes procedimentos práticos que se desenvolveu esta pesquisa, visando a análise geométrica da imagem Bulk em estudo.

Para tal, foram utilizadas bases cartográficas já existentes, na projeção UTM (cartas topográficas 1:50.000 ou 1:100.000), e os trabalhos se desenvolveram através do emprego de (ver Santos<sup>07</sup>):

- Imagens LANDSAT MSS BULK;
- Pontos comuns na imagem e na base escolhida para apoio;
- Programas de transformações analíticas, com pacotes de subrotinas;
- Programas de comparações e análise dos resultados.

## 2.2 Escolha da Cena (Imagem Landsat)

Definidos os procedimentos práticos para a consecução dos objetivos, partiu-se para a escolha da imagem LANDSAT MSS BULK processada no Brasil, a ser analisada.

Assim, foi escolhida a cena 019, (ponto 29), recebida em Cuiabá (do LANDSAT 1) a 20 Out 75, e processada em Cachoeira Paulista a 21 Jan 77, enquadrada, aproximadamente, entre os paralelos 23°30' e 25°30'S, e meridianos

Quadro 2.3 – Relação das folhas utilizadas como base cartográfica

Nº de Ordem	Folha do MI n.º 14/1983			Ano da Impressão	Órgão Executor
	MI	Nome da Folha	Estado		
01	2785	Congonhinhas	PR	1967	IBGE
02	2786-1	Vassoural	PR	1970	IBGE
03	2786-2	Guapirama	PR	1970	IBGE
04	2787-1	Siqueira Campos	PR	1970	IBGE
05	2787-2	Salto do Itararé	PR/SP	1970	IBGE
06	2788-1	Itaporanga	SP	1974	IBGE
07	2786-3	Figueira	PR	1970	IBGE
08	2786-4	Ibaiti	PR	1970	IBGE
09	2787-3	Venceslau Braz	PR	1970	IBGE
10	2787-4	São José da Boa Vista	PR	1970	IBGE
11	2788-3	Ribeirão Vermelho do Sul	SP	1974	IBGE
12	2788-4	Itabira	SP	1974	IBGE
13	2789-3	Itapeva	SP	1973	IBGE
14	2806	Telêmaco Borda	PR	1967	IBGE
15	2807	Curiúva	PR	1967	IBGE
16	2808	Jaguariaíva	PR	1967	IBGE
17	2809-1	Itararé	PR/SP	1975	IBGE
18	2809-2	Engenheiro Maia	SP	1975	IBGE
19	2810-1	Ribeirão Branco (5ª)	SP	1975	IBGE
20	2809-3	Ouro Verde	SP/PR	1975	IBGE
21	2809-4	Barra do Chapéu	SP/PR	1975	IBGE
22	2810-3	Araçaíbas (5ª DL)	SP	1975	IBGE
23	2823-1	Reserva	PR	1969	DSG
24	2823-2	Porteira Grande	PR	1969	DSG
25	2824-1	Tibaji	PR	1961	DSG
26	2824-2	Colônia Iapó	PR	1960	DSG
27	2825-1	Pirai do Sul	PR	1961	DSG
28	2825-2	Campina do Elias	PR	1970	DSG
29	2826-1	Vila Branca	PR	1971	DSG
30	2826-2	Ribeira	PR	1971	DSG
31	2827	Apiaí (100)	PR/SP	1971	DSG
32	2823-3	Campinas Belas	PR	1969	DSG
33	2823-4	São Bento do Amparo	PR	1969	DSG
34	2824-3	Barra do Pitangui	PR	1960	DSG
35	2824-4	Castro	PR	1958	DSG
36	2825-3	Abapã	PR	1960	DSG
37	2825-4	Socavão	PR	1970	DSG
38	2826-3	Cerro Azul	PR	1970	DSG
39	2826-4	Tunas	PR	1970	DSG
40	2839-1	Prudentópolis	PR	1968	DSG
41	2839-2	Ibituva	PR	1969	DSG
42	2840-1	Uvaia	PR	1960	DSG
43	2840-2	Ponta Grossa	PR	1961	DSG
44	2841-1	Itaiacoca	PR	1959	DSG
45	2841-2	Três Córregos	PR	1966	DSG
46	2842-1	Rio Branco do Sul	PR	1958	DSG
47	2842-2	Bocaiuva do Sul	PR	1968	DSG
48	2840-3	Teixeira Soares	PR	1966	DSG
49	2840-4	Palmeira	PR	1954	DSG
50	2841-3	Colônia Quero-Quero	PR	1959	DSG
51	2941-4	Campo Largo	PR	1960	DSG
52	2842-3	Curitiba	PR	1958	DSG
53	2842-4	Piraquara	PR	1969	DSG

49°00' e 51°00'WGr, abrangendo, entre outros, os municípios de Curitiba e Ponta Grossa, PR (ver Fig. 2.4).

## 2.3 Juntada das Cartas Topográficas

No caso do Brasil, pode-se utilizar, as folhas RADAM (escala 1:250.000) ou as cartas topográficas (escalas 1:50.000, 100.000 ou 250.000), como base cartográfica para obtenção do apoio visando as transformações propostas.

Procurou-se, na medida das disponibilidades, utilizar-se as cartas topográficas de maior escala (1:50.000), visando uma maior precisão na tomada das coordenadas UTM dos pontos de apoio referidos.

Selecionou-se, assim, 53 (cinquenta e três) folhas de cartas topográficas, sendo 48 (quarenta e oito) folhas na escala 1:50.000 e 5 (cinco) folhas na escala 1:100.000. As cartas utilizadas são as relacionadas no quadro 2.3.

## 2.4 Posição Relativa das Folhas na Imagem

A posição relativa, das folhas de cartas topográficas, na imagem Landsat utilizada, pode ser observada na figura 2.4., alertando-se que as folhas são identificadas pelo "Nº de Ordem" do quadro 2.3, anterior.

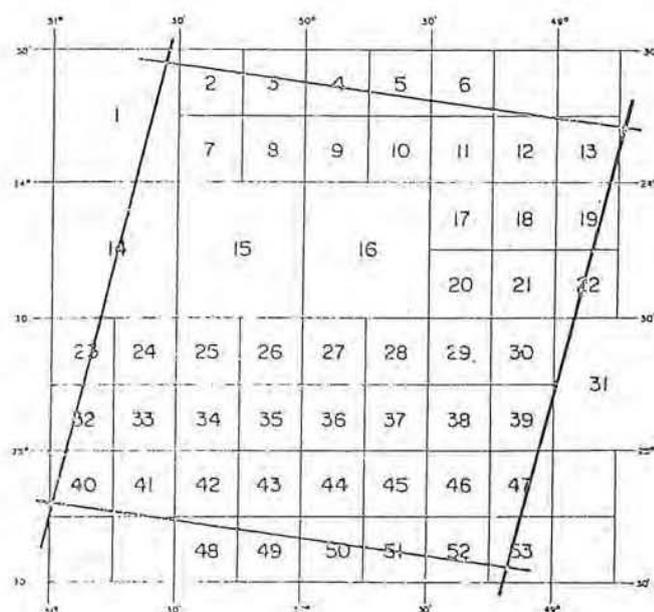


Fig. 2.4 – Posição relativa das folhas na imagem.

## 2.5 Seleção dos Pontos de Apoio

As transformações geométricas envolvem um processo preparatório de escolha dos pontos de apoio. A quantidade daqueles pontos, e a sua distribuição sobre a imagem irão influir na precisão dos parâmetros a serem calculados.

Assim, os pontos de controle têm que ser selecionados com muito cuidado e as coordenadas de aparelho (da imagem) medidas num computador.

Além disso, deve-se escolher pontos que sejam facilmente identificados na imagem e nas cartas, a fim de que se tenha certeza na definição dos mesmos. Para isto preferiu-se utilizar os canais 5 e 6, que, combinados, melhor definem as feições básicas a serem interpretadas na imagem (hidrografia, feições urbanas, vias de transporte, culturas, matas, etc).

No contexto das feições básicas, citadas, utilizou-se, para a maioria dos pontos de apoio, detalhes que pudessem definir posições com a melhor precisão possível, como:

- Cruzamentos ou bifurcações de estradas,
- Extremidades de aeroportos,
- Pontos rodoviários,
- Confluências de rios,
- Barragens,
- Centro geométrico de lagos, etc.

Justifica-se a preferência pela combinação dos canais 5 e 6 pelo fato de, na definição de posições através da interpretação visual, eles se complementarem:

— Na banda 6, as massas de água aparecem claramente; ao passo que, na banda 5, as rodovias e cidades são identificadas facilmente, e os modelos de drenagem são bem distintos e evidentes (ver LOCH<sup>08</sup>).

Assim, através da combinação dos canais 5 e 6, conseguiu-se selecionar, inicialmente, uma grande quantidade de pontos de apoio (112). Posteriormente, devido a incertezas quanto a definição exata dos detalhes, foram eliminados 39 pontos(\*) e medidos mais 8, resultando um total de 81 (oitenta e um) pontos de apoio regularmente distribuídos ao longo de toda a imagem. A distribuição dos 81 pontos de apoio selecionados pode ser apreciada na figura 2.5., a seguir:

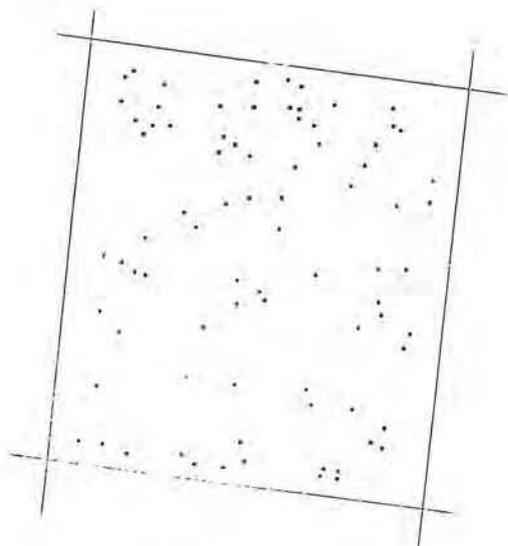


Fig. 2.5 — Distribuição dos 81 pontos de apoio na imagem

(\*) Os pontos eliminados foram aqueles cuja identificação, pelos operadores do Planicom, ficou duvidosa.

## 2.6 Medição das Coordenadas UTM

As coordenadas UTM, dos pontos de apoio, foram extraídas, graficamente, das cartas topográficas disponíveis, por interpolação entre as quadriculas.

Para coordenadas UTM, adotou-se as seguintes variáveis:

XG = Este (E),

YG = Norte (N).

Sabe-se que a precisão de leitura gráfica (acuidade visual do homem) é 0,2mm. Assim, nas cartas 1:50.000, a precisão das medições foi de  $\pm 10m$ , e nas cartas 1:100.000 de  $\pm 20m$ , na escala do terreno.

Porém, para se ter um padrão de comparação, considerou-se as coordenadas UTM (XG e YG), extraídas, graficamente, das cartas topográficas, como corretas (isentas de erro) — neste caso, foi aplicado o modelo paramétrico de ajustamento.

## 2.7 Medição das Coordenadas da Imagem

Para medir as coordenadas dos pontos de apoio na imagem LANDSAT, valeu-se do PLANICOMP C-100, utilizado como "monocomparador de alta precisão" (precisão de pontaria de  $\sim 3\mu m$ ).

Para se registrar as coordenadas dos pontos de apoio, lidas nos dois canais (5 e 6), utilizou-se o "PROGRAMA B 70" (programa de aplicação standard), com parâmetros "IWR6" (impressora) e "IFORM 11" (NUMB, XCL, YCL, XCR, YCR).<sup>10</sup>

Com este procedimento, a impressora registra, em cada linha, o seguinte:

- NUMB = número do ponto medido (pré-estabelecido pelo operador),
- XCL e YCL = coordenadas XP e YP do ponto, na imagem colocada na placa da esquerda (canal 5),
- XCR e YCR = coordenadas SG e YG do ponto, na imagem colocada na placa da direita (canal 6).

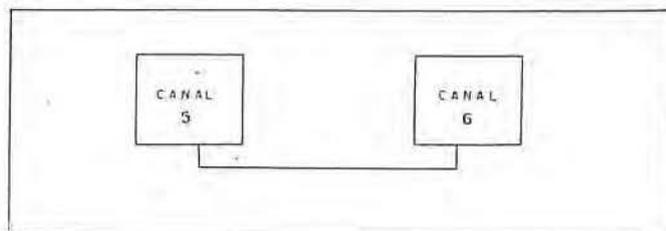


Fig. 2.7 — Fixação das imagens (Canais 5 e 6) nas placas do Planicom.

## 2.8 Coordenadas do Sistema de Máquina

O Planicom C100 foi utilizado para a medição das coordenadas das imagens (canais 5 e 6), como monocomparador, isto é, fazendo-se a medição, sobre cada uma das imagens, por vez (ver fig. 2.8, a seguir):

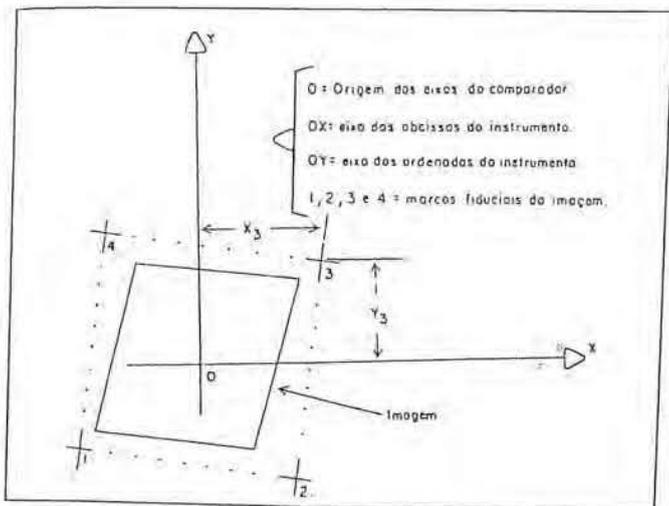


Fig. 2.8 – Medida de coordenadas com o monocomparador.

Assim, as imagens dos canais 5 e 6 foram colocadas, com uma posição arbitrária, respectivamente, nas placas da esquerda e da direita do monocomparador. Não se fez a orientação das placas — as imagens foram colocadas, aleatoriamente, sobre o suporte, sem qualquer correlação entre elas.

As medições, em cada canal, foram efetuadas sobre todas as marcas fiduciais e sobre todos os pontos de apoio identificáveis num e (ou) noutro canal.

### 2.9 Uniformização das Coordenadas de Imagem

Visando a transformação das coordenadas da imagem em UTM, necessitou-se, preliminarmente, uniformizar as coordenadas das imagens de todos os pontos de apoio, isto é, transformá-los a um único canal. Optou-se pelo canal 6.

Assim, todos os pontos que possibilitaram uma observação nítida da imagem do canal 5, tiveram suas coordenadas transformadas para o canal 6.

#### 2.9.1 Escolha do Modelo Matemático

Os tratamentos matemáticos e computacionais, cada dia, mais e mais, substituem as atividades analógicas e gráficas convencionais. As transformações (relações) geométricas passam a ser instrumentos fundamentais de trabalho para o fotogrametrista e geodesta modernos.

A escolha do modelo matemático mais adequado à realidade física é preponderante na eficiência numérica e na exatidão dos resultados obtidos.

Assim, para uniformização das coordenadas da imagem, como se trata de variação de canais da mesma imagem (mesma geometria), optou-se pela transformação de Helmert, considerando que:

- 1º) Uma transformação de Helmert não afeta a geometria interna da imagem;
- 2º) As transformações de Helmert são projeções similares, provindo apenas de duas translações, uma rotação e um fator de escala.

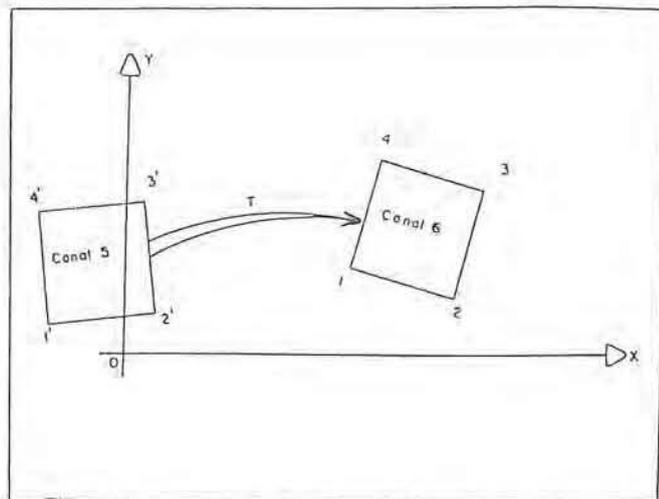


Fig. 2.9 – Transformação de Helmert (forma invariante).

### 2.9.2 Desenvolvimento Matemático, Programas FORTRAN e Cálculos

Todo o desenvolvimento matemático e cálculos para uniformização das coordenadas de imagem podem ser encontrados em (SANTOS<sup>11</sup>).

#### 2.9.3 Pontos Preparados para as Transformações

Os 81 (oitenta e um) pontos de apoio selecionados, após medidos nas cartas topográficas, medidos nas imagens (canais 5 e 6) e homogeneizados para o canal 6, estão preparados para as transformações a serem desenvolvidas.

Assim, aqueles pontos cuja posição relativa na cena aparece na figura 2.5, têm seu n.º de ordem (NPC), coordenadas de imagem (XP, YP) e coordenadas UTM (XG, YG), mostrados no quadro 2.9.3., a seguir:

Quadro 2.9.3 — Coordenadas dos pontos de apoio preparados para as transformações (FUSO 8, do Sistema UTM)

N P C	X P	Y P	X G	Y G
01	-69.175	95.492	561.965	7389.640
02	-72.658	90.856	557.725	7385.830
03	-73.796	77.700	554.370	7373.315
04	-54.329	89.492	575.760	7380.940
05	-7.544	95.581	623.430	7377.650
06	-66.505	70.426	560.430	7364.806
07	-55.824	78.424	572.350	7370.600
08	-61.062	63.969	564.700	7357.550
09	-57.760	67.710	568.710	7360.550
10	-48.594	71.165	578.210	7362.100
11	-24.618	83.426	604.150	7369.245
12	-4.880	83.946	623.920	7366.040
13	-20.460	66.765	605.450	7352.310
14	-21.466	59.571	603.250	7345.580
15	-19.056	81.103	609.300	7365.900
16	-35.921	28.510	583.620	7317.840
17	-51.452	7.438	564.600	7300.200
18	-29.667	21.942	588.600	7310.200
19	-6.511	58.608	618.100	7341.515

N P C	X P	Y P	X G	Y G
20	-14.464	40.553	607.030	7325.530
21	-15.418	34.564	605.010	7319.840
22	10.290	97.660	641.480	7376.100
23	16.778	96.762	647.750	7373.980
24	12.895	84.345	641.750	7362.800
25	16.166	79.268	644.125	7357.200
26	15.204	84.594	644.045	7362.560
27	22.068	76.755	649.585	7353.585
28	33.870	88.239	663.400	7362.380
29	61.953	90.242	691.495	7358.880
30	67.431	80.569	695.100	7348.450
31	70.804	79.835	698.320	7347.080
32	16.790	56.478	640.850	7334.850
33	12.398	39.156	633.560	7318.830
34	12.544	30.712	632.230	7310.450
35	28.424	68.578	654.580	7344.390
36	52.393	60.911	677.010	7332.205
37	45.773	49.482	668.420	7322.430
38	57.235	71.322	683.550	7341.395
39	82.819	55.558	705.850	7321.250
40	72.249	42.139	693.310	7310.010
41	84.112	46.867	705.730	7312.400
42	69.146	-0.283	682.810	7268.995
43	80.150	2.886	694.120	7270.120
44	6.840	-7.140	620.025	7274.530
45	8.228	-9.290	621.005	7272.200
46	34.260	5.985	649.550	7281.960
47	67.396	-3.339	680.660	7266.370
48	59.200	-16.481	670.380	7255.125
49	69.471	-10.290	681.485	7259.165
50	85.712	-17.350	696.060	7249.160
51	82.937	-22.773	692.460	7244.390
52	-3.782	-51.978	602.000	7232.275
53	35.940	-49.883	641.800	7226.565
54	38.561	-55.685	643.380	7220.300
55	59.944	-55.839	664.500	7216.100
56	-2.458	-89.485	597.210	7194.860
57	5.682	-77.513	607.200	7205.150
58	8.482	-86.901	608.340	7195.350
59	46.592	-88.790	645.765	7186.060
60	47.603	-87.998	646.910	7186.670
61	56.487	-87.658	655.780	7185.265
62	56.171	-88.851	655.220	7184.175
63	70.054	-72.437	671.580	7197.640
64	77.362	-63.562	680.080	7205.160
65	77.840	-73.346	678.950	7195.405
66	-74.418	3.238	541.160	7300.520
67	-66.459	1.278	548.680	7297.110
68	-58.040	-1.719	556.480	7292.530
69	-73.661	-22.741	537.700	7274.940
70	-54.540	-3.556	559.530	7290.080
71	-62.694	-32.739	546.855	7262.855
72	-20.608	-24.767	589.730	7262.580
73	-6.762	-0.304	607.610	7283.905
74	1.917	-13.328	614.120	7269.500
75	-71.535	-59.070	533.830	7238.565

N P C	X P	Y P	X G	Y G
76	-26.381	-49.420	579.910	7239.300
77	-77.250	-85.895	523.840	7213.100
78	-64.962	-85.232	535.950	7211.330
79	-52.918	-76.551	549.230	7217.580
80	-16.775	-72.861	585.650	7214.170
81	-11.341	-83.835	589.290	7202.160

## 2.10. Transformação das Coordenadas de Imagem em Coordenadas UTM

### 2.10.1. Definição dos Modelos Matemáticos

Aplicaremos 4 (quatro) diferentes modelos matemáticos, na análise da geometria da imagem LANDSAT MSS BULK, processada no Brasil (INPE):

#### 1º) Transformação de similaridade (Helmert):

$$X = a_1x - a_2y + a_3$$

$$Y = a_2x + a_1y + a_4$$

#### 2º) Transformação afim:

$$X = a_1x + a_2y + a_5$$

$$Y = a_3x + a_4y + a_6$$

#### 3º) Polinômio de 2º grau:

$$X = a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4y^2 + a_5xy + a_6$$

$$Y = a_7x + a_8y + a_9x^2 + a_{10}y^2 + a_{11}xy + a_{12}$$

#### 4º) Polinômio de 3º grau:

$$X = a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4y^2 + a_5xy + a_6x^3 + a_7y^3$$

$$+ a_8x^2 + a_9xy^2 + a_{10}$$

$$Y = a_{11}x + a_{12}y + a_{13}x^2 + a_{14}y^2 + a_{15}xy + a_{16}x^3 +$$

$$a_{17}y^2 + a_{18}x^2y + a_{19}xy^2 + a_{20}$$

Onde:

X, Y — são as coordenadas UTM (extraídas da carta);

x, y — são as coordenadas das imagens;

a<sub>j</sub> — são os parâmetros de transformação a serem determinados, mediante um cálculo de ajustamento (paramétrico), onde:

$$i = 1, 2, 3, \dots, 19, 20.$$

### 2.10.2 Programas Elaborados

Para calcular e ajustar os parâmetros, bem como executar as transformações e analisar os resultados, foram elaborados os seguintes programas (ver SANTOS,<sup>12</sup>

#### 1º) Para as transformações de Helmert, afim e polinômio do 2º grau:

— Programa: "HAFPG2.FOR"

— Pacote de Subrotinas: "ROTESE.FOR"

#### 2º) Para a transformação com polinômio de 3º grau:

— Programa: "TESG3.FOR"

### 2.10.3 Procedimentos

Para analisar a geometria da imagem LANDSAT MSS BULK utilizada, procedeu-se como segue:

- 1º) Definiu-se 5 áreas distintas da imagem (ver figura 2.10):
  - a) Área 5 = cena completa, com 81 pontos medidos;
  - b) Área 1 = quadrante NW da cena, com 21 pontos medidos;
  - c) Área 2 = quadrante NE da cena, com 22 pontos medidos;
  - d) Área 3 = quadrante SE da cena, com 22 pontos medidos;
  - e) Área 4 = quadrante SW da cena, com 16 pontos medidos;

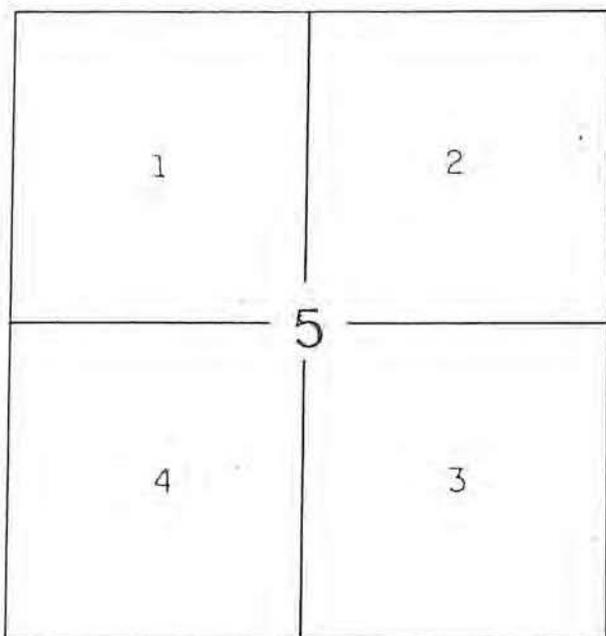


Fig. 2.10 – Áreas definidas na imagem

- 2º) Executou-se 50 (cinquenta) transformações, com ajustamento dos respectivos parâmetros, conforme o Quadro 2.10.3, a seguir:

Quadro 2.10.3 — Transformações Executadas

Área	Ptos de Controle	Ptos Analisados	Transf de Helmeri	Transf Afim	Polinom Grau 2	Polinom Grau 3
5	81	81	X	X	X	X
	16					X
	12		X	X	X	X
	9		X	X	X	X
	4		X	X		
1	21	21	X	X	X	X
	9		X	X	X	
	4		X	X		
2	22	22	X	X	X	X
	9		X	X	X	
	4		X	X		
3	22	22	X	X	X	X
	9		X	X	X	
	4		X	X		
4	16	16	X	X	X	X
	9		X	X	X	
	4		X	X		

### 2.10.4 Considerações sobre as Transformações:

#### 1º) Transformação de Helmert

A transformação de similaridade, também chamada isogonal, conforme ou de Helmert (ver LUGNANI<sup>13</sup>), corresponde a uma projeção da imagem num mapa e não afeta a geometria interna da imagem (forma invariante) — ver figura 2.10.a.

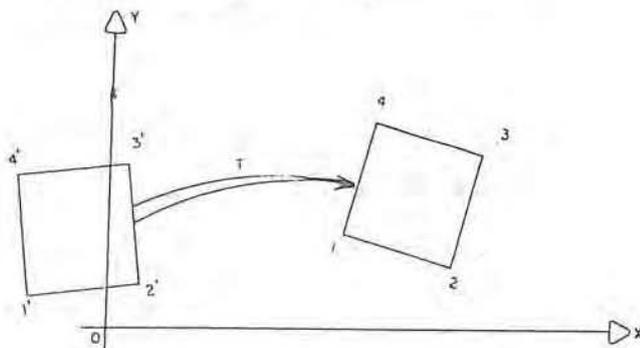


Fig. 2.10.a – Transformação de Helmert (forma invariante).

#### 2º) Transformação de Afinidade

A transformação de afinidade mantém invariante o paralelismo entre as respectivas linhas da figura, mas já altera sua forma, pois introduz duas escalas (no caso plano), nas direções x e y (ver fig. 2.10.b)

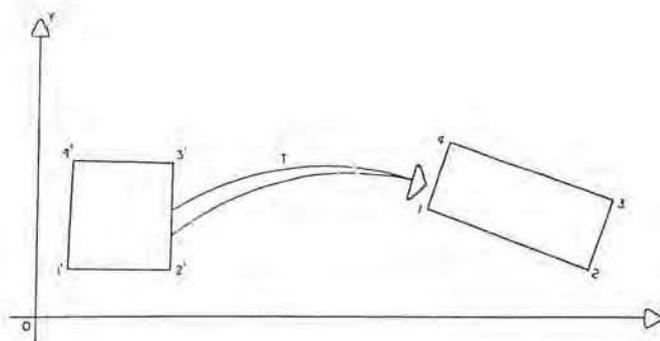


Fig. 2.10.b – Transformação afim (paralelismo invariante).

#### 3º) Polinômios de 2º e 3º Graus

Os polinômios de segunda ordem ou de ordem superior modificam a geometria das imagens de uma

maneira não linear, independente das duas direções. Aqui já nem a colinearidade é mantida, isto é, a geometria não fica definida pelo conjunto de pontos dos vértices de uma imagem (ver figuras 2.10.c e 2.10.d). No presente trabalho, utilizamos os polinômios completos de 2º e 3º graus.

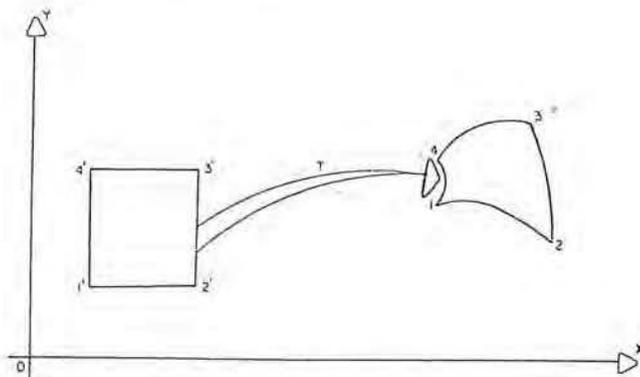


Fig. 2.10.c - Relação polinomial de grau 2.

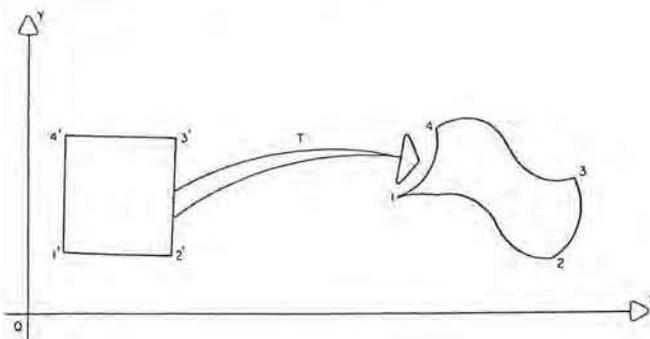


Fig. 2.10.d - Relação polinomial de grau 3.

As listagens das transformações (programas FORTRAN, cálculos, ajustamentos e análise dos resultados) encontram-se em (SANTOS<sup>14</sup>).

## Parte 3

### Análise dos Resultados — Conclusões e Recomendações

#### 3.1 Análise dos Resultados

##### 3.1.1 Considerações Gerais

A transformação de Helmert (translações, rotação e escala) conserva a geometria interna de uma imagem. É, pois, apropriada para projetar uma cena LANDSAT, como se fosse uma ampliação de fotografia aérea convencional, em um mapa. Assim, pode ser aplicada, ou para fornecer medidas apropriadas das deformações geométricas da imagem, ou para definir um fator de escala visando a retificação digital (ver BÄHR<sup>15</sup>). No caso da presente pesquisa, as transformações de Helmert tiveram por objetivos verificar a precisão geométrica da imagem em estudo.

Os polinômios de segunda ordem têm sido aplicados por muitos autores a fim de descrever a geometria de imagens

LANDSAT MSS (ver BÄHR<sup>16</sup>, TRINDER/NASCA<sup>17</sup>). Os resultados têm sido bons e a tendência é uma extensão às aplicações operacionais. Porém, neste caso, é necessário um maior controle de campo que para as transformações de Helmert e afim. Assim, no caso de aplicações operacionais, será necessário analisar, previamente, se os resultados práticos justificam ou não os custos. No caso de transformações com polinômios de 2ª e 3ª ordens não há necessidade de se fazer uma pré-correção afim, pois aquelas relações já contêm os parâmetros de afinidade.

#### 3.1.2 Procedimentos

Na presente pesquisa, para se analisar a geometria de uma imagem LANDSAT MSS BULK processada no Brasil (INPE), adotou-se os procedimentos a seguir.

As transformações (cena completa ou por quadrantes) foram desenvolvidas, primeiramente, usando-se, no cálculo dos parâmetros, todos os pontos de controle, e depois, usando-se 16 pontos de controle (só para o caso de polinômio de terceiro grau); 12 pontos de controle (para todas as transformações: Helmert, afim e polinômios de 2º e 3º graus); 09 pontos de controle (exceto para polinômios de 3º grau), e 04 pontos de controle (somente para as transformações de Helmert e afim) — ver quadro 3.1, a seguir. O desenvolvimento de todas estas transformações poderá ser apreciado em (SANTOS<sup>14</sup>).

#### 3.1.3 Observações e Análises

Para facilitar a análise dos resultados dos cálculos desenvolvidos, resumiu-se, em quadro sintético, o erro médio quadrático de todas as transformações executadas (ver quadro 3.1), e desenhou-se os vetores dos resíduos dos 81 pontos de algumas transformações selecionadas (ver figuras 3.1.1, 3.1.2 e 3.1.3).

Os resíduos (RX e RY) foram determinados aplicando-se as diversas transformações, aos 81 pontos de apoio, e comparando-se as coordenadas transformadas (XT, YT) com as respectivas coordenadas UTM (E, N) originais, extraídas das cartas.

O erro médio quadrático (EMQ), por eixo coordenado (ver BÄHR<sup>15</sup>), é obtido por:

$$m_{x,y} = \sqrt{\frac{[\epsilon\epsilon]_{x,y}}{n}}, \text{ com } n = 81, \text{ sendo,}$$

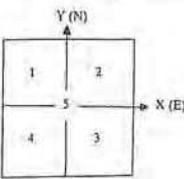
nesta pesquisa, X eixo WE e Y eixo SN.

Assim, o

EMQ resultante será:

$$m_s = \sqrt{m_x^2 + m_y^2}$$

Quadro 3.1 — Síntese do EMQ, dos resíduos das coordenadas, de todas as transformações desenvolvidas:



ÁREA 5 = cena completa  
 ÁREAS 1, 2, 3 e 4 = quadrantes da cena

ERRO MÉDIO QUADRÁTICO EM METROS										
Área	Ptos Usados	Ptos Controle	TR Helmert		TR Afim		Polin. 2º Grau		Polin. 3º Grau	
			MX±	MY±	MX±	MY±	MX±	MY±	MX±	MY±
5	81	81	692	867	185	212	98	67	56	54
	81	16	—	—	—	—	—	—	80	58
	81	12	723	853	186	216	106	80	93	88
	81	09	747	838	187	220	112	82	—	—
	81	04	1158	531	202	247	—	—	—	—
1	21	21	329	406	67	103	57	49	35	44
	21	09	367	401	70	117	66	53	—	—
	21	04	578	348	91	120	—	—	—	—
2	22	22	265	375	96	92	45	43	34	33
	22	09	248	291	97	94	51	54	—	—
	22	04	655	168	133	123	—	—	—	—
3	22	22	399	448	123	76	51	48	31	31
	22	09	479	416	131	84	62	57	—	—
	22	04	440	450	128	91	—	—	—	—
4	16	16	424	525	91	76	28	32	24	22
	16	09	413	548	47	82	37	45	—	—
	16	04	330	614	100	88	—	—	—	—

Para se ter uma melhor visualização dos resultados de cada transformação, desenhou-se os vetores dos resíduos, nos quadros das três figuras (3.1.1, 3.1.2 e 3.1.3) a seguir, nas quais a posição dos eixos coordenados corresponde à do quadro 3.1., anterior.

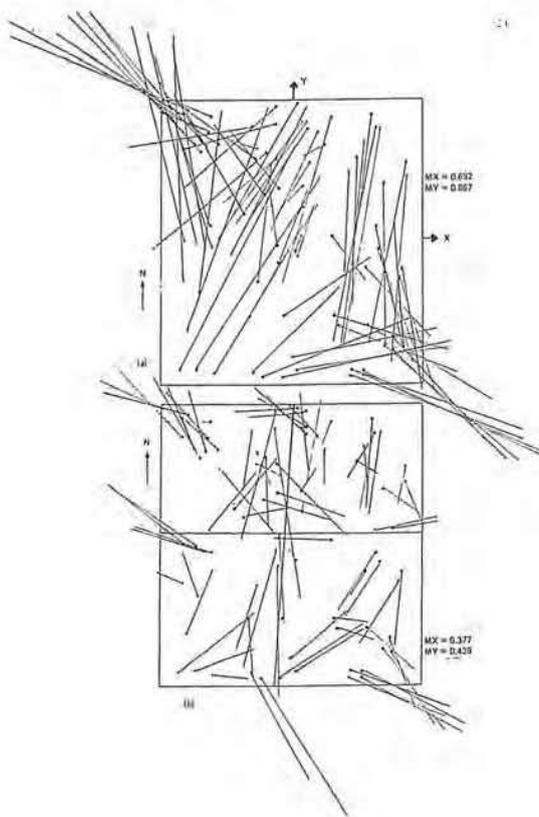


Fig. 3.1.1 — Vetores dos resíduos após a transformação de Helmert.

ESCALAS: — Do quadrilátero (imagem) — 1:2000.000.  
 — Dos vetores ≈ 1:20.000  
 (1 KM no terreno)

(a) Imagem com 81 pontos de controle (cena completa).  
 (b) Quadrantes com 9 pontos de controle (4 quadrantes).

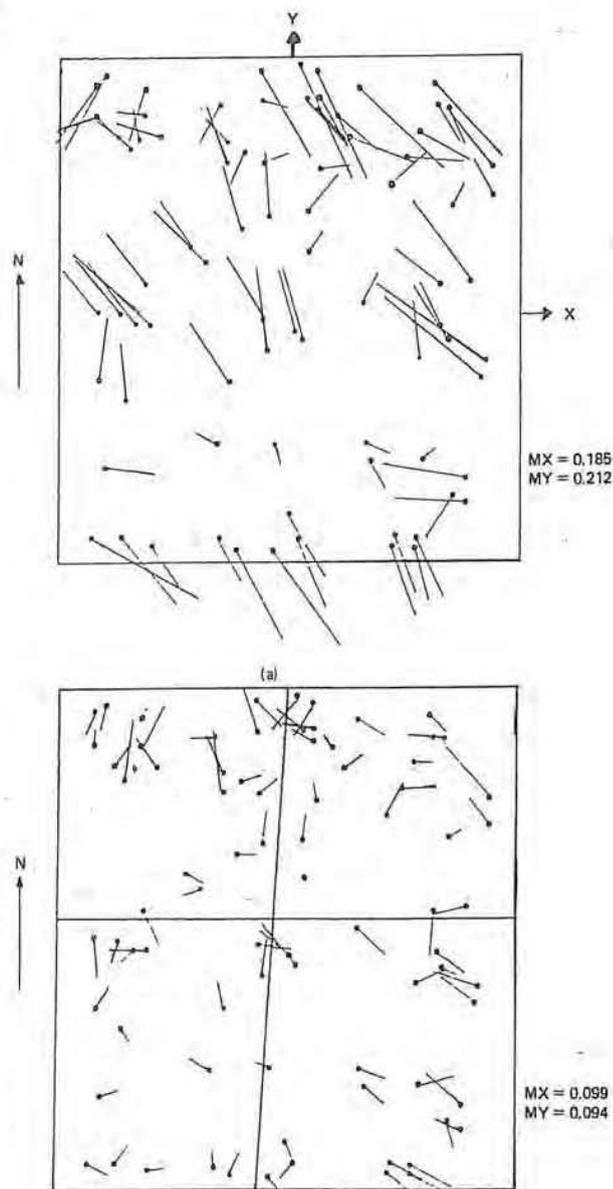


Fig. 3.1.2 — Vetores dos resíduos após a transformação afim.

ESCALAS: — Do quadrilátero (imagem) — 1:2.000.000  
 — Dos vetores — 1:20.000.  
 (1 Km no terreno)

(a) Imagem com 81 pontos de controle (cena completa).  
 (b) Quadrantes com 9 pontos de controle (4 quadrantes).

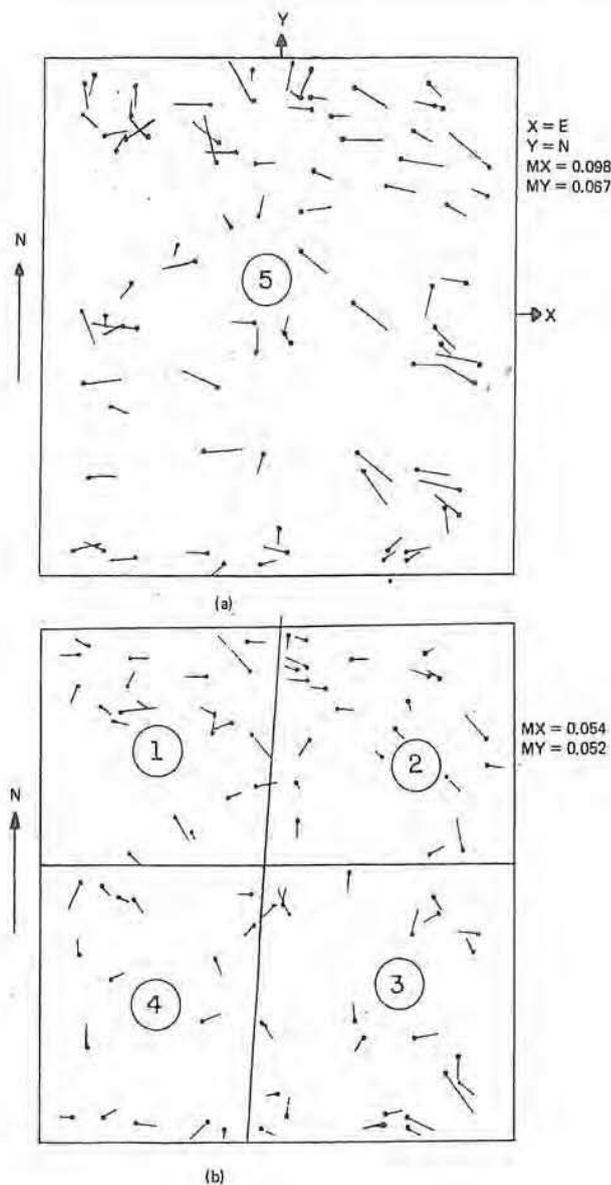


Fig. 3.1.3 — Vetores dos resíduos após a transformação polinomial de 2º grau.

ESCALA: — Do quadrilátero (imagem) — 1:2.000.000  
 — Dos vetores — 1:20.000  
 (1 km no terreno)

(a) Imagem com 81 pontos de controle (cena completa).  
 (b) Quadrantes com 9 pontos de controle (4 quadrantes).

A divisão da imagem, em quadrantes, já foi experimentada por autores estrangeiros (ver BÄHR<sup>15, 18</sup>; TRINDER/NASCA<sup>17</sup>) com bons resultados práticos. Também em muitas aplicações práticas dos programas de sensoramento remoto, são usadas porções da cena, menores que um quadrante. A menor área processada torna mais fácil o ajustamento de uma imagem de má geometria (ver BÄHR<sup>15</sup>).

Os resultados desta pesquisa indicam, através da análise do Quadro 3.1, que são suficientes 4 pontos de controle

para cada quadrante da cena, e 9 para cada cena completa. No quadro citado, pode ser observado que, nos casos de divisão da cena em quadrantes, a precisão praticamente não melhora com o aumento daquelas quantidades de pontos de apoio (4 e 9, respectivamente). Esta constatação prática, através da análise de imagem BULK processada no Brasil, coincide com conclusões tiradas em trabalho análogo desenvolvido com imagens da “Alemanha do Norte e da “Bavária” (ver BÄRH<sup>15</sup>). Porém, tem-se que considerar a quantidade de pontos de apoio em função das incógnitas — por exemplo, no caso do polinômio de grau 3, com 20 parâmetros a determinar, ter-se-ia que dispor de mais de 10 pontos de apoio (mais de 20 equações) para possibilitar o cálculo e ajustamento dos parâmetros de transformação.

Na figura 3.1.1, onde aparece o desenho dos vetores dos resíduos (RX, RY) dos pontos transformados, é realçada a má qualidade geométrica de imagens BULK. Os resíduos mostram um comportamento sistemático, característico, causado pela afinidade. Esta tendência típica das imagens BULK, também foi constatada nas cenas estudadas de modo similar em BÄHR<sup>15</sup>. Gericamente, os erros crescem em direção às bordas da imagem — esta característica das imagens BULK causa dificuldades no caso de uso em mosaicagem. Pode-se, em outras pesquisas, aplicar pesos às coordenadas dos pontos; assim as coordenadas dos pontos mais centrais entrariam, no ajustamento, com maior peso.

A observação do quadro 3.1, e das Figuras 3.1.1, 3.1.2 e 3.1.3, nos indicam, resumidamente, que:

- 1º) O aumento da quantidade de pontos de apoio, geralmente, não melhora a precisão (Quadro 3.1);
- 2º) A divisão da imagem em quadrantes melhora, sensivelmente, a precisão (Figuras 3.1.1, 3.1.2 e 3.1.3);
- 3º) Observa-se sensível melhora da precisão, na progressão das transformações de Helmert para afin, e daí para polinômio de 2º grau (figuras 3.1.1, 3.1.2 e 3.1.3);
- 4º) Na evolução dos polinômios de 2ª ordem para o de 3ª ordem também ocorre melhora digna de registro (quadro 3.1).

### 3.2 Conclusões

Após as observações e análises apresentadas no item 3.1.3 anterior, pode-se, como coroamento, relacionar as conclusões a seguir:

- (1) A quantidade de pontos de controle, usados no cálculo e ajustamento dos parâmetros de transformação ( $a_j$ , não é essencial — não influencia, significativamente, nos resultados práticos. Contudo, deve-se observar, por razões matemáticas, que o número de pontos de controle (de coordenadas conhecidas) dependerá do grau do polinômio — deverá haver maior número de equações do que a quantidade de incógnitas (parâmetros) a fim de que o ajustamento seja possível;

- (2) A divisão da cena, em quadrantes, leva a um aperfeiçoamento significativo da exatidão. A precisão geométrica é, consideravelmente, melhor para áreas menores do que para área completa das imagens;
- (3) As deformações geométricas de uma imagem BULK (corrigida apenas do “fator de afinidade” e do “efeito da Terra”) podem ser mostradas pelos vetores dos resíduos  $RS = \sqrt{\overline{RX^2} + \overline{RY^2}}$  (observar visualização à figura 3.1.1.), calculados e analisados através das “transformações de Helmert” que não alteram a geometria interna da imagem (item 3.1.1.);
- (4) As distorções são menores segundo a linha da órbita (YY) do que na linha transversal à órbita (XX);
- (5) A transformação afim aumenta, consideravelmente, a precisão da geometria original (avaliada, anteriormente, pela transformação de Helmert), considerando-se que a transformação afim aplica correções em escala, diferentes para cada direção. Conclui-se, ainda, que, no processamento inicial, a aplicação de um correto fator de descompressão tem importância básica para a qualidade geométrica dos produtos.
- (6) *No caso de imagem completa (área 5):*
- (a) A aplicação das relações polinomiais de segunda ordem conduziram a imagem a uma precisão de  $\pm 100$  m em X (direção das varreduras do espelho) e  $\pm 70$  m em Y (direção da órbita do satélite);  
Observe-se a grande diferença de precisão entre as duas direções — uma distorção da imagem um pouco maior em X seria justificada pela influência da curvatura da Terra e das oscilações do espelho;
- (b) A aplicação das relações polinomiais de 3ª ordem conduziram a imagem em estudo a uma precisão de  $\pm 55$  m em ambas as direções (X, Y);
- (c) Contrariamente aos resultados práticos das pesquisas desenvolvidas na Alemanha Ocidental (ver BÄHR<sup>15</sup>), aqui o polinômio de 2ª ordem não deu bons resultados, havendo sensível melhora da precisão, com aplicação do polinômio de 3ª ordem. Isto se deve, provavelmente, ao fato de, na Alemanha o sistema cartográfico ter os fusos limitados a 3º (três graus), contrariamente ao caso do Brasil, onde os fusos são de 6º (seis graus) — Assim, ao se afastar muito do meridiano central do fuso, as deformações são grandes. Este fato também poderia justificar a sensível diferença das precisões entre X ( $\pm 100$  m) e Y ( $\pm 70$  m) no caso do polinômio de 2º grau. Esta questão, no entanto, fica aberta, e poderá ser confirmada, ou não, em pesquisas futuras, na análise de outras imagens;

- (7) *No caso de divisão da imagem em quadrantes (áreas 1, 2, 3 e 4):*
- (a) A aplicação das relações polinomiais de 2ª ordem conduziram a imagem a uma precisão de  $\pm 45$  m (um pouco próximo do valor teórico — ver item 2.1.);
- (b) A aplicação das relações polinomiais de 3ª ordem conduziram a imagem em estudo a uma precisão de

$\pm 30$  m (muito próximo do limite teórico de precisão de imagens numéricas — ver item 2.1.);

- (c) Neste caso (divisão da imagem em quadrantes) a aplicação do polinômio de 3º grau, em relação ao de 2º grau, não apresenta melhoria tão significativa a ponto de justificar, incondicionalmente, sua adoção, principalmente, em se considerando os aumentos de custos, devido à necessidade de um maior número de pontos de controle.

### 3.3 RECOMENDAÇÕES

As conclusões do item 3.2., por si só, já sugerem as recomendações a seguir, sobre o uso de imagens de satélites:

- (1) Deve-se dividir a cena em quadrantes ou em áreas menores, o que conduz a um aperfeiçoamento significativo da precisão da imagem;
- (2) Deve-se observar, sempre que possível, uma boa distribuição dos pontos de apoio na imagem.

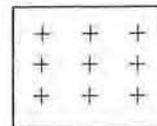


Fig. 3.3

A figura 3.3. ilustra a configuração recomendada dos pontos de controle de terreno. Recomenda-se a seguinte distribuição dos pontos de apoio:

- (a) 4 (quatro) pontos nos cantos da imagem, com um mínimo necessário para aplicação da transformação de Helmert;
  - (b) 9 (nove) pontos, bem distribuídos (fig. 3.3.), poderão ser suficientes para aplicação de polinômio do 2º grau;
  - (c) 16 (dezesesseis) pontos de controle poderão ser suficientes para o caso de transformações polinomiais de 3º grau.
- (3) Deve-se utilizar um mínimo de pontos de controle em aplicações práticas, visando um baixo custo (econômico), desde que a precisão exigida não seja prejudicada e considerando que a mesma não será, significativamente, melhorada pela inclusão de um maior número de pontos de apoio.
  - (4) No caso de aplicação em mosaicagem, deve-se tomar cuidado, considerando-se que as maiores deformações de uma imagem BULK, são verificadas nas bordas (periferias), zonas estas de provável ligação entre as cenas adjacentes. Neste caso, por ocasião do ajustamento, pode-se atribuir pesos maiores às coordenadas dos pontos de controle mais centrais da imagem.
  - (5) Como melhor solução simplificada, para o processamento geométrico de uma imagem BULK processada no Brasil, recomenda-se a aplicação dos parâmetros de transformação obtidos através de:
    - (a) Relações Polinomiais de 2º grau, quando a cena puder ser dividida em quadrantes (nº (7), do item 3.2.);

(b) Relações Polinomiais de 3º grau, no caso de ter que trabalhar com a cena completa (nº (6) do item 3.2.).

(6) Após definidos os melhores parâmetros de transformação (a<sub>i</sub>) para uma determinada imagem, pode-se usá-los para retificar aquela imagem, fornecendo-se-os, juntamente com os dados da fita CCT, como dados de entrada ao computador e obtendo-se, na saída, uma nova posição para os píxels, ou seja, uma nova imagem...uma IMAGEM PRECISION. (ver BERUTTI VIEIRA)<sup>19</sup>).

## PARTE 4

### CONCLUSÃO

#### 4.1. UTILIZAÇÃO DE IMAGENS LANDSAT NA CARTOGRAFIA

Toda pesquisa sobre imagens de satélites, em última análise, deve oferecer contribuições diretas ou indiretas para solução de problemas da cartografia atual.

A aplicação do imageamento por satélites, no mapeamento topográfico regular, é ainda insipiente, devido à falta de resolução e às distorções das imagens. Porém, como se viu na presente pesquisa, em áreas onde existam pontos de apoio, pode-se obter os parâmetros de transformação mais adequados para determinada cena, e aplicá-los, posteriormente, na retificação digital da imagem, obtendo-se uma nova imagem (precision) sensivelmente corrigida das distorções iniciais. Após tais correções, a imagem retificada poderá ser utilizada, entre outros fins, para:

- (1) Atualizar documentos cartográficos já existentes;
- (2) Construir cartas temáticas;
- (3) Confeccionar cartas preliminares, onde inexista mapeamento topográfico regular (neste caso os pontos de apoio necessários à retificação da imagem deverão ser selecionados na imagem e ter suas coordenadas UTM determinadas no terreno).

#### 4.2 PERSPECTIVAS FUTURAS

A potencialidade das imagens de satélites, com relação à cartografia, é vista, pois, com o lançamento de novos satélites (SPOT, e outros) e os aperfeiçoamentos técnicos, os métodos atingirão as precisões cartográficas exigidas.

Assim, toda a Comunidade Cartográfica Mundial deve, através de cursos, seminários e (ou) pesquisas, se manter atualizada com as novas técnicas de sensoriamento remoto, a fim de que, a curto e médio prazos, se possa tirar o maior proveito possível de seus produtos, em benefício da humanidade.

#### Notas de Referência

<sup>01</sup>BÄHR, Hans-Peter. *Geometrical Analysis and Rectification of Landsat MSS Imagery: Comparison of Different Methods. International Society for Photogrammetry*, MOSCOW, USSR. 1978. p. 25.

<sup>02</sup>Ibid. p. 29-30

<sup>03</sup>BÄHR, Hans-Peter. *Geometrical Model for Satellite Scanner Imagery*. ISP Comm. III, Helsinki. 1976.

<sup>04</sup>BÄHR, Hans-Peter. *Limitações Básicas no Tratamento Digital dos Dados Landsat (MSS)*. II Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Brasília. DF. 1982. p. 3-5.

<sup>05</sup>Kratki, V. *Cartographic Accuracy of ERTS*. Photogrammetric Engineering, 1974. p. 203-212.

<sup>06</sup>WONG, K. W. *Geometric and Cartographic Accuracy of ERTS-1 Imagery*. Photogrammetric Engineering, Virgínia, 1975. p. 621-635.

<sup>07</sup>SANTOS, José Niu Lopes dos. *Pesquisa Analítico-Fotogramétrica da Precisão Geométrica de uma imagem Landsat MSS Processada no Brasil*. Tese de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 1983. 270 p.

<sup>08</sup>LOCH, Carlos. *Pesquisa de Diversos Sensores (LANDSAT, RADAR E FOTOS AÉREAS), bem como Estudos de Suas Potencialidades Aplicadas à Interpretação geológica*. Tese de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 1982. p. 4-19.

<sup>09</sup>BÄHR, Hans-Peter. *Geometrical Analysis and Rectification of...* p. 44

<sup>10</sup>ZEISS, West Germany. Manual de Manejo 51-1088. Planicom C100 — Sistema Analítico de Restituição, 1982. 225 p.

<sup>11</sup>SANTOS, José Niu Lopes dos. *Pesquisa analítico-Fotogramétrica da precisão Geométrica de uma imagem Landsat MSS Processada no Brasil*. tese ... p. 43-53.

<sup>12</sup>Ibid. p. 128-135.

<sup>13</sup>LUGNANI, João Bosco. *Transformações Geométricas*. Notas de Aula. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR. 1981. p. A1-A25.

<sup>14</sup>SANTOS, José Niu Lopes dos. *Pesquisa Analítico-Fotogramétrica da Precisão Geométrica de uma imagem Landsat MSS Processada no Brasil*. Tese ... p. 136-270.

<sup>15</sup>BÄHR, *Geometrical Analysis and ...* p. 29-35.

<sup>16</sup>Ibid. p. 33-35.

<sup>17</sup>TRINDER, J.C. & NASCA, S.U. *Tests on the Mapping Application of LANDSAT Imagery*. International Society for Photogrammetry. Commission III, Helsinki, 1976.

<sup>18</sup>BÄHR, Hans-Peter & DENNERT-MÜLLER, E. *Tidal Land Mapping from LANDSAT*. Universität Hannover. p. 5.

<sup>19</sup>BERUTTI VIEIRA, Antonio José. *Implementação de Programas Computacionais para o Tratamento Digital de Imagens de Satélite de Recursos Terrestres — Projeto de Pesquisa*. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. UFPR. Curitiba. PR. 1983.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

01. BÄHR, Hans-Peter. *Geometrical Analysis and Rectification of Landsat MSS Imagery: Comparison of Different Methods*. International Society for Photogrammetry, MOSCOW, USSR, 1978.

02. BÄHR, Hans-Peter. *Geometrical Model for Satellite Scanner Imagery*. ISP Comm. III, Helsinki. 1976.

- 
03. BÄHR, Hans-Peter. *Limitações Básicas no Tratamento Digital dos Dados Landsat MSS*. II Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Brasília, DF. 1982.
  04. BÄHR, Hans-Peter & DENNERT-MÜLLER, E. *Tidal Land Mapping from LANDSAT*. Universität Hannover.
  05. BERUTTI VEIRA: Antonio José. *Implementação de Programas Computacionais para o Tratamento Digital de Imagens de Satélite de Recursos Terrestres — Projeto de Pesquisa*. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. UFPR, Curitiba. PR 1983.
  06. KRATKI, V. *Cartographic Accuracy of ERTS*. Photogrammetric Engineering. 1974.
  07. LOCH, Carlos. *Pesquisa de Diversos Sensores (LANDSAT, RADAR E FOTOS AÉREAS), bem como Estudo de Suas Potencialidades Aplicadas à Interpretação Geológica*. Tese Mestrado. Curso Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. UFPR.
  08. LUGNANI, João Bosco. *Transformações Geométricas. Notas de Aula*. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. PR. 1981.
  09. SANTOS, José Niu Lopes dos. *Pesquisa Analítico-Fotogramétrica da Precisão geométrica de uma imagem Landsat MSS Processada no Brasil*. Tese de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. UFPR. Curitiba. PR. 1983.
  10. TRINDER, J, C. NASCA, S.U. *tests on the Mapping Application of LANDSAT Imagery*. International Society for Photogrammetry. Comission III, Helsinki, 1976.
  11. WONG, K.W. *Geometric and Cartographic Accuracy of ERTS-1 Imagery*. Photogrammetric Engineering, Virginia. 1975.
  12. ZEISS, West Germany. *Manual de Manejo 51-1088*. Planicomp C100 — Sistema Analítico de Restituição. 1982.