

ANTONIO JOSÉ BERUTTI VIEIRA

**Compilação Planimétrica de Originais (1:100 000)
com Desenho Automático, por meio do
PLANICOMP C-100 e a partir de Imagens
Digitais de LANDSAT**

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

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

1984

COMPILAÇÃO PLANIMÉTRICA DE ORIGINALS (1:100 000)
COM DESENHO AUTOMÁTICO, POR MEIO DO PLANICOMP C-100
E A PARTIR DE IMAGENS DIGITAIS DE LANDSAT

por
ANTONIO JOSÉ BERUTTI VIEIRA, Engenheiro Cartógrafo

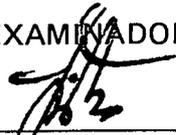
DISSERTAÇÃO

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

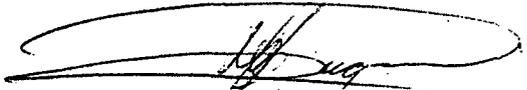
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

1984

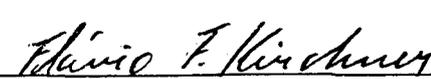
BANCA EXAMINADORA:



Dr. Ing. ERNST - ULRICH FISCHER



Prof. JOÃO BOSCO LUGNANI Ph.D.



Prof. FLÁVIO FELIPE KIRCHNER Ph.D.

Não se deve
 esquecer a beleza
quando se luta
 pela liberdade
e não se deve
 esquecer da liberdade
quando se luta
 pela beleza

JÚLIO CORTÁZAR

AGRADEÇO

Aos Professores Hans Peter Bahr, José Bittencourt de Andrade e Ernst-Ulrich Fischer, pelo incentivo e orientação durante o desenvolvimento deste trabalho;

A Bruno, Dulce, François, Nadal, Mary, Verônica e Simões, companheiros constantes durante todo o curso;

A todos os colegas do Departamento de Geociências da UFPR, pelo apoio recebido;

Ao Conselho Nacional de Ensino e Pesquisas pela ajuda financeira para os meus estudos na UFPR;

A Nils e Marli pela ajuda inestimável na finalização desta tese;

A todos os amigos que, de uma forma ou de outra, me ajudaram a chegar ao fim deste trabalho;

e

A MARLI, por tudo.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
EVIDÊNCIA DE INTERESSE COM RESPEITO À CARTOGRAFIA	1
EVIDÊNCIA DE INTERESSE COM RESPEITO AO SENSORIAMENTO REMOTO	5
DO QUE ESTÃ SENDO FEITO NA UFPR	6
ESCOPO DA INVESTIGAÇÃO	11
MATERIAIS E MÉTODOS	14
MATERIAIS	14
Imagens Digitais de LANDSAT	14
O DEC-SYSTEM-10	14
A ROLLEIFLEX SLX e o OPEMOS STANDARD	15
O PLANICOMP C-100	15
Cartas Topográficas	16
METODOLOGIA	16
Processamento de Imagem de LANDSAT	18
Tomadas Fotográficas	24
Identificação dos pontos de apoio	24
Digitalização com o PLANICOMP C-100	24
Transformação das coordenadas	26
Desenho automático	29
ANÁLISE GEOMÉTRICA	34
Análise quantitativa	34
Análise gráfica	34
Análise de variância	36
Análise demonstrativa de frequências acumuladas	37
Análise qualitativa	37

RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
ANÁLISE QUANTITATIVA	42
Grupo I - produto fonte de imagem de satélite	42
Experimento - 1 – Baía de Guaratuba	42
Experimento - 2 – Baía de Laranjeiras	56
Grupo II – produto fonte de carta topográfica	56
Experimento - 1 – Baía de Guaratuba	56
Experimento 2 – Baía de Laranjeiras	65
ANÁLISE QUALITATIVA	65
CONCLUSÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	76

LISTA DE TABELAS

1.	Resultados obtidos por <i>Bähr</i> /3/ para uma região no norte da Alemanha – Alemanha Ocidental	7
2.	Resultados obtidos por <i>Dowman</i> /8/ para uma região no estado de Kingdom – Inglaterra	7
3.	Resultados obtidos por <i>Santos</i> /22/ para uma região no estado do Paraná – Brasil	7
4.	Lista dos resíduos, resíduos resultantes e os desvios padrões para os PA, além dos erros, erros resultantes e os erros médio quadrático para os PC, em unidades de metros, relativo a Baía de Guaratuba – imagem de satélite	54
5.	Configuração das linhas e colunas utilizadas no delineamento estatístico, em unidades de metros, relativo a Baía de Guaratuba – imagem de satélite	55
6.	Resultados para o delineamento estatístico relativo a Baía de Guaratuba – imagem de satélite	55
7.	Freqüências acumuladas relativas a Baía de Guaratuba – imagem de satélite	55
8.	Lista dos resíduos, resíduos resultantes e os desvios padrões para os PA, além dos erros, erros resultantes e os erros médio quadrático para os PC, em unidades de metros, relativo a Baía de Laranjeiras – imagem de satélite	63
9.	Configuração das linhas e colunas utilizadas no delineamento estatístico, em unidades de metros, relativo a Baía de Laranjeiras – imagem de satélite	64
10.	Resultados para o delineamento estatístico relativo a Baía de Laranjeiras – imagem de satélite	64
11.	Freqüências acumuladas relativas a Baía de Laranjeiras – imagem de satélite	64

12.	Lista dos resíduos, resíduos resultantes e os desvios padrões para os PA, além dos erros, erros resultantes e os erros médio quadrático para os PC, em unidades de metros, relativo a Baía de Guaratuba – carta topográfica	67
13.	Configuração das linhas e colunas utilizadas no delineamento estatístico, em unidades de metros, relativo a Baía de Guaratuba – carta topográfica	68
14.	Resultados para o delineamento estatístico relativo a Baía de Guaratuba – carta topográfica	68
15.	Frequências acumuladas relativas a Baía de Guaratuba – carta topográfica	68
16.	Lista dos resíduos, resíduos resultantes e os desvios padrões para os PA, além dos erros, erros resultantes e os erros médio quadrático para os PC, em unidades de metros, relativo a Baía de Laranjeiras – carta topográfica	70
17.	Configuração das linhas e colunas utilizadas no delineamento estatístico, em unidades de metros, relativo a Baía de Laranjeiras – carta topográfica	71
18.	Resultados para o delineamento estatístico relativo a Baía de Laranjeiras – carta topográfica	71
19.	Frequências acumuladas relativas a Baía de Laranjeiras – carta topográfica	71

LISTA DE FIGURAS

1.	Representação esquemática dos digitalizadores cartográficos segundo seu funcionamento	2
2.	Configuração esquemática, em linhas gerais, de um sistema destinado a cartografia digital	4
3.	Exemplo para comparação entre uma carta impressa (a) e o produto (b) obtido do processamento digital, de uma imagem (7x7 km) relativa a banda 7 do LANDSAT-3, através do SPID-1	8
4.	O restituidor analítico PLANICOMP C-100	9
5.	Diagrama de fluxo descrevendo o primeiro trabalho de cartografia digital realizado por meio do PLANICOMP C-100	10
6.	Diagrama de fluxo descrevendo o trabalho a ser realizado	12
7.	Representação esquemática da configuração do DEC-SYSTEM-10	17
8.	Representação esquemática da configuração do PLANICOMP C-100	17
9.	Esquema apresentando a finalidade de cada módulo que compõe o SPID-1	19
10.	Posição relativa das áreas de teste em relação a imagem completa	20
11.	Diagrama de fluxo para proceder a retificação geométrica preliminar	21
12.	Diagrama de fluxo do procedimento efetivamente utilizado neste trabalho	21
13.	Resultados antes e depois, tanto para a retificação geométrica preliminar, como para o realce através de um espalhamento linear	22
14.	Exemplo para ilustrar a dificuldade de se estabelecer uma correspondência pontual entre a saída impressa e a carta topográfica	25
15.	Representação esquemática do procedimento utilizado para identificação dos pontos de apoio	26

16.	Exemplo de feições digitalizadas com o PLANICOMP C-100	27
17.	Exemplo do delineamento feito com grafite para facilitar a digitalização das feições	28
18.	Exemplo de uma feição antes e depois de serem transformadas as coordenadas de máquina em coordenadas do espaço objeto	30
19.	Diálogo para utilização do programa PLVIFY	31
20.	Exemplo do produto obtido segundo a metodologia proposta E = 1:150 000 relativo a Baía de Guaratuba	32
21.	Exemplo do produto obtido segundo a metodologia proposta E = 1:200 000 relativo a Baía de Guaratuba	33
22.	Representação da rede de pontos cujas coordenadas são conhecidas nos dois sistemas (máquina-espaço objeto)	35
23.	Diagrama de fluxo para compilação de um original a partir da carta topográfica para análise qualitativa	38
24.	Exemplo do produto compilado a partir da carta impressa na E = 1:150 000	39
25.	Exemplo do produto compilado a partir da carta impressa na E = 1:200 000	40
26.	Comportamento dos VE para a transformação de similaridade com 6, 14, 22 e 30 graus de liberdade relativo a Baía de Guaratuba – imagem de satélite	43
27.	Comportamento dos VE para a transformação afim com 6, 14, 22 e 30 graus de liberdade relativo a Baía de Guaratuba – imagem de satélite ...	44
28.	Comportamento dos VE para a transformação polinomial do 2º grau com 6, 14, 22 e 30 graus de liberdade relativo a Baía de Guaratuba – imagem de satélite	45
29.	Comportamento dos VE para a transformação do 3º grau com 6, 14, 22 e 30 graus de liberdade relativo a Baía de Guaratuba – imagem de satélite	46

30.	Comportamento sistematicamente tendencioso e módulo absurdo para os VE nos PC (testes preliminares)	47
31.	Exemplo ilustrando que a partir de 12 PA já se elimina o mal condicionamento no sistema de equações normais para o polinômio do 3 ^o grau (testes preliminares)	48
32.	Comportamento dos VE para diferentes modelos em se tratando de 6 graus de liberdade relativo a Baía de Guaratuba – imagem de satélite . . .	49
33.	Comportamento dos VE para os diferentes modelos em se tratando de 14 graus de liberdade relativo a Baía de Guaratuba – imagem de satélite	50
34.	Comportamento dos VE para os diferentes modelos em se tratando de 22 graus de liberdade relativo a Baía de Guaratuba – imagem de satélite . . .	51
35.	Comportamento dos VE para os diferentes modelos em se tratando de 30 graus de liberdade relativo à Baía de Guaratuba – imagem de satélite	52
36.	Comportamento dos VE para a transformação de similaridade com 6, 14, 22 e 30 graus de liberdade relativo à Baía de Laranjeiras – imagem de satélite	57
37.	Comportamento dos VE para a transformação afim com 6, 14, 22 e 30 graus de liberdade relativo à Baía de Laranjeiras – imagem de satélite	58
38.	Comportamento dos VE para a transformação polinomial do 2 ^o grau com 6, 14, 22 e 30 graus de liberdade relativo à Baía de Laranjeiras – imagem de satélite	59
39.	Comportamento dos VE para a transformação polinomial do 3 ^o grau com 6, 14, 22 e 30 graus de liberdade relativo à Baía de Laranjeiras – imagem de satélite	60
40.	Comportamento dos VE para os diferentes modelos em se tratando de 6 graus de liberdade relativo à Baía de Laranjeiras – imagem de satélite	61
41.	Comportamento dos VE para os diferentes modelos em se tratando de 14 graus de liberdade relativo à Baía de Laranjeiras – imagem de satélite . . .	62

42.	Comportamento dos VE para os polinômios do 2 ^o e 3 ^o graus em se tratando de 14 graus de liberdade relativo à Baía de Guaratuba – carta impressa	66
43.	Comportamento dos VE para os polinômios do 2 ^o e 3 ^o graus em se tratando de 14 graus de liberdade relativo à Baía de Laranjeiras – carta impressa	69
44.	Reprodução dos 2 produtos compilados para análise qualitativa relativa à Baía de Guaratuba	72
45.	Reprodução dos 2 produtos compilados para análise qualitativa relativa à Baía de Laranjeiras	73
46.	Representação esquemática de uma configuração que se poderia integrar ao PLANICOMP C-100	78

RESUMO

O presente trabalho visa investigar a viabilidade de se utilizar imagens do LANDSAT para compilação de originais cartográficos com desenho automático, considerando os meios e recursos de que se dispõe na Universidade Federal do Paraná, mas tendo em vista que futuramente se fará a aquisição de novos periféricos, além das boas perspectivas que existem de lançamento de novos satélites com sensores mais poderosos.

Sistematicamente é feita uma descrição de todo o material e método empregado, além de se discutir e analisar geometricamente os resultados através de 46 figuras e 19 tabelas.

SUMMARY

The use of LANDSAT imagery in map compilation is investigated on the basis of automatic plotting. The application shown here had to be restricted to the equipment and installations in the Federal University of Paraná, counting however with future alquirements of hardware and recent aspects due to new generations of satellites.

A sistematic description of all the material and methods has been included besides geometric analysis. The results are on display in 46 figures and 19 tables.

INTRODUÇÃO

1.1. EVIDÊNCIAS DE INTERESSE COM RESPEITO À CARTOGRAFIA

Sempre que se deseja elaborar um novo e atualizado original cartográfico, tanto para o mapeamento sistemático, quanto para cartas temáticas, fica caracterizado o processo de compilação cartográfica.

Segundo *Keates /13/ e Yoeli /27/*, tal processo pode ser diferenciado, se o original a ser elaborado é básico ou derivado. Um original é considerado básico quando os dados para sua confecção são provenientes de levantamentos inéditos, sendo estes obtidos tanto por técnicas fotogramétricas, quanto por observação *in loco* e, normalmente, dizem respeito às cartas em grandes escalas. Por outro lado, o derivado é aquele confeccionado a partir de originais básicos, assim como de levantamentos já existentes e são condizentes com as cartas em média e pequena escalas.

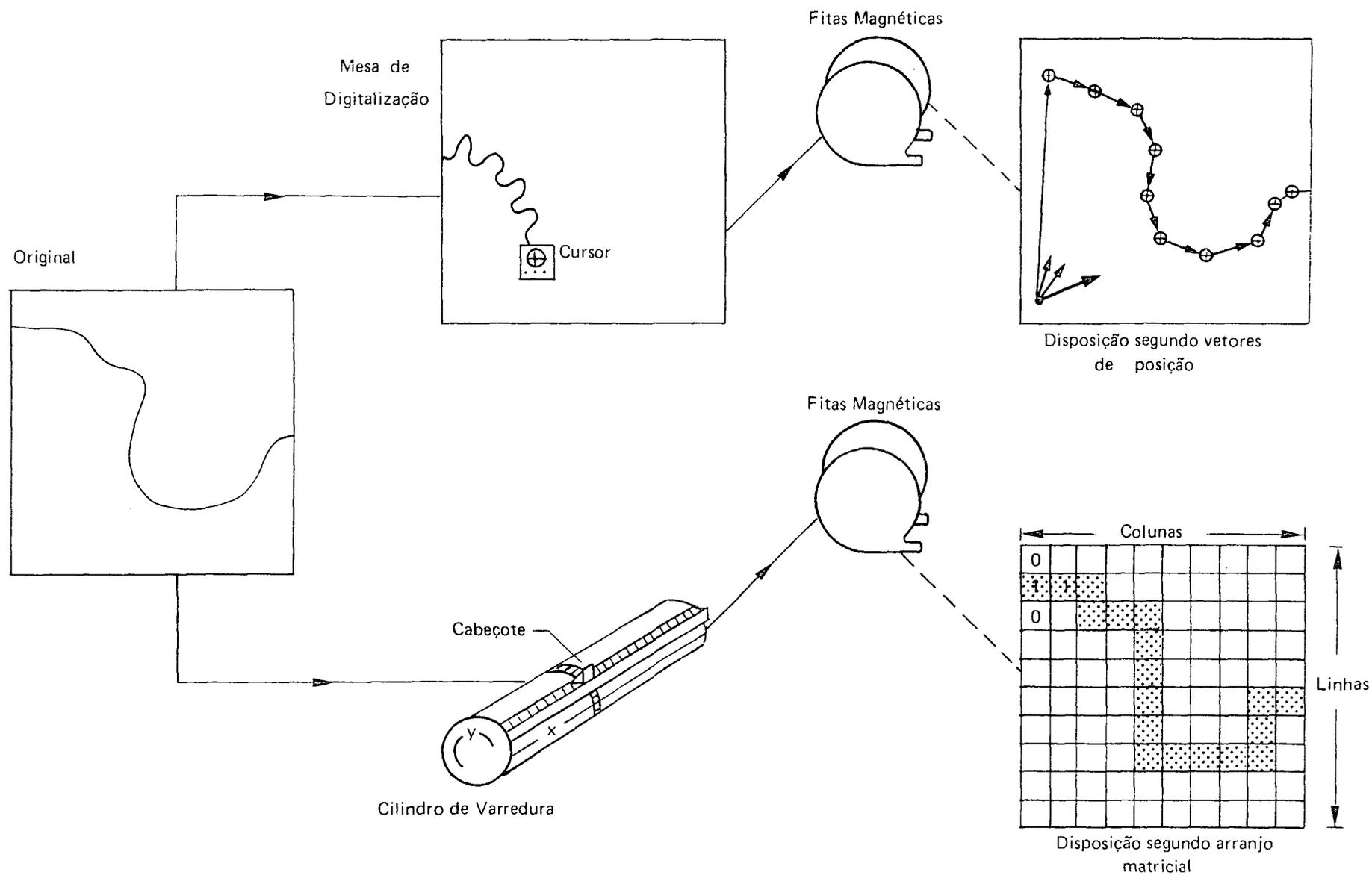
De um modo geral, pode-se dizer que o processo de compilação compreende etapas tais como: a coleta, a análise, o tratamento e a representação gráfica dos dados. Embora tal processo seja efetivamente árduo e dispendioso, isso não assegura que com o passar de alguns anos, o original cartográfico não esteja obsoleto, ou então, o que é pior, esteja total ou parcialmente inadequado para outras finalidades e, dessa forma, todo o processo de compilação, ou parte deste, terá de ser refeito.

Pensando nesses termos, é que em alguns países passou-se ao estudo e desenvolvimento de pesquisas com o objetivo de utilizar um computador digital para assistir às etapas de compilação de um original derivado.

Tal fato trouxe consigo a necessidade de dados sob a forma digital e, conseqüentemente, o aparecimento dos digitalizadores cartográficos que resumidamente distinguem-se em dois tipos (*ver esquema fig. 1*)

- a) aqueles onde as informações relativas à imagem são dispostas segundo vetores de posição;
- b) aqueles onde as informações são dispostas segundo arranjos matriciais.

FIGURA 1 – Representação esquemática dos digitalizadores cartográficos



De uma forma genérica, pode-se dizer que para a cartografia assistida por computadores digitais, uma imagem tem que satisfazer as seguintes condições:

- a) estar sob a forma digital, para permitir sua utilização em computadores digitais;
- b) dispor de informação de posição para ser possível a sua recuperação e representação planimétrica e/ou altimétrica;
- c) ser classificada individualmente ou por classes de feições ou seja, dispor de atributos semânticos (código de qualidade do objeto e tipo de interpolação) para possibilitar a sua seleção e decodificação quando desejada.

Para se conceber um sistema destinado à Cartografia Digital (*ver esquema fig. - 2*) em linhas gerais, seria preciso dispor, pelo menos, das seguintes configurações:

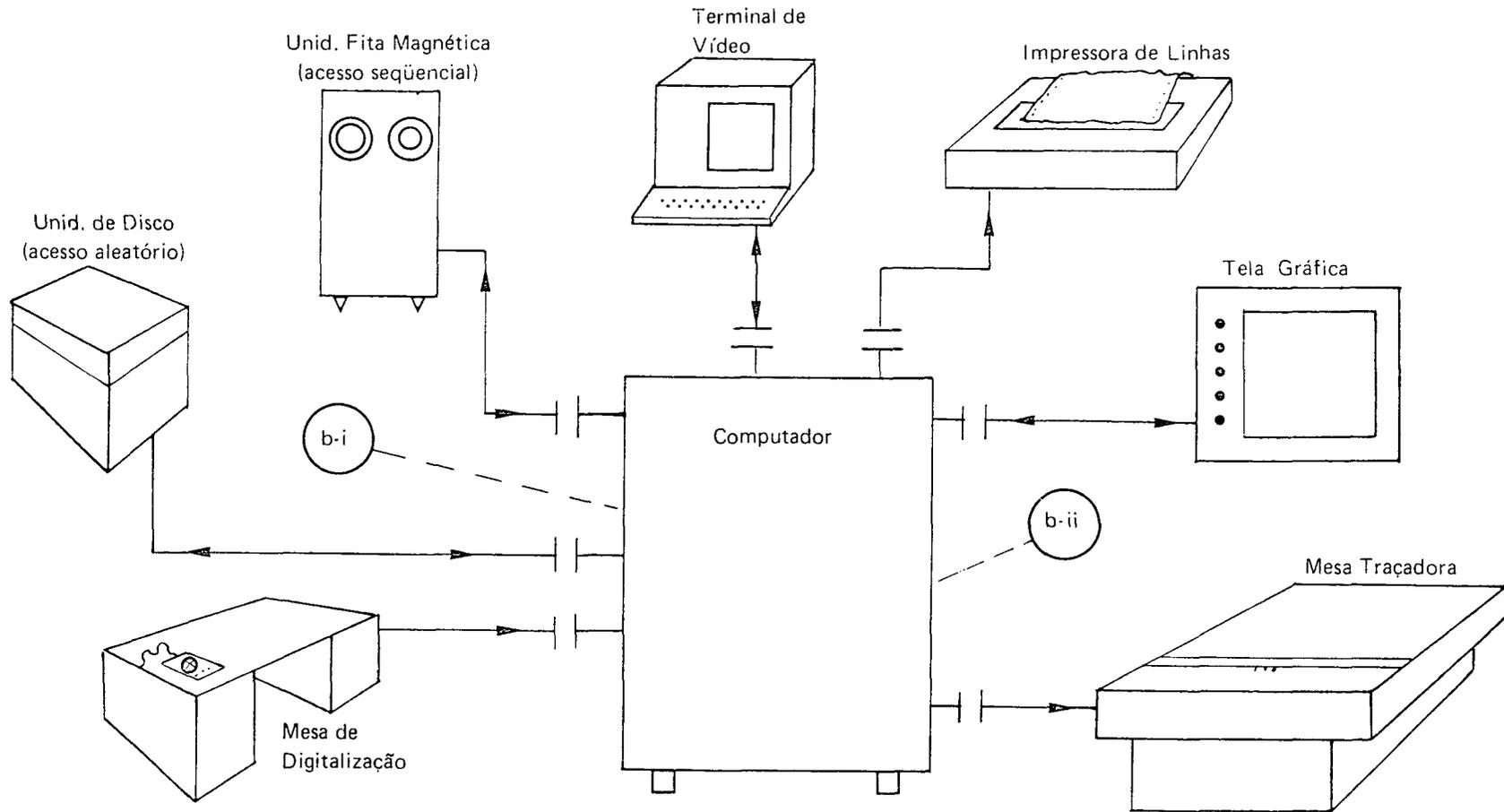
- a) componentes físicos (ou *hardware*);
 - i) uma unidade de processamento digital;
 - ii) uma unidade de observação, medição e codificação que é utilizada na conversão dos dados para forma digital;
 - iii) duas unidades de armazenamento, sendo uma em disco e a outra em fita magnética de rolo;
 - iv) uma tela gráfica para seleção e retoque interativo nos dados;
 - v) uma mesa traçadora (ou *plotter*) para a obtenção do produto final;
 - vi) periféricos para comunicação: terminal de vídeo e impressora de linhas;

- b) suporte lógico (ou *software*)
 - i) o sistema operacional que é constituído pelos programas de controle funcional, além dos programas utilitários para tarefas rotineiras como: listar, copiar, editar, etc.;
 - ii) os programas destinados a tarefas especificamente cartográficas por exemplo: mudança de escala, mudança no sistema de projeção, locação de pontos e símbolos, generalização algorítmica (*ver Keates /13/*).

As principais vantagens de uma Cartografia Digital podem ser resumidas como:

- a) diminuição significativa no tempo gasto para obtenção do produto final;
- b) seletividade dos dados;

FIGURA 2 – Configuração esquemática, em linhas gerais, de um sistema destinado a cartografia digital.



—| |— Denota Interface

- c) facilidades na recuperação e processamento dos dados quando desejado;
- d) maior flexibilidade na forma de registro dos dados de saída.

Entretanto, para que as Instituições Cartográficas Nacionais implantem tal metodologia em nosso País, alguns pontos problemáticos têm de ser levados em conta, tais como:

- a) altos investimentos iniciais;
- b) problema na manutenção e reposição de peças (equipamentos de origem estrangeira);
- c) necessidade de técnicos altamente especializados para operar o sistema;
- d) estabelecimento do suporte lógico.

Embora a Cartografia Digital já venha sendo aplicada em escala de produção em outros países, no meio cartográfico nacional só se têm notícia da existência de um Sistema Calcomp no Instituto de Cartografia da Aeronáutica, no Rio de Janeiro, e de um Sistema Gradis 2000 na Fundação de Desenvolvimento da Região Metropolitana de Recife (*Fischer /9/*).

1.2. EVIDÊNCIAS DE INTERESSE COM RESPEITO AO SENSORIAMENTO REMOTO

Até o momento, os satélites do tipo LANDSAT são o meio mais rápido para obtenção de imagens digitais de extensas regiões da superfície terrestre (cerca de 185 x 185 km). Entretanto, do ponto de vista da Cartografia Digital, a sua utilização apresenta-se falha, ainda hoje, por algumas razões:

- a) devido ao fraco poder de resolução (elemento de imagem de 79 metros no terreno) os resultados são só toleráveis para escalas $\leq 1:250\ 000$, desde que seja feito processamento digital de precisão (onde são envolvidos um modelo matemático e pontos de apoio; *ver Bähr /3/*);
- b) estas imagens não são classificadas;
- c) não apresentam informação altimétrica.

A restrição devido ao poder de resolução poderá ser minimizada, em breve, considerando que nesse último satélite da série LANDSAT (denominado LANDSAT-4^{*}), já foi incorporado um novo sensor, o Mapeador Temático (ou *Thematic Mapper*, *vide LANDSAT DATA USERS NOTES /16/*) com resolução de 30 metros, além da previsão de lançamento para 1985

* LANDSAT-4 – lançado em 16/6/1982, problemas em junho de 1983.

LANDSAT-5 – lançado em 01/3/1984 e em meados de abril entrará em operacionalidade (*Kirchner /14/*).

do satélite francês denominado SPOT (*Système Probatoire d'Observation de la Terre, vide Guichard /12/*) com resolução de 20 metros e que possibilitará a obtenção de informação altimétrica (modelos estereoscópicos).

São relatados em trabalhos desenvolvidos por *Bähr /3/*, que ao se tratar geometricamente partições da imagem (em quadrantes de 92 x 92 km) há uma redução significativa no erro resultante (*ver resultados tabela - 1*), e que não se justifica a aplicação da solução fotogramétrica (equação de colinearidade) quando comparada com a utilização de um modelo matemático aproximado como um polinômio do 2.^o grau.

Dowman /8/ afirma que não existe vantagem significativa em utilizar-se as equações de colinearidade, ou polinômios do 2.^o grau, quando comparado com a transformação afim (*ver resultados tabela - 2*).

Santos /22/ informa que em pesquisas realizadas com imagens processadas no Brasil, ele pode observar que com a aplicação de um polinômio do 3.^o grau para a cena completa (185 x 185 km) os resultados foram significativamente bons (*ver tabela - 3*) e equivalentes à transformação do 2.^o grau para a imagem particionada (92 x 92 km).

No que diz respeito à classificação digital dessas imagens, ainda hoje existem problemas que são provenientes da dificuldade de se definir as classes assim como os seus limites (regiões fronteiriças, *ver Bähr /2/*), conseqüentemente com o aumento de resolução ter-se-á ainda uma maior complexidade operacional, mas por outro lado isso virá a favorecer a classificação analógica.

1.3 DO QUE ESTÁ SENDO FEITO NA UFPR

Já se encontra em fase de operação o pacote de programas denominado SPID-1, concebido e implantado no DEC-SYSTEM-10 da Universidade Federal do Paraná (UFPR), que tem por objetivo processar pequenas regiões (no máximo 25x25 km) de uma imagem de LANDSAT e representá-la por meio de impressoras de linha (*ver Vieira /26/*).

Na figura 3 é apresentado um exemplo do produto que foi obtido a partir do processamento digital com o SPID-1.

Em decorrência do convênio de colaboração técnica e científica entre os governos da República Federal da Alemanha e o Brasil, recentemente foi doado ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas (CPGCG) da UFPR, o restituidor analítico PLANICOMP C-100 (*ver fig. 4*) que pertence a linha mais avançada dos equipamentos fotogramétricos, porque conjugá

TABELA - 1 – Resultados obtidos por Bähr /3/ para uma região no norte da Alemanha – Alemanha Ocidental

ÁREA	P.APOIO	SIMILARIDADE			AFIM			POL. 2.º GRAU			EQ. COLINEARIDADE (13 parâmetros)		
		EMQ _x	EMQ _y	R	EMQ _x	EMQ _y	R	EMQ _x	EMQ _y	R	EMQ _x	EMQ _y	R
1	82	322	356	480	112	109	156	65	80	103	71	81	108
	9	340	359	494	77	125	147	77	104	129	–	–	–
2	29	–	–	–	–	–	–	–	–	–	50	34	60
	26	92	112	145	81	85	117	58	43	72	–	–	–
3	9	97	118	153	78	90	119	64	45	78	–	–	–
	18	193	201	279	66	55	86	27	24	36	–	–	–
4	9	159	246	293	67	54	86	23	34	47	–	–	–
	17	160	103	190	57	50	76	42	33	53	–	–	–
5	9	147	127	194	55	56	80	60	59	84	–	–	–
	21	241	296	382	94	153	180	37	47	60	–	–	–
	9	306	268	407	133	133	188	45	57	73	–	–	–

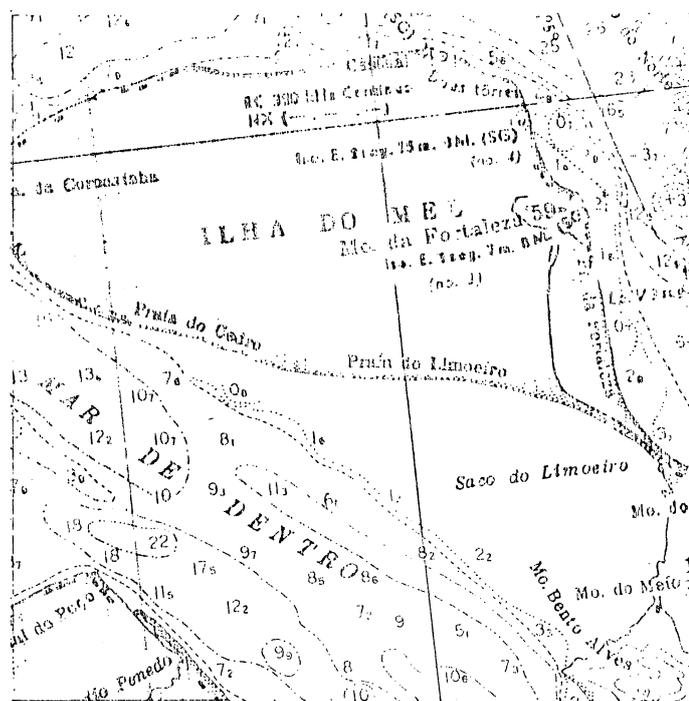
TABELA - 2 – Resultados obtidos por Dowman /8/ para uma região no estado de Kingdom – Inglaterra

P.APOIO	SIMILARIDADE			AFIM			POL. 2.º GRAU			EQ. COLINEARIDADE (7 parâmetros)		
	EMQ _x	EMQ _y	R	EMQ _x	EMQ _y	R	EMQ _x	EMQ _y	R	EMQ _x	EMQ _y	R
157	121	108	162	50	53	73	46	47	66	56	60	82
9	122	134	181	58	56	81	63	55	83	59	68	90
4	113	126	169	53	59	79	–	–	–	56	63	85

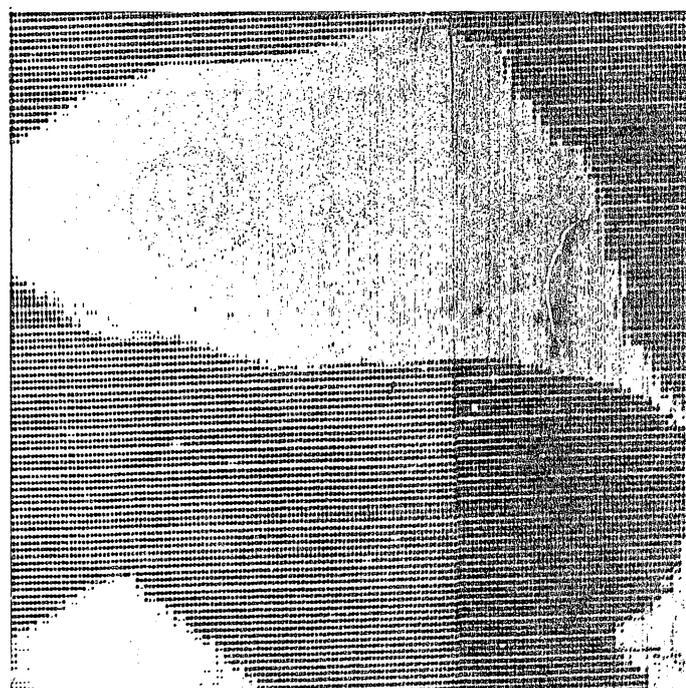
TABELA - 3 – Resultados obtidos por Santos /22/ para uma região no estado do Paraná – Brasil

ÁREA	P.APOIO	POL. 2.º GRAU			POL. 3.º GRAU		
		EMQ _x	EMQ _y	R	EMQ _x	EMQ _y	R
1	81	98	67	119	56	54	78
	16	–	–	–	80	58	99
	12	106	80	113	93	88	128
2	9	112	82	139	–	–	–
	21	57	49	75	35	44	56
	9	66	53	85	–	–	–
3	22	45	43	62	34	33	47
	9	51	54	74	–	–	–
4	22	51	48	70	30	31	43
	9	62	57	84	–	–	–
5	16	29	32	43	24	22	32
	9	37	45	58	–	–	–

FIGURA 3 – Exemplo para comparação entre uma carta impressa (a) e o produto (b) obtido do processamento digital, de uma sub-imagem (7x7 km) relativa a banda 7 do LANDSAT-3, através do SPID-1



(a) Carta Náutica E = 1:90 000 impressa pela Diretoria de Hidrografia e Navegação.



(b) Representação gráfica (mosaico de saídas impressas) após o processamento com o SPID-1

FIGURA 4 – O restituidor analítico PLANICOMP C-100



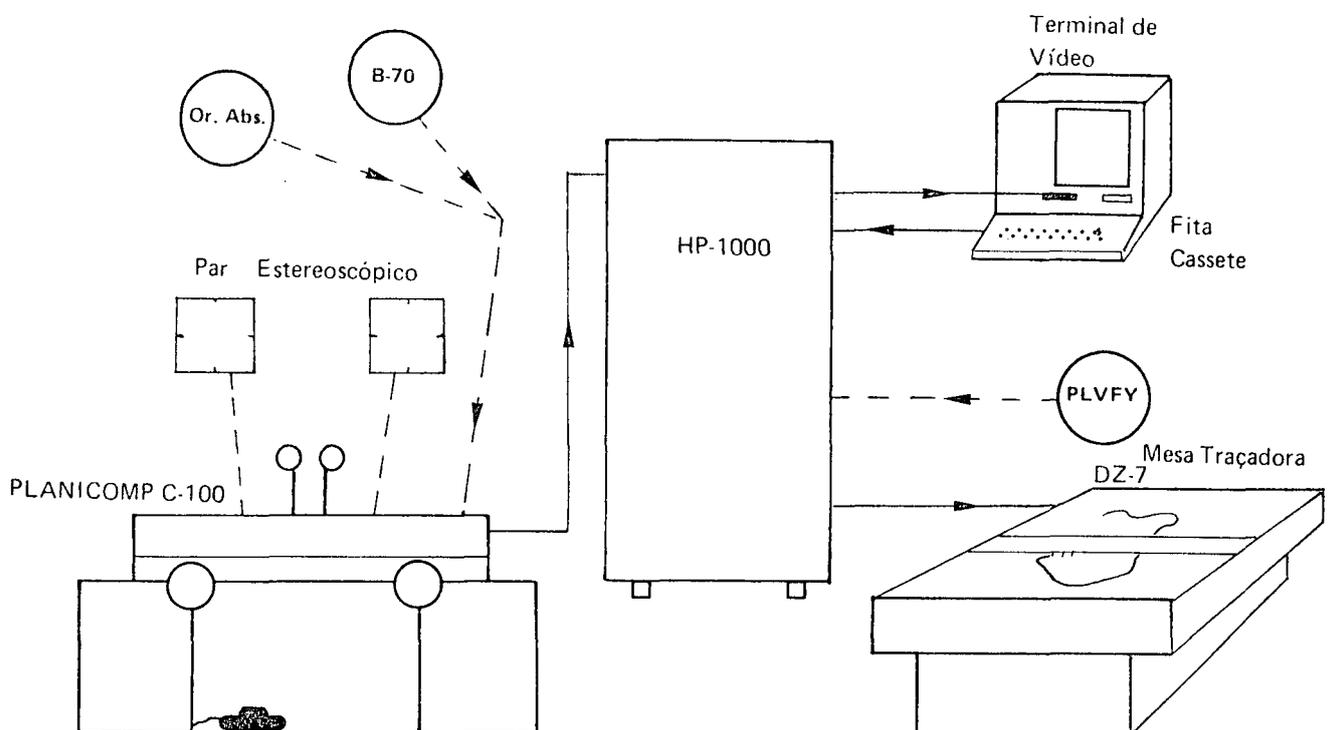
harmoniosamente configurações de *hardware* e *software* e apresenta alta performance na execução de tarefas fotogramétricas, como exemplo: aerotriangulação, restituição, geração de modelos digitais do terreno (*ver Konecny /15/*).

Efetivamente, no CPGCG, o PLANICOMP já se tornou a ferramenta fundamental no desenvolvimento de trabalhos no campo da Fotogrametria e vem sendo estudada sua aplicação com produtos fotográficos obtidos a partir de imagens de LANDSAT (*ver Caneparo /5/, Rocha /21/*).

Entretanto, como tal equipamento dispõe de uma unidade de processamento digital, uma mesa traçadora e um programa para digitalização de modelos estereoscópicos (denominado B-70), começou-se a pensar em utilizar tal estrutura para automação do desenho.

Como foi falado anteriormente para a Cartografia Digital uma imagem tem que estar sob a forma digital e dispor de informação de posição, o que pode se conseguir facilmente com o PLANICOMP C-100 após a orientação absoluta de um par estereoscópico e com o programa de digitalização B-70; além disto ela tem que dispor de atributos semânticos (ou seja, ser classificada) que teriam de ser alternativamente associados para cada objeto digitalizado.

FIGURA 5 – Diagrama de fluxo descrevendo o primeiro trabalho de cartografia digital realizado por meio do PLANICOMP C-100, na UFPR



Por meio do programa B-70, além das coordenadas de terreno (X, Y, Z) é possível agregar-se um número inteiro de no máximo 12 dígitos para cada ponto. Então a alternativa estava em digitalizar-se por classes de feições e, fazer uma combinação hierárquica de dígitos (*ver item 2.2.4*) para compor tal número e, posteriormente, desmembrá-lo para a obtenção dos atributos de cada feição e, automaticamente, fazer sua representação gráfica.

Alguns testes foram feitos e, a partir daí, concebeu-se o programa PLVIFY que controla a mesa traçadora e automaticamente faz o desenho planimétrico.

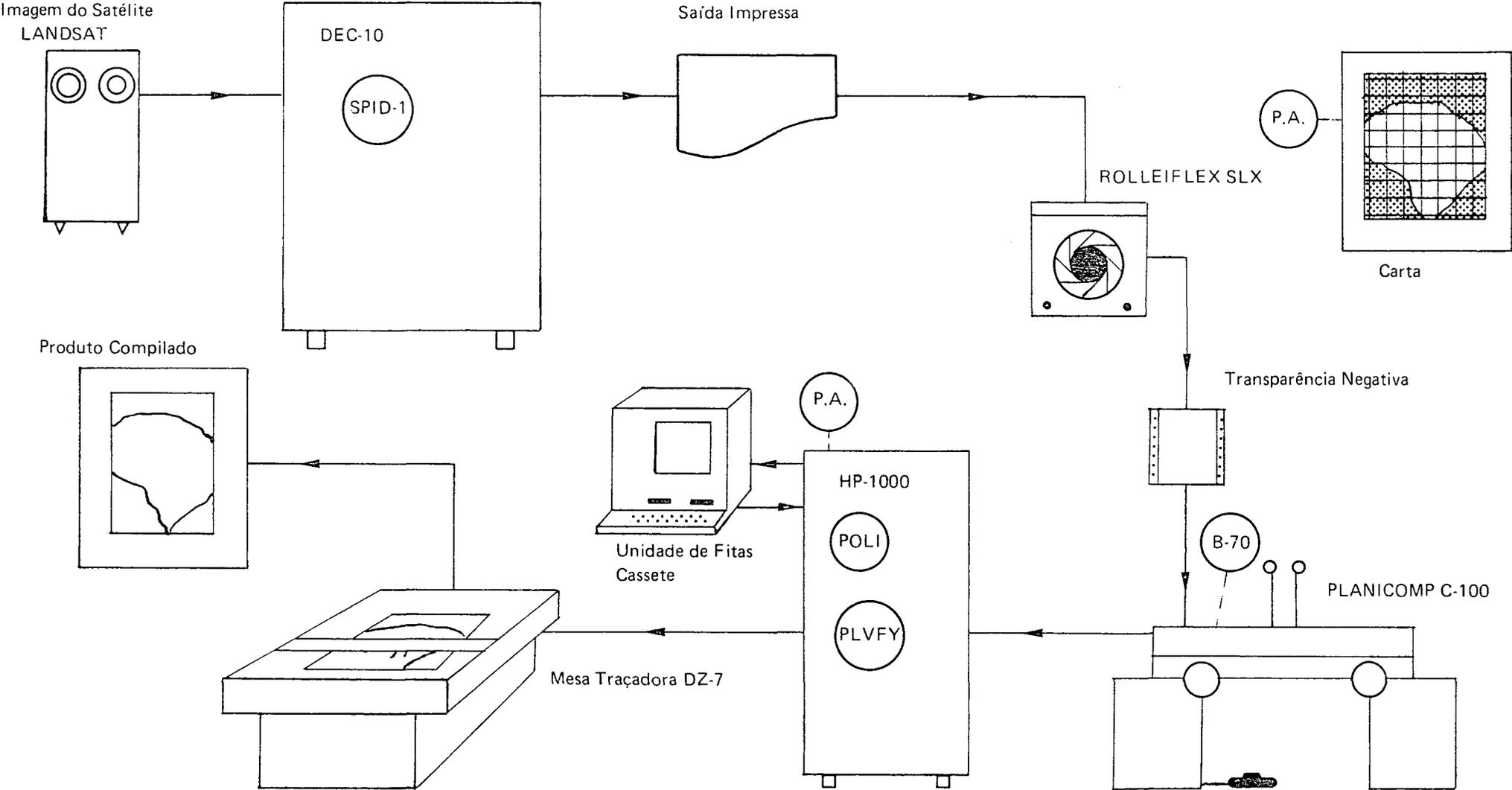
Na figura 5, apresenta-se um diagrama de fluxo para esta metodologia, que sem dúvida foi o primeiro trabalho de Cartografia Digital realizado por meio do PLANICOMP C-100, na UFPR.

1.4. ESCOPO DA INVESTIGAÇÃO

Considerando que no CPGCG estão disponíveis imagens digitais de LANDSAT, o SPID-1, a câmara fotográfica ROLLEIFLEX SLX, o PLANICOMP C-100 e o programa PLVIFY e tendo em vista que existem boas perspectivas de melhora na resolução das imagens obtidas pelos novos satélites, a presente pesquisa, objetiva desenvolver uma metodologia para compilação de originais derivados, utilizando, entretanto, somente os meios e recursos já existentes. Para tanto, pretende-se fotografar com a ROLLEIFLEX SLX as saídas impressas obtidas do processamento digital (através do SPID-1) de uma pequena região (inferior a 25x25 km) de uma imagem do LANDSAT. Com o PLANICOMP C-100 e o programa de serviço B-70, digitalizar interativamente as feições (definir atributos e observar coordenadas de máquina) da imagem fotográfica obtida das saídas impressas, armazenando os dados numa área em disco. Posteriormente, utilizando um modelo* matemático simples e pontos de apoio, transformar as coordenadas observadas (x, y de máquina) em coordenadas do espaço objeto, armazenando os novos valores em fita cassete. Com o programa PLVIFY controlar a mesa traçadora DZ-7 e, representar, automaticamente, as feições, além de se analisar os resultados alcançados, no que diz respeito a geometria, tanto quantitativamente, quanto qualitativamente. Na fig. 6 apresenta-se um diagrama de fluxo do trabalho a ser realizado.

* Entre os modelos testados estão a transformação de similaridade, transformação afim e as transformações polinomiais do 2.^o e 3.^o graus.

FIGURA 6 – Diagrama de fluxo descrevendo o trabalho a ser realizado



CAPÍTULO 2

MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATERIAIS

No desenvolvimento deste trabalho utilizou-se imagens digitais de LANDSAT, o computador DEC-SYSTEM-10, a câmara fotográfica ROLLEIFLEX SLX, o ampliador fotográfico OPEMUS STANDARD, o restituidor analítico PLANICOMP C-100, cartas topográficas e os programas B-70, POLI e PLVIFY.

Para realização dos testes foram definidas duas áreas localizadas no litoral do Paraná, denominada de *Baía de Laranjeiras* e *Baía de Guaratuba*, ficando sua escolha condicionada aos seguintes fatores:

- a) disponibilidade de imagens de LANDSAT e cartas topográficas de 1:50 000 que abrangessem a mesma região;
- b) por serem regiões litorâneas, pode-se identificar visualmente com mais facilidade (banda 7 imagem de LANDSAT) a região de fronteira entre as classes terra firme e água (*ver exemplo fig. 3b*).
- c) tais regiões são de comprovado interesse para estudos e pesquisas no campo das geociências (*ver Caneparo /5/*).

2.1.1. Imagens Digitais de LANDSAT

As imagens digitais utilizadas foram imageadas em 06.04.78 pelo LANDSAT-3 (coordenadas do centro da cena 25°50' sul e 48°57' oeste), cedidas por empréstimo do Curso de Engenharia Florestal da UFPR ao CPGCG e processadas pelo SPID-1 (*ver item 2.2.1*).

2.1.2. O DEC-SYSTEM-10

É um computador da Digital Equipment Corporation para atender multi-usuários sendo instalado em 1978 na UFPR com a seguinte configuração:

- a) de *hardware*
 - i) memória principal 256 K-palavras;

- ii) trabalha baseado em palavras de 36 bits código em ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*);
- iii) duas unidades de armazenamento em disco de 200 M-bytes cada uma;
- iv) duas unidades de fita magnética com densidade de gravação de 800 ou 1600 bytes por polegada;
- v) terminais e impressoras seriais (mais de 20);
- vi) duas leitoras de cartões sendo uma de 300 e a outra de 1200 cartões por minuto;
- vii) duas impressoras de linhas sendo uma de 300 e a outra de 900 linhas por minuto.

b) de *software*

- i) orientado para utilização do computador em tempo compartilhado (ou *time sharing*), com opção para execução de programas em série (ou *batch processing*);
- ii) linguagem utilizada FORTRAN-4.

O sistema (ver *esquema fig. 7*) apresenta-se bem flexível à conexão de periféricos variados, mas infelizmente, devido a não ampliação da sua capacidade, tem-se notado, atualmente, uma queda sensível na sua performance.

2.1.3 A ROLLEIFLEX SLX e o OPEMUS STANDARD

A ROLLEIFLEX SLX é uma câmara fotográfica intercambiável com chassi de 55x55 mm, fotômetro embutido e um circuito elétrico que controla os seus dispositivos mecânicos, além de ser adaptada com placa de cristal reticulada ou *reseau* (ver *Silva /24/*). A lente utilizada é de 80 mm de distância focal.

O OPEMUS STANDARD é um ampliador fotográfico do tipo amador, adaptado com uma lente de 50 mm e chassi de 60x60 mm.

2.1.4. O Sistema HP-1000 com o PLANICOMP C-100

O PLANICOMP C-100 é um restituidor analítico, concebido e produzido pela *Carl Zeiss Oberkochen*, e pode-se descrevê-lo com a seguinte configuração:

a) de *hardware*

- i) uma unidade ótico-mecânica com painel de controle fotogramétrico, que serve para observar e medir sobre transparências fotográficas, com uma precisão nominal de $5 \mu\text{m}$;
- ii) um mini-computador HP-1000, da *Hewlett Packard*, que se constitui na unidade de processamento digital e assiste todas as operações de trabalho;
- iii) memória principal com 2 módulos de 64 K-palavras cada um;
- iv) trabalho baseado em palavras de 16 bits código em ASCII;
- v) uma unidade de armazenamento em disco de 20 M-bytes;
- vi) um terminal de vídeo com impressora serial;
- vii) duas unidades de armazenamento em fita magnética do tipo cassette;
- viii) uma mesa traçadora do tipo DZ-7 com 1200 x 1200 mm e precisão nominal de 0,03 mm.

b) de *software*

- i) orientado para utilização em tempo real e *timesharing* com opção em *batch*;
- ii) linguagem utilizada: FORTRAN-4
- iii) Subsistema PLANICOMP C-100 para tarefas fotogramétricas (*vide Caneparo /5/*).

O sistema (*ver esquema fig. 8*) apresenta flexibilidade, podendo sua memória ser expandida até 1024 K-palavras, além de permitir a conexão de periféricos adicionais (*ver Schneide /23/*).

2.1.5 Cartas Topográficas

Todas as informações a respeito do espaço objeto foram extraídas de cartas topográficas na escala de 1:50 000 como é aconselhado por *Bähr /3/*.

2.2. METODOLOGIA

A metodologia desenvolvida pode ser subdividida em 6 etapas que são:

- a) processamento das imagens de LANDSAT;
- b) tomadas fotográficas;

FIGURA 7 – Representação esquemática da configuração do DEC-SYSTEM-10

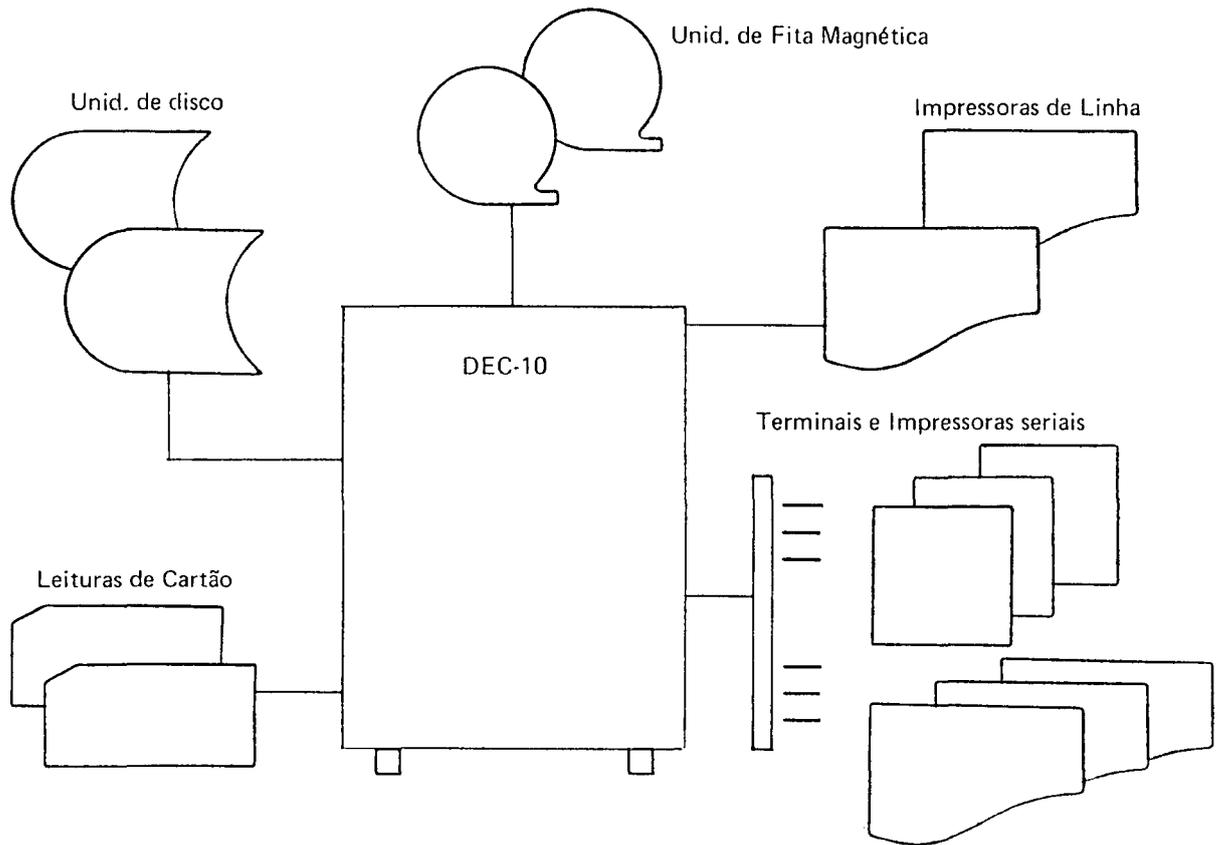
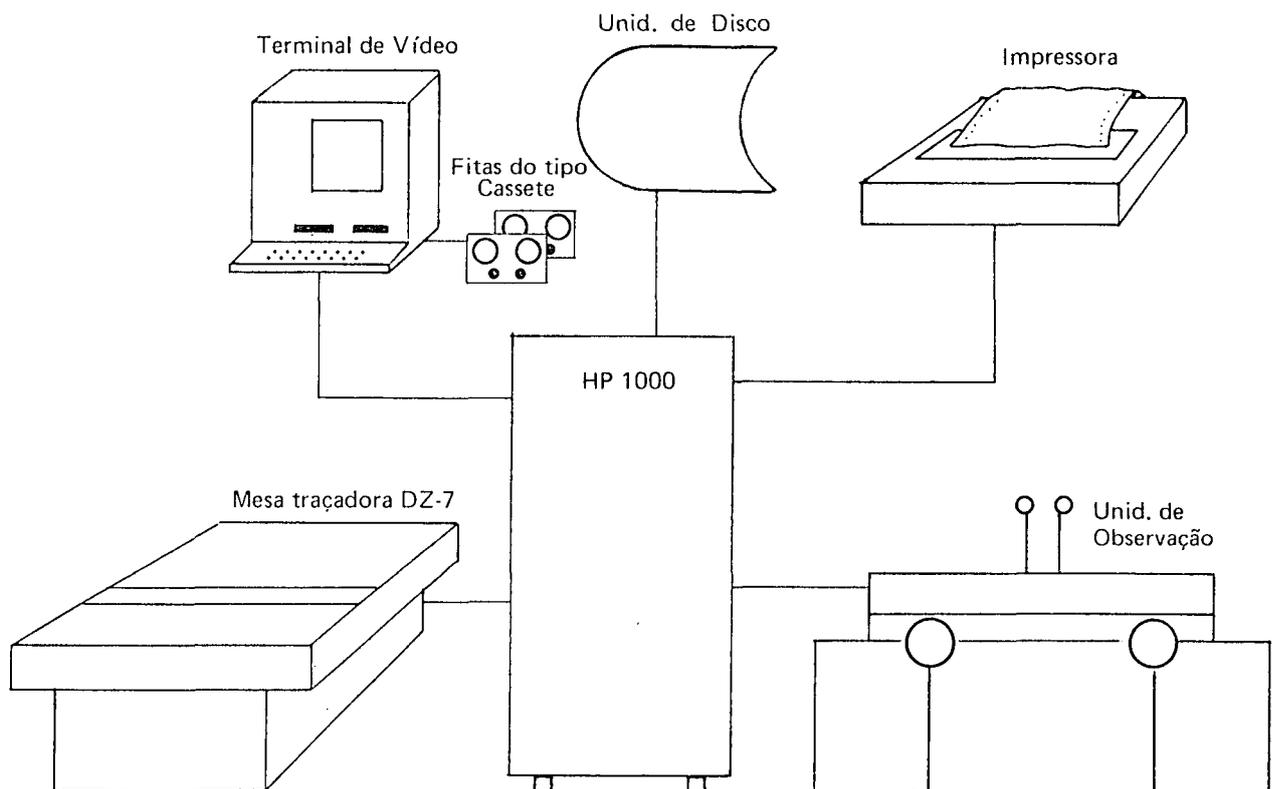


FIGURA 8 – Representação esquemática da configuração do Sistema HP-1000 com o PLANICOMP C-100



- c) identificação dos pontos de apoio;
- d) digitalização com o PLANICOMP C-100;
- e) transformação das coordenadas;
- f) desenho automático.

2.2.1 Processamento das Imagens de LANDSAT

O processamento foi realizado através do pacote de programas SPID-1 (*software* para o Processamento de Imagens Digitais versão-1) que é composto por quatro módulos distintos; sendo o módulo-1 para adequação da palavra, o módulo-2 para reformatação, o módulo-3 para seleção da região de interesse (que é armazenada em disco) e o módulo-4 para retificação e representação final por meio de uma impressora de linhas (*ver esquema fig. 9*).

Como foi dito anteriormente (2.1. b) escolheu-se a banda-7 e selecionou-se as sub-matrizes de interesse (*ver fig. 10 - posição relativa*).

Para retificação geométrica (dita preliminar porque não são utilizados pontos de apoio (*ver diagrama fig. 11*), foram considerados os seguintes aspectos:

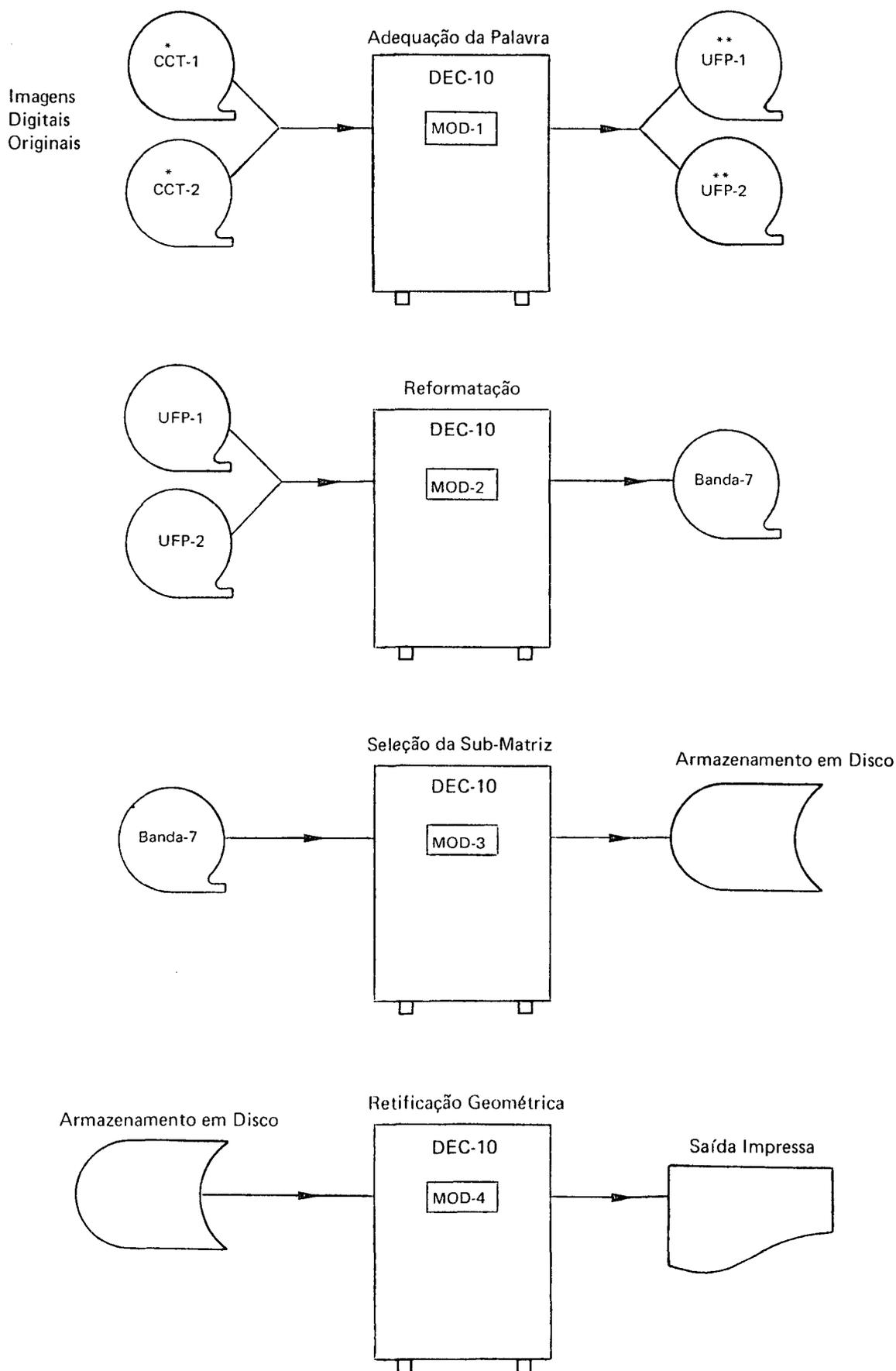
- a) a diferença de escala existente segundo a direção de varredura e trajetória do satélite, cujo fator de afinidade é de 1,41 na direção de varredura (razão entre os valores nominais do elemento de imagem 79/56 *ver Bähr /3/*;
- b) enviezamento na imagem devido ao efeito de rotação da Terra (*ver Bähr /3/*).
- c) distorção provocada pela impressora de linhas, cujo fator é de 1,67 segundo as linhas, quando é considerada uma relação de impressão de 10/6, ou seja, respectivamente o número de caracteres e o número de linhas em uma polegada (*ver Coppock /7/*);
- d) realce na imagem segundo um espalhamento linear (*vide Lillesand /17/*).

Entretanto, com o objetivo de não aumentar a quantidade de dados já armazenados em disco, procedeu-se da seguinte forma (*ver diagrama fig. 12*).

- a) enviezamento;
- b) fator de escala de 1.18 segundo as colunas (razão entre os fatores 1.67 e 1.41);
- c) para realçar-se a imagem foi feito um espalhamento linear entre os valores de brilho compreendidos entre 10 e 60.

Na figura 13, pode-se observar os resultados antes e depois da retificação e do realce, e no quadro 1, a descrição dos programas do módulo-4.

FIGURA 9 – Esquema apresentando a finalidade de cada módulo que compõe o SPID-1



* CCT – Computer Compatible Tapes distribuídas pelo Instituto de Pesquisas Espaciais

** UFP – Denota as fitas adequadas para utilização no DEC-SYSTEM-10 da Universidade Federal do Paraná.

FIGURA 10 — Posição relativa das áreas de testes em relação a imagem completa

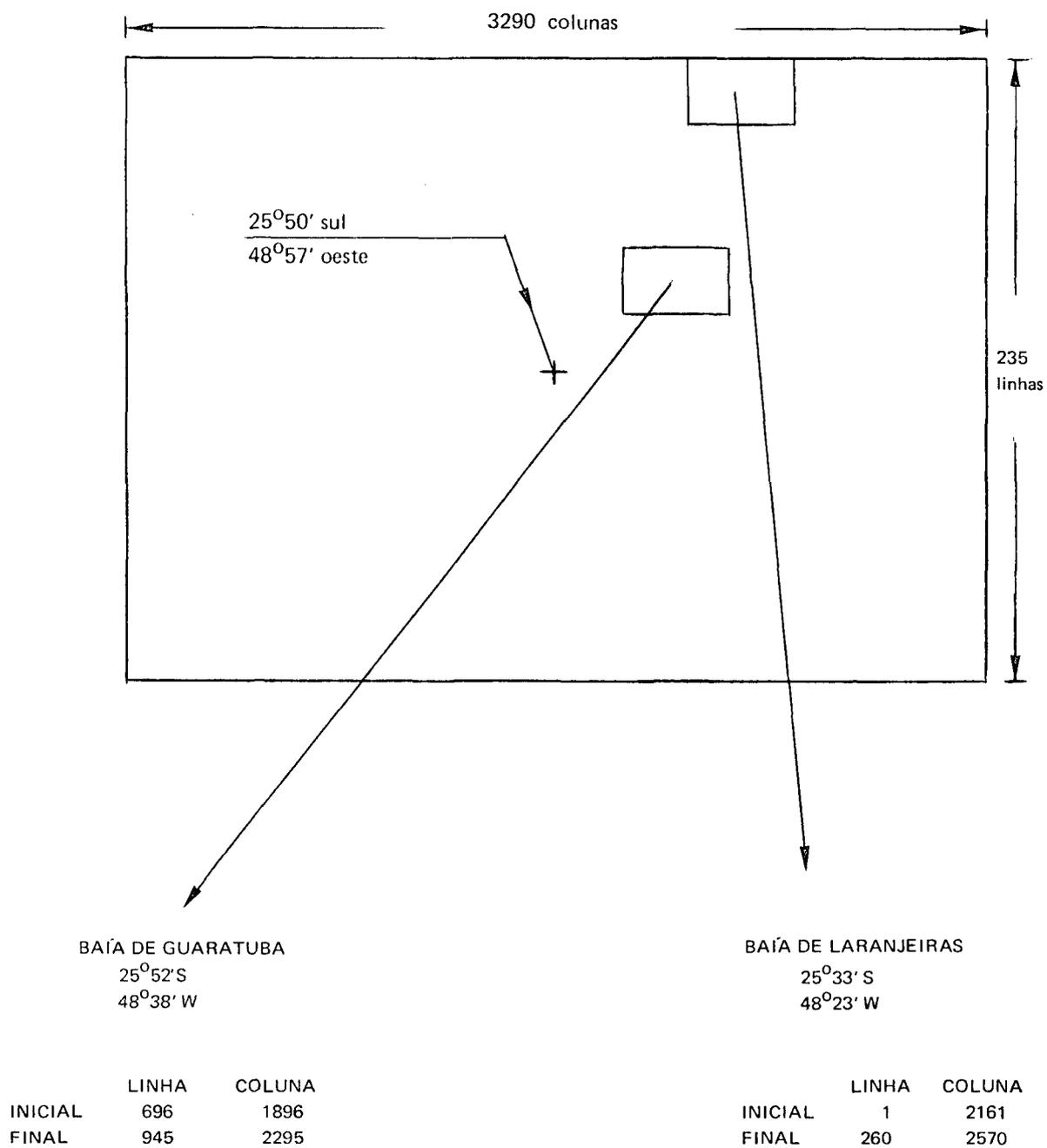


FIGURA 11 – Diagrama de fluxo para proceder a retificação geométrica preliminar

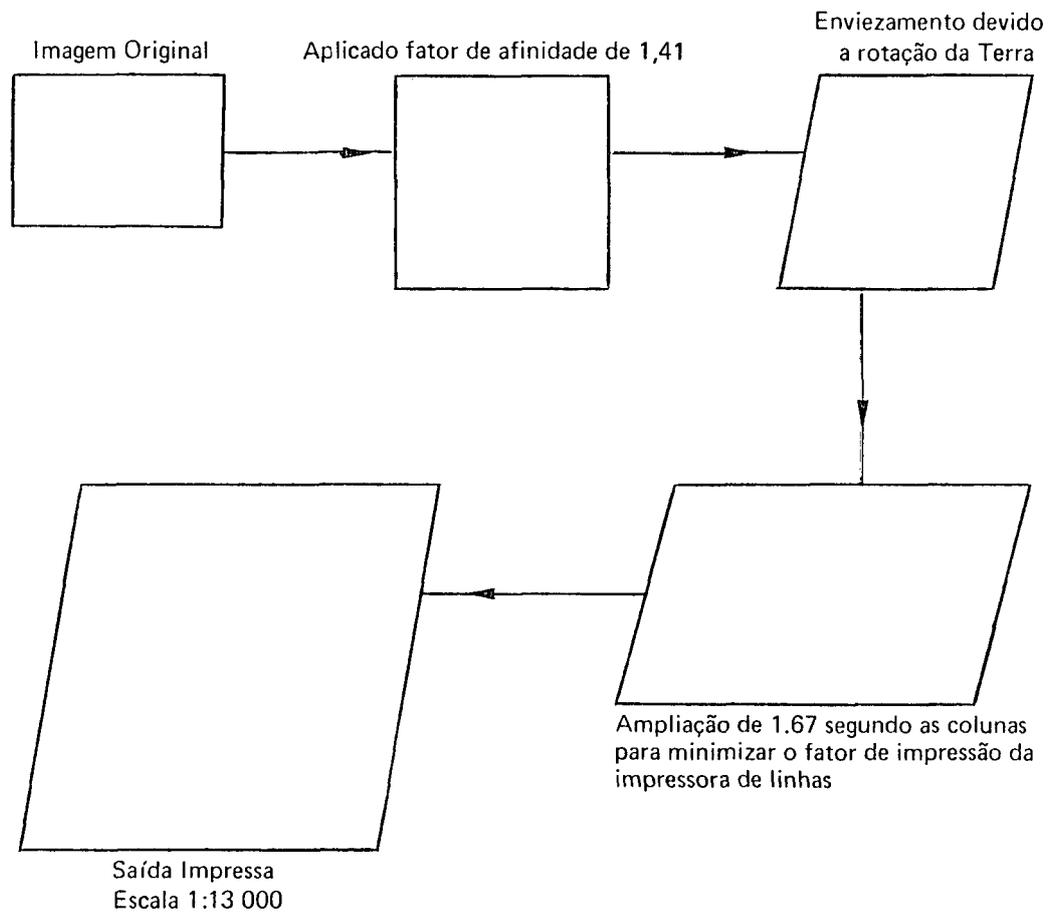


FIGURA 12 – Diagrama de fluxo do procedimento efetivamente utilizado neste trabalho

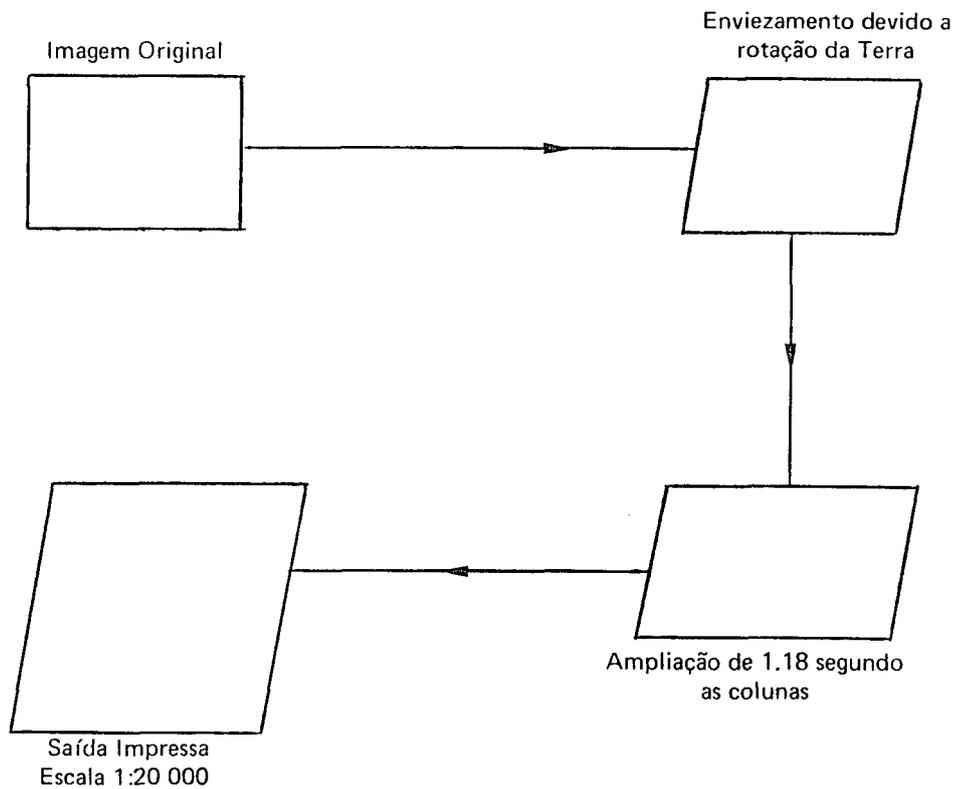


FIGURA 13 – Resultados antes e depois, tanto para a retificação geométrica preliminar, como para o realce através de um espalhamento linear

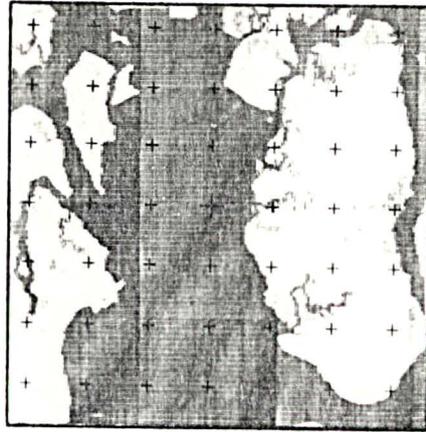
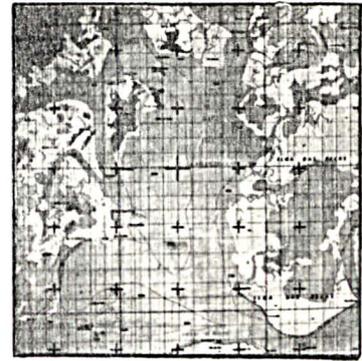


Imagem sem retificação
(alongamento segundo as linhas)



carta topográfica
(redução fotográfica)

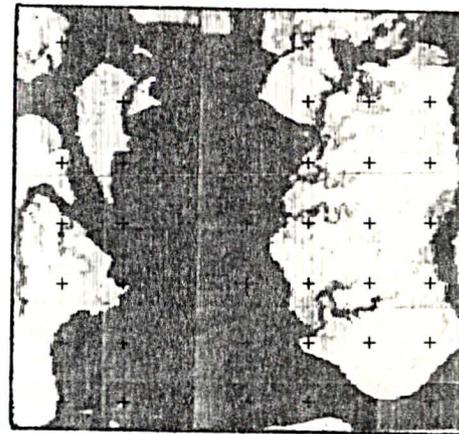


Imagem retificada

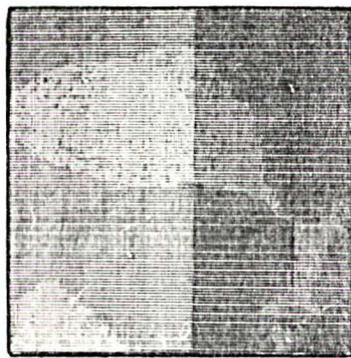
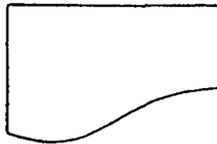


Imagem sem realce



Imagem realçada

QUADRO - 1 — Programas que constituem o Módulo-4

DENOMINAÇÃO	FINALIDADE	PARÂMETROS		OBSERVAÇÃO
		ENTRADA	SAÍDA	
SKEW **	Aplicar enviezamento	Arquivo Entrada Linhas/Colunas — Latitude da Região — Arquivo Saída	N.º de Linhas /Colunas *	O enviezamento é função dos parâmetros do satélite caso utilizar imagem do LANDSAT-4 fazer alterações
AMPLIA **	Fazer ampliações segundo as linhas e colunas a partir de fatores de escala distin- tos	Arquivo Entrada Linhas/Colunas Fatores: FT _x = 1.67 FT _y = 1.41 Arquivo Saída	N.º de Linhas /Colunas *	
HISTO ***	Obter histogramas de fre- quência dos valores de brilho da imagem	Arquivo Entrada Linhas/Colunas	Representação Gráfica	Para utilizar impressoras seriais, alterar caracteres de controle
STREW ***	Realçar a imagem	Arquivo Entrada Linhas/Colunas Limites: Inferior = Superior =	N.º de Linhas/Colunas *	Espalhamento linear
PUTOUT	Obter a representação gráfica por meio de saídas impressas	Arquivo Entrada Linhas/Colunas		Treze níveis de cinza para utilizar impressoras seriais alterar caracteres de controle

* Armazenamento em disco

** Alteram a geometria

*** Alteram o conteúdo semântico

Restrição: O arquivo original não deve ser superior a 160 000 elementos.

2.2.2 Tomadas Fotográficas

As tomadas fotográficas foram feitas com a ROLLEIFLEX SLX no modo automático e, utilizou-se filme pancromático de 125 ASA (*American Standards Association*) com tempo de exposição de 1/30 do segundo.

Alguns cuidados foram tomados no sentido de evitar grandes inclinações na câmara, utilizando-se um nível esférico para nivelar o tripé, além de se tentar manter em escalas aproximadas as fotos enquadrando cada objeto para um mesmo campo ótico da câmara.

2.2.3 Identificação dos pontos de apoio

Para estabelecer-se a correspondência pontual entre a imagem fotográfica da saída impressa e carta topográfica, observou-se uma grande dificuldade para uma identificação clara e precisa de um número suficiente e bem distribuído de pontos de apoio (*ver exemplo fig. 14*).

Para contornar tal problema, procedeu-se da seguinte maneira, com o projetor fotográfico, projetou-se e ajustou-se visualmente as feições da imagem sobre a carta^{*} e, utilizou-se a malha do *reseau* (também projetada) como definidora dos pontos de apoio a serem extraídos da carta e, posteriormente, digitalizados no PLANICOMP C-100 (*ver esquema fig. 15*).

Com esse procedimento, conseguiu-se definir uma quantidade de pontos de apoio além do necessário para o cálculo dos parâmetros de transformação (*ver 2.2.5*) e, estabeleceu-se uma configuração uniforme e bem distribuída para toda a imagem.

Entretanto é importante observar que a qualidade dos pontos de apoio ficou totalmente condicionada ao erro visual, assim como ao tipo de deformação que poderia ser explorada com o projetor para o estabelecimento da superposição da imagem projetada e o mapa.

2.2.4 Digitalização com o PLANICOMP C-100

Para a digitalização, utilizou-se o PLANICOMP C-100 como mono-comparador e o programa B-70 no modo de registro individual (o registro é acionado por meio de pedal), armazenando os dados (atributos e coordenadas x, y de máquina) num arquivo em disco para posterior tratamento geométrico.

Os atributos foram introduzidos via painel fotogramétrico toda vez que se iniciava a digitalização de uma nova feição (*ver exemplo fig. 16*).

Para cada imagem fotográfica foram digitalizados cerca de 3000 pontos e o tempo médio gasto foi de 40 minutos, sendo que para os pontos de apoio foram feitas duas observa-

* Carta com escala 1:50 000

FIGURA 14 – Exemplo para ilustrar a dificuldade de se estabelecer uma correspondência pontual entre a saída impressa e a carta topográfica

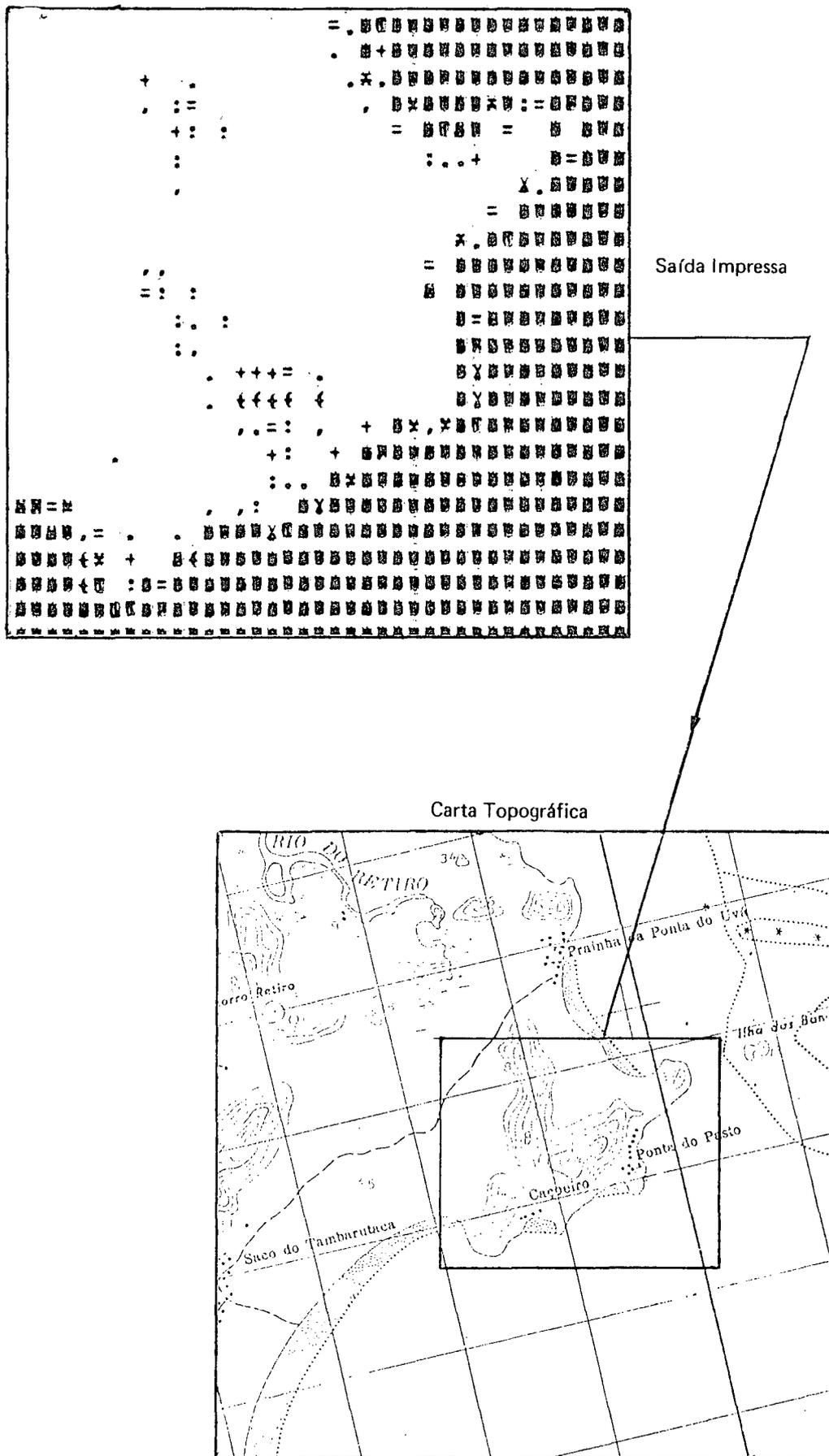
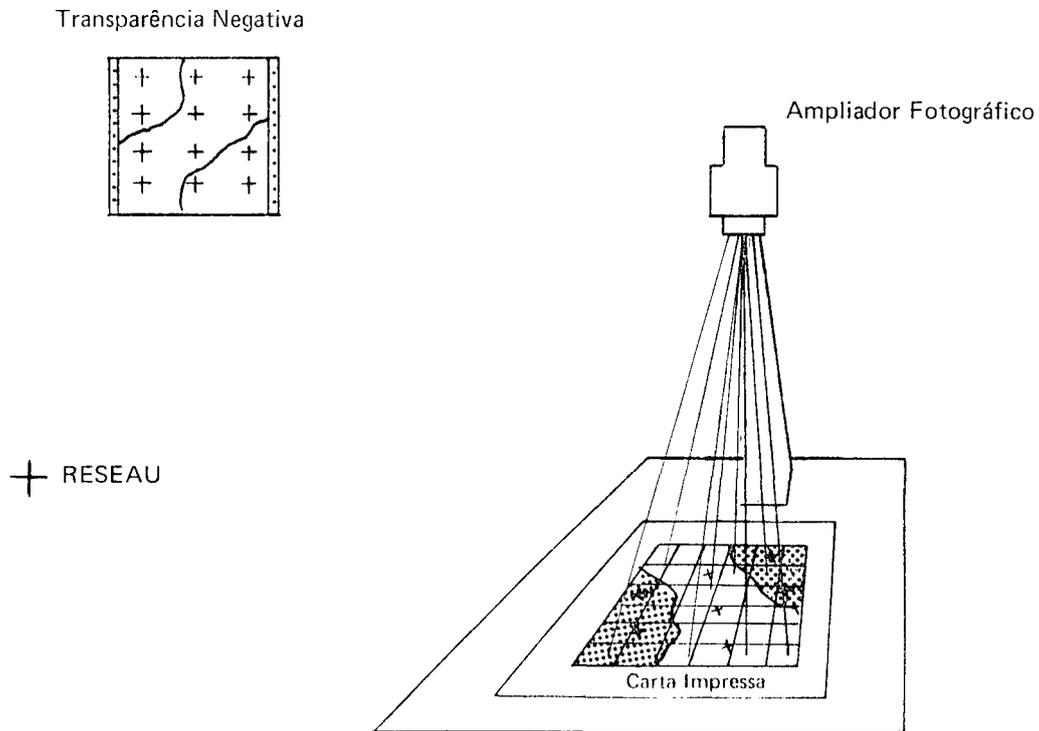


FIGURA 15 – Representação esquemática do procedimento utilizado para identificação dos pontos de apoio



ções para se extrair uma média.

Durante a fase de testes preliminares, observou-se que a baixa resolução das saídas impressas dificultava sobremaneira a identificação das feições durante a digitalização e, para tanto, passou-se a delinear com grafite as saídas impressas antes de fotografar-se (*ver exemplo fig. 17*).

2.2.5 Transformação das coordenadas

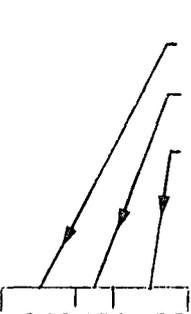
Para transformar as coordenadas de máquina (x, y) em coordenadas do espaço objeto (X, Y) foram testados os seguintes modelos:

a) transformação de similaridade

$$X = a_1x + a_2y + a_3$$

$$Y = -a_2x + a_1y + b_1$$

FIGURA 16 – Exemplo de feições digitalizadas com o PLANICOMP C-100



	Código de qualidade	Tipo de interpolação	N. do ponto	x[μ m]	y[μ m]
	1000030000			-20.293	31.766
	1000030001			-20.228	31.760
	1000030002			-20.148	31.702
	1000030003			-20.012	31.637
	1000030004			-19.986	31.638
	1000030005			-19.924	31.647
	.				
	.				
	.				
	1000030015			-20.253	29.119
	1000030016			-20.306	29.073
	1000030017			-20.345	29.047
	1000030000			-20.293	31.766
	1000030001			-20.228	31.760
	1000030002			-20.148	31.702
	.				
	.				
	1000030054			- 7.977	28.782
	1000030055			- 8.019	28.787
	1000030056			- 8.140	28.820
	819010000			-10.142	24.172
	819010000			-15.010	24.186
	819010000			8.848	14.587
	819010000			-15.032	- 9.785

-9990000000 FIM DE ARQUIVO

* tipo de inter. significado

1	ponto isolado
2	segmento de reta
3	funcao spline
4	arco de circunferência

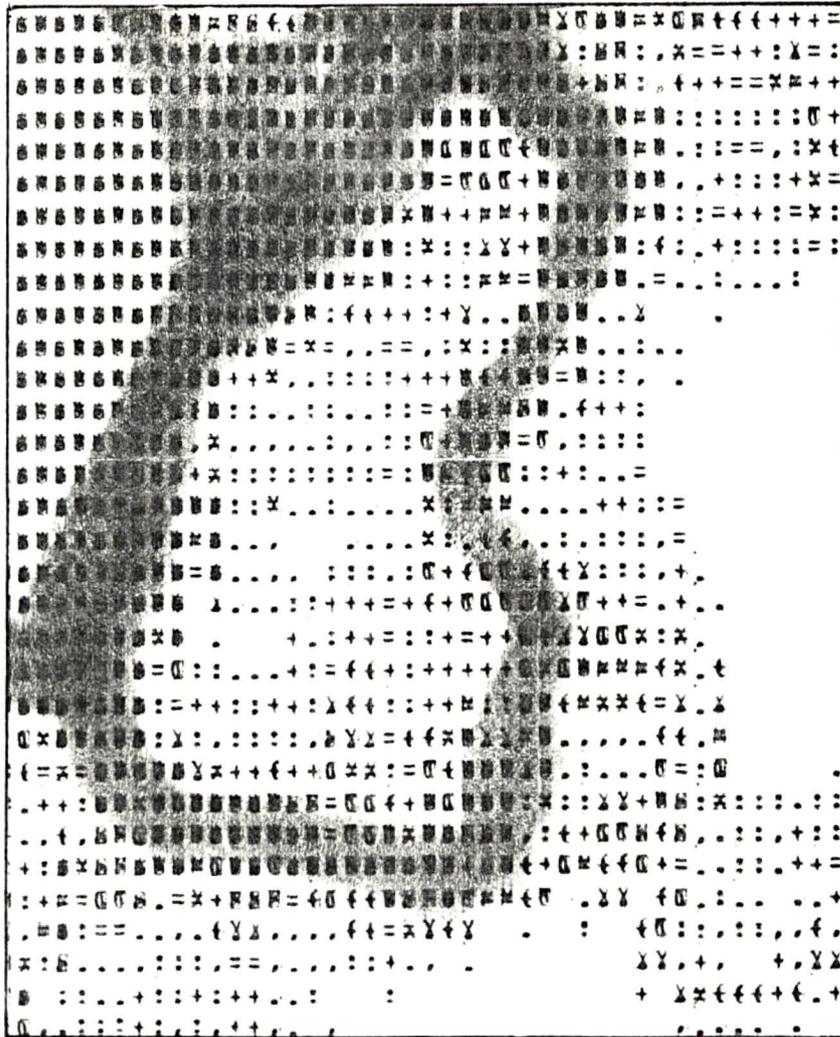
* Codio de qualidade significado

1000	feição irregular
819	ponto isolado

* N. do ponto significado

0000	início da feição
------	------------------

FIGURA 17 – Exemplo do delineamento feito com grafite para facilitar a digitalização das feições



Saída impressa realçada com grafite antes de ser fotografada

Resultado após a tomada fotográfica



b) transformação afim

$$X = a_1x + a_2y + a_3$$

$$Y = b_1x + b_2y + b_3$$

c) polinômio do 2^o grau

$$X = a_1x^2 + a_2y^2 + a_3xy + a_4x + a_5y + a_6$$

$$Y = b_1x^2 + b_2y^2 + b_3xy + b_4x + b_5y + b_6$$

d) polinômio do 3^o grau

$$X = a_1x^3 + a_2y^3 + a_3x^2y + a_4xy^2 + a_5x^2 + a_6y^2 + a_7x + a_8y + a_9xy + a_{10}$$

$$Y = b_1x^3 + b_2y^3 + b_3x^2y + b_4xy^2 + b_5x^2 + b_6y^2 + b_7x + b_8y + b_9xy + b_{10}$$

onde: x, y — denotando coordenadas de máquina

X, Y — denotando coordenadas do espaço objeto

a_i, b_i — denotando parâmetros de transformação

Para calcular os parâmetros de cada modelo, utilizou-se um número superabundante de pontos de apoio e procedeu-se o ajustamento pelo método dos mínimos quadrados, através do programa POLI, concebido e implantado para a HP 1000.

Na *fig. 18*, apresenta-se uma feição antes e depois de serem transformadas suas coordenadas.

2.2.6 Desenho automático

O desenho foi realizado automaticamente por meio do programa PLVFY, que interliga os pontos da feição através do controle da mesa traçadora DZ-7.

Na *fig. 19*, apresenta-se um diálogo para utilização do programa PLVFY e, nas *figs. 20 e 21*, reproduções respectivamente em escalas de 1:150 000 e 1:200 000 da área de teste denominada Baía de Guaratuba.

O tempo gasto para realização dos desenhos foi de cerca de 30 minutos; entretanto, cabe observar que este tempo poderia ser sensivelmente reduzido se os dados fossem transferi-

FIGURA 18 – Exemplo de uma feição antes e depois de serem transformadas as coordenadas de máquina em coordenadas do espaço objeto

Atributos semânticos	Coord. de máquina [μ m]	
1000030000	-20.620	12.085
1000030001	-20.493	12.016
1000030002	-20.324	11.937
1000030003	-20.166	11.881
1000030004	-20.060	11.829
1000030005	-19.740	11.779
.	.	.
.	.	.
.	.	.
1000030012	-20.014	29.391
1000030013	-20.079	29.255
1000030014	-20.172	29.189
1000030015	-20.253	29.119
1000030016	-20.300	29.073
1000030017	-20.345	29.047

Polinômio do 2^o grau.



Atributos semânticos	Coord. do esp. objeto [m]	
1000030000	751442.171	7179976.764
1000030001	751552.056	7179910.769
1000030002	751681.513	7179852.334
1000030003	751818.295	7179804.980
1000030004	751946.977	7179760.990
1000030005	752158.749	7179718.192
.	.	.
.	.	.
.	.	.
1000030012	751917.934	7194260.040
1000030013	751866.523	7194148.329
1000030014	751790.433	7194093.810
1000030015	751725.040	7194036.078
1000030016	751682.269	7193990.143
1000030017	751650.786	7193976.658

FIGURA 19 – Diálogo para utilização do programa PLVfy

```

:RU,PLVfy

IVERIFIQUE PARAMETROS DE CONTROLE.

IRE          4
SCXG = 1000.0 (mm/unidade de terreno)
SCGT = 250000.0 (ESCALA DO DESENHO)

?CONFIRME COM "CR"

PENA 1 PARA OBJETOS ?
 1000  *
 0     *

PENA 2 PARA OBJETOS ?
 819   *
 0     *

PENA 3 PARA OBJETOS ?
 0,0   *

** SWITCH ON DZ7 & COMP.-MODE & PRESS
** >RETURN<

C.. O SISTEMA ALERTA MESA DESLIGADA ..

MOVER A PENA PARA DEFINIR CANTO INFERIOR
ESQUERDO DA JANELA DE DESENHO E PRESSIO-
NAR O BOTAO AMARELO DA MESA ?

MOVER A PENA PARA DEFINIR O CANTO SUPE -
RIOR DIREITO DA JANELA DE DESENHO E PRES-
SIONAR O BOTAO AMARELO DA MESA ?

? INFERIOR ESQUERDA (ABS.,ORD.)
 752000.0,7178000.0 #

? SUPERIOR DIREITA (ABS.,ORD.)
 776000.0,7204000.0 #

1000  1000  1
1000  1000  1
:
:

** IDNR  L 4 E 2 S 1 240

C.. O SISTEMA ALERTA A FITA CHEGOU AO ..
C.. FIM,MAS O PROGRAMA NAO TERMINOU ..
C.. PROCEDIMENTO: ..
C.. COLOCAR A FITA ONDE SE ENCONTRAM ..
C.. DADOS RESTANTES E RESTABELECEER A ..
C.. LU 4 COMO DESCRITO A SEGUIR; ..

*UP,2

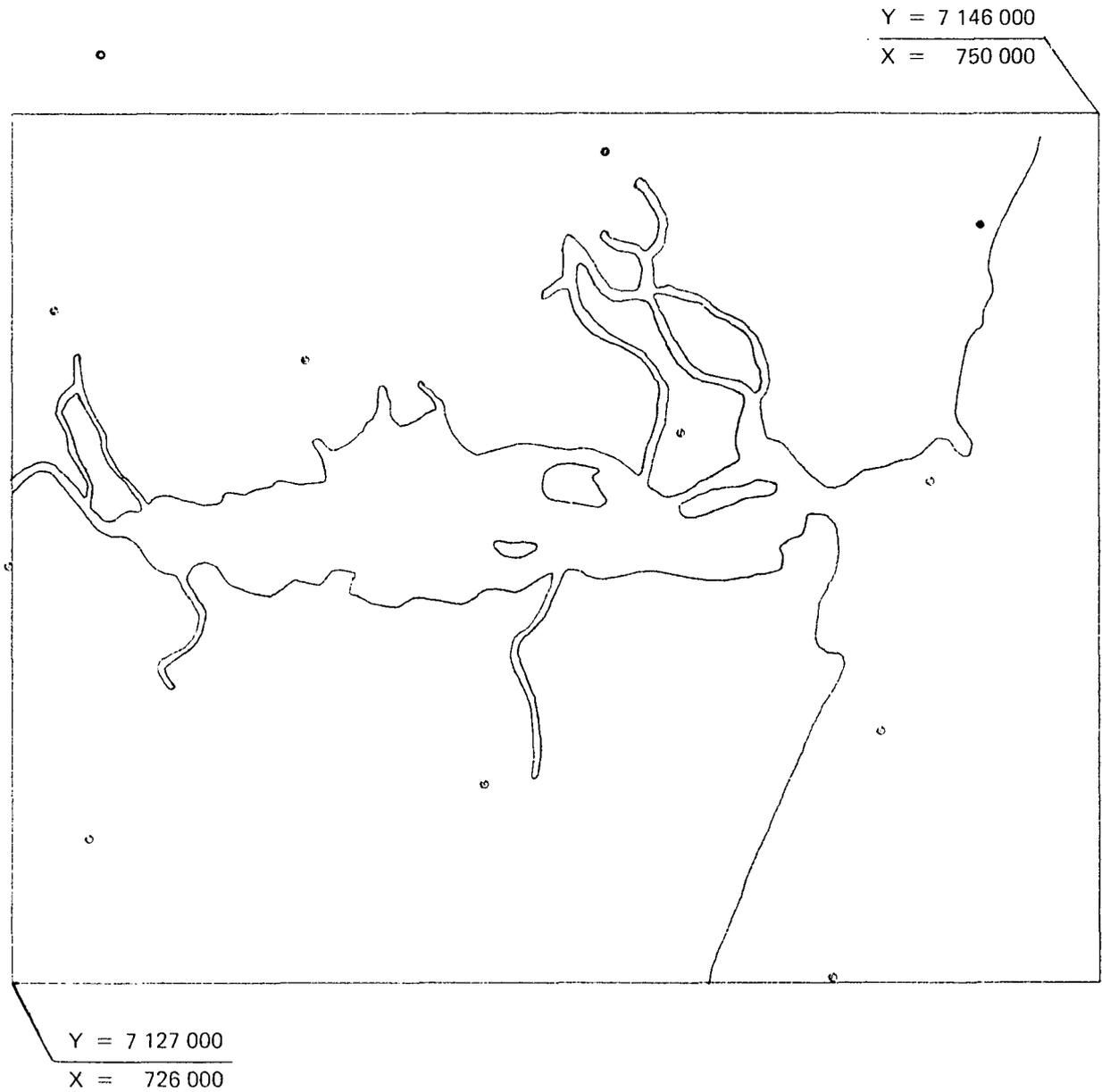
C.. O PROGRAMA CONTINUA NORMALMENTE ..

1000  1000  1
1000  1000  1
:
:
PLVfy ENDED

C.. OBS. # DADOS FORNECIDOS PELO OPR. ..

```

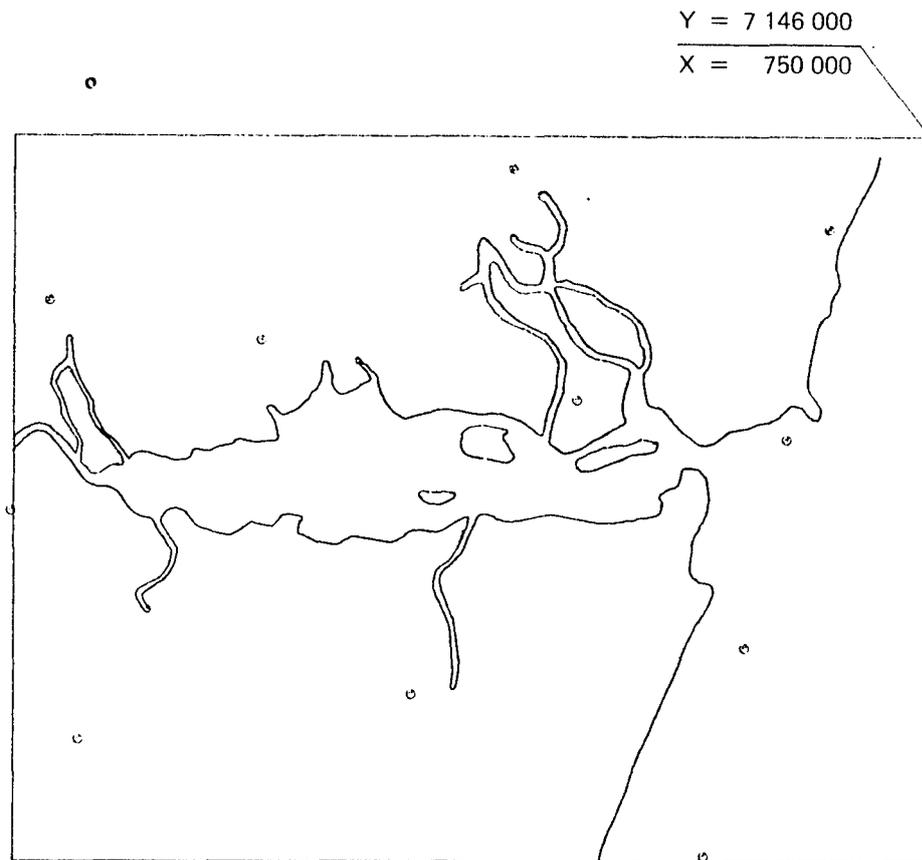
FIGURA 20 – Exemplo do produto obtido segundo a metodologia proposta
E = 1:150 000 relativo à Baía de Guaratuba



PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSO MERCATOR
LONGITUDE MERIDIANO CENTRAL DO FUSO 51°W

OBS.: Considerou-se Y ≡ Norte e X ≡ Este

FIGURA 21 – Exemplo do produto obtido segundo a metodologia proposta
E = 1:200 000 relativo à Baía de Guaratuba



PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSO MERCATOR
LONGITUDE MERIDIANO CENTRAL DO FUSO 51^oW

OBS.: Considerou-se Y ≡ Norte e X ≡ Este

dos diretamente da unidade de disco e não das fitas cassetes como foi feito.

No que diz respeito à quantidade de informações, que foram extraídas das imagens de satélite, pode-se dizer que muito mais poderia ter sido extraído, bastando para isso que fosse feito um diferente espalhamento linear, ou realce, durante o processamento digital destas imagens (*ver exemplo fig. 46, pág.77*).

2.3 ANÁLISE GEOMÉTRICA

A análise geométrica foi dividida em análise quantitativa, para estudo e escolha do melhor modelo de transformação e em análise qualitativa, para avaliar analogicamente o produto compilado.

2.3.1 Análise quantitativa

Para proceder-se a análise quantitativa, teve-se de admitir a hipótese de inexistência de erros na superposição visual de feições (*ver item 2.2.3.*) e a partir daí considerar as coordenadas do espaço objeto como verdadeiras. Na figura 22 apresenta-se a distribuição destes pontos, sendo 55 e 49 respectivamente para a Baía de Guaratuba e para a Baía de Laranjeiras.

2.3.1.1 Análise gráfica — A análise gráfica compreendeu o estudo tanto do comportamento como da variação em módulo dos Vetores de Erros (VE), nos pontos da rede, e se testou a influência sofrida pelos VE, tanto ao se aumentar o número de PA*, em se tratando de um mesmo modelo de transformação, assim como a performance entre os modelos para um mesmo número de graus de liberdade, conforme o procedimento descrito no item 3.1.1.1 .

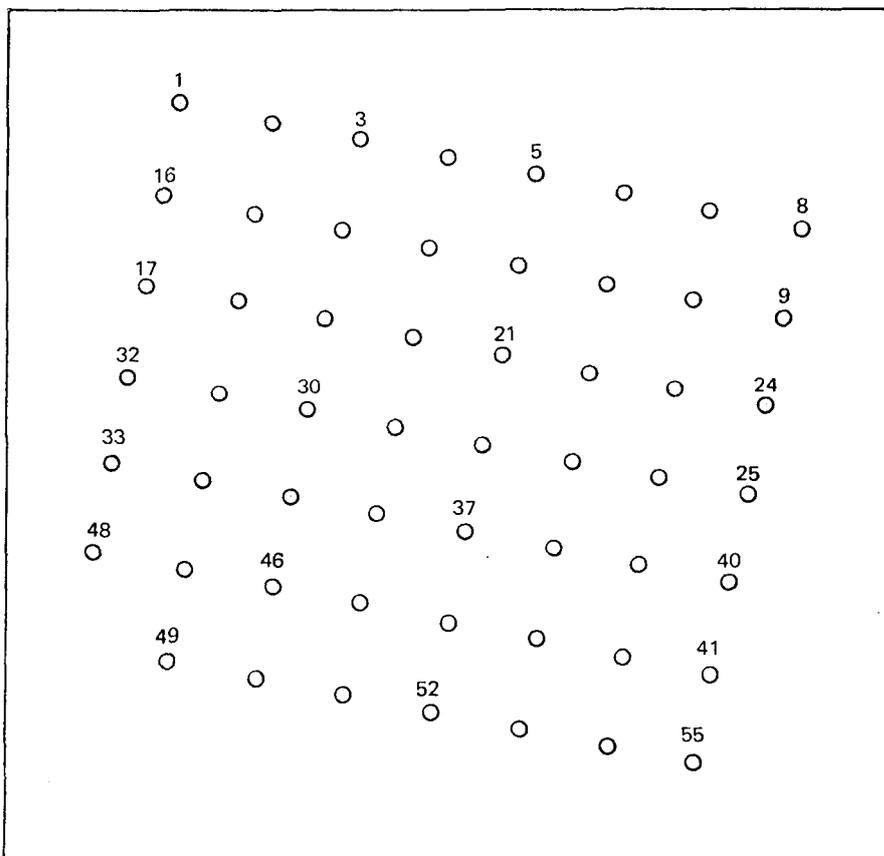
Cada VE tem como origem o par de coordenadas do espaço objeto, extraídas da carta, enquanto que o seu módulo, bem como sua orientação, ficam determinadas pelo par de coordenadas obtidas do ajustamento.

Para representação gráfica dos VE, utilizou-se o programa de serviço do PLANICOMP C-100, denominado C087 (*ver Manual /28/*).

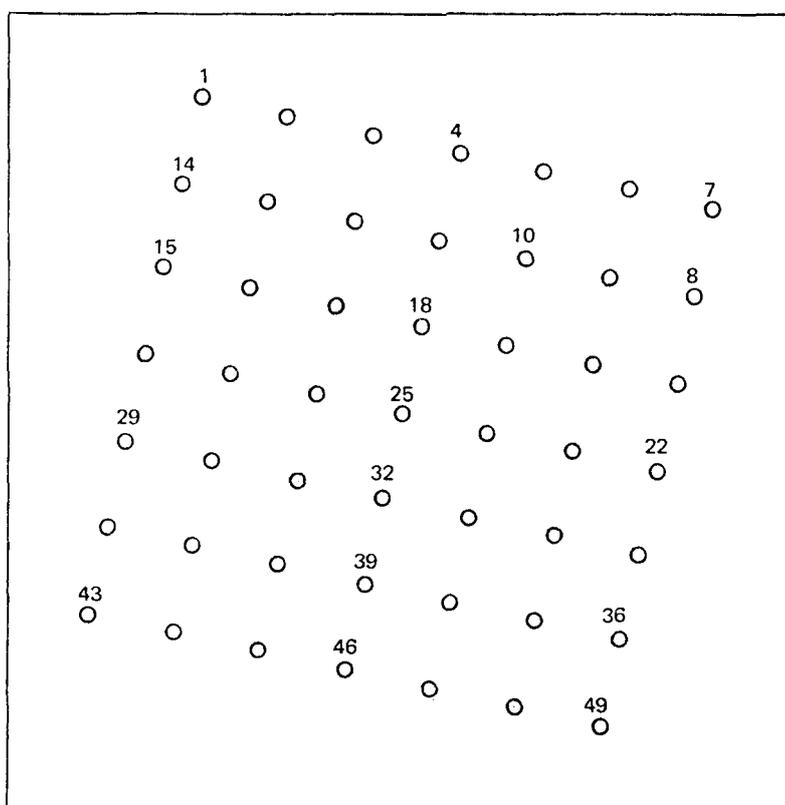
* PA — Ponto de Apoio

FIGURA 22 – Representação da rede de pontos cujas coordenadas são conhecidas nos dois sistemas (máquina-espaco objeto)

Baía de Guaratuba



Baía de Laranjeiras



2.3.1.2 Análise de variância — Para 24 pontos da rede, deu-se a denominação de Pontos de Conferência (PC) e a partir destes, calculou-se o Erro Médio Quadrático (EMQ), segundo as fórmulas a seguir (ver Santos /22/):

$$\text{EMQ}_x = \sqrt{\frac{[\epsilon\epsilon]_x}{n}} \quad (1) \quad \text{e} \quad \text{EMQ}_y = \sqrt{\frac{[\epsilon\epsilon]_y}{n}} \quad (2)$$

onde $[\epsilon\epsilon]_{x,y}$ = Soma dos quadrados dos erros para as coordenadas X e para as coordenadas Y;

n = número de pontos ($n = 24$ pontos)

O restante dos pontos, foram utilizados como Pontos de Apoio (PA). A única diferença entre os PC e PA é que somente os PA eram usados para calcular os parâmetros incógnitos do modelo de transformação, além do desvio padrão (S) que é dado pelas seguintes fórmulas:

$$S_{(x)} = \sqrt{\frac{[VV]_{(x)}}{GL}} \quad (3) \quad \text{e} \quad S_y = \sqrt{\frac{[VV]_{(y)}}{GL}} \quad (4)$$

$[VV]$ = Soma do quadrado dos resíduos

GL = n° de equações de observação — n° de parâmetros a determinar

Somente para os modelos de transformação que apresentaram melhor performance, aplicou-se o delineamento estatístico de Blocos ao Acaso, para os EMQ e para os S (vide Kirchner /14/).

A análise de variância cujo modelo linear aditivo vem a seguir, foi efetuada em conjunto, tendo em vista que na maioria das vezes só se dispõe dos S para inferências sobre os resultados.

$$X_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \ell_{ij}$$

onde X_{ij} = é o valor observado ou medido relativo a unidade de amostragem que recebeu o tratamento (i) do bloco (j);

μ = média geral

τ_i = mede o efeito do tratamento (i)

β_j = mede o efeito do bloco (j)

ℓ_{ij} = contribuição aleatória ou parte da variação devido à fatores não controlados.

Na análise comparativa dos tratamentos (modelos de transformação), admitiu-se as hipóteses de que os diversos efeitos são aditivos e não multiplicativos como em outros modelos (ver Steel /25/), que os erros (ϵ_{ij}) são independentes e normalmente distribuídos com média zero e variância σ^2 (por isso é que se escolheu somente os modelos de transformação de melhor performance).

Os tratamentos são os modelos de transformação, enquanto os EMQ e os S são as repetições, ou blocos. Com isso, testou-se se existia diferenças estatisticamente significativas, com uma probabilidade de 95% entre os tratamentos e os blocos. No caso, onde existiram diferenças, aplicou-se o Teste de Scheffé para se estabelecer intervalos de confiança.

2.3.1.3 Análise demonstrativa de freqüências acumuladas – Considerou-se o erro gráfico (1/5 mm) como tolerância admissível para a carta e que só se aceita o teste desta carta quando pelo menos 90% dos pontos testados tenham um erro inferior a este. A partir disso, calculou-se as freqüências acumuladas para os erros nos PA e PC (que é o valor numérico do módulo dos VE).

As escalas consideradas foram 1:200 000, 1:150 000, 1:100 000 e 1:50 000; por consequência obtêm-se respectivamente como tolerâncias 40, 30, 20 e 10 metros.

Para esse estudo, deu-se a denominação de análise demonstrativa de freqüências acumuladas.

2.3.2 Análise qualitativa

Para proceder à análise qualitativa do produto compilado a partir das saídas impressas, fotografou-se com a ROLLEIFLEX SLX cartas topográficas impressas e com procedimento análogo à metodologia* proposta, fez-se a confrontação entre os dois produtos. Cabe ressaltarmos que aplicou-se também para este segundo produto obtido, a mesma seqüência de análises quantitativas, como descrito anteriormente (ver diagrama de fluxo fig. 23).

Nas fig. 24 e 25, apresenta-se reproduções, respectivamente em escalas 1:150 000 e 1:200 000, do produto compilado a partir das cartas topográficas impressas.

* Exceto pela identificação dos pontos de apoio, onde não se utilizou o projetor fotográfico, mas sim a própria malha do reticulado do mapa.

FIGURA 23 – Diagrama de fluxo para compilação de um original a partir da carta topográfica para análise qualitativa

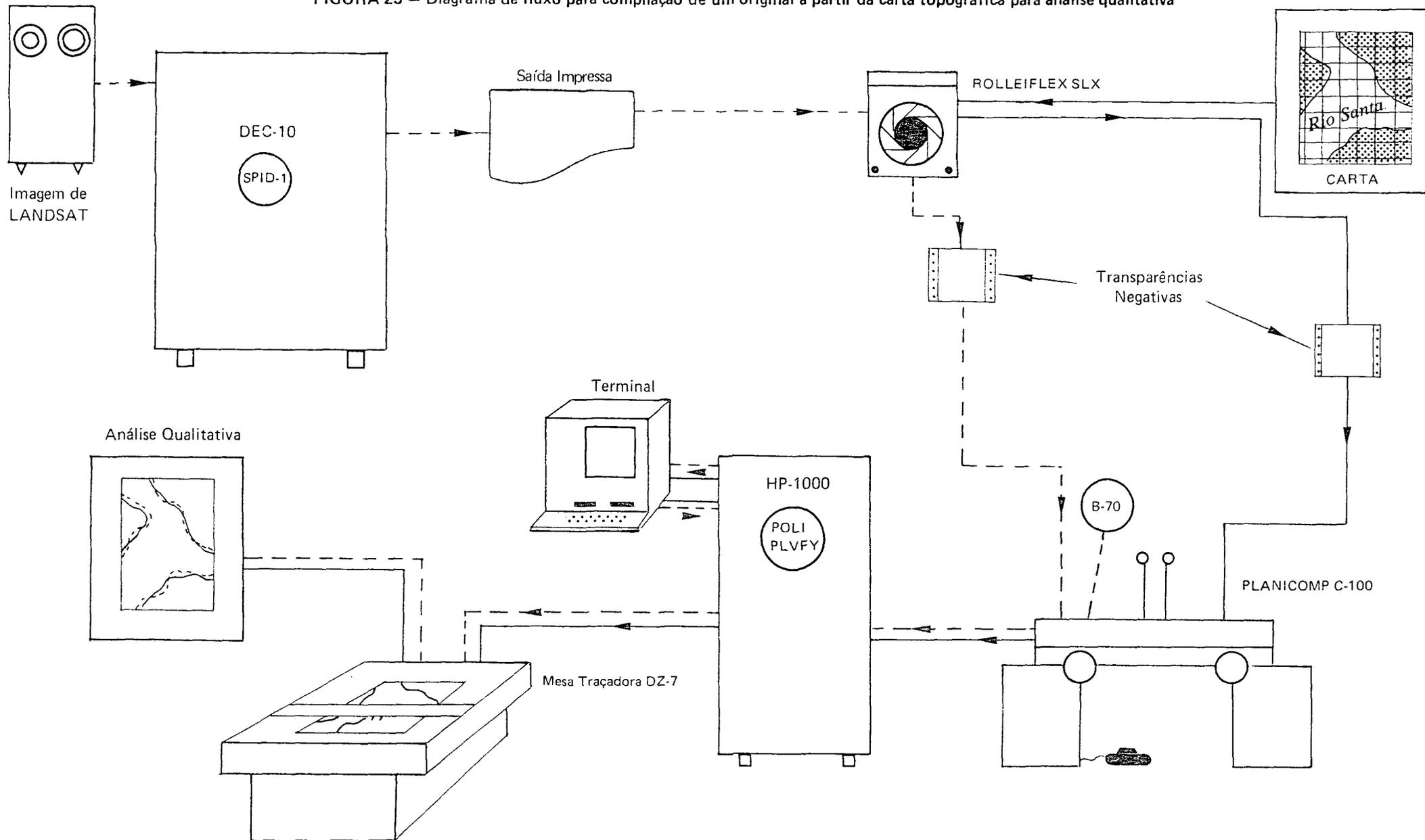


FIGURA 24 – Exemplo do produto compilado a partir da carta impressa na E = 1:150 000
relativo à Baía de Guaratuba

Y = 7 146 000

X = 750 000



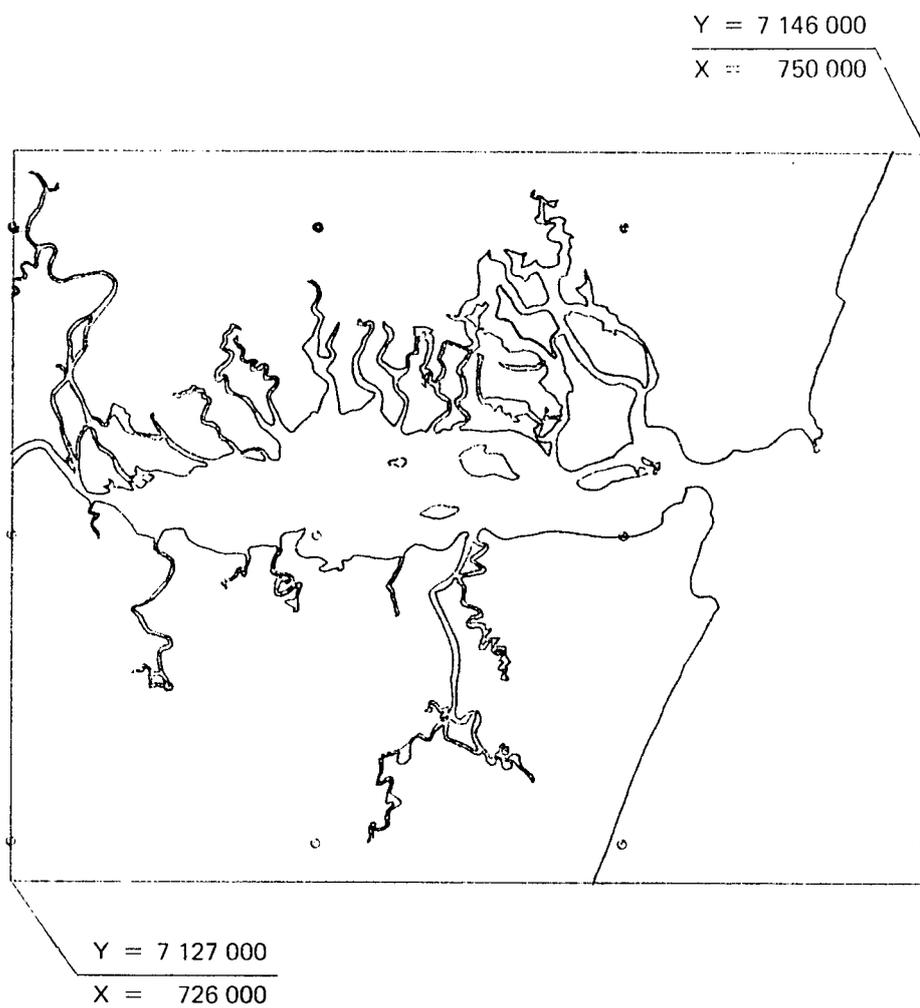
Y = 7 127 000

X = 726 000

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSO MERCATOR
LONGITUDE MERIDIANO CENTRAL DO FUSO 51°W

OBS.: Considerou-se Y ≡ Norte e X ≡ Este

FIGURA 25 – Exemplo do produto compilado a partir da carta impressa na E = 1:200 000
relativo à Baía de Guaratuba



PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSO MERCATOR
LONGITUDE MERIDIANO CENTRAL DO FUSO 51^oW

OBS.: Considerou-se Y ≡ Norte e X ≡ Este

CAPÍTULO 3

RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ANÁLISE QUANTITATIVA

Para melhor avaliar os resultados dividiu-se os testes em dois grupos, segundo o produto fonte que lhe deu origem (imagem de satélite e o outro, carta topográfica) e, para cada experimento (área de teste) no seu grupo, realizou-se, sistematicamente, a análise como descrito a seguir:

- a) análise gráfica;
- b) análise de variância (entre modelos de transformação de melhor performance);
- c) análise demonstrativa de freqüências acumuladas (entre modelos de melhor performance);

3.1.1 Grupo-1 (produto fonte imagem de satélite)

3.1.1.1 Experimento-1 (Baía de Guaratuba)

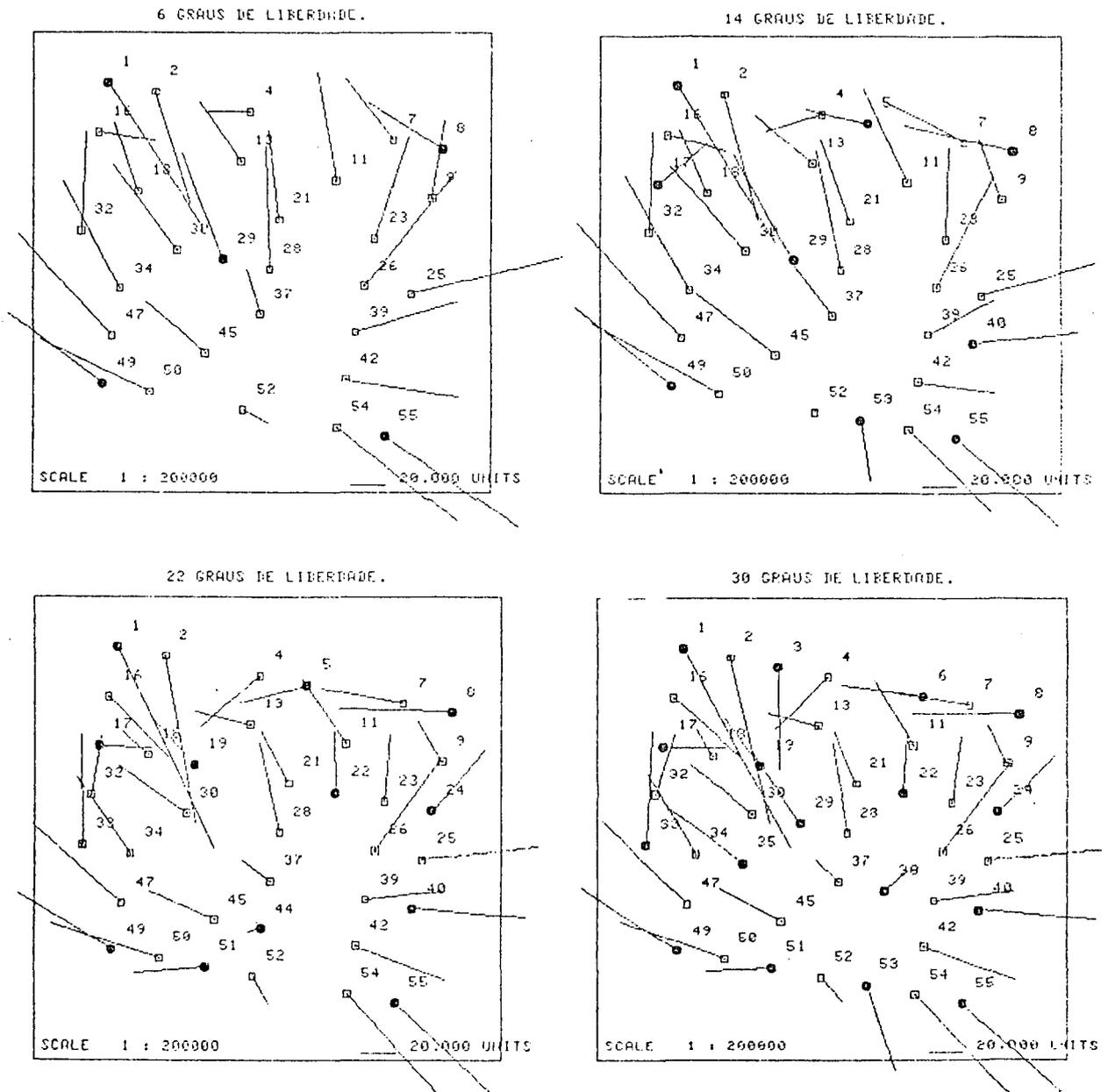
- a) análise gráfica;

Para 6, 14, 22 e 30 graus de liberdade ($GL = n^{\circ}$ de equações — n° de parâmetros a determinar) são apresentados os VE nas figuras 26, 27, 28 e 29, respectivamente, para as transformações de similaridade, a fim, 2^o e 3^o graus, onde pode-se observar que para cada modelo testado não há mudança significativa, tanto no comportamento, quanto no módulo dos VE, em função do aumento do número de PA. Entretanto, é importante salientar que durante a realização de testes preliminares, observou-se que ao se reduzir para menos de 4 graus de liberdade para a transformação polinomial do 3^o grau, os VE apresentaram um comportamento sistematicamente tendencioso, assim como um valor absurdo para o módulo destes, nos PC, caracterizando, dessa forma, um mau condicionamento no sistema de equações normais (*ver exemplo nas figs. 30 e 31*). Isto vem de encontro à afirmativa de *Bahr* /3/, onde esse autor aconselha a utilização de cerca de o dobro de PA que parâmetros incógnitos, quando da aplicação de um modelo matemático simples. Por outro lado, para o tamanho da área de teste pesquisada (25x25 km), demonstrou-se que a partir de 6 graus de liberdade (12 PA para o polinômio do 3^o grau) já se contorna o mal condicionamento (fato semelhante ocorre para o 2^o grau).

Para as transformações de similaridade, a fim, 2^o e 3^o graus, são apresentados os VE nas figuras 32, 33, 34 e 35, respectivamente, para 6, 14, 22 e 30 graus de liberdade; pode-se

FIGURA 26 – Comportamento dos VE para a transformação de similaridade com 6, 14, 22 e 30 graus de liberdade relativo à Baía de Guaratuba – imagem de satélite

TRANSFORMAÇÃO DE SIMILARIDADE.

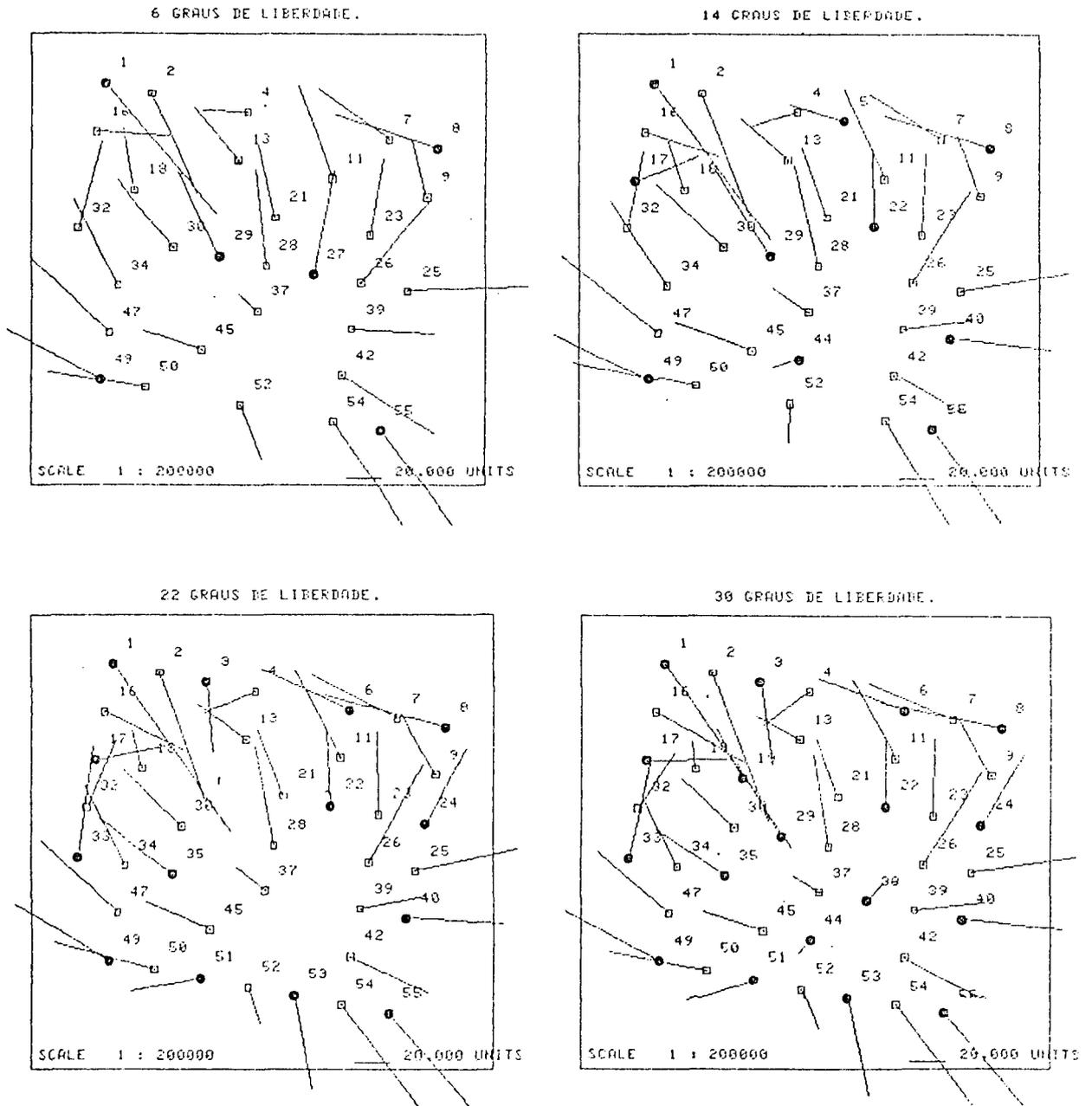


BAÍA DE GUARATUBA.

● Pontos de Apoio

FIGURA 27 — Comportamento dos VE para a transformação afim com 6, 14, 22 e 30 graus de liberdade relativo à Baía de Guaratuba — imagem de satélite

TRANSFORMAÇÃO AFIM.



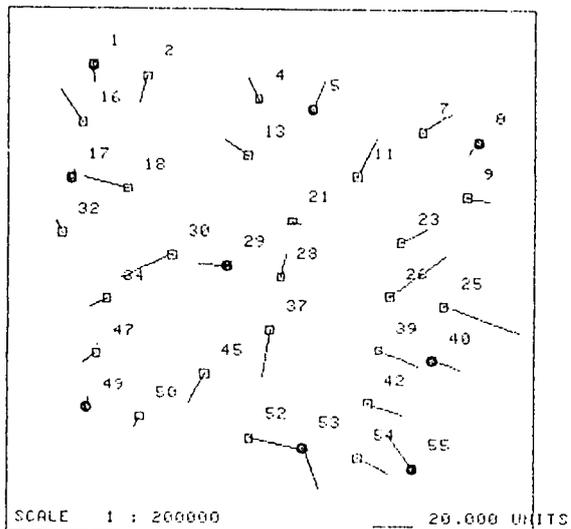
BAÍA DE GUARATUBA.

● Pontos de Apoio

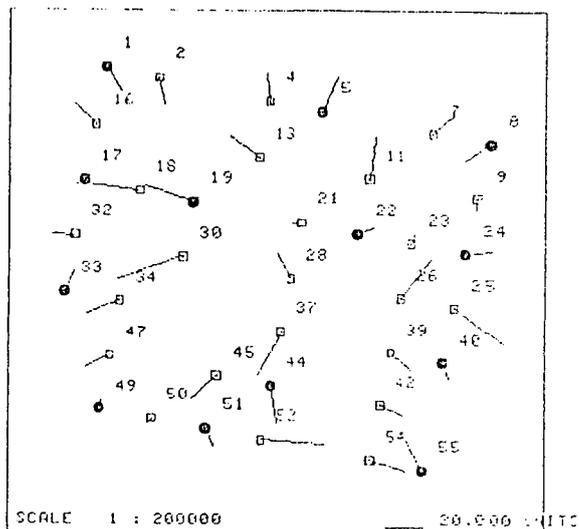
FIGURA 28 — Comportamento dos VE para a transformação polinomial do 2º grau com 6, 14, 22 e 30 graus de liberdade relativo à Baía de Guaratuba — imagem de satélite

POLINÔMIO DO 2 GRAU.

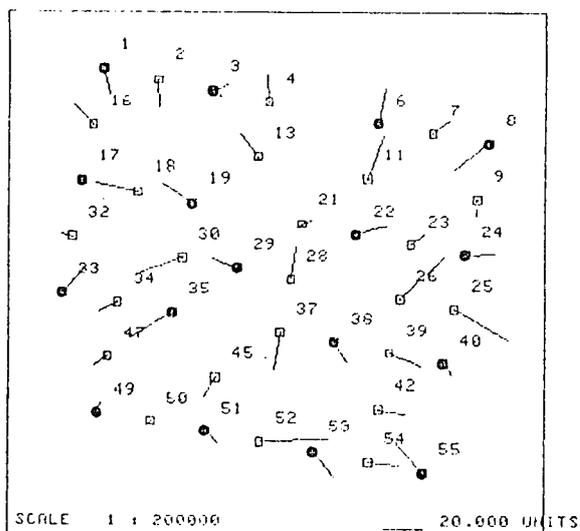
6 GRAUS DE LIBERDADE.



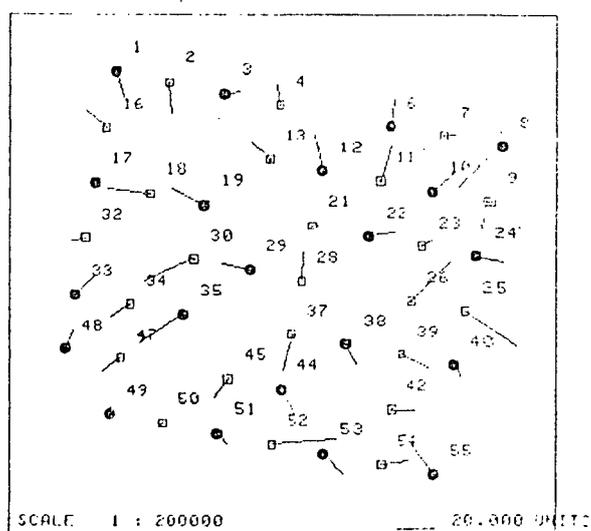
14 GRAUS DE LIBERDADE.



22 GRAUS DE LIBERDADE.



30 GRAUS DE LIBERDADE.



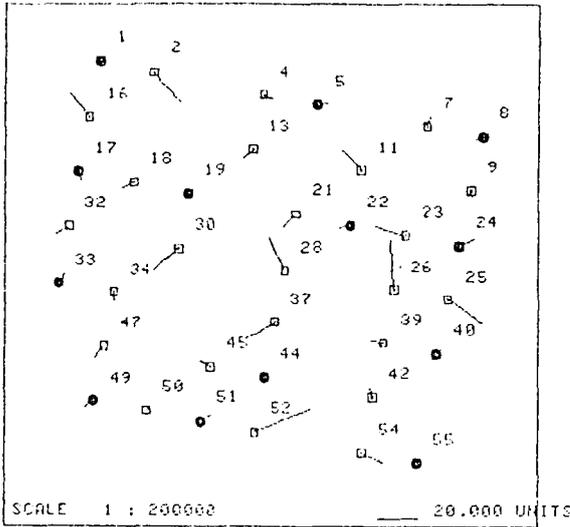
BAÍA DE GUARATUBA.

- Pontos de Apoio

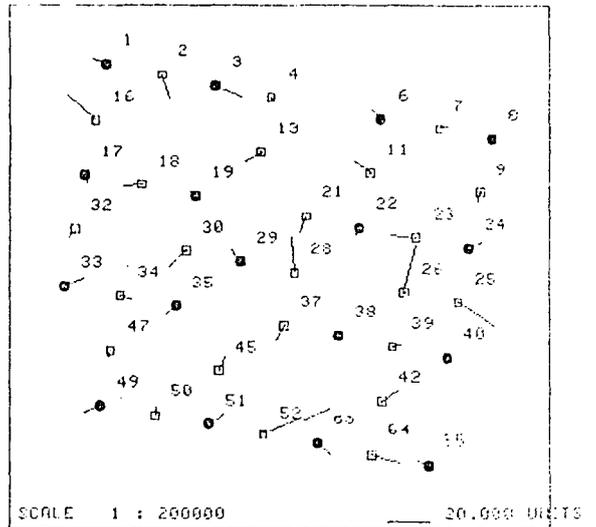
FIGURA 29 – Comportamento dos VE para a transformação do 3º grau com 6, 14, 22 e 30 graus de liberdade relativo à Baía de Guaratuba – imagem de satélite

POLINÔMIO DO 3 GRAU.

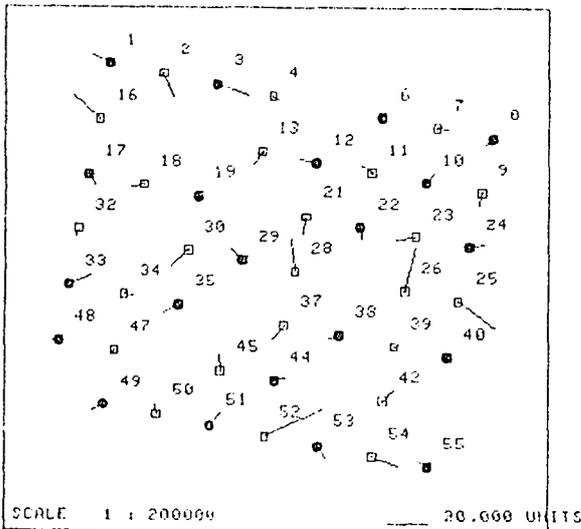
6 GRAUS DE LIBERDADE.



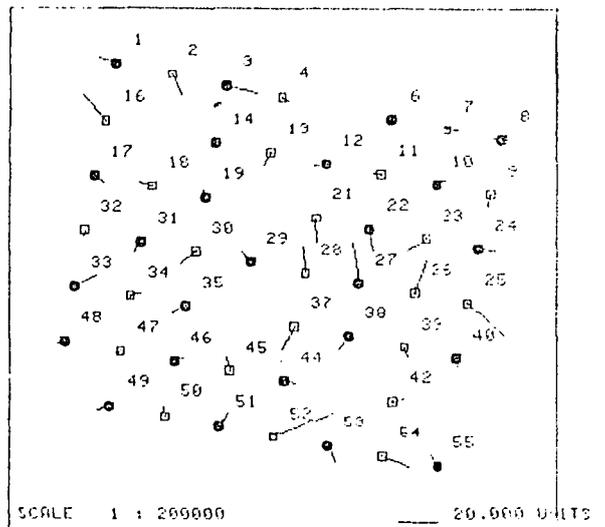
14 GRAUS DE LIBERDADE.



22 GRAUS DE LIBERDADE.



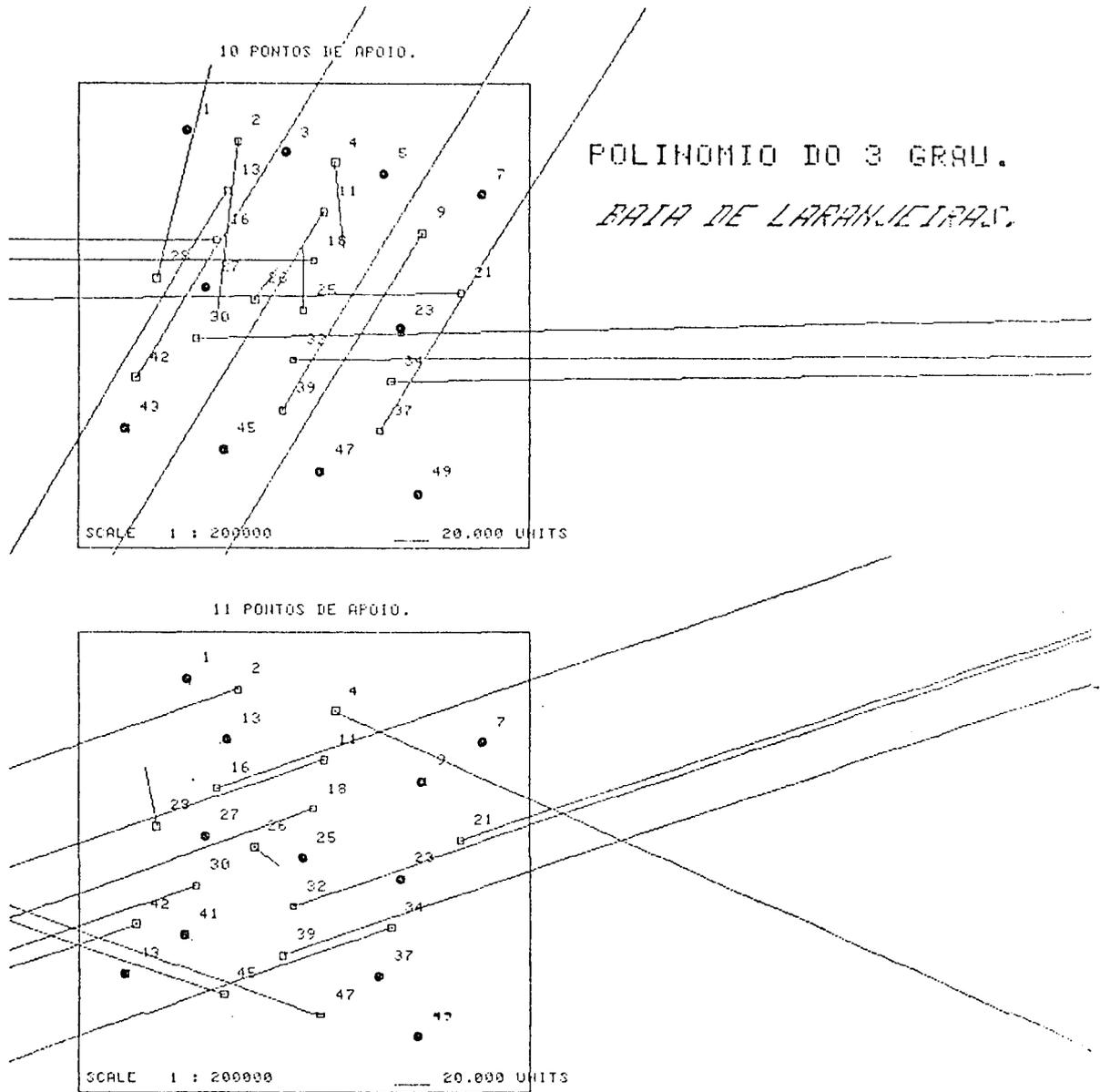
30 GRAUS DE LIBERDADE.



BAÍA DE GUARATUBA.

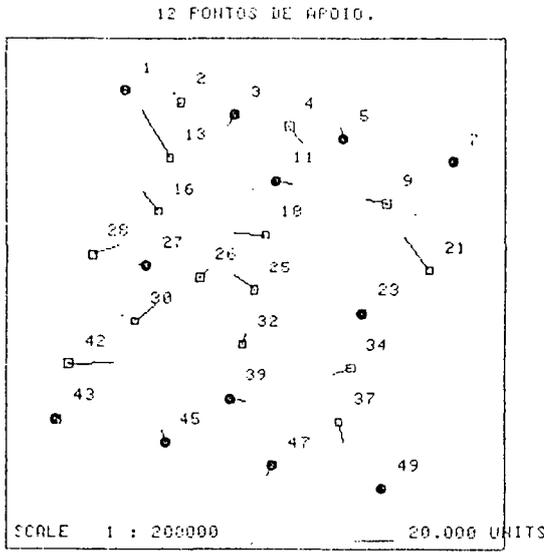
● Pontos de Apoio

FIGURA 30 – Comportamento sistematicamente tendencioso e módulo absurdo para os VE nos PC (testes preliminares)

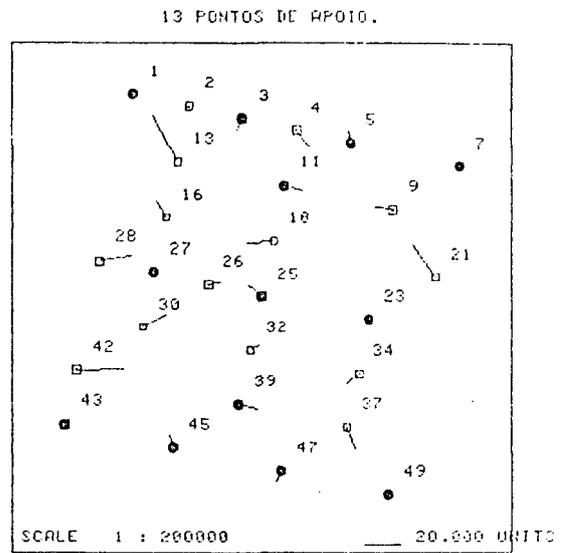


● Pontos de Apoio

FIGURA 31 – Exemplo ilustrando que a partir de 12 PA já se elimina o mau condicionamento no sistema de equações normais para o polinômio do 3º grau (testes preliminares)



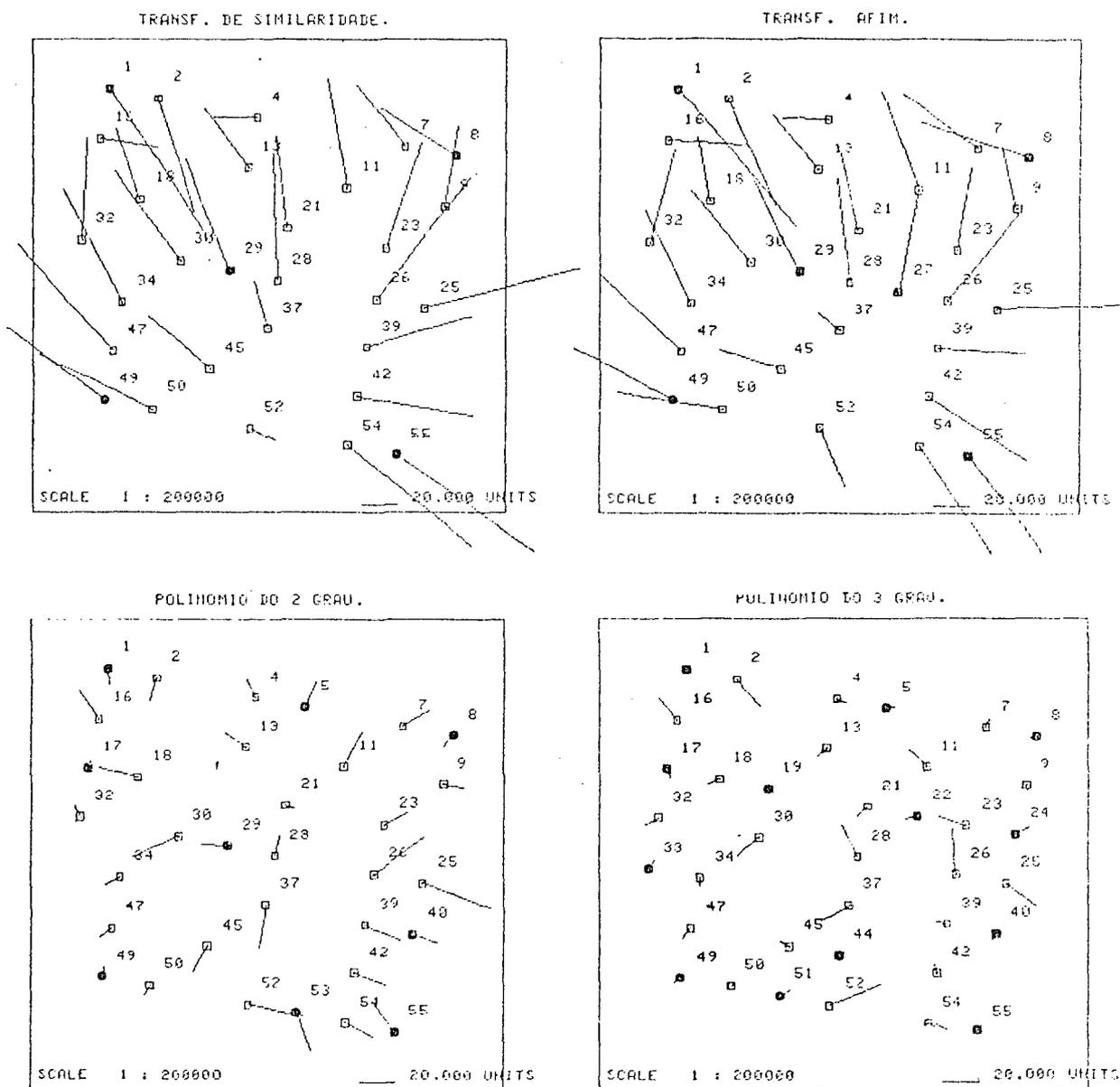
POLINOMIO DO 3 GRAU.
BACIA DE LARANJEIRAS.



● Pontos de Apoio

FIGURA 32 — Comportamento dos VE para os diferentes modelos em se tratando de 6 graus de liberdade relativo à Baía de Guaratuba — imagem de satélite

6 GRAUS DE LIBERDADE.

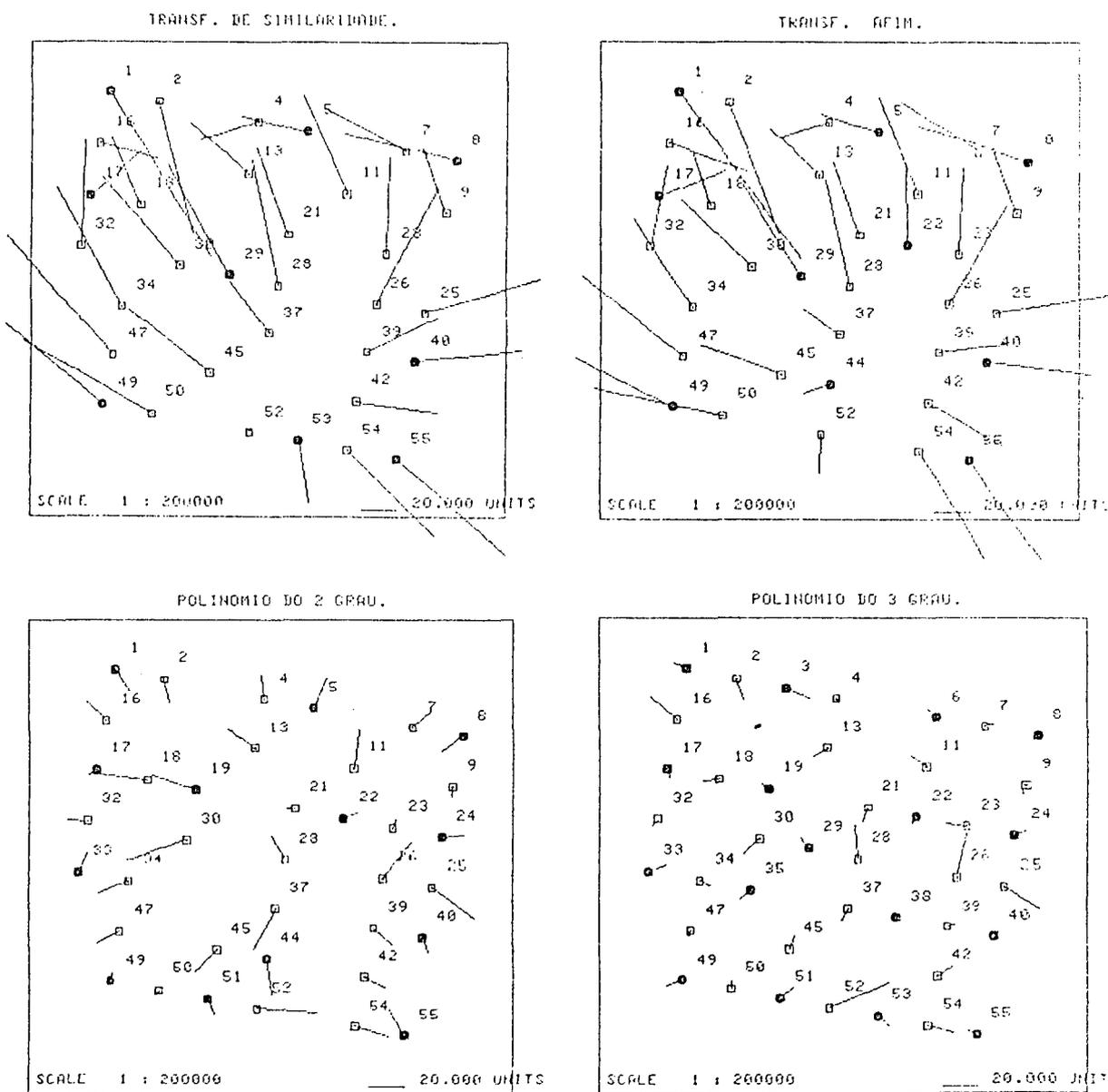


BAIA DE GUARATUBA.

● Pontos de Apoio

FIGURA 33 – Comportamento dos VE para os diferentes modelos em se tratando de 14 graus de liberdade relativo à Baía de Guaratuba – imagem de satélite

14 GRAUS DE LIBERDADE.

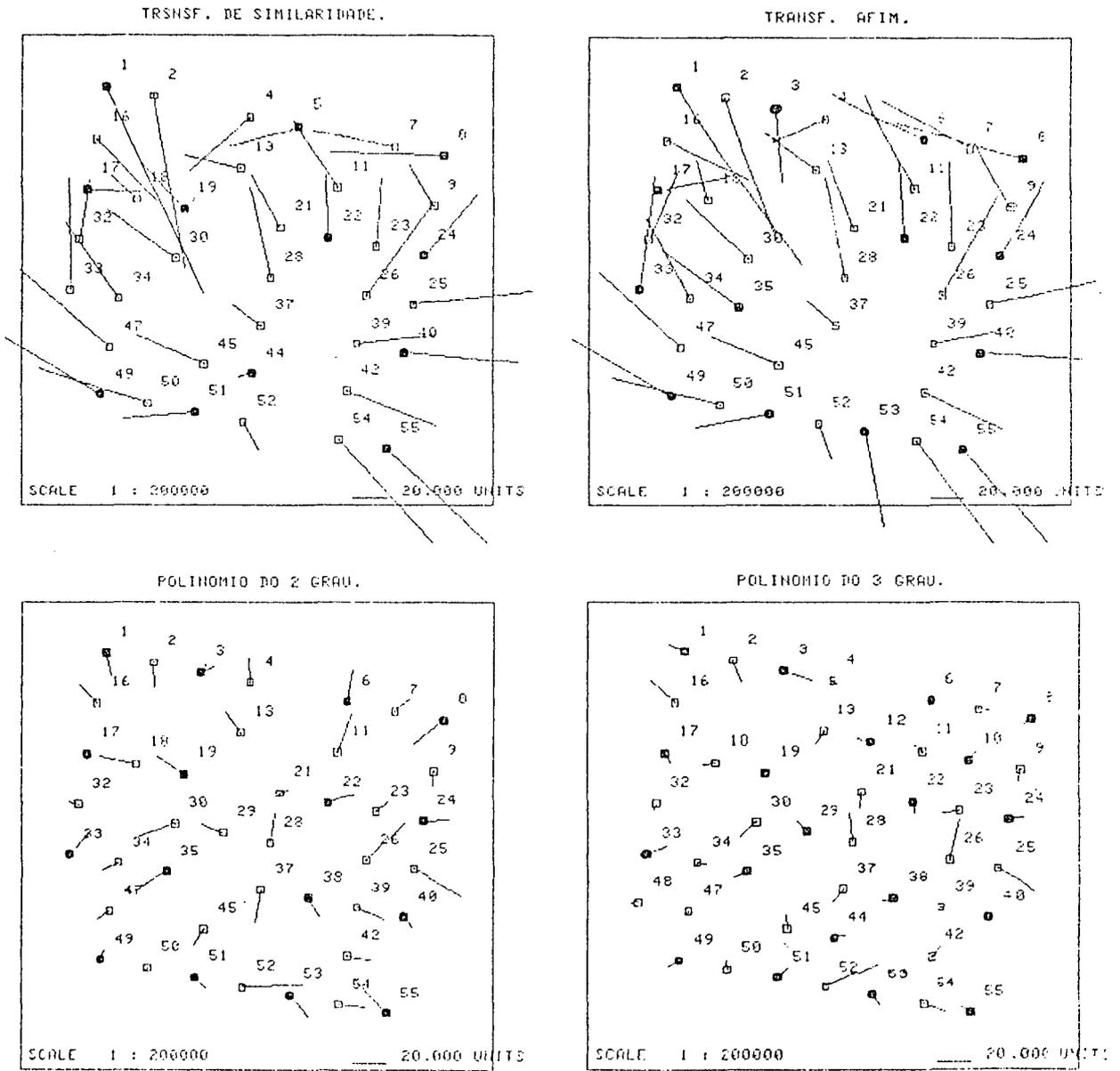


BAIA DE GUARATUBA.

● Pontos de Apoio

FIGURA 34 – Comportamento dos VE para os diferentes modelos em se tratando de 22 graus de liberdade relativo à Baía de Guaratuba – imagem de satélite

22 GRAUS DE LIBERDADE.

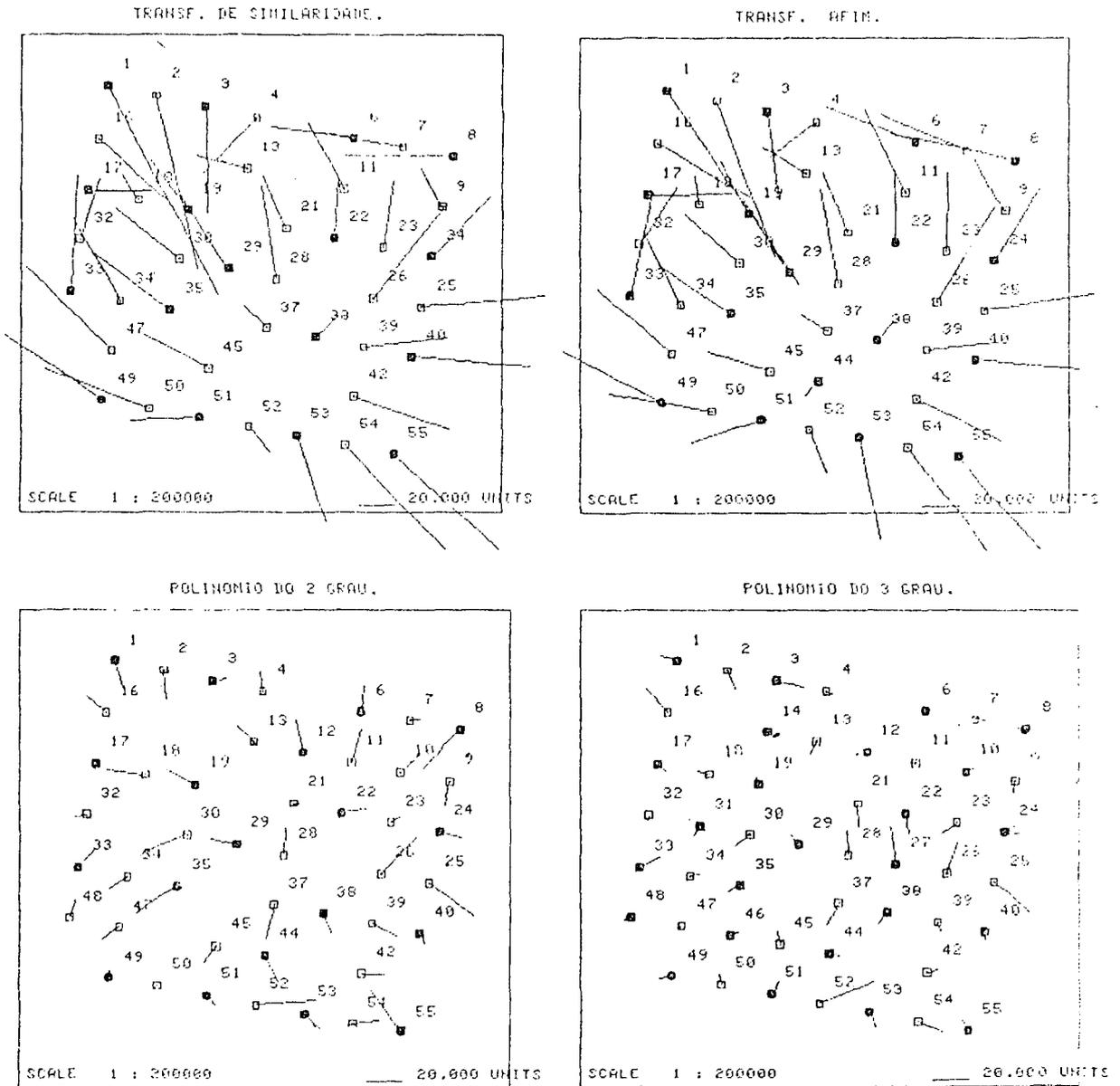


BAIA DE GUARATUBA.

● Pontos de Apoio

FIGURA 35 – Comportamento dos VE para os diferentes modelos em se tratando de 30 graus de liberdade relativo à Baía de Guaratuba – imagem de satélite

30 GRAUS DE LIBERDADE.



BAIA DE GUARATUBA.

● Pontos de Apoio

observar que da confrontação dos modelos, os VE apresentaram um módulo significativamente menor para os polinômios do 2º e 3º graus, embora para este último o comportamento dos VE se apresente mais aleatório.

A partir da análise gráfica, ficou comprovado que os polinômios do 2º e 3º graus apresentaram melhor performance, sendo que para o 3º o resultado é melhor. Para as outras duas transformações os resultados foram insatisfatórios.

b) análise de variância

Considerando-se que a sistemática de cálculos para o delineamento estatístico de blocos ao acaso é muito simples e se encontra, detalhadamente, descrita em *Marques /8/* e *Gomes /11/*, restringiu-se este trabalho somente à apresentação dos resultados que são indicados na tabela 6, obtidos das tabelas 4 e 5.

Com 95% de probabilidade, o valor tabelado para a estatística F com 1 e 3 graus de liberdade é de 10,13. Logo, o valor obtido 15,4 é estatisticamente significativo, com $0,96 < \mu_1 - \mu_2 < 9,10$ que é o intervalo de confiança para a diferença entre as médias populacionais (μ_1 e μ_2), ou seja, rejeita-se a $H_0 : \mu_1 = \mu_2$, o que vem a confirmar a conclusão obtida da análise gráfica em favor da transformação do 3º grau.

Para as linhas, o valor total tabelado para F com 3 e 3 graus de liberdade com 95% de probabilidade é de 9,28. Como este valor é bem superior ao valor calculado 1,04, aceita-se a $H_0 : \mu_1 = \mu_2$, ou seja, não há diferença estatisticamente significativa entre os EMQ obtidos dos PC e os S obtidos do ajustamento por meio dos PA.

c) análise demonstrativa

Para os níveis de tolerâncias adotados, ou seja, 10, 20, 30 e 40 m, respectivamente, para as escalas de 1:50 000, 1:100 000, 1:150 000 e 1:200 000, calculou-se as freqüências acumuladas que são indicadas na tabela-7, obtidas da tabela-4. Daí, conclui-se que a precisão alcançada tem como limite a escala de 1:100 000 e só para o polinômio do 3º grau, entretanto, para escalas menores ou iguais a 1:150 000 o polinômio do 2º grau é equivalente ao do 3º grau (90% dos pontos testados caem dentro do intervalo).

TABELA 4 – Lista dos resíduos, resíduos resultantes e os desvios padrão para os PA, além dos erros, erros resultantes e os erros médios quadráticos para os PC, em unidades de metros, relativo à Baía de Guaratuba – imagem de satélite

POLINÔMIO DO 2 GRAU COM 13 PTS. DE APOIO

P.A.	UX	UY	R
1	8.4	-12.3	14.9
5	7.2	17.0	18.5
8	-12.3	-8.9	15.2
17	-4.6	-2.0	5.0
19	-24.3	7.9	25.5
22	7.3	2.6	7.8
24	12.0	1.4	12.1
33	4.5	10.1	11.1
40	3.1	-8.0	8.5
44	3.0	-19.4	19.6
49	.5	4.1	4.1
51	3.6	-8.5	9.2
55	-8.6	15.7	17.9
DP	13.1	14.5	19.6

P.C.	EX	EY	R
2	2.7	-13.6	13.9
4	-2.0	14.0	14.1
7	9.7	9.0	13.2
9	-.2	-5.4	5.4
11	2.5	21.3	21.4
13	-15.0	10.4	18.3
16	-10.8	9.9	14.7
18	-28.3	3.1	28.4
21	-4.2	.1	4.2
23	1.3	5.1	5.2
25	23.7	-16.9	29.2
26	15.9	19.6	25.2
28	-7.2	18.9	14.8
30	-33.9	-11.3	35.7
32	-11.7	.4	11.9
34	-16.0	-6.7	19.1
37	-12.1	-22.0	25.1
39	10.9	-9.3	14.3
42	12.3	-5.3	13.4
45	-12.4	-12.5	17.5
47	-12.7	-6.6	14.3
50	-2.6	-2.7	3.7
52	-33.7	-2.5	33.8
54	19.3	-5.5	20.0
EMQ	15.8	11.3	19.4

POLINÔMIO DO 3 GRAU COM 17 PTS. DE APOIO

P.A.	UX	UY	R
1	-7.1	3.3	7.8
3	13.1	-5.0	14.0
6	-4.4	4.2	6.1
8	-1.9	-2.1	2.0
17	.9	-4.7	4.8
19	-3.6	2.5	4.3
22	-1.2	-4.1	4.3
24	6.5	2.8	7.1
29	-4.7	6.0	7.7
33	9.3	3.8	10.0
35	-4.8	-5.0	6.9
38	-2.9	-.3	2.9
40	1.1	-1.9	2.2
49	-8.4	-3.0	8.9
51	7.3	6.3	9.6
53	5.8	-5.3	7.9
55	-5.1	2.4	5.6
DP	9.5	6.2	11.3

P.C.	EX	EY	R
2	4.1	-11.8	12.5
4	.5	-1.6	1.7
7	5.2	1.5	5.4
9	-1.3	-4.6	4.8
11	-7.6	6.6	10.1
13	-7.9	-4.5	9.1
16	-14.2	12.4	18.8
18	-8.4	-.8	8.4
21	-2.7	-7.4	7.9
23	-11.2	1.1	11.3
25	18.7	-12.3	22.4
26	5.4	23.5	24.1
28	-1.3	17.4	17.4
30	-8.4	-8.0	11.6
32	-2.9	-3.8	4.8
34	5.5	-2.3	6.0
37	-3.7	-6.9	7.9
39	3.8	1.0	3.9
42	3.6	5.5	9.4
45	2.9	6.9	7.5
47	-.7	-3.3	3.4
50	-.0	4.6	4.6
52	33.1	13.2	35.6
54	13.7	-4.3	14.4
EMQ	10.1	8.8	13.4

TABELA 5 – Configuração das linhas e colunas utilizadas no delineamento estatístico, em unidades de metros, relativo a Baía de Guaratuba – imagem de satélite

	MODELOS	
	2º [m]	3º [m]
S _x	13,1	9,5
S _y	14,5	6,2
EMQ _x	15,8	10,1
EMQ _y	11,3	8,8

TABELA 6 – Resultados para o delineamento estatístico relativo a Baía de Guaratuba – imagem de satélite

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F
Diferença entre linhas	3	10,22	3,41	1,04 n.s
Diferença entre colunas	1	50,50	50,50	15,4 *
Resíduos	3	9,80	3,27	

* Significativo com 95% de probabilidade

TABELA 7 – Frequências acumuladas relativas a Baía de Guaratuba – imagem de satélite

Níveis de tolerância [m]	Número de pontos		Porcentagem para os modelos		Porcentagem acumulada	
	2º	3º	2º	3º	2º	3º
0 – 10	9	29	24,3	70,7	24,3	70,7
10 – 20	19	9	51,4	22,0	75,7	92,7
20 – 30	7	2	18,9	4,9	94,6	97,6
30 – 40	2	1	5,4	2,4	100,0	100,0
Total	37	41	100	100		

3.1.1.2 Experimento-2 (Baía de Laranjeiras)

a) análise gráfica

Para 6, 14, 22, 30 e GL, são apresentados os VE nas figuras 36, 37, 38 e 39, respectivamente, para as transformações de similaridade, afim, 2^o e 3^o graus, onde pode-se observar que para cada modelo testado não há melhora significativa com o aumento do número de PA.

Para os modelos de transformação, são apresentados os VE nas figuras 40 e 41, respectivamente, para 6 e 14 graus de liberdade; pode-se observar que também para esta área de teste os polinômios do 2^o e 3^o graus continuam caracterizando-se por uma melhor performance, e para o 3^o grau fica evidente, mais uma vez, a aleatoriedade no comportamento dos VE.

b) análise de variância

Na tabela-10, são indicados os resultados para o delineamento estatístico, obtidos das tabelas 8 e 9.

Com 95% de probabilidade o valor tabelado $F(1,3) = 10,13$. Como o valor calculado é 10,13, rejeita-se $H_0 : \mu_1 = \mu_2$, com um intervalo de confiança de $0,0 < \mu_1 - \mu_2 < 17,00$ concluindo como no experimento anterior que o polinômio do 3^o é melhor. Para as linhas aceita-se a hipótese nula.

c) análise demonstrativa

Na tabela-11, são indicadas para diferentes níveis de tolerância as freqüências acumuladas, que se extraiu da tabela-8, que como se pode verificar, chega às mesmas conclusões que foram obtidas no experimento-1, ou seja, o polinômio do 2^o grau é suficiente para a confecção de originais em escalas $\leq 1:150\ 000$. Para a escala de 1:100 000, torna-se necessário o polinômio do 3^o grau, sendo que a partir desta escala não foi alcançada maior precisão.

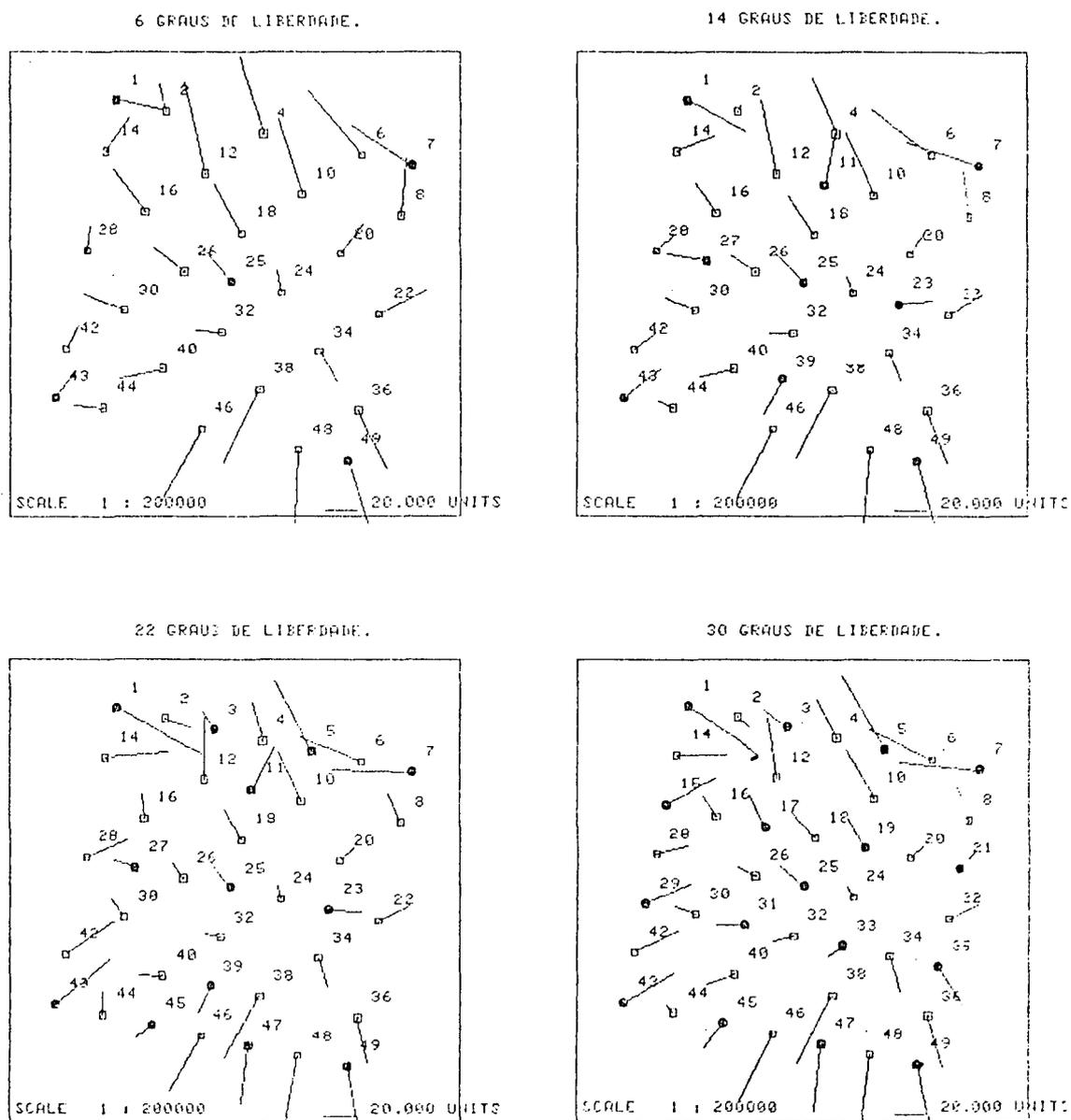
3.1.2 Grupo-2 (produto fonte carta topográfica)

3.1.2.1 Experimento-1 (Baía de Guaratuba) —

Da análise do grupo-1, chegou-se a conclusão de que não há melhora na performance para os modelos ao se aumentar o número de PA, que as transformações de similaridade e afim não se apresentaram adequadas e que os S são bons estimadores das EMQ; dessa forma, para este grupo, restringiu-se a análise, somente aos polinômios do 2^o e 3^o graus.

FIGURA 36 — Comportamento dos VE para a transformação de similaridade com 6, 14, 22 e 30 graus de liberdade relativo à Baía de Laranjeiras — imagem de satélite

TRANSFORMAÇÃO DE SIMILARIDADE.

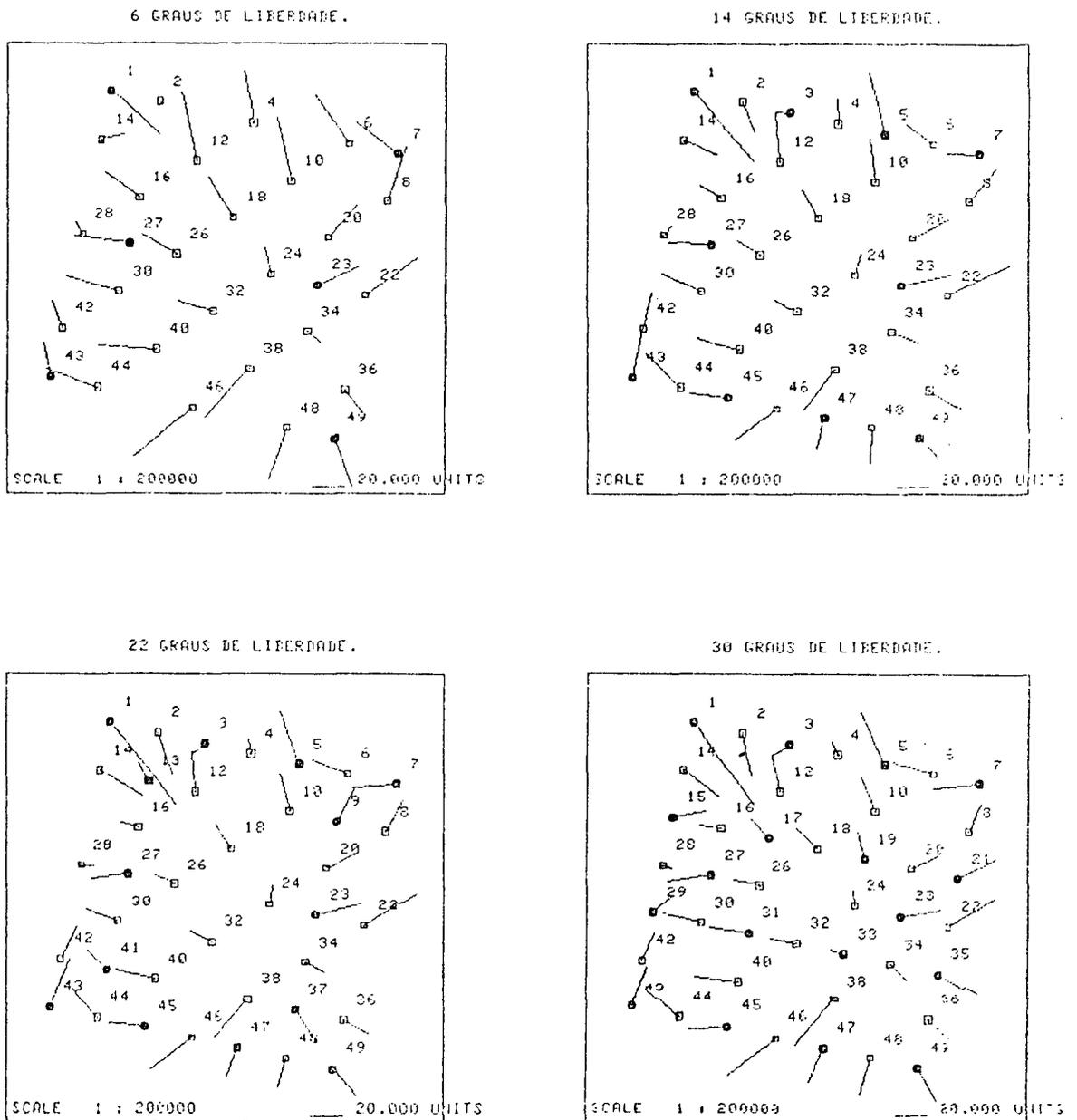


BAÍA DE LARANJEIRAS.

● Pontos de Apoio

FIGURA 37 – Comportamento dos VE para a transformação afim com 6, 14, 22 e 30 graus de liberdade relativo à Baía de Laranjeiras – imagem de satélite

TRANSFORMAÇÃO AFIM.



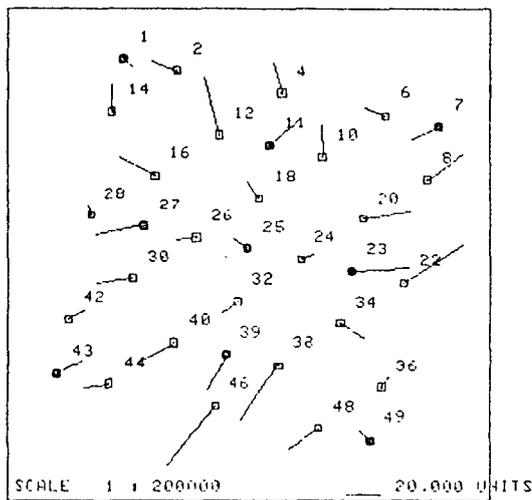
BAÍA DE LARANJEIRAS.

- Pontos de Apoio

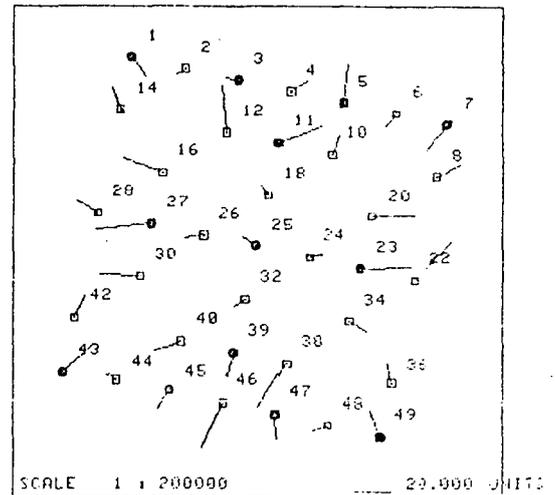
FIGURA 38 – Comportamento dos VE para a transformação polinomial do 2^o grau com 6, 14, 22 e 30 graus de liberdade relativo à Baía de Laranjeiras – imagem de satélite

POLINÔMIO DO 2 GRAU.

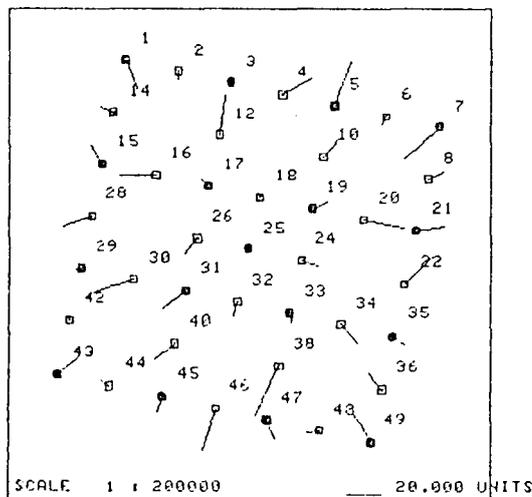
6 GRAUS DE LIBERDADE.



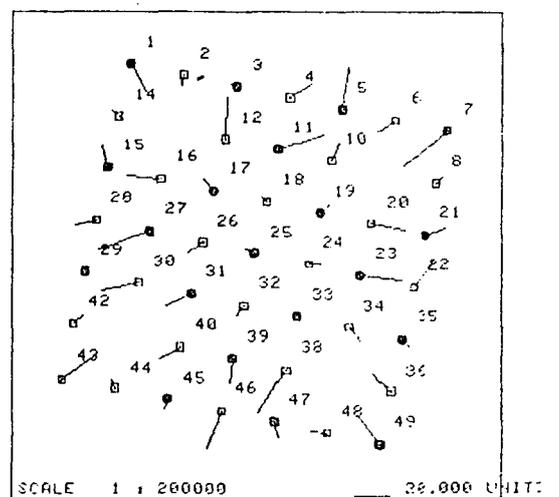
14 GRAUS DE LIBERDADE.



22 GRAUS DE LIBERDADE.



30 GRAUS DE LIBERDADE.

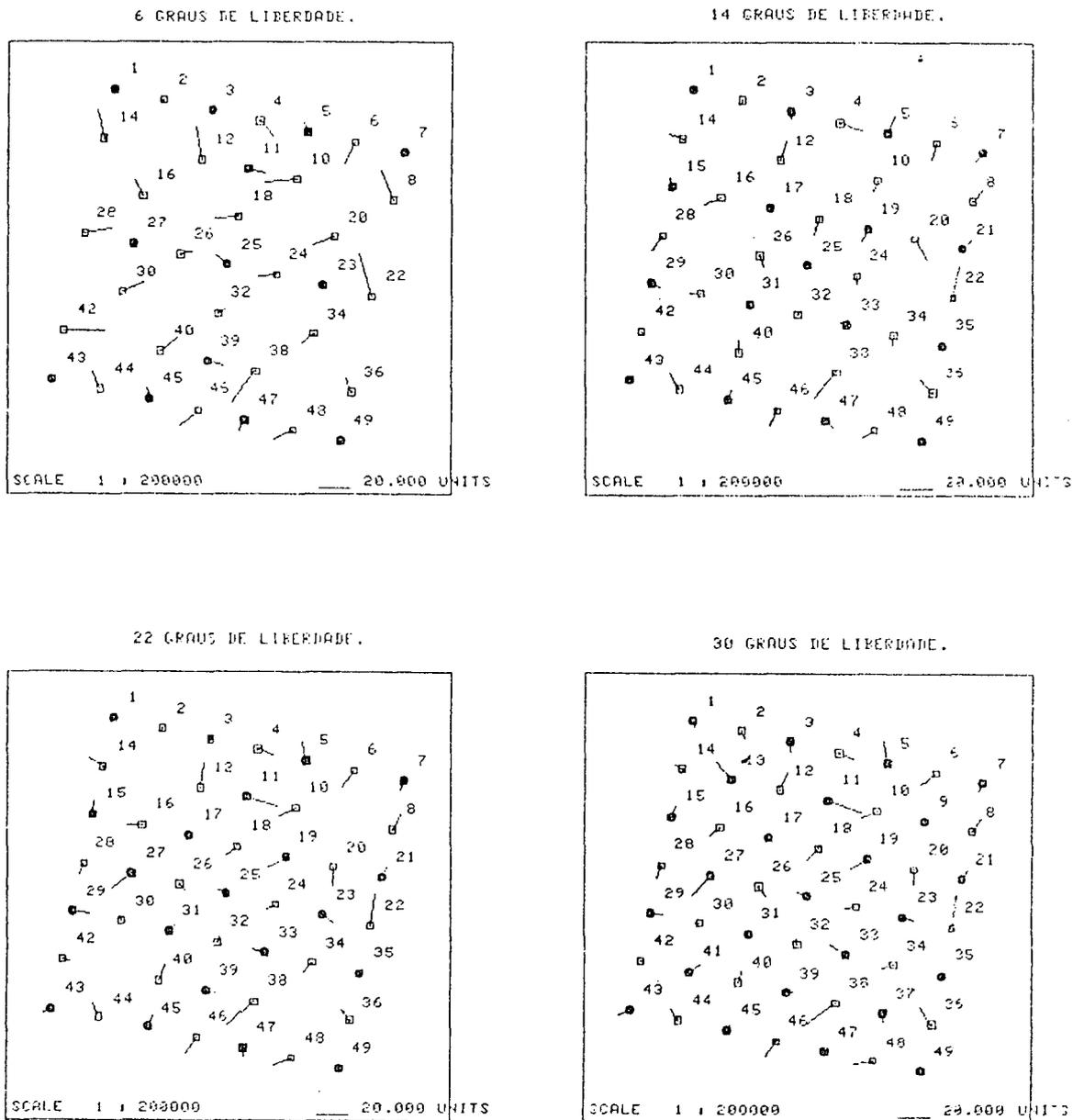


BAÍA DE LARANJEIRAS.

● Pontos de Apoio

FIGURA 39 – Comportamento dos VE para a transformação polinomial do 3º grau com 6, 14, 22 e 30 graus de liberdade relativo à Baía de Laranjeiras – imagem de satélite

POLINÔMIO DO 3 GRAU.

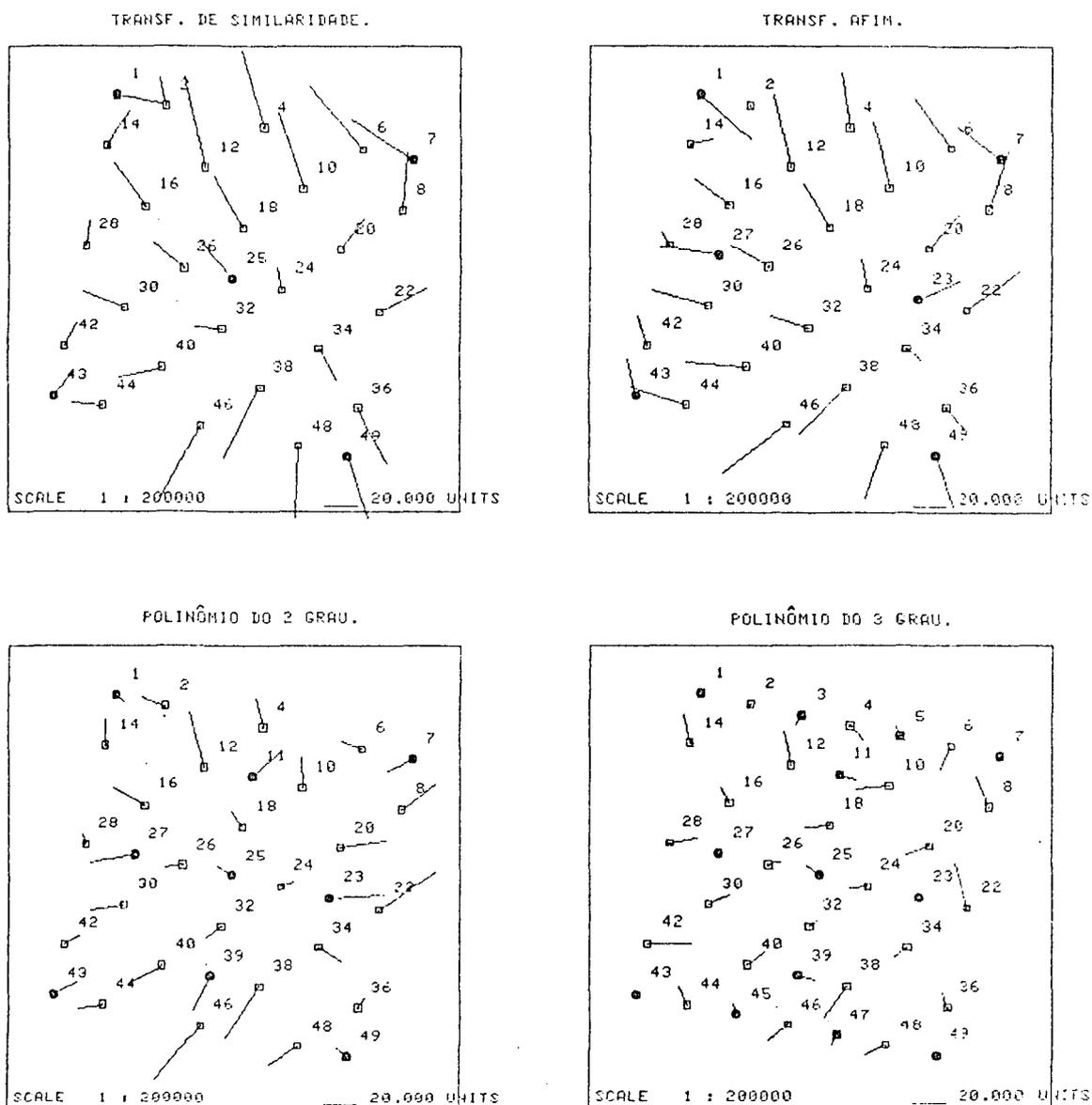


BAÍA DE LARANJEIRAS.

● Pontos de Apoio

FIGURA 40 – Comportamento dos VE para os diferentes modelos em se tratando de 6 graus de liberdade relativo à Baía de Laranjeiras – imagem de satélite

6 GRAUS DE LIBERDADE.

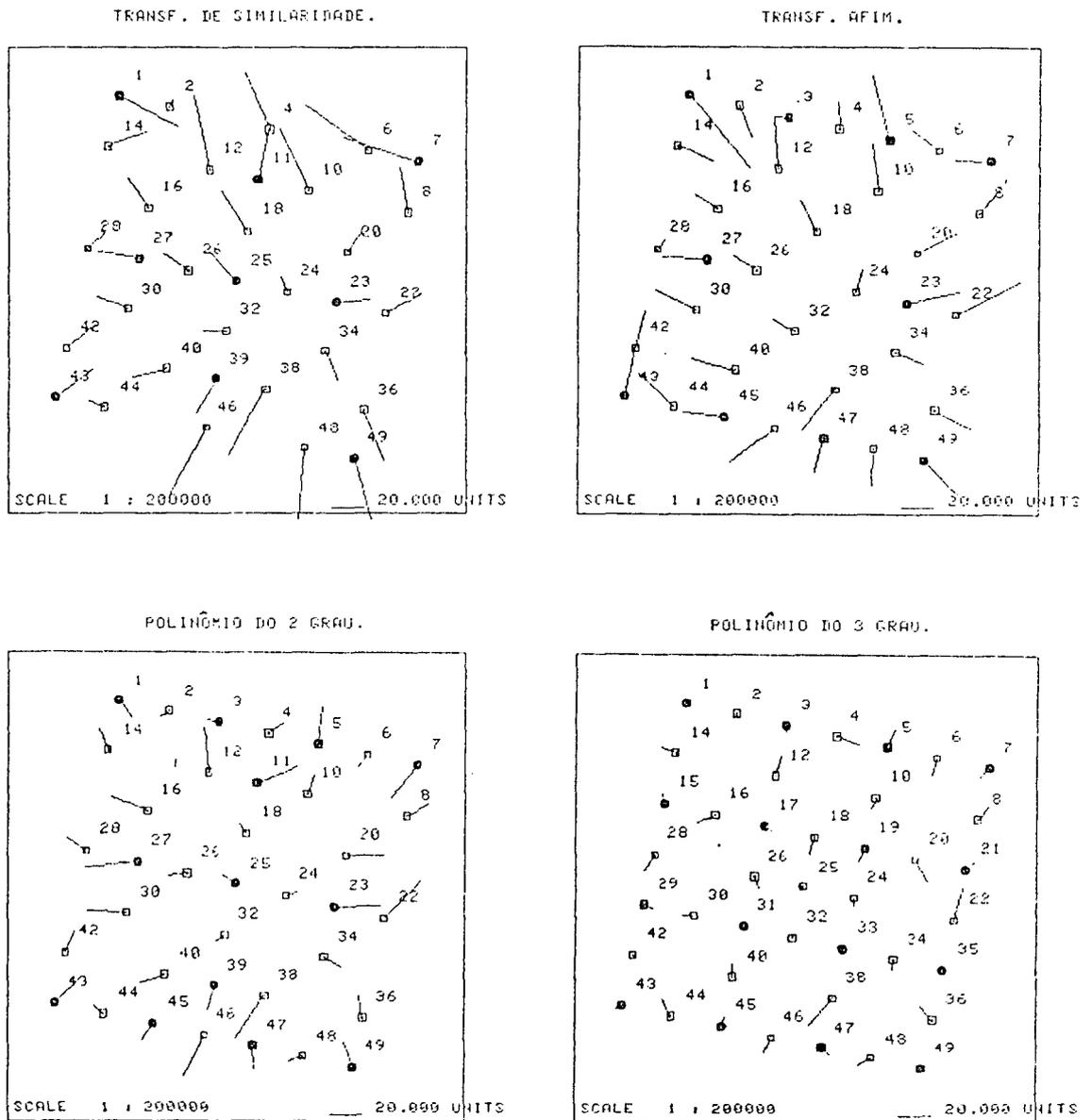


BAÍA DE LARANJEIRAS.

● Pontos de Apoio

FIGURA 41 — Comportamento dos VE para os diferentes modelos em se tratando de 14 graus de liberdade relativo à Baía de Laranjeiras — imagem de satélite

14 GRAUS DE LIBERDADE.



BAÍA DE LARANJEIRAS.

● Pontos de Apoio

TABELA 8 — Lista dos resíduos, resíduos resultantes e os desvios padrão para os PA, além dos erros, erros resultantes e os erros médios quadráticos para os PC, em unidades de metros, relativo à Baía de Laranjeiras — imagem de satélite

POLINÔMIO DO 2 GRAU COM 13 PTOS DE APOIO

P.A.	UX	UY	R
1	6.9	-10.9	12.9
3	-7.3	1.8	7.5
5	2.7	21.2	21.3
7	-15.6	-18.8	24.4
11	22.9	9.2	24.7
23	27.3	1.0	27.3
25	-7.6	5.5	9.4
27	-30.2	-3.6	30.4
39	-4.0	-14.5	15.0
43	16.3	15.4	22.4
45	-6.7	-8.6	10.9
47	.3	-13.0	13.0
49	-5.2	15.3	16.1
DP	20.5	16.8	26.5

P.C.	EX	EY	R
2	-4.9	-3.4	5.9
4	8.5	6.0	10.4
6	-5.6	-7.0	9.0
8	13.0	6.9	14.8
10	4.4	11.3	12.1
12	-2.5	25.7	25.9
14	-5.2	12.3	13.3
16	-21.3	8.6	22.9
18	-4.0	5.4	6.7
20	22.8	0	22.8
22	20.8	21.1	29.6
24	6.8	2.3	7.2
26	-10.5	-1.5	10.6
28	-11.4	7.5	13.6
30	-22.4	1.2	22.4
32	-6.2	-3.6	7.2
34	9.4	-5.0	10.6
36	-1.9	12.9	13.0
38	-15.7	-25.3	29.7
40	-14.6	-5.1	15.4
42	5.1	11.6	12.7
44	-5.9	5.3	7.9
46	-12.2	-24.3	27.2
48	-8.2	-2.2	8.5
EMQ	11.9	11.7	16.8

POLINÔMIO DO 3 GRAU COM 17 PTOS DE APOIO

P.A.	UX	UY	R
1	-1.8	-1.2	1.5
3	.3	-4.0	4.0
5	4.6	10.4	11.4
7	-4.3	-5.2	6.8
15	-1.5	5.9	6.0
17	.6	-3.1	3.1
19	-3.3	-8.2	8.8
21	6.0	5.3	8.0
25	-3.2	.1	3.2
29	5.5	-2.5	6.1
31	-1.5	1.2	1.3
33	-3.5	1.8	3.9
35	.3	-1.5	.6
43	-3.4	-2.1	4.0
45	1.4	5.8	5.9
47	4.0	-4.1	5.7
49	-2.2	.4	2.2
DP	5.0	7.2	8.8

P.C.	EX	EY	R
2	-1.1	-1.6	1.6
4	13.6	-4.8	14.4
6	-3.2	-10.5	11.0
8	6.2	7.4	9.5
10	-2.3	-6.5	6.9
12	4.1	11.1	11.8
14	-8.4	3.3	9.0
16	-10.4	-4.2	11.3
18	-2.9	-2.1	2.6
20	7.2	-12.2	14.2
22	4.9	17.9	18.6
24	.5	-4.6	4.6
26	2.3	-6.6	7.0
28	-6.3	-2.3	11.2
30	-6.8	.4	6.8
32	1.8	1.6	2.5
34	-1.6	-5.5	5.5
36	-6.5	8.4	10.6
38	-13.5	-15.9	20.8
40	.1	7.7	7.7
42	1.8	-1.5	2.3
44	-5.4	2.6	11.0
46	-4.5	-2.1	10.2
48	-2.7	-4.0	8.6
EMQ	6.3	8.4	10.5

TABELA 9 – Configuração das linhas e colunas utilizadas no delineamento estatístico, em unidades de metros, relativo a Baía de Laranjeiras – imagem de satélite

	MODELOS	
	2º [m]	3º [m]
S_x	20,5	5,0
S_y	16,8	7,2
EMQ_x	11,9	6,3
EMQ_y	11,7	8,4

TABELA 10 – Resultados para o delineamento estatístico relativo a Baía de Laranjeiras – imagem de satélite

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F
Diferença entre linhas	3	17,15	5,72	0,40 n.s.
Diferença entre colunas	1	144,51	144,51	10,13 *
Resíduos	3	42,82	14,27	

* Significativo com 95% de probabilidade

TABELA 11 – Frequências acumuladas relativas a Baía de Laranjeiras – imagem de satélite.

Níveis de tolerância [m]	Número de pontos		Porcentagem para os modelos		Porcentagem acumulada	
	2º	3º	2º	3º	2º	3º
0 – 10	9	29	24,3	70,7	24,3	70,7
10 – 20	15	11	40,5	26,8	64,8	97,5
20 – 30	12	1	32,4	2,4	97,2	99,9
30 – 40	1	0	2,7	0,0	99,9	99,9
Total	37	41	99,9	99,9		

a) análise gráfica

Para os polinômios do 2^o e 3^o graus, são apresentados os VE na figura-42 para 14 graus de liberdade. Como pode-se verificar para o 3^o grau, o comportamento dos VE é aleatório, assim como o seu valor em módulo é menor, constituindo-se, portanto, no modelo mais adequado.

b) análise de variância

Na tabela-14, são indicados os resultados para o delineamento, obtido das tabelas 12 e 13.

Com 95% de probabilidade rejeita-se $H_0 : \mu_1 = \mu_2$, com um intervalo de confiança de $2,82 < \mu_1 - \mu_2 < 16,34$.

c) análise demonstrativa

Para diferentes níveis de tolerância, são indicadas na tabela 15 as freqüências acumuladas, que se extraiu da tabela-12. Pode-se concluir que a escala limite é de 1:100 000, desde que utilizando-se o polinômio do 3^o grau e que para escalas menores ou iguais a 1:150 000 o polinômio do 2^o grau já é suficiente.

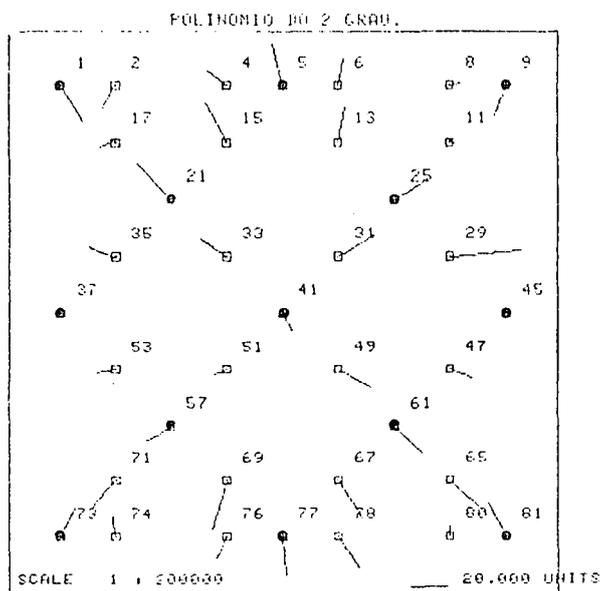
3.1.2.2 Experimento-2 (Baía de Laranjeiras) — A fim de tornar mais sucinta a discussão, limitou-se, para este experimento, a apresentação dos resultados que são indicados na figura-43 para análise gráfica, na tabela-18 para análise de variância obtida das tabelas 16 e 17 e na tabela-19 para análise demonstrativa, que como se pode verificar, conduzem a conclusões idênticas as obtidas no experimento 1 deste grupo.

3.2 ANÁLISE QUALITATIVA

Para proceder à análise qualitativa, escolheu-se a escala de 1:150 000 e reproduziu-se sobre uma mesma folha-base os correspondentes produtos de cada grupo, levando-se em consideração as conclusões da análise quantitativa.

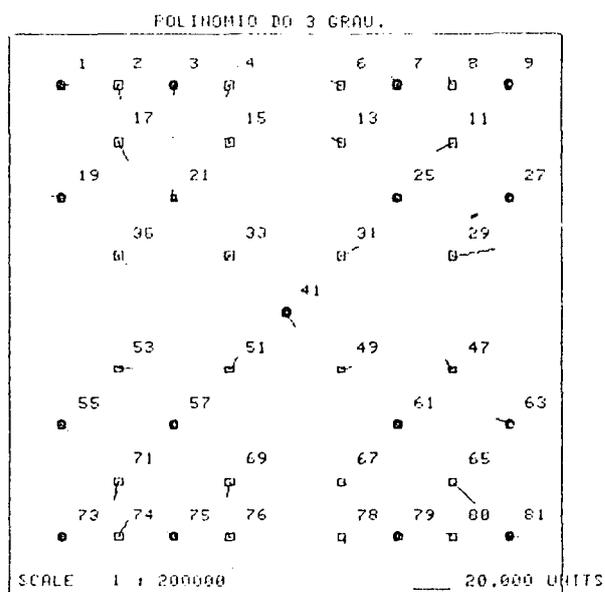
Nas figuras 44,45 são reproduzidos os dois produtos compilados (um a partir das saídas impressas e o outro a partir das cartas topográficas) respectivamente para a Baía de Guaratuba e Baía de Laranjeiras, que como se pode observar as diferenças foram bem acentuadas de um produto para outro, para qualquer das duas áreas de teste, sendo que tais diferenças

FIGURA 42 – Comportamento dos VE para os polinômios do 2º e 3º graus em se tratando de 14 graus de liberdade relativo à Baía de Guaratuba – carta impressa



14 GRAUS DE LIBERDADE.

BÁIA DE GUARATUBA.



● Pontos de Apoio

TABELA 12 — Lista dos resíduos, resíduos resultantes e os desvios padrão para os PA, além dos erros, erros resultantes e os erros médios quadráticos para os PC, em unidades de metros, relativo a Baía de Guaratuba — carta topográfica

PERÍMETRO DO 2 GRAU COM 13 PTOS DE ABOTO

P.A.	VX	VY	R
1	12.1	-19.4	22.8
5	-5.3	22.2	22.8
9	-6.1	-16.7	17.7
21	-19.1	19.1	27.0
25	17.0	10.5	20.0
37	-3.0	.7	3.1
41	5.2	-8.3	9.0
45	-.7	1.9	2.0
57	-14.3	-8.1	16.5
61	15.0	-14.2	20.7
73	7.3	14.7	16.4
77	1.7	-20.4	20.5
81	-9.8	18.1	20.6
DP	14.6	20.4	25.1

P.C.	EX	EY	R
2	-6.8	-11.7	13.5
4	-10.0	7.3	12.4
6	2.3	14.3	14.5
8	5.5	1.2	5.6
11	2.1	-.7	2.2
13	3.5	18.0	18.4
15	-11.5	19.8	22.9
17	-8.6	-2.3	8.9
29	37.7	2.9	37.8
31	19.6	11.3	22.6
33	-14.1	8.5	16.5
35	-14.7	4.8	15.5
47	11.1	-4.3	11.9
49	17.1	-18.3	28.0
51	-6.4	-2.9	7.0
53	-9.9	-2.0	10.1
65	20.1	-19.0	27.7
67	12.7	-20.2	23.9
69	-7.8	-26.2	27.3
71	-13.1	-14.9	19.8
74	-1.5	10.5	10.6
76	-6.1	-11.3	12.8
78	10.7	-17.1	20.2
80	1	5.5	5.5
EMQ	13.1	12.4	18.1

PERÍMETRO DO 3 GRAU COM 17 PTOS DE ABOTO

P.A.	VX	VY	R
1	3.7	1.0	3.8
3	-.1	-5.1	5.1
7	-8.4	4.1	5.3
9	.5	-1.1	1.2
19	-6.0	1.0	6.1
21	-1.0	4.4	4.5
25	1.3	1.6	2.0
27	2.8	-2.6	3.8
41	4.9	-6.9	8.5
55	2.9	-2.9	4.1
57	1.0	3.1	3.3
61	-.8	1.6	1.8
63	-6.7	3.0	7.3
73	.3	-.3	.4
75	-3.2	2.2	3.9
79	-.3	-2.7	2.7
81	4.2	-.5	4.2
DP	5.1	4.8	7.0

P.C.	EX	EY	R
2	1.2	-7.2	7.3
4	-1.6	-5.4	5.6
6	-4.9	2.0	5.3
8	-2.4	4.3	4.9
11	-9.5	-3.9	10.3
13	-4.9	2.0	5.3
15	-1.2	1.7	2.1
17	5.0	-9.2	10.5
29	22.0	3.2	22.2
31	9.2	5.3	10.6
33	-2.7	-1.2	2.9
35	4.3	-3.9	5.8
47	-4.1	5.5	6.8
49	5.8	1.6	6.0
51	3.5	5.7	6.7
53	8.0	-.5	8.0
65	11.2	-11.6	16.1
67	2.7	-.9	2.8
69	-1.1	-8.1	8.2
71	-1.8	-10.0	10.2
74	4.8	8.9	10.1
76	-1.4	2.6	3.0
78	2.2	-3.5	4.1
80	-3.6	2.0	4.1
EMQ	6.7	5.6	8.7

TABELA 13 – Configuração das linhas e colunas utilizadas no delineamento estatístico, em unidades de metros, relativo a Baía de Guaratuba – carta topográfica

	MODELOS	
	2º [m]	3º [m]
S_x	14,6	5,1
S_y	20,4	4,8
EMQ_x	13,1	6,7
EMQ_y	12,4	5,6

TABELA 14 – Resultados para o delineamento estatístico relativo a Baía de Guaratuba – carta topográfica

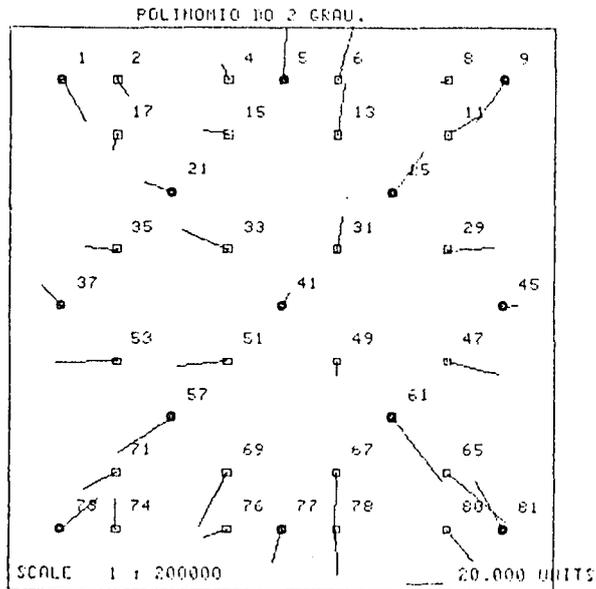
Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F
Diferença entre linhas	3	14,67	4,89	0,54 n.s.
Diferença entre colunas	1	183,36	183,36	20,33 *
Resíduos	3	27,05	9,02	

* Significativo com 95% de probabilidade

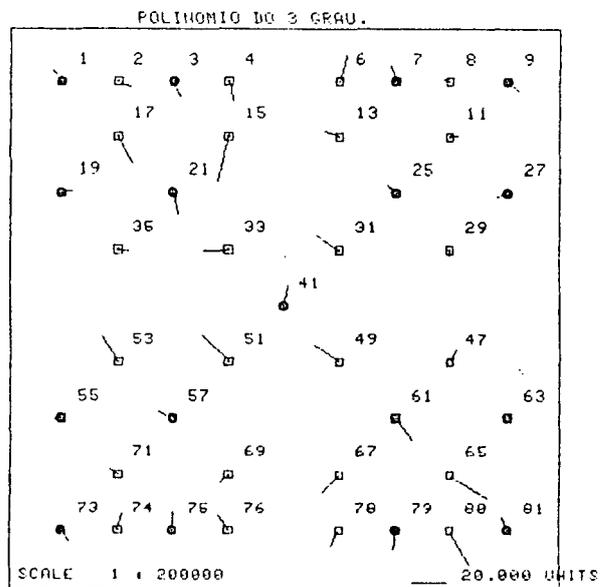
TABELA 15 – Frequências acumuladas relativas a Baía de Guaratuba – carta topográfica

Níveis de tolerância [m]	Número de pontos		Porcentagem para os modelos		Porcentagem acumulada	
	2º	3º	2º	3º	2º	3º
0 – 10	8	34	21,6	82,9	21,6	82,9
10 – 20	14	6	37,8	14,6	59,4	97,5
20 – 30	14	1	37,8	2,4	97,2	99,9
30 – 40	1	0	2,7	0,0	99,9	99,9
Total	37	41	99,9	99,9		

FIGURA 43 — Comportamento dos VE para os polinômios do 2º e 3º graus em se tratando de 14 graus de liberdade relativo à Baía de Laranjeiras — carta impressa



14 GRAUS DE LIBERDADE.
BÁIA DE LARANJEIRAS.



● Pontos de Apoio

TABELA 16 – Lista dos resíduos, resíduos resultantes e os desvios padrão para os PA, além dos erros, erros resultantes e os erros médios quadráticos para os PC, em unidades de metros, relativo a Baía de Laranjeiras – carta topográfica

POLINOMIO DO 2 GRAU COM 13 PTOS. DE APOIO

P.A.	UX	UY	R
1	12.6	-22.6	25.9
5	1.3	28.6	28.6
9	-15.2	-22.8	27.4
21	-14.9	5.5	15.9
25	16.2	21.5	26.9
37	-10.8	10.5	15.1
41	4.2	7.5	8.6
45	7.8	1.2	7.9
57	-28.8	-19.8	34.4
61	27.4	-34.6	44.2
73	19.8	15.9	25.4
77	-4.7	-17.5	18.1
81	-14.9	25.5	29.5
DP	21.7	27.4	35.0

P.C.	FX	EY	R
2	5.7	-7.9	9.7
4	-3.2	8.2	8.8
6	9.2	31.5	32.9
8	-4.8	-1.3	5.0
11	15.7	10.1	18.7
13	3.6	27.8	28.1
15	-12.9	1.9	13.0
17	-2.1	-8.1	8.4
29	24.5	1.5	24.5
31	3.2	17.9	18.2
33	-24.5	10.0	26.4
35	-16.7	1.5	16.8
47	27.0	-6.9	27.9
49	-1.0	-0.3	0.3
51	-27.7	-2.5	27.8
53	-32.0	-1.3	32.9
65	31.3	-25.7	40.5
67	-7	-35.8	35.8
69	-15.2	-28.3	32.1
71	-17.8	-8.5	19.7
74	-5	15.7	15.7
76	-12.1	-4.7	13.0
78	1.3	-24.3	24.3
80	13.7	-17.0	21.8
EMQ	16.4	16.5	23.3

POLINOMIO DO 3 GRAU COM 17 PTOS. DE APOIO

P.A.	UX	UY	R
1	-4.7	6.3	7.9
3	3.2	-8.3	8.9
7	-3.3	8.2	8.9
9	5.6	-4.5	7.1
19	5.3	1.2	5.4
21	2.6	-11.3	11.6
25	-5.3	4.8	7.1
27	-4.9	-1.9	5.2
41	2.8	11.1	11.5
55	-4.1	7	4.2
57	-7.7	3.0	8.3
61	8.2	-11.3	14.0
63	2.1	1.2	2.5
73	4.2	-5.2	6.7
75	-1	9.8	9.8
79	-1.4	-9.8	9.9
81	-2.4	7.3	7.7

DP 7.0 11.3 13.3

P.C.	FX	EY	R
2	7.0	-2.7	7.5
4	2.1	-11.0	11.2
6	3.2	13.6	14.0
8	-4.0	1.3	4.2
11	4.0	6	4.1
13	-7.7	2.9	8.2
15	-5.7	-24.0	24.7
17	8.2	-14.8	16.9
29	-1	-3.5	3.5
31	-12.3	7.9	14.6
33	-13.2	-6	13.2
35	5.7	-1	5.7
47	3.3	5.8	6.7
49	-13.6	9.2	16.4
51	-14.1	14.2	20.0
53	-8.4	13.5	15.9
65	19.1	-12.2	22.7
67	-9.3	-8.8	12.7
69	-4.2	-3.3	5.3
71	-3.9	3.0	4.9
74	2.8	9.1	9.5
76	-4.8	8.1	9.4
78	-4.4	-8.4	9.5
80	10.2	-18.3	21.0

EMQ 8.4 10.2 13.2

TABELA 17 – Configuração das linhas e colunas utilizadas no delineamento estatístico, em unidades de metros, relativo a Baía de Laranjeiras – carta topográfica

	MODELOS	
	2º [m]	3º [m]
S_x	21,7	7,0
S_y	27,4	11,3
EMQ_x	16,4	8,4
EMQ_y	16,5	10,2

TABELA 18 – Resultados para o delineamento estatístico relativo a Baía de Laranjeiras – carta topográfica

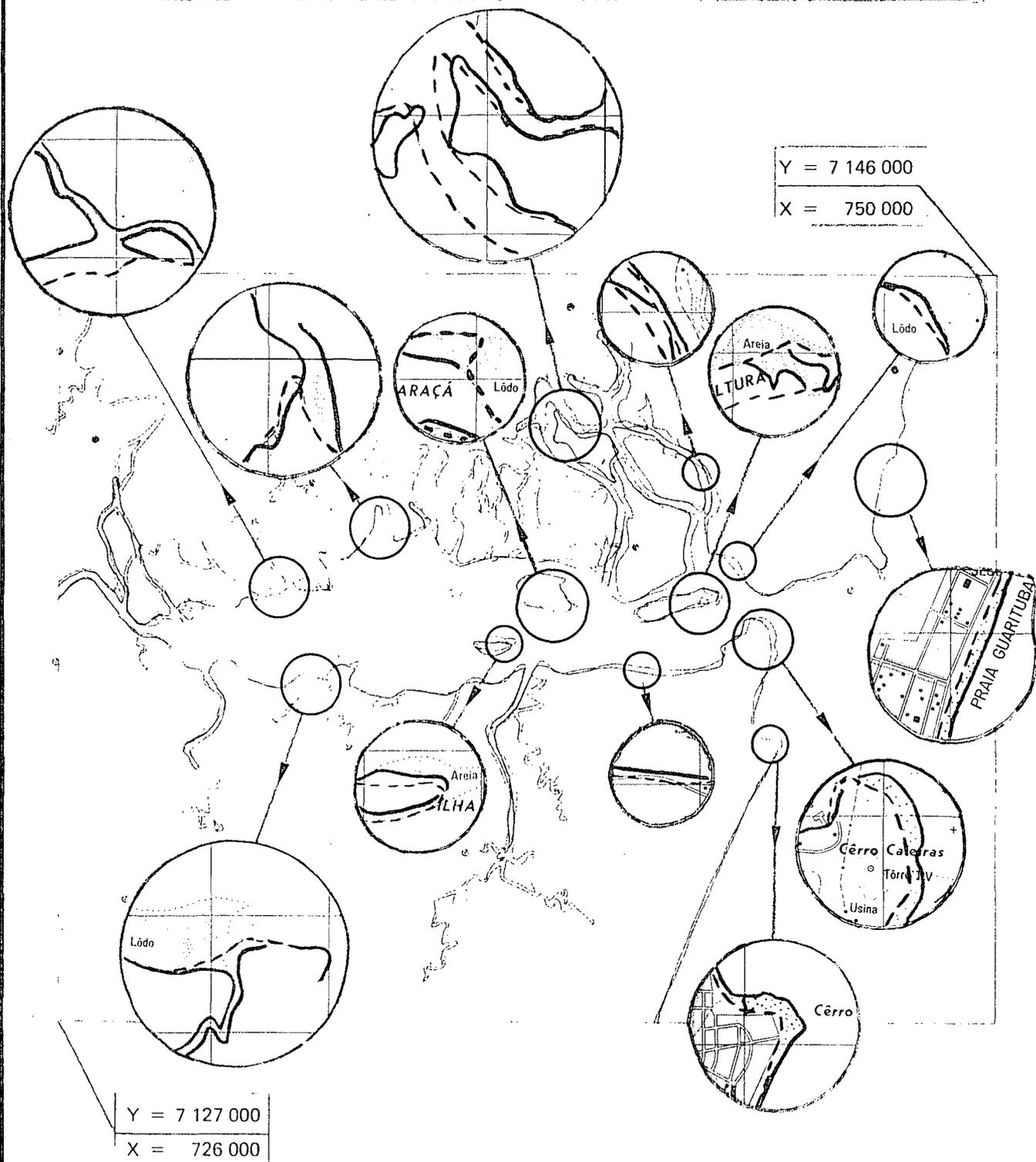
Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	
Diferença entre linhas	3	57,51	19,17	1,63	n.s.
Diferença entre colunas	1	254,25	254,25	21,64	*
Resíduos	3	35,24	11,75		

* Significativo com 95% de probabilidade

TABELA 19 – Frequências acumuladas relativas a Baía de Laranjeiras – carta topográfica

Níveis de tolerância [m]	Número de pontos		Porcentagem para os modelos		Porcentagem acumulada	
	2º	3º	2º	3º	2º	3º
0 – 10	7	26	18,9	63,4	18,9	63,4
10 – 20	10	11	27,0	26,8	45,9	90,2
20 – 30	13	4	35,1	9,8	81,0	100,0
30 – 40	7	0	18,9	0,0	99,9	100,0
Total	37	41	99,9	100,0		

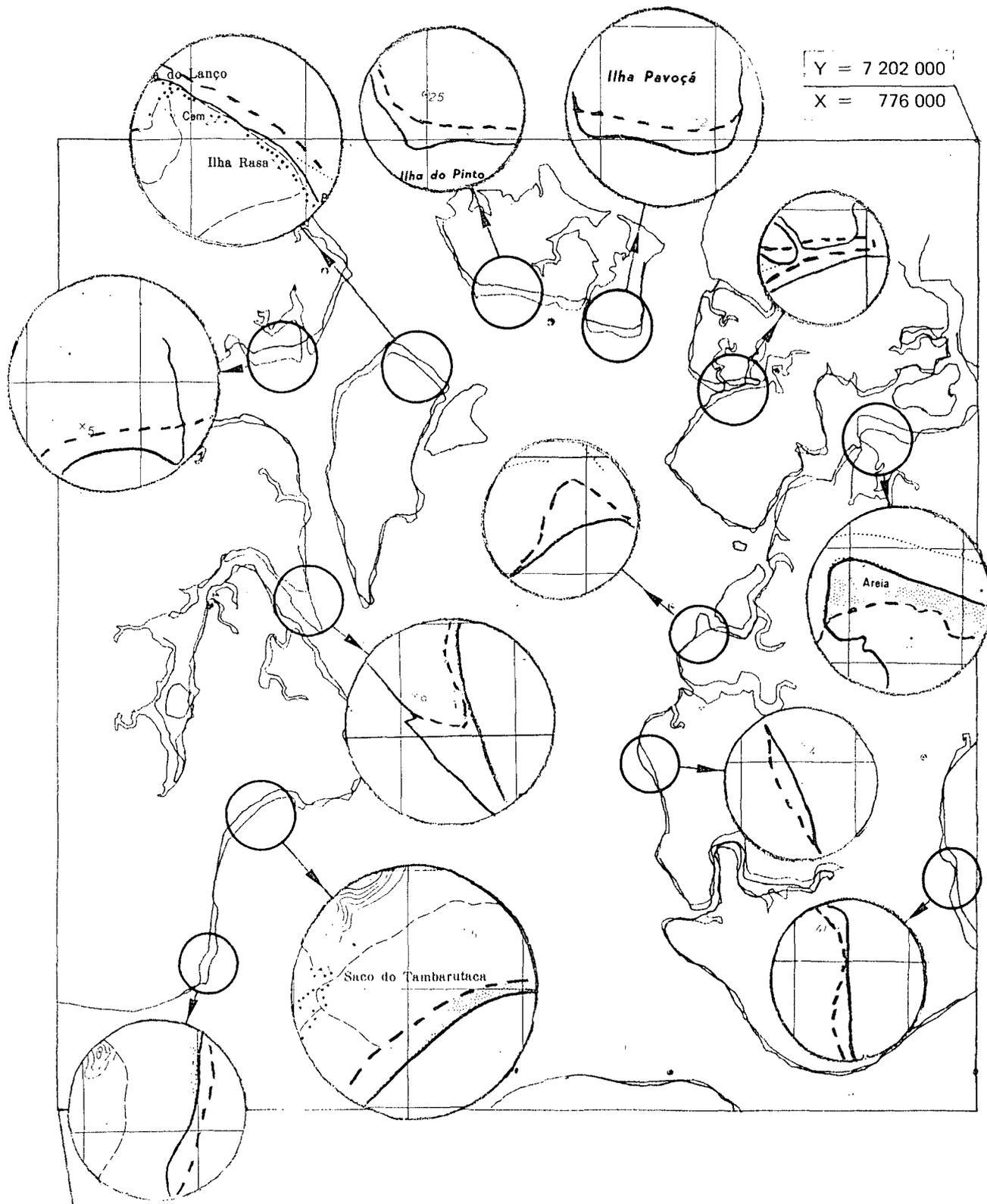
FIGURA 44 – Reprodução dos 2 produtos compilados para análise qualitativa relativa à Baía de Guaratuba



Projeção Universal Transverso Mercator
Longitude Meridiano Central do Fuso 51°W
Escala 1:150 000
Região Baía de Guaratuba
Estado do Paraná
Limite obtido a partir da Imagem de LANDSAT

OBS.: Considerou-se Y ≡ Norte e X ≡ Este

FIGURA 45 – Reprodução dos 2 produtos compilados para análise qualitativa relativa a Baía de Laranjeiras



Y = 7 177 000
X = 752 000

Projeção Universal Transverso Mercator
Longitude Meridiano Central do Fuso 51°W
Escala 1:150 000
Região Baía de Laranjeiras
Estado do Paraná
- - - Limite obtido a partir da Imagem de LANDSAT

OBS.: Considerou-se Y ≡ Norte e X ≡ Este

podem ser atribuídas a fatores tais como:

- a) as fotos aéreas que deram origem as cartas topográficas ($E = 1:50\ 000$) datam de 1966 (convênio AST-10/USAF);
- b) a imagem de satélite foi rastreada em 06.4.78, e tem uma escala original de 1:3 700 000;
- c) o alto fator de subjetividade que se está sujeito ao se aplicar generalização, por meio de linhas, a regiões fronteiriças, cujos limites não são topograficamente estáticos (limite entre terra firme e água);
- d) ficar condicionada a identificação dos pontos de apoio a utilização do projetor fotográfico.

CAPÍTULO 4

CONCLUSÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Resumidamente pode-se dizer que para a compilação de um original derivado, a partir das imagens digitais do LANDSAT, segundo a metodologia proposta, ou seja, utilizando-se somente os meios de recurso ora existentes no CPGCG da UFPR, ficou evidenciado através da análise qualitativa que os resultados não foram cartograficamente satisfatórios, o que significa dizer que não se pôde modelar as deformações existentes entre os espaços objeto-imagem em um grau mais elevado do que aquele obtido através do projetor fotográfico.

Com respeito a análise quantitativa essa impossibilidade não ficou aparentemente evidenciada, entretanto tal fato reside na fragilidade da hipótese, ao se admitir inexistência de erro na identificação e superposição visual de feições (*ver item 2.2.3*). Sendo que dessa forma o modelo matemático modelou na realidade, as deformações existentes entre a imagem fotográfica da saída impressa e a sua projeção ótica sobre a carta, ou seja, se reproduziu analiticamente o fenômeno conseguido através do projetor. Daí a aparente contradição entre os resultados obtidos da análise quantitativa contra a análise qualitativa.

Aconselha-se dessa forma, que em pesquisas futuras, quando já se tiver disponível uma tela gráfica interativa que venha a substituir a impressora de linhas, assim como, uma unidade de fita magnética que possibilite a transferência dos dados para a HP-1000 leve-se em conta, as seguintes etapas:

- a) processamento preliminar das imagens digitais do LANDSAT através do SPID-1;
- b) identificação dos pontos de apoio^{*} diretamente sobre a tela gráfica de maneira uniforme e bem distribuída para toda a imagem;
- c) utilização de cartas topográficas com escalas $\geq 1:50\ 000$ para a obtenção das informações do espaço-objeto;
- d) Seleção interativa de feições através da tela;
- e) transformação das coordenadas de máquina obtidas com a tela gráfica em coordenadas do espaço-objeto através de um modelo matemático simples;
- f) desenho automático, através da mesa DZ-7 sendo esta controlada por programas semelhantes ao PLVFY.

Como se havia falado anteriormente (*ver item 1.2*) do ponto de vista cartográfico existem restrições para a utilização de imagens do LANDSAT para a confecção de cartas, entre-

* Cabe observar que a identificação de pontos de apoio ainda assim se constituirá num fator crítico.

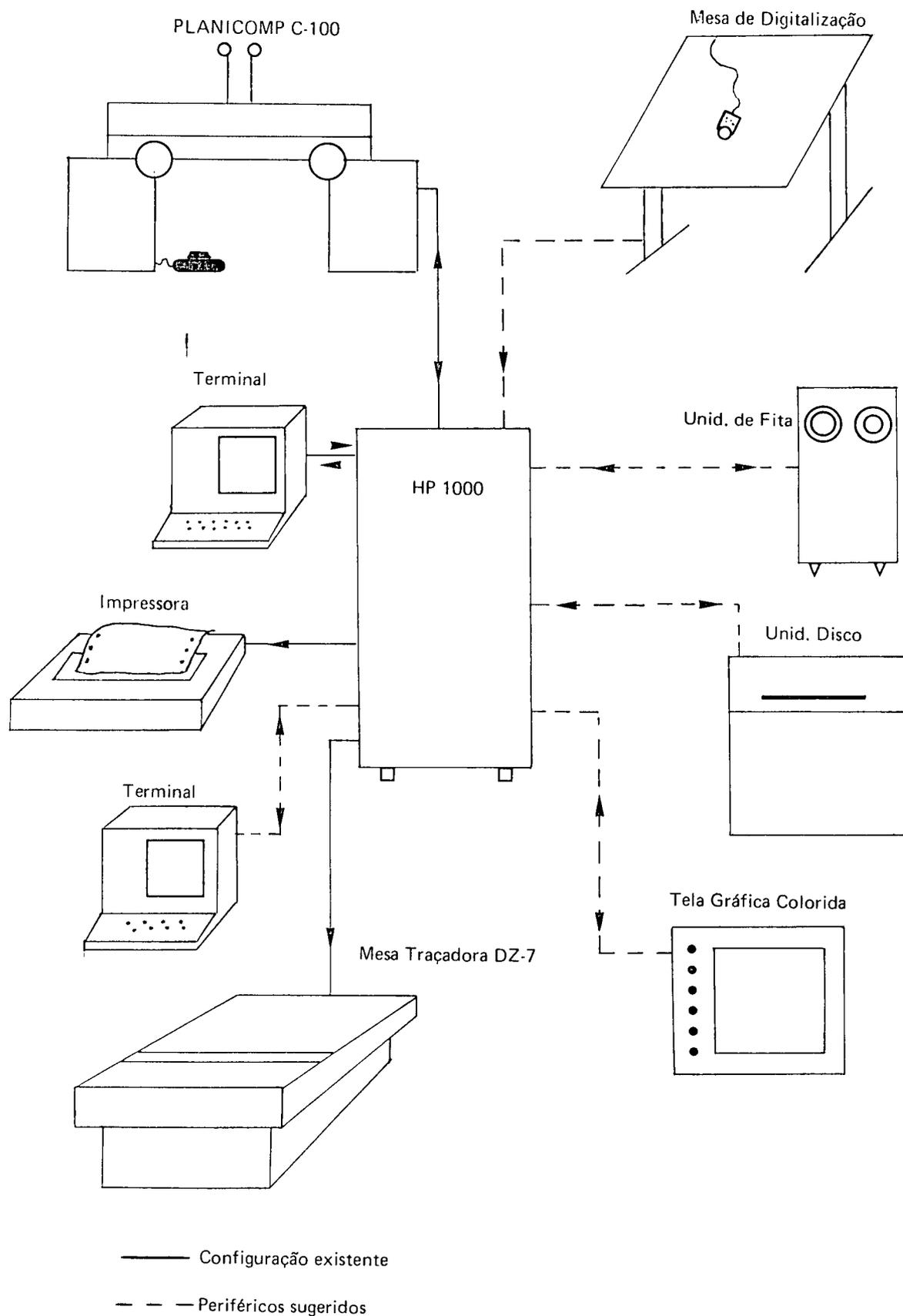
tanto ao se considerar que valeu-se somente dos meios e recursos disponíveis no CPGCG e pode-se conceber e desenvolver programas do tipo SPID-1 e PLVIFY, acredita-se que dessa forma, se tenha contribuído para arraigar métodos e técnicas que ainda hoje não são familiares no meio cartográfico nacional.

No momento, gostaríamos de deixar aqui algumas sugestões para que futuramente sejam feitas implementações tanto de suporte lógico quanto de componentes físicos (*ver esquema fig. 46*), tais como:

- a) algoritmos de classificação;
- b) algoritmos que permitam realçar as regiões fronteiriças entre classes;
- c) algoritmos que possibilitem a rotação e a redução de escala da imagem digital;
- d) o desenvolvimento de subsistemas destinados a banco de dados gráficos;
- e) uma mesa de digitalização;
- f) uma unidade de disco de 80 M-bytes ao mínimo;
- g) uma unidade de fita magnética de 800/1600 bytes/polegadas;
- h) uma tela gráfica colorida de 512x512 pixels;
- i) aumentada a memória principal com dois módulos de 64 K-palavras, além de mais terminais de vídeo.

Com a integração de tais periféricos ao sistema PLANICOMP C-100 se estabelecerá no Brasil um dos primeiros centros de estudos e pesquisas aplicados não só aos vários campos das Geociências, mas também, com as devidas proporções, na área de informática, engenharias em geral, medicina e biologia.

FIGURA 46 – Representação esquemática de uma configuração que se poderia integrar ao PLANICOMP C-100



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- / 1/ BÄHR, H. P. . Analog versus digital image processing of photogrammetric imagery. In.: *Congress of the International Society for Photogrammetry*, 14, HAMBURG, 1980. *Proceedings*. HAMBURG, 1980, p. 41-55.
- / 2/ ———.; DENNERT MOLLER, E. Tidal land mapping from LANDSAT. In.: *Coloquio Internacional*, 3, TOULOUSE, 1979. *Proceedings*. TOULOUSE, 1979, 14 p.
- / 3/ ———. Geometrical analysis and rectification of LANDSAT MSS imagery: Comparison of different methods. In.: *Symposium International Society for Photogrammetry*, MOSCOU, 1978. *Proceedings*. MOSCOU, 1978, p. 25-45.
- / 4/ ———. Digital image processing experience at Hannover institute for photogrammetry. In.: *Symposium International of Photogrammetry*, 3, HELSINKI, 1977. *Proceedings*. HELSINKI, 1977, p.19-25.
- / 5/ CANEPARO, S.C. *Metodologia para restituição de imagens LANDSAT num instrumento (ZEISS – PLANICOMP) aplicada ao mapeamento de sedimentos do litoral norte do estado do Paraná*. Curitiba, 1983. 131 p. Dissertação, Mestrado. Universidade Federal do Paraná.
- / 6/ CASTLEMAN, K.R. *Digital image processing*. Englewood Cliffs, NEW JERSEY, 1979. 429 p.
- / 7/ COPPOCK, J.T. Maps by line printer. In.: Davis, J.C. & McCullagh, M.J. *Display and analysis of spatial data*. John Wiley. LONDON, 1975. p. 137-154.
- / 8/ DOWMAN, I.J.; MOHAMMAD, M.A. Photogrammetric applications of LANDSAT MSS imagery. In.: *Congress of the International Society for Photogrammetry*, 14, HAMBURG, 1980. *Proceedings*. HAMBURGS, 1980, p. 158-167.
- / 9/ FISCHER, E.U. Comunicação pessoal.
- /10/ GEMAEL, C. *Aplicações do cálculo matricial em geodésia*. Curitiba, 1974. 103 p. Universidade Federal do Paraná.
- /11/ GOMES, F.P. *Estatística experimental*. Piracicaba, 1973. 430 p.
- /12/ GUICHARD, H. *Utilisation photogrammetrique et cartographique de SPOT*. s.n.t. 16 p. (Semaines Internationales de Photogrammetric, STUTTGART, septembre, 1983).
- /13/ KEATES, J.S. *Cartographic design and production*. Longmar, LONDON, 1980. 240 p.
- /14/ KIRCHNER, F.F. Comunicação pessoal.
- /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, V.A., 1980. *Proceedings*. RESTON, V.A. 1980. p. 31-75.
- /16/ LANDSAT DATA USERS NOTES. Sioux Falls, V.S. Geological Survey. n. 21, 1982, n. 27, 1983.
- /17/ LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W. *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley & Sons, NEW YORK, Toronto, 1979, 612 p.

- /18/ MARQUES, J.M. *Análise de variância*. Curitiba, 1982. 22 p. Seminário. Universidade Federal do Paraná.
- /19/ MIKHAIL, E.M.; ACKERMANN, F. *Observations and least squares*. Thomas Y. Crowell, NEW YORK, 1976, 497 p.
- /20/ —————.; GRACIE, G. *Analysis and adjustment of survey measurements*. Litton, NEW YORK, 1981. 340 p.
- /21/ ROCHA, M.O. *Comparação de medidas de áreas de desmatamento em imagens MSS do LANDSAT, através do restituidor analítico PLANICOMP C-100 com outras fontes de informações*. Curitiba, 1983. 112 p. Dissertação, Mestrado. Universidade Federal do Paraná.
- /22/ SANTOS, J.N.L. dos. *Pesquisa analítico-fotogramétrica de precisão geométrica de uma imagem LANDSAT MSS processada no Brasil*. Curitiba, 1983. 270 p. Dissertação, Mestrado. Universidade Federal do Paraná.
- /23/ SCHNEIDER, H. The analytical plotter system ZEISS C-100 PLANICOMP. In.: *Analytical Plotter Symposium and Workshop of the American Society of Photogrammetry, 1*, RESTON, V.A., 1980. Proceedings. RESTON, V.A., 1980. p. 145-147.
- /24/ SILVA, J.F. da. *Verificação de modelos hidráulicos*. Curitiba, 1984. 136 p. Dissertação, Mestrado. Universidade Federal do Paraná.
- /25/ STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.H. *Principles and procedures of statistics*. McGRAW-HILL, NEW YORK, 1960. p. 481.
- /26/ VIEIRA, A.J.B.; MACHADO, A.M.L.; BAHR, H.P.; KIRCHNER, F.F. O processamento de imagens digitais está ao alcance de todos? In.: *Congresso Brasileiro de Cartografia, 11*, Rio de Janeiro, 24-29 julho 1983. Programa Oficial, Rio de Janeiro, 1983. 8 p.
- /27/ YOELI, P. Methodology of computer-assisted cartography. In.: DAVIS, J.C. & McCULLAGH, M.J. *Display and analysis of spatial data*. John Wiley, LONDON, 1975, p. 130-136.
- /28/ ZEISS WEST GERMANY. B-70 program. In.: *C-100 PLANICOMP, sistema analítico de restituição* (Manual de Manejo).