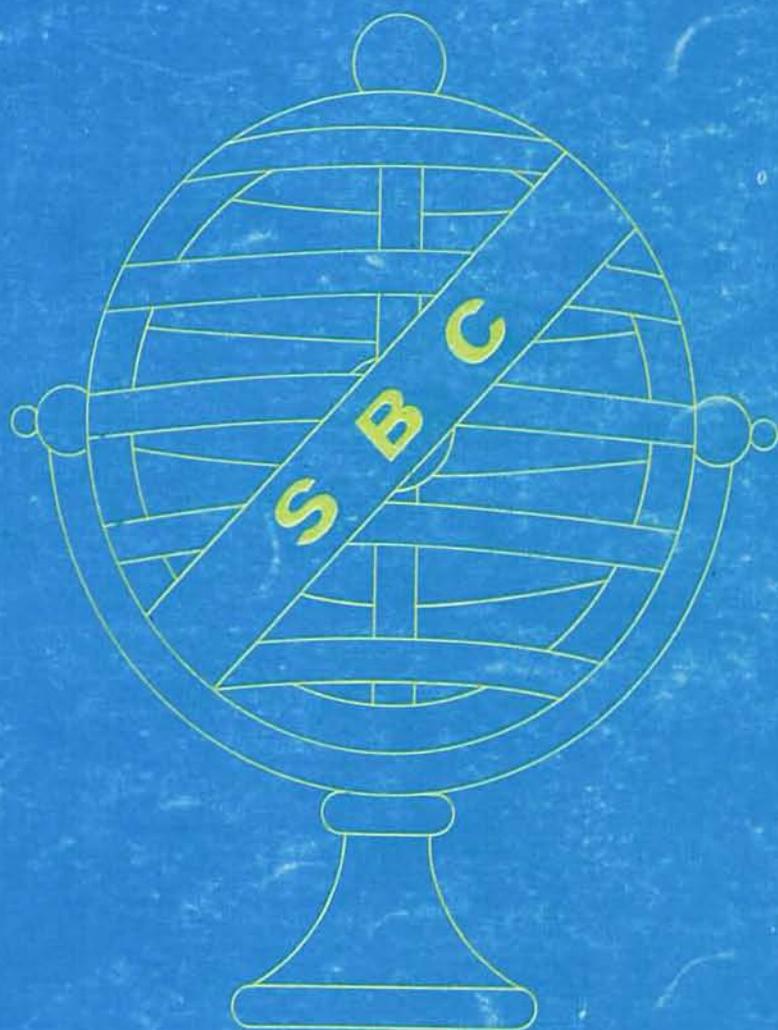


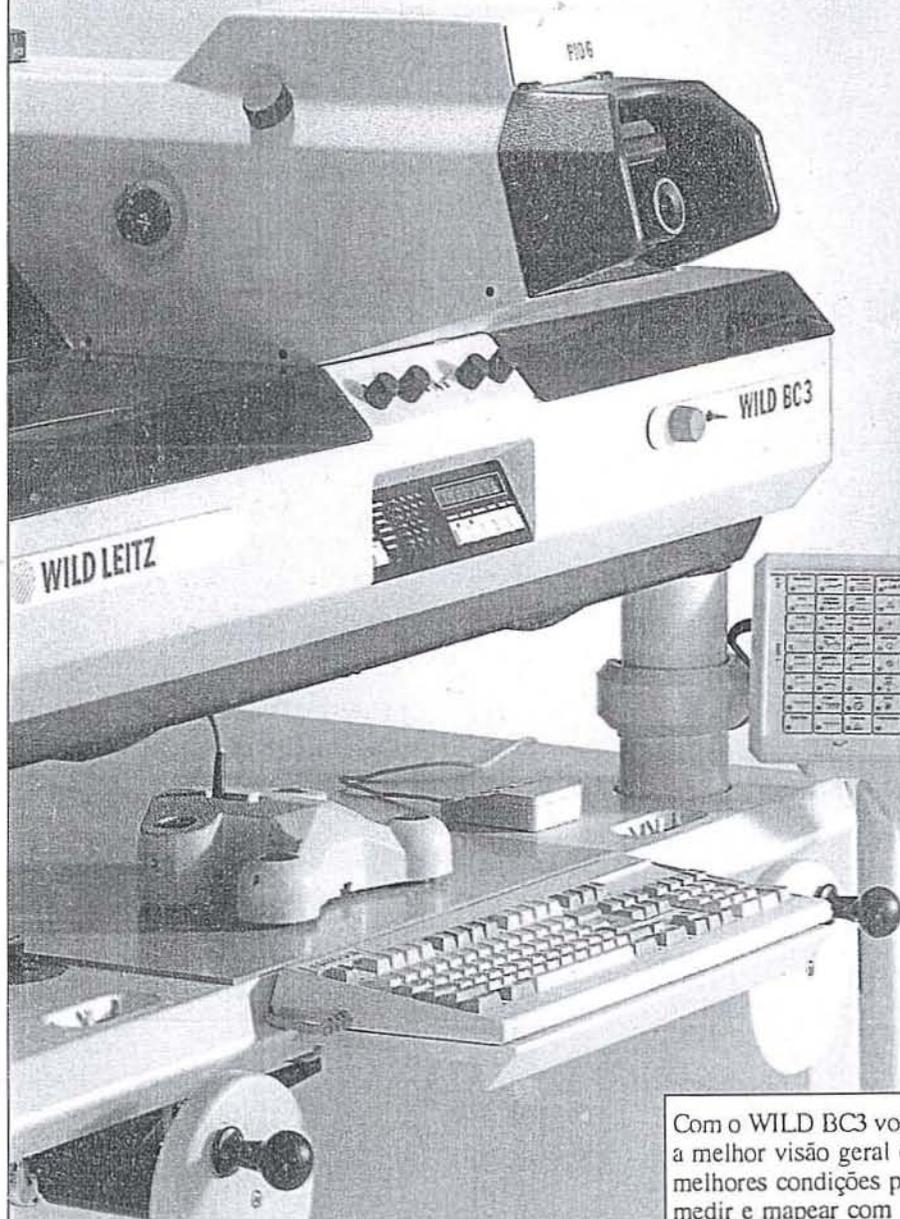
ISSN 0560-4613

REVISTA BRASILEIRA DE CARTOGRAFIA

EDITADA PELA SOCIEDADE BRASILEIRA DE CARTOGRAFIA,
GEODÉSIA, FOTOGRAFIA E SENSORIAMENTO REMOTO



COCKPIT FOR THE NINETIES



Com o WILD BC3 você tem a melhor visão geral e as melhores condições para medir e mapear com segurança e rapidez. O WILD BC3 é a mais nova geração de Workstations da LEICA para aerotriangulação, mapeamento e edição. Este sistema analítico de restituição estereoscópico reúne alta precisão ótica-mecânica e eficiência com a mais recente tecnologia em Workstations e Software.

Sente-se você mesmo na sua central de comando "cockpit" para sentir a fotogrametria dos anos' 90. Você estará impressionado pela clareza e o grau de detalhes do seu modelo estereoscópico, pela aquisição segura dos dados e rapidez de compilar seu mapa em diálogo com a tela gráfica.

Para maiores informações estamos à sua disposição nos endereços abaixo.

DIRETORIAL DA PRESIDÊNCIA



Ao final do período, correspondente ao nosso biênio, 1989-1991, conseguimos ultimar a publicação e enviar aos colegas e amigos da Comunidade Cartográfica, o número 44 da REVISTA BRASILEIRA DE CARTOGRAFIA. Só nos foi possível cumprir mais esta meta, graças a economias feitas durante nossa gestão e aos resultados financeiros do XV Congresso Brasileiro de Cartografia, assim como, à colaboração prestada pelo ICA — Instituto de Cartografia da Aeronautica, e à 5ª DL — Quinta Divisão de Levantamentos da DSG, o primeiro deles assumindo parte da composição da revista e o segundo, a impressão.

Sentimo-nos satisfeitos por termos alcançado o objetivo de introduzir modificações no perfil da revista — a capa ficou mais simples, porém mais sóbria; o conteúdo é estritamente técnico, ensejando a que os nossos associados se sintam bastante estimulados em enviar seus trabalhos para publicação e, a própria revista, a nosso ver, induz a que seja reforçado seu caráter de veículo oficial da cartografia brasileira.

Deixamos à diretoria executiva que nos sucede, a sugestão de mudança do nome, para Revista da SBC (veículo da Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto), pela própria abrangência da Sociedade, eliminando assim, o aspecto de elemento restrito à cartografia.

À toda a comunidade, os maiores votos de prosperidade em todos os ângulos da vida e à SBC, nosso mais profundo respeito.

Muito Obrigado a Todos.
Paulo Eurico de Melo Tavares
Presidente

Índice

Diretoria Executiva

Presidente

Eng^o Paulo Eurico de Melo Tavares

Secretária Geral

Eng^o Eliane Ramiro dos Santos

Vice-Presidente de Administração e Finanças

Eng^o Ney da Fonseca

Vice-Presidente para Assuntos Técnico-Científicos

Eng^o Paulo Roberto Martins Serra

Vice-Presidente para Assuntos Internacionais

Eng^o Hanns Juergen Carl Von Studnitz

Vice-Presidente para Assuntos Regionais

Téc. Adm. Ernesto Baccherini

Diretorias Regionais

Região Norte

Luciano Montenegro da Cunha Pessoa

Região Nordeste

Tarcísio Ferreira Silva

Região Centro-Oeste

Magnólia de Lima

Região Sudeste

Alfredo Sebastião Seixas

Região Sul

Sergio Gilberto Bottini

Conselho Deliberativo

Titulares

Eng^o Ricardo Sérgio da Fonseca França

Geog. Ana Maria Coutinho

Eng^o Angelo José Pavan

Eng^o Fernando de Araújo Coutinho Amadeo

Prof. David Márcio dos Santos Rodrigues

Eng^o Bernardo Barbosa Horta

Suplentes

Eng^o Audízio de Almeida Cruz

Eng^o Marco Flávio Bizzini

Eng^o Carlos Eduardo Nery

Conselho Fiscal

Titulares

Eng^a Eliane Alves da Silva

Eng^o Leonel Navas Zamora

Eng^o Herbert Erwes

Suplentes

Eng^o José Ubirajara Pereira Caubillo

Téc. Adm. Tarcizo Gonçalves de Oliveira

Sr. Alcides Morais

Comissões Técnicas

Comissão I - Sensoriamento Remoto

Paulo Roberto Martini

Comissão II - Astronomia, Geodésia e Topografia

Walter da Silva Prado

Comissão III - Hidrografia

Fernando A. C. Amadeo

Comissão IV - Fotogrametria

Edson Aparecido Mitshita

Comissão V - Fotointerpretação e Interpretação de Imagens

Luis Antonio de Andrade

Comissão VI - Cartografia Topográfica, Temática e Especial

Carlos Alberto G. de Araújo

Comissão VII - Ensino e Formação Profissional

Arlete Meneguetti

Comissão VIII - Sistemas de Informações

Geoambientais

Marcus Vinicius Duarte da Silva

Coordenação Editorial e Gráfica

Eliane Ramiro dos Santos

| | |
|---|-----|
| Editorial da Presidência | 3 |
| Atualização da Exatidão de Documentos Cartográficos | 8 |
| Aplicações do GPS no Brasil: As primeiras experiências com equipamento Wild-Magnavox WM-101 | 12 |
| Transformação NSWC-9Z-2 — SAD69 e Mapa Geoidal SAD-69 | 20 |
| Ajustamento Altimétrico Simultâneo e em Fases Através dos Métodos das Equações de Observação e das Equações de Condição | 40 |
| Maregrafo Digital Remoto | 50 |
| Atualização de Cartas Náuticas Utilizando Dados TM-LANDSAT | 53 |
| Levantamento Fotogramétrico Terrestre de Fachadas | 62 |
| Calibration of an Amateur Camera for Universal Close-Range Applications | 66 |
| Classificação das Medições de Deformação | 75 |
| Considerações Sobre a Ocorrência de Tornados no Brasil, Paraguai e Argentina | 78 |
| Fotografias Aéreas Verticais 35mm: Aplicações na área Florestal | 95 |
| Um Sistema Cadastral Moderno: Poderá o Brasil Possuí-lo? | 101 |
| Carta de Densidade da Ocupação do Solo Urbano | 105 |
| Sistema de Informações Cartográficas | 106 |
| Estrutura Celular de um Sistema de Informações Cartográficas | 110 |
| Modelo Conceitual de um Sistema de Informações Geográficas Aplicado ao Cadastro Urbano | 115 |
| O Projeto de Automação da Cartografia no Exército | 122 |

Sociedade Brasileira de Cartografia,
Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
Av. Presidente Wilson, 210 - CEP 20030 - Tel.: (021) 240-6901 RJ

Composição

ICA — Instituto de Cartografia Aeronáutica e
BOLD Editoração Eletrônica

Impressão

5ª DL da Diretoria de Serviço Geográfico



ESTEIO

ENGENHARIA E AEROLEVANTAMENTOS S.A.



Empresa dedicada a prestar uma série integrada de serviços de estudos, projetos, planejamento e consultoria técnica para obras de engenharia, levantamentos geodésicos, cadastrais e mapeamentos através de aerolevantamentos.

Acompanhando o desenvolvimento tecnológico e mantendo uma equipe experiente e bem treinada oferece serviços de alta qualidade que só quem domina a tecnologia de última geração pode garantir.



Sede: Rua Reinaldo Machado, 1151 - Prado Velho
Tel. (041) 222-8288 - Telex (041) 5412 EEEA
Fax (041) 225-3273
Cep 80.210 Curitiba - PR.

Escritório: Ed. Venâncio V-S/ 505
Setor de Diversões Sul (SDS)
Tel. (061) 226-2508
Cep 70.302 Brasília - DF.

MaxiCAD - CARTOGRAFIA DIGITAL AO SEU DISPOR

O Sistema MaxiCAD, criado e desenvolvido pela MaxiDATA Tecnologia e Informática Ltda, atende a todas as atividades que de algum modo envolvam mapeamentos. Os seus recursos permitem desde a simples produção e manejo de mapas cartográficos até a elaboração de sistemas de informação geo-referenciados ou GIS - Geographic Information System.

Atualmente o Sistema MaxiCAD é o Sistema mais utilizado no país e esta posição deve-se a sua versatilidade na formação de estações de trabalho através do acoplamento dos mais diversos tipos, modelos e marcas de equipamentos e a liberdade de escolha do banco de dados, o que cria ao seu usuário uma condição otimizada de utilização.

Destaca-se ainda, pelo total domínio que o usuário tem dos seus dados, permitindo assim inúmeras formas de interfaceamento com sistemas e dados.

MaxiCAD COMO EDITOR GRÁFICO

O uso Editor Gráfico significa que a estação gráfica utilizada em seu modo stand alone proporciona todos os recursos para produção e manuseio dos mais diversos tipos de mapas entre os quais destacam-se:

- Cartas de Distribuição de Serviços Públicos
- Cartas de Uso Estatístico
- Cadastro Técnico Municipal
- Cartas de Uso Agrícola
- Cartas de Solos, Pedologia, Clima
- Cartas Geográficas
- Cartas para Planejamento Urbano e Rural
- Cartas de Zonas Costeiras e Navegação
- Cartas Florestais (Inventários, Desmatamentos ...)
- Perfis de Terreno
- Estudos Fundiários (Plantas de Glebas, Parcelas ...)
- Controle do Meio Ambiente

MaxiCAD NO CONCEITO GIS

Com a crescente necessidade do manuseio rápido de informações, a indústria de softwares iniciou pesquisas objetivando interligar informações

gráficas e alfanuméricas. Este novo conceito de processos denominou-se GIS - Geographic Information System.

Atendendo a esta necessidade, o Sistema MaxiCAD é dotado de funções que permitem estabelecer processos de comunicação entre o arquivo gráfico

e o alfanumérico de modo local ou remoto, dependendo do ambiente operacional do usuário.

Em uso off line, o MaxiCAD permite a operação como AM/FM - Automatic Mapping / Facilities Management produzindo informações geo-referenciadas através de arquivos de transição.

Seu uso on line (redes, Processamento Cooperativo/UNIX ou como terminal de Mainframes) apresenta todos os recursos para processamentos, consultas e atualizações simultâneas nos bancos gráficos e alfanuméricos, dando-lhe característica de GIS.

RECURSOS DA BASE MATEMÁTICA

- Transformação de Coordenadas Geográficas para Coordenadas Planas e vice-versa
- Conversão entre Sistemas de Projeção e Elipsóides
- Geração de curvas a partir do Spline Cúbico Completo
- Ajustamento de Coordenadas Instrumento para Coordenadas do Sistema de Projeção adotado
- Cálculo de áreas e perímetros

RECURSOS DA BASE COMPUTACIONAL

- Arranjo dos dados através do recurso denominado Indexação Geométrica que proporciona acesso extremamente rápido a qualquer região do desenho com visualização em qualquer escala.
- Módulos Utilitários para criar facilidades no manuseio de dados através do conceito de arquivos públicos e de transição
- Indexação das entidades pelo seu código
- Diversos drivers para plotters e placas gráficas
- Desenvolvimento em linguagem C e Assembler
- Relação bi-unívoca entre coordenadas de vídeo e coordenadas reais do terreno, permanecendo constante a precisão de leitura dos pontos em qualquer janela de visualização
- Armazenamento das operações efetuadas - LOGFILE
- Desenho automático através de Plotters em qualquer escala
- Comunicação com Mainframes
- Versões para MS-DOS, UNIX

RECURSOS DE EDIÇÃO GRÁFICA

- Agrupamento dos dados gráficos em Níveis de Informação
- Posicionamento das entidades gráficas através de coordenadas numéricas, visual, ou através de digitalização.
- Criação de Simbologias, Caracteres, Traços de acordo com as necessidades do usuário.
- Comtemplar as entidades: Polilinhas, Isolinhas, Textos, Símbolos, Bibliotecas, Cotas, Polilinhas Paralelas, Dimensão, Malha de Coordenadas, etc.
- Zoom até a escala 1:1
- Deslocamentos, Alterações, Duplicações ou Eliminações de entidades gráficas
- Preenchimento de áreas com hachuras ou símbolos
- Codificação das entidades para geo-processamento
- Simultaneidade de operação em até 10 arquivos gráficos
- Cruzamentos de Polilinhas e de dados temáticos
- Help on Line em qualquer opção de operação
- Digitalização de grandes desenhos



PROSPEC S.A.

PROSPECÇÕES E AEROLEVANTAMENTOS

| AEROFOTOGRAFIA E CARTOGRAFIA | | | |
|---------------------------------|--|---|---|
| AEROFOTOGRAFIA E CARTOGRAFIA | PRODUTO | OPERAÇÕES POSSÍVEIS | ÁREAS OU INSTRUMENTOS DE USO |
| | CARTAS PLANIMÉTRICAS | <p>LANÇAMENTO E DIGITALIZAÇÃO DE PROPRIEDADES URBANAS CADASTRADAS</p> <p>LANÇAMENTO E DIGITALIZAÇÃO DE PROPRIEDADES RURAIS CADASTRADAS</p> <p>ESTUDO DE TRAÇADO EM PLANTA E PERFIL</p> <p>OBTENÇÃO DE ÁREAS</p> <p>OBTENÇÃO DE VOLUMES</p> <p>SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS</p> <p>ANÁLISE DE SÍTOS</p> | <p>MAPA CADASTRAL URBANO</p> <p>MAPA CADASTRAL RURAL</p> <p>BASE PARA ESTUDOS DE VIABILIDADES TÉCNICO/ECONÓMICO-FINANCEIRA DE OBRAS DE INFRAESTRUTURA</p> <p>ANTEPROJETO OU PROJETO GEOMÉTRICO DE:</p> <p>SISTEMAS VIÁRIOS</p> <p>SISTEMAS HIDRÁULICOS</p> <p>SISTEMAS ENERGÉTICOS</p> <p>PORTOS</p> <p>AEROPORTOS</p> <p>DISTRITOS INDUSTRIAIS</p> <p>SANEAMENTOS BÁSICOS</p> <p>RETIFICAÇÕES</p> <p>RESTAURAÇÕES</p> |
| | CARTAS PLANIALTIMÉTRICAS | <p>ANÁLISE DE ÁREAS URBANAS E RURAIS</p> <p>ESTUDO DO MEIO FÍSICO</p> <p>LANÇAMENTO DE DADOS DO MEIO FÍSICO</p> <p>OBTENÇÃO DE PERFIS</p> <p>ESTUDO HIDROLÓGICO</p> | <p>PLANTA GENÉRICA DE VALORES</p> <p>MAPA TEMÁTICO DO MEIO FÍSICO: INFRAESTRUTURA E SÓCIO-ECONOMIA</p> <p>MAPA DE DECLIVIDADE</p> <p>MAPA DE USO ATUAL</p> <p>MAPA DE CAPACIDADE DE USO</p> <p>BASE DE DADOS PARA BANCOS DE INFORMAÇÕES</p> |
| | ORTOFOTOCARTAS | <p>ESTUDO DE CANAIS DE IRRIGAÇÃO</p> <p>ESTUDO DE TRACADOS DE RODOVIAS E FERROVIAS</p> <p>ESTUDO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM</p> <p>MAPEAMENTO DO MEIO FÍSICO</p> <p>ANÁLISE DE CORREDORES DE LINHAS DE TRANSMISSÃO</p> | <p>BASE PARA RIMA</p> <p>MAPA FUNDIÁRIO</p> <p>BASE PARA ESTUDOS DE:</p> <p>SISTEMAS VIÁRIOS</p> <p>SISTEMAS HIDRÁULICOS</p> <p>PORTOS</p> <p>AEROPORTOS</p> <p>SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO ELÉTRICA</p> |
| | CARTAS DIGITAIS | <p>LEVANTAMENTO DE ÁREAS</p> <p>CARTAS GRAVADAS EM MEIO MAGNÉTICO, EM NÍVEIS DE INFORMAÇÕES, PODENDO SER EDITADAS EM DIVERSAS CONFIGURAÇÕES E ESCALAS.</p> <p>OUTROS</p> | <p>MAPA PARA ESTUDOS DE SANEAMENTO BÁSICO</p> <p>MAPA PARA ESTUDOS DE RETIFICAÇÕES DE RIOS</p> <p>BASE PARA GERAÇÃO DE PEÇAS TÉCNICAS PARA DESAPROPRIAÇÕES E REASSENTAMENTOS</p> <p>BASE PARA MAPEAMENTO TEMÁTICO DO MEIO FÍSICO E DA INFRAESTRUTURA</p> <p>BASE PARA RIMA</p> <p>OUTROS</p> <p>ESSAS INFORMAÇÕES PODERÃO FAZER PARTE DE BANCOS DE DADOS QUE SE CONSTITUIRÃO EM SUBSÍDIOS PARA A MONTAGEM DE SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS.</p> |
| AEROGEO-FÍSICA | LEVANTAMENTOS | TÉCNICAS | OBJETIVOS |
| | <p>LEVANTAMENTOS MAGNÉTICOS</p> <p>LEVANTAMENTOS COMBINADOS</p> <p>LEVANTAMENTOS GAMAESPECTROMÉTRICOS</p> <p>PROCESSAMENTO DIGITAL DE DADOS GEOFÍSICOS AÉREOS, MARINHOS E TERRESTRES</p> | <p>DADOS DIGITAIS</p> <p>DADOS DE ALTA RESOLUÇÃO</p> <p>SISTEMAS ELETRÔNICO DE NAVEGAÇÃO (GPS, DOPPLER OU MINIRANGER)</p> <p>MAGNETOMETRIA</p> <p>GAMAESPECTROMETRIA</p> <p>MÉTODOS ELÉTRICOS</p> <p>MÉTODOS ELETROMAGNÉTICOS</p> | <p>PESQUISA MINERAL</p> <p>MAPEAMENTO GEOLÓGICO</p> <p>PESQUISA DE OURO</p> <p>MAPEAMENTO MICRO ESTRUTURAL</p> |
| LEVANTAMENTOS ESPECIAIS | MODALIDADES | TÉCNICAS | OBJETIVOS |
| | <p>FOTOGRAFIA SUBMARINA</p> <p>FOTOGRAFIA A CURTA DISTÂNCIA</p> <p>FOTOGRAFIA TERRESTRES</p> | <p>ESTEREOANÁLISE EM PEÇAS SUBMERSAS</p> <p>MEDIÇÕES SOBRE PARES DE FOTOGRAMAS, OBTIDOS COM CÂMARAS MÉTRICAS, SEMI-MÉTRICAS E NÃO MÉTRICAS.</p> <p>MEDIÇÕES SOBRE PARES DE FOTOGRAMAS DO RELEVO TERRESTRE OU DE ESCAVAÇÕES</p> | <p>IDENTIFICAÇÃO E MEDIÇÃO DE: AMASSAMENTOS, PONTOS DE CORROÇÃO, OVALIZAÇÃO DE TUBOS, RASCOS, DESGASTE DE ANODOS, OUTROS.</p> <p>MAPEAMENTO PLANIALTIMÉTRICO DE ÁREAS</p> <p>MEDIÇÕES DE ÁREAS E VOLUMES</p> <p>LEVANTAMENTOS DETALHADOS DE LOCAIS INACESSÍVEIS</p> <p>MEDIÇÃO DE DEFORMAÇÕES</p> <p>DETERMINAÇÃO DE FORMAS ESPECIAIS</p> |

AVALIAÇÃO DA EXATIDÃO DE DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS

Eng^o Dinarte Francisco Pereira Nunes de Andrade.

Resumo

São propostos critérios para a avaliação da exatidão e da precisão de documentos cartográficos, com base no Decreto 88817, de 20 de junho de 1984. Para tal, definem-se conceitos de exatidão e de precisão que sejam aplicáveis às cartas e recomenda-se a adoção de critérios estatísticos que, conjugados a uma interpretação adequada do texto legal, permitam a execução de testes classificatórios. Ainda, é proposta a pré-classificação de cartas, mediante um procedimento de cumprir-se especificações técnicas para cada fase do projeto, de forma que a composição dos erros, assim previstos, resulte num erro total aquém dos padrões estabelecidos.

Agradecimentos

Ao companheiro Eng^o Victor Emmanuel Cunha de Alencar Saboya, pela contribuição prestada à elaboração deste trabalho, através da discussão de idéias e de sugestões, sempre oportunas e valiosas.

Sumário

1. Introdução
2. Exatidão e Precisão
3. Fundamentos Estatísticos da Avaliação de Cartas
4. Interpretação do Decreto 88 817
5. Critérios Estatísticos para a Avaliação
6. Avaliação da Exatidão e da Precisão
7. Conclusão

1. Introdução

Na prática cartográfica em apoio a obras de engenharia, ocorre com certa frequência a necessidade de se avaliar a exatidão das cartas disponíveis, o que pode se transformar num ponto crítico de todo o projeto.

Até hoje, tal avaliação tem sido feita por tentativas, sem um completo respaldo, em normas técnicas brasileiras consolidadas.

Somente com o Decreto nº 88 817, de 20 de junho de 1984, passou-se a ter um embasamento técnico e legal para a classificação de documentos cartográficos, quanto à sua exatidão. Este, no

entanto, carece de normas complementares para o seu perfeito entendimento e cumprimento, faltando ser fixada uma metodologia para a execução de operações de campo e de gabinete, que permita um seguro enquadramento do produto em uma das classes especificadas no Decreto ou, caso não alcance, que possibilite estimar o erro a temer em seu uso.

Em (1), seu autor propõe uma metodologia com este fim, rompendo a inércia que envolvia a questão. Pela abordagem ali exposta, caso toda carta fosse testada, antes de sua edição, não haveria necessidade de testes posteriores. Ocorrem, aí, três situações que merecem nossa atenção:

- os inúmeros produtos já existentes, que não foram testados;
- os custos envolvidos, em testes feitos conjuntamente com a carta, que apontam para uma certa dificuldade em adotar-se tal procedimento;
- o fato de que qualquer ponto, determinado na fase de apoio à fotogrametria, contribuiria para um melhor ajuste da aerotriangulação, sendo, portanto, questionável deixá-lo à margem para fins de teste.

Tais considerações nos levam a crer que seria mais conveniente optar-se por um procedimento de cumprir especificações técnicas, para cada fase do projeto, de forma que a composição dos erros, assim previstos, resultasse num valor aquém das especificações desejadas. Este procedimento tem base teórica em (2), (3) e (4), e pensamos que seria suficiente, para uma pré-classificação da carta, com o aval da organização editora.

Quanto aos testes, só os recomendaríamos para situações específicas, em que se fizessem necessários.

2. Exatidão e Precisão

O termo "exatidão" é aqui usado em consonância com o Decreto nº 88 817, visando a manter-se uma uniformidade terminológica. Nesta acepção, encaramo-lo como sinônimo da palavra "acuracidade" que foi por nós proposta já há algum tempo (5), ou ainda de "acurácia", segundo (6). Portanto, deve-se entendê-la como o afastamento que a carta, como um todo, teria da verdade topográfica.

Quanto à precisão da carta, é necessário dizer-se, antes de mais nada, que este termo era anteriormente usado, na literatura técnica brasileira, com o mesmo significado de "exatidão", e, ainda assim, ocorre com certa frequência. Modernamente, contudo, ac-

No corpo deste trabalho, entenda-se por "cartas" qualquer tipo de documento cartográfico (N.A.)

procurar-se uma perfeita distinção entre medida da dispersão e do afastamento do valor verdadeiro (real ou estimado), é preferível evitar o uso de uma palavra pela outra. Assim, guardamos "precisão" para referirmo-nos, unicamente, à dispersão de valores observados, no caso, dos erros nos vários pontos da carta.

A perfeita distinção entre os dois conceitos está suficientemente estabelecida em (7), (5) e (1). A maneira como entendemos que eles devam ser aplicados à cartografia é exposta nos itens 3 e 6 deste trabalho, em detalhe.

3. Fundamentos Estatísticos da Avaliação de Cartas

A Estatística fornece o embasamento teórico para considerarmos a média de n observações como o valor mais provável da grandeza medida. É ela quem nos dá o desvio padrão como um índice de dispersão dos valores observados.

A Teoria dos Erros, quando trata dos erros acidentais, utiliza a Estatística, dado o caráter aleatório dos mesmos.

No caso da avaliação de cartas, a variável observada (x_i) é a diferença entre o valor tido como verdadeiro e o valor extraído da carta, seja de uma altitude, seja de uma posição planimétrica, sendo, assim, o erro de cada ponto testado.

Supondo-se a adequabilidade da amostra, a inexistência de erros sistemáticos e uniformidade no padrão adotado para uma determinada carta, teremos que a média \bar{x} , dos erros acidentais, tenderá a zero, quando o número de observações tender ao infinito, uma vez que a oscilação de sinais, com valores absolutos, aproximadamente iguais, tende a anular o efeito conjunto.

Se acharmos uma média \bar{x} que seja, *significativamente*, diferente de zero, guardadas as condições acima expostas, estaremos, então, em presença de erro sistemático. Por outro lado, os erros acidentais x_i terão uma certa oscilação em seus valores. Sendo normal a distribuição destes erros, ela seguirá a curva de Gauss e a amplitude desta oscilação será medida por (σ), isto é, pelo desvio padrão.

Este, também chamado erro padrão ou erro médio quadrático, termos estes que encontram abrigo no já citado Decreto 88817, nos diz que, se realizarmos novo teste, na carta, guardadas as mesmas condições experimentais, haverá uma probabilidade de 68,26% de que os erros encontrados caíam no intervalo por ele limitado. Tem-se, pois, que σ mede a dispersão dos erros observados na carta.

Isto posto e reportando-nos aos conceitos de exatidão e precisão, concluímos que, testados n pontos de uma carta, a média \bar{x} , dos erros obtidos, representa sua *exatidão*, enquanto o desvio padrão (σ) indica a *precisão* da mesma.

Uma interpretação prática destes índices nos diz que \bar{x} estima o erro da carta como um todo, em relação ao padrão tido como verdadeiro e usado no teste, enquanto σ avalia a consistência interna da carta, ou seja, o comportamento de cada ponto em relação aos demais; por isto, ocorre emprestar a σ a denominação de "precisão interna", contrapondo-se a \bar{x} , que mediria a "precisão externa". Preferimos, entretanto, usar os termos precisão e exatidão, pela razão já citada de uniformidade terminológica.

4. Interpretação do Decreto Nº 88 817

Este Decreto estabelece em seu Art. 8º: "noventa por cento dos pontos bem definidos numa carta, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão

Cartográfico — Planimétrico — estabelecido". Para a altimetria, a redação é semelhante, referindo-se aos pontos obtidos por interpolação das curvas de nível. No § 12 do mesmo artigo, o PEC é definido como um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% de probabilidade, que define a exatidão dos trabalhos cartográficos". No 2º, é transcrita a relação $PEC = 1,6449 \cdot EP$, onde EP é o erro padrão, o qual, segundo o § 4º, é equivalente ao erro médio quadrático ou ao desvio padrão. Sendo assim, a relação transforma o nível de probabilidade de 90% no de 68,26%.

Tem-se, pois, que os dois índices — PEC e EP — são conversíveis, facilmente, tendo-se apenas que tomar o cuidado de não tomar um pelo outro, inadvertidamente, e manter em mente que ambos medem a dispersão de uma distribuição normal. Comparando-se, agora, essas declarações do Decreto com os fundamentos estatísticos, percebe-se que, em outras palavras, esse instrumento legal preconiza que os erros encontrados em uma carta, deverão ter uma dispersão igual ou inferior ao valor $PEC/1,6449$, ou seja, que o desvio padrão seja $\sigma \leq EP$.

Curiosamente, no entanto, não é exigida, explicitamente, no Decreto, qualquer condição relativa à exatidão, que, conforme nossa definição, estaria indicada pela média dos erros achados. Além disso, o § 1º, acima transcrito, incorre numa aparente contradição, quando estabelece o PEC como um indicador de dispersão — portanto de precisão — que "define a exatidão dos trabalhos cartográficos".

Levantemos, primeiramente, esta contradição. Entendemos que, embora não explicitamente, seja considerada, no Decreto, a ausência de erro sistemático, vale dizer, que $\bar{x} = 0$. Nesta situação, realmente o PEC ou σ passa a medir, *também*, a exatidão, desde que se admita que uma baixa precisão invalida a exatidão presumida (ver item 6). Neste caso, a condição de exatidão passa a ser:

$$(\bar{x} \pm \sigma) = (0 \pm \sigma) \leq \frac{PEC}{1,6449} \text{ ou } \sigma \leq EP$$

Contudo, na prática, poderá ocorrer que $\bar{x} \neq 0$. Nesta hipótese, nos parece evidente que a condição de exatidão - e de precisão - passa a ser, de forma genérica:

$$(\bar{x} \pm \sigma) \leq EP$$

Destas últimas considerações, conclui-se, ainda, não ser suficiente testar se 90% dos pontos possuem erro menor que o PEC: é necessário, também, verificar se a média dos erros aproxima-se ou não do zero, apesar de isto não estar explícito no Decreto em causa.

Finalmente, há que se ressaltar que o uso, pelo Decreto, de parâmetros estatísticos, referentes à distribuição normal de Gauss, implica a necessidade de os erros encontrados, no teste, se adaptarem a esta conformação, sendo este outro critério não explícito, mas de suma importância na correta aplicação da legislação.

5. Critérios Estatísticos para Avaliação

No escopo deste trabalho, é nossa intenção, apenas, chamar a atenção para o fato que o projeto de um teste de avaliação de cartas deve ser feito segundo critérios estatísticos adequados.

Assim, a configuração da amostra deve ser prevista, quantitativa e qualitativamente, de forma a bem representar o universo, no caso o dos erros existentes na carta.

O aspecto quantitativo torna-se crítico, se relacionarmos com pontos isolados de teste, recaindo-se, quase que necessariamente, no caso de pequenas amostras, que foi analisado em (1).

A adoção de seções topográficas, no lugar de pontos isolados, possibilita a existência de muitas observações, a um custo relativamente baixo, ao mesmo tempo que, nos parece, atende melhor ao aspecto qualitativo. Não obstante, este deve ser sempre cuidado, distribuindo-se as seções ou pontos isolados por regiões, topograficamente, distintas, de maneira a representar toda a área, sem tendenciosidade.

Já na fase de processamento de dados, é imprescindível testar-se a amostra quanto à normalidade da distribuição; se não for normal, deverá ser normalizada, segundo critérios estatísticos correntes; caso não se consiga fazê-lo, estaremos diante de elementos perturbadores que invalidam o prosseguimento do teste. Esta situação pode ocorrer devido à presença de erros sistemáticos agindo, diferentemente, nos vários pontos de teste (por exemplo, deformações devidas à aerotriangulação), o que exigiria uma avaliação especial da carta ou sua condenação, pura e simples, em casos extremos.

Como vários critérios estatísticos podem ser usados, quer para dimensionar amostras, quer para testar sua normalidade, ou ainda, quando se tratam de pequenas amostras, cremos que caberia à Comissão de Cartografia baixar normas a respeito, para manter a uniformidade de procedimentos.

6. Avaliação da Exatidão e da Precisão

Já se viu, no item 4, que a exatidão e a precisão seriam avaliadas através da expressão:

$$(\bar{x} \pm \sigma) \leq EP$$

Inicialmente, deve-se verificar se o afastamento $\Delta\bar{x}$ de \bar{x} , do valor ideal zero, é significativo, caso em que estaria sendo sugerida a existência de erro sistemático na carta, vale dizer, que estaria com sua exatidão comprometida. Para isto, pode ser adotado o critério de Student:

- calcula-se o valor t:

$$t = \frac{\Delta\bar{x}}{s} \sqrt{n-1}, \text{ onde } s \text{ é a variância amostral;}$$

- Obtém-se t_{α} da tabela de distribuição de Student, com um nível de confiança escolhido (sugere-se 90%);
- Comparam-se os dois resultados e, se $t < t_{\alpha}$, o afastamento não é significativo.

Podem ocorrer, então, as seguintes situações:

- $\Delta\bar{x}$ significativo:
 - ($\bar{x} \pm \sigma$) \leq EP - carta inexata e precisa
 - ($\bar{x} \pm \sigma$) $>$ EP - carta inexata e imprecisa
- $\Delta\bar{x}$ não significativo:
 - ($\bar{x} \pm \sigma$) \leq EP - carta exata e precisa
 - ($\bar{x} \pm \sigma$) $>$ EP - carta exata e imprecisa

O último caso é de classificação discutível e a maioria dos autores, como em (1) e (7), prefere admitir que a imprecisão importa em falta de exatidão, ainda que a estimativa desta, esteja boa. Esta é, também, a nossa opinião e, segundo o raciocínio que desenvolvemos no item 4, parece ser o critério usado no Decreto 88 817.

Observe-se agora que o critério de exatidão, apoiado na significância do afastamento da média, independe do PEC, razão pela qual o primeiro dos casos acima pode ser criticado, pois ele

classifica a carta como inexata, apesar de $(\bar{x} \pm \sigma)$ ser menor que o erro padrão adotado, o que contraria o estabelecido na legislação.

Em assim sendo, sem descartarmos, totalmente, o seu uso como um avaliador da exatidão, para fins de classificação oficial da carta, há que se adotar outro critério, de preferência com uma aplicação prática e que não fuja do texto legal. Sugerimos, aqui, o seguinte:

1º Caso

Situação: carta exata e precisa - totalmente confiável dentro dos padrões estabelecidos.

Condições: $(\bar{x} \pm \sigma) \leq EP, \bar{x} \leq EP, \sigma \leq EP$

2º Caso

Situação: carta não exata porém precisa - não confiável, segundo os padrões adotados, em relação ao referencial usado como verdade terrestre, mas confiável internamente, ou seja, as diferenças de coordenadas entre seus pontos é confiável.

Condições: $(\bar{x} \pm \sigma) > EP, \bar{x} > EP, \sigma \leq EP$

3º caso

Situação: carta inexata e imprecisa - não confiável, quer externa, quer internamente, conforme os padrões aceitos.

Condições: $(\bar{x} \pm \sigma) > EP, \bar{x} < EP, \sigma > EP$

A sugestão acima carece de crítica. Pensamos, também, que caberia à COCAR uma definição sobre o assunto.

Vejam agora outro aspecto do problema. Embora os conceitos de exatidão e precisão, aqui usados, estejam de acordo com os apresentados em (1), os estimadores, para a precisão, divergem. Enquanto julgamos ser σ este estimador, lá é indicado o erro médio quadrático, total previsível, M.

Convém nos determos um pouco neste ponto, pois trata-se dum terreno escorregadio, em que o emprego de certos termos idênticos para entidades diversas causa muita confusão.

Sabemos que σ é o desvio padrão ou erro médio quadrático ou ainda erro padrão (EP), quando no escopo da Teoria dos Erros. Portanto, é procedente relacionar-se M com EP. Vejamos porém como surge M, para melhor interpretarmos sua natureza.

Em cada fase da construção de uma carta — campo, aerotriangulação, etc — admite-se a ocorrência de erros acidentais. Experimentalmente, são determinados os limites dentro dos quais esses erros deverão ocorrer, normalmente referidos a um nível de confiança de 68,27%. Esses limites, M_i , serão pois erros médios quadráticos, conforme (2), (3) e (4).

Para calcular a resultante de todos os erros, admite-se como simplificação satisfatória um modelo de propagação linear, e tem-se que $M = \sqrt{\sum M_i^2}$

Do exposto, conclui-se que é previsto que a carta a ser feita, se for testada, deverá apresentar "68,27% dos pontos testados com erro inferior a M" ou, o que dá no mesmo, com 90% dos erros menores que 1,6449.M.

Sendo assim, fica claro que, ao projetarmos M, teremos que ter, nos casos obrigatórios por lei, $M \leq EP$, para a classe de carta considerada. Ora, da mesma forma que o Decreto, o projeto não "prevê" a existência de erros sistemáticos e, portanto, M mede a precisão e a exatidão "a priori" da carta, isto por um raciocínio análogo ao que desenvolvemos no item 4. Em consequência, e esta é uma conclusão importante, se quisermos comparar M com os resultados efetivos de um teste, devemos fazê-lo com $(\bar{x} \pm \sigma)$ e não apenas com σ , afirmação esta coerente com nossa tese sobre a avaliação de cartas ora apresentada. Assim, se o projeto e a construção da carta estiverem corretos, devemos obter, em um teste:

$$(\bar{x} \pm \sigma) \leq M \leq EP$$

7. Conclusão

Há uma urgência de ordem prática, que exige a adoção oficial de critérios para a avaliação da exatidão e da precisão de documentos cartográficos. Procuramos, aqui, dar a nossa contribuição, somando nossos esforços aos anteriormente já feitos, no sentido de fornecer à COCAR subsídios que lhe permitam um pronunciamento oficial a respeito. Cremos que as divergências entre os vários autores, naturais em um assunto desta natureza, enriquecem a discussão do problema, permitindo que seja atingida uma solução ideal.

Nossa proposta se resume em dois itens:

- fazer a pré-classificação das cartas, com base em especificações técnicas, para cada fase do projeto, utilizando o erro médio quadrático M como limite máximo resultante;
- quando necessário, realizar testes usando um número significativo de pontos, preferencialmente organizados em seções do terreno, adotando-se a expressão $(\bar{x} \pm \sigma) \leq EP$, para classificação conforme se segue:
 - $\bar{x} \leq EP, \sigma \leq EP$ - carta exata e precisa
 - $\bar{x} > EP, \sigma \leq EP$ - carta inexata mas precisa
 - $\bar{x} > EP, \sigma > EP$ - carta inexata e imprecisa

Referências Bibliográficas

1. BRITO, Jorge Luís Nunes e Silva. Proposta de Metodologia para a Classificação de Documentos Cartográficos.
2. ANDRADE, Dinarte F. Pereira Nunes de. Tópicos de Construção de Cartas.
3. NOTARI, José Moura. Seleção de Instrumentos Fotogramétricos.
4. CARVALHO, Fernando Rodrigues de. Error Prediction and Computation in Photogrammetric Flight Planning - a thesis.
5. ANDRADE, Dinarte F. Pereira Nunes de. Terminologia da Avaliação de Trabalhos Cartográficos.
6. FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. Novo Dicionário da Língua Portuguesa.
7. CULLEY, Frank L.. Resolution, Precision and Accuracy.

Bibliografia

1. ANDRADE, Dinarte F. Pereira Nunes de. Tópicos de Construção de Cartas, edição provisória. Rio de Janeiro, Instituto Militar de Engenharia, 1981.
2. ANDRADE, Dinarte F. Pereira Nunes de. "Terminologia da Avaliação de Trabalhos Cartográficos" in Revista Brasileira de Cartografia nº 16. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Cartografia, out/dez 1976.
3. BRITO, Jorge Luís e Silva. Proposta de Metodologia para a Classificação de Documentos Cartográficos. Porto Alegre, 1ª Divisão de Levantamento/Diretoria de Serviço Geográfico - M. Ex., 1985.
4. CARVALHO, Fernando Rodrigues de. Error Prediction and Computation in Photogrammetric Flight Planning - a thesis. Ohio, EUA, The Ohio State University, 1972.
5. CASTELLO BRANCO FILHO, Moisés. Avaliação da Precisão de uma Carta pelo Erro Médio Quadrático. Rio de Janeiro, Diretoria do Serviço Geográfico/M. EX., 1968.
6. CERNUSCHI, Félix & Greco, Francisco I. Teoría de Errores de Mediciones. Buenos Aires, Editorial Universitaria de Buenos Aires, 1968.
7. CULLEY, Frank L. Resolution, Precision and Accuracy. EUA, U.S. Army Topographic Command, 1969.
8. FERREIRA Aurélio Buarque de Holanda. Novo Dicionário da Língua Portuguesa, 1ª edição, 10ª impressão. Rio de Janeiro, Editora Nova Fronteira, 1975.
9. LEME, Ruy Aguiar da Silva. Curso de Estatística, Elementos. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico, 1963.
10. MENEZES, Paulo Márcio Leal de et alii. "Aferição de Cartas - um alerta e uma proposta de estudo" in Anais do 13º Congresso Brasileiro de Cartografia, pag. 537, Brasília, Sociedade Brasileira de Cartografia, 1987.
11. NOTARI, José Moura. Seleção de Instrumentos Fotogramétricos. Rio de Janeiro, Instituto Militar de Engenharia, 1969.

APLICAÇÕES DO GPS NO BRASIL: AS PRIMEIRAS EXPERIÊNCIAS COM EQUIPAMENTO WILD-MAGNAVOX WM-101

Herbert Erwes
Wild Brasil Instrumental Técnico Ltda
Rua Campos Sales, nº 135
CEP. 20270 - Rio de Janeiro - RJ, Brasil

Resumo

São apresentados os resultados de rastreamento de satélites GPS, em modo diferencial (o de dois receptores) das seguintes campanhas, no período entre 26 de abril e 18 de junho do ano passado:

- 1) UFPR - AERODATA, Curitiba
Linha de Calibração de distanciômetros eletrônicos da UFPR
- 2) USP/IAG - TERRAFOTO, São Paulo
Rede de triangulação de 1ª ordem no IBGE, na região de São Paulo (7 vértices)
- 3) IBGE - 2ª DL/DSG, Brasília
Rede de triangulação de 1ª ordem do IBGE, na região de Brasília (4 vértices)
- 4) IBGE - Rio de Janeiro e Niterói
Rede de triangulação de 1ª ordem do IBGE, na região do Rio de Janeiro (3 vértices)
- 5) PETROBRÁS, Macaé, Rio de Janeiro
Posicionamento de 2 plataformas marítimas, na Baía de Campos, com referência em vértice de 1ª ordem do IBGE
- 6) IME - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro
Ajustamento de uma rede Geodésica de 4 vértices, através de Trilateração, Espacial (Projeto de fim de curso)

Abstract

This paper presents the results of GPS satellite tracking, in relative mode (base-lines), on the following campaigns during April 26 to June 18, 1988:

- 1) UFPR - AERODATA, Curitiba
Calibration line for electronic distancer measurers of UFPR
- 2) USP/IAG - TERRAFOTO, São Paulo
1st order triangulation network of IBGE, São Paulo area (7 stations)
- 3) IBGE - 2ª DL/DSG, Brasília
1st order triangulation network of IBGE, Brasilia area (4 stations)
- 4) IBGE - Rio de Janeiro & Niterói
1st order triangulation network of IBGE, Rio de Janeiro area (3 stations)

- 5) PETROBRÁS, Macaé, Rio de Janeiro
Relative positioning of 2 off-shore platforms in the Campos oil-field, with reference to a 1st order network station of IBGE
- 6) IME - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro
Adjustment of a 4 station geodesic network by spacial trilateration (Project of graduation thesis)

1) Introdução

Os trabalhos de medição de campo, com emprego de rastreadores WILD-MAGNAVOX WM-101, de maneira diferencial, foram executados durante sete semanas, entre 26 de abril e 18 de junho do ano passado. Algumas campanhas foram realizadas com a cooperação de várias instituições governamentais e presas; aliás, estas operações não poderiam ter sido executadas sem ajuda das mesmas.

Nos meses seguintes, os dados de campo foram processados por programa PoPS (Post Processing Software) WILD-MAGNAVOX, novamente com a colaboração de várias instituições e empresas.

Vale mencionar que quase todas as medidas de rastreamento foram realizadas durante a noite (17 noites no total), sendo 5 noites foram seguidas, pois, à época, a disponibilidade de mais satélites só existia durante as horas noturnas (janela de observação).

2) Experiências e Recomendações

2.1) Planejamento de Missões de Campo

De acordo com a visibilidade de satélites NAVSTAR (ver figura 1) foram planejados os períodos de ocupação das estações, i.e., os tempos de observações simultâneas de linhas de base "baseline", a indicação da estação fixa e as de mudanças do rastreador itinerante para outra estação.

Na época, concluiu-se que um período de 60 minutos de observações simultâneas seria necessário e suficiente para fins de obter uma precisão de 10mm + 2ppm para determinação de distâncias de linhas de base, num raio de 30km.

Além do limite estabelecido acima, e em virtude do receptor só dispor de 1 (uma) frequência — L1 — a correção de efeitos ionosféricos não é completa.

2.2.) Rastreamento no Campo

Na realidade, as campanhas planejadas nem sempre tiveram os resultados esperados, pelos seguintes motivos:

2.2.1.) dificuldades de acesso às estações, durante a noite, causando atrasos no início do rastreamento.

2.2.2.) os vértices da rede de 1ª ordem do IBGE e de outras redes, às vezes encontram-se em condições não adequadas para uma boa recepção de sinais de satélites, devido a:

- obstruções de visibilidade acima de um ângulo de elevação de 15°, por árvores e outros obstáculos.
- torres de transmissão muito próximas e emissões de sinais.
- monumentos ao lado do vértice que provocam reflexos de sinais ou ocultamento do satélite.

Estes obstáculos resultaram nos chamados "Cycle Slips" e em ruídos de sinal que deveriam ser eliminados, posteriormente, na fase de processamento e, conseqüentemente, reduzindo a quantidade de observações disponíveis.

2.2.3.) em alguns casos, falta de comunicação entre as turmas de campo.

2.2.4.) falhas dos satélites.

2.2.5.) geometria da constelação de satélites não adequada, i.e., altos valores de PDOP e GDOP.

2.2.6.) quantidade de satélites imprópria devido ao encerramento da janela de observação.

Baseados nestas experiências, apresentamos as seguintes recomendações:

- se forem ocupados os vértices de redes existentes, que não ofereçam as condições necessárias de recepção de sinais, recomenda-se o uso de estações excêntricas, por exemplo, por determinação de elementos de centragem, mediante uma mira horizontal de invar, em relação aos marcos de azimute.

A comunicação entre as turmas de campo é uma necessidade vital, pois economiza baterias e memória do rastreador, podendo até resolver problemas de operação do rastreador.

2.2.7) quanto ao equipamento WM-101, vale mencionar:

- facilidade de operação, sendo que todos os operadores foram instruídos em pouco tempo, antes de iniciar as campanhas.
- receptor compacto e fácil de transportar. A bateria interna permite, no mínimo, 2,5 hs de rastreamento e, por isso, em muitos casos, pode ser dispensada a necessidade de uma bateria externa pesada.
- grande resistência do receptor contra chuva, umidade e choques. Numa das missões, um receptor sofreu uma queda durante seu transporte e, comprovando seu alto poder contra choque, voltou a funcionar normalmente. Oportuno salientar que um receptor trabalhou durante horas a fio sob intensa chuva.
- o posicionamento da antena, acima do marco, é muito preciso, graças ao sistema de centragem com prumo ótico, da WILD,

e um dispositivo de medição de altura da antena, torna muito mais fácil esta tarefa.

2.3.) Processamento de Dados

Logo em seguida às medições de campo, começou o processamento dos dados, através do programa PoPS (Post Processing Software), desenvolvido, em sua maior parte, pelo Instituto Astronômico da Universidade de Berna, Suíça. O programa PoPS processa-se em qualquer computador compatível com o IBM-PC (XT ou AT).

Os cálculos por PoPS são separados nos seguintes segmentos:

2.3.1.) Transferência de dados

Dados gravados, no campo, em fitas-cassete, transferidos para disco ou disquete do computador, mediante leitura de fitas-cassete da marca MEMTEC 5450 XL, ou transferidos diretamente do receptor.

2.3.2.) Fase de pré-processamento

Nesta fase, são, automaticamente, detectados e eliminados os "Cycle Slips".

Nas nossas campanhas, eram muitos os casos de observações repletas de "Cycle Slips", misturados com ruídos de dados de observações (altos resíduos de diferenças duplas). Nestes casos, fomos obrigados a eliminar estas deficiências e suprimir, completamente, as observações desse satélite, processo este demorado, que deve ser repetido várias vezes.

Realizando esta fase, conclui-se claramente:

- estações que não oferecem uma boa qualidade de recepção de sinais;
- aumentam o tempo necessário para o processamento de dados.

Recomenda-se escolher as estações de rastreamento e suas épocas com muito cuidado.

2.3.3.) Computação

Neste segmento, são resolvidas as ambigüidades e calculadas as coordenadas, as distâncias e os resíduos.

Aqui encontramos nossos maiores problemas:

A resolução de ambigüidades.

Devido aos insuficientes tempos de observação as grandes distâncias e, ainda, as eliminações de (já poucas) observações na fase de pré-processamento, em alguns casos não foi possível resolver todas as ambigüidades. (ver tabelas: Resultados).

No seu livro (5), pag. 285, o Prof. Seeber recomenda um período de observação entre 1 (uma) e até 3 (três) horas — em função da distância — para fins de resolver ambigüidades, por método geométrico.

Na mais recente publicação da Joan Yau (7), são feitas investigações sobre a resolução de ambigüidades, nas observações com receptores de duas frequências (L1 + L2).

Em resumo: 45 a 60 minutos de boa observação, são necessários e suficientes para resolver este problema, em distâncias acima de 100 km.

2.3.4.) Ajuste

Para ajuste de figuras fechadas, por exemplo, de um quadrilátero com diagonais, na campanha do IME, aplicamos o seguinte programa:

"Post-baseline Adjustment Program", do Prof. José Bittencourt de Andrade, da Universidade Federal do Paraná.

Provavelmente, devido aos problemas de resolução de ambigüidades, em alguns lados de figuras fechadas, encontramos erros de fechamentos de até 6 decímetros.

2.3.5.) Transformação

Nesta última fase de processamento, as coordenadas determinadas no sistema WGS 84 são transformadas em sistema SAD 69 - Datum Geodésico, adotado no Brasil.

Por determinação do Prof. G. Seeber, a orientação da rede nacional (em SAD 69) seria feita mediante o uso dos seguintes elementos:

- um ponto idêntico (a estação fixa).
- o paralelismo entre os eixos dos sistemas WGS e SAD 69.

Então, o procedimento foi adotado visando, sempre, os mesmos parâmetros de translação, em uso até início de 1988, no Brasil (7, Souto Fortes Blitzkow 1987). Os parâmetros de translação do WGS 72/84 para o SAD 69, usados nesta publicação, são os seguintes:

$$\begin{aligned} T_x &= 65,08\text{m} \\ T_y &= - 3,95\text{m} \\ T_z &= 37,63\text{m} \\ \text{Alturas geoidais} &= \text{variáveis} \end{aligned}$$

Ratificando, as três fases são:

2.3.5.1.) Antes do processamento e fora do PoPS

- transformar a altitude ortométrica, da estação fixa, em altitude elipsoidal (SAD 69)
- transformar as 3 coordenadas, em sistemas SAD 69, da estação fixa, em sistema WGS 72/84

2.3.5.2.) Durante a fase de computação pelo PoPS:

- introduzir as coordenadas calculadas, anteriormente, em sistema WGS 72/84 para a estação fixa
- calcular as coordenadas da rede GPS em sistema WGS 84

2.3.5.3.) Depois, no segmento de transformação pelo PoPS:

- transformar as coordenadas de todos os pontos da rede GPS, de WGS 84 para SAD 69
- transformar as altitudes elipsoidais (SAD 69) em altitudes ortométricas

É claro que este procedimento vale somente para áreas limitadas, onde não ocorram variações de alturas geoidais.

4) Conclusões

Terminados os cálculos, podemos chegar às seguintes conclusões:

- O posicionamento, por NAVSTAR/GPS, oferece às precisões necessárias para uma rede fundamental nacional (10 ppm), quando as exigências (quantidade de satélites, geometria de sua constelação e tempo suficiente de observações) sejam cumpridas. (6, Souto Fortes, Blitzkow, 1989).
- As determinações de coordenadas por GPS, para fins de apoio de campo, para diversos tipos de levantamentos, têm suficiente

precisão, com menos exigências para as observações, como no caso anterior.

5) Agradecimentos

O autor agradece muito aos colaboradores das campanhas de campo, sem os quais as observações não seriam realizadas.

Também estende seus agradecimentos à:

- IME, Rio de Janeiro
- USP-IAG, São Paulo
- AERODATA, Curitiba
- 2ª DL/DSG, Brasília
- IBGE, Rio de Janeiro
- PETROBRÁS-DEGEOD, Macaé, Rio de Janeiro
- PROSPEC, Petrópolis
- AEROSUL, Curitiba
- TERRAFOTO, São Paulo
- AEROFOTO CRUZEIRO, Rio de Janeiro

que possibilitaram o processamento das observações pelo programa PoPS, em suas instalações.

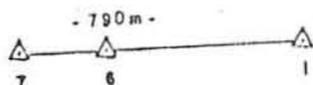
6) Referências Bibliográficas

- 1) AZEVEDO CAMPOS, M.
1º Relatório do Projeto Rastreamento com Receptores GPS, Curitiba, 1988
- 2) HOTHEM, L. D.
Summary Report on Test and Demonstration of the WM 101 GPS Satellite Surveying System and Processing Software.
FGCC - Federal Geodetic Control Committee Rockville, Maryland Febr. 1989.
- 3) IME - INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA
Aplicações Práticas do Sistema de Posicionamento Global em Levantamentos de Redes Geodésicas, através da Trilateração Espacial, Rio de Janeiro, Dez. 1988.
- 4) SHERRER R.
The WM GPS Primer
WM Satellite Survey Company, Heerbrugg, 1987.
- 5) SEEBER G.
Satelliten- Geodaesie
Verlag de Gruyter, Berlin, 1989.
- 6) SOUTO FORTES L. P., BLITZKOW D.
Geodetic Positioning Experiments with NAVSTAR/GPS in Brazil
5th International Geodetic Symposium of Satellite Positioning, Las Cruces, Mar. 1989.
- 7) SOUTO FORTES L. P., BLITZKOW D.
As Alturas Geoidais Doppler e os Modelos de Grau Elevado do Potencial Gravitacional
Cadernos de Geociências nº 1, IBGE, 1987.
- 8) YAU J.
Investigations of WM 102 Dual Frequency Receiver and Pops L1/L2 Post-processing Software
WM-News, Heerbrugg, Mar. 1989.
- 9) WM 101 Technical Reference Manual
WM Satellite Survey Company, Torrance, Califórnia, 1987.
- 10) PoPS Post-Processing Software:
Manual Version 2.01
WM Satellite Survey Company, Nov. 1987.

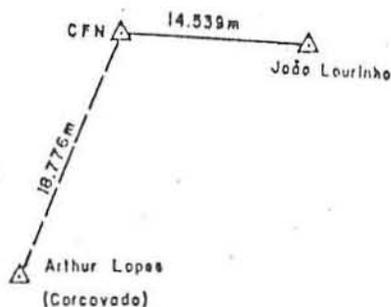
3.1-RESULTADOS

COMPARAÇÕES DE DISTÂNCIAS ELETRÔNICAS E DIFERENÇA DE NÍVEL

3.1.1 Linha de Calibração de Distanciómetros eletrônicos da UFPR, Curitiba.



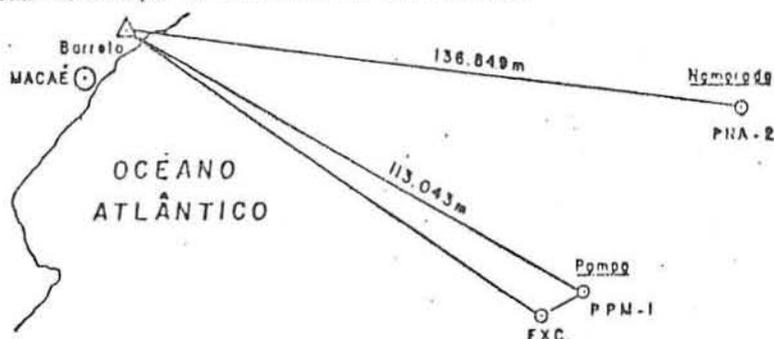
3.1.2-Rada da 1ª Ordem do IBGE, RJ.



| Lado | Dia | Tempo de observação | Número de observação | PDOP | | GDOP | | Ambiguidades | | GPS : Distâncias / Dif Nível m | GPS-Rede m |
|-------------------|-------|---------------------|----------------------|------|-----|------|-----|--------------|-----|-----------------------------------|---------------|
| | | | | Min | Max | Min | Max | Exist. | Res | | |
| 1 - 7 | 29.04 | 54 | 120 | 2,1 | 2,1 | 5,2 | 5,8 | 3 | 3 | 789,915±0,001 | 0,003 |
| 1 - 7 | 29.04 | 54 | 120 | 2,1 | 2,1 | 5,2 | 5,8 | 3 | 3 | 0,255±0,003 | 0,046 |
| CFN-João Lourinho | 28.05 | 70 | 305 | 1,4 | 2,1 | 2,8 | 8,3 | 6 | 6 | 14.538,971±0,001 | 0,011 |

Fontes: UFPR, IBGE

3.1.3-Determinação de Plataformas da PETROBRAS.



| Estação | Dia | Épocas proce. | PDOP | | GDOP | | Distâncias GPS m | GPS-ARGO m | GPS-Trilat m |
|-----------|-------|---------------|------|-----|------|-----|---------------------|---------------|-----------------|
| | | | Min | Max | Min | Max | | | |
| PMA-2 | 18.05 | 171 | 1,4 | 2,2 | 2,8 | 8,3 | 136.849,245±0,004 | 17,311 | 1,327 |
| PPM-1 | 19.05 | 111 | 1,4 | 2,1 | 2,8 | 8,3 | 113.043,136±0,009 | 0,452 | - 2,482 |
| PPM-1/Exc | 19.05 | 53 | 1,4 | 2,2 | 3,7 | 7,8 | 113.043,602±0,020 | 0,918 | - 2,016 |

Fonte: PETROBRÁS-DEGEOD, MACAÉ-RJ

Observações:

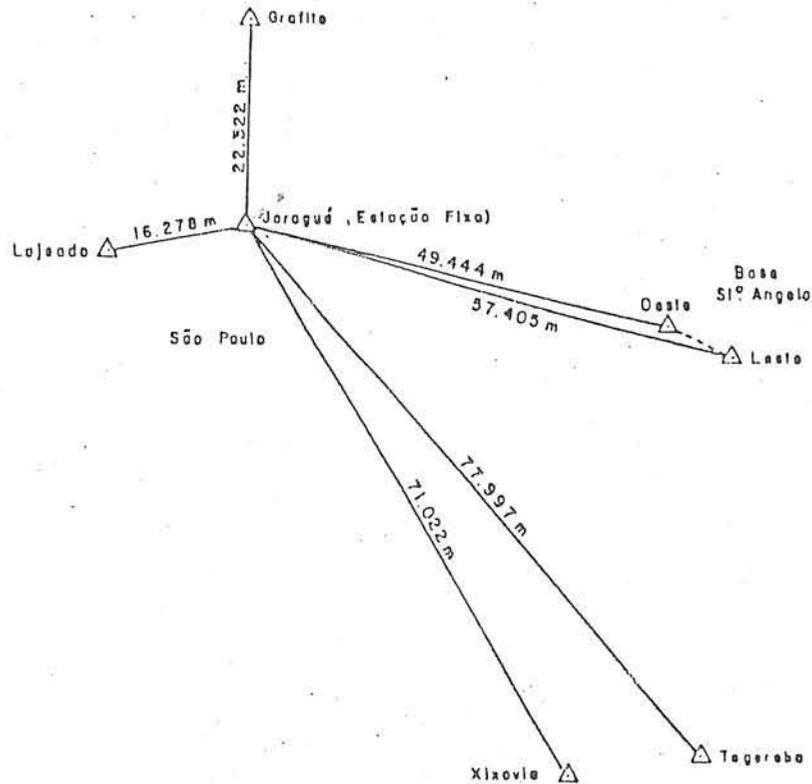
- 1) Foram eliminadas as observações do WM 101: abaixo de 30º do ângulo vertical.
- 2) Desvio padrão do posicionamento do ARGO: ± (10...15) m
- 3) Desvio padrão do posicionamento por Trilateração: ± (1,5.....2,5)m

3.2 - RESULTADOS

COMPARAÇÕES DE COORDENADAS (GPS - REDE)

REDE DA TRIANGULAÇÃO DE 1º ORDEM DO IBGE.

Região: São Paulo.



Estação fixa: Jaraguá

| Estação | Dia | Tempo de observ. minutos | Número de observ. | PDOP | | GDOP | | Ambiguidades. Ex. Res. | GPS Distâncias m | GPS - Rede | | | |
|------------------|-------|--------------------------|-------------------|------|-----|------|-----|------------------------|------------------|-----------------------|--------|--------|--------|
| | | | | Min | Max | Min | Max | | | Lat m | Lon m | Alt m | |
| Grafite | 26.04 | 56 | 223 | 1,5 | 2,2 | 2,8 | 5,9 | 5 | 5 | 22.322,354 ± 0,002 | -0,188 | -0,050 | -0,067 |
| Xixovia | 27.04 | 41 | 68 | 1,7 | 2,2 | 4,3 | 5,9 | 2 | 0 | 71.022,403 ± 0,196 | -0,180 | -1,736 | 0,049 |
| Tegereba | 27.04 | 46 | 51 | 2,1 | 2,2 | 5,2 | 5,3 | 2 | 2 | 77.996,605 ± 0,079 | -0,225 | -1,818 | -1,044 |
| Stº Angelo Leste | 28.04 | 41 | 88 | 2,1 | 2,6 | 4,8 | 5,1 | 4 | 2 | 57.404,596 ± 0,009 | -0,171 | -0,057 | 1,507 |
| Stº Angelo Oeste | 28.04 | 40 | 101 | 1,4 | 2,2 | 2,8 | 4,5 | 4 | 3 | 49.443,846 ± 0,011 | -0,155 | -0,093 | 1,566 |
| Lajeado | 28.04 | 39 | 77 | 2,1 | 2,4 | 5,2 | 5,3 | 3 | 0 | 16.278,307 ± 0,042 | 0,022 | 0,189 | -0,597 |

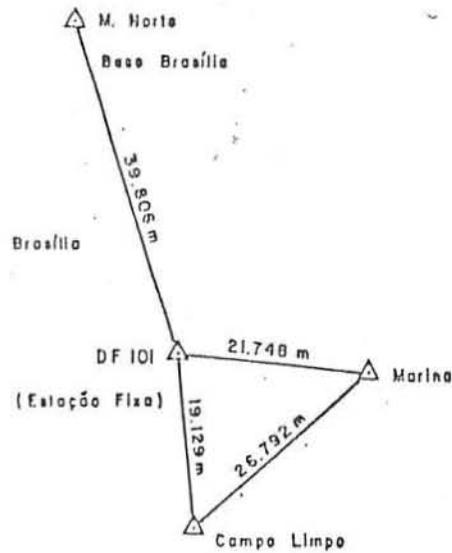
ver: (6) Souto Fortes L.P., Blitzkor D.

3.3 - RESULTADOS

COMPARAÇÕES DE COORDENADAS (GPS - REDE)

REDE DA TRIANGULAÇÃO DE 1ª ORDEM DO IBGE.

Região: Brasília.



Estação fixa: DF 101

| Estação | Dia | Tempo de observ. minutos | Número de observação. | PDOP | | GDOP | | Ambiguidades - Ex. Res | GPS Distâncias m | GPS - Rede | | | |
|-------------|-------|--------------------------|-----------------------|------|-----|------|-----|------------------------|------------------|----------------------|--------|--------|-------|
| | | | | Min | Max | Min | Max | | | Lat m | Lon m | Alt m | |
| Campo Limpo | 11.05 | 59 | 265 | 1,4 | 1,7 | 3,3 | 5,7 | 5 | 3 | 19.129,444 +0,002 | 0,259 | -0,529 | 1,298 |
| Marina | 12.05 | 50 | 205 | 2,0 | 2,2 | 3,1 | 5,7 | 4 | 4 | 21.748,016 +0,002 | -1,073 | 1,023 | 4,784 |
| M. Norte | 12.05 | 25 | 102 | 1,4 | 1,7 | 3,3 | 5,7 | 5 | 4 | 39.806,102 +0,004 | 0,100 | -0,075 | 1,560 |

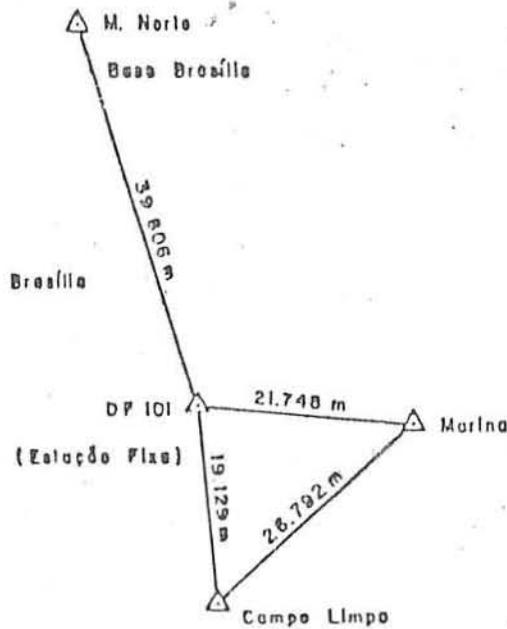
Observação:

Erros de fechamento do triângulo DF 101 - Campo Limpo - Marina:

$$[\Delta x] = 0,321 \text{ m}; [\Delta y] = 0,494 \text{ m}; [\Delta z] = 0,204 \text{ m}; \Delta s = 0,623 \text{ m}$$

3.4 - RESULTADOS
COMPARAÇÃO DE DISTÂNCIAS
GPS - TRANSIT (TRANSLOCAÇÃO)

Região: Brasília.



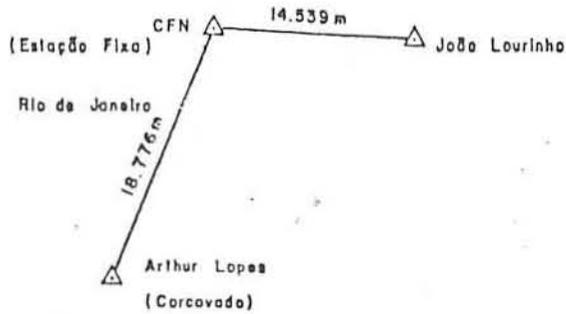
| LADO | GPS WM 101 | TRANSIT MX 1502 | GPS- TRANSIT |
|----------------------|---------------|--------------------|-----------------|
| | m | m | m |
| DF 101 - MARINHA | 21.748,016 | 21.748,01 | 0,006 |
| DF 101 - M NORTE | 39.806,102 | 39.806,10 | 0,002 |
| DF 101 - CAMPO LIMPO | 19.129,444 | 19.129,52 | -0,076 |
| MARINHA- CAMPO LIMPO | 26.791,622 | 26.792,06 | -0,438 |

Fonte: 2ª DL/DSG, 1988

3.5 - RESULTADOS

3.5.1 - COMPARAÇÕES DE COORDENADAS (GPS - REDE)

REDE DA TRIANGULAÇÃO DE 1.ª ORDEM DO IBGE - Região: Rio de Janeiro.



Estação fixa: CFN

| Estação | Dia | Tempo de observ. minutos | Número de observ. | PDOP | | GDOP | | Ambiguidades | | GPS Distâncias m | GPS - Rede | | |
|--------------------------|-------|--------------------------|-------------------|------|-----|------|-----|--------------|-----|-----------------------|------------|----------|----------|
| | | | | Min | Max | Min | Max | Ex. | Res | | Lat m | Lon m | Alt m |
| João Loureiro | 28.05 | 70 | 305 | 1,4 | 2,1 | 2,8 | 8,3 | 6 | 6 | 14.538,971 ± 0,001 | -0,024 | 0,002 | -0,130 |
| Arthur Lopes (Corcovado) | 28.05 | 65 | 122 | 2,2 | 2,5 | 5,2 | 5,4 | 3 | 3 | 18.776.631 ± 0,002 | 0,315 | 0,244 | 0,501 |

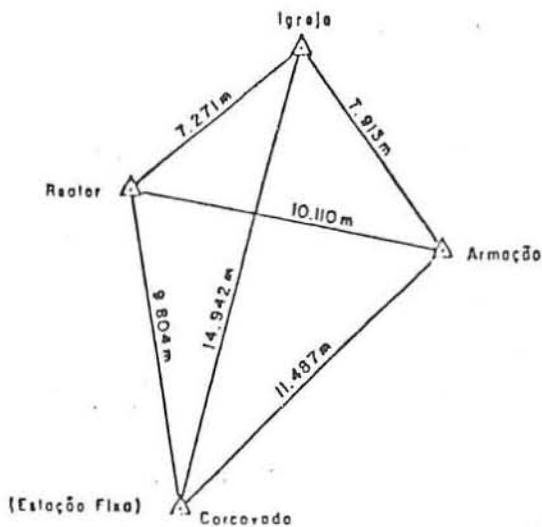
ver: (6) Souto Fortes L.P., Blitzkow D.

3.5.2 - AJUSTAMENTO DE REDE GEODÉSICA ATRAVÉS DE TRILATERAÇÃO ESPACIAL

PROJETO DE FIM DE CURSO DO IME.

Região: Rio de Janeiro.

Período: 06/05 - 18/06/1988



Fonte: (3) Projeto do IME.

TRANSFORMAÇÃO NSWC 9Z-2 — SAD 69 E MAPA GEOIDAL SAD 69

José B. de Andrade
(Universidade Federal do Paraná)

Síntese

Uma síntese dos aspectos conceituais mais relevantes para o equacionamento criterioso da transformação entre referenciais geodésicos geocêntricos e quase-geocêntricos de concepção clássica, precede a experimentação de um modelo que possibilita a determinação simultânea de parâmetros para aquele tipo de transformação e de desníveis geoidais. A conexão resolvida, operando-se com extensa massa de dados, é a NSWC 9Z-2 — SAD 69. Confecciona-se então, via "plotter", o mapa geoidal resultante, relativo ao SAD 69.

Agradecimentos

Desejamos manifestar nosso profundo agradecimento:

— Aos Eng^{os} Luis Paulo S. Fortes e Marcus Vinícius D. da Silva, do Departamento de Cálculo e Análise da Superintendência de Geodésia do IBGE, pelos seus comentários e sugestões sempre oportunos e competentes.

— Ao Eng^o Cláudio João B. dos Santos, do Centro de Informações Cartográficas da Diretoria de Geodésia e Cartografia do IBGE, por sua participação no preparo para traçado automatizado de gráficos.

— Aos Eng^{os} José Roberto D. de Novaes e Ana Lúcia B. de Freitas, do mesmo Centro de Informações Cartográficas, por sua solicitude no atendimento de certas necessidades surgidas na realização deste trabalho.

— À Diretoria de Geodésia e Cartografia do IBGE, pelo apoio que vem proporcionando, através de sua Superintendência de Geodésia, ao desenvolvimento de pesquisas aplicadas na área de Ciências Geodésicas.

1. Introdução

A determinação do geóide, relativamente ao elipsóide de referência do SAD-69 — datum geodésico horizontal adotado no Brasil — é condição básica para realização adequada do processo de redução ao datum, das observações realizadas na superfície topográfica, principalmente das medidas lineares. Essa razão, que se acrescenta a tantas outras, evidencia bem a importância das pesquisas que, no momento, se realizam, tendo em vista a confecção de um mapa de desníveis geoidais, de boa qualidade, para o SAD 69. Com efeito, a menos da limitação imposta pelos erros de observação, quanto maior o rigor observado nos processos de campo e gabinete necessários ao posicionamento de estações da rede terrestre, que materializa um certo sistema geodésico de concep-

ção clássica, como o SAD 69, tão mais consistentes com a definição do referencial resultarão as coordenadas obtidas.

O mapa geoidal atualmente disponível no IBGE (fig. 1) apresenta uma base geodésica determinada por Fischer, I. (1969), por ocasião dos trabalhos relativos ao projeto de implantação do SAD 69. Essa base está representada, em território brasileiro, pelas iso-curvas da região centro-sul e do segmento oriental limitado pelo meridiano 47° W. O grande vazio de informação geoidal, no restante do território brasileiro, procurou-se preencher posteriormente no IBGE, através do estabelecimento de estações Doppler, processadas com efemérides precisas, sobre 60 pontos com altitudes ortométricas disponíveis, em sua maioria pertencentes à rede altimétrica de 1ª Ordem. Ora, a obtenção dos desníveis geoidais SAD 69, dessas estações, demandava o cálculo prévio de parâmetros de transformação entre o NSWC 9Z-2 (antigo NWL 9D) — sistema Doppler associado a efemérides precisas — e o SAD 69. Mas, como se sabe, as técnicas convencionais, normalmente empregadas com a finalidade de se determinar parâmetros para aquele tipo de transformação, não prescindem do conhecimento do geóide, relativamente ao datum regional. Assim é que os parâmetros de transformação foram determinados por Kadlec, F. A. & Gomes, J. P. (1978), sob a hipótese de paralelismo entre os sistemas (de satélite e cartesiano-geodésico SAD 69), com base nos dados de 20 estações Doppler, distribuídas ao longo da rede planimétrica de 1ª Ordem, na região de melhor definição do mapa geoidal de Fischer. Todo esse procedimento, conquanto represente o que de melhor fosse, então, possível realizar, implica uma previsível deterioração de precisão do mapa geoidal com o aumento da distância ao ponto-origem Chuá, onde o desnível geoidal é nulo, por definição. Na verdade, essa é uma feição característica das determinações astro-geodésicas de desníveis geoidais (Vanček, P. 7 Krakiwsky, E. J. (1982), cap. 24). Porém, a extrapolação dessas grandezas, por aplicação de parâmetros de transformação sobre coordenadas Doppler, produz o efeito evidente de propagar a deficiência intrínseca à determinação astro-geodésica, considerada no cômputo dos referidos parâmetros. De fato, resultados recentemente obtidos pelo Prof. D. Blitzkow (USP-IAG) evidenciam uma inclinação significativa da determinação geoidal de base astro-geodésica, preponderantemente no sentido E-W. Também no IBGE (Superintendência de Geodésia — Divisão de Pesquisas em Geodésia), já se havia comprovado, matematicamente, aquele fato.

As considerações do parágrafo anterior evidenciam a estreita correlação existente entre duas determinações básicas em Geodésia, quais sejam: a de parâmetros de transformação, entre referenciais geocêntricos e regionais, e a de desníveis geoidais a

estes referidos. Este trabalho apresenta, como primeiro objetivo, proceder-se a uma análise conceitual mais pormenorizada do modelo apresentado por Andrade, J. B. (1984), através do qual, abre-se uma alternativa de solução simultânea dos dois problemas acima colocados. Pretende-se aprofundar essa análise, submetendo-se o modelo a testes com os dados atualmente disponíveis no IBGE, para a conexão entre NSWC 9Z-2 e SAD 69. Finalmente, realiza-se uma experiência de traçado do mapa geoidal SAD 69, resultante da aplicação do modelo com extensa massa de dados, e confeccionado com uso de "plotter", mediante programa específico para traçado de iso-curvas.

2. O Projeto PTMG

Em fase de execução, atualmente, na Superintendência de Geodésia do IBGE, o projeto PTMG apresenta os seguintes objetivos básicos:

1º — Refinamento dos parâmetros de transformação, atualmente disponíveis para as conexões entre SAD 69 e cada um dos referenciais geodésicos de posições terrestres, obtidos mediante rastreamento de satélites Transit, a saber: NSWC 9Z-2 (já referido na introdução) e NWL 10D (sistema associado a efemérides operacionais).

2º — Refinamento do mapa geoidal de base astro-geodésica, atualmente disponível para o SAD 69.

Na verdade, o termo "refinamento" poderá implicar numa alteração significativa das determinações atuais, com base em critérios mais rigorosos que os já aplicados. A manipulação criteriosa de informações geodésicas torna-se cada vez mais necessária, na medida em que amplia o universo daquelas informações. No caso do projeto PTMG, por exemplo, já se dispõe de extensa massa de dados, o que não ocorria há poucos anos atrás.

Estudos para solução criteriosa da conexão NSWC 9Z-2 — SAD 69 têm recebido prioridade, pela sua importância para o preenchimento do segundo objetivo acima colocado. O presente trabalho insere-se, precisamente, em tal contexto.

As estações conectoras, disponíveis para realização deste trabalho, estão plotadas na escala de 1/22.000.000 (projeção poligônica com meridiano central de 54° W) na fig. 2. São 107 posições isoladas, referidas ao NSWC 9Z-2 e estabelecidas sobre estações da rede planimétrica de 1ª ordem, entre as quais 79 são vértices de triangulação (VT), 26 estações-polygonais (EP), uma (1) estação-Hiram (EH) e uma (1) estação-Shiram (ES). Os receptores Doppler, empregados, foram o JMR-1, em 57 pontos, e o Geociever, nos 50 demais. Outras informações de interesse serão, gradualmente, apresentadas no decorrer do trabalho.

Na fig. 3, estão plotadas as estações NSWC 9Z-2 estabelecidas sobre pontos não pertencentes à rede planimétrica fundamental, mas para os quais se dispõe das respectivas altitudes ortométricas. Apresentam interesse, portanto, para a confecção do mapa geoidal. São 134 estações, entre as quais nada menos que 104 cotadas por nivelamento geométrico, apenas duas (2) por trigonométrico e duas (2) por barométrico.

3. O Modelo Matemático

O modelo para determinação simultânea de parâmetros de transformação entre referenciais geodésicos e de desnível geoidais, proposto por Andrade, J. B. (1984), apresenta o seguinte equacionamento para a estação conectora genérica P_i (fig. 4):

$$X_i = T - D_i + N_i + v_i + H_i \quad (1)$$

Considerando-se, já, a aplicação específica da equação (1) ao problema da conexão NSWC 9Z-2 ↔ SAD 69, tem-se:

X_i : vetor-posição da estação P_i , no sistema NSWC 9Z-2, representada na fig. 4 por $[XYZ]$.

T : vetor-posição da origem do sistema cartesiano-geodésico $[UVW]$, associado ao SAD 69, relativamente à origem do NSWC 9Z-2. Doravante será denominado vetor-translação.

D_i : $N_i \cdot e^2 \cdot \sin i$, onde:

N_i : grande normal de P_i no SAD 69, corresponde ao módulo do vetor N_i .

e^2 : quadrado da excentricidade primeira do elipsóide de referência do SAD 69.

i : latitude geodésica de P_i no SAD 69.

v_i : desnível geoidal correspondente a P_i , relativo ao elipsóide do SAD 69; é o módulo do vetor v_i .

H_i : altitude ortométrica de P_i ; é o módulo do vetor H_i .

Considera-se que os vetores v_i e H_i estejam alinhados com a grande normal de P_i , o que não é exato mas pode, perfeitamente, ser assumido em problemas como o enfocado. Assim, a soma vetorial $N_i + v_i + H_i$ apresenta os mesmos cossenos diretores da grande normal e vale escrever:

$$N_i + v_i + H_i = (N_i + v_i + H_i) \cdot \begin{bmatrix} \cos \lambda_i \cos \phi_i \\ \cos \lambda_i \sin \phi_i \\ \sin \lambda_i \end{bmatrix} \quad (2)$$

Onde λ_i é a longitude geodésica de P_i no SAD 69. Desmembrando-se a equação vetorial (1) em suas três componentes espaciais, com base em (2), vem:

$$\begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} TX \\ TY \\ TZ \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ N_i e^2 \sin \phi_i \end{bmatrix} + (N_i + v_i + H_i) \cdot \begin{bmatrix} \cos \lambda_i \cos \phi_i \\ \cos \lambda_i \sin \phi_i \\ \sin \lambda_i \end{bmatrix} \quad (3)$$

A grande normal N_i é dada pela fórmula seguinte:

$$N_i = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 \phi_i)^{1/2}} \quad (4)$$

onde, no caso "a" representa o semi-eixo maior do elipsóide associado ao SAD 69. Os parâmetros de dimensão e forma desse elipsóide assumem os seguintes valores:

$$a = 6378160 \text{ m} \\ e^2 = 0,006694542$$

Na equação (3), as grandezas sublinhadas representam as incógnitas do modelo. São elas: as componentes espaciais do vetor-translação e o desnível geoidal SAD 69 da estação genérica P_i . Logicamente, teremos tantas incógnitas altimétricas v_i quantas forem as estações conectoras.

3.1 Aspectos Conceituais

Um sistema regional (não geocêntrico) clássico, como o SAD 69, é sempre definido sob a condição de paralelismo entre seu correspondente sistema cartesiano e o Sistema Terrestre Médio (TM), também chamado Terrestre Convencional. (1) Entre-

tanto, a imposição da condição de paralelismo pode resultar significativamente imperfeita; vale dizer, mesmo um sistema geodésico definido, consoante a concepção clássica, pode não estar suficientemente bem orientado segundo o TM. A abordagem desse tema, realizada na sequência, encontra motivação no fato de, no modelo equacionado pela (3), assumir-se o paralelismo entre o sistema Doppler NSWC 9Z-2 — que, em princípio, será admitido coincidente com o TM — e o cartesiano-geodésico SAD 69. Deve-se observar que o modelo proposto na (3) visa equacionar a transformação entre sistemas definidos (Andrade, J. B. (1984)).

(1) mais exatamente, condição de equipotência entre eixos cartesianos homólogos.

Admitindo-se "a priori" que um certo elipsóide de revolução tenha já sido adotado, o estabelecimento de um sistema geodésico regional implica na necessidade de definição do posicionamento e orientação espaciais da tela superfície de referência (datum geodésico horizontal) em relação à Terra. Tal definição dá-se através da prescrição de certos parâmetros, para um determinado ponto P da superfície topográfica, aqui chamado ponto-origem do sistema, localizado na região de abrangência prevista para o mesmo. Esses parâmetros topocêntricos serão denotados por:

$$\phi_o, \lambda_o, h_o, \xi_o, \eta_o, \alpha_o$$

Tais grandezas devem corresponder, implícita ou explicitamente, a três translações e três rotações, totalizando os seis graus de liberdade necessários à definição da situação espacial de uma superfície não plana, em relação a um referencial 3-D ortogonal. No caso, é o Sistema Astronômico Local (AL), com origem em P, que desempenha o papel daquele referencial (fixo em relação à Terra).

A latitude (ϕ_o) e a longitude (λ_o) geodésicas de P_o especificam, univocamente, uma normal ao datum. Ora, essa normal elipsoidal, relativa a P_o , apresenta-se livre, e com ela, solidariamente, o elipsóide, para girar em torno de P_o , mantendo-se fixa somente por esse ponto. É necessário, portanto, definir sua direção relativamente ao AL centrado em P_o . Para tanto, prescrevem-se os parâmetros ξ_o e η_o , respectivamente, componentes projetivas do ângulo de deflexão da normal em relação à vertical do ponto (desvio relativo da vertical em P_o), nos planos meridiano e primeiro vertical astronômicos de P_o . Uma vez definidas, então, a normal e sua direção no espaço, a prescrição da altura elipsoidal h_o do ponto-origem, fixa a distância entre esse ponto e o elipsóide. Nesse estágio, o único grau de liberdade restante ao datum manifesta-se através de uma possível rotação do mesmo, em torno da normal elipsoidal de P_o . Finalmente então, elimina-se este último grau de liberdade através de α_o , azimute geodésico de uma direção terrestre arbitrária, com origem em P_o aqui chamada direção de partida. Em suma, (ϕ_o, λ_o, h_o) especificam as coordenadas geodésicas, para o elipsóide adotado, da origem P_o do AL; enquanto (ξ_o, η_o, α_o) informam a orientação do Sistema Geodésico Local (GL) com origem em P_o , relativamente ao AL com origem coincidente. Notam-se as correspondências implícita e explícita dos parâmetros topocêntricos, com translações (ϕ_o, λ_o, h_o) e rotações (ξ_o, η_o, α_o), respectivamente.

A imposição da condição geométrica de paralelismo dá-se através da aplicação da conhecida equação de Laplace, no *ponto origem*. Tendo em vista essa aplicação, transcreve-se abaixo a expressão completa da referida equação:

$$\alpha_o = \Lambda_o - \eta_o \tan \phi_o - (\xi_o \sin \alpha_o - \eta_o \cos \alpha_o) \cotan \beta_o \quad (5)$$

onde as grandezas ainda não apresentadas são:

A: azimute astronômico da direção de partida.

β_o : distância zenital geodésica da mesma direção.

No membro direito da (5) pode-se, sem perda da precisão, para efeito de cálculo, considerar A_o e B_o em lugar de α_o e β_o . B_o é a distância zenital da direção de partida (demonstração e convenções podem ser encontrados em Heiskanen, W. & Moritz, H. (1987)). As componentes ξ_o e η_o do desvio da vertical em P_o devem obedecer, por seu turno, as seguintes equações:

$$\begin{aligned} \xi_o &= \Phi_o - \phi_o \\ \eta_o &= (\Lambda_o - \lambda_o) \cos \phi_o \end{aligned} \quad (6)$$

nas quais Φ_o e Λ_o correspondem à latitude e longitude astronômicas de P_o . Na verdade, as equações (6) atuam, basicamente, como expressões de definição de ξ_o e η_o . Na prática, é normal a obtenção, "a priori" de ξ_o e η_o por algum critério através do qual se assegure uma boa adaptação regional do elipsóide ao geóide. Nesse caso, das (6) resultariam as coordenadas geodésicas 2-D (ϕ_o, λ_o) do ponto-origem, no qual, naturalmente, deve-se realizar observações astronômicas. Tal foi o procedimento básico no caso de definição do SAD 69 (Fischer, I. (1969)).

O que é importante deixar claro, nessas colocações, é o fato das (6) não exercerem influência significativa no processo de orientação do datum. Uma vez definidos ξ_o e η_o — criteriosamente ou não — é através da equação de Laplace (5) que, realmente, se impõe a condição de paralelismo.

Erros em ξ_o e η_o poderiam afetar, significativamente, quando muito, apenas as coordenadas (ϕ, λ), transportadas de P_o para estações vizinhas (ξ_o, η_o seriam empregados apenas na redução de direções observadas de P_o). Num enfoque alternativo, erros em ξ_o e η_o poderiam ser reinterpretados ou assimilados como erros em ϕ_o e λ_o , com base nas (6); nesse caso, que efeito erros em ϕ_o e λ_o exerceriam sobre a orientação do sistema? A não ser em casos extremos, jamais verificados na prática, nenhum.

Dos argumentos anteriores, pode-se concluir o seguinte: caso o sistema regional definido esteja significativamente mal orientado segundo o TM, esta condição só pode manifestar-se através de uma rotação diferencial daquele sistema, em torno da normal elipsoidal de seu correspondente ponto-origem. A fig. 5 ilustra o fato; o possível giro do sistema regional encontra-se ali representado por Δ .

Vanicek, P. & Wells, D. E. (1974) foram os primeiros a abordar o problema da orientação de um datum geodésico horizontal, na forma como aqui apresentado. Por certas razões específicas do processo de estabelecimento do NAD27 (Datum Norte-Americano de 1927), eles reuniram argumentos para sustentar a hipótese de uma observância não rigorosa, a nível significativo, da condição de Laplace em Meades Ranch, ponto-origem daquele sistema. Posteriormente, estimaram, para um valor entre -0,2" e -0,3", no caso daquele datum (Wells, D. E. & Vanicek, P. (1975)).

Raciocínio semelhante ao feito para o NAD27 pode ser elaborado no caso da SAD 69. A propósito, esse é um dos tópicos abordados em estudo empreendido, atualmente, no IBGE, sobre a questão de orientação do SAD 69. Pode-se, entretanto, adiantar o seguinte: as características específicas do projeto de implantação do SAD 69 revelam um critério cuidadoso no processo de orien-

tação daquele sistema. Na verdade, o azimute da direção de partida, Chuá-Uberaba, não resultou de uma simples imposição da condição de Laplace participaram do ajustamento de uma cadeia planimétrica de âmbito continental, referida ao SAD 69, tendo α_0 resultado como um dos produtos daquele ajustamento; a partir de então, fixou-se o valor obtido (as estações de Laplace são pontos nos quais se injunção o ajustamento com a equação de Laplace). Vanicek, P. (1975) observa que, tal procedimento, pode-se esperar uma observância mais rigorosa da condição de paralelismo. Isso é verdadeiro, logicamente, apenas a partir do momento em que todas as possíveis fontes de erros sistemáticos, presentes em cada injunção de Laplace, sejam eliminadas; em especial, na injunção do ponto-origem. Esse cuidado parece ter sido tomado no caso do SAD 69. Pelo menos essa é a conclusão que se pode tirar até o momento, com base nos resultados de experiências realizadas, no IBGE, para recuperação do ângulo Δ , tomando-se coordenadas NSWC 9Z-2 como padrão externo de comparação.

É interessante observar, em complementação ao parágrafo anterior, que mesmo ante a possibilidade de detecção de um valor significativo para Δ , a inclusão desse parâmetro em modelos de transformação, entre sistemas definidos, praticamente não interfere na determinação das componentes de translação. O motivo reside nas baixíssimas correlações entre aquelas incógnitas e o ângulo Δ , considerando-se a pequena magnitude esperada para tal rotação.

Os argumentos e conclusões anteriores, respeitantes à questão de orientação do SAD 69 em relação ao TM, lançam sustentação teórica para a possibilidade de não inclusão do parâmetro Δ , em algum modelo através do qual se pretenda equacionar a transformação SAD 69 - TM. Tal é, precisamente, o caso do modelo expresso pela (3), desde que se possa considerar a coincidência entre o sistema de satélite e o TM, tema ao qual retornaremos, mais adiante, ainda nesta divisão.

Procede-se, na sequência, a uma breve incursão no estudo dos modelos clássicos de transformação entre referenciais geodésicos, tendo-se por objetivo tornar mais nítido o conceito de fundo do modelo expresso pela equação (3). Os conhecidos modelos de transformação entre referenciais geodésicos, Bursa-Wolf e Molodenskii-Badekas, consistem, basicamente, em variações da equação vetorial, abaixo, ilustrada na fig. 6:

$$\vec{X}_i - \vec{U}_k = \vec{T} + (1+K).R(\omega, \psi, \epsilon).(\vec{U}_i - \vec{U}_k) \quad (7)$$

Na (7), além de \vec{T} , constam como parâmetros de transformação o chamado fator de escala K e as rotações ω, ψ, ϵ . Na fig. 6, encontra-se representada a situação mais geral em que \vec{U}_k , vetor que define o centro de rotação do sistema geodésico, é diferente do vetor nulo (0). Esse é o caso do modelo Molodenskii-Badekas, no qual, adota-se um certo ponto P_k , da superfície terrestre, como centro de rotações. No modelo Bursa-Wolf, tem-se $\vec{U}_k=0$, de maneira que as rotações ω, ψ, ϵ se verificam, respectivamente, em torno dos eixos W, V e U do sistema cartesiano geodésico regional. O parâmetro K pode ser interpretado como uma diferença relativa de escala entre dois sistemas.

A utilização de modelos do tipo expresso pela (7), para cômputo de parâmetros de transformação entre sistemas de âmbito global e sistemas regionais, na verdade deveria indicar uma predisposição em se parametrizar certas distorções incidentes sobre as coordenadas 3-D locais U_i . Com efeito, o emprego daqueles modelos segue, via de regra, uma técnica convencional em

que se necessita interpolar desníveis geoidais de algum mapa apropriado, com a finalidade de se obter alturas elipsoidais h_i para cada estação conectora P_i . Isto se faz através da conhecida relação (aproximação válida):

$$h_i = H_i + v_i \quad (8)$$

Ora, já na introdução deste trabalho, procurou-se comentar a deficiência típica do mapa geoidal de base astro-geodésica, atualmente disponível no IBGE. Incorporar informação desse mapa ao modelo de conexão (7), através de coordenadas altimétricas h_i , necessárias à composição dos termos curvilíneos (ϕ_i, λ_i, h_i), a partir dos quais obtêm-se cada vetor-posição U_i , implica em que os parâmetros de transformação venham a absorver, de alguma forma, o erro de inclinação característico do "geóide astro-geodésico". No tocante às rotações, ω, ψ, ϵ , naturalmente que elas poderiam absorver também uma possível distorção geral de orientação da rede planimétrica associada ao datum regional. Mas, no caso específico da rede de 1ª ordem do Brasil, trabalhando-se com adequada massa de dados, experiências realizadas no IBGE já comprovaram a não significância daquele tipo de distorção. Portanto, quando se obtém valor significativo para um ou mais ângulos do tipo ω, ψ, ϵ , pelo menos no caso de nosso interesse, tal resultado encontra-se diretamente relacionado com a inclinação do "geóide astro-geodésico". Precisamente esse tipo de constatação foi realizado por Mueller, I. I. (1974), para o caso do NAD 27. Quanto ao fator de escala K, é mais clara a tendência do mesmo em absorver uma distorção geral nas componentes altimétricas de coordenadas 3-D, relativas ao sistema regional. Além disso, entretanto, também o efeito da negligência de desníveis geoidais, no processo de redução ao datum, das medidas terrestres lineares — procedimento adotado no preparo de observações, para o ajustamento de pequenos setores de nossa rede planimétrica de 1ª ordem — tende a ser absorvido por K. Contudo, face à distribuição das estações conectoras, disponíveis à aplicação de nosso interesse e ao histórico de obtenção de suas coordenadas 2-D (ϕ, λ), este segundo tipo de efeito absorvido pelo fator de escala não se mostra tão relevante quanto o primeiro. Finalmente, com relação a uma possível diferença entre os padrões de medida linear intrínsecos à realização de cada sistema, propõe-se, atualmente, que no caso de empregar-se coordenadas NSWC 9Z-2 como padrão externo de comparação, como é o do presente trabalho, a elas se aplique uma correção de -0,4 p.p.m, em escala, em função de certas deficiências inerentes ao Sistema Transit. Com essa correção, a métrica Doppler fica compatibilizada com o padrão médio das medidas terrestres convencionais de distâncias, em 1ª ordem (Hotheim, L. D. (1979)).

Pode-se perceber, à luz das colocações anteriores, uma forte tendência dos chamados modelos clássicos, sintetizados na (7), em gerar correlações elevadas entre seus parâmetros de rotação e escala, já que eles modelam, com maior ou menor adequação geométrica, basicamente o mesmo tipo de distorção. Isso, bem entendido, em aplicações de mesma natureza da enfocada neste trabalho. Também as correlações de rotações e fator de escala, principalmente este, com as componentes do vetor-translação, resultam elevadas. O modelo Molodenskii-Badekas, quando convenientemente usado, possibilita a diminuição de correlações entre rotações e translações; em contrapartida, estas perdem seu significado geométrico mais intuitivo, de componentes do vetor-posição da origem de $[U V W]$, em relação à de $[X Y Z]$ (Leick,

A. & Gelder, B. H. W. van (1975)). As consequências da incidência de correlações elevadas, entre parâmetros de transformação, serão analisadas, mais especificamente, na divisão 4.2, para o modelo estudado neste trabalho.

A adoção de algum dos modelos clássicos é uma possibilidade aberta a qualquer geodesta que se proponha a modelar, em média, as distorções sistemáticas normalmente implícitas nas coordenadas 3-D, relativas a sistemas geodésicos clássicos (Lambek, C. K. (1971)). Não sendo esse porém seu objetivo, mas antes o de, efetivamente, modelar a conexão entre referenciais definidos, ele se defronta, em nosso problema específico, com a deficiência da informação geoidal disponível. O recurso adotado para se contornar essa dificuldade, no caso do modelo de transformação (3), é o da parametrização dos desníveis geoidais v_i , o que assegura um fechamento geométrico perfeito para a transformação entre sistemas definidos. Em princípio, portanto, pode-se esperar que daquele modelo resulte, além dos desníveis geoidais, o vetor-translação entre sistemas definidos. Neste sentido, convém, ainda, observar o seguinte: a distribuição normal dos erros das coordenadas-satélite é uma característica típica do posicionamento Doppler de estações terrestres, ao contrário do que se verifica nas técnicas convencionais, sempre mais sujeitas a erros sistemáticos, e ainda no acúmulo dos erros sistemáticos, e ainda no acúmulo dos erros aleatórios de observação com o aumento das distâncias ao ponto-origem; é razoável, portanto, admitir-se que as coordenadas Doppler sejam consistentes com a própria definição do sistema NSWC 9Z-2, no caso. Finalmente, com relação ao efeito dos erros incidentes sobre as coordenadas 2-D (ϕ_i, λ_i), no uso do modelo (3), sua influência sobre o vetor-translação é absolutamente negligenciável.

Em toda a argumentação formulada até este ponto, procedeu-se com base na hipótese de coincidência entre o sistema de satélite e o TM. Tal premissa, contudo, não é verdadeira para o caso do NSWC 9Z-2, sistema Doppler empregado nesta pesquisa. Todavia, encontram-se já bem determinadas as medidas de discrepância entre o NSWC 9Z-2 e o TM. A compatibilização das correspondentes coordenadas Doppler com o TM requer: rotação terciária de + 0,8" (- 0,8" sobre longitudes Doppler) e translação terciária de + 4m (+ 4m em Z). Para maiores informações o leitor pode consultar Lachapelle, G. & Kouba, J. (1980).

Na conclusão destes "aspectos conceituais", apresenta-se o modelo de transformação (3), reescrito na forma segundo a qual foi programado para esta pesquisa. Ela resulta da aplicação da (8) à equação (3), como se vê a seguir:

$$\begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} TX \\ TY \\ TZ \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ Nie^2 sen i \end{bmatrix} + (Ni + Hi) \cdot \begin{bmatrix} cos\phi_i cos\lambda_i \\ cos\phi_i sen\lambda_i \\ sen\phi_i \end{bmatrix} \quad (9)$$

Nessa expressão alternativa, parametrizam-se as alturas elipsoidais h_i ao invés dos desníveis geoidais. A vantagem que se auferê com tal procedimento é a geração de um arquivo de coordenadas geodésicas altimétricas, não afetadas pelos erros das altitudes ortométricas, atualmente disponíveis para as estações conectoras. Com isso, os desníveis geoidais v_i poderão ser corrigidos a qualquer momento, a cada refinamento de altitudes ortométricas, através de simples subtrações baseadas na (8). Naturalmente, deve-se proceder à composição de erros para se avaliar a estimativa da determinação geoidal resultante.

3.2 Ajustamento de Observações

Nesta divisão, destaca-se a derivação de matrizes para o ajustamento de observações, pelo M.M.Q, do modelo expresso pela (9), tendo-se em vista otimizar a programação computacional daquele processo. Em Gemael, C. (1974) o leitor encontra os fundamentos teóricos dos diferentes métodos de ajustamento, sob o enfoque matricial.

No ajustamento do modelo (9), as coordenadas geodésicas 2-D (ϕ_i, λ_i), das estações conectoras, serão assumidas como constantes do processo. A princípio, justifica-se tal procedimento pela não disponibilidade das estimativas de precisão correspondentes. Mais adiante, porém, veremos que o efeito daquela premissa, discutível, é absolutamente irrelevante, em termos de resultados. Fica claramente caracterizada, portanto, a opção pelo método paramétrico de ajustamento. Com efeito, no modelo (9) delinea-se uma relação do tipo:

$$F(x_a) = L_a \quad (10)$$

entre parâmetros e observações ajustados, x_a e L_a , respectivamente. O modelo estudado é tipicamente linear.

Sejam o número de estações conectoras selecionadas para o ajustamento de (9). Então teremos:

Número de equações = $3n$

Número de incógnitas = $n + 3$

Portanto, o número de graus de liberdade é dado por $2n - 3$, o que implica na necessidade de, pelo menos, 2 pontos para se realizar o ajustamento.

O vetor de parâmetros ajustados será considerado na forma:

$$x_a^T = [TX \ TY \ TZ \ h_1 \ h_2 \ \dots \ h_i \ \dots \ h_n]$$

A fórmula de cálculo é dada por:

$x_a = x_0 + x$, onde

x_0 : vetor de valorizações iniciais de parâmetros

x : vetor correções a x_0 .

Faremos $x_0 = [0 \ 0 \ \dots \ 0]$

Logo $x_a = x$. A fórmula para x é dada por:

$$x = (A^T P A)^{-1} \cdot A^T P L, \text{ onde:} \quad (12)$$

a) $A = \frac{\partial F}{\partial x_a} \Big|_{x_0}$: matriz $[3n \times (n + 3)]$ de derivadas parciais das equações, em relação a parâmetros, aplicada em x_0 .

b) P : matriz peso das observações. Tem-se:

$P = \sigma_0^{-2} \sum L b^{-1}$, onde

σ_0^2 : variância da unidade de peso a priori.

$\sum L b$: matriz variância-covariância (MVC) das observações $L b$ (coordenadas-satélite). Sua dimensão é $[3n \times 3n]$. Tem-se:

$$L b = [X_1 \ Y_1 \ Z_1 \ \dots \ X_i \ Y_i \ Z_i \ \dots \ X_n \ Y_n \ Z_n] \quad (13)$$

Não se consideram correlações entre as observações. Isto não é exato, mas é o melhor possível, no momento. Um mesmo erro, calculado em função do número de passagens de satélite aproveitadas na i -ésima estação, será atribuído a cada uma das

três observações a ela associadas, ou seja, $\sigma X_i = \sigma Y_i = \sigma Z_i = \sigma_i$. Com isso, obtêm-se uma matriz peso diagonal, do seguinte tipo:

$$P = \begin{bmatrix} P & & \bar{0} \\ & P_i & \\ \bar{0} & & P_n \end{bmatrix}_{3n}, \text{ onde} \quad (14)$$

$$P_i = \begin{bmatrix} P_i & 0 & 0 \\ 0 & P_i & 0 \\ 0 & 0 & P_i \end{bmatrix}, \text{ sendo } P_i = \sigma_0^2 / \sigma_i^2$$

$$c) L = I \cdot o - L_b = F(x_0) - L_b \quad (15)$$

O vetor de resíduos das observações é dado por:

$$v = \Delta x + L$$

Todavia, por motivo que se evidenciará adiante, dada pela MVC dos parâmetros do vetor v, através de sua própria definição, qual seja:

$$v = La - L_b \Rightarrow v = F(x_a) - L_b \quad (16)$$

Quanto à estimativa de precisão do ajustamento, dada pela MVC dos parâmetros ajustados $\sum x_a$, tem-se:

$$\sum x_a = \hat{\sigma}_0^2 \cdot (A^T P A)^{-1}, \text{ onde} \quad (17)$$

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{V^T P V}{g} : \text{ variância da unidade de peso a posteriori; } g \text{ é o número de graus de liberdade } \Rightarrow g = 2n - 3$$

Considerando-se

$$\sum x_a = \begin{bmatrix} x_1 & x_1 x_2 & \dots & x_1 x_i & \dots & x_1 x_u \\ x_1^2 & x_2 & \dots & x_1^2 x_i & \dots & x_1^2 x_u \\ x_1 x_1 & x_1 x_2^2 & \dots & x_1 x_i & \dots & x_1 x_u \\ x_1 x_1 & x_1 x_2 & \dots & x_1 x_i & \dots & x_1 x_u \end{bmatrix} u$$

onde x_i representa o i -ésimo parâmetro de um total de u , o elemento r_{ij} da matriz R de coeficientes de correlação será dado por:

$$r_{ij} = \frac{\sigma_{ixj}}{\sigma_{ixi} \sigma_{jxj}}$$

Seguem-se as deduções de matrizes para o ajustamento:

A forma geral da matriz A é:

$$A = \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_i \\ \vdots \\ A_n \end{bmatrix}_{3n}, \text{ sendo } A_i = \left. \frac{\partial F_i}{\partial x_a} \right|_{x_0}$$

F_i representa o conjunto das três equações de observação da i -ésima estação. Portanto, cada bloco $A_i [3 \times (n + 3)]$ será dado por:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & \cos \phi \cos \lambda_i & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & \cos \phi \sin \lambda_i & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \sin \phi & 0 \end{bmatrix}$$

↑ coluna (i+3)

A matriz A pode então ser escrita na forma:

$$A = \begin{bmatrix} I_3 & J_1 & \bar{0} & \bar{0} \\ I_3 & \bar{0} & J_2 & \bar{0} \\ I_3 & \bar{0} & \bar{0} & \bar{J}_n \end{bmatrix}_{n+3}, \text{ onde}$$

$$J_i = \begin{bmatrix} \cos \phi \cos \lambda_i \\ \cos \phi \sin \lambda_i \\ \sin \phi \end{bmatrix}, \quad I_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad e \bar{0} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Logo, a transposta de A assume a forma:

$$A = \begin{bmatrix} I_3 & I_3 & \dots & I_3 \\ J_1 & \bar{0} & \dots & \bar{0} \\ \bar{0} & J_2 & \dots & \bar{0} \\ \bar{0} & \bar{0} & \dots & \bar{J}_n \end{bmatrix}_{n+3}, \text{ onde} \quad (18)$$

$$\bar{J}_i = [\cos \phi \cos \lambda_i \quad \cos \phi \sin \lambda_i \quad \sin \phi] \quad e \quad \bar{0} = [0 \ 0 \ 0]$$

Considerando-se agora as (14) e (18), vem:

$$A P = \begin{bmatrix} P_1 & P_2 & P_3 & P_n \\ J_1 P_1 & \bar{0} & \bar{0} & \bar{0} \\ \bar{0} & J_2 P_2 & \bar{0} & \bar{0} \\ \bar{0} & \bar{0} & \bar{0} & \bar{J}_n P_n \end{bmatrix}_{n+3}, \text{ e portanto} \quad (19)$$

$$A^T P A = \begin{bmatrix} \sum P_i & P_1 J_1 & P_2 J_2 & P_n J_n \\ J_1 P_1 & J_1 P_1 J_1 & 0 & 0 \\ J_2 P_2 & 0 & J_2 P_2 J_2 & 0 \\ \bar{J}_n P_n & 0 & 0 & \bar{J}_n P_n \bar{J}_n \end{bmatrix}_{n+3}, \text{ onde} \quad (20)$$

$$\sum P_i = \begin{bmatrix} \sum P_i & 0 & 0 \\ 0 & \sum P_i & 0 \\ 0 & 0 & \sum P_i \end{bmatrix}, \quad P_i J_i = \begin{bmatrix} \text{picos} \phi \cos \lambda_i \\ \text{picos} \phi \sin \lambda_i \\ \text{pisen} \phi \end{bmatrix}$$

$$J_i P_i = [\text{picos} \phi \cos \lambda_i \quad \text{picos} \phi \sin \lambda_i \quad \text{pisen} \phi] \quad e \\ J_i P_i J_i = \text{pi}(\cos^2 \phi \cos^2 \lambda_i + \cos^2 \phi \sin^2 \lambda_i + \sin^2 \phi) = \text{pi}$$

Da (15), considerando-se as (9), (11) e (13), resulta:

$$L = \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \\ \vdots \\ L_i \\ \vdots \\ L_n \end{bmatrix}_{3n}, \text{ sendo } L_i = \begin{bmatrix} \text{Nicos} \phi \cos \lambda_i - X_i \\ \text{Nicos} \phi \sin \lambda_i - Y_i \\ \text{Ni}(1 - e^2) \sin \phi - Z_i \end{bmatrix} \quad (21)$$

Considerando-se a (19) e as (21) vem:

$$A^T P L = \begin{bmatrix} \sum P_i L_i \\ J_1 P_1 L_1 \\ J_2 P_2 L_2 \\ \vdots \\ J_i P_i L_i \\ \vdots \\ \bar{J}_n P_n L_n \end{bmatrix}_{n+3}, \text{ onde} \quad (22)$$

$$\sum_i PiLi = \begin{bmatrix} \sum pi(Nicos\phiicos\lambda_i - Xi) \\ \sum pi(Nicos\phiisen\lambda_i - Yi) \\ \sum pi(Ni(1-e^2)\sen\phi_i - Zi) \end{bmatrix}, e$$

$$\begin{aligned} \bar{P}iLi &= Pi[Nicos^2\phiicos^2\lambda_i - Xicos\phiicos\lambda_i + Nicos^2\phiisen^2\lambda_i - \\ &Yicos\phiisen\lambda_i + Nisen^2\phi_i - Nie^2\sen^2\phi_i - Zisen\phi_i] \Rightarrow \\ \Rightarrow \bar{P}iLi &= pi[Ni(1-e^2)\sen^2\phi_i] - (Xicos\phiicos\lambda_i + Yicos\phiisen\lambda_i + \\ &Zisen\phi_i) \end{aligned}$$

As matrizes (20) e (22), consideradas suas estruturas aqui deduzidas, podem ser facilmente programadas. A partir das mesmas, resolve-se a (12), que no caso, proporciona o próprio vetor x de parâmetros ajustados. O cálculo das (16) e (17) é mera consequência.

4. Experiências

Tendo em vista o ajustamento pelo M.M.Q. de equações de observação, constituídas segundo o modelo expresso pela (9), desenvolveu-se o programa PTMG, em linguagem FORTRAN, para o sistema IBM/370 MOD 3032 (IBGE). Na DIVISÃO 3.2 encontra-se as matrizes e equações fundamentais para aquele ajustamento.

O programa PTMG seleciona os dados necessários à solução da conexão NSWC 9Z-2 — SAD 69, diretamente do arquivo DIMEFSAT, constituído pela Divisão de Métodos Físicos e Orbitais da Superintendência de Geodésia/IBGE. Naquele arquivo constam as principais informações geodésias disponíveis para todas as posições isoladas Doppler, estabelecidas pelo IBGE, sem restrição quanto ao tipo de efemérides empregadas em cada processamento. Logicamente, a condição de aproveitamento de uma estação qualquer do DIMEFSAT, no caso desta pesquisa, é que ela pertença à rede planimétrica de 1º ordem e tenha sido processada com efemérides precisas.

Os recursos do programa PTMG serão evidenciados nas próximas divisões, através dos próprios comentários referentes a resultados obtidos. Mas, convém agora abordar o critério adotado para ponderação de observações.

O PTMG pode operar com duas alternativas de ponderação, selecionadas através da variável KEYP. Para KEYP=1, considera-se $P=I_{3n}$, como se todas as observações apresentassem a mesma precisão. Para KEYP=2, monta-se a MVC das observações ($\sum Lb$) conforme o processo já descrito na divisão 3.2, ou seja, atribuindo-se um mesmo erro σ_i às três observações X_i , Y_i e Z_i relativas à i -ésima estação. O critério base adotado segue a linha geral proposta pelo DMA dos E.U.A (memorando de 17/08/84, sobre precisão de posições isoladas Doppler), abaixo transcrito para o caso de posições isoladas Doppler consistentes com o NSWC 9Z-2:

Se $NPA \geq 35$, então $\sigma_i = 1,5m$
 Se $20 \leq NPA < 35$, então $\sigma_i = 2,0m$
 Se $NPA < 20$, então $\sigma_i = 2,5m$,

sendo NPA o número de passagens de satélites aproveitadas. Ao invés de se fixar as estimativas de precisão acima, porém, os erros σ_i foram tratados como variáveis do programa (ER1, ER2, ER3). Com isso, tornou-se possível experimentar ponderações variadas,

em cada teste, em busca da melhor estimativa para a variância da unidade de peso "a posteriori" ($\hat{\sigma}_0^2$). Como se sabe, tal valor deve, em condições adequadas de modelagem e ponderação, resultar, estatisticamente, igual à variância "a priori" ($\hat{\sigma}_0^2$), segundo o conhecido teste da distribuição X^2 . O valor $\sigma_0^2 = 1m^2$ foi adotado para todos os testes.

O PTMG foi testado mediante a montagem de um sistema consistente de equações de observação. Quatro estações conectoras foram, arbitrariamente, selecionadas no DIMEFSAT. Seus respectivos valores de desnível geoidal (interpolados do mapa de base astro-geodésica) e de altitude ortométrica foram usados para compor as alturas elipsoidais h_i do modelo (9). Com três valores sendo arbitrados para as componentes do vetor translação, fabricaram-se "observações" para cada estação, segundo o modelo analisado. Os resultados da execução do programa evidenciaram uma perfeita recuperação dos parâmetros arbitrados. Os resíduos das observações resultaram nulos, como era de se esperar. A ponderação de observações, no caso, é irrelevante; simplesmente considerou-se $KEYP = 1$.

4.1. A questão da Escala

Das alturas elipsoidais ajustadas, resultantes do PTMG, subtraem-se as correspondentes altitudes ortométricas, tendo-se em vista a obtenção de desníveis geoidais, também listados pelo programa. Uma simples inspeção dos resultados da primeira experiência realizada com a totalidade das estações conectoras disponíveis, revelou uma diferença sistemática bastante significativa entre os desníveis resultantes (v) e os respectivos valores interpolados do mapa de base astro-geodésica (\bar{v}). Tomando-se uma amostra de 20 pontos, verificou-se uma diferença média de cerca de 15m entre as duas determinações geoidais, no sentido $\bar{v}-v$. Difícilmente poder-se-ia atribuir tal diferença à esperada deficiência da determinação de base astro-geodésica. Fazia-se necessária uma explicação para o fato.

Com respeito à diferença média $\bar{v}-v$, era bem sintomática a coincidência entre o valor encontrado e a diferença de semi-eixos maiores dos elipsóides associados ao SAD 69 ($a = 6378160m$) e ao NSWC 9Z-2 ($a = 6378145m$). Parecia provável a existência de alguma relação entre aquelas diferenças.

Ora, as observações (X, Y, Z) — coordenadas cartesianas consistentes com o TM — são simplesmente o produto final do processamento de cada estação Doppler, a menos, é claro, de possíveis "correções" necessárias à compatibilização do sistema Doppler com o TM, conhecidas e aplicadas pelo programa PTMG, no caso do NSWC 9Z-2 (vide 3.1.). Nenhum elipsóide de referência participa do processo de posicionamento pelo método Doppler, sendo perfeitamente possível, em tese, adotar-se um elipsóide qualquer para obtenção de coordenadas curvilíneas (ϕ, λ, h) a partir das cartesianas (X, Y, Z). Entretanto, um determinado elipsóide definido pelos parâmetros:

$$\begin{aligned} a_s &= 6378145m \\ e^2_s &= 0,006694542 \end{aligned}$$

é o utilizado com aquela finalidade, no caso do NSWC 9Z-2. Nota-se a igualdade de valores associados de excentricidade primeira, entre aquele sistema e o SAD 69. Os respectivos achatamentos são iguais a 1/298,25.

O método de obtenção de as foi o seguinte: parametrizan-

do-se o semi-eixo maior de um elipsóide de revolução, procedeu-se à um ajustamento do mesmo ao geóide, em escala global; as observações para esse ajustamento resultaram dos vetores geocêntricos de um conjunto de estações Doppler, distribuídas pela superfície terrestre, subtraídos dos respectivos "vetores altitude ortométrica" H_i de cada estação. Portanto, no caso do NSWC 9Z-2, o elipsóide de referência, a ele convencionalmente associado, apresenta, de fato, dimensão consistente com a unidade ou padrão de medida linear implícita às coordenadas cartesianas (X, Y, Z). O valor as, pode-se dizer, é a medida resultante para a dimensão da figura da Terra, estimada com o padrão métrico do sistema Doppler NSWC 9Z-2. Seja qual for o padrão métrico implícito às coordenadas Doppler, o fato é que as alturas elipsoidais h_i resultantes do ajustamento do modelo (9), grandezas supostamente referidas ao elipsóide regional, vão absorver, através do ajustamento, aquele padrão de medida linear. E da mesma forma, é claro, também as componentes do vetor-translação. Com efeito, supostamente ao que se verifica mediante a aplicação de modelos clássicos, do tipo (7), no modelo (9) não existe confronto entre duas métricas distintas, porquanto as grandezas lineares presentes em seu membro direito são, precisamente, suas incógnitas. São as observações Doppler, por conseguinte, que, no modelo (9), definem a escala das grandezas parametrizadas.

Nesse estágio, começava a tornar-se evidente que a discrepância verificada, entre as duas determinações geoidais decorria, antes, de um problema de escala, do que de alguma deficiência geométrica do modelo estudado. No entanto, faltava ainda uma melhor compreensão do porquê da incidência de um problema de escala, na aplicação focalizada daquele modelo. A diferença de 15m entre os semi-eixos maiores associados ao SAD 69 e ao NSWC 9Z-2 parecia indicar o caminho a seguir.

Ora, toda determinação geoidal de base astro-geodésia, como a disponível para comparação no caso do SAD 69, é sempre consistente com a dimensão do elipsóide de referência, não fossem a ele reduzidas as medidas lineares necessárias ao transporte de desníveis geoidais. Torna-se evidente, portanto, a razão da discrepância verificada entre as duas determinações geoidais. Simplesmente o padrão métrico das alturas elipsoidais h_i e, por extensão, dos desníveis geoidais v_i resultantes da aplicação do modelo (9), é consistente com a medida do semi-eixo maior do NSWC 9Z-2, mas não com a medida correspondente do SAD 69.

Uma forma alternativa de compreensão do problema de escala verificado no uso do modelo (9), consiste em se equacionar a transformação entre os dois sistemas através de fórmulas diferenciais, para coordenadas curvilíneas, preservando-se, analogamente, a filosofia de parametrização das alturas h_i . Dessa forma, pode-se escrever, considerando-se a aproximação esférica e a igualdade de achatamentos verificada no caso (Heiskanen, W & Moritz, H. (1987)):

$$\begin{aligned} \phi^s_i &= \phi_i + (\text{sen } \phi \text{ icos } \lambda_i \text{TX} + \text{sen } \phi \text{ isen } \lambda_i \text{TY} - \text{cos } \phi_i \text{TZ})/a \\ \lambda^s_i &= \lambda_i + (\text{sen } \lambda_i \text{TX} - \text{cos } \lambda_i \text{TY})/(\text{acos } \phi_i) \\ h^s_i &= h_i - \text{cos } \phi \text{ icos } \lambda_i \text{TX} - \text{cos } \phi \text{ isen } \lambda_i \text{TY} - \text{sen } \phi_i \text{TZ} - \delta a \end{aligned} \quad (23)$$

Nas (23), as incógnitas aparecem sublinhadas e $a = a - 15\text{m}$. As observações ($\phi_i^s, \lambda_i^s, h_i^s$) seriam obtidas pela transformação elementar de coordenadas cartesianas (X_i, Y_i, Z_i) — já compatibilizadas com TM —, em curvilíneas, utilizando-se, para tanto, o semi-eixo (as) do NSWC 9Z-2. Nota-se na terceira equação a necessidade de se considerar a discrepância δa entre os dois

semi-eixos, posto que os ternos (ϕ_i, λ_i, h_i) possam referir-se a um elipsóide diferente, como de fato acontece no caso estudado. É fácil perceber que a informação δa , simplesmente, não é considerada, no modelo (9). No entanto, não pode deixar de existir uma perfeita analogia entre aquele modelo e o representado pelas (23), na medida em que ambos equacionam o mesmo problema com a mesma filosofia, apenas com tratamentos matemáticos distintos. Restava, finalmente, resolver essa questão da escala na aplicação do modelo (9), de tal forma que a determinação geoidal resultante fosse comparável com a de base astro-geodésica. Duas soluções foram experimentadas. A primeira, mais rigorosa, consiste em se aplicar correções de escala δL sobre as coordenadas cartesianas (X_i, Y_i, Z_i), "a priori" do ajustamento. O conceito básico para essa operação é a correspondência existente entre os semi-eixos e e as; são apenas medidas diferentes de uma mesma grandeza, qual seja, a dimensão da figura da Terra. Sendo então (X'_i, Y'_i, Z'_i) as coordenadas já compatibilizadas com o padrão métrico do semi-eixo do SAD 69, pode-se escrever:

$$\frac{X'_i}{X_i} = \frac{Y'_i}{Y_i} = \frac{Z'_i}{Z_i} = \frac{6378160}{6378145} = 1 + \frac{15}{6378145}$$

$$\begin{aligned} X'_i &= X_i(1 + \delta L) \\ Y'_i &= Y_i(1 + \delta L) \\ Z'_i &= Z_i(1 + \delta L) \end{aligned} \quad (24)$$

onde $L = 15/6378145 = 2,35 \text{ p.p.m.}$ é o fator corretivo de escala. Apesar das novas observações (X'_i, Y'_i, Z'_i) serem, numericamente, diferentes das originais, essa variação não implica em qualquer tipo de deslocamento espacial do sistema geocêntrico ou do conjunto de estações conectoras. Ela, simplesmente, decorre da adoção de um novo padrão métrico para as observações. É como se as gradações dos eixos do sistema cartesiano [Z Y X] fossem redefinidas. A segunda solução para o problema da escala, consiste em se calcular coordenadas cartesianas (X_i, Y_i, Z_i), em substituição às originais (X_i, Y_i, Z_i), partindo-se das curvilíneas ($\phi^s_i, \lambda^s_i, h^s_i$) mas utilizando-se o semi-eixo do elipsóide do SAD 69. Para todas as aplicações correntes em Geodésia, esta solução equivale à primeira conforme demonstrado por Soler, T. (1976); ou seja, $\bar{X}_i = X'_i, \bar{Y}_i = Y'_i$ e $\bar{Z}_i = Z'_i$. A vantagem de sua aplicação, no caso do programa PTMG, restringe-se a aspectos meramente computacionais. Todas as saídas do PTMG de fato confirmaram a equivalência das duas alternativas propostas para a solução do problema de escala. Os desníveis geoidais resultaram, finalmente, coerentes com a determinação de base astro-geodésica. O vetor-translação encontrado no teste realizado com a totalidade das 107 estações conectoras foi:

$$\text{TX} = -89,20\text{m} \quad \text{TY} = -42,11\text{m} \quad \text{TZ} = -42,98\text{m}$$

Uma comparação interessante pode ser feita entre esse vetor e o obtido "a priori" da correção do problema de escala. Nas mesmas condições iniciais de dados e ponderação, obteve-se:

$$\bar{\text{TX}} = -89,24\text{m} \quad \bar{\text{TY}} = -42,07\text{m} \quad \bar{\text{TZ}} = -42,99\text{m}$$

São praticamente idênticos, como se pode notar. As pequenas variações observadas poderão encontrar justificativa na próxima divisão, no estudo da questão das correlações. Finalmente, convém observar a possibilidade de uma terceira alternativa para

solução do problema de escala do modelo (9), realizável "a posteriori" do ajustamento. Ela consiste em se aplicar diretamente, sobre as alturas elipsoidais resultantes, o efeito da discrepância a , de acordo com a terceira das (23), ou com alguma fórmula mais rigorosa. Nesse caso, é importante atentar para o posicionamento relativo dos dois elipsóides no espaço. O do NSWC 9Z-2 está acima do elipsóide regional, na área de abrangência do território brasileiro.

4.2 A questão das Correlações

Um aspecto importante a se considerar, mas frequentemente esquecido, no estudo de modelos para determinação de parâmetros de transformação entre referenciais geodésicos, é a questão das correlações entre os parâmetros. Esse tema, e suas implicações sobre a utilização do modelo (9), serão agora analisados.

As correlações informam o grau de interdependência entre os parâmetros de um modelo. Quanto maior a dificuldade na separação de efeitos geométricos que se pretenda modelar através de parâmetros, tão mais elevadas resultarão as correlações entre os mesmos. É o caso típico de translações e rotações no modelo Bursa-Wolf (vide 3.1) quando aplicado a um problema de transformação do mesmo tipo focalizado neste trabalho. Isto porque o efeito de uma translação é o mesmo de uma rotação em torno de um ponto no infinito e, no caso daquele modelo, o centro de rotação encontra-se muito afastado da área de distribuição das estações conectoras. É importante observar, contudo, a possibilidade de se alferar uma condição de correlações elevadas, em função da natureza da aplicação. No caso do modelo Bursa-Wolf, por exemplo, as referidas correlações tendem a diminuir, sensivelmente, em problemas para os quais se disponha de um conjunto de estações conectoras distribuídas por toda a superfície terrestre (possível conexão de sistemas de satélite).

Ao contrário do que se pode pensar, a incidência de correlações elevadas, entre os parâmetros de um modelo de conexão de sistemas geodésicos, não exerce qualquer influência sobre a qualidade dos resíduos obtidos em ajustamentos de equações de observação, segundo ele constituídas; tais resíduos resultarão tão mais "satisfatórios", estatisticamente, quanto maior a capacidade de parametrização da realidade física, apresentada pelo modelo. Equivalentemente, pode-se dizer que a consistência interna do ajustamento de equações de observação para um determinado modelo, independe das correlações geradas entre seus parâmetros. Aliás, os coeficientes de correlação podem ser calculados sem necessidade de se proceder a qualquer ajustamento, como se pode notar na fórmula para r_{ij} , dada em 3.2. Uma vez estabelecidos o modelo e o conjunto de estações conectoras, as correlações ficam perfeitamente definidas.

O aspecto realmente crítico da incidência de correlações elevadas, entre parâmetros de transformação é bem colocado por Hoar, G. J. (1982). Elas prejudicam a exatidão ou precisão absoluta das estimativas dos parâmetros. Assim, é possível acontecer de um modelo equacionar bem determinada transformação, sem que as estimativas de seus parâmetros, mesmo quando realizadas sob condições adequadas, sejam consistentes com suas respectivas concepções geométricas. Tal é o caso das translações a propósito, no modelo Bursa-Wolf. Aliás, se fosse possível, através daquele modelo, estimar-se um vetor-translação não correlacionado com os demais parâmetros, não haveria qualquer impedimento em se

resolver o problema de conexão que nos propomos, através de Bursa-Wolf. Simplesmente, adotaríamos o vetor-translação resultante, para realizar a transformação entre os sistemas definidos.

O modelo pesquisado neste trabalho, expresso pela (9), não está livre do problema das correlações entre suas grandezas incógnitas. Para se analisar melhor essa questão, programou-se o PTMG de tal forma que os coeficientes de correlação entre seus parâmetros fossem calculados e listados em cada teste. Apresentam-se, na seqüência, os resultados observados.

Sejam (A), (B) e (C), respectivamente, os seguintes tipos de correlação: entre componentes do vetor-translação, entre translações e alturas elipsoidais e entre alturas elipsoidais. A primeira mudança significativa, constatada nas correlações, verificou-se com a variação do número de estações conectoras aproveitadas; quanto maior o número de estações, menores as magnitudes dos três tipos de correlação. As correlações do parâmetro TX com todos os demais parâmetros são sempre negativas; todas as demais correlações são sempre positivas. Em média, as magnitudes das correlações de TX e de TY se equivalem; já as correlações de TZ apresentam magnitude ligeiramente menor. Operando-se com a de correlações: entre 0,8 e 0,9 para as do tipo (A); entre 0,4 e 0,5 para as do tipo (B); entre 0,2 e 0,3 para as do tipo (C).

Os resultados obtidos para os diferentes tipos de correlação resultantes do modelo (9), devem ser analisados à luz de dois aspectos interligados: em média, a magnitude das correlações diminui com a expansão do universo de estações conectoras; mas com isso, além daquela diminuição não resultar em valores que se possa considerar pouco significativos, pelo menos até o limite das 107 estações disponíveis, existe ainda o problema de se aumentar o número de correlações incidentes sobre cada parâmetro. E com uma agravante, qual seja: todas as correlações que incidem sobre um mesmo parâmetro são de mesmo sinal. Ainda por cima, todas as correlações incidentes sobre as incógnitas altimétricas também são de mesmo sinal (positivas).

Com respeito às componentes de translação, realizou-se uma constatação importante acerca da influência sobre eles exercida pelas correlações; mais precisamente, sobre a componente terciária (TZ). Em decorrência das baixas latitudes de nossas estações os erros incidentes sobre as componentes altimétricas dos termos (ϕ , λ , h) relativos ao SAD 69, quando estes são utilizados numa simples determinação de parâmetros de translação daquela sistema, em relação a um geocêntrico, não exercem influência significativa sobre a componente TZ. Essa constatação foi realizada para o caso da conexão NSWC 9Z-2 - SAD 69, confortando-se o vetor-translação obtido por Kadlec, F. A. & Gomes, J. P. (1978) (vide introdução) com o resultante de uma metodologia recentemente desenvolvida no IBGE, válida para aquele tipo de conexão, mediante a qual determina-se o vetor-translação entre os sistemas definidos, prescindindo-se de informações geoidal e altimétrica (os parâmetros de transformação obtidos segundo essa técnica não se correlacionam com outras grandezas). As duas determinações proporcionam componentes TZ, estatisticamente iguais, em torno de -40,5m, com desvio-padrão inferior a 1m. Por seu turno, o valor de TZ resultante da aplicação do modelo (9) foi de -43,0m, também com desvio-padrão inferior a 1m. Ora, considerando-se que o modelo (9), sequer é afetado por imprecisão geoidal, ou de informação altimétrica, a diferença constatada nas determinações de TZ só pode ser atribuída às correlações incidentes sobre aquele parâmetro, no modelo (9). Para TX e TY verifica-se o mesmo tipo de efeito. Assim sendo, existe forte motivo para se

duvidar que o vetor translação do modelo (9), represente uma boa estimativa do vetor-posição da origem do SAD 69 em relação à do TM.

Também a determinação geoidal, obtida através do modelo estudado, encontra-se afetada pelas correlações de cada incógnita altimétrica com todos os demais parâmetros. Assim, conquanto aquela determinação possa apresentar boa consistência interna, coloca-se em dúvida sua exatidão. De fato, os resultados obtidos nos vários testes realizados (vide 4.3) demonstram um comportamento ótimo do modelo, no processo de ajustamento de observações. Mas isso não basta para assegurar que as estimativas dos parâmetros apresentem boa exatidão. Tal é o efeito da incidência de correlações significativas entre as incógnitas do modelo (9). O traçado do mapa geoidal, resultante de sua aplicação, poderá fornecer subsídios a uma avaliação mais precisa da extensão daquele efeito sobre a determinação do geóide.

4.3 Resultados

Nosso principal objetivo nesta parte do trabalho, concernente à execução de testes com o modelo (9), foi o de chegar a um ajustamento ótimo com o maior número possível de estações conectoras, tendo em vista o traçado do mapa geoidal SAD 69. No quadro 1, apresenta-se uma síntese de resultados em que se procura destacar o comportamento dos parâmetros de translação, com variações na ponderação e na quantidade de estações. Todos os resultados foram obtidos "a posteriori" da solução do problema de escala, levantando em 4.1.

O universo de estações conectoras, considerado nos testes de 1 a 4, justifica-se ante a possibilidade de comparação dos respectivos resultados com outros, anteriormente, processados segundo o novo modelo desenvolvido no IBGE (vide 4.2), embora tal comparação não seja focalizada neste trabalho. Como se nota, diferentes ponderações foram experimentadas naqueles primeiros testes. Nenhuma alteração significativa foi observada nos parâmetros de translação, com as mudanças induzidas nos pesos das observações. Até certo ponto, isso era previsível, pelo seguinte: 9 estações preenchem a condição $20 \leq NPA < 35$; as 29 restantes apresentam $NPA \geq 35$ e são pequenas as diferenças entre ER1 e ER2 (e ER3). Assim, apenas a estimativa de $\hat{\sigma}_0^2$ varia, sensivelmente, com mudanças nos pesos. Examinando-se, então, em cada teste, o resultado daquela estimativa que deve, em condições ideais, aproximar-se do valor 1,0000 (m^2) fixado para σ_0^2 , pode-se chegar a uma ponderação ótima para o universo de estações considerado. As estimativas de $\hat{\sigma}_0^2$ nos testes 2 e 3 indicam ponderações pessimistas ($\hat{\sigma}_0^2 < 1$). No teste 4 a ponderação é algo otimista ($\hat{\sigma}_0^2 > 1$) mas já bem próxima de um critério ótimo. Tais experiências, concernentes à questão de ponderação, sempre revelaram a necessidade de se considerar especificações pouco menos otimistas que as preconizadas pelo DMA para ER1, ER2 e ER3, anteriormente apresentadas.

No teste 5, manteve-se com sucesso a mesma ponderação utilizada no 4, apesar de ter-se ampliado o universo de estações para um total de 74 pontos. Observam-se, então, em relação ao teste 4, variações significativas nos parâmetros de translação notadamente em Tx e Ty. Esse tipo de resposta, da parte de um modelo através do qual pretende-se resolver a transformação entre sistemas definidos, não é bem recebido, relaciona-se, em alto grau, com o já discutido problema das correlações. Aliás, a comparação das alturas elipsoidais resultantes para estações comuns

aos testes 4 e 5 revela, igualmente, grandes variações nas estimativas daquelas grandezas, muito embora tais discrepâncias sejam, via de regra, englobadas pela composição dos correspondentes desvios-padrão. Isso porque a estimativa de precisão das incógnitas altimétricas resulta muito prejudicada nos casos de pequenos universos de observações. Por exemplo, no teste 4 temos em média um desvio-padrão de 6m para as alturas elipsoidais; já no 5, esse valor cai para 3,5m.

Os testes de 6 a 9 foram realizados já com o intuito de se processar um ajustamento ótimo, aproveitando-se a totalidade dos dados disponíveis. Inicialmente, a experiência com $KEYP = 1$ evidenciou a necessidade de se adotar um critério de ponderação menos otimista que o dos testes 4 e 5 (vide estimativa de $\hat{\sigma}_0^2$). Os pesos adotados no teste 7 revelaram-se ainda passíveis de refinamento. Por fim, ao ajustamento base para o mapa geoidal. A providência tomada no teste 9 foi tão somente a de se excluir do ajustamento algumas estações para as quais pode-se confirmar a ocorrência de problemas localizados, como destruição de marcos, menor confiabilidade na informação altimétrica disponível etc. As primeiras experiências de traçado automatizado do mapa geoidal, apoiadas nos registros dos trabalhos de campo do IBGE, facilitaram a detecção de problemas daquela natureza. A determinação do Geóide SAD 69, apresentada como produto final deste trabalho, corresponde à obtida no teste 9.

Resulta muito interessante a confrontação dos resultados do quadro 1 com alguns obtidos no IBGE, mediante a técnica convencional de extração de desníveis geoidais do mapa de base astro-geodésica, equacionando-se a transformação apenas com translações e um fator de escala (parametrização parcial do modelo Bursa-Wolf). São praticamente iguais, as estimativas das translações resultantes dos dois métodos quando aplicados sob condições similares. De forma equivalente ao conjunto de incógnitas altimétricas do modelo (9), o fator de escala resulta fortemente correlacionado com as translações na técnica convencional, sendo impossível determinar esses parâmetros, simultaneamente, de forma não tendenciosa. É o problema das correlações presente na aplicação do modelo (9).

Outra constatação realizável com base no quadro 1 é a da melhor definição de TZ, relativamente a TX e TY. Não apenas sua estimativa mostra pouca variação com a mudança de dados em cada teste, como também é sempre mais precisa que as de TX e TY. Ocorre o seguinte: a baixa latitude média das estações conectoras proporciona geometria favorável a uma determinação mais precisa de TZ, sendo também, por essa razão, menor a influência sobre aquela componente, de suas correlações com as incógnitas altimétricas. Todavia, essa influência não deixa de ser significativa, conforme observado em 4.2.

Os resíduos cartesianos do ajustamento são padronizados pelo programa PTMG. As médias e desvios-padrão de cada conjunto de resíduos padronizados ($\bar{v}X$, $\bar{v}Y$ e $\bar{v}Z$) também são calculados e listados. O comportamento observado para esses indicadores estatísticos foi ótimo em todos os testes realizados sob condições adequadas de ponderação. Por exemplo, no teste 8 as médias resultaram 7,6 e 4mm, na ordem acima, e os desvios-padrão foram de 0,821, 0,758 e 0,909m, quando as condições ideais seriam médias nulas e desvios-padrão de 1m. Tais resultados estão bem de acordo com o comportamento previsto para os resíduos de um ajustamento cujas observações sejam coordenadas Doppler (vide características básicas do posicionamento Doppler em 3.1). As melhores respostas, sempre verificadas para os resi-

duos de tipo $\bar{v}Z$; parecem estreitamente relacionadas com a colocação do parágrafo anterior, concernente à baixa latitude média das estações conectoras; pois, com isso, são as componentes terciárias dos vetores-posição de cada ponto, no sistema regional, que resultam menos afetadas pelos erros presentes nas coordenadas fixadas (ϕ_i, λ_i), independentemente da parametrização das componentes altimétricas daqueles vetores. Assim, a boa aderência à distribuição normal, esperada para os erros do posicionamento Doppler, transparece melhor para as componentes terciárias das observações. Os resíduos de tipo $\bar{v}X$ e $\bar{v}Y$, por seu turno, sofrem mais os efeitos de erros em (ϕ_i, λ_i). Isto se observa melhor através dos resíduos elipsoidais, correspondentes aos cartesianos, também calculados e listados pelo PTMG. É sintomático o fato das estações conectoras do tipo EP (estação poligonal), via de regra apresentarem as maiores magnitudes para os resíduos $v\phi^s$ e $v\lambda^s$. No teste 8, $|v\phi^s|$, máximo, foi de 0,303" para a estação 90720 (Pará); $|v\lambda^s|$, máximo, resultou 0,364" para 90939 (Goiás). Ambas são estações poligonais, tendo sido aproveitadas 101 e 41 passagens de satélite em suas respectivas operações de rastreamento. A 90720, aliás, foi uma das excluídas no teste 9, para o traçado final de mapa geoidal. A exclusão dessas estações, com resíduos elipsoidais visivelmente acima da média, em módulo, não chega a afetar, significativamente, os parâmetros de translação, como foi possível observar em testes não registrados no Quadro 1. Com efeito, distorções em ϕ e λ exercem pouca influência sobre o vetor-translação.

Os resíduos altimétricos anulam-se em todas as estações. Esse resultado está inteiramente de acordo com o previsto, face à parametrização das alturas elipsoidais h_i . O "fechamento altimétrico" teria mesmo que resultar perfeito para o modelo (9). A estimativa de precisão dos parâmetros de translação pode ser considerada muito boa, face à precisão obtível para as coordenadas Doppler.

5. Mapa Geoidal

Na fig. 7, apresenta-se o mapa geoidal SAD 69, resultante da aplicação do modelo estudado, sob as condições gerais do teste nº 9 do Quadro 1. O traçado das iso-curvas resultou da aplicação de um programa apropriado da CALCOMP, o GPCP II. Da solução numérica, gravada em fita, passou-se à gráfica mediante uso de "plotter". O arquivo de dados principal para o GPCP II é constituído, linha por linha, pelas coordenadas 2-D de cada estação, em alguma projeção cartográfica, reduzidas a uma certa escala de plotagem; e pelo respectivo valor da função no ponto; caso, tal função é o desnível geoidal. A projeção adotada foi a policônica, com meridiano central de 54°W, e escala 1/22.000.000.

Das 99 estações utilizadas, nada menos que 75 apresentam $NPA \geq 35$; 22 preenchem $20 \leq NPA < 35$ e apenas duas respondem com $12 \leq NPA < 20$. Quanto às altitudes ortométricas das estações, são 65 obtidas por nivelamento trigonométrico, 33 por nivelamento geométrico e apenas 1 por barometria. As estimativas de erro, consideradas para as altitudes correspondentes aquelas técnicas, foram, respectivamente: 1m, 0,005m e 3m. Somente após a conclusão do projeto de ajustamento global da rede altimétrica de 1º ordem, em fase atual de desenvolvimento no IBGE, é que haverá condições de se revisar, criteriosamente, aquelas estimativas. A rede de nivelamento trigonométrico, à qual pertence a maioria das estações, será subsequentemente, apoiada naquela e também ajustada. A condições indicadas produziram uma determinação geoidal com desvio-padrão da ordem de 3,5m.

A conformação geral do mapa da fig. 7 apresenta boa concordância com a determinação de base astro-geodésica (fig. 1), em particular, na metade oriental do território brasileiro, justamente onde se distribui a grande maioria das estações conectoras. A conhecida deficiência localizada d mapa astrogeodésico, na forma de uma curva, atipicamente sinuosa, entre os limites 18°S/20°S e 42°W/45°W (MG), desaparece na presente determinação. Isso comprova a ocorrência de algum problema nas antigas observações e/ou cálculos astronômicos para aquela região.

Procedeu-se a uma comparação numérica entre as duas determinações geoidais, utilizando-se as 43 estações situadas entre os limites 13°S/19°S e 39°W/60°W. Nessa faixa de enquadramento, as estações apresentam um padrão razoavelmente uniforme de distribuição no sentido E-W, justamente no qual tendem a ocorrer as maiores discrepâncias entre diferentes determinações geoidais para o SAD 69, dada a própria conformação geral das iso-curvas. A média das diferenças modulares foi cerca de 4,6m ($\sigma=2,5m$). Entretanto, não se pode considerar tal discrepância significativa pois, além do desvio-padrão de 3,5m da presente determinação, há que se considerar, ainda, a estimativa de precisão do mapa astro-geodésico, algo em torno de 5m. Essa concordância estatística, entre as duas determinações, pode ser interpretada como indício de uma possível deficiência de exatidão do mapa da fig. 7 pois, como se sabe, aquela é uma característica inerente a toda determinação astro-geodésica que se estenda por grande área de abrangência, como é o caso. A causa mais provável da deficiência de exatidão do mapa geoidal da fig. 7 foi analisada no estudo das correlações entre os parâmetros do modelo (9) (vide 4.2).

Um padrão de distribuição uniforme das estações conectoras favorece a obtenção de bons resultados com o programa GPCP II. O padrão atual é bom na região centro-sul, mas apenas regular no nordeste. A superação dessa deficiência, de ordem operacional, está prevista no planejamento das campanhas do projeto PTMG, para curto prazo. Questão mais crítica, porém é a da insuficiência de pontos de controle no quadrante noroeste do território, onde não chega a rede planimétrica fundamental. Nota-se, no confronto entre as duas determinações, como naquela região surgem diferenças notáveis, na própria conformação das iso-curvas. Para esse problema, pode-se adotar solução análoga à considerada na extensão da base astro-geodésica de Fischer, qual seja: aplicação dos parâmetros de translação, resultantes do modelo (9), sobre as (134) estações Doppler estabelecidas naquela área crítica, em pontos com disponibilidade de informação altimétrica de boa precisão. Haveria, no entanto, que se avaliar a extensão do efeito das correlações incidentes sobre o vetor-translação, obtido através do modelo (9), nos resultados de sua aplicação às coordenadas Doppler.

6. Conclusões

O problema das correlações geradas entre suas inúmeras incógnitas é sem dúvida, o mais crítico, na utilização do modelo (9), em transformações do tipo das focalizadas neste trabalho. Os resultados dos vários testes de ajustamento, bem como o próprio mapa geoidal, confeccionando com base em seus parâmetros altimétricos ajustados, parecem confirmar a boa consistência interna do modelo estudado. Todavia, a não ser que se disponha de uma determinação geoidal não tendenciosa — justamente o que se busca obter, em última instância — para comparação, fica difícil avaliar a extensão do efeito das correlações sobre a exatidão da presente determinação.

Essas conclusões justificam, plenamente, a nosso ver, o esforço já desenvolvido na Divisão de Pesquisa em Geodésia, do IBGE, tendo em vista a obtenção de parâmetros de translação que se possa, com boa margem de segurança, considerar como as componentes do vetor-posição da origem do SAD 69, em relação ao Sistema Terrestre Médio. Esperamos, dentro em breve, apresentar a nova metodologia e os resultados com ela obtidos, à comunidade cartográfica nacional.

Referências Bibliográficas

- Andrade, J.B., (1984) — Determinação Simultânea de Parâmetros de Transformação entre Referenciais Geodésicos e de Desníveis Geoidais. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas — UFPR, Curitiba, Brasil.
- Fischer, I. — The Geoid in South America, Referred to Various Reference Systems. Revista Cartográfica nº 18 Do IPGH.
- Gemael, C. (1974) — Aplicações do Cálculo Matricial em Geodésia 2ª parte: Ajustamento de Observações. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas — UFPR, Curitiba, Brasil.
- Heiskanen, W. & Moritz, H. (1967) — Physical Geodesy. W. H. Freeman and CO., San Francisco, USA.
- Hoar, G. J. (1982) — Satellite Surveying. Magnavox Advanced Products and Systems Company Torrance, USA.
- Hothem, L. D. (1979) — Determination of Accuracy, Orientation and Scale Proceedings of the Second International Geodetic Symposium on Satellite Doppler Positioning, Austin, USA.
- Kadlec, F. A. & Gomes, J.P. (1978) — Cálculo de Parâmetros de Transferência de Sistemas Geodésicos. Revista Brasileira de Cartografia nº 22.
- Lachapelle, G. & Kouba, J. (1980) — Relationship between Terrestrial and Satellite Doppler Systems. Collectd Papers, Surveys and Mapping Branch, Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa, Canada.
- Lambeck, K. (1971) — The Relation of Some Geodetic Datums to a Global Geocentric Reference System. Bulletin Géodésique nº 99
- Leick, A. & Gelder, B. H. W. van (1975) — On Similarity Transformations and Geodetic Network Distortions Based on Doppler Satellite Observations. The Ohio State University, Report of Department of Geodetic Science nº 235, Columbus, USA.
- Mueller, I. I. (1974) — Review of Problems Associated with Conventional Geodetic Datums. The Canadian Surveyor Vol.28, nº 5.
- Soler, T. (1976) — On Differential Transformations between Cartesian and Curvilinear (Geodetic) Coordinate Systems. The Ohio State University, Report of the Department of Geodetic Science nº 236, Columbus, USA.
- Vanicek, P. (1975) — Report on Geocentric and Geodetic Datums. University of New Brunswick, Department of Surveying Engineering, Technical Report nº 32, Fredericton, Canada.
- Vanicek, P. & Krakiwsky, E. J. (1982) — Geodesy: The Concepts. North Holland Publishing Company, Netherlands.
- Vanicek, P. & Wells, D. E. (1974) — Positioning of Horizontal Geodetic Datums. The Canadian Surveyor Vol 28, nº5.
- Wells, D. E. & Vanicek, P. (1975) — Alignment of Geodetic and Satellite Coordinate Systems to the Average Terrestrial System. Bulletin Géodésique nº 117.



CARTA GEODIAL (PRELIMINAR) DO BRASIL

DERIVADA DE DETERMINAÇÕES ASTROGEODÉSICAS COMBINADAS
COM DETERMINAÇÕES DOPPLER SOBRE PONTOS NIVELADOS

ELIPSOIDE DE REFERÊNCIA - SAD 69
(Sistema de Referência UGGI-1967)

- SEM. EIXO MAIOR = 6 378 160 m

- ACHATAMENTO = 1/298,25

- AFASTAMENTO EM DMU - N = 0 (ZERO)

FIGURA 1



FIGURA 2



LEGENDA

- Δ - NIV. GEOMÉTRICO
- \square - NIV. TRIGONOMÉTRICO
- \circ - NIV. BAROMÉTRICO

FIGURA 3

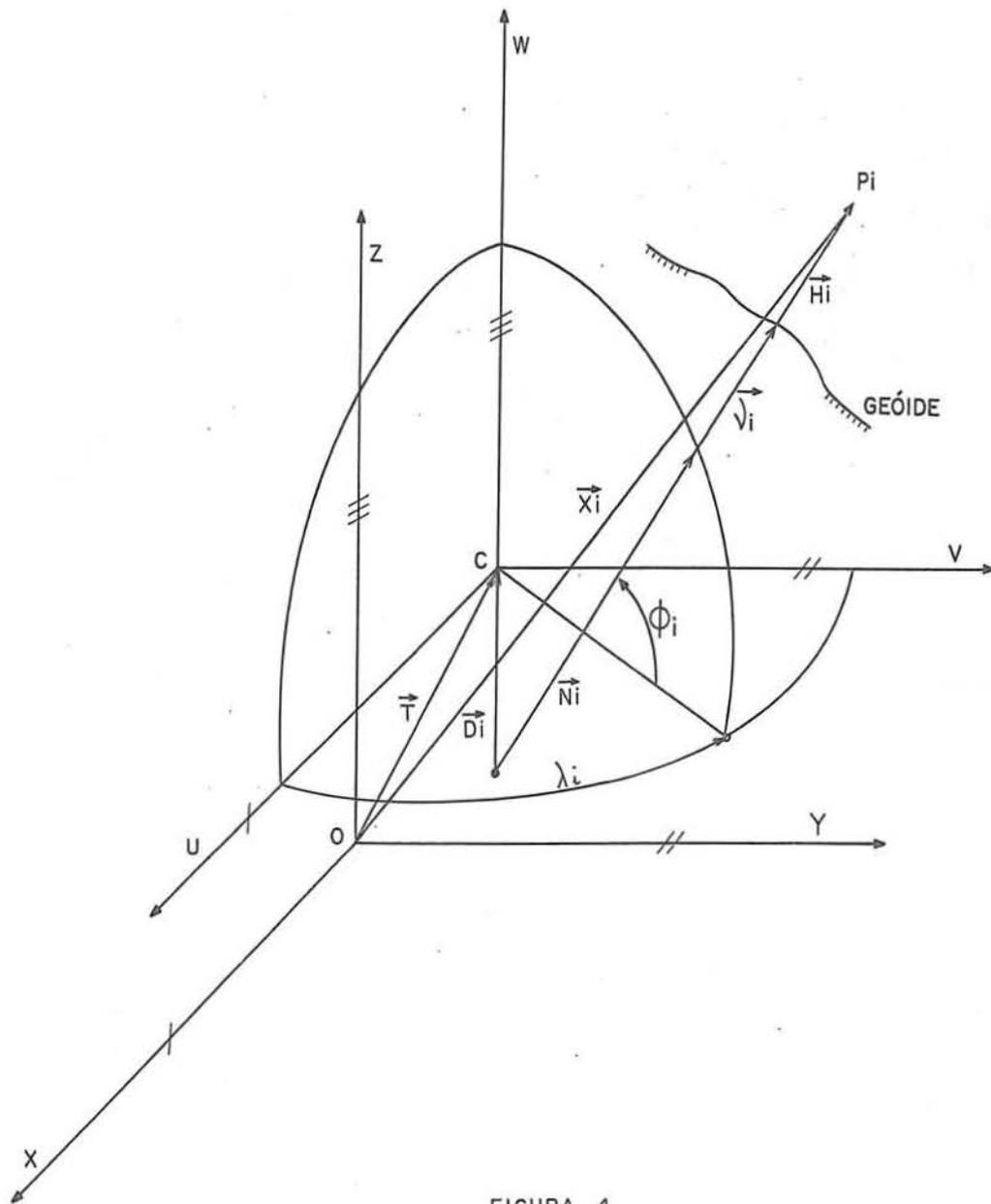


FIGURA 4

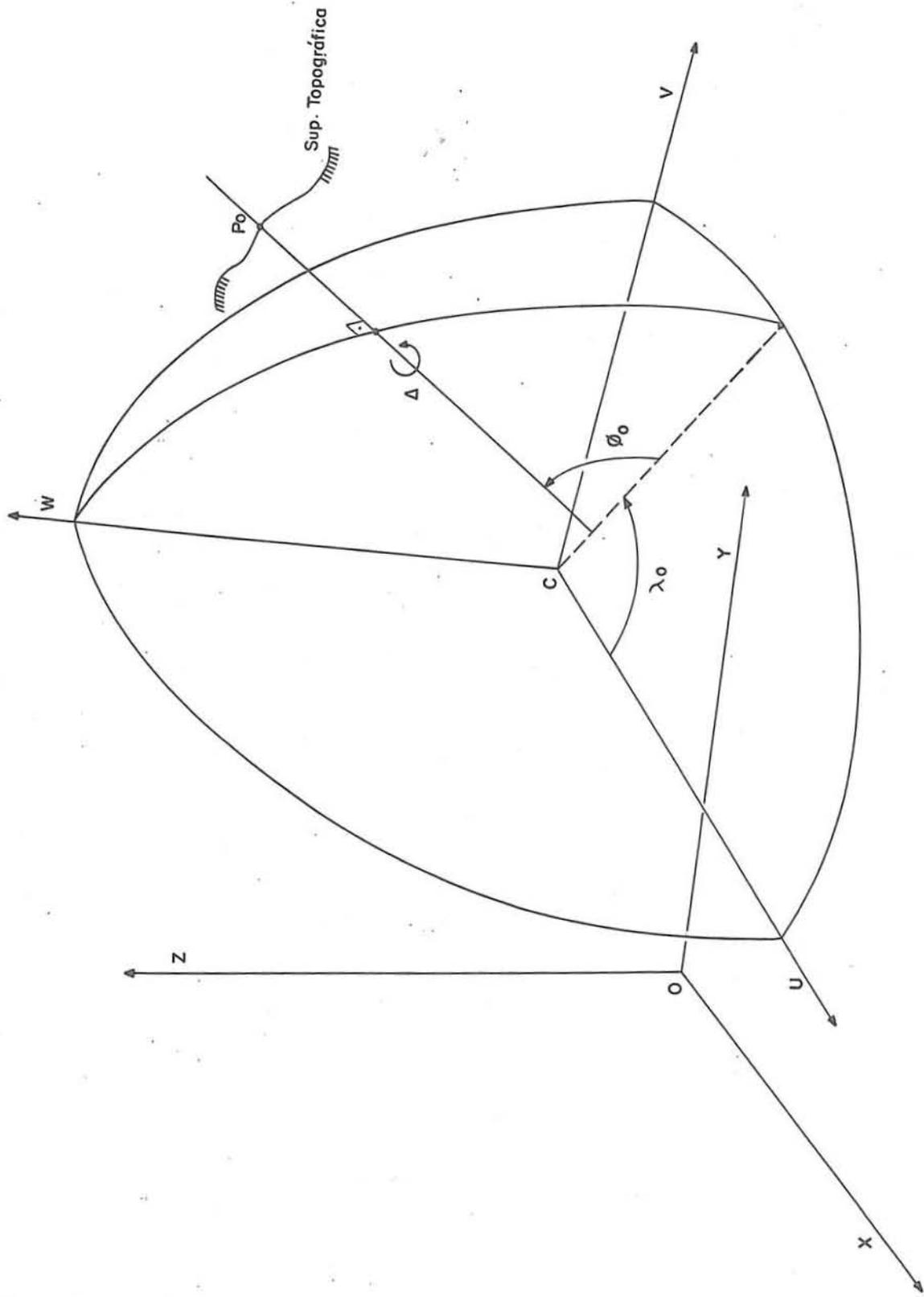


FIGURA 5

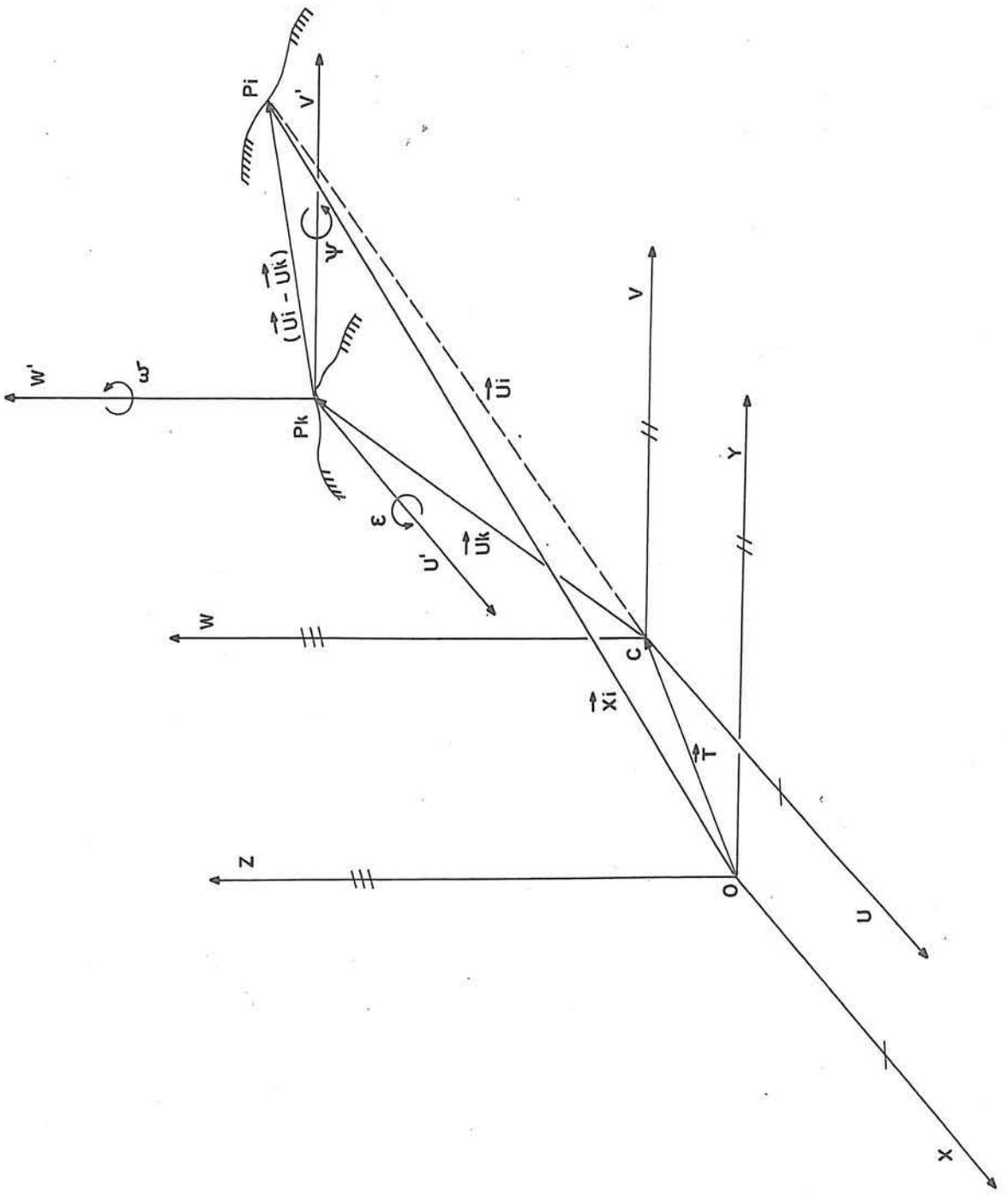
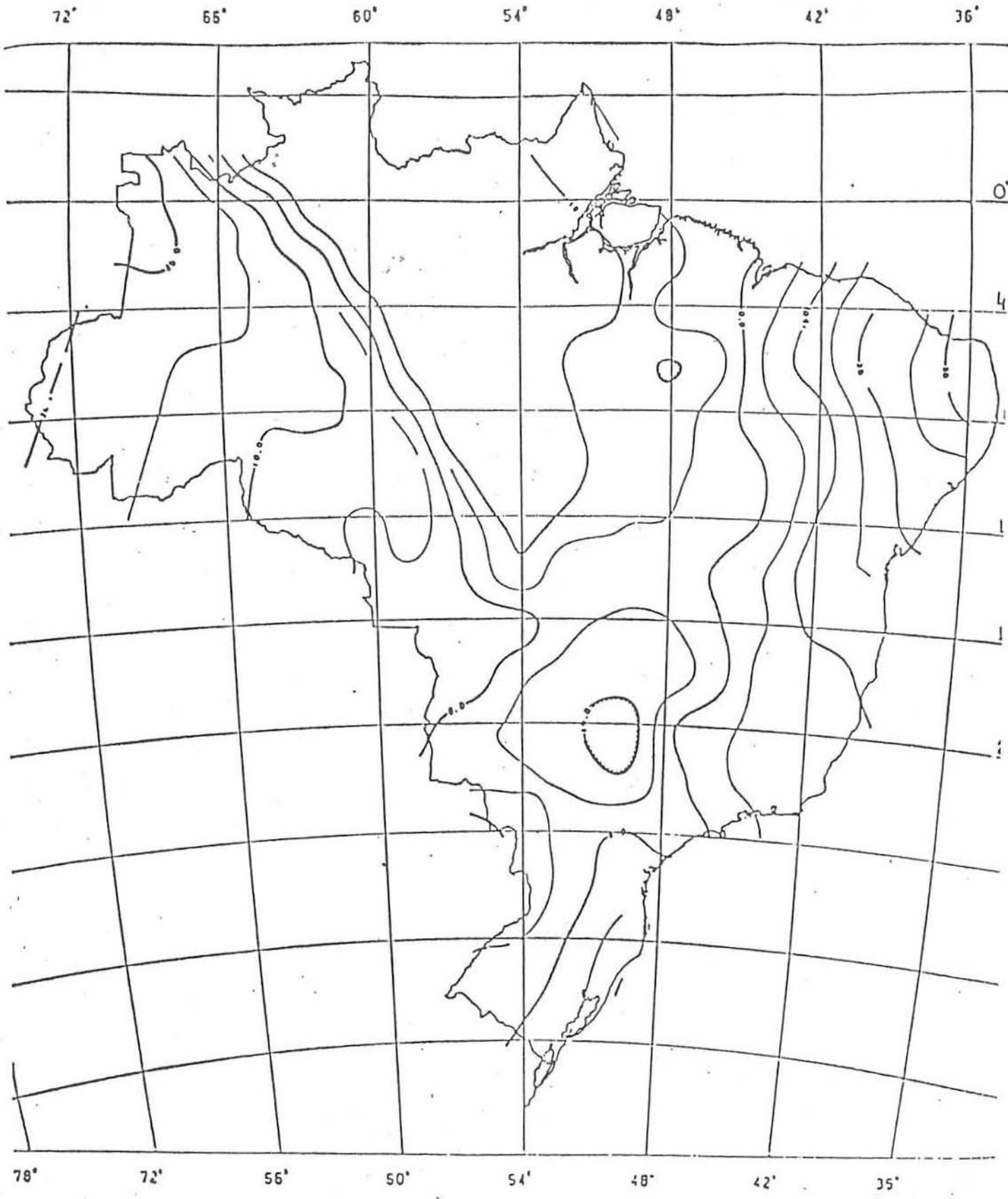


FIGURA 6



QUADRO 1

| SITE n° | DADOS | | | | RESULTADOS | | | | |
|------------|-------------------------------|------|----------------------|--|------------|-------------|-------------|-------------|------------------|
| | ENQUADRAMENTO DAS ESTAÇÕES | KEYP | ER1; ER2; ER3 (m) | ESTAÇÕES EXCLUÍDAS | | TX (m) | TY (m) | TZ (m) | $\hat{\sigma}_0$ |
| 1 | 12°S / 23°S 39°W / 53°W | 1 | —x— | 55; 58; 114; 131; 133; 134; 259; 277; 556; 560; 768; 788 | 38 | -91,43±3,64 | -39,28±3,84 | -42,94±1,71 | 5,2560 |
| 2 | IDEM | 2 | 3,0; 3,5; 4,0 | IDEM | 38 | -91,09±3,66 | -39,54±3,84 | -43,07±1,71 | 0,5447 |
| 3 | IDEM | 2 | 2,5; 3,0; 3,5 | IDEM | 38 | -91,03±3,66 | -39,58±3,84 | -43,09±1,72 | 0,7757 |
| 4 | IDEM | 2 | 2,0; 2,5; 3,0 | IDEM | 38 | -90,95±3,66 | -39,65±3,84 | -43,12±1,72 | 1,1936 |
| 5 | 9°S / 25°S 36°W / 60°W | 2 | 2,0; 2,5; 3,0 | —x— | 74 | -84,67±1,59 | -46,17±1,79 | -45,52±0,77 | 1,1422 |
| 6 | 4°N / 33°S 34°W / 74°W | 1 | —x— | —x— | 107 | -89,09±1,28 | -42,31±1,39 | -43,06±0,56 | 8,7657 |
| 7 | IDEM | 2 | 2,5; 3,0; 3,5 | —x— | 107 | -89,25±1,28 | -42,03±1,39 | -42,94±0,57 | 1,2803 |
| 8 | IDEM | 2 | 2,8; 3,2; 3,8 | —x— | 107 | -89,20±1,28 | -42,11±1,39 | -42,98±0,57 | 1,0422 |
| 9 | IDEM | 2 | 2,8; 3,2; 3,8 | 134; 176; 277; 281; 282; 720; 916; 931 | 99 | -88,28±1,28 | -42,98±1,38 | -43,45±0,57 | 0,9977 |

AJUSTAMENTO ALTIMÉTRICO SIMULTÂNEO E EM FASES ATRAVÉS DOS MÉTODOS DAS EQUAÇÕES DE OBSERVAÇÃO E DAS EQUAÇÕES DE CONDIÇÃO

Gilberto Pessanha Ribeiro
 (Engenheiro Cartográfico)

IBGE
 DIRETORIA DE GEOCIÊNCIAS
 DEPARTAMENTO DE GEODÉSIA

Sumário

| | |
|--|----|
| 1. Introdução | 1 |
| 2. Correções a Serem Aplicadas às Observações de Nivelamento Geométrico de Alta Precisão ... | 3 |
| 3. Ajustamento Altimétrico Através do Método das Equações de Observação | 4 |
| 3.1. Ajustamento Simultâneo | 4 |
| 3.1.1. Modelo Matemático | 4 |
| 3.1.2. Cálculo | 4 |
| 3.2. Ajustamento em Fases | 6 |
| 3.2.1. Conceituação | 6 |
| 3.2.2. Exemplos | 10 |
| 4. Ajustamento Altimétrico Através do Método das Equações de Condição | 18 |
| 4.1. Ajustamento Simultâneo | 18 |
| 4.1.1. Modelo Matemático | 18 |
| 4.1.2. Cálculo | 18 |
| 4.2. Ajustamento em Fases | 20 |
| 4.2.1. Conceituação | 20 |
| 4.2.2. Exemplos | 23 |
| 5. Conclusões | 23 |
| 6. Referências Bibliográficas | 25 |

1. Introdução

Este trabalho tem como objetivo apresentar o procedimento do cálculo de ajustamento em fases de uma rede altimétrica de precisão através do método das equações de observação (método dos parâmetros) e do método das equações de condição (método dos correlatos). São apresentados também os resultados destes ajustamentos obtidos de duas redes de nivelamento de pequeno porte, assim como os resultados destas mesmas redes ajustadas simultaneamente.

O ajustamento de observações pode ser classificado em duas categorias principais, segundo o número de observações envolvidas no cálculo: **ajustamento simultâneo** e ajustamento passo a passo (por passos ou por estágios). //

No caso do ajustamento de observações provenientes do nivelamento geométrico, onde há um número muito grande de observações, recomenda-se o ajustamento passo a passo. Quando, neste tipo de ajustamento, há poucos elementos desconhecidos por estágio, trata-se do **ajustamento em fase**, e quando existem poucas observações envolvidas no processamento, trata-se do ajustamento sequencial. Em resumo, tem-se:

| | | |
|-------------|---------------|------------|
| | SIMULTÂNEO | |
| AJUSTAMENTO | | |
| DE | | |
| OBSERVAÇÕES | PASSO A PASSO | EM FASES |
| | | SEQUENCIAL |

De acordo com J. M. Tienstra no livro "Theory of the Adjustment of Normally Distributed Observations", o princípio do ajustamento em fases é: /4/

Any problem of adjustment may be divided into an arbitrary number of phases, provided that, in each following phase, cofactors resulting from preceding phase(s) are used."

A importância do ajustamento em fases está diretamente associada ao grande número de observações encontradas em redes a serem ajustadas a nível continental. No Brasil, por exemplo, com certeza, é impraticável a aplicação do ajustamento simultâneo de toda a rede altimétrica de precisão, devido às limitações de alocação de memória computacional para tais observações.

Neste trabalho foram elaborados programas em linguagem FORTRAN IV para o cálculo dos ajustamentos e foram processados no sistema IBM 3081 instalado na Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, na cidade do Rio de Janeiro.

Como ainda não foi feita uma otimização de tais programas, a fim de uma melhor estruturação do fluxo do cálculo, não são apresentadas listagens destes programas neste trabalho.

Além disso, foram consideradas as covariâncias das observações nulas e os pesos das observações inversamente proporcionais às distâncias entre as referências de nível que limitam uma linha de nivelamento. /3/

A variância da unidade de peso a priori foi considerada unitária, isto é:

$$\sigma_0^2 = 1$$

2. Correções a serem aplicadas às Observações de Nivelamento Geométrico de Precisão

Neste trabalho, nos exemplos apresentados, as diferenças de nível (desníveis) "observadas" apresentadas nas tabelas I e II na verdade são consideradas como produto final de aplicação de algumas correções a priori aos desníveis observados propriamente ditos. Estas correções são: /1/

- a) Correção de refração atmosférica
- b) Correção astronômica
- c) Correção ortométrica

Além destas correções foram também consideradas as seguintes correções instrumentais:

- a) Correção de escala da mira
- b) Correção de temperatura da mira
- c) Correção de colimação do nível

As diferenças de nível, que são utilizadas no ajustamento das pequenas redes de nivelamento dos exemplos, foram, supostamente, aplicadas as três primeiras correções acima mencionadas a fim de minimizar os efeitos dos erros sistemáticos que ocorrem durante a execução do nivelamento.

A qualidade dos resultados finais de um ajustamento, independente do procedimento (método) adotado, está diretamente relacionada com a qualidade dos dados (diferença de nível, por exemplo) utilizados no seu cálculo. Desta forma, pode-se afirmar que, se os dados forem tratados com a devida atenção e cautela, no que diz respeito às suas correções, os resultados podem ser obtidos com mais segurança.

3. Ajustamento Altimétrico através do Método das Equações de Observação

3.1 Ajustamento Simultâneo

3.1.1. Modelo Matemático

O modelo matemático deste método é: /5/, /2/ e /10/

$$L_a = F(X_a)$$

Isto é, equações onde os valores observados ajustados sejam função dos parâmetros ajustados.

3.1.2. Cálculo

Os valores dos parâmetros ajustados são dados pelo seguinte vetor:

$$X_a = X_0 + X$$

Onde:

- X_0 : vetor dos valores aproximados dos parâmetros
- X : vetor das correções aos parâmetros

Os valores observados ajustados são dados pelo vetor:

$$L_a = L_b + V$$

Onde:

- L_b : vetor dos valores observados
- V : vetor dos resíduos

O modelo matemático linearizado é dado por:

$$L_b + V = F(X_a) = F(X_0 + X) = F(X_0) + \frac{F}{X_a} \Bigg|_{X_0} X$$

$$L_0 = F(X_0)$$

$$A = \frac{\partial F}{\partial X_a} \Bigg|_{X_0}$$

$$L_b + V = L_0 + A X$$

$$V = L_0 - L_b + A X$$

$$L = L_0 - L_b$$

$${}_n V_1 = {}_N A_{uu} X_1 + {}_n L_1$$

Onde:

- n : número de equações de observações
- u : número de parâmetros incógnitos

A matriz dos coeficientes de peso das observações é dada por:

$$P = \begin{matrix} 2 & -1 \\ 0 & L_b \end{matrix}$$

Onde:

$$\sigma_0^2 : \text{variância a priori}$$

$$\sum_{L_b} : \text{matriz variância-covariância dos valores observados}$$

O vetor das correções aos parâmetros é dado por:

$$X = -(N)^{-1} U$$

Onde:

$$N = A^T P A$$

$$U = A^T P L$$

Equações Normais:

$$N X + U = 0$$

A matriz variância-covariância das correções é dada por:

$$\sum_X = \sigma_0^2 N^{-1}$$

A matriz variância-covariância dos parâmetros ajustados é dada por:

$$\sum_{X_a} = \sigma_0^2 N$$

A matriz variância-covariância dos valores observados ajustados é dada por:

$$\sum_{L_a} = \sigma_0^2 A N^{-1} A^T$$

A matriz variância-covariância dos resíduos é dada por:

$$\sum_V = \sigma_0^2 (A N^{-1} A^T - P^{-1})$$

A variância da observação de peso unitário a posteriori é dada por:

$$\sigma_0^2 = \frac{V^T P V}{S}$$

Onde:

$S = u$: número de graus de liberdade.

3.2. Ajustamento em Fases

3.2.1. Conceituação

O problema de observações indiretas pode também ser resolvido pelo ajustamento em fases. As equações de observação são dadas por:

$$V = A X + L \quad \text{com} \quad P' : \text{matriz dos coef. de peso}$$

Então, dividindo o ajustamento em duas fases, as equações tomam o seguinte aspecto:

$$V_1 = A_1 X + L_1 \quad \text{com} \quad P_1 : \text{matriz dos coef. de peso}$$

$$V_2 = A_2 X + L_2 \quad \text{com} \quad P_2 : \text{matriz dos coef. de peso}$$

Onde os sub-índices das matrizes indicam a que fase do ajustamento se referem.

Primeira fase do ajustamento

As equações normais, para os dois conjuntos de equações de observação, são as seguintes:

$$N' X + U' = 0 \quad (1)$$

$$(N_1 + N_2) X + (U_1 + U_2) = 0$$

Onde:

$$N_1 = A_1^T P_1 A_1 \quad \text{com} \quad P_1 = N_1$$

$$N_2 = A_2^T P_2 A_2$$

$$U_1 = A_1^T P_1 L_1$$

$$U_2 = A_2^T P_2 L_2$$

Fazendo X_1 ser o vetor dos valores das correções aos parâmetros na primeira fase do ajustamento, logo, a partir da equação (1), têm-se as equações normais para esta fase:

$$N_1 X_1 + U_1 = 0$$

O vetor X_1 explicitado

$$X_1 = -N_1^{-1} U_1$$

A matriz dos coeficientes de peso dos parâmetros incógnitos é dada por:

$$\sum_{X_1} = N_1^{-1}$$

O vetor dos valores ajustados dos parâmetros é dado por:

$$X_{a1} = X_{o1} + X_1$$

O vetor dos resíduos é dado por:

$$V_1 = A_1 X_1 + L_1$$

O vetor dos valores observados ajustados é dado por:

$$L_{a1} = L_b + V_1$$

Segunda fase do ajustamento

Para a segunda fase do ajustamento, os valores encontrados (calculados) para os parâmetros incógnitos na primeira fase são utilizados como valores observados, isto é:

$$L_b = F(X_{a1})$$

Fazendo X_2 ser o vetor dos valores das correções encontrados na segunda fase, que é o vetor final dos valores das correções no ajustamento, tem-se:

$$X_2 = X_1 + V_2'$$

$$V_2' = x_2 \cdot X_1$$

$$V_2 = X_2 + N_1^{-1} U_1$$

As equações de observação para esta fase têm a forma:

$$\begin{bmatrix} A_2 \\ 1 \end{bmatrix} X_2 + \begin{bmatrix} L_2 \\ N_1^{-1} U_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_2 \\ V_2' \end{bmatrix} \quad \text{ou} \quad A' X_2 + L' = V'$$

Ou ainda:

$$A_2 X_2 + L_2 = V_2$$

$$IX_2 + N_1^{-1} U_1 = V_2'$$

com a seguinte matriz de coeficientes de peso:

$$P' = \begin{bmatrix} P_2 & 0 \\ 0 & N_1 \end{bmatrix} \quad \text{onde: } P_2 = N_2 = \sum X_2^{-1}$$

As equações normais são equivalentes às apresentadas anteriormente:

$$(N_2 + N_1) X_2 + (U_2 + U_1) = 0$$

A partir do que foi descrito acima, as seguintes conclusões podem ser escritas. Com respeito ao ajustamento em fases de observações indiretas, as equações normais são formadas usando os valores dos parâmetros incógnitos encontrados na primeira fase do ajustamento. Os valores dos coeficientes de peso obtidos a partir da primeira fase (matriz variância-covariância dos valores dos parâmetros ajustados) são utilizados na segunda fase.

Para ajustar estas equações de observação, juntamente com as equações de observação do segundo conjunto, os valores dos parâmetros incógnitos encontrados são equivalentes àqueles obtidos quando os dois conjuntos de equações de observação são ajustados simultaneamente.

A matriz dos coeficientes de peso dos parâmetros incógnitos $P' = \sum X^{-1}$, depois da segunda fase do ajustamento, equivale àquela obtida através da solução combinada dos dois conjuntos de equações de observação.

O valor mínimo de $V^T P V$ pode ser obtido pela substituição dos valores desconhecidos encontrados através da segunda fase do ajustamento, nas equações de observação V_1 e V_2 , ou pela equação:

$$V^T P V = L_1^T P_1 L_1 + L_2^T P_2 L_2 + U_2^T X_2$$

3.2.2. Exemplos

São apresentados dois exemplos de redes altimétricas de precisão. O primeiro exemplo (Figura A) tem as seguintes características:

$$\text{número de equações de observação (n)} = 14$$

$$\text{número de parâmetros incógnitos (u)} = 6$$

$$\text{número de graus de liberdade (n - u)} = 8$$

O segundo exemplo (Figura B) tem as seguintes características:

$$\text{número de equações de observação (n)} = 9$$

$$\text{número de parâmetros incógnitos (u)} = 5$$

$$\text{número de graus de liberdade (n - u)} = 4$$

Nos anexos deste trabalho, podem ser encontrados os resultados do ajustamento destes exemplos através do método das equações de observação, simultaneamente e em duas fases.

O exemplo da figura A /8/ foi dividido em duas partes também. A primeira fase envolve os circuitos 1 e 2, e a segunda fase, os circuitos 3 e 4 (Figura B1).

Vale lembrar que o número de circuitos (ou linhas) identificados nos "croquis", independentemente entre si, está relacionado ao número de referências de nível fixas (injunções) consideradas no ajustamento.

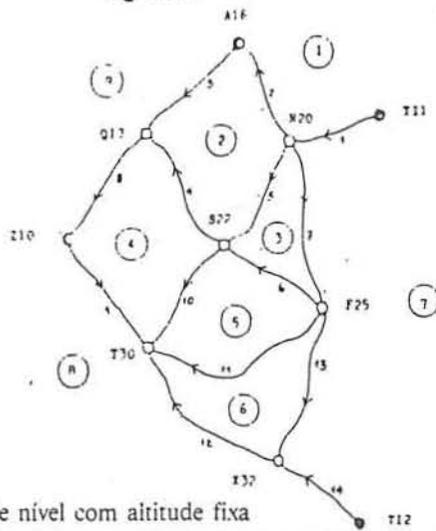
Nas tabelas I e II, são apresentados os valores observados das diferenças de nível, respectivamente, dos exemplos A e B.

Nas tabelas III e IV, são apresentados os valores ajustados das diferenças de nível, assim como os resíduos encontrados após o ajustamento.

Nas tabelas V e VI, são apresentados os valores das altitudes fixas e das ajustadas após o ajustamento.

Observou-se que os resultados dos ajustamentos, segundo o método das equações de observação e o método das equações de condição, foram idênticos.

Figura A

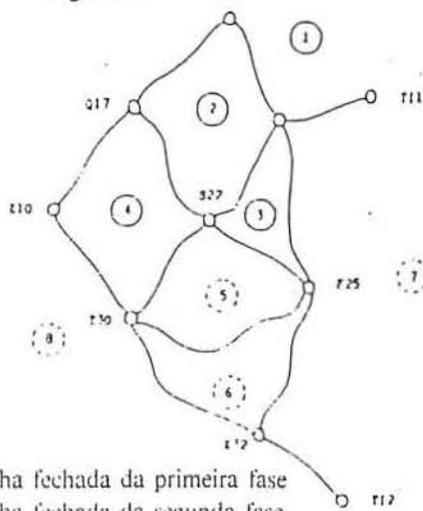


Legenda:

- Referência de nível com altitude fixa
- Referência de nível com altitude desconhecida

Observação: As setas indicam o sentido em que o terreno se eleva.

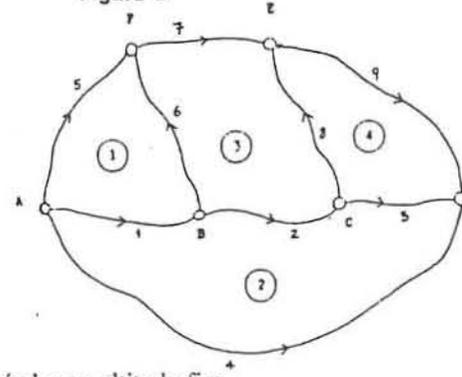
Figura A1



Legenda:

- Circuito ou linha fechada da primeira fase
- ⊖ Circuito ou linha fechada da segunda fase
- ⊘ Linha fechada não considerada no ajustamento

Figura B

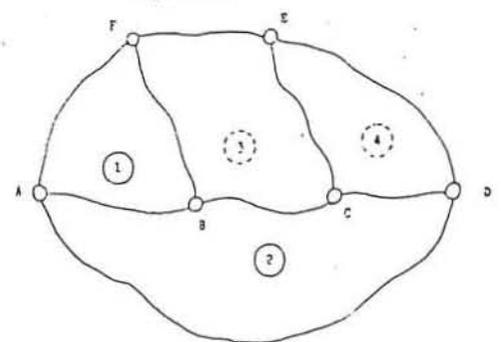


Legenda:

- Referência de nível com altitude fixa
- Referência de nível com altitude desconhecida

Observação: As setas indicam o sentido pelo qual foi feito o nivelamento.

Figura B1



Legenda:

- Circuito da primeira fase
- ⊖ Circuito da segunda fase

Tabela I

| LINHA | REFERÊNCIA DE NÍVEL DE | REFERÊNCIA DE NÍVEL PARA | DIFERENÇA DE NÍVEL OBSERVADA (m) | DISTÂNCIA (km) |
|-------|------------------------|--------------------------|----------------------------------|----------------|
| 1 | T11 | N20 | 12,3434 | 20,00 |
| 2 | N20 | A16 | 10,0410 | 25,00 |
| 3 | A16 | Q17 | 15,9121 | 31,00 |
| 4 | S22 | Q17 | 3,8128 | 28,00 |
| 5 | N20 | S22 | 22,1284 | 37,00 |
| 6 | F25 | S22 | 10,3317 | 32,00 |
| 7 | N20 | F25 | 11,8103 | 41,00 |
| 8 | Q17 | Z10 | 17,4588 | 37,00 |
| 9 | Z10 | T30 | 2,8147 | 39,00 |
| 10 | S22 | T30 | 24,0654 | 41,00 |
| 11 | F25 | T30 | 34,4186 | 52,00 |
| 12 | X32 | F30 | 15,4827 | 48,00 |
| 13 | F25 | X32 | 18,9476 | 45,00 |
| 14 | T12 | X32 | 42,3215 | 17,00 |
| | | | TOTAL | 493,00 |

Tabela II

| LINHA | REFERÊNCIA DE NÍVEL DE | PARA | DIFERENÇA DE NÍVEL OBSERVADA (m) | DISTÂNCIA (km) |
|-------|------------------------|------|----------------------------------|----------------|
| 1 | A | B | 124,632 | 125,94 |
| 2 | B | C | 217,168 | 74,08 |
| 3 | C | D | - 92,791 | 103,71 |
| 4 | A | D | 248,754 | 316,69 |
| 5 | A | F | - 11,418 | 140,75 |
| 6 | B | F | - 135,876 | 77,78 |
| 7 | F | E | - 161,107 | 194,46 |
| 8 | C | E | - 513,895 | 122,23 |
| 9 | E | D | 421,234 | 148,16 |
| | | | TOTAL | 1303,80 |

Tabela V

| REFERÊNCIA DE NÍVEL | ALTITUDE FIXA (m) | ALTITUDE AJUSTADA (m) |
|---------------------|-------------------|-----------------------|
| T11 | 1,3752 | — |
| A16 | 23,7685 | — |
| N20 | — | 13,7552 |
| Q17 | — | 39,6766 |
| S22 | — | 35,8652 |
| Z10 | 57,1287 | — |
| F25 | — | 25,5327 |
| T30 | — | 59,9462 |
| X32 | — | 44,4807 |
| T12 | 2,1654 | — |

Tabela III

| LINHA | REFERÊNCIA DE NÍVEL DE | PARA | DIFERENÇA DE NÍVEL (m) | RESÍDUO (m) |
|--------------------------------------|------------------------|------|------------------------|-------------|
| 1 | T11 | N20 | 12,3500 | 0,0066 |
| 2 | N20 | A16 | 10,0433 | 0,0023 |
| 3 | A16 | Q17 | 15,9081 | - 0,0040 |
| 4 | S22 | Q17 | 3,8114 | - 0,0014 |
| 5 | N20 | S22 | 22,1399 | 0,0115 |
| 6 | F25 | S22 | 10,3324 | 0,0007 |
| 7 | N20 | F25 | 11,8075 | - 0,0028 |
| 8 | Q17 | Z10 | 17,4521 | - 0,0067 |
| 9 | Z10 | T30 | 2,8175 | 0,0028 |
| 10 | S22 | T30 | 24,0811 | 0,0157 |
| 11 | F25 | T30 | 34,4135 | - 0,0051 |
| 12 | X32 | T30 | 15,4655 | - 0,0172 |
| 13 | F25 | X32 | 18,9479 | 0,0003 |
| 14 | T12 | X32 | 42,3153 | - 0,0062 |
| SOMATÓRIO DOS QUADRADOS DOS RESÍDUOS | | | | 0,0000 |

Tabela VI

| REFERÊNCIA DE NÍVEL | ALTITUDE FIXA (m) | ALTITUDE AJUSTADA (m) |
|---------------------|-------------------|-----------------------|
| A | 1679,4320 | — |
| B | — | 1803,9627 |
| C | — | 2021,0709 |
| D | — | 1928,2768 |
| E | — | 1507,0809 |
| F | — | 1668,0869 |

3. Ajustamento Altimétrico através do Método das Equações de Condição

4.1. Ajustamento Simultâneo

4.1.1. Modelo Matemático

O modelo matemático deste método é: /5/, /2/ e /10/

$$F(L_a) = 0$$

Isto é, equações onde há funções nulas que envolvam os valores observados ajustados.

No caso do nivelamento geométrico ao longo de linhas formando um círculo fechado, por exemplo, a soma algébrica de todas as diferenças de nível deveria ser nula, mas isto na prática não acontece devido aos erros de fechamento do próprio circuito.

4.1.2. Cálculo

Os valores das observações ajustadas são dados por:

$$L_a = L_b + V$$

Tabela IV

| LINHA | REFERÊNCIA DE NÍVEL DE | PARA | DIFERENÇA DE NÍVEL (m) | RESÍDUO (m) |
|--------------------------------------|------------------------|------|------------------------|-------------|
| 1 | A | B | 124,5307 | - 0,1013 |
| 2 | B | C | 217,1082 | - 0,0598 |
| 3 | C | D | - 92,7941 | - 0,0031 |
| 4 | A | D | 248,8448 | 0,0908 |
| 5 | A | F | - 11,3451 | 0,0729 |
| 6 | B | F | - 135,8758 | 0,0002 |
| 7 | F | E | - 161,0059 | 0,1011 |
| 8 | C | E | - 513,9900 | - 0,0950 |
| 9 | E | D | 421,1959 | - 0,0381 |
| SOMATÓRIO DOS QUADRADOS DOS RESÍDUOS | | | | 0,0003 |

O modelo matemático linearizado é dado por:

$$F(L_a) = F(L_b + V) = F(L_b) + \frac{\partial F}{\partial L_a} \bigg|_{L_b} (L_a - L_b) = 0$$

$$F(L_b) = W$$

$$B = \frac{\partial F}{\partial L_a} \bigg|_{L_b}$$

$${}_r B_{nn} V_1 + {}_r W_1 = {}_r 0_1$$

Onde:

r : número de equações de condição
 n : número de incógnitas

A matriz dos coeficientes de peso das observações é dada por:

$$P = \sigma_0^{-2} \sum_{L_b}^{-1}$$

Onde:

σ_0^{-2} : variância a priori

\sum_{L_b} : matriz variância-covariância dos valores observados

O vetor dos resíduos:

$$V = P^{-1} B^T K$$

Onde:

$$K = -(B P^{-1} B^T)^{-1} W$$

A matriz variância-covariância dos valores ajustados é dada por:

$$\sum_{L_a} = \sigma_0^{-2} [P^{-1} - P^{-1} B^T M^{-1} B P^{-1}]$$

Ou ainda por:

$$\sum_{L_a} = \sigma_0^{-2} [I - P^{-1} B^T M^{-1} B] P^{-1}$$

Onde:

$$M = B P^{-1} B^T$$

σ_0^{-2} : variância a priori

I : matriz identidade de ordem n

P : matriz dos coeficientes de peso das observações

A matriz variância-covariância dos valores observados:

$$\sum_{L_b} = \sum_{L_a} + \sum V$$

A variância da observação de peso unitário a posteriori é dada por:

$$\sigma_0^{-2} = \frac{V^T P V}{r}, \text{ onde } V^T P V = -K^T W$$

4.2. Ajustamento em Fases

4.2.1. Conceituação

O princípio apresentado na introdução deste trabalho pode ser aplicado ao ajustamento em fases através das observações condicionadas, assim como através das observações indiretas.

Assim, nas equações de condição:

$$B V + W = 0$$

Os pesos das observações são apresentados por uma matriz diagonal P onde as covariâncias entre as observações são consideradas nulas.

Para este tipo de ajustamento, considerando duas fases assim como o caso anterior, as equações de condição de cada fase são:

$$B_1 V + W_1 = 0 \quad (2)$$

$$B_2 V + W_2 = 0 \quad (3)$$

Onde os sub-índices das matrizes indicam a que fase do ajustamento se referem.

O vetor dos resíduos é o seguinte:

$$V = V_1 + V_2 \quad (4)$$

Primeira fase do ajustamento

Seja V_1 o vetor dos resíduos obtidos através da primeira fase, usando o primeiro conjunto de equações de condição. Logo, a equação (2) toma a forma:

$$B_1 V_1 + W_1 = 0$$

com o mesmo procedimento do ajustamento simultâneo, tem-se:

$$V_1 = P^{-1} B_1^T K_1$$

Onde:

$$K_1 = -N_1^{-1} W_1$$

$$N_1 = B_1 P^{-1} B_1^T$$

$$K_2 = \begin{bmatrix} K_2' \\ K_2'' \end{bmatrix}$$

As equações normais desta fase têm a forma:

$$B_1^T P^{-1} B_1^T K_1 + W_1 = 0$$

$$N_1 K_1 + W_1 = 0$$

A matriz dos coeficientes de peso para os correlatos é a inversa da matriz N_1 , isto é:

$$\sum C_1 = N_1^{-1}$$

A matriz dos coeficientes de peso dos resíduos é dada por:

$$\sum V_1 = P^{-1} B_1^T N_1^{-1} B_1 P^{-1}$$

A matriz dos coeficientes de peso dos valores observados ajustados é então:

$$\sum L_{a_1} = P^{-1} \sum V_1$$

$$\sum L_{a_1} = (I - P^{-1} B_1^T N_1^{-1} B_1) P^{-1}$$

Para esta primeira fase os valores ajustados são dados por:

$$L_{a_1} = L_b + V_1$$

Segunda fase do ajustamento

O princípio básico para o ajustamento de fases é a aplicação da matriz variância-covariância dos valores observados ajustados da primeira fase ($\sum L_{a_1}$) no cálculo da segunda fase.

Desta forma, então:

$$N_2 = B_2 \sum L_{a_1} B_2^T \quad ; \quad P_2 = \sum L_{a_1}$$

Sejam V_2 e K_2 os vetores dos resíduos e dos correlatos obtidos através da segunda fase.

Logo, o vetor dos correlatos é dado por:

$$K = \begin{bmatrix} K_1 \\ K_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_1 + K_2' \\ K_2'' \end{bmatrix}$$

A equação (4) nas equações (2) e (3) dão como resultado:

$$B_1 (V_1 + V_2) + W_1 = 0$$

$$B_2 (V_1 + V_2) + W_2 = 0$$

$$B_1 V_1 + B_1 V_2 + W_1 = 0 \quad (5)$$

$$B_2 V_1 + B_2 V_2 + W_2 = 0 \quad (6)$$

Substituindo V_1 , como obtido através da primeira fase do ajustamento, nas equações (5) e (6), tem-se:

$$(B_1 V_1 + W_1) + B_1 V_2 = 0$$

Como $B_1 V_1 + W_1 = 0$, logo:

$$B_1 V_2 = 0 \quad (7)$$

$$B_2 V_2 + (W_2 + B_2 V_2) = 0$$

Fazendo $B_2 V_1 + W_2 = W_2'$, tem-se:

$$B_2 V_2 + W_2' = 0 \quad (8)$$

Usando o método dos mínimos quadrados, tem-se, a partir de (7) e (8) as seguintes equações correlatas:

$$V_2 = P^{-1} B_1^T K_2' + P^{-1} B_2^T K_2'' \quad (9)$$

E as equações normais:

$$N_1 K_2' + B_1 P^{-1} B_2^T K_2'' = 0$$

Fazendo algumas transformações tem-se:

$$K_2' = -N_1^{-1} B_1 P^{-1} B_2^T K_2'' \quad (10)$$

$$K_2'' = -N_2^{-1} W_2'$$

Substituindo a equação (10) na equação (9), tem-se:

$$V_2 = \sum L_{a_1} B_2^T K_2'' \quad (11)$$

As equações normais para a segunda fase são dadas por:

$$B_2 \sum L_{a_1} B_2^T K_2'' + W_2' = 0 \quad (12)$$

As equações (11) e (12) são, respectivamente, as equações correlatas e as normais que satisfazem as equações de condição para a segunda fase do ajustamento. Em outras palavras, as equações (7) e (8) são formadas usando os valores ajustados obtidos através da primeira fase do ajustamento como as quantidades observadas, e os coeficientes de peso das quantidades ajustadas ($\sum L_{a_1}$) são usados como pesos das quantidades observadas na segunda fase do ajustamento para formar as equações normais e as equações correlatas. Então, os resíduos obtidos a partir da segunda fase do ajustamento (V_2) mais os resíduos obtidos através da primeira fase do ajustamento (V_1) serão iguais àqueles obtidos através do ajustamento simultâneo.

O valor mínimo de $V^T P V$ pode ser obtido separadamente para cada fase:

$$V_1^T P V_1 = - K_1^T W_1 = K_1^T N_1^{-1} K_1 \quad (13)$$

$$V_2^T P V_2 = - K_2^T W_2 = K_2^T N_2^{-1} K_2 \quad (14)$$

O valor final do somatório dos quadrados dos resíduos é dado pela adição das equações (13) e (14):

$$V^T P V = K_1^T N_1^{-1} K_1 + K_2^T N_2^{-1} K_2$$

4.2.2. Exemplos

Os mesmos exemplos apresentados no item 3.2.2. foram utilizados para o ajustamento pelo método das equações de condição. O exemplo da figura A tem as seguintes características:

número de equações de condição (r) = 8
 número de graus de liberdade = 8
 número de incógnitas = 14

O exemplo da figura B tem as seguintes características:

número de equações de condição (r) = 4
 número de graus de liberdade = 4
 número de incógnitas = 9

Nas tabelas deste trabalho, são encontrados os resultados do ajustamento destes exemplos através do método das equações de condição, simultaneamente e em duas fases.

Para o ajustamento em fases, a rede foi dividida da mesma forma que no caso anterior para os dois exemplos.

As altitudes ajustadas e os resíduos apresentados nas tabelas são os mesmos obtidos, quando aplicado o outro método de ajustamento nas redes altimétricas.

5. Conclusão

Através dos dois casos analisados de redes altimétricas de precisão, vê-se a grande aplicabilidade do ajustamento em fases. Quando se trata de redes de grande porte, com um número grande de observações, aconselha-se este procedimento no cálculo do ajustamento.

A adoção do método de ajustamento (paramétrico ou dos

correlatos) está associada ao armazenamento, na memória do computador, das variáveis (matrizes e vetores). Notou-se que utilizando o método dos parâmetros, foi necessário inverter uma matriz de ordem 6, enquanto que, utilizando o outro método (dos correlatos), a matriz a ser invertida é de ordem 8. Este pode ser um ponto a favor do método dos parâmetros, no caso do ajustamento simultâneo, para o exemplo da figura A. Já no outro exemplo, foi preciso inverter uma matriz de ordem 5, utilizando o método dos parâmetros, enquanto que, utilizando o outro método, a matriz a ser invertida foi de ordem 4, no ajustamento simultâneo.

A viabilidade do emprego do ajustamento em fases relativo a redes altimétricas de precisão, pode ser encontrada, por exemplo, no ajustamento da Rede de Nivelamento Australiana /9/. Naquele país, houve uma divisão da rede em cinco partes, gerando, então, cinco fases de ajustamento.

No caso do nosso país, mesmo tratando-se de uma área maior que a da Austrália, é possível a adoção de uma metodologia para um ajustamento altimétrico em fases. Deve-se, portanto, dar uma atenção especial à propagação de erros ao longo dos circuitos e linhas a serem inseridos no ajustamento.

Sabe-se, portanto, que o ajustamento de redes de nivelamento e o ajustamento de redes gravimétricas trabalham com modelos matemáticos lineares, logo quando adota-se o método das equações de observação no processo do ajustamento, o cálculo deve ser não iterativo, isto é, o cálculo deve se processar diretamente. As expressões, para este caso, para se obter as observações ajustadas (desníveis) e parâmetros também ajustados (altitudes) são, respectivamente:

$$L_a = V + A X_a + C$$

$$X_a = - (A^T P A)^{-1} A^T P (C - L_B)$$

Onde C é o vetor de constantes contendo valores de altitudes fixas para o ajustamento.

Referências Bibliográficas

- 1 BALAZAS, E I. & YOUNG, G. M. Corrections applied by the National Geodetic Survey to precise levelling Observations. Rockville, Md. United States Department of Commerce, June, 1982. 12p.
- 2 BJERHAMMAR, A. Theory of errors and generalized matrix inverses. Stockholm, Sweden. Elsevier Scientific Publishing Company, 1973. 420p.
- 3 BRAATEN; DORE; KUKKAMAKI; RUNE & VIGNAL. Note on the evaluation of the precision of leveling. Bulletin Géodésique (18): 521-548, Aug., 1948.
- 4 CHUNG-CHI, Y. On phased adjustment. Survey Review. () : 282-

-
- 5 GEMAEI, C. Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas. Curitiba, UFPr, 1984. p. irr. apostila.
- 6 _____. Aplicações do método matricial em Geodésia. Curitiba, UFPr, _____. p. irr. Apostila.
- 7 MENEZES, _____. Cálculo das compensações. Notas de aula. Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, 1982.
- 8 RAPPLEYE, H. S. Manual of leveling computation and adjustment. Washington, D. C. United States Government Printing Office, 1948, 178 p.
- 9 ROELSE, A.; GRANGER, H. W. & GRAHAM, J. W. The adjustment of the Australian Leveling Survey. 2. ed. Canberra, Australia, s. ed. Mar., 1975. p. irr.
- 10 VANICEK, P. & KRAKIWSKY, E. J. Geodesy: the concepts. 2ed. Amsterdam, North-Holland. Elsevier Science Publishers B. V., 1986. 697 p.

MARÉGRAFO DIGITAL REMOTO

Rui Pereira de Almeida
Diretoria de Operações e Drenagem
PORTOBRÁS-Empresa de Portos do Brasil S.A
Cidade do Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Resumo

Descrição de um sistema de medição de maré, para apresentação de leituras à distância, com resolução de centímetro e filtro de compensação de ondas, utilizando transdutor de sonar e canal de rádio de radiofrequência.

Abstract

Description of a system of tide's measurement for remote reading, with centimeter resolution and wave compensation filter, based on sonar and RF-LINK.

1. Introdução

O Marégrafo Digital Remoto (MDR) tem por finalidade a determinação do nível d'água dos mares, em regiões costeiras, de difícil acesso, ou sujeitas a intensas variações de nível, onde a leitura, por métodos convencionais de régua, não atende ao dinamismo necessário ao acompanhamento do fenômeno.

O princípio de funcionamento do MDR baseia-se na medição do nível d'água, por ondas sonoras, a partir de uma unidade Transmissora/Receptora de ECOS, e num canal de rádio frequência capaz de levar aos receptores remotos, a leitura instantânea efetuada.

O marégrafo é constituído por uma *Estação Transmissora*, instalada junto ao local de medição, e uma ou mais *Estações Receptoras*. A transmissora processa a medição, e envia-a em forma de sinais para os receptores. Na receptora, é feito o tratamento dos sinais, determinação e apresentação da leitura.

As leituras de maré, fornecidas pelo MDR, traduzem a variação de altura da lâmina d'água do local, em relação a um referencial estabelecido (Nível de Redução). A determinação da variação é feita a partir da medição de profundidade e sua comparação, imediata, com esse referencial de aferição do equipamento.

2. Medição com Ecossonda

A medição da profundidade por som, consiste na determinação do intervalo de tempo que uma onda sonora leva para

viajar, ida e volta, da superfície ao fundo. O tempo é proporcional ao dobro da distância entre esses pontos, e o fator de proporcionalidade é a velocidade de propagação do som, no meio.

A temperatura e a alta salinidade do meio, influenciam a velocidade de propagação. A variação é diretamente proporcional ao aumento da temperatura e da salinidade. A velocidade assume valores que vão de 1383 m/s a 1536 m/s. Há, também, influência da pressão, que só é relevante a grandes profundidades, não incluídas no presente contexto.

A unidade Transmissão/Recepção de ECOS, da *Estação Transmissora*, fornece, em sua saída, uma sequência de pulsos. O primeiro, de interrogação, e mais 2 ou 3 outros. Estes, são pulsos refletidos, que compõem uma sequência associada a cada medição. O segundo, é o reflexo do primeiro, o terceiro, do segundo, e assim sucessivamente. A distância real é obtida com o segundo pulso.

Os pulsos são introduzidos numa unidade denominada Transmissor Lógico Digital, constante da *Estação Transmissora*, que efetua o tratamento dos sinais, liberando, apenas, os dois pulsos com os quais é feita a determinação da profundidade, na *Estação Receptora*.

Para conseguirmos os pulsos de ECO no MDR, optamos por colocar o transdutor submerso (Emissor/Receptor de Som) a uma profundidade fixa e conhecida, em relação ao nível de referência (Zero Hidrográfico). O transdutor é direcionado para a superfície da água a qual refletirá o som emitido, devido à mudança do meio de propagação (água-ar).

Essa técnica de instalação do transdutor evita os inconvenientes de sua habitual modalidade de emprego, isto é, sujeito a flutuações. Com isto, elimina-se a necessidade de se dar flexibilidade ao cabo de ligação com o transmissor.

3. Canal de RF

Entre a *Estação Transmissora* e a *Estação Receptora*, instalada remotamente, existe um canal de rádio-frequência. As faixas que melhor se prestam a esse serviço são as de VHF e de Micro-ondas. Em qualquer uma das modalidades, é fundamental a utilização da técnica de transmissão de pulsos.

Os transmissores de micro-ondas, que utilizam pulsos

semelhantes aos dos radares, possuem circuitos próprios para essa modalidade de transmissão. No caso do VHF, os cuidados na implementação devem ser maiores, pois, normalmente, esses equipamentos não estão preparados para transmitir pulsos, exceto quando projetados com esta finalidade.

Além de que o custo de implementação do canal de RF seja menor, pode ser usado um VHF de comunicações, desde que colocado em frequência fora de sua faixa de trabalho.

Na *Estação Receptora*, implementada com VHF, remotamente instalada, os pulsos recebidos são tratados e separados. O tratamento consiste na transformação para padrão TTL (Stable Video), separação e identificação com isolamento do primeiro e segundo pulsos.

Temos de levar em conta diversos fatores antes de decidirmos pela implementação desse ou daquele circuito para tratamento de pulsos. Fatores diversos e, principalmente, a faixa de variação da leitura da maré, devem ser pesados no projeto.

É sabido que os maiores intervalos de variação da maré ao longo da costa brasileira, estão situados nas regiões Norte e Nordeste. Especialmente, no estado do MARANHÃO, onde a baixa-mar chega a -0,50m, em relação ao zero hidrográfico da região, e a preamar atinge 6.90m. Neste caso, a informação digital terá que cobrir uma faixa de variação de leituras correspondente a esse intervalo. No tópico seguinte, mostraremos como isto poderá ser feito

4. Método de medição

Usamos um transceptor de ecobatímetro que funciona na frequência de 200 KHZ. Essa frequência é emitida por um transdutor construído com cristal de Bário, que também receberá os ecos refletidos, transformando-os em corrente elétrica.

A distância (nível d'água) é definida pelo intervalo de tempo decorrido entre a saída e o retorno da onda sonora ao transdutor. Como a velocidade de propagação do som, na água, é conhecida, é imediata a determinação do nível d'água.

4.1 Digitalização

Para obtermos uma profundidade (nível d'água) instantânea, que realmente traduza a variação da maré, devemos levar em consideração as oscilações da lâmina d'água, no local de instalação da *Estação Transmissora* do MDR.

A medição do intervalo de tempo, que vai determinar o nível d'água, deve ser feita numa quantidade de vezes que nos permita, pelo critério do valor médio, compensar o efeito das oscilações e chegarmos mais próximos do valor real da medida.

Dos pulsos decorrentes da transmissão e reflexão sonora, apenas dois serão transformados em TTL. Ao primeiro, denominaremos pulso de Interrogação, e ao segundo, pulso de Resposta.

O primeiro, dispara um contador de pulsos de "clock", e o segundo, o inibe. A quantidade de pulsos, devidamente acumulada, vai determinar o nível d'água.

5. Frequência de "clock"

a) Escolha do gerador de "clock"

Como a velocidade média do som, na água, é de 1450m/s e as leituras da maré são apresentadas com precisão de centímetros, devemos utilizar, no marégrafo, um gerador de "clock" com frequência adequada à essa resolução. A escolha da frequência deve levar em conta que o caminho percorrido pelo pulso é o dobro da distância real (ida e volta). Assim, devemos dividir a frequência por 2 e multiplicar a velocidade por 100. Logo, teremos a frequência adequada de 72500 Hz, isto é, a cada interrogação/resposta, teremos, diretamente, a distância em centímetros.

b) Oscilação do nível d'água

Sabemos que a superfície d'água sofre oscilações devido a fatores diversos, tais como, ventos, marolas e movimentação das embarcações. A instalação da *Estação Transmissora*, por mais adequada que seja, não nos deixa livre destas influências.

A opção por um valor médio da leitura, no intervalo, não pode ser reduzida a uma simples média aritmética, sem antes avaliarmos melhor suas implicações.

6. Média de leituras

Através de criteriosas observações, efetuadas em portos da Portobrás, onde, usualmente, se instalam réguas de maré, chegamos a uma forma de onda que modela, satisfatoriamente, o fenômeno dessas oscilações - período médio de 1 segundo e amplitude média de 0.60m.

A representação do valor médio desta onda pode ser feita por cálculo integral, ou através de artifícios que conduzam ao mesmo resultado. Ocorre, porém, que não dispomos de lógica de "hardware" adequada, no receptor do MDR, para implementar esse processo.

A solução prática é fazer uma média de cinco leituras, amostradas num período de um segundo. O procedimento reproduz, com razoável precisão, a onda modelada, conforme elucidaremos melhor, a seguir, através de exemplos.

Seja a frequência de 145000 Hz, "clock" adequado para resolução da leitura em centímetros:

$$f = 145000, \text{ se } t = 1/f, \text{ logo o período será } t = 6.89 \mu \text{ seg.}$$

Para uma maré de 5m, por exemplo, teremos os seguintes valores de leituras digitais exibidas:

L1 - 500cm

L2 - 530cm

L3 - 470cm

L4 - 480cm

L5 - 510cm

Usando a frequência de "clock" selecionada de 145000 Hz, podemos analisar o que ocorre em cada uma das leituras acima:

Considerando a leitura L1, temos:

$$\text{espaço} = 500 \times 2 = 1000\text{cm}$$

$$\text{tempo} = 10 / 1540 = 6.890 \mu \text{ s}$$

$$\text{pulsos} = 6890 / 6.89 = 1000$$

Para as demais leituras, teremos os números de pulsos abaixo, respectivamente:

1060,0 ; 940,4 ; 960,8 ; 1020,3.

Acumulando-se os valores, chegamos a 4982,4 pulsos.

Podemos observar que a soma dos pulsos contados dá um valor próximo de 5000, que a menos da posição do ponto flutuante (cem vezes maior), nada mais é do que a média das leituras. Assim, o valor exibido no receptor do marégrafo será 4.98, com erro teórico de 0.02m.

Outro aspecto a considerar, no que tange à apresentação da leitura, é a existência de marés negativas. Em nosso marégrafo, permitiremos medições, cujos valores estejam compreendidos entre -0.50 e 9.90m.

7. Sincronização e Interferências

Outros problemas a considerar, na implementação do MDR, estão no âmbito do tratamento de sinais. A sincronização e a interferência precisam ser bem examinados.

7.1 Sincronização

A sincronização de sinais, entre os circuitos de recepção e transmissão do canal de RF do MDR, precisa ser provida, pois as estações não são ligadas, simultaneamente. Se a *Estação Transmissora* já está emitindo sinais, ao ligarmos a receptora, haverá problemas de sincronização; caso contrário, não.

A necessidade de sincronização decorre da chegada, ao circuito receptor, dos pulsos sem a devida identificação.

Estes pulsos, ao chegarem, são separados, o primeiro do segundo, pela ordem de chegada, não existindo distinção entre os mesmos. Neste caso, o receptor pode interpretá-los na ordem inversa.

É preciso pois, dotar o circuito receptor de meios para poder distinguir os sinais de interrogação e de resposta. Isto é feito através da detecção, em uma janela de 1 segundo, de 5 cinco sinais sucessivos de Interrogação e de Resposta.

A sincronização é conseguida a partir da diferença de tempo entre os intervalos dos pulsos de interrogação e de resposta. Os de interrogação são da ordem de 200ms, e entre uma interrogação e uma resposta, cerca de 20ms (limite imposto a uma maré máxima de 14.5m), 10 vezes menor do que o intervalo entre duas interrogações.

7.2 Interferências

Durante o funcionamento do MDR, os circuitos de transmissão e recepção da leitura podem sofrer interferências, prejudicando a apresentação remota do dado. Neste caso, o dispositivo busca, automaticamente, a sincronização, tão logo cesse a interferência perturbadora.

Chegando a haver falha na transmissão, o circuito de recepção indicará esta falha, ativando um indicador luminoso de sinalização no receptor. A última leitura é mantida no visor, até que a transmissão se restabeleça.

8. Conclusões

Um marégrafo digital remoto, implementado dentro dessa concepção, e com canal de micro-ondas, encontra-se em operação no porto da ALUMAR, em São Luís, Estado do Maranhão, fornecendo, para o setor de operações portuárias e dragagem, daquela empresa, a maré de forma contínua e ininterrupta.

O MDR, também pode ser empregado em levantamentos batimétricos ou obras marítimas que exijam a informação da maré, continuamente. Opcionalmente, pode ser conectado a dispositivos de processamento automatizado, para introdução de leitura de maré em tempo-real.

O canal de radiofrequência do marégrafo pode, também, ser implementado com tecnologia VHF. Nossa opção por micro-onda teve por base as facilidades disponíveis, na Portobrás, em termos de posicionamento eletrônico a radar.

Não obstante o emprego não muito comum da tecnologia de micro-ondas, em canal de marégrafos remotos, a implementação do MDR foi bem simples, não tendo o dispositivo, até o presente momento, apresentado problemas mais sérios de operação.

8. Referências bibliográficas

— COESTER, Manual de instrução do Ecobatímetro PILOTO, transceptor.

— BROPHY, James J. - Eletrônica Básica. Editora Guanabara.

ATUALIZAÇÃO DE CARTAS NÁUTICAS UTILIZANDO DADOS TM/LANDSAT

Wagner Santos de Almeida
Capitão de Corveta

Resumo

A partir de uma imagem TM/LANDSAT, em formato CCT, com correção geométrica, na projeção UTM, foi gerada uma restituição para atualizar o contorno das partes emersas de um trecho da carta náutica DHN-4107A, correspondente a um trecho do SITIM-150/INPE, um módulo da imagem foi selecionado, registrado com uma base cartográfica UTM, utilizando pontos de controle, pontos estes obtidos por intermédio da poligonal geodésica no campo e de mapas topográficos: foi calculada a precisão do melhor registro por meio do erro médio quadrático. Em seguida, a imagem registrada, geocodificada, foi submetida a um pré-processamento, com filtragem "mediana", e daí, tematizada em duas classes (água e terra) utilizando o Programa "Fatiamento de Níveis de Cinza". Esta imagem temática foi submetida a uma filtragem de uniformização de temas para homogeneização e eliminação de ruídos. Após isto, a imagem temática, geocodificada, foi introduzida, no ambiente do Sistema de informações Geográficas (SIG), e submetida à uma conversão "raster-vector", a partir da fronteira entre as classes, gerando uma restituição que foi plotada pela mesa traçadora do sistema. Com a finalidade de representar pequenas feições, não detectadas na classificação, a restituição foi colocada, juntamente com a imagem TM original e uma outra imagem TM do mesmo local, mas de período de cheia do rio Solimões, no equipamento ótico de ajustagem de escala, o PROCOM do INPE, onde, sobre a restituição estas feições, foram traçadas. No final, obteve-se uma restituição com padrão de exatidão cartográfica classe A, que permitiu a atualização da carta náutica da região, na escala de 1:100.000.

1. Introdução

Dentre as diversas informações, contidas numa carta náutica, segundo os padrões internacionais estabelecidos, duas são de uma importância para o navegante: a batimetria, obtida, geralmente, empregando ecosondas, e o contorno das partes emersas, normalmente, obtido por meio de restituições fotogramétricas, a partir de fotografias aéreas.

Em se tratando de Amazônia, a obtenção de fotografias aéreas, para serem utilizadas nessas restituições, enfrenta o problema de cobertura de nuvens, intensa, na região, que pode impedir o recobrimento aéreo, durante o período máximo de vazante de seus rios. Os períodos de vazante são os mais adequados para o imageamento, pois é, nesses períodos, que os rios voltam ao seu leito normal, a drenagem torna-se bem definida, os

lagos de várzea passam a ocupar as depressões do terreno e são épocas ideais para obtenção de informações sobre a forma de um canal, com relação às suas ilhas, bancos de areia, margens etc.

Gradualmente, tem sido pesquisada a aplicação de produtos de sensores orbitais, particularmente, os dados TM/LANDSAT em formato digital, para atualização cartográfica (Araújo, 1987, Colvocoress, 1986; Welch et alii, 1984, 1985 e 1987 e Wrigley et alii 1984 e 1986).

No Instituto de Pesquisas Espaciais, são produzidas imagens CCT/TM/LANDSAT, com correção geométrica, na projeção cartográfica UTM, que segundo testes executados por Serra (1987); este produto apresentou um erro intrínseco, internamente, em torno de 45 metros, e um deslocamento, no posicionamento da imagem, em torno de 01 (um) km. Apesar destes valores serem relativamente elevados para uma atualização cartográfica, os mesmos podem ser atenuados utilizando pontos de controle.

Em se tratando de dados TM/LANDSAT, para atualização cartográfica de cartas náuticas fluviais, pelo menos, três atributos devem ser levados em consideração, a saber:

a) Resolução espacial: quanto melhor for essa resolução, ou seja, quanto menor for o elemento de resolução, no terreno, correspondente a um pixel da imagem digital, melhor será a capacidade de retificação da imagem. Welch (1987) conclui que as imagens TM/LANDSAT possuem excelente geometria interna, permitindo atualização de mapas em escalas iguais ou menores que 1:100.000.

b) Resolução espectral: no caso de cartas náuticas, é importante a exata separação da interface água/terra, aí representada pelo contorno das partes emersas e pela batimetria em si. Numa imagem multi-espectral, a melhor banda, que delimita a fronteira dessa interface, é a do infravermelho próximo (740nm a 900nm); desse modo o canal 4 do TM é o mais indicado para estudar feições fluviais emersas.

c) Resolução temporal: Devido às características da órbita do satélite LANDSAT, um ponto imageado, no terreno, somente será imageado após 16 dias, e essa resolução temporal se torna um fator limitante, no imageamento de períodos de vazante, pois acrescido do problema de cobertura de imagens pode ser muito difícil a obtenção de imagens no mínimo da vazante de rios amazônicos.

2. Objetivos da Pesquisa

O objetivo é propor uma metodologia de Sensoramento Remoto que permita a atualização do contorno das partes emersas de cartas náuticas, com precisão cartográfica, no mínimo,

compatível com a planimetria de cartas topográficas, classe B, em termos de Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), nas escalas iguais ou menores que 1:100.000, de acordo com a classificação citada por Brito (1987).

3. Área de Estudo

A área de estudo, escolhida, é o trecho do rio Solimões (AM), que vai da costa oeste da ilha do Carneiro, até as proximidades a montante da ilha dos Mouras. Este trecho possui cerca de 25 km ao longo do rio, e está localizado nas proximidades da cidade de Manaus, entre as coordenadas de 059° 54' e 060° 01' de longitude Oeste e 03° 06' e 03° 20' de latitude Sul.

A área de estudo está representada na carta náutica 4107 da Diretoria de Hidrografia e navegação (DHN). A figura 1 é uma cópia de um trecho dessa carta náutica (sem os dados batimétricos), localizando a área de estudo, onde se pode observar a toponímia das ilhas fluviais, citadas durante este trabalho.

A escolha da área de estudo baseou-se no estudo realizado por Almeida (1989), onde se constatou o crescimento de parte da ilha dos Mouras, surgimento de bancos de areia e erosões nas margens desse trecho do rio, informações estas que justificam uma atualização cartográfica; e, também, a inclusão da área urbana de Manaus, o que facilitou a seleção dos pontos de controle utilizados no processo de retificação da imagem.

4. Materiais e Métodos

4.1 Materiais

4.1.1 Material Cartográfico

O material cartográfico constou de:

a) Carta náutica DHN-4107A, em sua segunda edição (30/06/79), que cobre a área em pauta, com escala verdadeira de 1:99 874, na latitude de 03° 20' 00" S, na projeção de Mercator; o contorno de suas partes emersas foi obtido por meio de imagens do projeto RADAM/1970 e este contorno tem sido verificado durante as comissões hidrográficas, utilizando; principalmente, os radares de bordo dos navios hidrográficos.

b) Mapas topográficos DSG-MI-579/1 e DSG-579/2, ambos na projeção de GAUSS/UTM, datum horizontal SAD-69 e escala 1/50.000.

4.1.2 Dados de Vazão

Foram utilizados os dados diários de vazão da estação fluviométrica de Manacapuru, distante cerca de 30 km rio acima da área de estudo. Nesta estação, não existe influência de qualquer tributário de grande porte, que possa mascarar as suas leituras. Isto acontece com as estações do DNAEE, em Manaus e Careiro, cujos dados podem sofrer influência da foz do rio Negro.

Os dados de vazão diária foram obtidos através do Instituto ORSTOM (França), e o período abrangido é de 1973 a 1987.

4.1.3 Material Utilizado no Trabalho de Campo

De acordo com a tarefa de determinação de coordenadas geográficas dos pontos de controle, no campo, o seguinte material foi utilizado para esse fim:

- dois (02) teodolitos WILD-T2, com precisão da ordem de 0,05 segundo de arco;
- um (01) sistema eletrônico de medições de distância Telurômetro MRA-5, com precisão da ordem de 0,01 metro.

4.1.4 Imagem TM/LANDSAT

Foi utilizado o canal 4 (banda do infravermelho próximo) da imagem CCT do TM/LANDSAT, órbita-ponto 231/62D, de 19/12/87, com correção geométrica, na projeção UTM, com Meridiano central de 063° W e datum horizontal SAD-69. Esta mesma imagem foi, também, utilizada em formato de transparência.

Foi, também, selecionada uma imagem de período de cheia, da mesma órbita-ponto e banda espectral da citada acima, com correção geométrica UTM, canal 4, de 14/9/87, em formato de transparência.

4.2 Metodologia

4.2.1 Seleção da Imagem TM para Atualização Cartográfica

O critério para a seleção da imagem TM, de 19/12/1987, citada no item 4.1.4, utilizada para atualização cartográfica, foi o mesmo adotado por Almeida (1989), ou seja:

- Ocorrência de modificações acentuadas, no canal fluvial estudado, tais como: crescimento de ilhas, surgimento de bancos, erosão de margens etc.
- Imagem de período de vazante, na região, de acordo com os dados de vazão citados no item 4.1.2. Devido ao problema de cobertura de nuvens, não foi possível a escolha da imagem do mínimo da vazante, que, segundo Soares (1977), ocorre geralmente, no mês de outubro.

4.2.2 Determinação das Coordenadas dos Pontos de Controle no Campo

Utilizando a imagem TM de 19/12/87, foi selecionado o módulo de trabalho, na escala de 1:115 000, abrangendo a área urbana de Manaus. Essa seleção do módulo de trabalho foi executada utilizando o programa "Display de Imagens", do sistema de tratamento de imagens SITIM-150, do Instituto de Pesquisas Espaciais.

Na tela do monitor do SITIM-150, foram selecionados os pontos de controle que foram utilizados no processo de retificação da imagem. Nesta seleção de pontos de controle, houve certa dificuldade em localizar pontos de características perenes, como cruzamento de estradas, por exemplo, dificuldade esta que é comum em toda a região amazônica: essa dificuldade é ampliada devido ao acesso físico a esses pontos, que, no caso da pesquisa, foi necessário o emprego de embarcações, helicópteros, e viaturas terrestres.

A poligonal geodésica, que foi utilizada para determinação das coordenadas dos pontos de controle, foi referida ao datum horizontal SAD-69, obedecendo a precisão de poligonal de terceira ordem, preconizada no Manual de instruções Permanentes H-8, H-9, H-10, H-17 e H-28 do BRASIL, M M, DHN 1981 a, b, c, d, e, e utilizaram-se os equipamentos citados no item 4.1.3.

A tabela 1 fornece os valores das coordenadas geográficas e UTM, para o "datum" horizontal SAD-69, dos quatro pontos de controle obtidos no campo.

4.2.3 Registro da Imagem TM, com a Base Cartográfica UTM

Esta tarefa foi realizada no SITIM-150 (INPE), utilizando o Programa Registro de imagens, cujos princípios de funcionamento podem ser encontrados em Richards (1986).

A imagem escolhida foi registrada utilizando, tanto os pontos extraídos dos mapas topográficos (item 4.1b), inseridos via

mesa digitalizadora, como os obtidos no campo; inseridos via teclado do material, isto para verificar, posteriormente, a exatidão de ambos os métodos utilizados.

Como o número de pontos de controle foi inferior a seis, foi estabelecido o grau igual a um, para os polinômios de mapeamento, e, na criação da imagem de saída, foi selecionado o método de convolução cúbica, para interpolação dos níveis de cinza (Richards, 1986), por apresentar o melhor aspecto visual da imagem registrada.

Em seguida, foi calculado o erro médio quadrático (RMS) total do registro, tanto com os pontos de controle do mapa, como os do campo. Nesse cálculo do RMS, diversas distorções são consideradas, tais como: resolução espacial do sensor, deslocamento devido ao relevo etc.

Sobre a imagem registrada, com o menor valor de erro médio quadrático, foi digitalizada uma feição perene, existente no mapa topográfico DSG-MS-578/1, o cais Roadway, do porto de Manaus, com a finalidade de se verificar se, após o registro, o erro inerente da imagem TM/LANDSAT, com correção geométrica, em termos de posicionamento e geometria interna, foi atenuado.

No final dessa fase, obtém-se uma imagem registrada, geocodificada (orientada para o norte da quadrícula UTM), com a eliminação do seu problema de posicionamento, estaria pronta para ser utilizada, na geração de uma restituição.

4.2.4 Pré-Processamento da Imagem Registrada

A imagem registrada foi submetida a um pré-processamento, com vistas a:

- evitar pontos, que na futura tematização, estivessem mal classificados, pois poderiam gerar ruídos na transformação "raster-vector";
- escolher o limiar de nível de cinza que permitisse a melhor separação água/terra, evitando-se gerar falsos limites, que prejudicariam a precisão da atualização cartográfica.

Foi feita, então, uma operação de suavização dos níveis de cinza da imagem, principalmente, na área urbana de Manaus, aplicando uma filtragem morfológica, utilizando o operador "mediana".

Em seguida, foi aplicado o programa "Leitura de Pixel", em locais da imagem, com mudanças abruptas de nível de cinza, como nas interseções água/terra, por exemplo, e escolhidos os melhores limiares de níveis de cinza, para a tematização da imagem feita, posteriormente.

Os princípios de funcionamento dos programas, citados acima, podem ser encontrados em Almeida (1989).

4.2.5 Transformação da Imagem Registrada em uma Imagem Temática

O Sistema de Informações Geográficas (SIG), desenvolvido pelo INPE, cuja descrição pode ser encontrada em Erthal et alii (1988 a, b e c), que funciona no mesmo ambiente computacional do SITIM-150, realiza, somente, a conversão de formato "raster" (varredura) para vetor, a partir de imagens temáticas. A imagem registrada precisava ser vetorizada para que possibilitasse a sua plotagem pela mesa traçadora do SITIM-150/SIG, fornecendo um produto vetorial que foi a própria restituição em si.

A imagem registrada, após o pré-processamento, citado no item anterior, sofreu, então, um processo de classificação, tematizando-a em duas classes: água e terra. Para isto, utilizou-se o programa

do SITIM-150 "Fatiamento dos Níveis de Cinza" (Engespaço, 1987). Foram testados os limiares fornecidos pelo programa Leitura de Pixel para fazer a separação entre essas duas classes.

Na imagem temática, os pontos ruidosos, existentes, não localizados nos limites das classes, foram submetidos ao programa de Uniformização de Temas do SITIM-150 (Almeida, 1989, Engespaço, 1987; Araújo, 1987), que é um filtro de máxima vizinhança. Esses ruídos foram pontos localizados, buracos ou grupos de pontos mal classificados, que, ao serem submetidos a essa filtragem, quantas vezes for necessário, proporcionou uma imagem temática, separada em duas classes (água e terra) homogêneas e com pouquíssimos pontos ruidosos.

4.2.6 Transformação "Raster-Vector" da Imagem Temática

A imagem temática geocodificada foi, então introduzida no SIG/INPE e, utilizando-se o programa de transformação de formato "raster-vector", cujo princípio de funcionamento pode ser encontrado em Graça (1987), Araújo (1987) e Erthal (1988), sofreu um processo de vetorização, a partir das fronteiras das classes água e terra. O programa extraiu o contorno com aspecto suavizado, eliminando o efeito "escada", inerente dos dados "raster".

Sobre a imagem vetorizada, a feição existente no mapa DSG-MI-578/1 (cais Roadway de Manaus) foi digitalizada, para verificar se houve deslocamento, na imagem, durante a fase de classificação e vetorização.

No final dessa fase, a imagem vetorizada foi plotada pela mesa traçadora do SIG, gerando, aí, uma restituição.

4.2.7 Desenho de Feições

Durante a fase de classificação da imagem registrada, os limiares escolhidos foram soluções de compromisso. Sendo assim, eles permitiram que algumas feições indesejáveis fossem representadas como no caso de sombra de nuvens localizadas na água, que poderiam ter sido confundidas com bancos de areia. Por outro lado, outras feições importantes não foram detectadas, durante a classificação, gerando pontos ruidosos ou, simplesmente, desaparecendo. Tal ocorreu com pequenos corpos d'água presentes na imagem (igarapés, furos etc).

Com o objetivo de representar essas pequenas feições, que não foram detectadas, corretamente, durante a classificação da imagem registrada, a restituição obtida, no item anterior, foi colocada no PROCOM/INPE (equipamento ótico de ajustagem manual de escala), juntamente com a transparência da imagem TM original. Após o ajuste de escala, feito entre a transparência projetada pelo equipamento e a referida restituição, foram desenhadas, sobre estas, as feições de interesse. Nesta fase, também, foram eliminados os limites falsos de corpos d'água, causados por sombras de nuvens, presentes na imagem original.

Também durante esta fase, utilizou-se da transferência da imagem TM/LANDSAT, com correção geométrica/UTM, de 14/9/87, por ser a imagem disponível mais próxima do período de cheia da região, que foi projetada, no PROCOM, sobre a restituição, e traçado o limite inundável da ilha dos Mouras; este procedimento foi executado, em virtude de existir informação na carta DNH-4107A.

5. Resultados Alcançados

5.1 Registro do Módulo da Imagem Tm com a Base Cartográfica

Na ampliação do programa de registro da imagem com a

base cartográfica, utilizando, tanto os pontos de controle obtidos no campo, como nos mapas DSG, após serem calculados os coeficientes dos polinômios de mapeamento (Richards, 1986) e, antes da criação da matriz de reamostragem, que faz a interpolação dos níveis de cinza, para a imagem de saída, foi calculada a precisão do registro, para os métodos utilizados, por meio de erro métrico quadrático. A tabela 2 fornece esta precisão:

Na análise da tabela 2, observou-se que os pontos de controle, obtidos no campo, forneceram o menor erro interno, total, (25,59 metros), inferior a um pixel da imagem TM/LANDSAT. Este resultado era esperado, pois a determinação de coordenadas obtidas, no campo, empregando técnicas geodésicas, além de contar com a precisão dos equipamentos, que medem ângulos e distâncias (item 4.1.3), diversas correções são aplicadas no seu cálculo, entre elas a da refração atmosférica e da curvatura da Terra nas distâncias da poligonal (M M da DHN 1981 e). Por sua vez, os mapas estão sujeitos a algumas imprecisões causadas pela deformação do papel, pelas restituições que os originaram, pela qualidade de "hardware" da mesa digitalizadora etc.

Foi escolhido, então, o arquivo registro, utilizando os pontos de controle obtidos no campo. O programa, a partir deste ponto, criou a matriz de reamostragem de pixels e gerou a imagem de saída, utilizando o método de interpolação por convolução cúbica (Richards, 1986).

Com a finalidade de verificar se após o registro, foi eliminado o problema de posicionamento intrínseco da imagem TM, com correção Geométrica/UTM, foi digitalizado, sobre a mesma, o cais Roadway de Manaus, sendo observado, na tela do SITIM-150, que a sobreposição desta feição digitalizada com a imagem foi perfeita, confirmando, assim, a eliminação do problema de posicionamento.

A partir dessa verificação, a imagem estava pronta para ser submetida ao pré-processamento.

5.2 Pré-Processamento da Imagem Registrada

No ambiente do SITIM-150/INPE, com a finalidade de suavizar a área urbana de Manaus e preservar as bordas, na imagem registrada, e evitar ruídos que poderiam surgir na fase de tematização da imagem, foi utilizado o programa de Filtragem Morfológica com o "operador mediana".

Em seguida, utilizando-se o programa leitura de Pixel nos locais de mudanças abruptas de níveis de cinza, foram escolhidos os melhores limiares para o fatiamento desses níveis, que foram:

- a) de 00 a 35 e de 36 a 255;
- b) de 00 a 39 e de 40 a 255;
- c) de 00 a 43 e de 44 a 255;
- d) de 00 a 48 e de 49 a 255.

5.3 Transformações da Imagem Registrada em Imagem Temática

A imagem, depois dessa fase de pré-processamento, estava pronta para ser tematizada; foi, então, aplicado o programa Fatiamento de Níveis de Cinza do SITIM-150, utilizando os limites obtidos no item anterior.

A seleção das fronteiras água/terra, nos canais principais dos rios Negro e Solimões, era o fator mais importante nessa escolha, então, aquele que garantiu essa importância não pôde separar pequenos igarapés e outras feições pequenas, como a

pista do aeroporto de Ponta Pelada. O limiar escolhido foi de 43/44, que gerou duas classes: 0-43 (água) e 44-255 (terra). A tabela 3 fornece, após o fatiamento dos níveis de cinza, os limites inferior e superior de cada classe, em km², e a proporção ocupada na imagem temática.

Em seguida, na imagem temática gerada, foi utilizado o programa Uniformização de Temas SITIM-150, que eliminou alguns ruídos gerados na classificação.

Na classificação da imagem, não foi possível detectar o furo do Paracuba e a fronteira entre a costa e a ilha da Xiborena e a pista do aeroporto de Ponta Pelada em Manaus. Alguns pontos do canal do rio Solimões, causados por sombras de nuvens, na imagem original, foram classificados como terra, dando a impressão de que eram bancos de areia.

A partir desta fase, a imagem estava pronta para ser vetorizada no SIG/INPE.

5.4 "Vetorização" da Imagem Temática

A imagem temática, em formato "raster", obtida no item anterior, foi introduzida no SIG/INPE. Em seguida, foi submetida ao programa de transformação "Raster/Vector" do sistema, que gerou uma imagem "vetorizada", suavizada com os contornos originados a partir das fronteiras entre as classes (água e terra) da imagem temática.

Após a fase de "vetorização" da imagem temática, foi, novamente, digitalizado, sobre a imagem, o cais Roadway do mapa da DSG, e verificou-se que o mesmo não sofreu qualquer deslocamento aparente, após a "vetorização". Nesta fase, a imagem em formato vetorial foi considerada uma restituição.

5.5 Desenho Manual de Feições sobre a Restituição

Após esta fase, verificou-se que algumas feições, existentes na carta náutica DHN-4107A, não foram detectadas durante o processamento da imagem digital; estas feições foram: pista do aeroporto de Ponta Pelada, fronteira entre a ilha de Xiborena e a sua costa, o furo do Paracuba e o limite inundável de cheia na ilha dos Mouras.

Após a colocação da restituição no PROCOM/INPE, projetando, sobre ela, as imagens TM/LANDSAT, de 19/9/87 (a que deu origem à restituição) e a de 14/9/87 (imagem de cheia da região), segundo a metodologia descrita no item 4.2.7, essas feições foram traçadas, obtendo-se a restituição final para atualização cartográfica, cuja cópia reduzida encontra-se na figura 2. Nesta fase, também foram eliminados os "falsos bancos de areia", causados por sombras de nuvens, na imagem original.

6. Conclusão

Comparando a restituição obtida, constante da figura 2, com o retorno da carta náutica, constante da figura 1, observam-se as seguintes diferenças:

- no contorno das ilhas dos Mouras, Marapatá e Xiborena;
- no contorno do furo do Paracuba;
- no contorno dos lagos e paranás, localizados nas margens do rio Solimões; e
- no contorno da costa do Cacau Pirera no rio Negro.

Essas diferenças justificam a atualização da carta náutica, principalmente, considerando que a restituição apresentou um

erro médio quadrático, total, de 25,59 metros (tabela 2), que tornou o produto compatível com o PADRÃO DE EXATIDÃO CARTOGRÁFICA (PEC) classe A, em cartas em 1:100 000, de acordo com a citação de Brito (1987).

A metodologia, então, pode ser aplicada em atualizações cartográficas, na escala 1:100 000 ou menores, de áreas com intensas atividades dinâmicas (rios amazônicos, estuários, costas antárticas) e difícil acesso (ilhas oceânicas), permitindo uma atualização constante de contornos de cartas náuticas, por um custo menor que os métodos tradicionais.

7. Agradecimentos

Agradeço à Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), pelas informações obtidas sobre a carta náutica DHN-4107A e ao Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), pelo empréstimo de seus sistemas de tratamento de imagens.

Bibliografia

- ALMEIDA, W.S. *Metodologia de Sensoriamento Remoto para monitoramento das alterações das formas de canais fluviais e atualização de cartas náuticas*. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, São José dos Campos, INPE, 1989, 180p.
- ARAÚJO, C.A.G. *Uma aplicação da cartografia digital na atualização temática de cartas de média e pequena escala utilizando dados orbitais*. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto. São José dos Campos, INPE, 1987, 151 p. (INPE-4460-TDL/317.)
- BORGENSON, W.T.; BATSON, R.M.; KIEFFER, H.H. Geometric accuracy of LANDSAT-4 and LANDSAT-5 Thematic Mapper images. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 51. (2): 1983, 1988, 1985.
- BRASIL. Ministério da Marinha. Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). *Caderneta da carta 4107A*. Niterói, 1985, 23p.
- _____. Ministério da Marinha. Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). *Carta Náutica DHN-4107A*. Niterói, 1º ed. e 2º ed., 1979.
- _____. Ministério da Marinha. Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). *Manual de Instruções Permanentes; H-8 Verificações e Retificações do Teodolito WILD T2*. Niterói, 5p., 1981 a.
- _____. Ministério da Marinha. Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). *Manual de Instruções Permanentes; H-9 Medições Angulares*. Niterói, 13 p., 1981 b.
- _____. Ministério da Marinha. Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). *Manual de Instruções Permanentes; H-10 Interseções*. Niterói, 1981 c. 4 p.
- _____. Ministério da Marinha. Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). *Manual de Instruções Permanentes; H-17 Medição Eletrônica de Distâncias*. Niterói, 1981 d. 4 p.
- _____. Ministério da Marinha. Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). *Manual de Instruções Permanentes; H-28 Montagem e Operação de Telurômetro MR-4-5*. Niterói, 1981 e. 6p.
- _____. Ministério do Exército. Diretoria do Serviço Geográfico (DSG). *Mapas topográficos MI-578/1, MI-578/2, MI-579/1, MI-579/2, escala 1:50:000*. Quarta Divisão de Levantamentos, Manaus, 1980.
- BRITO, J.L.N.S. Proposta de metodologia para classificação de documentos cartográficos. *Revista Brasileira de Cartografia*. SV. (41):27-42, jan. 1987.
- BRYANT, N.A.; ZOBRIST, A.L.; WAKER, R.E.; GOKHAMAN, B. An Analysis of LANDSAT Thematic Mapper P-Product internal geometry. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 51(9): 1435-1445, Sept. 1985.
- BURROUGH, P.A. *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*. New York, NY, Oxford University, 1986, 193 p.
- COLVOCORESSES, A. Image mapping with Thematic Mapper. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 52(9): 1499-1505. Sept. 1986.
- ENGESPAÇO. *Manual do Usuário do Sistema de Tratamento de Imagens. SITIM-150*. São José dos Campos, 1987.
- _____. *Manual do Usuário do Sistema de Informações Geográficas*. São José dos Campos, 1987.
- ERTHAL, G.J. *Conversão varredura-vetor para dados poligonais*. São José dos Campos, INPE. 1988. 10 p. (INPE-4558-PRE/1299.)
- _____. *Registro translacional de imagens: métodos correlacionais e seqüências*. Dissertação de Mestrado em Computação Aplicada. São José dos Campos, INPE, 1985. 120 p. (INPE-3456-TDL/189.)
- ERTHAL, G.J.; ALVES, D.S.; CÂMARA NETO, G. *Modelos de dados geocorrelacionais: Uma visão conceitual de um sistema geográfico de informações*. São José dos Campos, INPE, 1988. 10 p. (INPE-4612-PRE/1335.)
- ERTHAL, G.J.; OLIVEIRA, M.O.B.; FELGUEIRAS, C.A.; CÂMARA NETO, G.; PAIVA, J.A.C. *O Banco de dados geográficos do INPE*. São José dos Campos, INPE, 1988. 8 p. (INPE-4636-PRE/1348.)
- GRAÇA, L.M.A. *A concept for automatic change detection in revision of topographic maps by means of digital image processing and pattern recognition techniques*. Enschede, International Institute of Aerospace Survey and Earth Sciences, 1987, 89 p.
- INSTITUTO ORSTOM. *Dados de vazão da estação fluviométrica de Manacapuru (RM), de 1973 a 1987*. Paris, 1987.
- RICHARDS, J.A. *Remote sensing digital image analysis, an introduction*. Berlin. Spring-Verlag, 1986. 281 p.
- SCHOWENGERDT, R.A. *Techniques for image processing and classification in remote sensing*. Orlando, FL, Academic Press, 1983. 249 p.
- SERRA, P.R.M. *Geração de imagens TM/LANDSAT em fitas compatíveis com computadores, geometricamente corrigidas*. In: *Anais, Congresso Brasileiro de Cartografia*, 13., Brasília, jul. 1987. 13 p. (Paper).
- SOARES, L.C. *Hidrografia. Geografia do Brasil-Região Norte*, In: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Rio de Janeiro, 1987, 462 p, p. 95-155.
- WELCH, R.A.; USERY, E.L. Cartographic accuracy of Landsat-4 MSS and TM image data. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*. GE-22 (3): 281-288, May 1984.
- WELCH, R.A.; JORDAM, T.R.; EHLERS, M. Comparative evaluations of the geodetic accuracy and cartographic potential of Landsat-4 and Landsat-5 Thematic Mapper image data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 51(9): 1294-1262, Sept. 1985.
- WELCH, R.A. Integration of photogrammetric, remote sensing

and database technologies for mapping applications. *Photogrammetric Record* 12(70): 409-428, Oct. 1987.

WELCH, R.A.; REMILLARD, M.M.; SLACK, R.B. Remote sensing and geographic information system techniques for aquatic resource. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54(2): 175-185, Feb. 1988.

WOLF, P.R. *Elements of photogrammetry*. 2nd ed. New York, NY, 1983. 628 p.

WRIGLEY, R.C.; CARD, D.H.; HLAVKA, C.A.; HALL, J.;

MERTZ, F.C.; ARCITWAMETY, C.; SCHOWZNGERDT, R.A. Thematic Mapper image quality: registration, noise and resolution. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, GE-22(3): 263-271, May. 1984.

WEIGLEY, R.C.; H. LAVKA, C.A.; CARD, D.H.; BUIS, J.S. Evaluation of Thematic Mapper interband registration and noise characteristics. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 51(9): 1417-1495, Sep. 1986.

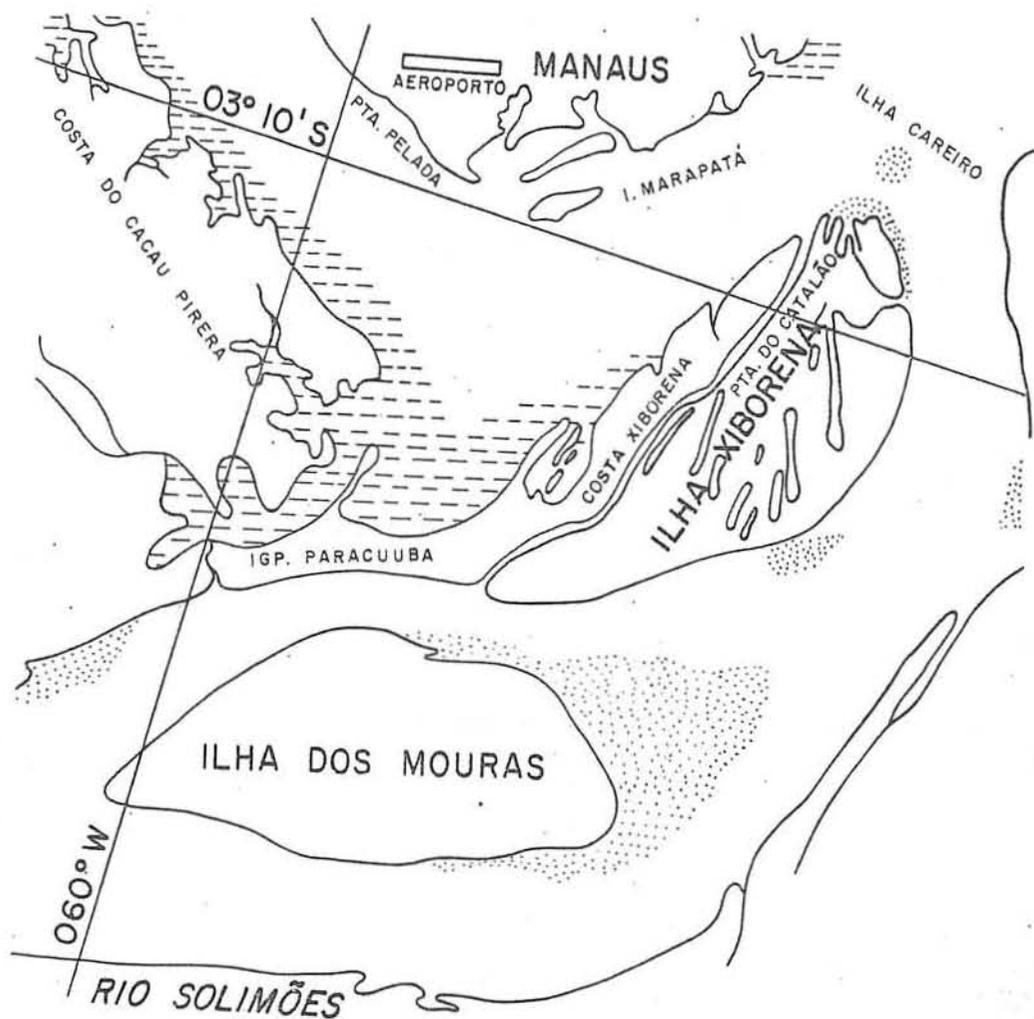


Fig. 1 — Área de estudo: rio Solimões, da costa oeste da ilha do Careiro até às proximidades a montante da ilha dos Mouras. Escala aproximada 1:250 000. Fonte: Adaptada de Brasil, MM DHN (1979).

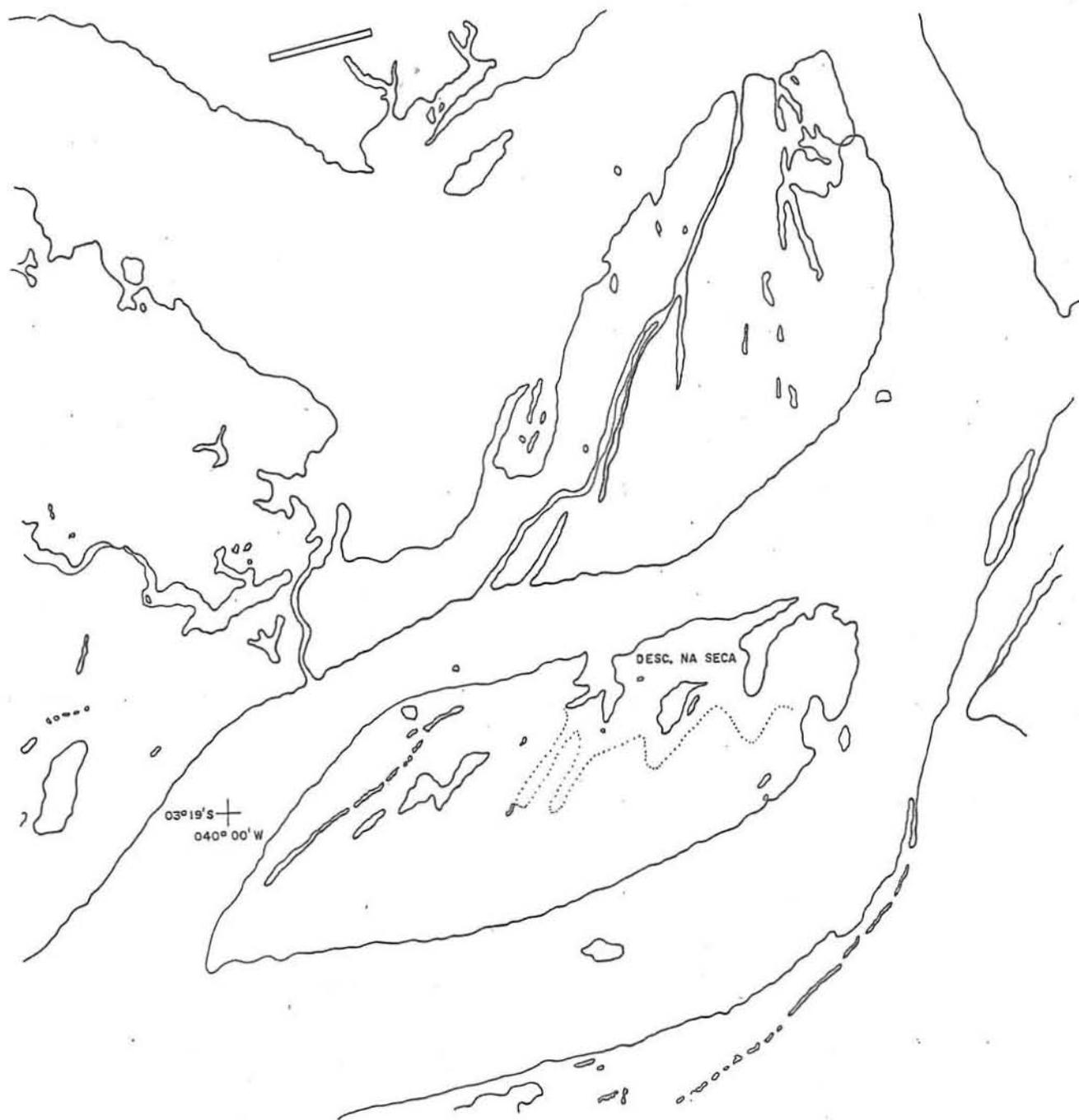


Fig. 2 — Restituição após o desenho manual das Feições.
Escala aproximada: 1:300 000.

TABELAS

TABELA 1
COÓRDENADAS GEOGRÁFICAS E UTM (MC=63° W) DOS PONTOS DE CONTROLE
OBTIDOS NO CAMPO. "DATUM" HORIZONTAL SAD-69

| PONTO | LOCAL | LATITUDE | LONGITUDE | N | E |
|-------------|--------------------------|--------------|---------------|-------------|------------|
| RB-III | Furo do Paracuuba | 3°13'53",164 | 59°59'13",227 | 9642333,463 | 167963,409 |
| Pista Leste | Aeroporto de Pta. Pelada | 3°8'35",168 | 59°58'33",619 | 9652114,069 | 169178,026 |
| Pista Oeste | Aeroporto de Pta. Pelada | 3°8'52",495 | 59°59'42",755 | 9651575,219 | 167042,780 |
| Roadway | Aeroporto de Manaus | 3°8'24",127 | 60°01'34",438 | 9652454,244 | 830573,918 |

TABELA 2

| PONTOS DE CONTROLE | ERRO INTERNO HORIZONTAL (METROS) | ERRO INTERNO VERTICAL (METROS) | ERRO INTERNO TOTAL (METROS) |
|--------------------|----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Mapas da DSG | 71,67 | 17,43 | 73,77 |
| Trabalho de Campo | 20,40 | 17,58 | 25,59 |

TABELA 3

DADOS SOBRE AS CLASSES DA IMAGEM TEMÁTICA, APÓS APLICAÇÃO DO FATIAMENTO DOS NÍBVEIS DE CINZA

| CLASSE | LIMITE INFERIOR DE NC | LIMITE SUPERIOR DE NC | Nº DE PONTOS | ÁREA (KM ²) | PROPORÇÃO |
|--------|-----------------------|-----------------------|--------------|-------------------------|-----------|
| Água | 0 | 43 | 188.125 | 169,31 | 46,93% |
| Terra | 44 | 255 | 212.742 | 191,47 | 53,07% |

LEVANTAMENTO FOTOGRAMÉTRICO TERRESTRE DE FACHADAS

Autores

Luis Alberto Lopez Miguez

Mauricio Buch Tourinho

Prof. Antônio José Berutti Vieira

Departamento de Geociências

Universidade Federal do Paraná

C. Postal 19011 CEP 81504

Resumo

Descreve-se a metodologia utilizada para o levantamento fotogramétrico terrestre da fachada principal do Observatório de Astronomia, no Campus do Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Sendo que para a coleta dos dados, utilizou-se a câmara Rolleiflex SLX, adaptada com "reseau", e para a redução dos dados, o Planicomp C-100, que é um sistema analítico de restituição.

Abstract

It is described the methodology used for the terrestrial photogrammetric survey of the main façade of the Astronomy Observatory, in the Campus of the Polytechnic Center of the Federal University in Paraná (UFPR). So for the data collection has been used a Rolleiflex SLX camera, adapted with "reseau", and for the data reduction was used a Planicomp C-100, that is an analytical system of restitution.

1 - Introdução

A partir de 1987, introduziu-se para o curso de Engenharia Cartográfica, da Universidade Federal do Paraná (UFPR), a utilização de câmaras fotográficas, de formato 60 x 60mm, para apoiar as aulas práticas da disciplina Fotogrametria I, devido, principalmente, ao alto custo envolvido para efetuar vôos fotogramétricos, bem como adquirir e processar o material fotográfico.

Com a utilização dessas câmaras e com os recursos de um laboratório fotográfico comum, vêm-se efetivando, atualmente, nas aulas práticas daquela disciplina, as atividades relacionadas com a etapa de aquisição de dados. Sendo que, ao invés de serem feitos vôos aerofotogramétricos, são feitas coberturas fotogramétricas terrestres, normalmente, em fachadas de prédios.

Entretanto, como o enfoque da disciplina é voltado à Aerofotogrametria e, como os equipamentos de restituição, disponíveis para esse fim, são do tipo analógico, tem-se de interromper o processo, nesse ponto, e realizar a etapa de redução dos dados; com a utilização de material (diapositivos e fotos aéreas) já disponível, ou seja, não coletado pelos alunos (ver alternativa Luginani 2).

Com a reformulação curricular estabelecida este ano, no curso de Eng. Cartográfica, da UFPR, introduziu-se a disciplina Projeto Supervisionado, onde suas principais finalidades são permitir, por um lado, que o aluno, sob a supervisão de um professor do Departamento, tenha um primeiro contacto com o processo de produção e, por outro lado, incentivar, formalmente, a integração entre empresa-escola.

2 - Objetivos

Entretanto, de maneira informal, alguns professores do Departamento de Geociências, da UFPR, vêm oferecendo, principalmente, aos alunos do curso de Eng. Cartográfica, a possibilidade de desenvolver alguma atividade vinculada com a pesquisa, principalmente a experimental. Com o presente trabalho, tencionase descrever a metodologia utilizada para o levantamento fotogramétrico terrestre da fachada principal do observatório de Astronomia, no Campus do Centro Politécnico da UFPR, que foi desenvolvida por alunos do curso de Engenharia Cartográfica, como parte de um projeto de pesquisa experimental. Sendo que, na aquisição dos dados, utilizou-se a câmara Rolleiflex 6006,

adaptada com "reseau", e, para a redução dos dados, o sistema analítico de restituição, Planicom C-120, onde realizou-se uma restituição dita do tipo numérica. A reprodução gráfica do original foi feita na escala de 1/50, por meio da mesa traçadora DZ7.

3 - Materiais e Métodos

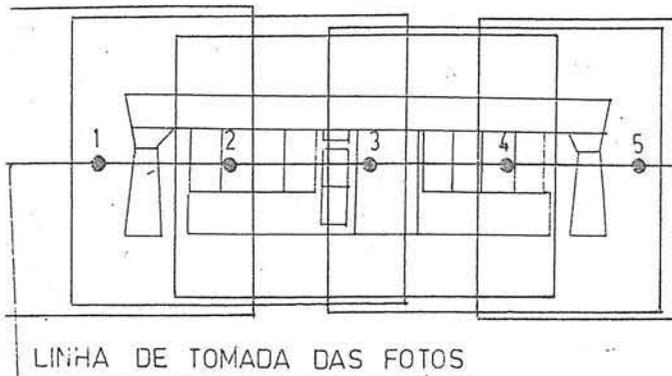
Aquisição dos dados.

A área teste, escolhida, foi a fachada principal do Observatório de Astronomia, no Campus do Centro Politécnico da UFPR, ficando sua escolha condicionada à facilidade de acesso ao local.

Inicialmente, foram feitas algumas tomadas fotográficas da fachada, onde utilizou-se uma câmara fotográfica de formato 60 x 60mm, do tipo Yashica. Então, a partir dos negativos, foram feitas ampliações fotográficas, no formato 18 x 24cm, sobre as quais fez-se o planejamento, tanto para a tomada das fotos, como para a distribuição da pré-sinalização.

Para a determinação dos quantitativos relativos ao recobrimento, adotou-se 1/50 como escala de restituição e, para fator de ampliação, o valor de quatro vezes, chegando-se, portanto, a 1/200, para a escala média das fotos. Para superposição longitudinal, considerou-se um valor de 60%. Na fig. 1, apresentam-se desenhadas, esquematicamente, a linha de tomada das fotos (num total de 5 fotos) e a posição de cada estação, em relação à fachada.

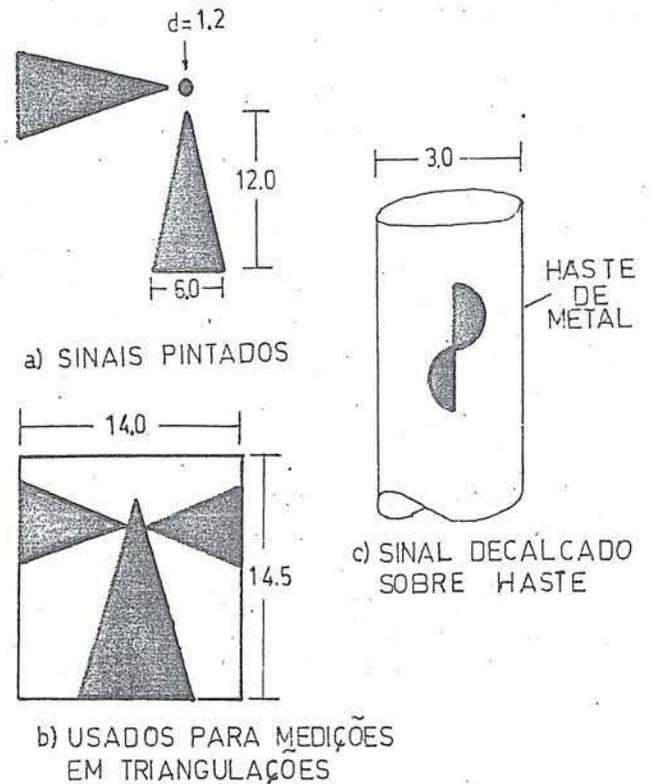
fig.1



Para o cálculo do tamanho dos sinais, considerou-se o valor de 0,05mm para o diâmetro da marca flutuante do aparelho de restituição. Mas como o objetivo era ter a imagem do sinal ligeiramente maior do que a marca flutuante, aumentou-se o diâmetro do sinal em mais 20%. Nove sinais foram determinados desta forma, e estes foram pintados, através de gabarito de plástico rígido, com tinta preta fosca, em spray, diretamente sobre a fachada. Mais quatro sinais foram usados, sendo dois destes do tipo pré-fabricado e de metal, comumente usados em medição de triangulações. Os outros dois eram sinais pré-impressos, do tipo "letra-set", que foram decalcados sobre hastes metálicas,

de 1,0m de comprimento, as quais foram apoiadas sobre tripés de teodolitos (ver esquema da forma dos sinais na fig. 2).

fig. 2 TIPOS DE SINAIS UTILIZADOS



A pré-sinalização foi distribuída, primeiramente, sobre a área de superposição que é comum a dois modelos adjacentes. Com o objetivo de apoiar as extremidades do primeiro e último modelos, utilizaram-se os sinais sustentados sobre tripés (ver distribuição de apoio fig. 3).

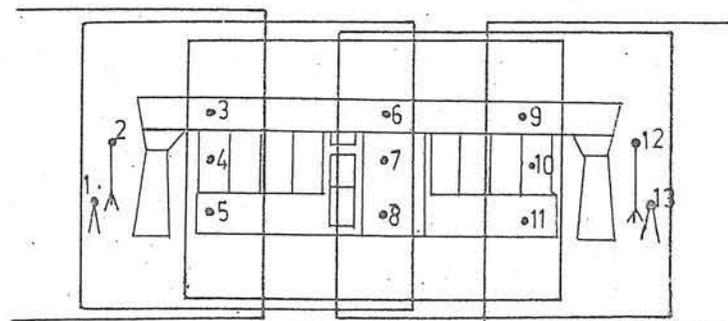


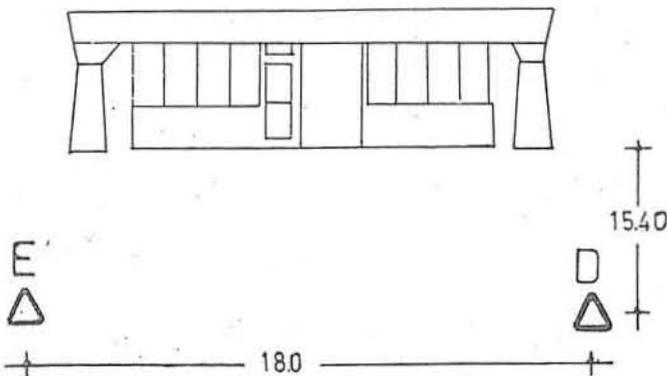
Fig. 3 - Distribuição dos pontos principais

Para a medição dos pontos de apoio, materializaram-se duas estações, com piquetes de madeira, a partir das quais foram feitas as observações, para cada ponto, com duas reiterações (ver esquema fig. 4). A escolha do método de intersecção angular foi feita tendo em vista que a maioria dos pontos pré-sinalizados tinha sido pintada sobre a fachada e só permitia,

portanto, visada sobre eles. Entretanto, teve-se de fazer dois traços perpendiculares, com grafite, no centro dos sinais, para permitir que fossem feitas sobre eles as pontarias. As medições foram feitas com o teodolito theo 010A, da Zeiss Jena, de precisão nominal de 1". A distância entre as estações foi medida utilizando-se uma trena de fibra de vidro de 30,0m. A direção entre "E" e o ponto 03 não foi possível ser medida, uma vez que esta ficou obstruída pelos galhos de uma árvore que existia nas proximidades. O tempo total, gasto para a materialização da pré-sinalização, foi cerca de 1:30 horas. Para instalação e medição de todas as direções, foram gastas cerca de 4:00 horas.

fig. 4

REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA POSIÇÃO RELATIVA DAS ESTAÇÕES "E" e "D" DE MEDIÇÃO.

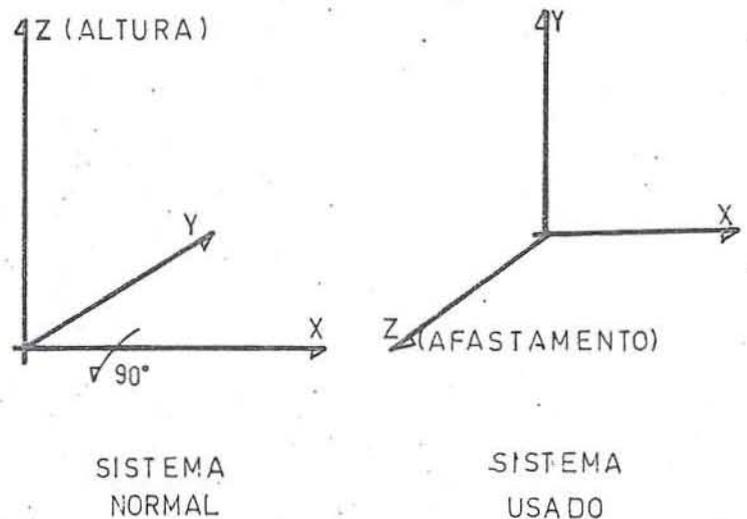


A câmara utilizada para cobertura fotogramétrica foi a Rolleiflex 6006, que é uma câmara intercambiável, com chassi útil de 55 x 55mm, fotômetro embutido em um circuito elétrico que controla seus dispositivos ótico-mecânicos. A objetiva usada foi de distância focal nominal de 80mm. Embora não tenha sido considerado para desenvolvimento deste trabalho, esta objetiva dispõe de trava que permite fixar a distância principal de forma discreta. O filme fotográfico foi do tipo pancromático, preto-e-branco, de velocidade 125 ASA. As tomadas foram feitas com a câmara no modo automático, sendo observados os valores de 1/125 de segundo e f/5.6, respectivamente, para a velocidade do obturador e abertura do diafragma. Para processar, fotograficamente, os negativos, seguiu-se o procedimento recomendado para o revelador D-76. A partir dos negativos, confeccionaram-se os diapositivos.

Redução dos Dados

Para cálculo das coordenadas (X, Y, Z) dos pontos de apoio, utilizou-se uma calculadora de bolso, tipo HP-11C, com um programa específico. A formulação básica para o cálculo das coordenadas (X, Y, Z) é aquela, comumente, utilizada na resolução de um triângulo, onde são conhecidos dois ângulos e um lado. Deve ser observado que, aplicou-se uma rotação de 90 graus, no sistema de coordenadas, em relação ao eixo X, para que fosse mantida a correspondência entre os eixos, o afastamento, no sistema novo e a altura no sistema antigo, como é, comumente, usado (ver esquema da fig. 5).

fig. 5 REPRESENTAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS DE EIXOS



Com a utilização do sistema analítico de restituição, Planicom C-120, de propriedade da empresa Esteio Engenharia e Aerolevantamentos S.A., realizou-se a restituição dos modelos. Pode-se dizer que, para cada modelo, foram realizadas, de forma sequencial, as operações de orientação interior, relativa e absoluta, nas quais, gastou-se, em média, cerca de 8,0 minutos por modelo. Na fig. 6, apresenta-se um quadro descritivo, geral, para cada modelo, que foi montado a partir dos relatórios gerados pelo programa de orientação absoluta do sistema Planicom.

fig. 6 QUADRO DESCRITIVO DOS MODELOS

| MODELO | MÉDIA (mm) | | | ERRO MÁX (mm) | | | Nº DE PONTOS DE APOIO |
|--------|------------|---|----|---------------|----|----|-----------------------|
| | X | Y | Z | X | Y | Z | |
| 1/2 | 13 | 6 | 13 | 26 | 11 | 19 | 5 |
| 2/3 | 2 | 5 | 4 | 3 | 8 | 7 | 6 |
| 3/4 | 8 | 5 | 28 | 16 | 9 | 48 | 6 |
| 4/5 | 13 | 9 | 32 | 25 | 14 | 39 | 5 |

Assistido pelo programa aplicativo, denominado B-84 "Record Plotter", realizou-se a restituição do tipo numérica, ou seja, a medida que o operador percorria o modelo, os dados eram visualizados numa tela gráfica e armazenados em unidade de disco, para posterior produção. O tempo consumido para cada modelo foi de 8,0 minutos. Após a restituição numérica de todos os modelos, eles foram reproduzidos, conjuntamente, sobre folha de poliéster, na escala de 1/50, por meio da meza DZ7 (ver ANEXO-1).

O tempo gasto para isto foi cerca de 2,0 minutos. A restituição ficou restrita às linhas arquitetônicas gerais da fachada, não sendo restituídos, portanto, os pormenores.

Conclusões e Recomendações

De um modo geral, podemos dizer que a utilização das fotografias da fachada, para realizar o planejamento da cobertura fotogramétrica terrestre e da distribuição do apoio, foi satisfatória; entretanto, aconselhamos a tomada de algumas fotos extras, de posições mais afastadas do objeto, de modo a permitir algumas vistas panorâmicas da área. Com isso, pode-se evitar algum imprevisto, tal como objetos que interfiram na cobertura ou durante a medição.

No que se refere à determinação do tamanho dos sinais, observamos que a utilização de uma margem de segurança de 20% ficou justa, sendo assim, sugerimos que ela seja aumentada para 40%. Entretanto, o sinal com o padrão representado na fig. 2, parece-nos mais apropriado, porque este é mais flexível, podendo-se usá-lo em diferentes escalas.

Embora não se tenha detectado maiores problemas com a medição do apoio, se caso fosse desejada maior precisão, gostaríamos de sugerir a utilização de mais uma estação de medição, uma vez que, com três estações, poder-se-ia melhorar, em primeiro lugar, a geometria (que é importante para determinação das coordenadas); em segundo lugar, permitir ajustamento por mínimos quadrados (consequentemente, um estimador de

precisão) e, na pior das hipóteses, contornar problemas de visada de alguma das estações. Além disso, acreditamos que seria conveniente obter os desníveis entre as estações pelo método de nivelamento geométrico. O tempo gasto para a medição pode ser reduzido, quando existir suficiente experiência dos operadores.

Apesar de termos admitido que a distância principal era igual à distância focal, bem como desconsiderados os elementos de distorção da lente, tendo em vista que tais efeitos seriam camuflados pelo erro gráfico (0,2mm), acreditamos que seria interessante que tais fatos fossem constatado, experimentalmente.

4 - Agradecimentos

Os autores desejam expressar seu profundo agradecimento ao Departamento de Geociências da Universidade Federal do Paraná e à empresa Esteio Engenharia e Aerolevantamentos S.A.

5 - Referências Bibliográficas

- *Karara, H.M.* Non Topographic Photogrammetry. American Society of Photogrammetry. Manual of Photogrammetry. Falls Church, 4^o ed., 785-882, 1980.

- *Lugnani, J.B.* et.alii, Laboratório de Ensino de Fotogrametria. Trabalho apresentado no XIV Congresso Brasileiro de Cartografia.

CALIBRATION OF AN AMATEUR CAMERA FOR UNIVERSAL CLOSE-RANGE APPLICATIONS

Sanjib K. Ghosh, Monir Rahimi and Zhengdong Shi
1335 Pav. Casault, Laval University
QUEBEC G1K CANADA

Abstract

Calibration plays an important role in application of non-metric cameras for metric stereorestitution tasks. An IBM-PC computer operated procedure has been developed for such an analytical calibration of cameras. The geometric concept used and mathematical models developed for this procedure are described. An example is presented with regard to an amateur camera calibrated for four focal length settings by using convergent multi-photo configurations. The calibrated focal lengths and the corresponding lens distortion data are presented for the various cases, from which parameters for any other specific case can be obtained by interpolation. The experience and the results indicate that the procedure is economical and convenient for most close-range applications demanding precision measurements.

Introduction

With more and varied use of photogrammetry for precision close-range applications, camera calibration plays an important role whereby non-metric cameras yield results enough to challenge metric cameras in view of their cost-effectiveness. Most realistic approaches for the calibration of a non-metric camera can be classified into two groups: (a) on-the-job calibration, and (b) self-calibration.

On-the-job calibration has been noted to require an object space control network (Anderson et al, 1975), where the number of necessary control points would be directly proportional to the desired number of involved parameters.

Unlike the classical procedures, the self-calibration concept initiated by Brown (1972) is based solely on the image point measurements without requiring absolute ground control. A strong geometrical configuration of multiple photographs over the same field of unknown object points would be desirable (Ghosh, 1988). Furthermore, self-calibration can also be "on-the-job". One would easily see that self-calibration procedure has more advantages (Moriwa, 1977). This is why self-calibration is more welcome in practice. Oftentimes a close-range job with an amateur camera would require an unpredictable focal-length setting. This would necessitate a clear understanding of the interior geometry for the specific case. Assuming that if the camera could be calibrated for multiple focal-length settings (with regard to respective object distances), in practice all interior orientation parameters for any other specific case would be obtainable by simple interpolation. The above would give the rationale behind the present study.

Basic Mathematical Models

The self-calibration approach is based on the augmentation of collinearity condition equations. There are however some differences among the mathematical models used in the self-calibration of various organizations. These differences are mainly due to the different ways of modeling the lens distortions, the film deformations and the consideration of weighting the parameters in calibration (El-Hakim, 1979; Adiguzel, 1985; Fryer, 1984).

The basic mathematical models used in this study (developed from the concept of Brown, 1972) are as follows:

$$\bar{x} + dV_x = -f \frac{M_{11}(X-X_0) + M_{12}(Y-Y_0) + M_{13}(Z-Z_0)}{M_{31}(X-X_0) + M_{32}(Y-Y_0) + M_{33}(Z-Z_0)} \quad (1)$$

$$\bar{y} + dV_y = -f \frac{M_{21}(X-X_0) + M_{22}(Y-Y_0) + M_{23}(Z-Z_0)}{M_{31}(X-X_0) + M_{32}(Y-Y_0) + M_{33}(Z-Z_0)}$$

Where,

dV_x, dV_y are the corrections for lens distortions,

$$dV_x = \bar{x} (k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) + [P_1(r^2 + 2\bar{x}^2) + 2P_2\bar{x}\bar{y}] (1 + P_3 r^2)$$

$$dV_y = \bar{y} (k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) + [P_2(r^2 + 2\bar{y}^2) + 2P_1\bar{x}\bar{y}] (1 + P_3 r^2)$$

x and y are photo-coordinates with fiducial reference;

x_0, y_0 are the photo-coordinates of the principal point with fiducial reference;

f is the calibrated focal length;

k_1, k_2, k_3 are the coefficients for radial lens distortion model (partly polynomial stemmed);

P_1, P_2, P_3 are the coefficients for decentering lens distortion model (partly polynomial stemmed);

M 's are the elements of the orientation matrix;

X, Y, Z are the ground coordinates of the object points; and

X_0, Y_0, Z_0 are the ground coordinates of the camera perspective center.

After linearizing (1), and considering the other weighted function constraints for all the parameters, the mathematical model can be written as:

$$V + \Lambda_1 \Delta_1 + \Lambda_2 \Delta_2 + \Lambda_3 \Delta_3 + W = 0 \quad (2a)$$

$$V_1 + \Delta_1 + W_1 = 0 \quad (2b)$$

$$V_2 + \Delta_2 + W_2 = 0 \quad (2c)$$

$$V_3 + \Delta_3 + W_3 = 0 \quad (2d)$$

Where,

V : residual vector of image coordinates;

Δ_1 : unknown external orientation parameters ($x_0, y_0, f, k_1, k_2, k_3, P_1, P_2, P_3$);

Δ_2 : unknown interior orientation parameters;

Δ_3 : unknown object point coordinates;

A_1, A_2, A_3 are the corresponding coefficient matrices;

V_1, V_2, V_3 are the residual vectors of the three types of pseudo observations $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$, respectively; and W, W_1, W_2, W_3 are the misclosure vectors in the equations.

The final estimations of the unknown parameters are based on the principle:

$$V^t P V + V_1^t P_1 V_1 + V_2^t P_2 V_2 + V_3^t P_3 V_3 \rightarrow \min.$$

Where,

P is the weight matrix of image coordinates, and

P_1, P_2, P_3 are the weight matrices of pseudo observations.

With regard to the present study, the following characteristics may be pointed out:

(1) Radial lens distortion is formulated by the well known odd-power polynomials. More complex film deformations are not considered, because the photo format is small (56 x 56mm). The linear part is automatically contained in the photo coordinate transformation. Usually, the effects of film deformation on image coordinates are very small for such small formats (Hatzopoulos, 1985). Nonetheless, effects of irregular unflatness of film may still remain. However, multiple convergent photography would considerably minimize the effects and thus would lead to acceptable closures and accuracies.

(2) All unknown parameters are treated as pseudo observations. This includes the interior orientation parameters as well. Proper weights can be assigned in practice to these pseudo observations.

(3) The a priori weights used in a case exemplified here are listed in Table 1. These are based on previous experience in view of their geometric configurations and realistic reliabilities.

The above characteristics have the following special advantages:

(a) All image point coordinates, including the points appearing only on two photos can be used. These are the only known (through observations) data.

(b) Good geometric conditions plus proper input of weights can reduce or even eliminate annoying effects of correlation between various parameters.

(c) Interaction amongst various "standards" is avoided (eg., geodetic standard of ground control; manufacturers' standards for photogrammetric equipment and camera, etc.).

(d) Absolute ground control need not be established. Approximate values are necessary to initiate iterative solution procedures.

Data Acquisition

The case of a specific camera (one Rollei SLX, $f=80\text{mm}$) is presented here as an example to illustrate the concepts and developments. The camera was calibrated for four focal-length settings corresponding to four different object distances (0.25 m, 1.0 m, 2.5 m, 7.0 m) with a view to its use on varying objects distances. In the case of 0.25 m, an attachment had to be used for extending the lens tube in order to get a clear focus on the object (targets).

Highly convergent photos were from four different directions around the test field in each case. For reason of simplicity and adequacy, the test field is fairly flat. However, the high tilt (φ or $\omega \cong 60$) photos provide variable Z (projection distances) at the field points giving the equivalency of a three-dimensional field for each photo (Fig.1). All of the 16 photos were on the same roll of film. Three different test ranges had to be used for the calibration because of the differences in the corresponding ground coverages; one is for 0.25 m, one for 1.0 m and 2.5 m and the last one for 7.0 m. The designs of the three ranges are similar, except that the grid dimensions are different. Each range consists of more than 40 grid points. However, during the calibration, at least 20 points, selected at random and evenly distributed over the formats in each case, were used. Theoretically speaking, only two photos were taken in each case in order to get the best possible intersection geometry and in order to compare the results from 2, 3 and 4 photos (explained later).

Photo points were measured on both Wild BC-1 Analytical Plotter and Wild STK-1 Stereocomparator. Each photo was measure twice on each instrument by approaching each points from opposite directions in order to avoid blunders as well as to overcome the effects of instrumental back-lash. The purpose of measuring the photos on the two instruments was to compare the results from different measuring tools. The maximum difference between the image coordinate values at the two instruments was $4\mu\text{m}$, proving thereby that data from any such comparator would be acceptable realistically. Software is available to store the image coordinates directly on disks to be used on the IBM-PC computer, with regard to any of the two instruments.

Calibration Results and Analyses

The calibration results presented here are based on the image coordinates measured with the STK-1 Stereocomparator in mono-mode. The interior orientation parameters are listed in Table 2, where one can see that in cases 2, 3, and 4, the x_0, y_0 are near zero. As mentioned before, in case 1, an attachment was used to obtain clear focus on the target. The x_0 and y_0 shifts in this case are conjectured to be due to the additional attachment, causing camera axis deviation.

According to the Gaussian optical law, the longer the object distance, the shorter should be focal distance. The f values in Table 2 (based on 4 photo network in each case) agree with this law (Fig.2). The change seems to be systematic. The data have been examined to check for statistical "goodness of fit".

The calibrated focal length has the best accuracy (0.28 mm) in case 4, also suggesting that the camera has better focus at 7.0 m distance.

The lens distortion parameters of the camera are listed in Table 3, where one can see that the decentering lens distortions are negligible. With the photo format 56 x 56 mm, the computed maximum tangential lens distortion components in x and y are less than $1\mu\text{m}$.

The radial lens distortion curves of this camera for different object distances (treated independently) are shown in Fig.3. Table 3 and Fig. 3 indicated that (a) The radial lens distortions are significant in cases 1 and 2; and (b) In cases 3 and 4, the lens distortions become considerably small (negligible in case 4). In practice, all insignificant parameters can be eliminated by assigning zero weights in the program.

In order to assess the degree of importance of lens distortion on the calibration results, the cases were studied for the following instances:

- i. Calibration without considering any of the six lens distortion parameters (k_1, k_2, k_3, P_1, P_2 and P_3).
- ii. Calibration by considering all the six lens distortion parameters.
- iii. Calibration by considering only k_1, k_2 , and k_3 .
- iv. Calibration by considering only P_1, P_2 and P_3 .

The results of one such (case 2) are summarized in Table 4, from which one can draw the following conclusion with regard to this particular camera:

- (1) By comparing the results of instance i against the others, one would note that the accuracy is improved significantly by considering the lens distortion parameters into the calibration.
- (2) The decentering lens distortion has no effect on the calibration output accuracy.
- (3) The standard deviations of adjusted object coordinates, however, remain practically the same in all instances.

Tests about the effect of the lens distortions on relative orientation of two photos taken by the camera were also performed. Relative orientation was performed in two modes, one without considering the lens distortions, the other by considering the lens distortions. The results of one such test are shown in Table 5 indicating that the accuracy of relative orientation is improved significantly by considering the radial lens distortion.

In order to study the accuracy improvement with regard to the number of photos used, the calibrations in the four cases were also carried out with 4, 3 and 2 photos each. Some illustrative results are presented in Table 6 and Fig.4. These indicate that with the reduction of photographs not only the redundancy of observations is decreased but also the geometry is weakened, and consequently, the calibration accuracy becomes poorer.

The presented results are all from the calibrations based on the image coordinates measured at the STK-1 Stereocomparator. The calibration results from the STK-1 measurements are almost identical with those from the BC-1 observations. These are not, therefore, presented here:

A question may be raised as to why no check points were used for quality control. This self-calibration procedure does not require any field control. On the other hand, all the object points in the study were generated through grid intersections prepared at a precision coordinatograph. Their final values gave standard deviations for each coordinate less than ± 0.15 mm, indicating thereby that an excellent quality of the object point coordinates (also Table 6) is obtained.

Conclusions and Recommendations

Observations made with regard to this particular amateur camera example would give the following general conclusions:

- (1) An amateur camera may have significant radial lens distortion. This distortion has strong effect when the camera is used on close-range objects.
- (2) Radial lens distortion effects seem to be reduced as the object distance is increased (corresponding to shorter focal-lengths) as would be expected (Fraser and Veress, 1980).
- (3) Decentering lens distortions are negligible for such amateur cameras (for all object distances).
- (4) Measurement data from the STK-1 Stereocomparator and

from the BC-1 Analytical Plotter would give similar calibration results, indicating thereby that any precision comparator would be adequate for such a camera calibration.

(5) The calibrated focal lengths change significantly when the object distances change. The calibrated focal length values can be interpolated (Fig.2) for specific applications with regard to the object distances.

(6) The calibration results indicate that accuracy of the calibrated focal length is somewhat related to both the object distance as well as the network geometry. However, the calibration for the farthest object distance would give the best accuracy of the focal length.

(7) It was found during the tests that among the parameters the maximum correlation in one case is 0.86 while in all the rest is less than or equal to 0.53. However, as is noticed, with the highly convergent multiphoto configuration geometry as used, such correlations are "broken". This establishes very stable and reliable geometric configuration.

(8) The attachments of the camera should be used with caution. Otherwise, it may produce annoying effects. However, such calibration would serve the purpose well as long as the outfit remains stable.

(9) To obtain a good estimation of lens distortions, object points should be widely distributed so as to cover the entire photo format in each case.

(10) All interior orientation parameters for any case than the ones used for such a calibration would be easily obtained through simple interpolations in view of the related object distances.

(11) Based on this experience it may be recommended that similar self-calibration can easily be performed to evaluate any amateur camera before its use on metric stereo-resolution tasks. The obtainable accuracies with regard to specific parameters may be considered for specific practical applications. What counts most for photogrammetric applications is the accuracy obtained at object points. Table 6 indicates (the last three columns) that such accuracies are invariably within acceptable limits in all close range applications of such a camera.

Acknowledgement

The Natural Sciences and Engineering Research Council (NSERC), Canada provided support for most of the research through their Grant N° A-1177. Mr. Paul Troutier and Mr. Jean-Paul Agnard provided assistance at the Laval University photogrammetric laboratory. Mme Danielle Guimond assisted at the word-processor. These are all gratefully appreciated.

Reference

1. ADIGUZEL, M. (1985) "Problems Related to Three Dimension Mapping with Electron Micrographs". Ph.D. Thesis, Laval University, Quebec, Canada.
2. ANDERSON, J.M. and C. LEE (1975) "Analytical in-Flight Calibration". Photogrammetric Engg. and Remote Sensing, Vol. 41, n° 11, pp. 1337-1348.
3. BROWN, D.C. (1972) "Calibration of Close-Range Cameras". Invited paper, ISPRS XII Congress, Com. V; Ottawa.
4. EL-HAKIM, S.F. (1979) "Potentials and Limitations of Photogrammetry for Precision Surveying". Ph.D. dissertation, University of New Brunswick, N.B., Canada.

5. FRASER, C.S. and S.A. VERESS (1980) "Self-Calibration of a Fixed-Frame Multiple-Camera System". Photogrammetric Engg. and Remote Sensing, Vol. 46, N11, pp. 1439-1445

6. FRYER, J.G. (1986) "Lens Distortion for Close-Range Photogrammetry". Proceedings of the ISPRS Commission V Symposium Real-Time Photogrammetry — A new Challenge. June 16-19, Ottawa, Canada, pp. 30-37.

7. GHOSH, S. K. (1988) "Analytical Photogrammetry (2nd Ed)". Pergamon Press.

8. HATZOPOULOUS, J. N. (1985) "An Analytical System for Close-Range Photogrammetry". Photogrammetric Engg. and Remote Sensing, vol. 51, N° 10, pp. 1583-1588.

9. MONIWA, H. (1977) "Analytical Photogrammetric System with Self-Calibration and its Applications". Ph.D. dissertation. University of New Brunswick, N.B., Canada.

List of Tables

- Table 1. Input Weights
- Table 2. I.O. Parameters of the camera
- Table 3. Lens distortion parameters of the camera
- Table 4. Accuracy outputs for the camera (case 2)
- Table 5. Results of the relative orientation (independent method)
- Table 6. Calibration results for different number of photos.

List of Figures

- Fig. 1 Geometry of the photography
- Fig. 2 Focal lengths for various object distances
- Fig. 3 Radial lens distortion curves
- Fig. 4 Calibrated focal lengths in different cases.

Table 1. Input Weights

| Item | | | Std. Error | Weight |
|---|-----------|-------------|------------|----------------------|
| Interior Orientation Parameters | | | | |
| $x_0, y_0, f, k_1, k_2, k_3, p_1, p_2, p_3$ | | | | unit |
| Exterior Orientation Parameters | | | | |
| X_0 | Y_0 | Z_0 | 0.02 m | 2.5×10^3 |
| w | φ | κ | 0.1 rad | 1.0×10^2 |
| Approx. | Object | Coordinates | | |
| | x | y | 0.0005 m | 4.0×10^6 |
| | | z | 0.0008 m | 1.5625×10^6 |
| Image | | Coordinates | | |
| | x | y | 0.008 mm | 1.5625×10^4 |

Note:

- (1) Approximate values of exterior orientation parameters are obtained by using a metric ruler and a simple angle measuring device.
- (2) Object coordinates are obtained for very close-range cases from coordinatograph data.
- (3) Image coordinates are obtained at the Wild STK-1 stereocomparator.
- (4) The standard error considered towards weights in this table are based on previous experience and realistic relative reliabilities.

Table 2. I.O. Parameters of the camera

| Case n° | x_0 (mm) | σ_{x_0} (mm) | y_0 (mm) | σ_{y_0} (mm) | f (mm) | σ_f (mm) |
|---------|---------------|------------------------|---------------|------------------------|-------------|--------------------|
| 1 | -0.52 | 0.39 | 1.02 | 0.39 | 113.99 | 0.76 |
| 2 | 0.04 | 0.09 | -0.59 | 0.62 | 84.63 | 0.91 |
| 3 | 0.03 | 0.13 | -0.46 | 0.56 | 82.95 | 0.49 |
| 4 | -0.02 | 0.26 | -0.37 | 0.65 | 80.90 | 0.28 |

Note: Cases 1, 2, 3 and 4 correspond to 0.25 m, 1.0 m, 2.5 m, and 7.0 m, object distances, respectively.

Table 3. Lens Distortion Parameters of the Camera

| | k_1 | k_2 | k_3 | P_1 | P_2 | P_3 |
|---|-------|-------|-------|--------|--------|-------|
| 1 | 3.907 | 0.006 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 2 | 3.121 | 0.003 | 0.000 | -0.128 | -0.079 | 0.000 |
| 3 | 0.278 | 0.000 | 0.000 | -0.025 | 0.000 | 0.000 |
| 4 | 0.109 | 0.000 | 0.000 | -0.002 | 0.000 | 0.000 |

Note: 1, 2, 3 and 4 are the cases for 0.25 m, 1.0 m, 2.5 m, and 7.0 m, object distances, respectively.

Table 4. Accuracy Outputs for the Camera case 2

| Instance | σ^2 | σ_f (mm) | σ_x (μm) | σ_y (μm) | σ_x (mm) | σ_y (mm) | σ_z (mm) |
|----------|------------|--------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| i | 2.02 | 1.18 | 13.4 | 11.6 | 0.04 | 0.04 | 0.09 |
| ii | 1.54 | 0.91 | 10.2 | 10.2 | 0.04 | 0.04 | 0.07 |
| iii | 1.54 | 0.91 | 10.2 | 10.2 | 0.04 | 0.04 | 0.07 |
| iv | 2.02 | 1.18 | 13.4 | 11.6 | 0.04 | 0.04 | 0.09 |

Note: σ^2 : The estimated variance of unit weight.
 σ_f : Standard deviation of the calibrated focal length.
 σ_x and σ_y : Standard deviations of image coordinates.
 $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$: Standard deviations of adjusted object coordinates.

Table 5. Results of Relative Orientation (independent Method)

| Photo | rotations/(standards deviations) | | | Py (average) (μm) | σ (μm) | Comments |
|-------|----------------------------------|-------------------|------------------|--------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| | ω (gra) | ϕ (gra) | χ (gra) | | | |
| 1 | 38.859 (0.019) | -2.097 (0.019) | 3.077 (0.112) | 8.5 | 3.5 | No lens distortions considered |
| 2 | -37.315 (0.025) | 1.891 (0.019) | 3.069 (0.102) | | | |
| 1 | 36.858 (0.019) | -2.106 (0.019) | 3.636 (0.111) | 5.4 | 2.4 | Lens distortions considered |
| 2 | -37.431 (0.025) | 1.891 (0.019) | 3.587 (0.102) | | | |

Note: Here P_y is the average residual y parallax after relative orientation; and σ is the normalized standard deviation of unit weight in the least-squares adjustment for orientation.

Table 6. Calibration Results for Different Number of Photos

| Object Dist. | N° of photos | σ_{x0} (mm) | σ_{y0} (mm) | f (mm) | σ_f (mm) | σ_x (μm) | σ_y (μm) | σ_x (mm) | σ_y (mm) | σ_z (mm) |
|--------------|--------------|--------------------|--------------------|--------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 0.25 m | 4 | 0.39 | 0.39 | 113.99 | 0.76 | 6.5 | 8.4 | 0.02 | 0.02 | 0.07 |
| | 3 | 0.49 | 0.49 | 13.99 | 0.82 | 6.5 | 8.7 | 0.02 | 0.02 | 0.08 |
| | 2 | 0.61 | 0.65 | 3.96 | 0.90 | 7.0 | 8.8 | 0.03 | 0.03 | 0.08 |
| 1.0 m | 4 | 0.09 | 0.62 | 84.63 | 0.91 | 10.2 | 10.2 | 0.04 | 0.04 | 0.07 |
| | 3 | 0.10 | 0.60 | 84.71 | 0.91 | 10.1 | 10.1 | 0.04 | 0.04 | 0.07 |
| | 2 | 0.13 | 0.65 | 84.61 | 1.00 | 10.1 | 10.5 | 0.04 | 0.04 | 0.08 |
| 2.5 m | 4 | 0.13 | 0.56 | 82.95 | 0.49 | 7.0 | 10.6 | 0.03 | 0.03 | 0.06 |
| | 3 | 0.15 | 0.58 | 82.99 | 0.52 | 7.1 | 11.2 | 0.03 | 0.03 | 0.06 |
| | 2 | 0.18 | 0.60 | 82.78 | 0.54 | 7.1 | 11.5 | 0.03 | 0.03 | 0.06 |
| 7.0 m | 4 | 0.26 | 0.65 | 80.90 | 0.28 | 5.0 | 13.4 | 0.10 | 0.10 | 0.13 |
| | 3 | 0.31 | 0.66 | 80.90 | 0.30 | 5.3 | 13.5 | 0.10 | 0.10 | 0.14 |
| | 2 | 0.38 | 0.70 | 80.75 | 0.35 | 5.4 | 14.0 | 0.11 | 0.11 | 0.14 |

Note: σ_{x0} and σ_{y0} are standard deviations of principal point coordinates. For the rest, see Note for Table 4.

Fig. 1
 GEOMETRY OF THE PHOTOGRAPHY

Note: 1,2,3 and 4 are
 the camera stations;
 Object distances to the
 center of test area
 (S) are: 0.25 m,
 1.0 m,
 2.5 m and 7.0 m.

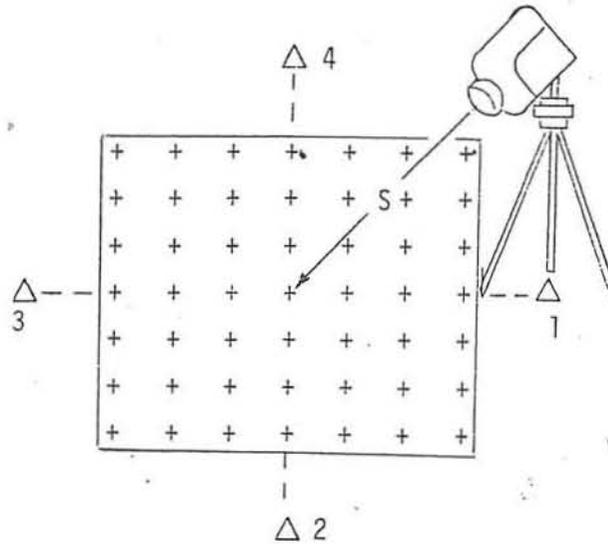
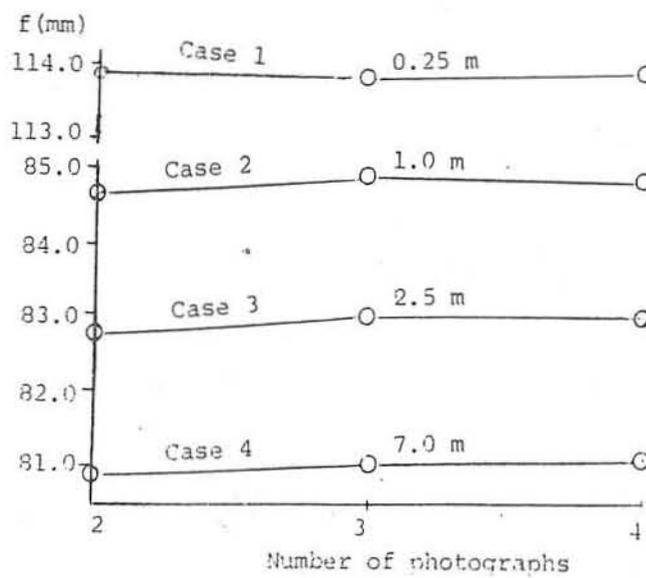


Fig. 2
 FOCAL LENGTHS FOR
 VARIOUS OBJECT DISTANCES



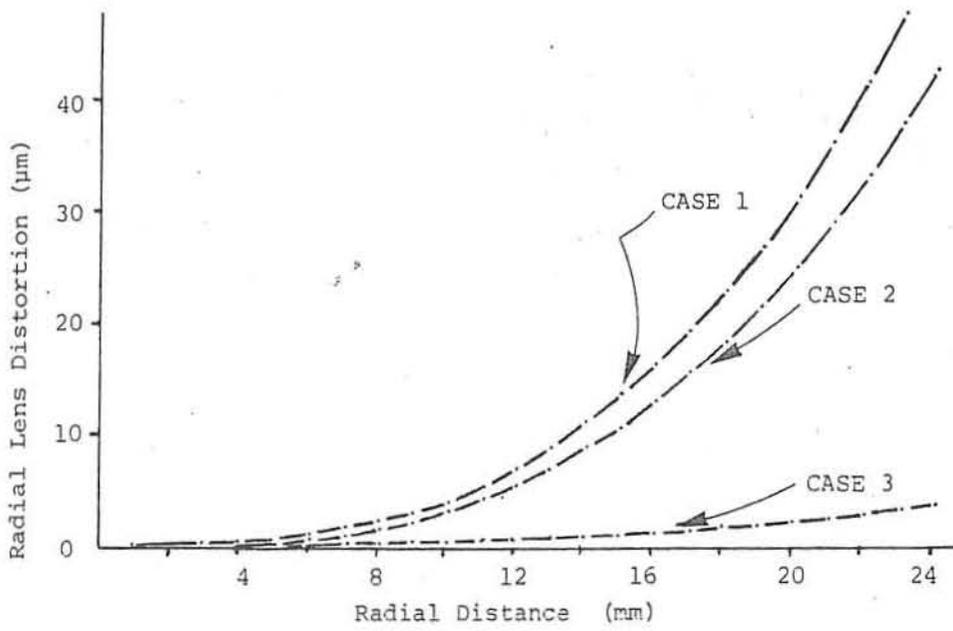


Fig. 3 : RADIAL LENS DISTORTION

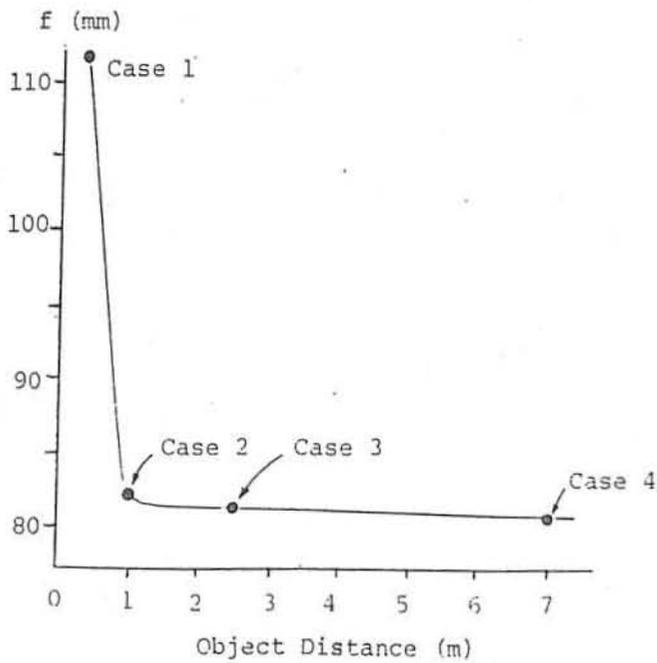


Fig. 4
CALIBRATED FOCAL LENGTHS

CLASSIFICAÇÃO DAS MEDIÇÕES DE DEFORMAÇÃO

Dr. Tarcísio Ferreira Silva
(Universidade Federal de Pernambuco)

Resumo

A intenção deste artigo é divulgar o tema "Medição de Deformação", nos meios da engenharia brasileira, como elemento básico no controle e segurança de obras. Nesse sentido, o engenheiro de medição, pelo seu perfil curricular, pode ser, com vantagem, o Cartógrafo ou o Geodesta. Por outro lado, propõe-se a classificação dos métodos de medição de deformação segundo os aspectos: dimensional, temporal e referencial. A partir desta classificação, poder-se-á enquadrar os instrumentos e métodos disponíveis segundo os mesmos critérios.

1 - Introdução

Nos últimos anos, o Brasil cresceu muito em termos de obras de engenharia, com estruturas de grande porte, principalmente nos setores industrial, de energia, de portos e de estradas.

Obras de engenharia de grande porte como grandes pontes, barragens, turbinas ou grandes cilindros, entre outras, sofrem deformações, com o passar do tempo, motivadas por diferentes causas como fatores climáticos, solos instáveis, marés, vibrações as mais diversas, etc. Por outro lado, o movimento de solos, quer seja de efeito *unilateral*, como por exemplo, o deslizamento de barreiras — ou *periódico*, como acontece em muitos solos sujeitos à influência da ação das marés oceânicas, muitas vezes, provoca grandes danos de natureza material e humana. Tais situações, pela sua importância e segurança requerida, exigem um sistemático acompanhamento de suas deformações, através de medições geodésicas e/ou micromedições.

2 - Classificação dos Métodos de Medição de Deformação

Pode-se classificar os métodos de medição de deformação segundo os aspectos dimensional, temporal e referencial.

2.1 - Aspecto Dimensional

A deformação de um corpo é, naturalmente, compreendida através de medições realizadas ao longo do tempo. O tempo, então, desempenha, junto às medições propriamente ditas, um

papel decisivo na análise do comportamento do corpo que deforma e, muitas vezes, na análise dos valores medidos. Sendo assim, pode-se classificar os métodos de medição de deformação em bi, tri e quadridimensional.

Em seguida, são dados exemplos simples desta classificação:

- O caso *bidimensional* envolve as dimensões [L] e [T] e poderia ser exemplificado com a medição de uma simples distância, ângulo ou alinhamento com o registro do tempo;
- As medições *tridimensionais* envolvem as dimensões [L], [L] e [T].

Como exemplo, teríamos a medição polar, plana, realizada por um taqueômetro eletrônico que mede direções e distâncias, ou a medição bidimensional da lenta oscilação de um pêndulo instalado numa estrutura que se deforma. Em ambos os casos, tem-se a medida do tempo como terceira dimensão. Outro bom exemplo de medição tridimensional é a formidável aplicação de uma rede geodésica plana, medida em diferentes épocas, com a finalidade de, normalmente, acompanhar a deformação de grandes obras de engenharia, como portos, grandes pontes, barragens, etc., em deformações de longo período.

- As medições *quadridimensionais* envolvem as dimensões [L], [L], [L] e [T].

Como exemplo, citamos, semelhantemente ao caso tridimensional, o uso de um taqueômetro eletrônico, que mede direção, ângulo zenital e distância. Pode-se exemplificar, ainda, como medida quadridimensional, o uso de um conjunto de extensômetros, como mostra a Figura 1, ou o uso de níveis eletrônicos e extensômetros com registro sincronizado, como indica a Figura 2.

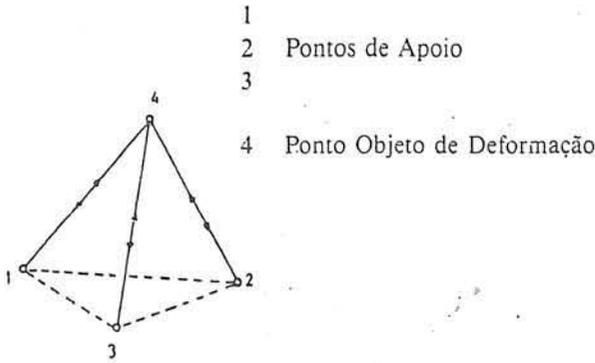


Fig. 1: Esquema Representativo de três extensômetros na medição quadridimensional de deformação.

É comum o uso do nivelamento geométrico de precisão, como componente vertical da medição, associado a outros métodos. Esta prática, no entanto, é recomendada mais para deformações de longo período e caracteriza-se pelo seu caráter estático (veja § 2.2).

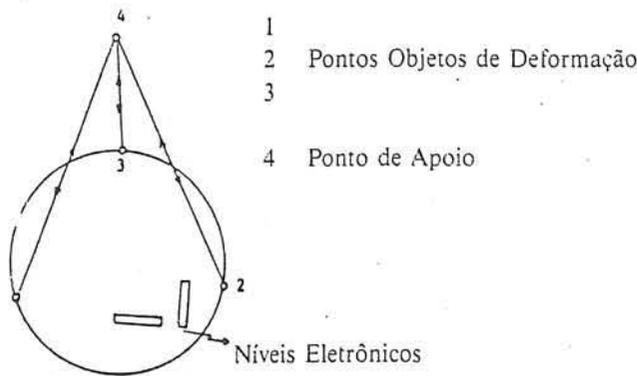
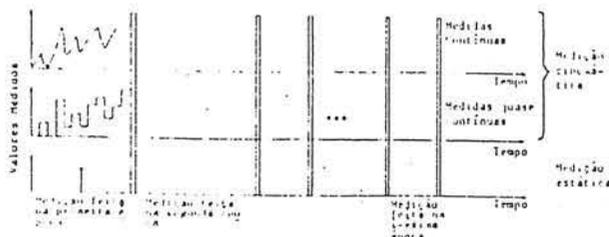


Fig. 2: Esquema representativo de três extensômetros e dois níveis eletrônicos na medição quadridimensional de deformação.

2.2 - Aspecto Temporal

Pode-se classificar as medições de deformação em função do intervalo de obtenção de medidas. Nesse sentido, classifica-se a medição como cinemática e estática (veja Figura 3).

Fig. 3: Esquema representativo das medições de deformação estática e cinemática.



2.2.1 - Medidas Cinemáticas

Medidas cinemáticas são aquelas que, na compreensão dos valores medidos, apresentam um caráter contínuo ou quase contínuo.

Uma medida contínua seria obtida, por exemplo, quando da medição de deformação, através de grandezas elétricas representadas de forma analógica. Na prática, geralmente estas grandezas são transferidas, eletronicamente, por uma sequência de impulsos que discretizam o sinal analógico correspondente ao "sinal desejado". Semelhante sequência de medidas deve ser, criteriosamente, analisada à luz da Teoria do Processo Estocástico.

2.2.2 - Medidas Estáticas

Medidas estáticas são aquelas realizadas em épocas distintas, com o objetivo de se acompanhar deformações de longo período.

A frequência esperada da deformação deve ser, interdisciplinarmente, definida, pelo menos aproximadamente, para que o intervalo das medições seja devidamente projetado. Isto é válido para qualquer medição que objetive o monitoramento de um fenômeno.

2.2.3 - Aspecto Referencial

Com respeito ao sistema de referência utilizado nas medições de deformação, propõe-se utilizar a denominação "medida de deformação", associada ao sistema de referência correspondente. Por exemplo, na Figura 4, o ponto P, pertencente a um corpo representado pelo sistema $X_1 Y_1 Z_1$ e aqui chamado de "sistema primário de referência", deslocou-se, com o passar do tempo, para a posição P'.

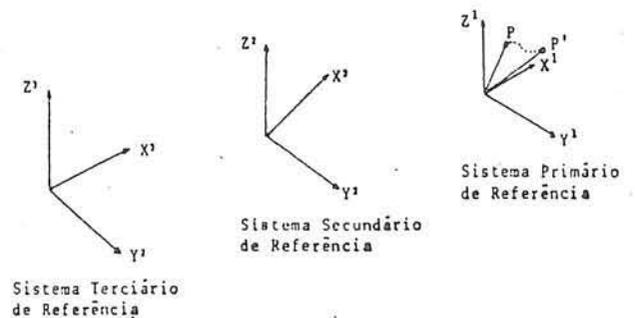


Fig. 4: Movimento de um ponto P na deformação de um corpo

Pode-se falar, aqui, da deformação do corpo, traduzida pelo movimento do ponto P, relativa ao sistema primário de referência.

As medidas executadas, no Sistema Primário de Referência, são, no entanto, insuficientes para detectar movimentos do corpo como um todo (p. ex. rotação, translação etc.) ou possíveis deformações do corpo que o suporta. Nesse caso, só as medições realizadas a partir do sistema secundário de referência, figura 4, poderão explicitar tais movimentos. Da mesma forma, poder-se-á encontrar um possível sistema terciário de referência, com o objetivo de evidenciar possíveis movimentos do Sistema Secundário.

3 - Breve Comentário sobre a Análise das Medições de Deformação

Os dados obtidos a partir das medidas estáticas de deformação devem ser, criteriosamente, analisados sob a base de testes estatísticos e, então, transformados na informação final, ou seja, os resultados das medições.

Os dados obtidos a partir da medição cinemática, por sua vez, formam, normalmente, uma "série temporal" de valores medidos que devem ser analisados segundo a Teoria do Processo Estocástico. Entre os resultados desta análise, é possível

se conhecer até a frequência de oscilação do corpo objeto de estudo.

4 - Conclusão

A medição de deformação deve ser realizada por equipe multidisciplinar, em que o engenheiro responsável pelas medições tenha pleno conhecimento dos métodos, instrumentos de medição e metrologia a serem utilizados em cada caso. Nesse sentido, o engenheiro cartógrafo pode conquistar um novo campo de trabalho, uma vez que a Teoria dos Erros, o Cálculo da Compensação e parte da Teoria dos Instrumentos de Precisão já são do seu conhecimento.

A classificação proposta neste trabalho para os métodos de medição de deformação, contempla os problemas relativos aos sistemas de referência, considera o aspecto dimensional do problema e leva em conta a natureza estática e cinemática dos métodos existentes.

Com esta classificação, espera-se que o engenheiro responsável pelas medições de deformação de uma estrutura, possa escolher o método e instrumental que melhor se adequa à solução de seus problemas.

Lembramos, aqui, a necessidade de se aferir, periodicamente, em laboratório, o instrumental utilizado nestas medições. Este é um dos aspectos mais críticos de todo o processo.

CONSIDERAÇÕES SOBRE A OCORRÊNCIA DE TORNADOS NO BRASIL, PARAGUAI E ARGENTINA

Robert C. Dyer
Consultor Fotogeológico
Rua Marquês do Paraná, 184
25.655 - Petrópolis, RJ

Resumo

O presente trabalho trata do estudo de uma série de rastros de tornados que foram identificados pelo autor, numa região que compreende parte do leste do Paraguai, sudoeste do Brasil e nordeste da Argentina. Os rastros são claramente observáveis sob a forma de faixas desmatadas, lineares, essencialmente, em fotografias aéreas tomadas em 1965, na escala de 1: 60.000, e em algumas imagens Landsat do início da década de 70. A investigação multitemporal da região em consideração, por meio de levantamentos aerofotográficos de diversas épocas, mostrou que a maioria dos tornados atingiu a região, entre junho de 1964 e julho de 1965; alguns ocorreram antes desse período e um, em época posterior. Os rastros mais longos do presente estudo, um no Paraguai e outro no Brasil, possuem 70km de extensão, enquanto que o mais largo apresenta cerca de 2km. O intenso desmatamento que tomou conta da região, a partir de meados da década de 60, obliterou, quase que totalmente, nos produtos de sensoriamento remoto mais recentes, as marcas das passagens dos tornados. Por meio de uma investigação, na literatura geográfica e meteorológica pertinente à região sudeste do Brasil e da Argentina, foram encontrados alguns registros da passagem de tornados, os quais se encontram devidamente referenciados no presente trabalho.

Abstract

This paper deals with the description of a series of tornado tracks which were identified by the author over a region that encompasses part of eastern Paraguai, southwestern Brazil and northwestern Argentina. The tracks are clearly observable on 1965 black-and-white aerial photographs (1: 60,000) and on some of the early 70's Landsat imagery. The multitemporal assessment of different photocoverages and Landsat imagery, pertaining to the depicted region, showed that most of those tornadoes struck the region sometime between June 1964 and July 1965; a few tracks were determined to belong to tornadoes that struck the region in earlier years and one, in later years. The most extent trajectory is 70km long, and the widest, around 2km. The severe deforestation that

took place in the region in the late 60's obliterated almost completely the tornado scars on more recent remote-sensing products. A scan of the literature pertaining to the region under investigation resulted in the gathering of interesting information on damages caused by of such tornado storms.

1. Introdução

A região abordada pelo presente trabalho abrange parte do leste do Paraguai, sudoeste do Brasil e nordeste da Argentina, e é, aproximadamente, balizada pelas seguintes coordenadas geográficas; 52° a 56° 30' W e 24° a 27° 30' S.

Neste trabalho, são apresentados os resultados das investigações conduzidas pelo autor, que é geólogo e especialista em fotointerpretação, por meio da análise de produtos de sensoriamento remoto (fotografias aéreas e imagens Landsat), o que permitiu a identificação de um grande número de rastros de tornados, na região em epígrafe, e que são, pelo menos em relação ao território brasileiro, ainda bastante desconhecidos do público em geral.

2. Histórico

Em 1979, o autor executou um programa de fotointerpretação geológica cobrindo toda a região do Paraguai oriental, o que foi feito, essencialmente, com o emprego de fotografias aéreas, na escala de 1: 60.000, oriundas do levantamento efetuado pela USAF, em 1965, e, secundariamente, por meio de imagens de Landsat, geradas no começo de década de 70.

Durante os trabalhos, o autor teve a sua atenção despertada para uma série de irregularidades da fitofisionomia regional, ocorrendo sob forma de faixas alongadas, orientadas de NW a NNW, praticamente destituídas de vegetação arbórea, e que contrastavam, fortemente, com as áreas adjacentes, ainda densamente cobertas de mata.

Na figura 1, que se segue, está apresentado um estereograma ilustrando uma área com duas dessas anomalias (10 e 11) conforme observadas nas fotografias aéreas tomadas em julho de 1965. Na faixa clara, representando a área desmatada, a observação tridimensional permite uma perfeita visão da falta de vegetação arbórea.

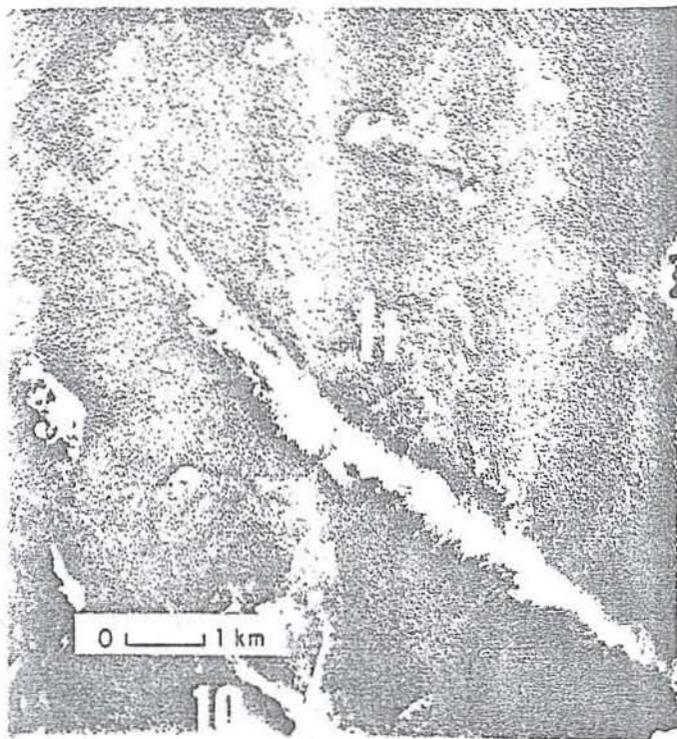


Fig. 1 - Estereograma de fotografia aérea de 1965, (Paraguai oriental), no qual aparecem, nitidamente, as faixas destituídas de vegetação arbórea, em forte contraste com os terrenos circunjacentes, com mata.

A vegetação original da região era representada, na época da tomada das fotografias, por mata. Assim, no oeste do Paraná, no Paraguai e na Argentina, predominava a mata pluvial, subtropical, com passagens para a mata pluvial, tropical, com árvores de 20-30m de altura e troncos de 0,30 a 0,80m de diâmetro, englobando, esporadicamente, árvores de maior porte; em altitudes acima de 500m, tal como no planalto do Paraná (Brasil), ocorria a mata de araucárias (pinheiros).

Em meados de 1984, Júlio de Castro, da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM, Rio de Janeiro, ao se interessar pelo assunto e examinar fotos da mesma cobertura (1965), logrou detectar diversas outras feições similares, jazendo em território brasileiro, no oeste do Estado do Paraná e regiões fronteiriças.

A cartografia desse conjunto de áreas, botanicamente anômalas, demonstrava que as mesmas formavam uma série de faixas lineares de direção NW a NNW, e que se localizavam, indistintamente, em terrenos de diferentes parâmetros lito-estratigráficos, de idades permianas a cretácicas. Ficava, assim, descaracterizada qualquer ligação das áreas anômalas com qualquer tipo litológico. Também, com relação ao relevo, não havia qualquer indicação de associação com parâmetros topográficos. A única ligação com parâmetros geológicos era a coincidência de algumas das feições lineares com anomalias aeromagnetométricas que refletiam a presença de rochas vulcânicas básicas, intrusivas, no sistema de geoclases da Bacia do Paraná. Esta situação induziu o autor, por algum tempo, a aventar uma hipótese de estressamento geobotânico para as faixas lineares desprovidas de cobertura arbórea.

Após a descoberta das feições anômalas, em território brasileiro, procedeu-se a um verdadeiro monitoramento multitemporal daquelas áreas, por meio do exame de produtos fotográficos (fotografias aéreas e mosaicos) de levantamentos anteriores a 1965, numa tentativa de se descobrir a época aproximada da ocorrência do fenômeno que motivou a derrubada da mata das áreas anômalas, em consideração.

Assim, foram examinadas: fotografias aéreas de levantamentos feitos em 1943 (USAF), durante a 2ª Guerra Mundial (representando produtos aerofotogramétricos dos mais antigos do país), fotos dos levantamentos de 1952-57, 1960, 1962, e finalmente, 1964. Devido à disponibilidade mais franca de fotos de diversas épocas que cobriram a área aqui convencionada como 19 (figuras 2 e 3), foi ela a mais sistematicamente estudada.

Nas fotos tomadas em junho de 1964 (figura 2), essa área, situada entre a cidade de São Miguel do Iguçu e o Rio Paraná, ainda não se mostrava afetada pelo fenômeno. Já nas fotos tomadas em julho de 1965 (figura 3), se observava, perfeitamente, a faixa desmatada de 20km de comprimento e 600m de largura, aqui denominada área 19.

Dessa maneira, a investigação multitemporal para a determinação da data aproximada do evento, concluiu que, pelo menos para aquela área, o acontecimento se deu entre junho de 1964 e julho de 1965. Ficava provado, desta maneira, que, no período em referência, alguma ação teria sido responsável, naquela área, pela destruição de extensa faixa de floresta primitiva, até então totalmente intocada pela atividade humana.

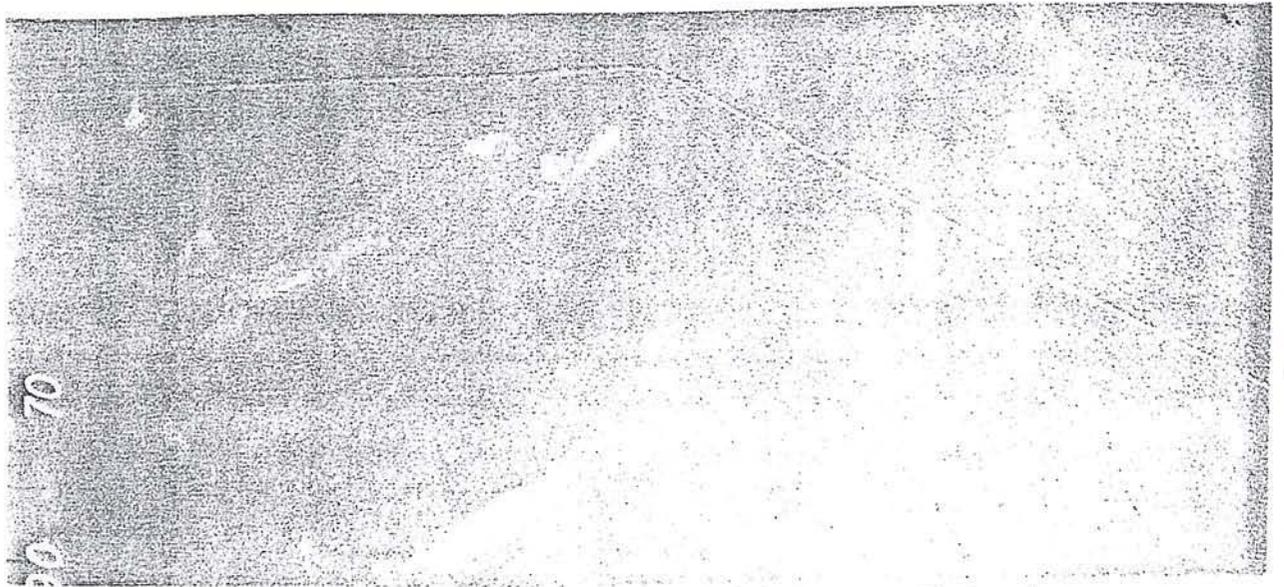


Fig. 2 - Área localizada entre a cidade de São Miguel do Iguazu e o Rio Paraná, em fotografia tomada em junho de 1964.

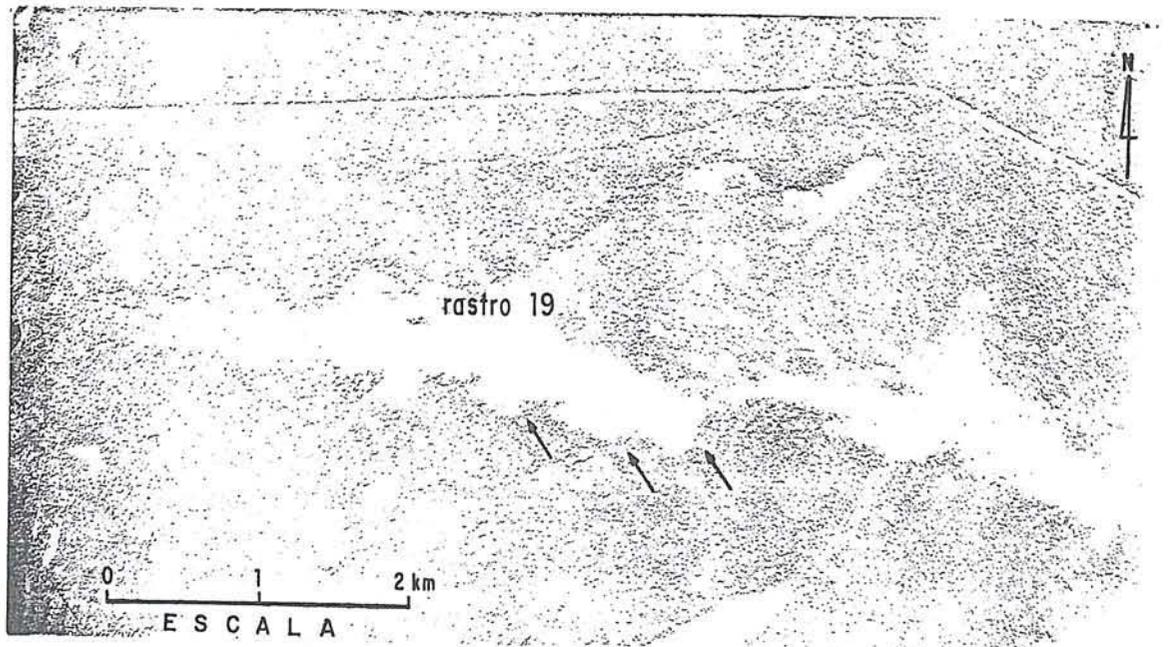


Fig. 3 - Mesma área da foto anterior, em fotografia tomada em julho de 1965, podendo se observar muito bem o desmatamento que a mesma sofreu. As setas indicam feições lineares relevantes.

A busca incessante por evidências sobre os acontecimentos havidos na região sudoeste do Estado do Paraná, trouxe ao autor o trabalho de Reinhard Maack - Geografia Física do Estado do Paraná, 1968. Neste compêndio, o sábio geólogo e naturalista diz, textualmente:

"Força considerável têm os ciclones do tipo furacão que ocorrem nos meses de abril e maio, no período de transição, durante o avanço dos anticiclones do Atlântico Sul e com o recuo das massas de ar tropical de pressão baixa. Em algumas ocasiões, atingem proporções catastróficas, como em maio de 1957, quando a ação de um tufão de largura de 300m a 400m, atingiu as fazendas de Guarapuava até Cascavel, destruindo centenas de casas.

A ventania gravou sua trilha, bem delimitada, nas matas onde as árvores e copas das araucárias se amontoaram umas sobre as outras.

Outro forte tufão de NW castigou os campos de Guarapuava, nas proximidades de Entre Rios e Pinhão, em 27 de maio de 1965, destruindo aldeias e faixas de matas, além de 200km para oeste até a cidade de Planalto. Sua força atingiu tais proporções que arrancou árvores com raízes de até 30cm de diâmetro, bem como centenas de casas. Os troncos de araucárias, ainda em pé, revelaram, com seus galhos, a direção do vento. Sob os escombros de uma escola, em Entre Rios, encontravam-se os cadáveres de uma professora com seu filho, registrando-se centenas de feridos em toda a região.

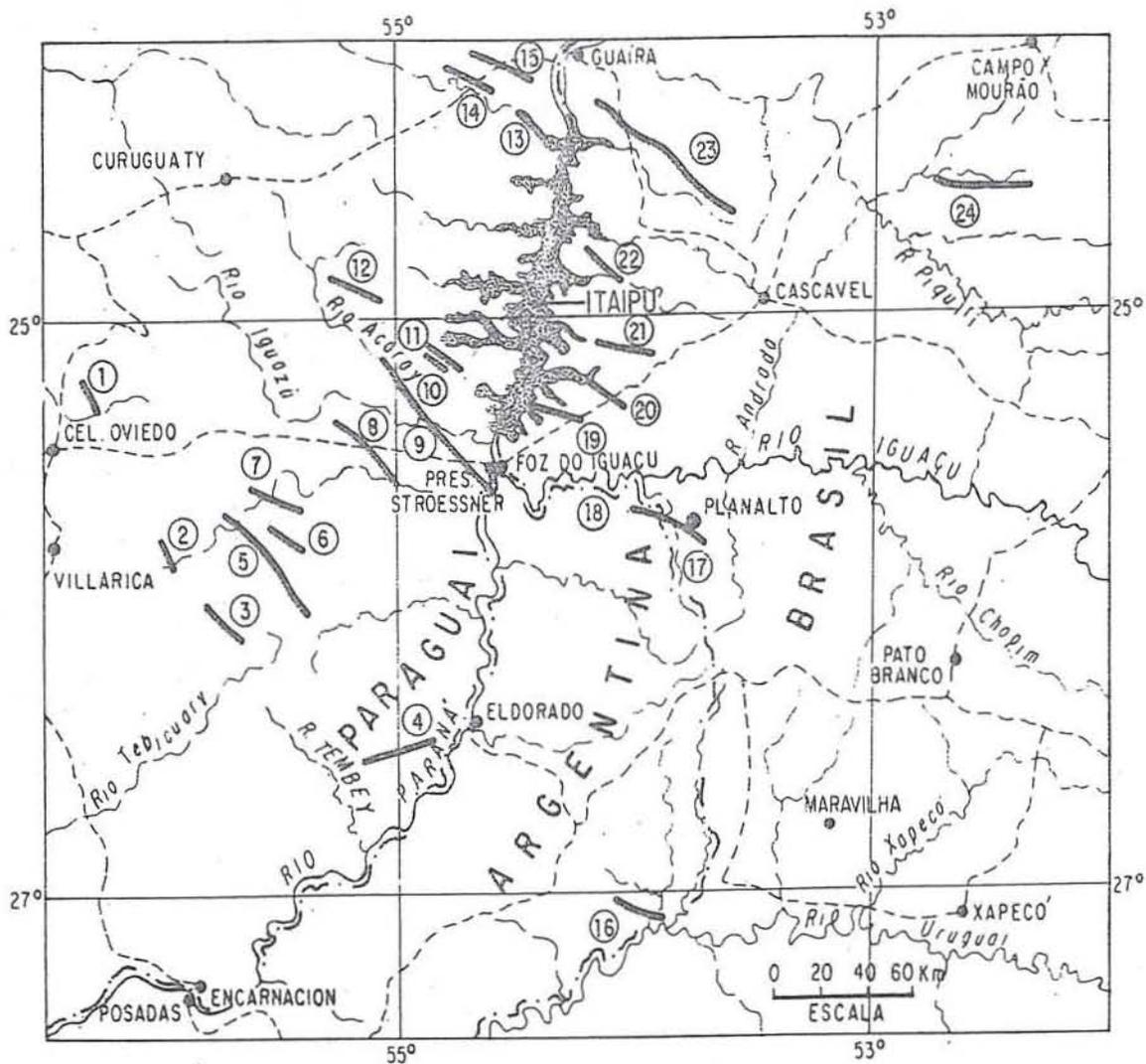


Fig. 4 - Mapa de localização dos rastros de tornados, em número de 24, identificados pelo presente trabalho, no sudoeste do Brasil, nordeste da Argentina e leste do Paraguai.

O último tufão destruidor, acompanhado de trovoadas ininterruptas e forte chuva, com uma frente de 50km. atingiu o norte do Paraná, entre Apucarana e Maringá, na noite de 9 de julho de 1965. Pitanga, Marialva e Manoel Ribas foram fortemente atingidas. O vendaval arrancou pés de café com raízes, destruiu florestas e centenas de casas, registrando-se oito mortos, em Pitanga e Marialva, e mais de oitenta feridos. O tufão foi tão forte que arremessou uma casa inteira, com seus habitantes, na estrada Keller, a 148m de distância, matando duas pessoas e ferindo, gravemente, uma criança (notícias da imprensa de 13 a 14 de julho de 1965)."

Estas informações pareciam, finalmente, indicar que as notáveis faixas desmatadas, investigadas nas fotos de 1965, representavam as trajetórias devastadoras de alguns tornados ocorridos entre 1964 e 1965, conforme a perfeita descrição de R. Maack. A fim de corroborar essa nova versão, o autor, sempre coadjuvado por Júlio de Castro, reexaminou as fotografias aéreas de 1965, tomadas de algumas das áreas mencionadas por Maack e, numa delas, nos arredores da cidade paranaense de Planalto (vide texto

transcrito), situada nas proximidades da fronteira com a Argentina, ficou perfeitamente caracterizado o rastro destruidor do tornado de 27 de maio de 1965. Essa área está assinalada no mapa da figura 4, acima, com o nº 17.

2. Generalidades sobre tornados

Segundo Nalivkin (1983), tornado é uma chaminé de ar de altíssima rotação, dependurada em uma nuvem cúmulo-nimbus. A maior parte dos estudos sobre tornados, os têm considerado de maneira independente, isto é, desvinculados de nuvens de tempestade. Somente nos últimos anos é que alguns estudiosos passaram a dar atenção ao relacionamento direto entre tornados e a vorticidade das nuvens. O fenômeno principal é justamente essa vorticidade da chamada nuvem-mãe, sendo o tornado uma formação semelhante, secundária, dela originada e pendendo da mesma em forma de tuba ou tromba.

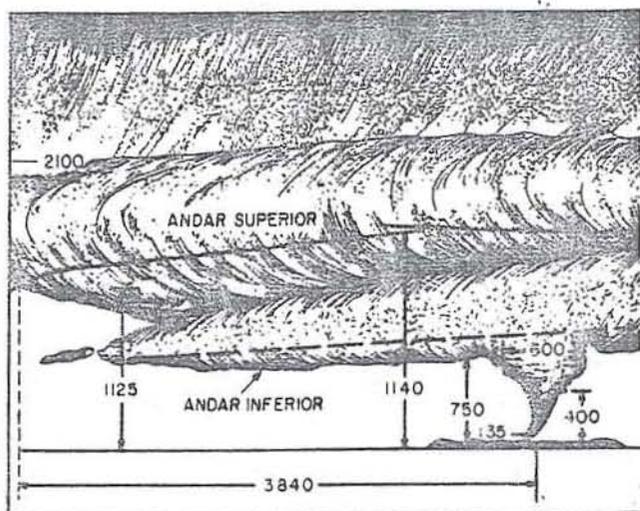


Fig. 5 - Estrutura de um tornado que atingiu Dallas, U.S.A. em 1957 (Hoecker, 1960).

Na figura 5, encontra-se uma concepção estrutural de uma tempestade com formação de um tornado, na sua parte inferior. Segundo a mesma, a parte principal da tempestade tem a forma de um colarinho e foi denominado por Hoecker de andar superior; sua largura é de 3-4km e sua espessura, cerca de 300m. O seu nível superior encontra-se na altitude de 1500m. Abaixo desta formação, encontra-se outra, denominada pelo mesmo autor de andar inferior, dela pendendo a tromba ou a tuba do tornado, de uma altura de cerca de 400m.

A tromba é a parte principal de um tornado e apresenta um movimento rotacional extremamente rápido do ar em seu interior. Geralmente, poeira e água se misturam ao ar rotacional, daí se tornando possível a sua observação; quando isto não acontece, a tromba permanece praticamente invisível. A velocidade de rotação do ar é extremamente alta e tem sido noticiada como possuindo valores elevadíssimos, de, até, 1.200km/h.

Ao contrário dos furacões, nos quais a cavidade interna, rotacional, apresenta dimensões quilométricas, nos tornados a mesma possui dimensões métricas.

Da mesma forma, as dimensões dos rastros dos tornados são relativamente pequenas, se comparadas com as de furacões. A largura média, tirada de 2.000 tornados ocorrentes nos Estados Unidos, foi de 350 - 450m, o rastro mais extenso tendo sido de 469km, com a morte de 270 pessoas; a média, entretanto, foi de 20km.

Morros, florestas e lagos não são obstáculos para os tornados. Após emergir por sobre os morros, frequentemente, atingem uma força maior e ao passar sobre florestas, destroem árvores seculares, deixando atrás faixas lineares de destruição. Muitas vezes, apresentam movimentos saltitantes, ora atingindo o solo, ora se erguendo do mesmo e formando, em consequência, rastros descontínuos.

E difícil determinar o peso de uma nuvem-mãe, assim como o peso da tromba do tornado propriamente dito. Um torna-

do que passou sobre o Lago Waocana, no Canadá Ocidental, aspirou tanta água que o nível do lago baixou 0,6 metros. Com base na área do referido lago, foi possível determinar que o peso da água aspirada pela tromba foi de cerca de 500.000 toneladas (Lowe and Mc Kay, 1962). Se o peso de uma tromba pode ser tal, pode-se assumir que o peso de uma nuvem-mãe pode chegar a centenas de milhões de toneladas.

Uma das regiões do mundo onde os tornados foram melhor estudados é a parte central dos Estados Unidos. Segundo Flora (1953), durante um período de 35 anos, de 1916 a 1950, foi registrada a passagem de 5.200 tornados, com a morte de 7.961 pessoas; segundo Spohr e Waste (1962), de 1916 a 1961, este número de tornados atingiu a casa dos 11.053, em todo o território norte-americano.

A edição do *National Geographic Magazine* de junho de 1987, apresenta uma excepcional e bem ilustrada reportagem sobre a ocorrência de tornados nos E.U.A. De acordo com a mesma, o período de 24 horas que apresentou a maior incidência de tornados no país, foi no dia 4 de abril de 1974, quando 148 deles foram registrados em 13 estados, com a morte de 315 pessoas. A mesma fonte informou que o maior número de mortes provocadas por um único tornado, aconteceu no dia 10 de março de 1925, com a morte de 689 pessoas.

Na figura 6, estão apresentados os rastros de uma série de tornados que atingiram a parte central dos Estados Unidos, em 29 e 30 de maio de 1879, e que, na sua maioria, têm direção NE.

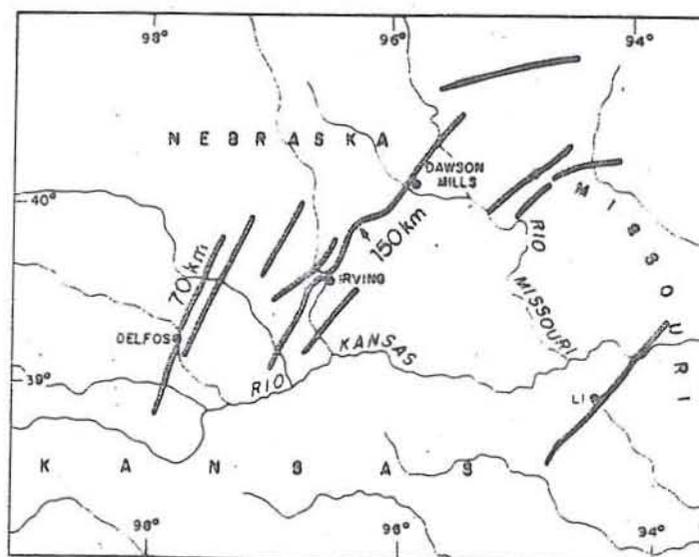


Fig. 6 - Rastros na parte central dos Estados Unidos.

O mais extenso foi chamado de Irving, tendo atingido cerca de 150km. Interessante é a comparação com o mapa da figura 4, que mostra os rastros identificados pelo autor na região coberta pelo presente trabalho.

4. Os rastros dos tornados

No mapa da figura 4 estão cartografados, de maneira sumária, 24 dos principais rastros destruidores dos tornados ocorridos na região em epígrafe.

O exame estereoscópico das aerofotos utilizadas no presente trabalho mostrou que ao longo dos rastros quase não restou cobertura arbórea (vide estereograma da figura 1). A escala da maioria das fotos não permite, porém, uma boa definição quanto à existência de troncos de árvores, desfolhadas e desganhadas, efetivamente de pé. Esporadicamente, são observados alguns troncos ainda em pé, provavelmente, representando árvores mais robustas que ocorriam no seio da mata pluvial subtropical. Que a maioria das árvores ocorrentes ao longo das trajetórias dos tornados, em consideração, foi efetivamente extinta, não há dúvida, pois o monitoramento multitemporal de algumas áreas, por meio de fotos tomadas, posteriormente, à passagem dos tornados e em escala mais adequada, mostrou que a vegetação arbórea, primitiva, foi destruída ao longo das faixas devastadas, tendo havido, após algum tempo, uma regeneração da mata atingida, por meio do crescimento de uma mata secundária, mais baixa e de características diferentes da original.

Abaixo, encontra-se uma tabela com os parâmetros gerais dos 24 rastros evidenciados no presente trabalho. Desse total, 8 dizem respeito ao Brasil, 3 à Argentina e 15 ao Paraguai.

Conforme se observa, a extensão e a largura dos rastros

variam enormemente, sendo que as feições mais notáveis têm 70km de comprimento e uma largura da ordem de 2km.

Os rastros contínuos mais extensos são: o de nº 9, situado em sua maior parte em território paraguaio (pouco a oeste de Foz do Iguaçu) e que, além de se destacar muito bem nas aerofotos de 1965, pode ser perfeitamente visualizado nas imagens mais antigas de Landsat, tal como a imagem apresentada na figura 12, adiante; rastro nº 23, localizado no oeste paranaense, entre Cascavel e Guaira, e que tem uma ótima expressão nas fotos de 1965, conforme documentado na figura 10, adiante. Nas imagens de satélite, esta feição não pôde ser evidenciada devido ao intenso desmatamento que teve lugar na região, no fim da década de 60, apagando, totalmente, a cicatriz representativa da passagem do sinistro. O rastro mais largo é o representado pelo nº 5, que sofreu, localmente, desmatamento de até 2km.

A forma das trajetórias em epígrafe, apresenta-se, por vezes, bastante sinuosa, como exemplificado na figura 7, do rastro nº 8, situado no Paraguai. Outra característica muito marcante e conspicuamente observável nas aerofotos, é uma linha central, de tonalidade mais clara que o resto da área desmatada, provavelmente, representando a zona mais intensamente atingida pelo tornado. Por vezes, esta linha mais clara apresenta um brusco deslocamento lateral, como o indicado pela seta, na figura nº 8, do rastro nº 5, e que se encontra documentada adiante. Relevante, também, são os limites muito bruscos da zona desmatada do rastro 19 (figura 3).

| Rastro (nº) | Comp. Max (km) | Larg. Max (km) | Localização (país) | Foto ou Imagem de LANDSAT |
|-------------|----------------|----------------|--------------------|---------------------------|
| 1 | 8 | 0,2 | Paraguai | 1965 - foto 1: 60.000 |
| 2 | 7 | 0,2 | Paraguai | 1965 - foto 1: 60.000 |
| 3 | 20 | 0,4 | Paraguai | 1965 - foto 1: 60.000 |
| 4 | 30 | 1,0 | Paraguai | 1978 - imagem de LANDSAT |
| 5 | 40 | 2,0 | Paraguai | 1965 - foto 1: 60.000 |
| 6 | 13 | 0,5 | Paraguai | 1965 - foto 1: 60.000 |
| 7 | 17 | 0,5 | Paraguai | 1965 - foto 1: 60.000 |
| 8 | 35 | 1,0 | Paraguai | 1965 - foto 1: 60.000 |
| 9 | 70 | 1,5 | Paraguai/Argentina | 1965 - foto 1: 60.000 |
| 10 | 7 | 0,3 | Paraguai | 1965 - foto 1: 60.000 |
| 11 | 17 | 1,0 | Paraguai | 1965 - foto 1: 60.000 |
| 12 | 12 | 1,0 | Paraguai | 1965 - foto 1: 60.000 |
| 13 | 6 | 0,4 | Paraguai | 1965 - foto 1: 60.000 |
| 14 | 10 | 0,5 | Paraguai | 1965 - foto 1: 60.000 |
| 15 | 24 | 0,7 | Paraguai | 1965 - foto 1: 60.000 |
| 16 | 17 | 0,9 | Argentina | 1965 - foto 1: 60.000 |
| 17 | 30 | 0,2 | Brasil/Argentina | 1965 - foto 1: 60.000 |
| 18 | 9 | 0,3 | Brasil/Argentina | 1965 - foto 1: 60.000 |
| 19 | 20 | 0,6 | Brasil | 1965 - foto 1: 60.000 |
| 20 | 8 | 0,4 | Brasil | 1965 - foto 1: 60.000 |
| 21 | 20 | 0,7 | Brasil | 1964 - foto 1: 70.000 |
| 22 | 8 | 1,9 | Brasil | 1943 - foto 1: 45.000 |
| 23 | 70 | 1,2 | Brasil | 1965 - foto 1: 60.000 |
| 24 | 30 | 0,5 | Brasil | 1965 - foto 1: 60.000 |

Com um total de 548km e largura média de 0,4km, ter-se-ia um total de 22.000 hectares destruídos.

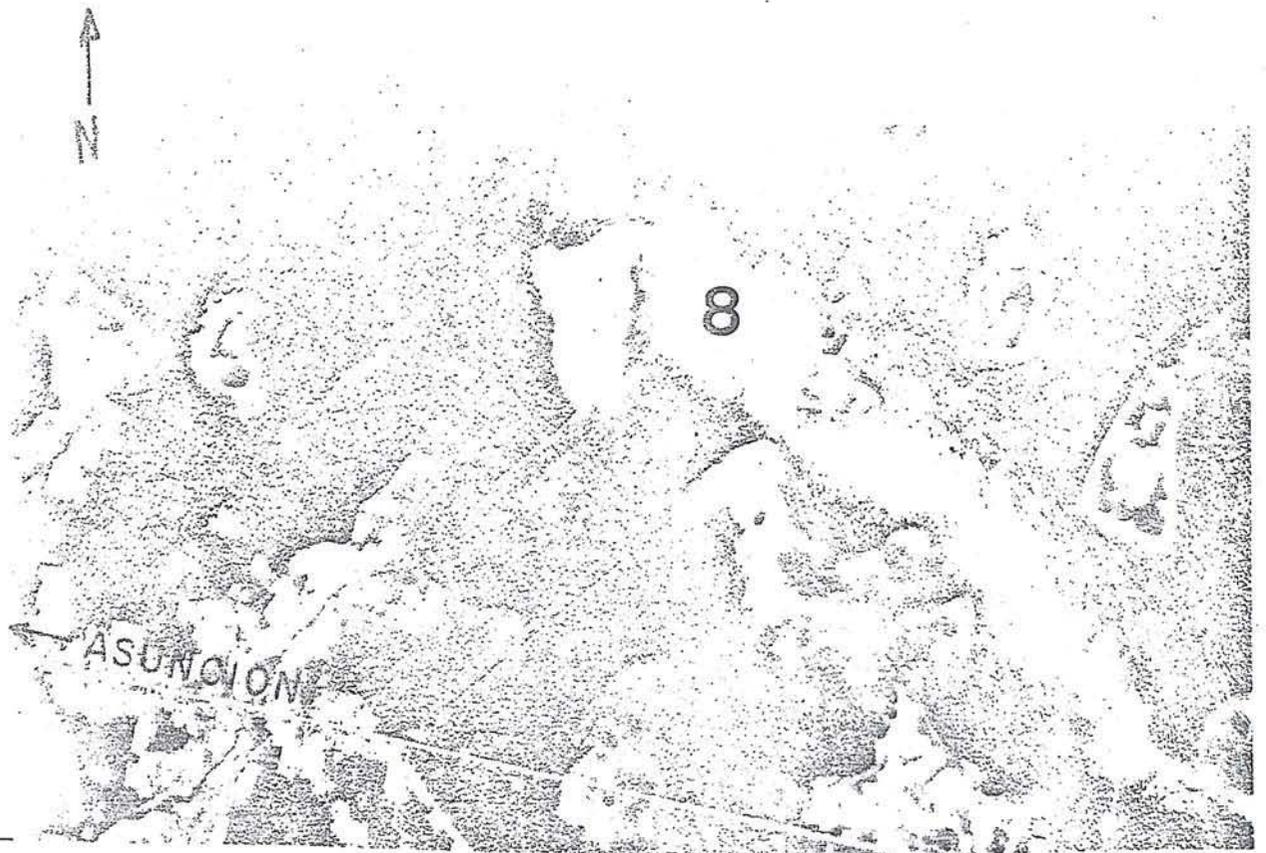


Fig. 7 - Fotografia aérea de 1965, mostrando a forma sinuosa e a grande mudança de largura deste rastro (nº 8) situado no Paraguai oriental, e que, na foto, atravessa a rodovia para Assunção.

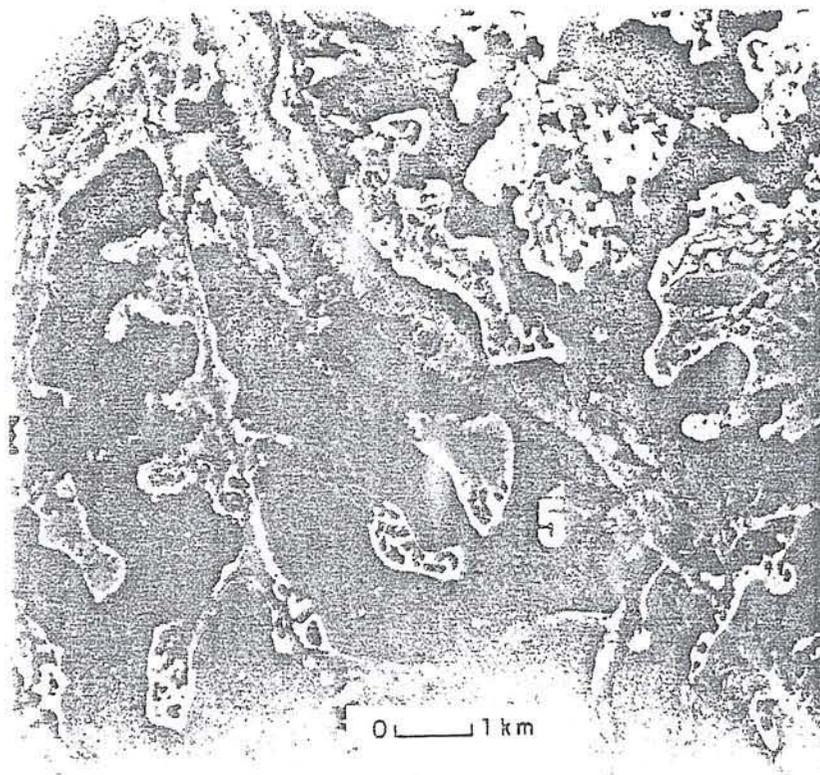


Fig. 8 - Foto de 1965, apresentando o rastro de nº 5, Paraguai, que possui uma linha central de tonalidade mais clara que o resto da faixa.

Segue uma descrição de alguns dos rastros identificados pelo autor no presente estudo.

5. Rastro nº 23

Este rastro, de, aproximadamente, 70km de extensão e representando um dos mais longos do presente estudo, situa-se no extremo oeste do Estado do Paraná, entre as cidades principais de Cascavel e Guaira.

Na figura 9, ao lado, está apresentado o traçado do mesmo, podendo-se notar a sua forma sinuosa e sua mudança de largura, em vários pontos da trajetória. O rastro se inicia, ao sul, pouco ao norte de Bragantina, com uma largura média em torno de 400m, e direção noroeste. Passa entre Pérola Independente e Vila Nova, já com uma largura bem menor. Ao atingir o Rio Dezoito de Abril, sofre uma inflexão para a esquerda, acompanhando, por alguns quilômetros, o vale desse rio. Pouco depois de passar pelas proximidades de Nova Sta. Rosa, na altura da foz do Rio Dezoito de Abril, no Arroyo Guaçu, sofre um incremento de sua largura, que vai aumentando até atingir o máximo de 1,2km, pouco ao norte de Sta. Rita do Oeste. Daí para a frente, a largura vai diminuindo até aparecer, em cunha, nas proximidades de Bela Vista do Oeste, cerca de 10km do Rio Paraná. A intensa atividade agrícola, nesta área situada nas proximidades do Rio Paraná, impede, nas fotografias aéreas, em questão (1965), uma melhor avaliação sobre a continuidade do rastro nº 23, para oeste. Do outro lado da fronteira, já no Paraguai, ocorre um outro rastro, aqui denominado nº 15, perfeitamente alinhado com o primeiro, sendo bem possível se assumir que os dois constituem uma única trajetória de tornado, com cerca de 120km de extensão (fig. 4).

Na figura 10, que se encontra adiante, tem-se uma magnífica ilustração deste rastro, abrangendo a área onde se apresenta com a sua maior largura, cerca de 1,2km: entre Bela Vista do Oeste e Sta. Rita do Oeste.

6. Rastro nº 19

Este rastro, de 20km de extensão e largura máxima de 600m, ilustrado na figura 3, apresenta, como feições marcantes, os limites extremamente bruscos e retilíneos entre a zona com mata e a desmatada, o que levou o autor a aventar, no início dos estudos, a hipótese de uma origem geológica para o evento. Estes limites tão bruscos, como os assinalados pelas setas da foto da figura 3, são, de acordo com Nalivkin (1983), uma das características típicas de tornados. Para exemplificar, aquele estudioso de tais fenômenos, cita o caso de um tornado que destruiu, completamente, uma árvore de 30cm de diâmetro, mas deixou completamente intacta uma casa de abelhas situada a 1m da mesma.

A área foi monitorada por meio de fotografias aéreas mais recentes, tais como as fotos infravermelhas, falsa-cor, tomadas em 1974, para o estudo de Itaipu, e nelas foi possível constatar que a faixa desmatada (em zonas ainda não atingidas pela atividade agrícola), ainda conservava as características evidenciadas nas fotos de 1965, sem que houvesse sido regenerada qualquer vegetação arborea mais pujante.

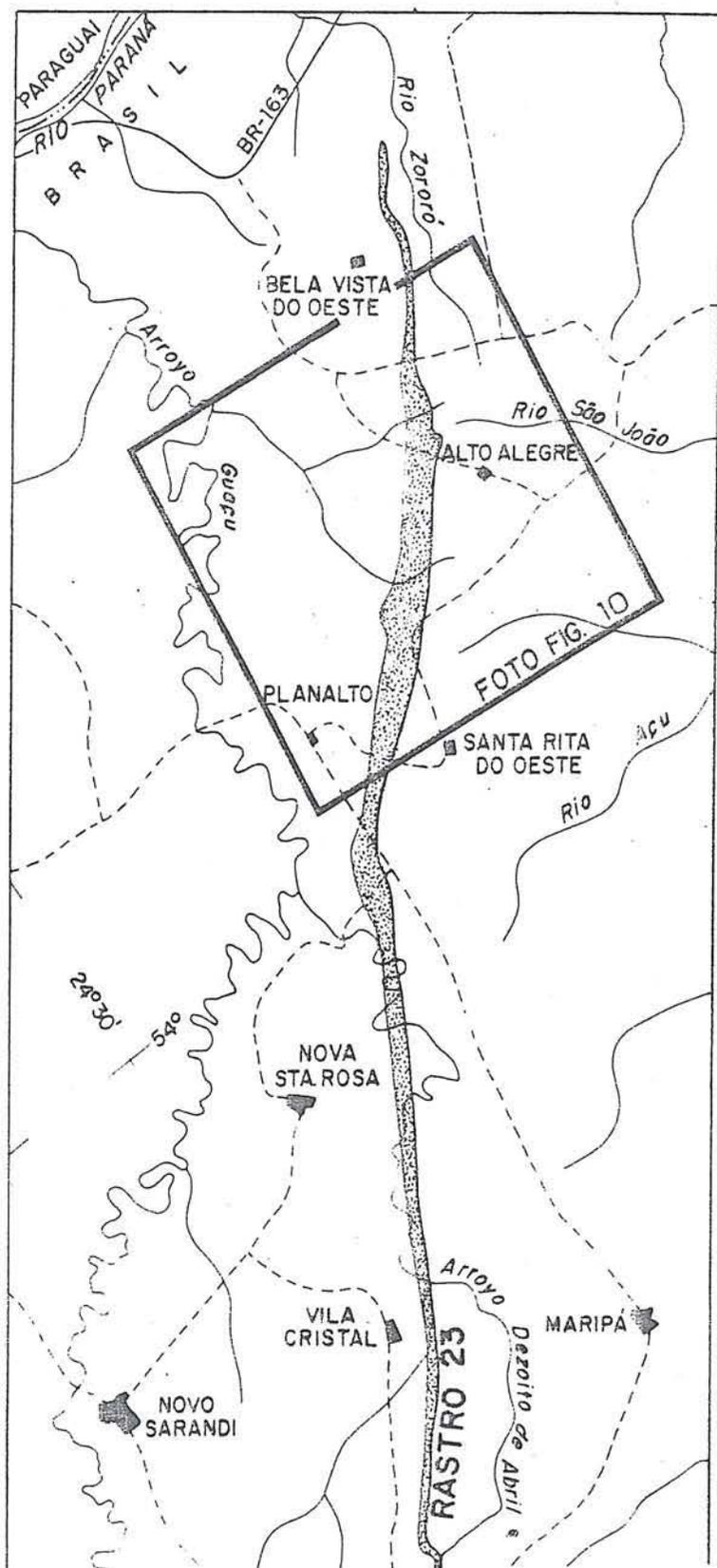


Fig. 10 - Rastro 23, extraído de aerofotos (1965).



Fig. 10 - Aerofoto de 1965, ilustrando a trajetória destruidora do tornado nº 23, de 70km de extensão e até 1.2km de largura, situada entre as cidades de Cascavel e Guaíra, no oeste paranaense. A área coberta, acima, encontra-se devidamente locada no mapa da figura 9 e abrange, justamente, o segmento do rastro que aí tem sua maior largura.

7. Rastro nº 9

Este rastro, de 70km de extensão, representa um dos mais notáveis exemplos de destruição produzida pelos tornados na região da Bacia do Paraná, e sua identificação se faz, tanto nas aerofotos da USAF, de 1965, quanto nas imagens pioneiras de Landsat, do início da década de 70. Na imagem apresentada na figura 11, adiante, está ilustrado este imponente rastro, assim como alguns outros que se fazem presentes no Paraguai, quando a atividade humana ainda não havia provocado grandes desmatamentos.

Considerando-se o sentido de sudeste para noroeste, o rastro nº 9 se inicia em território argentino, cerca de 7km para oeste

do aeroporto portenho do Parque de Foz do Iguaçu. Alguns quilômetros adiante, atravessa o Rio Paraná, adentrando no Paraguai, com uma largura de, aproximadamente, 700m. No trecho de cerca de 30km, que vai do Rio Paraná até a rodovia Foz do Iguaçu-Assunção, apresenta maior largura, chegando a atingir dimensões de até 1.500m, como acontece à altura do Rio Monday. Nas proximidades da rodovia supracitada, sua largura diminui, consideravelmente, para cerca de 500m. Continuando no rumo noroeste, segue uma distância de cerca de 20km, com uma retidão muito marcante e largura média de 500m. Ao atingir o



Fig. 11 - Imagem de Landsat, de 23 de fevereiro de 1973, MSS, canal 6, apresentando uma série de rastros de tornados abordados pelo presente trabalho; o rastro nº 9, de 70km, aparece, conspicuamente, nesta imagem. No Brasil, o desmatamento apagou a maioria dos rastros, com exceção do nº 19, que se situa em área ainda com bastante mata.

Rio Acaray, novamente se espessa e passa a apresentar uma forma bem mais sinuosa, até desaparecer, cerca de 20km depois.

Na figura 11, acima, tanto o rastro nº 9 quanto os de nºs 5, 6, 7, 8, 10 e 11, todos no Paraguai, são bem observáveis, ocupando sempre posições subparalelas entre si. Já em território brasileiro, o intenso desmatamento que tomou conta daquela região fronteiriça, em fins da década de 60, apagou, quase que completamente, os vestígios das passagens dos tornados. Somente o rastro nº 19, já ilustrado, em fotografia aérea, na figura 3, ainda se mantinha relativamente visível, conforme se pode atestar na imagem de satélite, em foco.

8. Rastro nº 4

Este rastro, ocorrente no Paraguai, foi detectado, meramente, por meio do monitoramento de imagens Landsat, tomadas em diversas épocas. Assim, nas imagens geradas em fins de 1978, surgiu, pela primeira vez, esta feição de 30km de extensão, de forma ondulante e muito similar a todas as outras aqui

referenciadas. A única divergência se refere à sua direção ENE, destoante do restante dos rastros aqui considerados e que se encontram devidamente assinalados, no mapa da figura 4.

Na figura 12, que se encontra adiante, está exposta outra imagem de Landsat, desta vez gerada em dezembro de 1982, na qual se apresenta, muito nitidamente, este rastro mais novo, surgido em fins de 1978. Os outros rastros, referidos na imagem anterior, de 1973, já não se apresentam, na imagem de 1982, tão nitidamente; isto se devendo, essencialmente, ao desmatamento que tomou conta, também, do Paraguai, em fins da década de 70. Outra feição nova, apresentada pela imagem de 1982, é a colossal represa de Itaipu (limite superior da imagem), que se situa em área de ocorrência franca de tornados.

9. Rastro nº 16

Esta feição desmatada, perfeitamente observável nas fotos de 1985, também se apresenta de maneira bastante destacada na imagem de satélite Landsat, gerada em 1972, (MSS canal 5),

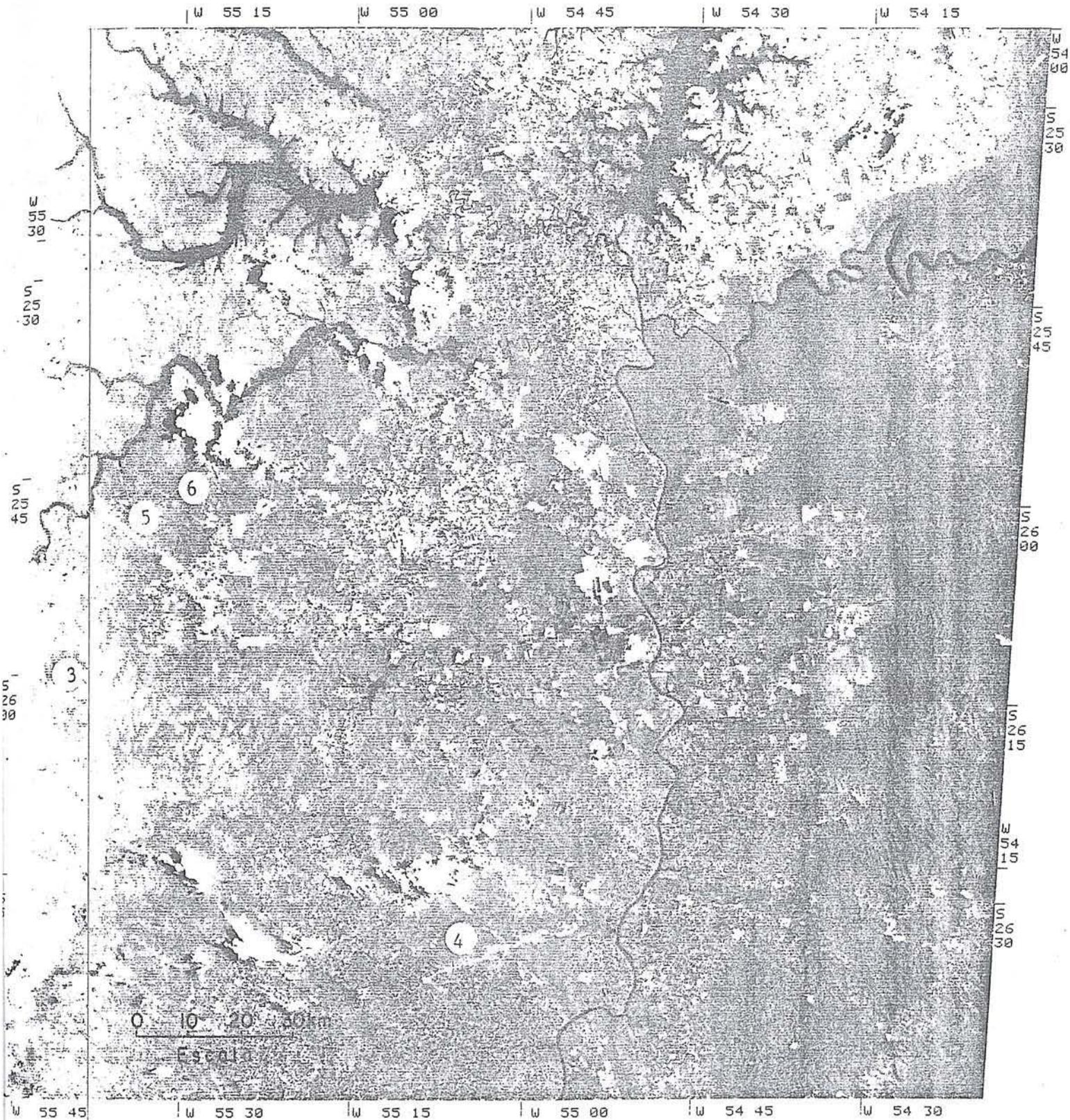


Fig. 12 - Imagem de Landsat, MSS, canal 6, de 28 de dezembro de 1982, na qual está bem ilustrado o aparecimento do rastro nº 4, inexistente na imagem de 1973. O desmatamento, então ocorrente no Paraguai, apagou grande parte dos rastros vistos naquela imagem.

assim como em fotografias aéreas mais recentes, tomadas em 1978. Trata-se de rastro situado em parque florestal da Argentina, Província de Misiones, próximo à fronteira do Brasil. Em território brasileiro, a passagem do sinistro não mais foi visível, nesta época, devido ao profundo desmatamento aí ocorrido (tons claros na imagem em foco, figura 13, ao lado).

Na figura 14, adiante, o mesmo rastro pode ser observado em aerofoto tirada em 1965. Como se pode observar, mesmo decorridos 7 anos, não houve regeneração da floresta devastada. O exame de fotografias, tomadas em 1978, outros 6 anos depois, mostrou que havia crescido uma vegetação secundária, na faixa destruída pelo tornado, de características completamente distintas da mata original. Uma imagem do Satélite SPOT, tomada em 1986, ainda evidencia perfeitamente o rastro do dito tornado. Áreas florestadas constituem o melhor ambiente para a identificação dos rastros de tornados em produtos de sensoriamento remoto. Uma bela ilustração colorida de um rastro de tornado que atingiu o Allegheny National Forest (Pennsylvania U.S.A.),

Fig. 13 - Imagem de Landsat, de novembro de 1972, MSS, canal 5, apresentando o rastro nº 16, situado em parque florestal da Argentina (prov. Misiones).



WRS 224-78

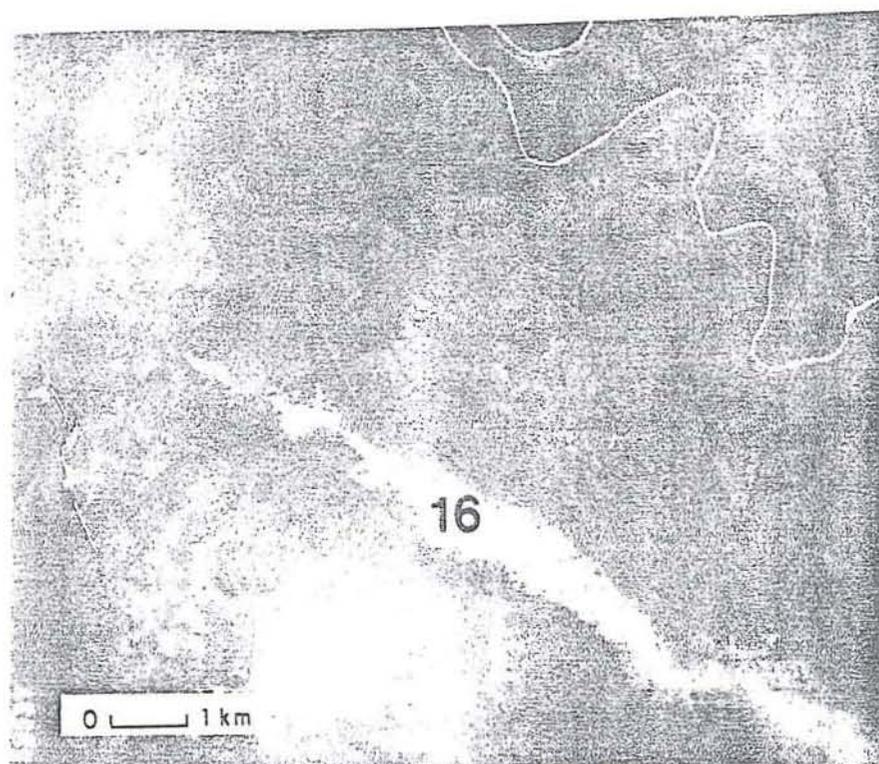


Fig. 14 - Fotografia aérea de 1965, na qual aparece, muito contrastadamente, a faixa florestal situada em Misiones, Argentina, destruída por um tornado. O rastro (nº 16) tem 17km de extensão, largura máxima de 900m e representa o mesmo, ilustrado na imagem de satélite da figura 13.

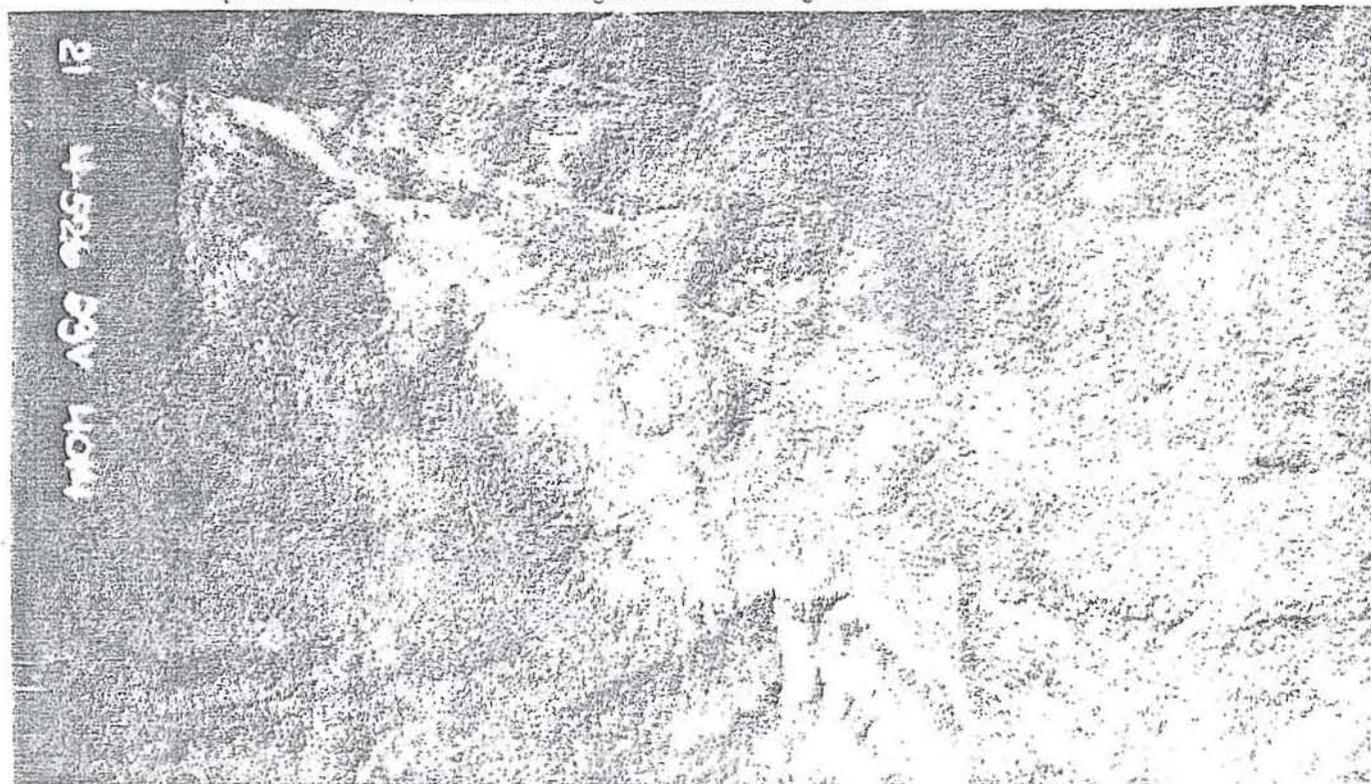


Fig. 15 - Aerofoto tomada em 1943, em levantamento do tipo "trimetrogon", e que representa um dos mais antigos executados no Brasil, mostrando um provável rastro de tornado (nº 22), situado no oeste do Estado do Paraná.

foi exibida na capa da revista Photogrammetric Engineering and Remote Sensing (Fev. 1986).

10. Rastro nº 22

O monitoramento multitemporal da região, durante o estudo em apresentação, inclui o exame de fotografias aéreas oriundas do levantamento *trimetrogon*, efetuado pela USAF durante a segunda Guerra Mundial (1943).

Este levantamento originou os produtos fotográficos mais antigos da história da Aerofotogramétrica do Brasil, sendo, portanto, de inestimável valor. Neste tipo de levantamento, são feitas tomadas, simultaneamente por 3 câmeras, uma vertical e outras duas obliquamente à linha de vôo; as faixas verticais se situam, geralmente, distantes 40 a 50km umas das outras. Algumas destas faixas, pertinentes à região oeste do Estado do Paraná, foram examinadas e, desta maneira, foi identificada a feição nº 22 (fig. 15), provavelmente, representando um rastro de tornado, anterior a 1943. Maack (1968) descreve ventos fortíssimos na região, ocorridos em 1935, com força de, até, Beaufort 11 (o máximo, na tabela de velocidade de ventos, que foi elaborada em 1806). Esta mesma área, examinada em fotos de 1964, mostrou-se parcialmente restaurada, por vegetação secundária.

O rastro mais oriental, detectado no presente trabalho, é aquele cartografado no mapa da figura 4, com o nº 24. Possui direção essencialmente E-W, ao contrário da grande maioria que é NW. É bem possível que este rastro represente o efeito destruidor do tornado referido por Maack como tendo ocorrido em 9 de julho de 1965, pois a área, indicada no mapa, encontra-se perfeitamente alinhada com a região onde se situam as cidades de Pitanga e Manoel Ribas, Estado do Paraná, referenciadas, no texto reproduzido, no começo deste trabalho.

11. Notícias de Tornados no Brasil, Paraguai e Argentina

Uma varredura da bibliografia, pertinente a tornados e afins, nos arquivos do Serviço Nacional de Meteorologia, Rio de Janeiro, não evidenciou grandes contribuições ao assunto.

Uma única exceção foi o relatório SUNAB/DEAL, de 5/10/67 - *Furacão sobre o município de Lajeado, Rio Grande do Sul* - que diz, textualmente:

"A 1ª de setembro de 1967, às 6.00 da manhã, forte tormenta ocorreu sobre o município de Lajeado, situado na margem direita do Rio Taquari. Segundo informações meteorológicas, a carta do tempo, das 9.00 horas do dia 31 de agosto, mostrava uma frente semiestacionária sobre Tubarão, Lages, norte de Erechim e norte de São Borja. No dia 1º de setembro, pela madrugada, esta frente retrocedeu para o sul como frente quente, passando sobre Lajeado, achando-se, às 9.00 horas, sobre Pelotas, Tramandai e leste de Alegrete. O regresso dessas frentes, geralmente dão origem a grandes cumulos-nimbus, na região serrana. Assim sendo, o fenômeno ocorrido no município de Lajeado foi a presença de um enorme cumulo-nimbus com a base muito próxima do solo. Daí, fortes correntes de vento com movimento rotacional e as grandes pedras de granizo que se precipitaram sobre aquela área, abrindo uma faixa de devastação de 20km de

comprimento por 1km de largura, de oeste para leste, de Santa Clara até Lajeado. Em Lajeado, a duração da tormenta não foi superior a 3 minutos. Houve inúmeros desabamentos tais como Pavilhão da Feira Nacional de Laticínios e a Casa Paroquial. Morreram 8 pessoas e 56 ficaram feridas. Fenômenos como esse têm ocorrido, talvez com menos intensidade, em outras localidades da região serrana do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, por ocasião de situações meteorológicas semelhantes."

Para os leitores atentos ao assunto, notícias dos efeitos catastróficos de temporais, acompanhados de fortes ventos (possivelmente do tipo tornados), são, constantemente, divulgadas pela imprensa, principalmente, no que diz respeito à região sudoeste do Brasil. Normalmente, tais danos só são noticiados quando são atingidas cidades, com maiores perdas materiais e humanas.

Um grande número de sinistros causados por tormentas, possivelmente com acompanhamento de tornados, foi descrito por Blessmann em seu trabalho "Acidentes causados pelo vento" (1986), incluindo-se o evento já mencionado, ocorrido em Lajeado.

Uma das cidades duramente atingidas por um provável tornado foi Maravilha, situada no oeste catarinense (vide mapa da figura 4). A edição do dia 11/10/84 do jornal local "O Celeiro", assim descreve o ocorrido, sob o título *Furacão mata cinco e arrasa Maravilha: "Cinco mortos, mais de 200 feridos, 1.700 casas atingidas, 100 delas arrasadas, mais de 120 postes arrancados. Este o saldo trágico do furacão que se abateu sobre Maravilha na noite do dia 8. Tudo começou por volta de meia-noite e durou pouco mais de alguns segundos, suficientes porém, para arrasar completamente o perímetro urbano de Maravilha."*

Durante o primeiro semestre de 1987, um grande número de sinistros causados pelo efeito catastrófico de ventos, foi registrado no sul do país. Uma das cidades fortemente atingidas por uma tormenta tornadística, foi São Joaquim, SC. O Jornal do Brasil do dia 15/05/87, assim se referiu ao acontecido: *"Um dia após ter sido atingida pelo maior vendaval de sua história, São Joaquim era ontem uma cidade arrasada. Em alguns pontos do município era difícil acreditar que o temporal causasse tantos estragos e que fosse capaz de criar cenas surrealistas, como telhas de zinco grudadas nos postes, carros sobre casas, e outras trágicas, como serrarias que desapareceram, caminhões arrastados; e móveis, eletrodomésticos, roupas e gêneros alimentícios espalhados pelas ruas. A Comissão Estadual de Defesa Civil (Cedec), definiu o fenômeno como um tornado de movimentos concêntricos, numa velocidade de aproximadamente 120km/h. Houve 1.200 pessoas desabrigadas e cinco morreram."*

A edição de O Globo do dia 14/05/87, trouxe a seguinte notícia: *"Pela manhã um vendaval, com velocidade acima de 100km/h, passou pela região de Planalto (PR), ali deixando 4 mortos, dezenas de pessoas feridas e um número muito grande de desabrigados; a passagem do furacão durou 45 segundos."*

O Jornal do Brasil de 22/05/87, assim noticiou outra grave ocorrência: *"O vendaval que castigou na quarta-feira a cidade de Piedade (SP), que comemorava 47 anos de fundação, deixou um saldo de 923 feridos, aproximadamente 1.000 pessoas desabrigadas e danos em cerca de 500 casas e prédios públicos e em 30 carros."*

Ainda O Globo, no dia 31/07/89 apresentou a seguinte notícia: *“Trinta e duas pessoas morreram e cerca de 200 ficaram feridas em 2 acidentes quase simultâneos — os mais graves em Mato Grosso do Sul desde a sua criação, há 11 anos — provocados pelos fortes ventos e as chuvas que atingiram o sul do estado. Em Ivinhema, a tragédia ocorreu por volta das 22h30m de sexta-feira. Cerca de 400 pessoas reuniam-se na Associação Cultural e Recreativa Ivinhemense, quando uma chuva intensa e um vendaval que não duraram mais de 2 minutos, fizeram desabar sobre os associados, o teto e duas paredes do clube. O outro acidente, ocorrido à mesma hora, foi a colisão de dois ônibus nas proximidades de Nova Andradina.”*

A atividade mais recente, de cunho tornadístico, em nosso país, teve lugar, no dia 26 de abril de 1991, quando em São Bernardo do Campo (SP), 12 carretas enfileiradas, pesando cerca de 25 toneladas cada, e totalmente carregadas de eletrodomésticos, foram tombadas pelo efeito devastador da passagem de um tornado. Num bosque próximo, árvores inteiras foram arrancadas, com nítidos vestígios de movimentos rotacionais muito intensos, conforme relato do noticiário telejornalístico da TV Globo.

Aos poucos, se vai difundindo no país, o conhecimento sobre ocorrências periódicas de típicos tornados em nosso território. Isto se deve, em parte, à divulgação dos estudos do autor pelos meios jornalísticos (O Globo 30/08/87 e 21/08/89), assim como em diversos eventos técnicos.

No Paraguai, a matéria é pouco documentada. Uma citação de M. L. Schwarzkopf, feita ao autor, dá conta da ocorrência de um violento tornado no dia 26/09/1926, o qual após atravessar e sugar grande quantidade de água do Rio Paraná, se abateu sobre a cidade de Encarnación, causando um enorme sinistro e um número extremamente elevado de mortos. As evidências mais diretas da ocorrência de possantes tornados em território paraguaio, são, sem dúvida, os rastros descobertos pelo autor em fotografias aéreas e imagens de satélite e devidamente reportados no presente trabalho.

Enquanto que, no Brasil, as referências são muito restritas, no que diz respeito a tornados, na Argentina, ao contrário, já se encontram vários trabalhos tratando do tema e divulgando seus efeitos catastróficos.

Muito embora notícias de tornados tenham sido registradas, há longo tempo, nos órgãos de imprensa da Argentina (uma notícia, publicada no diário *La Gazeta*, data de 1816 e trata de um tornado que atingiu o povoado de Rajas), somente a partir de 1971 tais sinistros começaram a ser, sistematicamente, estudados. Atualmente está sendo publicado um boletim semestral denominado *Estudio de los tornados en la Republica Argentina*, de autoria do Departamento de Meteorologia da Universidad de Buenos Aires, e sob a responsabilidade de Maria Luisa Altinger de Schwarzkopf.

De acordo com estes estudos, que se basearam em dados coletados desde 1930, os tornados registrados até 1979 foram em número de 134. Várias das conclusões tiradas foram as seguintes:

- A ocorrência dos tornados, na Argentina, se dá ao norte do paralelo de 40° S e a leste do meridiano de 65° W.

- A província de Cordoba concentra o maior número de ocorrências, praticamente um terço do total registrado.

- 85% dos tornados ocorrem em outubro e março. Não há ocorrência de tornados entre 6 e 12 horas, a maioria ocorrendo às 14 horas ou depois.

- Com relação à direção de deslocamento dos tornados, a maioria (44%) se deu de sudeste para noroeste.

- A área média, atingida pelos tornados, é de 10km², com 68% apresentando um rastro com comprimento entre 5 e 20km e uma largura de 50 a 700m.

Um caso impressionante foi o tornado do dia 10 de janeiro de 1973, em San Justo, Província de Santa Fé, com o doloroso saldo de 65 mortos. De acordo com os danos produzidos, estimou-se, com a escala F (Fujita), que a velocidade máxima, que o vento chegou a alcançar, foi de 500km/h. Dentre os efeitos causados pelo sinistro, deve ser citado o caso de um carro pequeno que foi carregado por um quarteirão e jogado no primeiro andar de um prédio. Considera-se que o tornado em referência foi um dos mais graves registrados, no mundo, fora das fronteiras dos Estados Unidos.

Outro sinistro de monta ocorreu no dia 4 de janeiro de 1974, em Bolívar, e provocou a queda das torres de alta tensão, provenientes de El Chocón, com a conseqüente falta de energia elétrica em uma vasta região do país.

Na figura abaixo, encontra-se analisada a região de ocorrência principal de tornados, na Bacia do Prata, com apresentação dos locais dos tornados, registrados pelo Serviço Meteorológico da Argentina, com destaque para San Justo.

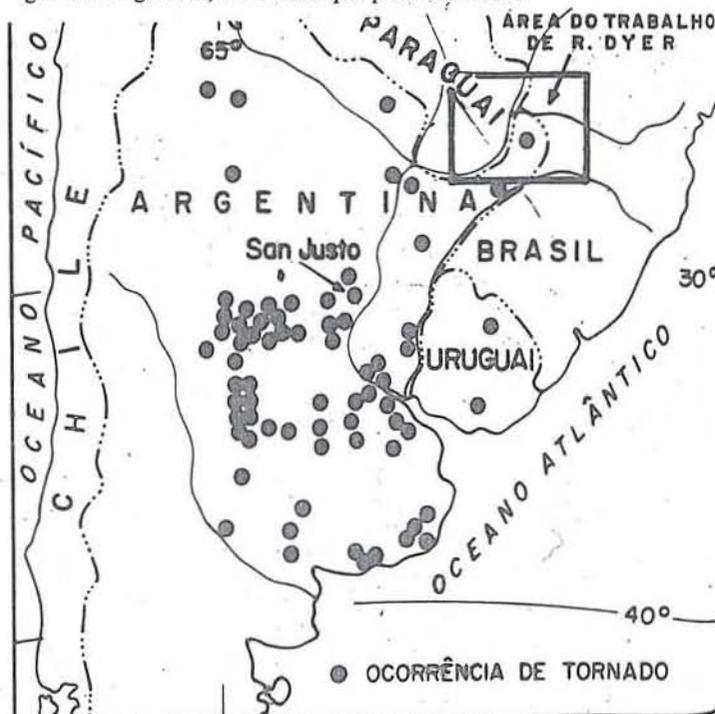


Fig. 16 - Mapa da região de ocorrência principal de tornados.

Na figura 17, abaixo, estão reproduzidas algumas fotos do efeito do tornado de San Justo, publicadas no boletim informativo nº 5, do Serviço Meteorológico da Argentina.

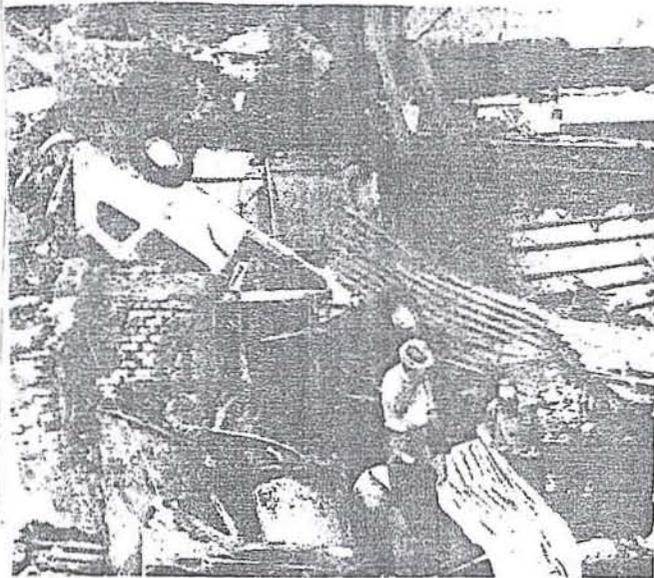


Fig. 17 - Fotos mostrando a destruição causada pelo tornado de San Justo, que causou a morte de 65 pessoas.

12. Considerações finais

Pelo que foi apresentado, no trabalho em pauta, depreende-se que a região da Bacia do Paraná (Bacia do Prata) é propensa à ocorrência de tornados, os quais podem se fazer presentes, de maneira fraca, até catastrófica. Os seus efeitos, de um modo geral, só se fazem sentir quando suas trajetórias passam por alguma cidade ou aglomerado urbano, resultando então em perdas materiais e humanas dignas de menção.

O exame da figura 4, onde estão plotados os 24 rastros de tornados identificados pelo autor, mostra que a colossal represa de Itaipu encontra-se encravada em área de ocorrência de um grande número desses sinistros, alguns dos quais, tal como nº 9, (rastro de 70km e largura de 1,5km), certamente teriam causado grandes estragos, caso suas trajetórias tivessem atingido sítios mais urbanizados. A exemplo do que aconteceu em Bolívar, Argentina, em 1974, os tornados devem ser considerados como uma constante ameaça à rede elétrica de transmissão, ligada à usina de Itaipu. A este respeito, o jornal O Globo de 21.06/91 trouxe a seguinte notícia: "O município de Foz do Iguaçu, que abriga Itaipu - a maior hidrelétrica do mundo - está às escuras desde

às 15h30m de ontem, depois que um vendaval derrubou quatro torres de linhas de alta tensão que abastecem o oeste do Paraná. O corte de energia atingiu outras cinco cidades, prejudicando 300 mil consumidores."

13. Agradecimentos

A coletânea de produtos fotográficos, provenientes de um grande número de aerolevantamentos e de imagens de Landsat, só foi possível graças à atenção recebida de diversos órgãos públicos e privados, aos quais o autor manifesta seus melhores agradecimentos:

- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, Rio, pelo fornecimento de fotografias aéreas "trimetrogon", de 1943, a partir de negativos cuidadosa e eficientemente conservados.

- Instituto de Terras e Cartografia do Paraná - ITC, Curitiba, pela cessão de produtos fotográficos de levantamentos de 1952-57, e de 1962-64.

- Divisão de Fotointerpretação do Instituto Brasileiro do Café - IBC, Rio, pelo fornecimento e facilidades de consulta de produtos fotográficos de levantamentos de 1970-72.

- Centro de Cartografia da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM, Rio, pela cooperação e facilidades de consulta de produtos fotográficos do levantamento de 1965.

- Aerofoto-Cruzeiro, Rio, pelo fornecimento e facilidades de consulta dos produtos dos levantamentos de 1959-60 e de 1974.

- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, pelo fornecimento de imagens Landsat.

- 5ª Divisão de Levantamentos da Diretoria do Serviço Geográfico, Rio, pelo fornecimento de fotografias aéreas do levantamento de 1965.

- Estado Maior das Forças Armadas - EMFA, Brasília, pelo deferimento da solicitação para a aquisição e publicação dos produtos fotográficos pertinentes ao território brasileiro, aqui referenciados.

- Departamento de Meteorologia da Universidad de Buenos Aires, Argentina, pela cessão de trabalhos relativos aos estudos dos tornados na Argentina.

- BP Mineiraçõ Ltda, Rio de Janeiro, pelas facilidades postas à disposição do autor para a preparação deste trabalho.

14. Referências bibliográficas

- Blessmann, J - Acidentes Causados Pelo Vento, Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 81 p., 1986.

Dyer, R.C. - Rastros de Tornados no sudoeste do Brasil, leste do Paraguai e nordeste da Argentina. Anais do Simpósio Latino-Americano de Sensoriamento Remoto, Gramado, RS, Brasil, pp. 589-603, 1986.

Dyer, R.C. - Remote Sensing identification of Tornado tracks in Argentina, Brasil and Paraguay. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 54 (10), pp. 1429-1435, 1988.

Finley, J.P. - Report on the tornadoes of may 29 and 30, 1879, in Kansas, Nebraska. Prof. Paper of the Signal Service, No. 4, 116 p., 1881.

Flora, S.D. - Tornadoes of the United States. Oklahoma, 194 p., 1953.

Hoecker, W.H. - The dimensional and rotational characteristics of the tornadoes and their cloud system. Res. Pap. No. 41, Weather Bur. United States, pp. 53-113, 1960.

Maack, R. - Geografia Física do Estado do Paraná, Curitiba, 450

p., 1968.

Nalivkin, D.V. - Hurricanes, Storms and Tornadoes, Rotterdam, A.A.Balkema, 597 p., 1983.

National Geographic Magazine, Washington, U.S.A., 171 (6), pp. 690-715, 1987.

Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 52 (2), cover photo, 1986.

Schwarzkopf, M.L.; Migliardo, R.C. - O Tornado de San Justo, Província de Santa Fé, Meteorologica, 4 (1), 1973.

Schwarzkopf, M.L.; Migliardo, R.C. - Aspectos estadísticos de la ocurrencia de tornados en la Republica Argentina, Geodacta, 8 (1), 1976.

Schwarzkopf, M.L.; Rosso, L.C. - Severe Storms and Tornadoes in Argentina, Proceedings, 12th Conference on Severe Local Storms, San Antonio, Texas, pp. 59-62, 1982.

FOTOGRAFIAS AÉREAS VERTICAIS 35 MM: APLICAÇÕES NA ÁREA FLORESTAL

J. S. de Medeiros G. T. Batista

Instituto de Pesquisas Espaciais — INPE

Caixa Postal 515 — 12201 — São José dos Campos — SP — Brasil

Resumo

Para diversos estudos temáticos que envolvem a caracterização da cobertura vegetal, o levantamento ecológico ou a detecção de pragas e doenças em povoamentos florestais, o aerolevanteamento convencional, que utiliza filmes aéreos no formato 230 x 230mm, em geral apresenta qualidade superior à requerida e consequentemente, um custo operacional significativamente maior do que o necessário. Alternativamente, vários autores têm pesquisado a utilização eficaz de fotografias aéreas de 35mm, principalmente para o levantamento de pequenas áreas, com filmes comumente encontrados no mercado. Este trabalho descreve um sistema de suporte portátil para câmaras fotográficas, do tipo SLR, de 35mm, adaptado em aeronaves leves de asa alta e sem necessitar que as câmaras sejam modificadas. Além de uma revisão sobre a qualidade geométrica e radiométrica dos produtos obtidos, após serem submetidos a processos fotográficos de ampliação, este trabalho apresenta exemplos de aplicações em estudos de áreas reflorestadas, no sudeste do Estado de São Paulo. Resultados preliminares indicam a eficiência, o baixo custo operacional e a versatilidade do sistema utilizado.

Abstract

For several thematic studies involving the characterization of vegetation cover, ecological survey or the detection of pests and diseases in forest plantations, conventional aerial survey technique using aerial films, format 230 x 230 mm, presents, in general, quality superior to the requirements and, as result, an operational cost significantly higher than needed. Alternatively several authors have reported on the efficient use of 35 mm aerial photography especially for surveying small areas, using films commonly found in the market. This work describes a portable support system for photographic SLR 35 mm cameras to be used in light high wing aircrafts, which does not require any modification in the cameras. Besides a review of the geometric and radiometric quality of the products obtained after several photographic process (enlargement and copying) this work presents examples of applications for reforested areas studies in the southeast of the São Paulo State. Preliminary results indicate the efficiency, the low operational cost and the versatility of the utilized system.

1. Introdução

As fotografias aéreas convencionais (formato 230 mm x 230 mm) vêm sendo utilizadas ao longo dos anos como uma ferramenta básica em diversos tipos de mapeamento onde são requeridos exatidão métrica e alto nível de detalhamento dos alvos. Assim, vem ocorrendo um contínuo desenvolvimento da teoria e instrumentação, o que propicia sistemas de aerolevanteamento com alto grau de sofisticação no que diz respeito a aeronaves, equipamentos para análise fotogramétrica, e produtos com alta qualidade geométrica e radiométrica. Em decorrência, as fotografias aéreas convencionais apresentam um custo final relativamente alto, o que vem restringir sua utilização em diversas aplicações como estudos temáticos que envolvem a caracterização da cobertura vegetal, os levantamentos ecológicos e a detecção de pragas e doenças em povoamentos florestais e nas culturas agrícolas, principalmente no mapeamento de pequenas áreas.

Alternativamente, sistemas para obtenção de fotografias aéreas verticais e/ou oblíquas com câmaras e filmes comumente disponíveis no mercado, de pequeno formato (35mm e 70mm), vêm sendo desenvolvidos (Rinehardt and Scherz, 1972; Meyer, 1973; Fisher and Steever, 1973; Woodcock, 1976; Ekin, 1984) e têm sido avaliados com relação à exatidão métrica, resolução, rapidez de aquisição, facilidade de operação e ao baixo custo de investimento, inicial e operacional (Clegg and Scherz, 1975; Curran, 1981).

Aplicações dos sistemas de obtenção de fotografias aéreas verticais de 35mm, em projetos de pesquisas, ou mesmo em aplicações operacionais, principalmente com a utilização de fotografias verticais obtidas com filmes coloridos (normal ou infravermelho), têm sido relatadas por vários autores, em diversas áreas como, por exemplo, na detecção de doenças e pragas do milho, na documentação fotográfica do imageamento de outros sensores (por exemplo radiômetros), em estudos de qualidade da água (Rinehardt and Scherz, 1972), no detalhamento do mapeamento de áreas de florestas (Spencer, 1978), no mapeamento da vegetação de alagados (Mead and Gammon, 1981; Watson and Ryswyk, 1981), no auxílio à aquisição de medidas sobre a produtividade de pastagens (Curran, 1981), no monitoramento de mudanças temporais em florestas (Miller and Meyer, 1981), na avaliação da sanidade de árvores e identificação de espécies (Mac Carthy and Witter, 1982), e no mapeamento ecológico (Watson, 1983). Estes

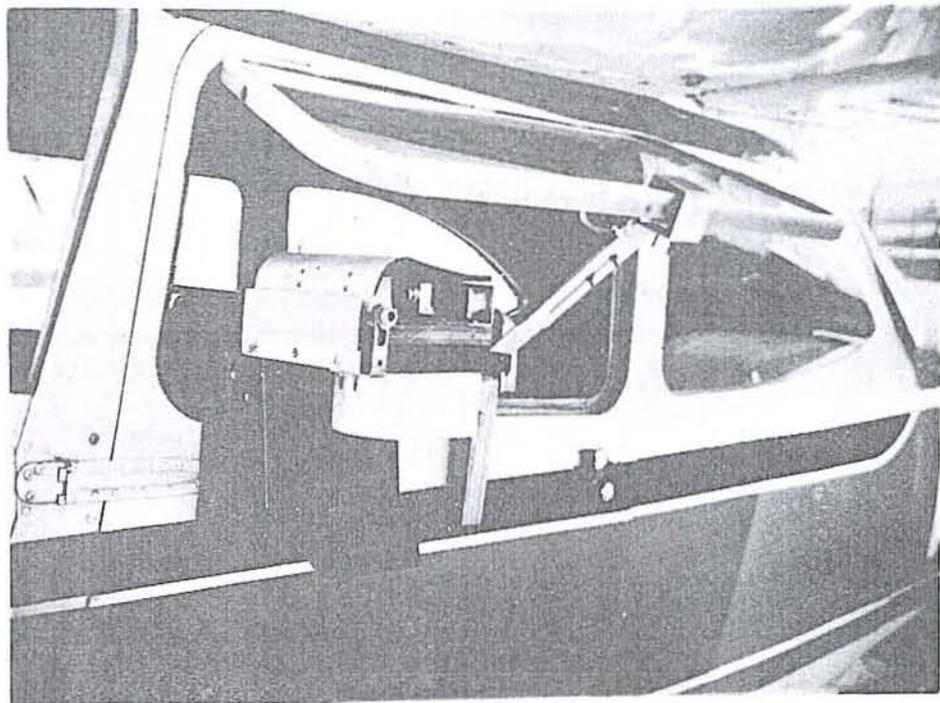


Fig. 1 - Fotografia do suporte portátil instalado num avião Cessna 17

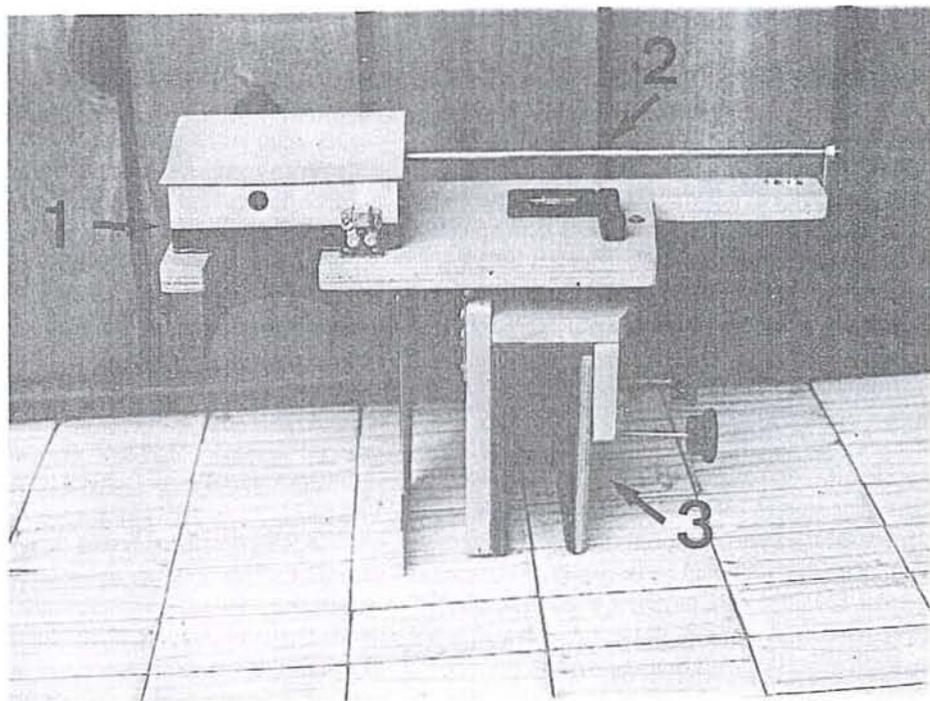


Fig. 2 - Fotografia do suporte portátil, com suas três partes principais:
1) base movel, 2) base de nivelamento e 3) base de fixação.

trabalhos têm indicado, sistematicamente, a eficiência e o baixo custo desta técnica.

O objetivo deste trabalho é apresentar, com base em revisão bibliográfica, as características, as vantagens e as limitações de sistemas de coleta de informações baseadas em fotografias aéreas verticais de 35mm, assim como apresentar os resultados de um experimento que utiliza um suporte portátil adaptado em aviões leves, de asa alta, visando fornecer subsídios às entidades ligadas ao levantamento temático para avaliar o potencial e a versatilidade desta eficiente ferramenta auxiliar no levantamento de recursos terrestres, especialmente, dos recursos florestais do País.

2. Materiais e Métodos

Desenvolveu-se um suporte para câmaras do tipo SLR de 35mm, baseado no sistema proposto por Meyer (1973), sendo realizadas algumas pequenas modificações devido à disponibilidade de material e às transformações nas medidas (originalmente em polegadas) para o sistema métrico decimal.

O suporte foi construído em madeira compensada para ser instalado na janela da porta esquerda da aeronave CESSNA, de asa alta, sem necessitar modificá-las (Figura 1). O suporte constitui-se de três partes (Figura 2):

- 1) Uma base móvel para uma câmara fotográfica de 35mm, com ou sem "motor drive" que pode ser deslocada de dentro para fora da aeronave ou vice-versa, possibilitando a substituição dos filmes e eventuais regulagens em pleno voo;
- 2) Uma base de nivelamento que possui dois níveis de bolha perpendiculares entre si. Esta base possui ainda um eixo utilizado para fixação e guia para o deslocamento da base móvel, e dois defletores para a proteção da câmara contra o vento;
- 3) Uma base de fixação na forma aproximada de um "U" invertido, a qual possui grampos para sua fixação na porta da aeronave, forrada, internamente, com "carpet" e borracha (para absorção das vibrações), sendo ligada à base de nivelamento através de duas dobradiças.

A câmara instalada na base móvel e utilizada para teste foi uma ASHAI PENTAX modelo Spotmatic sem "motor drive", e no disparador foi colocado um cabo remoto, com uma lente SUPER TAKUMAR de distância focal de 55mm, f/1.8 e um filtro FOCAL U.V. com fator 1, para atenuação do efeito provocado pela névoa e como proteção da lente.

Utilizaram-se os filmes FUJICHROME 135 de 100 ASA com 20 exposições. Preferiram-se os filmes de "slides" por permitirem grande ampliação sem perda de informação e possuem um custo final mais baixo, quando comparados com os filmes negativos e correspondentes impressões fotográficas em papel.

O avião utilizado para este experimento foi um CESSNA 172 com quatro lugares.

Para avaliação dos dispositivos obtidos no teste, utilizou-se um projetor KODAK EKTAGRAPHIC modelo E-2, com uma lente ZOOM EKTANAR C de distância focal variável entre 102 e 152mm e f/3.5, e também um estereoscópio de bolso DFV.

Foram escolhidas, para a realização do sobrevôo, três áreas testes, localizadas nas proximidades do aeroporto de São José dos Campos, no Estado de São Paulo. Duas destas áreas testes corresponderam a áreas reflorestadas com *Eucalyptus spp*, sendo a primeira, em relevo acidentado e com áreas de preservação da vegetação natural, e a segunda localizada em relevo plano. Estas

áreas foram sobrevoadas a 1.188m de altura, o que propiciou uma escala nominal de 1:21.600 no diapositivo. A terceira área teste envolveu o campus do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), escolhida por permitir a avaliação de distorções através da comparação de medidas entre a planta da área, na escala de 1:1000, e os diapositivos. Nesta área, o sobrevôo foi feito em duas alturas, 594m e 1.188m, correspondendo às escalas nominais, no diapositivo, de 1:10.800 e 1:21.600, respectivamente.

A velocidade do avião, durante o sobrevôo, foi de 160 km/h; os períodos de tempo entre as exposições foram de 3,5 seg e 7 seg para os sobrevôos nas alturas de 594m e 1.188m, respectivamente; a velocidade do obturador foi de 1/1.000 seg e a abertura do diafragma de 2.8. A distância focal permaneceu fixada com fita adesiva na posição infinito. O sobrevôo foi realizado entre 11:35 e 12:30h, com as condições de tempo favoráveis, isto é, dia claro, poucas nuvens, visibilidade de 10km e temperatura ambiente em torno de 18°C. Estes dados foram plotados em uma ficha para anotações em voo (Figura 3).

3. Resultados e Discussão

A análise preliminar dos diapositivos obtidos na escala de 1:10.800 revelou a excelente qualidade do produto, relacionada não só com a nitidez dos diapositivos, pois permitiram a identificação de pequenos alvos, como também uma boa exatidão métrica avaliada através da planta da área na escala 1:1.000 (área teste 3 — Campus do INPE). Pode-se ainda obter, com o uso do projetor de "slides", ampliações até 20 vezes com boa nitidez, porém com o aumento das distorções. Algumas medidas realizadas aproximaram-se dos resultados obtidos por Clegg e Scherz (1975), isto é, boa identificação de alvos com dimensões em torno de 1m² e erros de mais ou menos 3m na localização de pontos de controle.

Quanto aos diapositivos obtidos na escala de 1:21.600, estes possuem boa nitidez e baixo nível de distorções, mas com resoluções radiométrica e, conseqüentemente, geométrica inferiores aos diapositivos obtidos na escala de 1:10.800. Os diapositivos apresentaram uma saturação pela cor azul devido à maior camada atmosférica entre os alvos e a câmara fotográfica e, conseqüentemente, a um maior espalhamento de luz azul, o que indicou a necessidade da utilização de um filtro âmbar no lugar dos filtros UV ou SKYLIGHT para os vôos com alturas superiores a 600m. Contudo, estes diapositivos apresentam boas imagens e dão bons resultados com ampliações feitas até 10 vezes com o projetor de "slides".

As observações acima já eram esperadas, principalmente no que diz respeito à resolução das fotografias, pois, de acordo com Clegg e Scherz (1975), fotografias aéreas convencionais (230mm X 230mm) e fotografias aéreas de formato pequeno (70mm e 35mm) possuem uma resolução semelhante para alturas de vôo em torno dos 300 m, e as fotografias de formato pequeno (70 mm e 35 mm) apresentam resultados satisfatórios para alturas de vôo em torno de 1.000 m.

Com relação à superposição longitudinal dos diapositivos, obteve-se uma superposição entre 30 e 40%, somente para os diapositivos obtidos na escala de 1:21.600 o que não foi feito na escala de 1:10.800, devido ao pouco tempo disponível e à dificuldade para o acionamento manual do filme. Faz-se necessário o desenvolvimento de um sistema mecânico para a adaptação do sistema de avanço do filme ou, idealmente, devem ser utilizadas câmaras com "motor drive".

Devido à pouca superposição longitudinal conseguida, a análise com o estereoscópio de bolso, nos diapositivos de menor escala (1:21.600), ficou prejudicada, mas, mesmo assim, as observações preliminares realizadas nas pequenas áreas convencionais (230mm X 230mm), com razão B/H (aerobase/altura de vôo) de 0,26, onde o valor da aerobase foi determinado a partir da medida da fotobase ajustada pela relação $1/E = ba/B$, onde E é igual à escala fotográfica, B é igual à aerobase e ba é igual à fotobase ajustada.

Com relação à substituição dos filmes, às eventuais regulações na câmara e ao nivelamento do suporte no sentido transversal à linha de vôo são atividades facilmente realizadas durante o vôo, porém, o nivelamento do suporte, no sentido da linha de vôo, depende da habilidade do piloto.

Uma análise real dos custos não pôde ser feita, pois realizou-se somente um teste em áreas bem próximas ao aeroporto de São José dos Campos, devido à disponibilidade de recursos financeiros, que permitiu o recobrimento de uma área total de 616,4ha, sendo 146,9ha, na escala de 1:10.800, e 469,5ha, na escala de 1:21.600 (considerando uma superposição de 40%).

Com relação às principais vantagens dos sistemas de obtenção de fotografias aéreas de 35mm, podem-se citar as seguintes:

- Facilidade e rapidez na obtenção das fotografias, mesmo em condições de tempo não-favoráveis, por exemplo, dias nublados ou com nuvens (Watson and Ryswyk, 1981).
- Baixo nível de distorções quando são utilizadas objetivas com distância focal igual ou superior a 50mm, isto é, objetivas com pequeno ângulo de visada (Spencer, 1978; Curran, 1981).
- Facilidades na instalação e operação do sistema, não requerendo pessoal especializado em aerolevantamentos.
- Baixo custo inicial e operacional dos sistemas, isto é, cerca de 1/10 dos sistemas convencionais — 230mm X 230mm — (Clegg e Scherz, 1975).

Quanto às limitações, observam-se as seguintes:

- Aeronaves leves são mais susceptíveis aos problemas de estabilidade relacionados com as condições atmosféricas, conseqüentemente, aumentando as distorções nas fotografias.
- Falta de experiência dos pilotos neste tipo de vôo pode prejudicar a obtenção e qualidade das fotografias.
- Pequena área coberta pelas fotografias. São necessárias cerca de 60 fotografias de 35mm (sem superposição longitudinal e lateral) para cobrir uma mesma área de uma fotografia aérea convencional (230mm X 230mm), na mesma escala. Entretanto, para uma mesma altura de vôo, uma fotografia vertical de 35mm, obtida com uma objetiva de distância focal de 24mm (grande angular), corresponde a 65% da área coberta por uma fotografia aérea convencional, obtida a partir de uma câmara métrica com objetiva de distância focal de 152mm.

Barulho excessivo dentro do avião devido à necessidade de manter a janela aberta. Este barulho é suportável, entretanto, dificulta a comunicação entre os tripulantes, o que torna necessário um bom planejamento do sobrevôo, visando minimizar a comunicação durante o vôo e não prejudicar a obtenção das fotografias.

O suporte lateral, fixado na janela, só permite a utilização de objetivas com distância focal igual ou maior que 55mm, pois, caso contrário, partes da fuselagem e do trem de pouso serão incluídas no ângulo de visada da câmara.

4. Aplicações na Avaliação dos Recursos Florestais

As fotografias aéreas verticais de 35mm podem ser usadas em diversas atividades no estudo dos Recursos Florestais, tais como:

- Atualização de mapas florestais.
Com a realização de vôos periódicos sobre os povoamentos florestais e através da projeção dos diapositivos obtidos nestes vôos sobre os mapas, poderão ser realizadas diversas observações, tais como: avaliação do crescimento, da qualidade e da sanidade dos povoamentos; avaliação dos danos causados por incêndios, geadas ou ataque de pragas ou doenças; monitoramentos da exploração dos povoamentos florestais.
Através da interpretação dos diapositivos ou das impressões em papel, poderão ser extraídas informações sobre focos de infestações de pragas e/ou sobre ocorrência de doenças, sua intensidade e extensão.

- Inventário Florestal

As fotografias aéreas verticais de 35mm poderão ser utilizadas no planejamento e na execução de todas as modalidades de inventário florestal que utilizem fotografias aéreas convencionais, quer seja na localização de amostras dentro de uma fazenda florestal, ou através de um sobrevôo periódico das amostras permanentes de um inventário florestal nacional. Diversos dados para o inventário, poderão ser retirados de forma direta das fotografias, como, por exemplo, área dos povoamentos, gêneros e/ou espécies, altura das árvores; ou, de forma indireta, através da elaboração de tabelas de volumes, das quais poderão ser medidos os parâmetros, tais como, altura das árvores, diâmetro e densidade de copa, desde que estes parâmetros tenham sido previamente correlacionados, no campo.

No inventário florestal multistágio, isto é, com um sistema de atmosfera, em vários níveis (Lee et alii, 1984), as fotografias aéreas verticais de 35mm poderão substituir e/ou complementar as fotografias aéreas convencionais (230mm X 230mm), nos estágios secundários deste sistema de amostragem, o que possibilitará uma aquisição de informações, de forma mais rápida, nos diversos níveis, e reduzirá, substancialmente, os custos do inventário.

5. Conclusões

Fotografias aéreas verticais de 35mm possuem um grande potencial de utilização, não só no setor florestal, mas também em outros setores onde são necessários levantamentos temáticos ou amostragem em pequenas áreas.

Qualquer pessoa com noções básicas sobre manuseio de câmaras fotográficas e obtenção de fotografias, utilizando um suporte portátil (como descrito neste trabalho) instalado em um avião CESSNA de asa alta e uma câmara de 35mm, com objetivas de boa qualidade, é capaz de obter excelentes fotografias aéreas verticais, para fins temáticos.

A experiência adquirida, neste trabalho, revelou a necessidade de testar outros projetos de suportes que possam ser instalados em pequenos vôos ou em ultraleves que permitam uma maior flexibilidade na utilização de câmaras de diferentes formatos (35mm e 70mm), com objetivas de diversas distâncias focais.

| RELATÓRIO DE VÔO (35 MM) | | | | | | |
|--|--|------------------------------------|--------------------------------|---------------|---|-------------------|
| AVIÃO CESSNA 172 - 4 lugares | | | CÂMERA ASAHI PENTAX SPOT MATIC | | | |
| PILOTO Paulo G. Camilli | | | OBJETIVA SUPER TAKUMAR 55 mm | | | |
| OPERADOR José Simeão Madeiros | | | FILTROS FOCAL UV - fator 1 | | | |
| NAVEGADOR Getúlio T. Batista | | | FILME FUJICHROME-135 ASA 100 | | | |
| ALTURA DE VÔO | | VELOC. AVIÃO | INTERVALO ENTRE EXPOSIÇÃO | | DIAFRAGMA | OBTURADOR |
| 1- 1600 pés | | 100 MPH | 1- 3,5 seg. | | 2.8 | 1:1000 |
| 2- 3600 pés | | 160 Km/h | 2- 7 ^o seg. | | | |
| | | | SUPERPOSIÇÃO LONGITUDINAL | | | |
| | | | 40 ^o x x | | | |
| ROLO | LINHA DE VÔO Nº | DIREÇÃO DE VÔO | INÍCIO EXPOS. Nº | FIM EXPOS. Nº | OBSERVAÇÕES | |
| 1 | INPE 1 | 145° N | 10 | 20 | Entrando o esquadra do prédio Multinzeiro | |
| 2 | REFLOR 1 | 350° N | 7 | 19 | Entrando transversal ao comércio Riancio Alegre | |
| 3 | INPE 2 | 340° N | 1 | 4 | Entrando sobre o posto de gasolina Br (Av. ASTRONAUTAS) | |
| 3 | REFLOR 2 | 130° N | 8 | 18 | Entrando transversal à via D. Jira | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| * | Altura | em metros : 1 → 594 m ; 2 → 1188 m | | | | |
| ** | Não foi possível manter constante devido ao disparo manual | | | | | |
| DATA | INÍCIO | TÉRMINO | ESCALA | TEMPER. AMB. | VISIBILIDADE | VENTOS |
| 24/7/84 | 11:35hs | 12:30hs | 1 → 1:10800 2 → 1:21600 | 18°C | 10 Km | 10 Nds ± 80° N |
| DADOS DA ÁREA | | | | | | |
| ESTADO: SÃO PAULO | | | | | | |
| MUNIC: SÃO JOSÉ DOS CAMPOS | | | | | | |
| REFERÊNCIAS UTILIZADAS: PLANTA INPE - ESC 1:1000 | | | | | | |
| BARTHS 1866 : ESC 1:50000 (SF 23-Y-D-II-1, SF 23-Y-D-II-2) | | | | | | |
| (SF 23-Y-D-II-3 SF 23-Y-D-II-4) | | | | | | |

Fig. 1 - Anotações de vôo do experimento de São José dos Campos.

Há necessidade de testar o sistema desenvolvido, na obtenção de amostras em áreas mais extensas, para avaliar a eficiência do sistema, em termos de custo e operacionalidade.

Razões econômicas tornam fotografias aéreas verticais, de pequeno formato (35mm X 70mm), uma ferramenta opcional e atrativa, para obtenção de dados auxiliares, no levantamento de recursos naturais.

6. Agradecimentos

Agradecemos ao Eng^o Paolo Pio G. Camili por ter cedido o avião de sua propriedade, um Cessna 172, para os ajustes do suporte na aeronave, e pela realização do sobrevôo. Agradecemos, também, ao Eng^o Célio Paiva dos Santos Filho pelo incentivo à realização deste experimento.

7. Referências Bibliográficas

1. CLEGG, R.H.; SCHERZ, J.P. A comparison of 9-Inch, 70mm, and 35mm cameras. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 41(12): 1487-1500, 1975.
2. CURRAN, P.J. *Remote Sensing: the role of small format light aircraft Photography*. Reading, England. University of Reading. June, 1981. (Reading Geographical Papers n^o 75).
3. EKIN, W.H. The Development of an inexpensive retractable vertical camera rig for a light aircraft. *Photogrammetric Record*, 11(63): 311-317, 1984.
4. FISHER, J.J.; STEEVER, E.Z. 35mm quadricamera. *Photogrammetric Engineering*, 39 (6): 573-578, 1973.
5. LEE, D.C.L.; HERNANDEZ FILHO, P.; SHIMABUKURO, Y.E.; ASSIS, O.R.; MEDEIROS, J.S. de. Forest inventory using multistage sampling with probability proportional to size. São José dos Campos, INPE, 1984. (INPE-3084-PRE/494).
6. MAC CARTHY, J.; WITTER, J.A. Evaluation of spruce-fir forests using small-format photographs. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 48 (5):771-778, 1982.
7. MEAD, R.A.; GAMMON, P.T. Mapping wetlands using orthophotoquads and 35mm aerial photographs. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 47 (5):649-652, 1981.
8. MEYER M.P. *Operating Manual — Montana 35mm Color Aerial Photography System (1st Revision)*. St. Paul, Institute of Agriculture, Remote Sensing Laboratory, College of Forestry, Univ. Of Minn., Dec. 1973. (IARSL — Research Report 73-3).
9. MILLER, N.L.; MEYER, M.P. Application of 35mm Color Aerial Photography to Forest Land Change Detection. IN: BIENNIAL WORKSHOP ON COLOR AERIAL PHOTOGRAPHY IN THE PLANT SCIENCES, 8., Luray, VA, 1981. *Color aerial photograph*; Proceedings. Falls Church, VA, ASP, 1981, p.76.72.
10. RINEHARDT, G. L.; SCHERZ, J. P. A 35mm aerial photographic system. IN: ANNUAL MEETING OF AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY, 38., Washington, C.D. 1972. *Proceedings* Falls Church, VA, ASP, 1972, p.571-579.
11. SPENCER, R.D. Map intensification from small format camera photography. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 44(6):697-707, 1978.
12. WATSON, E.K.; RYSWYK, A.L. VAN. Remote sensing application for British Columbia Wetlands using 35mm aerial photography. IN: CANADIAN SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING, 7. Winnipeg, Manitoba, 1981, *Proceeding* Ottawa, Ontario Canadian Aeronautics and Space Institute, 1981, p.211-221.
13. WATSON, E. K. Applications of 35mm aerial photography to ecological land survey. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 9(1):31-44, 1983.
14. WOODCOCK, W.E. Aerial reconnaissance and photogrammetry with small cameras. *Photogrammetric Engineering*, 42(4):503-511, 1976.

UM SISTEMA CADASTRAL MODERNO: PODERÁ O BRASIL POSSUÍ-LO?

Antônio J. Berutti Vieira
Departamento de Geociências
Universidade Federal do Paraná

Sinopse

Com o presente trabalho, tenciona-se fazer um ensaio das possíveis razões da inoperância do cadastro, no Brasil, para fins jurídicos, tendo por base a obra de Afrânio de Carvalho "Registro de Imóveis"¹. Em acréscimo, são apresentados conceitos relacionados a um sistema cadastral moderno e perspectivas.

Introdução

A evolução da sociedade sempre esteve relacionada com o sentido de propriedade e esta relação com a terra foi estabelecida, primeiramente, com a introdução da agricultura².

O cadastro surge, então, como um instrumento para prover informações sobre a terra, por exemplo, para fins de tributação, para fins jurídicos, para controle do seu uso, etc.

Tecnicamente falando, são muitos os significados e os sinônimos que, ainda hoje, se vêm utilizando para o termo cadastro, bem como não existe uma total concordância com relação a sua etimologia³.

Mas, se é, realmente, desejado compreender a significância histórica e institucional do sistema cadastral existente, é importante analisar-se a natureza e a evolução da instituição *propriedade* e sua importância para conceituação deste, no Brasil.

Como o principal ponto de apoio da propriedade é o registro, abordar-se-á sua evolução, tendo por referência a obra de Afrânio de Carvalho "Registro de Imóveis".

O registro

Quando do descobrimento do Brasil, o Rei de Portugal, adquiriu, sobre o território, o título originário da posse. Por meio das doações, feitas em cartas de sesmaria, começou, então, a estabelecer-se a propriedade privada, que vai até a Independência do Brasil, em 1822 (ver Carvalho, 1982). A partir desta data, a ocu-

pação do solo tem origem através da simples posse, cuja *legitimação* só se dá com a Lei 601, em 1850 (regulamentada pelo Dec.1318, de 1854), para as posses que eram inscritas no livro da paróquia, ou chamado Registrô do Vigário.

O Registro de Hipotecas tem sua origem em 1843 (pela Lei 317, regulamentada pelo Dec.482, de 1846). Um aspecto que teria levado a sua criação foi que, até esta data, a *transmissão* da propriedade era feita segundo a *tradição*. Mas este princípio, como é reportado por Carvalho, foi desvirtuado, tendo como principal consequência as sucessivas alienações e onerações que eram realizadas, clandestinamente.

Um outro aspecto importante, abordado por esse autor, é que, como o Brasil era um país eminentemente agrícola, necessário se fazia atrair o crédito para a agricultura, mas para isto, torna-se necessário criar algum mecanismo para sua proteção. A este respeito, o autor comenta "...compreende-se que a idéia do registro tenha acudido em primeiro plano para proteção do crédito, e não da propriedade..."⁴. Entretanto, segundo Carvalho, no Brasil, o Registro de hipotecas não deu os resultados esperados por lhe faltarem os requisitos de *especialidade* e de *publicidade* (ver a seguir).

Com o objetivo de estender o Registro de Hipotecas à transmissão da propriedade, o Conselheiro Nabuco de Araújo apresenta, na Câmara dos Deputados, Projeto Lei, em 1854, que, transformado na Lei 1237, de 1864; cria o Registro Geral. Com este, a *tradição* que era o processo utilizado, para a transferência da propriedade, é substituída pela *transcrição*.

Esse autor comenta que o Registro Geral permitiu estabelecer certa ordem em algumas categorias de atos. Entretanto, este deixava em aberto as transmissões "causa mortis" e os atos judiciais. Como ele relata, além destas falhas, persistia o princípio segundo o qual "...o registro não induz prova de domínio..."⁵, ou seja, se por um lado necessitava da transcrição para transferência, por outro lado, era sem valor para prova de domínio.

Dessa forma, no começo da República, em 1890, Rui Bar-

1 CARVALHO, A.de. *Registro de Imóveis*. 3ª ed. Rio de Janeiro, RJ, Forense. 1982. 619p.

2 McLAUGHLIN, John. *An Introduction to Cadastral Surveying*. s/ed. Fredericton, Canadá. University of New Brunswick. 1973. 102p.

3 EBERL, H.K.D. *Sistemas Catastrales*. 1ª ed. México, DF. Instituto de Geoinformática, A.C. 1982. 283p.

4 CARVALHO, A.de. *Registro de Imóveis*. 3ª ed. Rio de Janeiro, RJ, Forense. 1982. p.4.

5 CARVALHO, p.7.

bosa, então Ministro da Fazenda, com o objetivo de levar a cabo um audacioso programa econômico, defende a introdução, no Brasil, do registro Torrens, o qual é estabelecido pelo decreto 451-B de 31/05/1890 (regulamentado pelo Decreto 955-A, de 05/11/1890). Os principais argumentos, usados em sua defesa, foram, por um lado, o carácter facultativo que, pela espontaneidade de interesses, o tornaria vitorioso, como aconteceu na Austrália, e por outro lado, como relata "...este oferece uma matrícula ao mesmo tempo constitutiva e legitimadora..."⁶, ou seja, prova absoluta de propriedade, não cabendo nenhuma ação.

O Registro Torrens, originalmente, foi introduzido na Austrália, em 1858, e, apesar do seu sucesso lá, aqui ficou destinado ao malogro. Carvalho reporta alguns aspectos que o teriam levado ao insucesso. Por exemplo, na Austrália, o Registro Torrens obedecia a um *processo administrativo*, enquanto que, no Brasil, ficou subordinado a um *processo judicial*. Com a criação do Registro de Imóveis, deixa de ser relevante a sua principal vantagem que era a de declarar, diretamente, a legitimidade da propriedade, uma vez que, com o Registro de Imóveis, isto se faz de forma indireta.

Além disto, acrescentam-se os altos custos e a morosidade para sua realização.

O Registro de Imóveis teve sua origem, em 1916, com a incorporação do Registro Geral ao Código Civil. Dessa vez, no entanto, preenchendo as danosas lacunas anteriores, que eram as transmissões "causa mortis" e os atos judiciais.

De acordo com Carvalho, ao contrário do Decreto-lei nº1000, a Lei nova (Lei 6216, de 31/06/75, resultante das alterações à Lei 6015, de 31/12/73, que revogou o Decreto-lei nº1000) mostra-se viável, entretanto, comenta "...mas há de ser havida como estação de espera, até que se elabore outra melhor..."⁷, e mais a seguir "...na incerteza de que ela venha em breve ser superada por outra melhor, cumpre persistir nos esforços para que não tarde demais aquela evolução, pois já faz mais de meio século que o nosso Registro de Imóveis se acha em fase de transição do antigo sistema francês para o sistema alemão..." (grifo nosso).

Quanto ao tipo de sistema, se francês ou alemão, Carvalho está fazendo referência à forma de *publicidade*, uma vez que, no Brasil, adotou-se um sistema elétrico que remonta à Lei Imperial de 1864. Enquanto que, o sistema francês "...atribui à publicidade o efeito de aviso a terceiros..."⁸ o alemão "...confere à publicidade o efeito de constituir o direito..."⁸. Mais a seguir comenta "...o Registro de Imóveis constante do seu texto apresenta certo progresso em relação ao que vinha vigorando, até então, mas, força é reconhecer, ficou, bastante aquém do ponto que poderia ter atingido, se houvesse perfeito conhecimento do sistema alemão, adotado como alvo pelos legisladores..."⁹.

Um outro aspecto importante é com relação ao princípio

de *especialidade*, significando que toda inscrição deve recair sobre um imóvel individualizado. Fazendo referência de como este princípio é previsto no Código Civil, comenta "...não adota uma fórmula uniforme ou precisa, para exigir a especialização do imóvel..."¹⁰.

A exigência da especialização, constante do Código Civil, expressa na Lei 6015, 1973, Art.176, parágrafo 1, estabelece que: "a identificação do imóvel feita mediante indicação de suas características e confrontações, localização, área e denominação, se rural, ou logradouro e número, se urbano, e sua *designação cadastral*, se houver;" (grifo nosso).

Os elementos gerais são providos pela lei, enquanto os elementos específicos são fornecidos pelas escrituras e demais títulos de aquisição. Desses últimos, o autor relata que, no entendimento da doutrina e da jurisprudência, os principais indicadores do imóvel são as suas *confrontações*, as quais incluem as *linhas de limites* e os *nomes dos confrontantes*. Mais a seguir ele comenta "...de fato, na atualidade, não basta, para a individualização do imóvel, a menção das linhas geométricas..."¹¹, e "...assim se torna necessário recorrer aos nomes dos confrontantes para completar com esses elementos externos a especialização do imóvel..."¹⁰, e "...no futuro, esses elementos complementares tenderão a tornar-se desnecessários, com a medição sistemática dos terrenos..."¹⁰.

A seguir, se referindo ao imóvel, comenta "...as linhas definidoras deste serão suficientes para individualizá-lo, uma vez que tenham amarração geográfica. Daí a possibilidade de dispensa dos nomes dos confrontantes, na inscrição, e, antes desta, na escritura, desde que seja insinuado o cadastro, onde todos os imóveis se enquadrarão dentro de meridianos e paralelos..."¹⁰ (grifo nosso).

O cadastro

Por duas vezes, em 1947 e 1969, como é reportado por Carvalho, houveram tentativas, de sua autoria, de reforma do registro de Imóveis, mediante a *instituição do cadastro*, mas sem sucesso.

Carvalho cita que Filadelfo Azevedo, em resposta a Soriano Neto, ratifica a adoção do princípio de fé pública independente do cadastro, "...este era, manifestamente, impossível por muitas décadas..." e mais a seguir, num ato de extremo pessimismo, finaliza "...jamais poderá o Brasil possuí-lo..."¹². Isto se passa, segundo Carvalho, em 1942, onde somente se utilizava o *levantamento topográfico*, cujo custo e morosidade, em se tratando da nossa extensão territorial, tornava-se, realmente, impossível desejá-lo.

Informado das facilidades proporcionadas pela nova técnica introduzida no Brasil, o *levantamento fotogramétrico*, Carvalho, como homem de visão, defende, pela primeira vez, em 1947, a sua utilização para fins de cadastro rural. Ele comenta "...o progresso

6 CARVALHO, p.512.

7 CARVALHO, p.17.

8 CARVALHO, p.19.

9 CARVALHO, A.de. *Registro de Imóveis*. 3ª ed. Rio de Janeiro, RJ. Forense. 1982. p.19

10 CARVALHO, p.243

11 CARVALHO, p.245

12 CARVALHO, p.491

da técnica encurtará para nós um tempo deveras precioso, antecipando a possibilidade da realização do cadastro...¹³. Entretanto, o projeto oficial não tem andamento no Congresso Nacional, apesar do pleno apoio do Conselho Nacional de Geografia (atual IBGE) e do parecer do relator, Desembargador Bulhões de Carvalho, em análise apresentada na Escola Superior de Guerra, que, em sua síntese, comenta "...obra muito bem trabalhada e acabada, sendo realmente de admirar que até hoje não tenha sido posta em execução...¹⁴. Mais tarde Carvalho relata "...se o País não se valeu então dessa possibilidade, foi porque o projeto de lei em que se abria essa nova frente para o nosso desenvolvimento econômico, ficou, em companhia de outros deveras valiosos, nos escaninhos da gaveta de um relator...¹⁵.

Já na sua segunda tentativa, em 1969, houve, segundo o autor, um desvio da técnica legislativa, onde o anteprojeto de lei não foi incorporado ao regulamento que estava sendo elaborado e que, em seguida, foi decretado (Decreto-lei nº1000, de 21/10/69) e mais tarde revogado pela Lei 6015, de 31/12/73, comenta "...não vingou porque, precisamente pelo temor do cadastro, o projeto foi suplantado por texto regulamentar elaborado por senvenitários dos cartórios...¹⁶ (grifo nosso).

Por várias vezes, a importância do cadastro é ressaltada por Carvalho, como pode ser mais uma vez confirmado em "...a intercomunicação entre o Registro e o Cadastro constitui um postulado, que não pode ser esquecido. Todas as vezes que o cadastro se separa do Registro, redundando em malogro...¹⁷ e em "...cadastro constitui complemento natural do Registro de Imóveis. Ao passo que o registro informa a situação jurídica do imóvel, o cadastro informa a sua situação física. O segundo traz enorme vantagem ao primeiro...¹⁸. Por outro lado, ele comenta "...daí a conveniência de estabelecer a mais íntima associação entre o Cadastro e o Registro, a qual pode chegar a ponto de fazer daquele uma seção deste, subordinados ambos ao registrador. Se a inscrição, no registro, depende do "placet" do cadastro e se o registrador é, civilmente, responsável pelos erros da inscrição, nada mais natural que colocar um e outro sob o controle do registrador...¹⁹.

É interessante observar que, no Brasil, o cadastro está desempenhando um papel diferente do que desempenha, por exemplo, na Alemanha, como relata o autor "...ali a inscrição tem base oficial no cadastro, isto é, se faz de acordo com os dados descritivos e especificadores do catálogo emanado dele...²⁰ e, a seguir, comenta "...no Brasil, convém que a inscrição continue a ter base particular, o que importa em prever que à semelhança do título, a planta seja oferecida pela parte, servindo o cadastro apenas para sua conferência e enquadramento...¹⁹ (grifo nosso).

Duas razões principais são apresentadas por Carvalho para justificar a diferença de função desempenhada pelo cadastro no Brasil e na Alemanha. Uma é "...a diversidade técnica do cadastro visado para o Brasil..." e a outra "...a diversidade do funcionamen-

to das repartições públicas...". Com relação a essa última, em outra oportunidade o autor ressalta "...a inscrição há de continuar independente do cadastro, embora com este haja de articular-se onde quer que se instale. Essa fórmula transaccional se impõe até que se generalize a instalação do cadastro, aperfeiçoamento desejável, mas sujeito, no cronograma do seu andamento, as vicissitudes administrativas...²¹ (grifo nosso).

Um sistema cadastral moderno

Conforme recomendado pelo Comitê de Geodésia, do Conselho de Pesquisa Nacional dos Estados Unidos, Barr apresenta, não somente uma definição de *cadastro*, mas um conjunto de termos relacionados e condições que devem ser satisfeitas por um sistema cadastral moderno. Este autor define cadastro como sendo "...um registro dos interesses sobre a terra, incluindo a natureza e a extensão destes interesses, em relação ao domínio e ao seu uso...²². Ao considerar um sistema cadastral, são apresentados conceitos sobre *lote cadastral*, *registro cadastral* e *índice de lote* como sendo estes os componentes básicos para a coleta, armazenamento e disseminação da informação.

Lote cadastral é conceituado por Barr como sendo uma área de terra contínua dentro da qual interesses únicos e homogêneos são reconhecidos e apresenta quatro parâmetros, dos quais, três são espaciais e um é de tempo. Como *registro cadastral* o autor considera como a fonte de informações (espacial e/ou alfanumérica), relacionadas, a natureza e a extensão dos interesses, e como *índice de lote*, o sistema que relaciona os lotes e os registros.

Além desses conceitos, Barr reporta que o *sistema cadastral* é, na verdade, uma combinação de pessoas, recursos técnicos, estruturas e procedimentos organizados que resultam em:

- 1 — registro público de dados relativos à delimitação inicial dos lotes cadastrais e das suas subseqüentes mutações;
- 2 — registro público dos dados relativos a todos os interesses legais reconhecidos sobre os lotes;
- 3 — registro público de outros dados relacionáveis ao lote e;
- 4 — o subseqüente armazenamento, recuperação, disseminação e o uso destes dados.

Dentro de um contexto restrito, várias são as maneiras com que os autores definem cadastro, por exemplo, quanto ao propósito (fiscal, jurídico, multipropósito); quanto ao tipo de informação (agrícola, florestal, imobiliário); quanto ao tipo de levantamento (topográfico, fotogramétrico, combinado); quanto à maneira como as informações são arquivadas (gráfico, fotográfico, digital), etc. Original, entretanto, é a definição que classifica o sistema quanto ao seu estágio de evolução (ver McLaughlin, 1976); onde pode-se ter:

- a) o sistema cadastral moderno;
- b) o sistema cadastral elementar; e

13 CARVALHO, p.492.

14 CARVALHO, A.de. *Registro de Imóveis*. 3ª ed. Rio de Janeiro, RJ. Forense. 1982. p.10.

15 CARVALHO, p.492.

16 CARVALHO, p.493.

17 CARVALHO, p.488.

18 CARVALHO, p.485.

19 CARVALHO, p.489.

20 CARVALHO, p.487.

21 CARVALHO, p.486.

22 BARR, Mac Donald et alii. *Procedures and Standards for a Multipurpose Cadastre*. s/ed. Washington, DC. National Academy Press. 1983. p.13.

c) o sistema pré-cadastral.

Segundo esse autor, a diferença básica entre o sistema cadastral moderno e o elementar é, principalmente, que o sistema cadastral elementar somente responderá às questões para as quais ele foi originalmente concebido, ao contrário do sistema cadastral moderno que permitirá respostas para problemas novos. O sistema pré-cadastral é aquele que está caracterizado durante a fase inicial do levantamento e registro, mas onde estes não são suficientemente desenvolvidos e integrados para se constituir num cadastro, porque para isto é necessário que o *critério de publicidade da criação e da manutenção* do registro cadastral e do lote cadastral *seja satisfeito*.

Conclusão

Da análise do exposto, acreditamos que existem três pontos críticos que podem explicar a inoperância do cadastro para fins jurídicos, no Brasil, que são: (a) a diversidade evolutiva do registro; (b) a não institucionalização do cadastro, diferentemente do que acontece no modelo alemão, tido como-alvo para o Brasil e (c) a administração pública estar sujeita às vicissitudes da época (hoje em dia menos do que ontem), e o cadastro ter o controle do seu desenvolvimento e gerenciamento outorgado a ela, devido à necessidade deste satisfazer o critério de ser público. É inapropriado pensar no cadastro com a finalidade, apenas, de conferência e enquadramento, porque a relação custo-benefício o inviabiliza.

Ao contrário, sua utilização com fins de *tributação, planejamento e gerenciamento* vem, de modo crescente, evoluindo, principalmente, porque os órgãos com estes fins, a cada dia que passa, se conscientizam da sua importância, a medida que têm de responder, rapidamente, e de modo seguro, às pressões sócio-econômicas.

Tem de se ter em mente, entretanto, que o cadastro não deve ser pensado como um sistema cadastral elementar, ou o que é pior, com um enfoque pré-cadastral, mas como um sistema cadastral moderno, tecnologia para isto já é disponível no Brasil (ver ALVES, 1990; BARR, 1983).

De acordo com Eberl, "...existem dois instrumentos de solução que constituem a base para qualquer ação que se pretenda empreender: o *financiamento* e a *informação*..."²³. O cadastro integra ambas, porque, por um lado, aperfeiçoa o sistema de tributação e possibilita a redução de gastos públicos e, por outro, permite a integração de informações em um banco de dados, com múltiplos propósitos.

Com relação ao questionamento inicial, ou seja, *Um sistema cadastral moderno: poderá o Brasil possuí-lo?*, acreditamos que sim, mas, no momento, só existem no Brasil alguns sistemas

cadastrais elementares e muitos sistemas pré-cadastrais. Para sabermos com certeza se um dia o Brasil possuirá um sistema cadastral moderno, conforme definido, anteriormente, será necessário um número maior de encontros onde se discuta, não somente o cadastro e o planejamento, mas também o registro de imóveis.

Falcão, referindo-se à questão urbana comenta, "...a situação sócio-econômica e a crença num direito acima do direito legal torna o respeito impossível..."²⁴.

Tal observação deve servir como alerta, porque se considerarmos que os nossos recursos naturais são esgotáveis e que o crescimento das cidades está acelerado e descontrolado, isto provocará o surgimento, a curto prazo, de questões urbanas e rurais cada vez mais complexas, que não podem ser tratadas com *receitas caseiras e nem soluções isoladas*.

A esse respeito, gostaríamos de deixar uma questão em aberto:

Poderão os Sistemas de Informações Geográficas responder a isso?

Agradecimentos

Desejo externar meu profundo agradecimento à Prof.^a Dulce M. Bueno (UFPR) pelas sugestões apresentadas.

Referências bibliográficas

1. ALVES, D.S. Sistema de Informação Geográfica. In: *Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento*, I, São Paulo, SP. 23-25/05/1990. ANAIS. Escola Politécnica da USP. São Paulo, SP. 1990. V.1, p.66-78.
2. BARR, MacDonald et alii. *Procedures and Standards for a Multipurpose Cadastre*. s/ed. Washington, D.C. National Academy Press. 1983. 173p.
3. CARVALHO, Afrânio de. *Registro de Imóveis*. 3ª ed. Rio de Janeiro, R.J. Forense. 1982. 619p.
4. EBERL, Horst K. Dobner. *Sistemas Catastrales*. 1ª ed. México, D.F. Instituto de Geoinformática, A.C., 1982. 283p.
5. _____. *Catastro*. 1ª ed. México, D.F. Instituto Mexicano de Estudios del Comportamiento, A.C., 1981. 237p.
6. FALCÃO, Joaquim de Arruda. *Conflito de Direito de Propriedade: invasões urbanas*. 1ª ed. Rio de Janeiro. Forense, 1984. 233p.
7. McLAUGHLIN, John. *An Introduction to Cadastral Surveying*. s/ed. Fredericton, Canadá. University of New Brunswick, 1973. 102p.
8. _____. *Notes and Materials on Cadastral Surveying*. s/ed. Fredericton, Canadá. university of New Brunswick, 1976, Lectures Notes nº44, vl.i, 120p.

23 EBERL, H.K.D. *Catastro*. 1ª ed. México, D.F. Instituto Mexicano de Estudios del Comportamiento, A.C. 1981. p.41.

24 FALCÃO, J. de A. *Conflito de Direito de Propriedade: Invasões urbanas*. 1ª ed. Rio de Janeiro. R.J. Forense. 1984. p. 95

CARTA DE DENSIDADE DA OCUPAÇÃO DO SOLO URBANO

*Francisca Luiza Cardieri — Geógrafa, Coordenadora da Área de Cartografia Temática e Fotointerpretação da Emplasa
Iuli Nascimento — Geógrafo, Chargé d'études — IAURIF*

A Região Metropolitana de São Paulo, integrada por 38 municípios e com uma população atual de cerca de 16 milhões de habitantes, constitui um campo interessante para o desenvolvimento e aplicação de novas metodologias. Em vista disso, a Emplasa, em conjunto com o Institut d'Amenagement et d'Urbanisme de la Région d'Ile de France (IAURIF), vem desenvolvendo o projeto "Carta de Densidade da Ocupação do Solo Urbano".

Esse projeto tem como objetivo o desenvolvimento de uma metodologia aplicada ao estudo dos fenômenos urbanos, através de sensoriamento remoto. A consolidação dessa metodologia possibilitará acompanhar as transformações que ocorrem, no uso do solo, em curtos espaços de tempo. A primeira fase do trabalho, já concluída, envolveu o tratamento automático dos dados, interpretação dos produtos obtidos e elaboração de mapas preliminares, cuja edição definitiva só será feita após a verificação dos dados, no terreno, para avaliar e ajustar as informações mapeadas.

Dada a extensão da Grande São Paulo (8.051 km²), o projeto envolveu apenas o oeste da Região, tendo sido posteriormente selecionada uma área de 765 km², correspondente aos municípios de Diadema, São Caetano do Sul e parte dos municípios de: São Paulo, Guarulhos, Santo André, São Bernardo do Campo e Osasco para estudos de densidades de ocupação urbana.

Mapeamento

A carta de densidade de ocupação do solo urbano foi executada a partir da imagem multiespectral (XS) do satélite francês SPOT, na escala de 1:50.000, de 12/05/88. O produto final foi obtido pelo sistema SEUIL (Système d'Exploration pour l'Urbanisme d'Informations Localisées), utilizado para o seu processamento. O mapeamento da densidade de ocupação do solo urbano foi realizado a partir da interpretação dessa imagem, com base na seguinte legenda:

- densa ocupação vertical (áreas ocupadas por prédios de apartamentos ou serviços);
- densa ocupação mista (edificações térreas e prédios distribuídos numa mesma área);
- densa ocupação horizontal (áreas densamente ocupadas por edificações térreas e/ou prédios de dois a três pavimentos);
- densa ocupação horizontal vegetalizada (mesma característica que a anterior, mas com ruas arborizadas e/ou jardins residenciais);
- média ocupação (predominância de grandes edificações, apresentando vazios intersticiais com ou sem vegetação);
- baixa densidade (áreas com residências esparsas);
- muito baixa ocupação (zonas com edificações esparsas, com predominância de vegetação);
- movimento de terra (áreas vagas ou em processo de ocupação caracterizadas pela retirada da camada superficial do solo);
- vegetação, parques, jardins e outros (áreas com cobertura vegetal, localizadas no interior e/ou entorno da área urbana, parques, jardins, áreas de lazer);
- aeroporto.

Checagem dos Dados

Efetuada a interpretação visual da imagem, foi feita a checagem dos dados levantados, utilizando-se o mapeamento "Padrões de Uso e Ocupação do Solo da RMSP", realizado pela Emplasa em 1982.

Dada a desatualização desse mapeamento e as alterações rápidas que ocorrem no meio urbano, faz-se necessária uma verificação, no terreno, fase em que se encontra, atualmente, o projeto. Concluída esta etapa e feitos os ajustes necessários, a carta será editada, oficialmente, pela entidade francesa, através de computador.

SISTEMA DE INFORMAÇÕES CARTOGRÁFICAS

M.A.J. QEM CRTG Claudionor Tusco
Diretoria de Serviço Geográfico

Sumário

Este trabalho descreve, sucintamente, as funções de um Sistema de Informações Geográficas, situa o Sistema de Informações Cartográficas (SIC) no contexto da Cartografia apoiada por Computador, apresenta os módulos básicos de um SIC, descreve estruturas de dados que podem ser adotadas e, configura, esquematicamente, uma base de dados.

1. Descrição Geral

A busca incessante da representação correta do planeta tem início na pré-história. Embora, na época, o homem não tivesse alcançado a fase da escrita, já procurava materializar seu "habitat" através de croquis elaborados por processos expeditos. Nos dias atuais, busca-se, além da representação que melhor retrate as feições terrestres, processos que agilizem a confecção de documentos cartográficos, que permitam sua atualização, num curto espaço de tempo, e que possibilitem o *cruzamento de informações*, gerando documentos temáticos que sirvam de suporte à decisão.

Na década de 60, surgem os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) que, genericamente, são sistemas projetados para coletar, armazenar, manipular, recuperar e exibir dados vinculados a uma determinada posição geográfica.¹

Um SIG dispõe de dois tipos distintos de dados:

- *gráficos*, que constituem a entidade geométrica, materializada por pontos, linhas e áreas;
- *não-gráficos*, que descrevem quantitativa e/ou qualitativamente a entidade geométrica.

Um SIG geralmente realiza as funções de *Aquisição, Atualização, Manipulação de dados e Exibição de Resultados*.²

A aquisição consiste na coleta de dados provenientes de diversas fontes, tais como fotografias aéreas, ortofotos, outras imagens sensoriais, levantamentos topográficos, mapas, cartas, relatórios estatísticos e outras informações, por intermédio de restituidores, ortoprojetores, digitalizadores, fitas magnéticas e entrada de dados via teclado.

A função de atualização efetua a inserção, a remoção ou a modificação dos dados coletados em estruturas integradas, que dão origem a uma *base de dados*.

A manipulação de dados efetua a análise dos mesmos,

extraíndo informações que são relacionadas, a fim de gerar novas informações que atendam as diversas visões externas permitidas pelo sistema.

A função de exibição refere-se, principalmente, à representação dos resultados dos dados manipulados e poderá ser, exclusivamente, constituída por dados não gráficos. Poderá ocorrer, inclusive, que o SIG seja implementado sem as saídas gráficas, como foi o caso do CGIS (Canada Geographic Information System).¹

Deduz-se, portanto, que SIG está mais voltado para a manipulação de dados, buscando a interação entre vários campos do conhecimento humano, tais como Sociologia, Economia, Agricultura, Recursos Naturais, Geopolítica, dentre outros. Estes dados estarão sempre referenciados a uma determinada posição da superfície terrestre.

Um Sistema de Cartografia Automatizada (SCA) é constituído pela automatização das operações das diversas fases de construção de um documento cartográfico. Deve-se ressaltar que o SCA é abrangente e envolve a aquisição automatizada de todos os dados que irão gerar as informações cartográficas que, por sua vez, deverão ser exibidas, automaticamente.

A automatização da cartografia vem ocorrendo em todas as fases de elaboração dos documentos cartográficos, desde a coleta de informações, no campo, até a impressão final dos documentos. A modernização dos equipamentos, no tocante à substituição de componentes ótico-mecânicos por componentes eletrônicos, fez com que os resultados apresentados deixassem de ser observações ou representações analógicas, para constituírem informações digitais, alterando, significativamente, os processos da Engenharia Cartográfica, com a criação de novos conceitos como Planos de Informação, Imagem Digital, Restituição Numérica, Caderneta Eletrônica de dados, Distância Eletrônica e outros, dando origem à *Cartografia Digital*.

A Cartografia Digital veio viabilizar a automatização dos processos de confecção de documentos cartográficos, permitindo que uma região não só possa ser, rapidamente, mapeada como também ter seus dados atualizados, face às modificações a que a superfície terrestre está sujeita. Porém, o simples processamento eletrônico de dados não é suficiente para atender as exigências impostas pela Cartografia Digital. Há necessidade de periféricos específicos na aquisição e saída dos dados, a fim de atender a *conversão analógico-digital* e vice-versa.

A representação gráfica dos dados cartográficos digitais é realizada através da computação gráfica, constituindo a Cartografia Apoiada por Computador que, quando aliada as técnicas dos Sistemas de Gerenciamento de Banco de Dados, passa a ser denominada, genericamente, de Sistema de Informações Cartográficas. O SIC pode ser considerado como um subconjunto de um SIG. Seu enfoque principal reside em confeccionar os documentos cartográficos por processos automatizados. Para tanto, deverá dispor de métodos eficientes de armazenamento e recuperação de informações, dentro de um ambiente de processamento eletrônico de dados, a fim de definir, adequadamente, as feições terrestres, de forma que os documentos exibidos retratem a superfície física e tenham boa visualização e disposição das informações.

2. Módulos de um SIC

Os módulos de um SIC devem estar direcionados para atender seu principal objetivo, ou seja, a confecção de documentos cartográficos através de processos automatizados. Assim sendo, a função de exibição de resultados assume o escopo do SIC e, em consequência, as outras funções deverão atendê-la.

Um SIC, geralmente, é constituído pelos módulos *Carga, Processamento e Edição*.

O módulo de carga deverá realizar as funções de aquisição e atualização. É especificado e implementado em função de *onde e como* os dados serão coletados. Desta maneira, este módulo poderá apresentar várias versões, mas seus dados deverão estar dispostos em *estruturas* adequadas e consistentes, fazendo com que as fontes e os equipamentos que derem origem à base de dados fiquem *transparentes* para os demais módulos.

A carga do sistema poderá ser efetuada por intermédio de digitalizadores, restituídores, ortoprojetores, sensores remotos e levantamentos terrestres.²

Os digitalizadores permitem que se proceda transformação analógico-digital das feições constantes de cartas, mapas, fotografias aéreas ou outros documentos cartográficos.

A restituição numérica fornece, diretamente, as coordenadas dos pontos que discretizam o objeto. Isto pode ser realizado a medida que modelo fotogramétrico é restituído.

Os perfis do terreno, levantados por ocasião da construção da ortofoto, possibilitam o traçado de curvas de nível e/ou a geração de modelos digitais de elevação.³ A própria ortofoto poderá ser utilizada na aquisição de dados por intermédio de sua varredura em tubo laser.²

As imagens de sensores remotos, instalados em satélites artificiais, poderão fornecer, após o processamento, informações digitais do terreno.

As coordenadas de pontos, obtidas por levantamento terrestre, também poderão fazer parte da base de dados de um SIC. Sua inclusão, na base, poderá ser efetuada por digitação ou pela leitura de fitas magnéticas de que alguns equipamentos eletrônicos de Topografia dispõem.

O módulo de processamento tem por objetivo gerenciar as solicitações feitas ao sistema, através de uma linguagem de con-

sulta dedicada⁴, e dispor as respostas, a serem exibidas, de maneira que os periféricos possam editá-las por intermédio de seus "drivers".

O módulo de edição deverá estar incumbido de proceder às saídas gráficas e alfanuméricas nos periféricos que estejam conectados ao SIC.

Evidentemente, a disposição dos módulos dependerá da configuração do sistema. Poderá ocorrer que os módulos estejam encapsulados sob um único bloco, compondo o que se denomina de "pacote", ou então, tenham sido desenvolvidos pelos próprios fabricantes dos equipamentos, podendo estar, fisicamente, conectados. Neste caso, os equipamentos são chamados de "turn-key".⁵

3. Estruturas de Dados

O sucesso de qualquer sistema de informação está intimamente ligado à escolha adequada das estruturas de seus dados.

Dado é a representação de uma informação em um determinado sistema notacional. *Informação*, por sua vez, é qualquer forma de conhecimento, ou mensagem, que pode ser utilizada para tornar possível ou aprimorar uma decisão ou ação.^{3,4}

Estrutura, usualmente, significa disposição e ordem das partes de um todo. Desta maneira, *estrutura de dados* pode ser conceituada como o resultado da disposição, ordenação ou organização de dados representativos de informações.⁴

Na literatura pode-se encontrar, a respeito de estruturas de dados, desde conceitos simples e informais como: "*Estruturas de Dados* é o meio de representar informações no computador",⁷ e até definições elaboradas e formais, tais como: "*Estruturas de Dados* é um grafo dirigido, denotado por $G = (P, R)$, com funções de atribuição que associam dados aos pontos de P , onde está definida a relação R "⁸; ou "*Uma estrutura de dados* é um conjunto de domínios D , um domínio d pertence a D , um conjunto de funções F e um conjunto de axiomas A . A tupla (D, F, A) designa a estrutura de dados d , que é, usualmente, abreviada por d ".⁹

Os inúmeros conceitos, existentes sobre estruturas de dados, geram diversas maneiras em classificá-las. Nos SIC, as estruturas de dados, empregadas para representar e armazenar os elementos gráficos básicos (pontos, linhas, e áreas) e seus relacionamentos, são classificadas em modelo *matricial* (raster) e *vetorial*.

Cabe ressaltar, que os equipamentos de aquisição e de impressão de dados gráficos adquirem ou imprimem os dados sob a configuração de um dos modelos matricial ou vetorial. É comum adotar o modelo da estrutura de dados de acordo com a configuração dos equipamentos do ambiente de trabalho, apesar de existirem algoritmos de conversão que permitem aos equipamentos manipular qualquer modelo de estrutura.⁹

As estruturas de dados vetoriais possibilitam um armazenamento de dados mais compacto do que as estruturas matriciais. Devido a este fato, as estruturas de dados que deverão ser adotadas numa base de um SIC são as vetoriais.

O modelo vetorial é constituído por elementos que variam em forma e tamanho, acarretando a descrição de cada um, explicitamente.¹¹ A unidade lógica básica é o vetor, representado por dois pontos extremos. O elemento fundamental é a coordenada cartesiana (x, y) que define o espaço ocupado física ou virtualmente por um objeto.

A mais simples estrutura de dados cartográficos vetorial é denominada de "Spaghetti Cartográfico", que somente efetua o armazenamento dos dados relativos à geometria dos objetos.^{10, 12}

A estrutura de dados denominada *Lista de Pontos*, armazena para cada objeto todos os seus pontos. Isto causa redundância nos dados, pois cada vértice é assinalado e suas coordenadas são armazenadas a cada vez que é utilizado na definição de um objeto.^{12, 13}

Para evitar a repetição de armazenamento dos vértices adota-se a estrutura de dados conhecida como *Dicionário de Pontos Comuns*.¹³ Esta estrutura faz com que a informação seja separada em dois blocos. Um bloco contém a informação da entidade, isto é, o tipo, o código e a lista de todos os vértices que descrevem o objeto; e o outro bloco contém as coordenadas dos vértices, evitando, desta forma, a redundância de dados.

As estruturas de dados se tornam realmente poderosas e flexíveis com a incorporação dos elementos topológicos¹⁴ e com geocodificação dos objetos.¹⁵

Para representar a geometria dos objetos puntuais, lineares e planares, em um SIC, são definidos os seguintes elementos topológicos: nó, arco, poligonal e texto.

Nó é definido por coordenadas associadas a um determinado sistema de referência. Destina-se a representar os objetos puntuais, assinalar o cruzamento de dois objetos lineares e definir as extremidades de um arco.

Arco é um conjunto de segmentos contínuos e cujas extremidades são nós. Seus segmentos são definidos por uma lista de pontos associada a uma função.

Poligonal é o conjunto de um ou mais arcos que representam a geometria de objetos lineares ou planares. Denomina-se *Poligonal Aberta*, quando se referir a objetos lineares, e *Poligonal Fechada*, quando estiver definindo o contorno de objetos planares. Um caso particular de poligonal fechada é quando a mesma é constituída apenas de um arco, cujas extremidades coincidem, recebendo então a denominação de *Ilha*.

Texto não visa representar, diretamente, a geometria dos objetos como ocorre com os outros elementos. Existem certos objetos que não são, cartograficamente, representados por sua geometria, e sim, através de um texto, tais como, serras, bacias hidrográficas e outras denominações gerais.

É importante observar que um polígono pode conter mais de um objeto. Por exemplo, uma floresta pode conter rios, lagos, clareiras, dentre outros. Deve-se, portanto, subdividir a poligonal fechada em: *homogênea* - constituída por apenas um objeto; *heterogênea* - contendo dois ou mais objetos.

As características peculiares dos acidentes físicos ou culturais podem ser agrupadas segundo um *geocódigo* que as classifica em níveis definidos por elementos, feições e subfeições.

Os elementos cartográficos reúnem os objetos segundo suas

características naturais. São dispostos conforme a finalidade do documento cartográfico. Nos documentos de mapeamento sistemático, por exemplo, estão dispostos segundo os objetos relativos à planimetria, hidrografia, altimetria e vegetação.

Cada elemento cartográfico é dividido em *feições*, que reúnem os objetos com características semelhantes. As feições poderão, ainda, ser subdivididas em *subfeições*, desde que apresentem mais de um tipo ou categoria.

A representação geométrica de um objeto pode depender de outros fatores, por exemplo, em função da escala de um documento cartográfico, uma cidade pode ser representada por um nó ou por uma poligonal fechada heterogênea. Devido a tal circunstância, incorpora-se ao geocódigo, também, o tipo de geometria que deverá representar o objeto.

4. Base de Dados

Os elementos topológicos e a geocodificação possibilitam que se projete uma base de dados adequada ao processamento de um SIC.

Os conceitos formulados sobre elementos topológicos constituem o embasamento teórico necessário para que se proceda à modelagem digital da geometria dos objetos cartográficos.

O geocódigo qualifica o objeto cartográfico e estabelece o seu relacionamento com a representação geométrica, definindo, assim, o elemento topológico que deverá ser adotado.

Assim sendo, um objeto geocodificado deverá indicar o elemento cartográfico, a feição, a subfeição, se for o caso e a geometria de representação.

Outras informações sobre o objeto cartográfico deverão ser incluídas à base, por exemplo, a topomínia do objeto cartográfico, normalmente, é considerada e assume um papel importante na recuperação da informação. Desta maneira, uma base pode ser subdividida nas sub-bases geométrica, qualitativa e de informações complementares.

Esta subdivisão permite que a base de dados possua independência dos dados gráficos e não gráficos, múltiplos acessos e facilidade na extensão da base, tanto a nível de projeto, como a nível de aplicação.

Uma estrutura de acesso celular poderá ser associada à Sub-Base Geométrica com o objetivo de facilitar o armazenamento dos dados, de estabelecer o relacionamento dos elementos topológicos e acelerar a recuperação de informações. Esta estrutura é realizada pela subdivisão da região de interesse em células, gerando, assim, uma grade matricial. A cada célula é associada uma lista dos elementos topológicos que estão contidos na mesma. Isto permite que o estudo de vizinhança, de pertinência e da interseção dos elementos topológicos sejam efetuados com o menor grau de complexidade.

Um Modelo Numérico de Elevação (MNE) poderá ainda ser associado à Base, permitindo que o SIC possa efetuar exibições no espaço tri-dimensional e realizar funções atinentes à altimetria, tais como cálculo de volume, traçado de perfis e curvas de nível, cálculo de declividade de elevações, estudo de linhas de drenagem, dentre outras.

A figura a seguir ilustra uma configuração esquemática de uma base de um SIC. As possíveis rotas de acesso à base estão assinaladas juntamente com os tipos ou categorias prováveis, inerentes a cada sub-base, empregadas na recuperação das informações.

5. Referências Bibliográficas

1 - *MacDonald, C.L. & Crain, I.K.* Applied Computer Graphics in a Geographic Information System-Problems & Successes. "CLDS/CGIS CLDS Selected Papers", Ottawa, "V" (R001072), November 1985.

2 - *Crain, I.K. & Thie, J.* Geographic Information Systems Technology for Environmental Resource Management in the Third World. "CLDS/CGIS CLDS Selected Papers", Ottawa, "V" (R001072), November 1985.

3 - *Abib, O.A.* "Especificação para um Sistema de Cartografia Apoiada por Computador", Rio, 1986, Tese de Mestrado. IME.

4 - *Cunha Fº, H.F. da.* "Uma Linguagem de Consulta para Banco de Dados Cartográfico", Rio, 1987, Tese de Mestrado. IME.

5 - *Langefors, B.* "Theoretical Analysis of Information Systems", Philadelphia, Auerbach, 1973.

6 - *Freitas, C.M.D.S.* "Uma Metodologia de Projeto de Estruturas de Dados para Aplicações Gráficas Interativas", Porto Alegre, 1982, Tese de Mestrado. UFRGS.

7 - *Brillinger, P.C. & Cohen, C.D.* "Introduction to Data Structures and Non-Numeric Computation". Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1972.

8 - *Pfaltz, J.L.* "Computer Data Structures", Toquio, McGraw Hill Kogakusha, 1977.

9 - *Horowitz, E. & Sahni, S.* "Fundamental and Data Structures", Computer Science Press, USA, 1982.

10 - *Menezes, P.M.L.de.* "Aquisição, Tratamento e Armazenamento de Dados de Cartas Topográficas Digitalizadas", Rio, 1987, Tese de Mestrado. IME.

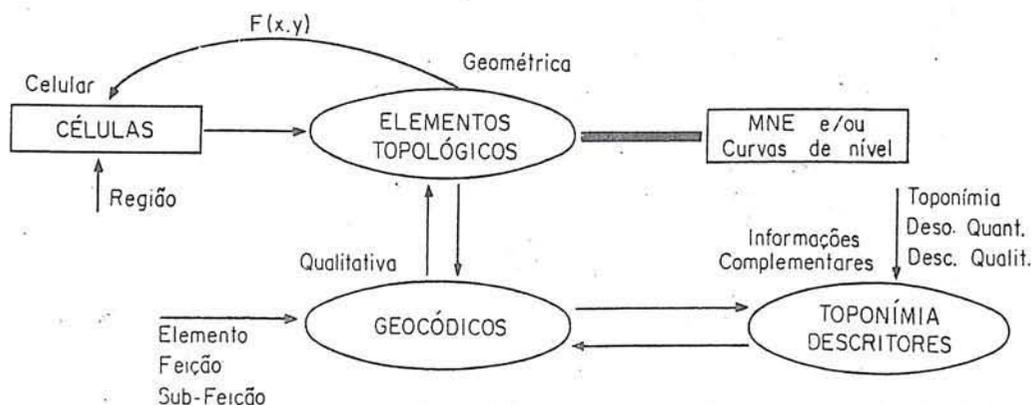
11 - *Crain, I.K.et.alii.* Trends in Data Structures in GIS, "CLDS/CGIS CLDS Selected Papers", Ottawa, "V" (R001072), November, 1985.

12 - *Chrisman, N.* The Impact of Data Structure on Geographic Information Processing. "International Conference on Automation in Cartography", Reston-Virginia, 1974.

13 - *Peucker, T.K. & Chrisman, N.* Cartographic Data Structures. "The American Cartographer", "Vol 2" (1), 1975.

14 - *Guptill, S.C.* The Impact of Computer Graphics. "Data Manipulation Software, and Computing on Spatial Data Structures", Harvard University, 1981.

15 - *Kobayashi, I.* Cartographic Databases. "Lecture Notes in Computer Science-Pictorial Information Systems", Springer-Verlag, 1980.



Esquema de uma Base de um SIC

ESTRUTURA CELULAR DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÕES CARTOGRÁFICAS

Maj Qem Crg Claudionor Tusco
Cap Qem Crg Jorge Luis Nunes e Silva Brito
Diretoria de Serviço Geográfico

Sumário

O trabalho apresenta a concepção e os procedimentos para a implementação de uma estrutura de apoio a um Banco de Dados não-convencional, que integra um Sistema de Informações Cartográficas. A estrutura — denominada "Apoio Celular" — tem por objetivos facilitar o armazenamento dos dados e a recuperação de informações.

Abstract

This work presents the development and the procedures for implementation of a support structure for an unconventional database which integrates a Cartographic Information System. The support structure — called Cellular Support Structure — is designed to improve facilities for data storage and information recovery.

1. Introdução

Fruto do desenvolvimento científico-tecnológico, verificado nas últimas décadas, particularmente, no campo da informática, vive o mundo atual a fase de disseminação do uso do computador, praticamente, em todas as áreas do conhecimento humano.

A Engenharia Cartográfica tem-se beneficiado, sobremaneira, deste desenvolvimento, no sentido de realizar a automatização dos processos de elaboração e manutenção de seus produtos.

Surge, então, a Cartografia Automatizada, que, genericamente, engloba todas as fases da elaboração e manutenção de documentos cartográficos, através da aquisição automática dos dados e da geração das informações cartográficas.

A representação gráfica dos dados cartográficos digitais é realizada através da Computação Gráfica que, quando aliada às técnicas de gerenciamento de Sistemas de Bancos de Dados, passa a ser denominada Sistema de Informações Cartográficas (SIC):

Um SIC tem como objetivo principal a confecção de documentos cartográficos, por processos automatizados, devendo dispor, para tal, de métodos eficientes de armazenamento e recuperação de informações, a fim de definir, adequadamente, as feições terrestres, de forma que os documentos exibidos retratem, fielmente, a superfície física, neles representada, e tenham uma boa visualização e disposição das informações.

A Base de Dados¹ de um Sistema de Informações Carto-

gráficas, sobre a qual a Estrutura de Apoio Celular atuará, é modelada sob o enfoque vetorial e possui dois tipos de dados, a saber:

- dados gráficos — representados por pontos, linhas ou áreas e modelados segundo tipos abstratos denominados *Elementos Topológicos*^{1, 3, 5} — vêm a constituir a Sub-base Geométrica da base de dados.
- dados não-gráficos — descritores qualitativos e/ou quantitativos dos objetos da base de dados, são tratados segundo a abstração denominada geocodificação e constituem a Sub-base Qualitativa.

A estas duas abstrações, são adicionadas *informações complementares* que, armazenadas numa Sub-base, possibilitam a criação de visões de interesse específico, a fim de atender as necessidades da Cartografia Temática, integrando diferentes áreas do conhecimento humano, tais como, a Sociologia, a Economia, a Agricultura e a Geopolítica, dentre outras.

A Estrutura de Apoio Celular visará a eficiência da implementação, a fim de buscar a minimização da alocação de memória e a otimização do tempo de processamento, particularmente, em se tratando de operações de leitura e gravação dos dados — que poderão exigir inúmeros acessos à memória secundária — principalmente, se a implementação tiver sido realizada em ambiente onde há disponibilidade de grandes recursos de memória principal.

2 Estrutura de Apoio Celular

Um esquema da base de dados do SIC é mostrado na *figura 1*, onde se pode observar a integração da estrutura de Apoio Celular, diretamente à Sub-base Geométrica. Sua importância está relacionada à facilidade obtida no armazenamento e recuperação da geometria dos objetos cartográficos, a partir dos Elementos Topológicos sobre os quais a base de dados está modelada, conceitualmente.

Considera-se como unidade básica, para formação da Estrutura de Apoio Celular, uma região geográfica, denominada *Projeto*. Em termos físicos, suas dimensões poderão variar, não só em função da escala do mapeamento, como pelas características fisiográficas (relevo, vegetação, acidentes naturais ou artificiais etc...) da superfície a ser cartografada. A título de exemplo, pode-se considerar, como um Projeto, desde um bairro ou cidade, até uma região de dimensões continentais.

Em linhas gerais, a Estrutura de Apoio Celular consistirá na divisão do Projeto, segundo uma grande matricial, onde cada elemento receberá a denominação de *célula*. Cada célula deverá fornecer informações sobre os Elementos Topológicos que estiverem contidos em seu interior ou que a atravessarem, de forma que, a partir de uma célula, se possa acessar um particular Elemento Topológico, que lhe esteja relacionado. É interessante observar que, em função das dimensões do Projeto e da quantidade de células a ele alocadas, a Estrutura de Apoio Celular poderá ocupar espaço considerável de memória, fato que acarretará a impossibilidade de seu total carregamento na memória principal.

Na impossibilidade de se realizar o carregamento, na memória principal, de todo o arquivo que materializa a Estrutura de Apoio Celular e, no sentido de minimizar os acessos à memória secundária, utiliza-se o artifício de agrupar as células segundo "páginas" de tamanho fixo, sendo estas, a unidade básica de trabalho para tais operações. Isto significa que se efetuará a recuperação ou o armazenamento das informações, de uma página, ao invés de se fazê-lo célula a célula. Tal procedimento facilitará, por

exemplo, os estudos de vizinhança e propriedades geométricas entre os Elementos Topológicos, não só no âmbito da própria célula, como também em relação às células vizinhas. O arquivo que materializará a Estrutura de Apoio Celular, neste caso, terá seus registros agrupados, física e logicamente, através das páginas. Cada registro lógico deste arquivo conterá referências (apontamentos) que permitam acessar as informações relativas aos Elementos Topológicos, de forma a evitar-se redundâncias em termos de armazenamento dos dados, no Sistema de Informações Cartográficas. Na *figura 2*, pode-se visualizar o esquema da Estrutura de Apoio Celular.

Uma vez que o problema crucial de um sistema de Informações Cartográficas, desenvolvido sob o enfoque vetorial, relaciona-se aos *estudos de vizinhança*, o estabelecimento da Estrutura de Apoio Celular, de forma a manipular um conjunto de células, por si só, não lograria êxito, caso não satisfizesse aos mesmos. Surge, então, o seguinte problema: Como organizar, logicamente, as células de um Projeto, de forma que o carregamento de uma ou mais páginas atenda, satisfatoriamente, aos estudos de vizinhança de uma determinada célula?

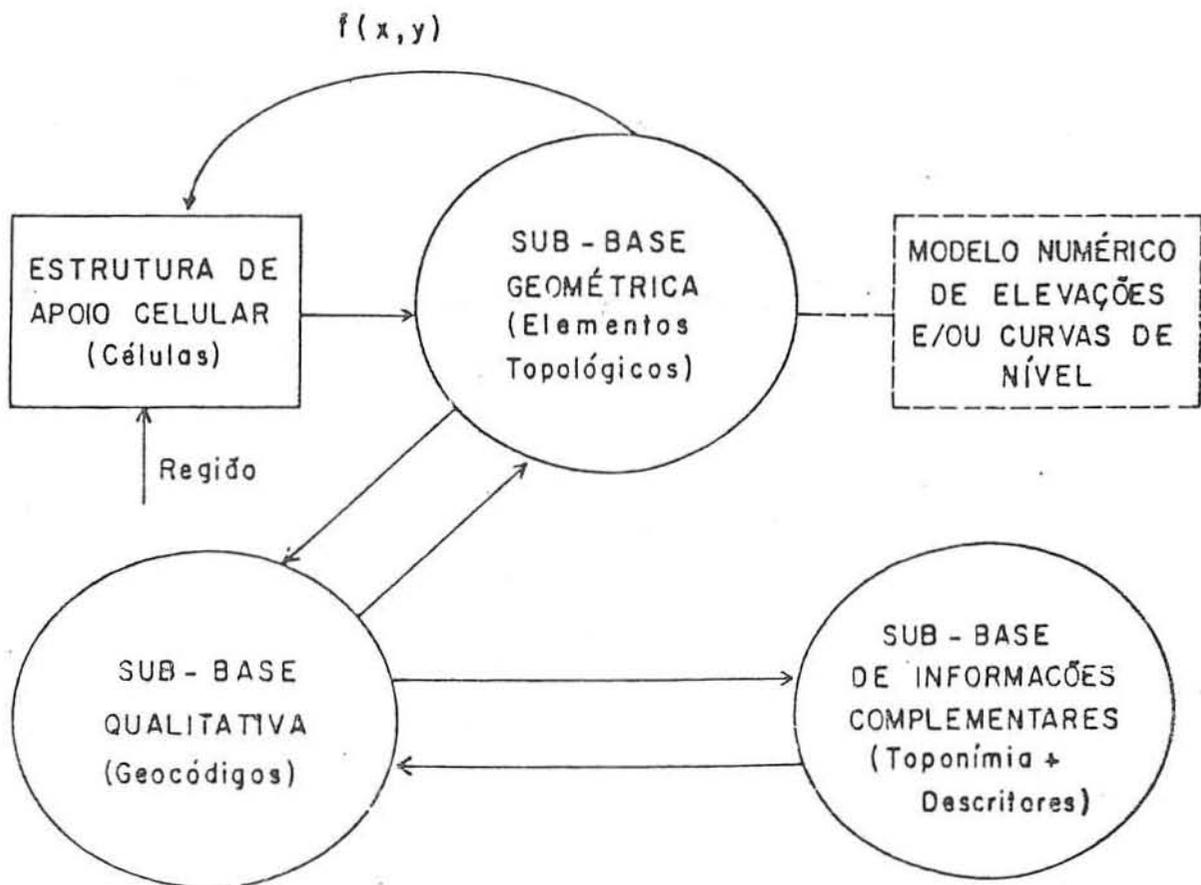


Figura 1 - Esquema da Base de Dados d um SIC.

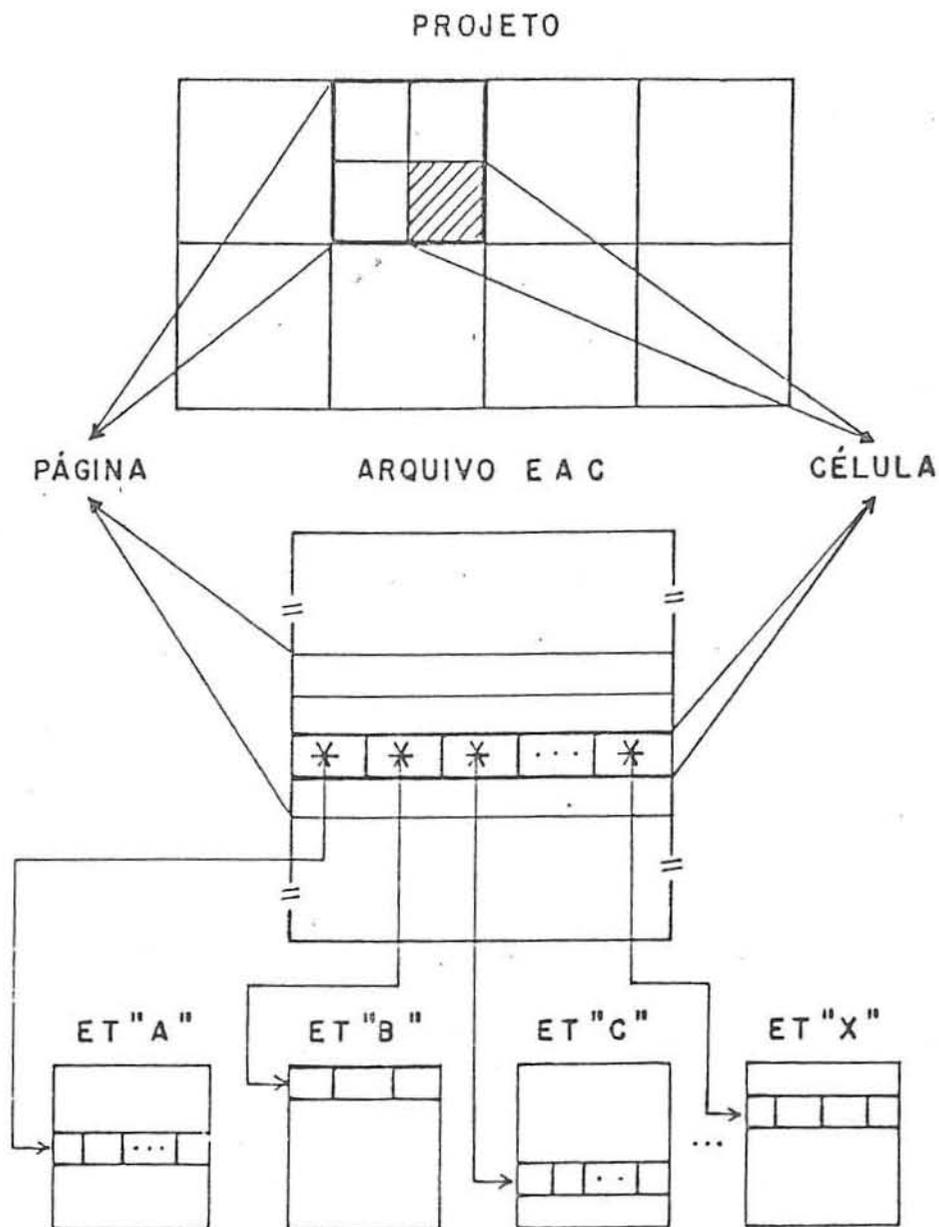


Figura 2 - Esquema da Estrutura de Apoio Celular.

A figura 3 mostra que, se a célula não se situar sobre os limites da página em que estiver contida (a), pode-se solucionar, trivialmente, o problema apresentado. Sorte idêntica, entretanto, não ocorrerá, caso a célula se apresente como em (b), onde será necessário o carregamento de, pelo menos, quatro páginas, para o atendimento a idêntico tipo de vizinhança.

A solução, para a organização lógica das células, foi a adoção de uma chave de endereçamento denominada "Peano-key"².

Sua obtenção é feita de maneira bastante simples, bastando efetuar-se o entrelaçamento dos índices de posicionamento da célula, na grade matricial, através de suas respectivas representações binárias. Tal entrelaçamento gera um número (também em re-

presentação binária) que, após a conversão para a base decimal, representa a chave da célula. Por exemplo, seja a célula correspondente à terceira linha horizontal e à quinta linha vertical da grade ((e(i,j) = (3,5)). A "Peano-key", correspondente, será o valor decimal 27 (figura 4).

A Peano-Key poderia, de início, ser considerada uma chave, como qualquer outra, não fossem as características peculiares de distribuição espacial, por ela proporcionadas. Tais características - denominadas "Curvas de Peano"² - podem ser observadas na figura 5, onde é representada uma grade matricial de 8x8 células e suas respectivas chaves.

Com a utilização da "Peano-Key" e com o carregamento de

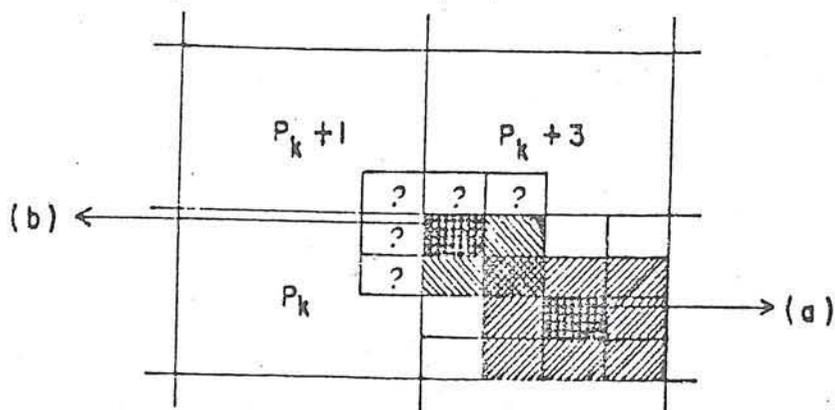


Figura 3 - Análise de vizinhança.

quatro páginas, na memória principal, atende-se a imposição de vizinhança 8, em qualquer célula do Projeto.

A seguir, são descritos os procedimentos necessários à implementação da estrutura de Apoio Celular:

- 1) Definição dos limites do Projeto (abscissas e ordenadas mínimas e máximas);
- 2) Definição da quantidade de células (para as abscissas e ordenadas), tendo-se, a partir daí e em função dos parâmetros do Projeto, as dimensões das células, segundo os eixos coordenados;
- 3) A partir das coordenadas de um ponto qualquer, que se deseje pesquisar, na base de dados, calcula-se a célula, à qual pertence e, a partir dos índices da célula, são determinados sua página e seu endereço ("Peano-Key"), no arquivo que materializa a Estrutura de Apoio Celular;
- 4) Verificação do "status" da página da célula, pesquisando-se as páginas que estejam carregadas, na memória principal, através de uma estrutura de *lista circular*⁴, a fim de realizar seu carregamento, se for o caso;
- 5) A partir do endereço da célula, acessam-se os Elementos

Topológicos, nela contidos, e realizam-se as operações desejadas (pesquisa, inserção, alteração ou exclusão).

Como linha geral de procedimento, sugere-se a adoção de quantidades de células que sejam potências de dois, o que agilizará os cálculos (por exemplo, divisões poderão ser efetuadas através de operações em "bits") e implicará, logicamente, no dimensionamento das páginas ser função de potência de quatro, dadas as características da "Peano-Key".

3. Conclusão

O trabalho, a título de introdução, apresentou conceitos relacionados à Cartografia Automatizada, objetivando situar o contexto no qual a Estrutura de Apoio Celular seria empregada.

Tendo como escopo a apresentação da Estrutura de Apoio Celular, descreveu sua concepção, elegeu a "Peano-Key" como chave de endereçamento de seus registros, face à eficiência proporcionada pela mesma e, finalmente, apresentou os procedimentos necessários à sua implementação.

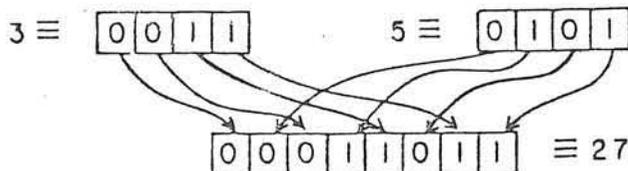


Figura 4 - Geração da "Peano-Key".

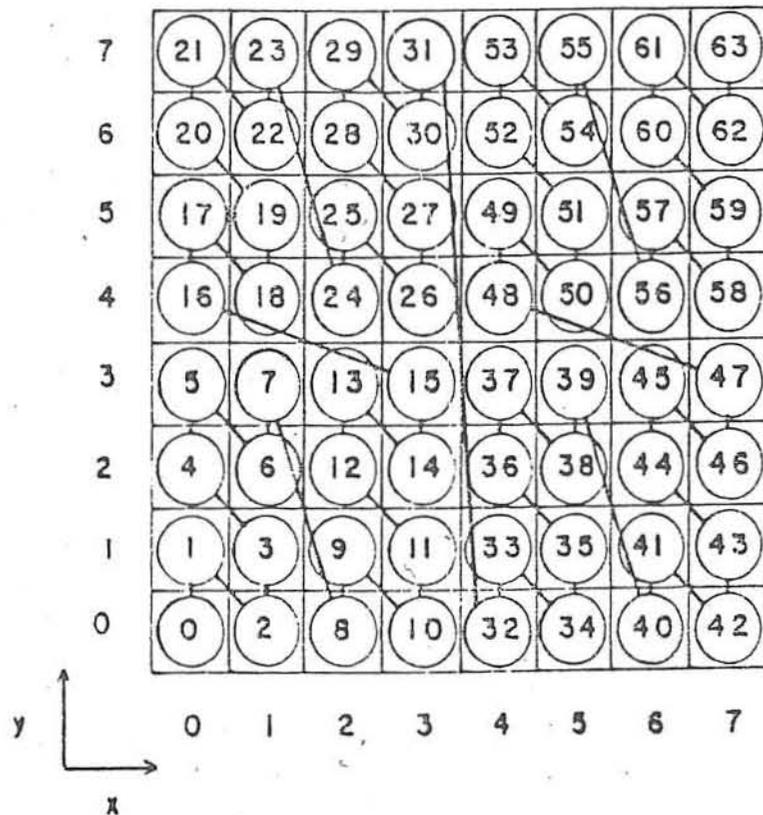


Figura 5 - Relação entre os índices das células e suas "Peano-Keys".

Cabe ressaltar que o dimensionamento da quantidade total de células, do tamanho das páginas e da quantidade máxima das páginas ativas, na memória principal, serão funções do ambiente em que o Sistema de Informações Cartográficas estiver implantado, podendo, inclusive, haver a possibilidade do total carregamento da Estrutura de Apoio Celular, na memória principal. Neste caso, abandona-se o artifício de paginação, o que simplificará a implementação. Entretanto, não há razão para se supor, a priori, que esta possibilidade venha a ocorrer.

A estratégia de se efetuar o endereçamento das células da Estrutura de Apoio Celular, através da função "Peano-Key", está sendo adotada no SIC-IME, um Sistema de Informações Cartográficas, ora em fase de desenvolvimento, no INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA.

Referências

1. TUSCO C. Base de Dados de Um Sistema de Informações Cartográficas. IME, RJ, 1988.
2. LAURINI R. Graphical Data Bases Built on Peano Space-Filling Curves — Eurographics Association, North Holland, 1985.
3. GUPTILL S.C. The Impact of Computer Graphics, Data Manipulation Software, and Computing on Spatial Data Structures, Harvard University, 1981.
4. HOROWITZ E. e SAHNI S. Fundamentals of Data Structures, Computer Science Press, USA, 1982.
5. KOBAYASHI I. Cartographic Databases, Lecture Notes in Computer Science — Pictorial Information Systems, Springer Verlag, 1980.

MODELO CONCEITUAL DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADO AO CADASTRO URBANO

*Ten Cel QEM CRTG Osvaldo Ari Abib
Maj QEM CRTG Claudionor Tusco
Diretoria de Serviço Geográfico*

A atuação desarticulada do Poder Público, no meio urbano, tem resultado num acentuado decréscimo da eficiência dos serviços urbanos, não permitindo que ocorra o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e a garantia do bem estar de seus habitantes.

Uma forma de canalizar os esforços das diferentes áreas de atuação da administração pública é a utilização de um sistema integrado que possibilite o planejamento, o acompanhamento, a avaliação de seus objetivos e o real atendimento dos anseios de seus cidadãos.

Um dos processos, que possibilita ao Administrador Municipal gerir seus recursos segundo esta abordagem, é a implantação de um sistema de Informações Geográficas.

Este trabalho propõe a modelagem conceitual de um Sistema de Informações Geográficas aplicado ao Cadastro Urbano através do modelo Entidade-Relacionamento.

São apresentados os diversos elementos existentes numa base de dados cartográficos e seus respectivos relacionamentos com as informações relativas aos órgãos Setoriais.

A concepção de Sistema de Informações Geográficas e a descrição de seus módulos.

I. Introdução

O Brasil é um dos primeiros países do mundo no que diz respeito à velocidade do processo de urbanização. Nas últimas décadas, inverteu-se o percentual de habitantes no campo e na cidade. Os 70% que outrora habitavam no campo, estão hoje nas cidades.

As grandes cidades têm recebido a maior parte do crescimento da população urbana, sendo que 50% desta população residem em apenas nove regiões metropolitanas. Diante desse crescimento explosivo, os esforços públicos, na orientação do desenvolvimento urbano, apesar da aplicação de investimentos significativos em alguns setores, tais como os de abastecimento de água e de energia elétrica, são superados num curto período de tempo, sendo incapazes de atender às necessidades básicas das cidades.

Desta maneira, os governos, particularmente o municipal, estão sempre a reboque do processo de urbanização, atuando em operações do tipo "Tapa-Buraco" e emergenciais.

Certamente, a atuação desarticulada do poder público no meio urbano, tem resultado no decréscimo da eficiência dos serviços urbanos, não permitindo que ocorra o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e a garantia do bem estar de seus habitantes.

Cabe ainda ressaltar a situação injusta na cobrança de tributos municipais, decorrente da falta de sistematização e atualização de informações. Verifica-se, em muitas cidades brasileiras, que as unidades habitacionais de pequena metragem e situadas em locais pouco valorizados pagam o mesmo IPTU que suntuosas mansões localizadas em pontos privilegiados.

Permanecendo este quadro, deverá ocorrer uma queda significativa da oferta como da qualidade dos equipamentos e serviços urbanos. Sabe-se que a maioria dos surtos de epidemias urbanas são resultantes da carência de saneamento básico e da degradação ambiental, resultantes de uma gerência amadora do meio urbano.

Para reverter este quadro, é preciso tratar a cidade com maior profissionalismo e com instrumentos capazes de contribuir para a identificação rápida de problemas e potencialidades, bem como, efetuar o levantamento de alternativas, em cada situação, a fim de facilitar o dirigente na busca da solução mais adequada.

Preocupado com este problema, o Plano Nacional de Desenvolvimento — PND, vigente, estabelece, dentro do capítulo destinado ao desenvolvimento regional, os seguintes objetivos:

- melhorar a qualidade de vida dos habitantes das cidades, através da ampliação de oferta de serviços básicos;
- estabelecer a participação das populações na organização do espaço;
- impedir o agravamento das condições urbanas do país, mediante tratamento integrado de ações setoriais;
- reduzir desequilíbrios na rede urbana através de promoção de investimentos públicos nas cidades médias e pequenas.

A consecução destes objetivos obriga que se tenha o perfeito domínio das informações da comunidade. O primeiro passo para investir, de forma eficiente, em serviços e equipamentos urbanos, é conhecê-los dentro do contexto da cidade.

Os administradores de metrópoles e aglomerados urbanos necessitam, principalmente, de uma base cartográfica e de parâmetros compatíveis para a articulação de ações espaciais e setoriais, a fim de apoiar, eficientemente, suas decisões.

Talvez o pior dos problemas da administração pública seja a descontinuidade que os projetos governamentais sofrem, por ocasião da substituição dos cargos políticos.

Os constituintes, ao elaborarem a recente Carta Magna, tiveram a preocupação de evitar esta descontinuidade e impedir que se modifique, casualmente, os projetos municipais. No parágrafo primeiro, do artigo 187, do capítulo II, é definido o Plano Diretor como sendo o instrumento básico da política de desenvolvimento e de expansão urbana, devendo o mesmo ser aprovado pela Câmara Municipal.

Evidentemente, não será suficiente, apenas, a elaboração adequada do Plano Diretor municipal, mas também, haverá a necessidade de acompanhar sua execução e propor sua atualização, em consonância com as alterações do município, decorrentes da própria dinâmica da cidade.

2. Fundamentos

2.1. Sistema de Informações Geográficas

Os Sistemas de Informações Geográficas, SIG, são sistemas que surgiram, na década de 60, e foram projetados para adquirir, gerenciar, analisar e exibir dados vinculados a uma determinada posição geográfica.

Um SIG dispõe de dois tipos distintos de dados:

- dados gráficos — que constituem a entidade geométrica, materializada por pontos, linhas e áreas;
- dados não gráficos — que descrevem, quantitativamente e/ou qualitativamente, a entidade geométrica.

Geralmente, um SIG típico realiza quatro funções básicas:

- aquisição;
- atualização;
- manipulação de dados;
- exibição de resultados.

A função de aquisição está relacionada com a conversão de informações analógicas em digitais. A coleta de dados é proveniente de diversas fontes, tais como: fotografias aéreas, ortofotos, levantamentos topográficos, imagens sensoriais, mapas, cartas, relatórios estatísticos e outras fontes de informações, por intermédio de restituidores, ortoprojetores, fitas magnéticas, digitalizadores e entrada de dados via teclado.

A função de atualização consiste na inserção, remoção ou modificação dos dados, sendo, normalmente, realizada através de um Sistema gerenciador de Banco de Dados - SGBD. Comporta as seguintes tarefas:

- armazenamento dos dados;
- recuperação de informações;
- preservação da integridade dos dados;
- controle do processo.

A função de manipulação de dados efetua a análise dos mesmos, extraindo informações que sejam relacionadas, a fim de gerar novas informações que atendam às diversas visões externas, permitidas pelo sistema. Poderá realizar as seguintes tarefas:

- seleção e agregação de informações;
- controle da geometria e topologia;
- conjugação de informações temáticas;
- extração de informações estatísticas.

A função de exibição de resultados refere-se, principalmente, à representação dos resultados dos dados manipulados e poderá ser, exclusivamente, constituída por dados não gráficos.

Cabe ressaltar que o aspecto mais relevante do SIG é obtido através da manipulação entre as mais diversificadas áreas de aplicação, tais como: Sociologia, Economia, Agricultura, Recursos Naturais, Geopolítica, dentre outras.

2.2. SIG Aplicado ao Cadastro Urbano

O cadastro urbano, normalmente, tem sido encarado como o levantamento cartográfico da cidade, ao qual se associa o sistema tributário. Este enfoque é demasiadamente simplista e não

envolve facilidades para o administrador, no sentido de apoiar a gestão urbana através do cadastro multifinalitário.

O SIG, aplicado ao cadastro urbano, tem os seguintes objetivos:

- uniformizar, sistematizar e relacionar todas as informações disponíveis sobre a região;
- gerenciar e analisar as informações, adequando-as às escalas e correlações distintas;
- subsidiar, acompanhar e avaliar o processo de planejamento e investimento;
- identificar as carências existentes;
- ampliar o grau de descentralização da informação, possibilitando seu acesso a qualquer cidadão;
- selecionar e analisar os problemas específicos dos equipamentos e serviços urbanos;
- identificação atual e precisa dos imóveis e serviços tributáveis.

Para atender estes objetivos, o banco de dados deverá conter informações descritivas e gráficas sobre os diversos objetos existentes, tais como rede de água, luz, logradouros, escolas, postos de saúde, lotes, quadras, dentre outras.

Um banco de dados, integrado e topologicamente relacionado, poderá, a partir das análises pertinentes, responder perguntas do tipo:

- quais as áreas mais propícias à urbanização, segundo a atual disponibilidade de serviços e equipamentos urbanos? Quais as que exigiriam mais investimentos?
- O IPTU está sendo cobrado de forma socialmente justa e apoiando as diretrizes do desenvolvimento urbano?
- Quem são os proprietários dos terrenos baldios da cidade?
- Qual o melhor local para instalação de uma escola?

Normalmente, as informações que responderiam estas perguntas levariam algum tempo para serem levantadas, alocariam, também, tempo significativo em sua manutenção e, certamente, teriam que ser, novamente, atualizadas, quando viessem a ser solicitadas, e, ainda, teriam que ser cuidadosamente pesquisadas, para realmente, assessorar a decisão do administrador público.

Este assessoramento poderia ser prontamente realizado, no caso de se dispor de um Sistema de Informações Geográficas Aplicado ao Cadastro Urbano.

Sinteticamente, pode-se inferir que o SIG possibilita simular o efeito do processo P, no tempo T, para um dado cenário C.

3. MODELAGEM CONCEITUAL

3.1 FERRAMENTAS EMPREGADAS

Uma análise do processo evolutivo dos sistemas de informações, mostra uma marcante tendência para sua ampliação e abrangência e, por consequência, o acréscimo das dificuldades de implantação e manutenção do sistema, obrigando a adoção de procedimentos eficientes, no armazenamento e recuperação dos dados, a fim de se evitar a deterioração do sistema.

Os diversos procedimentos de uma empresa, por exemplo, podem ser resolvidos, isoladamente, através das tarefas específicas, tornando-os, totalmente, independentes dos demais. Sob este enfoque, os dados e as tarefas são duplicados, gerando, desta maneira, inconsistência dos dados e tornando a manutenção das tarefas mais dispendiosa.

Para evitar estes problemas, os dados dos diferentes setores da empresa passam a ser integrados em um mesmo conjunto, constituindo um banco de dados.

Denomina-se banco de dados uma coleção de representações da realidade sob a forma de dados interrelacionados, tão coerentes quanto possível, memorizados com uma redundância calculada e estruturada de maneira a facilitar a sua exploração, para satisfazer uma grande variedade de demandas.

A principal característica de um banco de dados é o controle centralizado, isto é, todos os dados relativos a uma mesma organização se encontram sob uma mesma direção e orientação. A adoção deste critério apresenta, dentre outras, as seguintes vantagens:

- preservação da integridade dos dados;
- melhor padronização dos métodos e processos;
- diminuição de conflitos;
- compartilhamento dos dados;
- minimização de inconsistências;
- manutenção de regras de segurança.

A administração dos dados, normalmente, é realizada através de um sistema gerenciador de banco de dados — SGBD, cuja função é descrever os dados, determinar as suas interligações e passá-las para as aplicações.

Para cumprir seus objetivos, o SGBD deve atender, tanto a requisitos inerentes ao BD, como os de uma interface que satisfaça às necessidades do BD. Alguns destes requisitos são:

- assegurar a integridade das informações;
- controlar a redundância;
- manter e permitir o relacionamento dos dados;
- apresentar um bom desempenho;
- oferecer estruturas de dados compatíveis com as necessidades dos usuários;
- manter a independência dos dados;
- controlar o acesso concorrente;
- estabelecer o controle do acesso.

O acesso ao BD, através de um SGBD, normalmente, é realizado por intermédio de linguagens padronizadas, que são caracterizadas por dois módulos distintos:

- Linguagem de Definição de Dados (LDD) — responsável pela descrição e estruturação dos objetos do BD;
- Linguagem de Manipulação de Dados (LMD) — que permite a manipulação desses objetos, através de consultas às informações contidas na base.

Conforme sua origem, estas linguagens podem ser de dois tipos:

- Linguagem embutida ou hospedeira — quando os objetos da base podem ser acessados, através de outra linguagem de alto nível;
- Linguagem autocontida — neste caso, é criada uma nova linguagem, independente, para acessar as informações contidas na base.

Em 1971, com o objetivo de padronizar os diversos aspectos do BD, a CODASYL ("Conference on Data System and Language") estabeleceu, através do ANSI/SPARC ("American National Standards Institute/Systems Planning and Requirements Committee") uma arquitetura abrangente, que atende grande parte das aplicações. Esta arquitetura, conforme esquema apresentado na figura 1, é dividida em três níveis:

- conceitual;
- externo;
- interno.

O nível conceitual descreve a realidade do mundo global dos objetos que estão sendo modelados. este nível é definido pelo Administrador de Dados — AD — que é o responsável pelas informações. Deverá conter as definições das entidades, atributos e seus relacionamentos, bem como prever procedimentos de integridade e segurança.

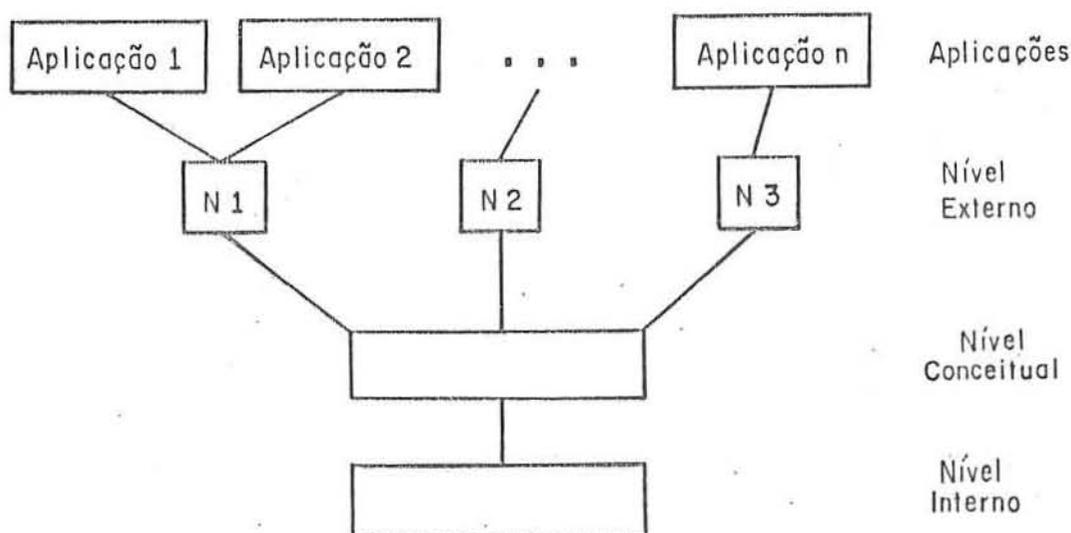


Figura 1 - Níveis de um Banco de Dados

Um dos processos mais utilizados na descrição do modelo conceitual é o Modelo Entidade-Relacionamento, proposto por Peter Chen, em 1976, e estendido por Navathe e Cheng, em 1983. Este modelo é aplicado na concepção, planejamento e implantação de um banco de dados e envolve os seguintes elementos básicos:

- Entidade — tudo que é real e distinto de fato ou de pensamento, por exemplo, mesa, cadeira, rio;
- Atributo — é uma característica da entidade;
- Valor do Domínio — é a ocorrência de um atributo dentro de seu domínio;

Relacionamento — é a associação entre entidades.

Num relacionamento tem-se os seguintes elementos:

- as entidades individuais associadas;
- o nome da associação;
- a direção do relacionamento.

O relacionamento entre as entidades, normalmente, pode ser de um dos seguintes tipos:

- 1:1 (um para um) — por exemplo, no mundo ocidental, cada marido só pode ter uma esposa e vice-versa;
- 1:n (um para vários) — por exemplo, numa empresa, um empregado trabalha num departamento, mas um departamento pode ter vários empregados;
- m:n (vários para vários) — por exemplo, um empregado trabalha em vários projetos e cada projeto pode contar com vários empregados.

O nível externo contém a visão particular de uma classe de aplicação e representa o ponto de vista, específico, de cada usuário, sobre a base de dados. Os responsáveis por este nível são os Administradores de Aplicação (AA), vinculados a cada uma das classes de usuários.

O nível interno, por sua vez, está relacionado à representação física dos dados. O responsável por ele é o Administrador de Banco de Dados (ABD). Neste nível, são definidos os arquivos, as estruturas de dados, os caminhos de acessos, etc.

O sistema gráfico é um conjunto de equipamentos e recursos destinados à implantação de uma aplicação gráfica. O sistema gráfico é a base física necessária à execução das operações inerentes à computação gráfica, que pode ser definida como o processo de criação, manipulação e visualização dos modelos geométricos.

3.2 MODELO PROPOSTO

3.2.1 Abordagens

A modelagem de sistemas de informações, atualmente, é realizada através das seguintes abordagens:

- "top-down" — neste caso, os objetos são as próprias feições geográficas, tais como: rodovias, rios, edificações, etc., sendo representadas, graficamente, através de pontos, linhas ou áreas;
- "botton-up" — sob este enfoque, considera-se como objetos as unidades elementares da representação gráfica (pontos, linhas e áreas), sendo as feições geográficas simples componentes daquelas.

3.2.2 Abordagem Proposta

A abordagem adotada na modelagem conceitual do sistema ora proposto, é uma composição das duas abordagens, anteriormente, descritas.

A abordagem "top-down" é utilizada para representar objetos característicos de uma região urbana, tais como, propriedades, ruas, posteamento, solos, dentre outros.

A representação topológica dos objetos é realizada através da abordagem "botton-up" pelo desmembramento dos mesmos em pontos, linhas e áreas.

3.2.3 Apresentação do Modelo

O modelo do sistema, conforme a figura 2, é composto pelos módulos Componentes e a Base Geográfica, que é associada a um sistema gráfico.

O módulo Componentes é constituído de níveis que agregam objetos com características semelhantes, sendo estratificados em:

- Base — curvas de nível e pontos de apoio;
- Ambiental — elementos relativos ao solo, geologia, vegetação, forma do terreno, hidrografia e outras feições geográficas;
- Engenharia — luz, gás, telefone, hidrantes, água e esgoto, entre outros;
- Planimetria — elementos não incluídos na Base Geográfica, tais como, escolas, hospitais, igrejas, clubes, etc.

A Base Geográfica contém as feições características da ocupação urbana, que constituem as unidades elementares do ca-

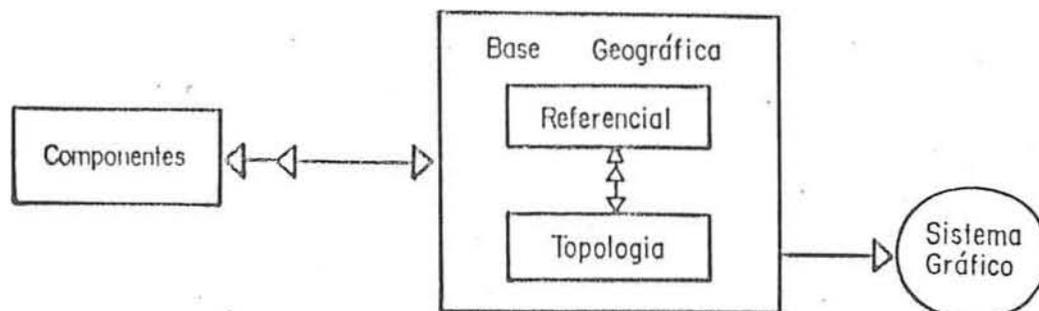


Figura 2 - Esquema do Sistema de Informações Geográficas Aplicado ao Cadastro Urbano

dastró, sendo estruturadas, topologicamente, e representadas, graficamente. Ela é composta pelos seguintes elementos:

- Referencial;
- Topologia.

O elemento Referencial contém as estruturas básicas da ocupação e organização urbanas, sendo constituído pelas seguintes unidades:

- propriedade;
- lote;
- rua;
- quadra;
- bairro.

O elemento Topologia estabelece o relacionamento entre as representações das feições urbanas, através das seguintes unidades topológicas:

- nó;
- arco;
- poligonal.

Nó é definido por coordenadas associadas a um determinado sistema de referência. Destina-se a representar as feições punctiformes, assinalar o cruzamento de feições lineares e definir as extremidades de um arco.

Arco é um conjunto de segmentos contínuos e cujas extremidades são nós. Seus segmentos estão definidos no sistema gráfico.

Poligonal é o conjunto de um ou mais arcos que representam a geometria de feições lineares ou planares. Denomina-se Poligonal Aberta, quando se referir a feições lineares, e Poligonal Fechada, quando estiver definindo o contorno de feições planares. Um caso particular de poligonal fechada é quando a mesma é constituída, apenas, de um arco, cujas extremidades coincidem, recebendo então a denominação de Ilha.

É importante observar que um polígono pode conter mais de uma feição. Por exemplo, no interior de um bosque, poderá

existir rios, lagos, clareiras, dentre outras feições. Deve-se, portanto, subdividir a poligonal fechada em:

- homogênea — constituída por apenas uma feição;
- heterogênea — contém duas ou mais feições.

O Sistema Gráfico, associado à Base Geográfica, geralmente, é constituído de um núcleo gráfico, desenvolvido segundo a metodologia preconizada pelos padrões aceitos, internacionalmente. Ele deverá possibilitar, pelo menos, a representação de ponto e segmento, correspondentes à exibição das unidades topológicas Nó e Arco, respectivamente.

Os elementos do módulo Componentes envolvem uma ou mais entidades, contendo informações descritivas do sistema. O elemento Vegetação, por exemplo, conteria as entidades Árvore (ponto) e bosque (área); o elemento Luz representaria as entidades Ligações (Linha) e Postes (ponto); já o elemento Educação envolveria somente a entidade Escola (ponto).

Não há relacionamento direto entre os elementos do módulo Componentes. Ele é realizado, indiretamente, através do módulo Base Geográfica, seja pelo elemento Referencial ou pelo elemento Topologia.

O conteúdo deste módulo é variável, conforme as necessidades da administração municipal. A maior ou menor quantidade de elementos ditará o tipo de controle que pode ser realizado e as operações possíveis.

As entidades e os atributos dos elementos do módulo Base Geográfica são invariantes.

O modelo Entidade-relacionamento do elemento referencial é apresentado na figura 3, onde se pode visualizar suas entidades e os relacionamentos decorrentes.

Os relacionamentos são do tipo um para vários (1:n), exceto Prop-Lote e Rua-Quadra, que são do tipo vários para vários (m:n), obrigando a criação de arquivos "dummy". Apesar de não terem sido assinalados os atributos das entidades, no caso particular do relacionamento Rua-Quadra, é importante mencionar que

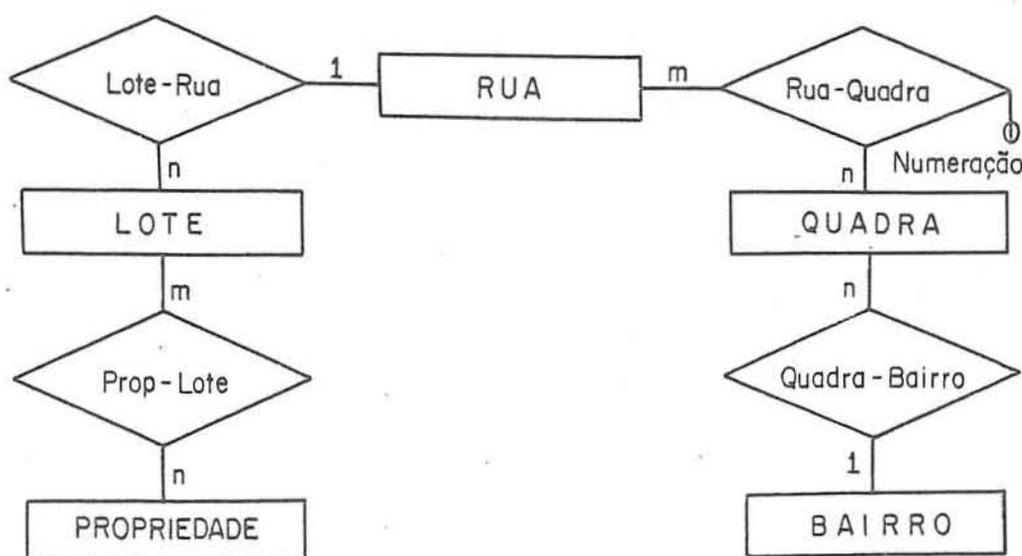


Figura 3 - E-R do Elemento Referencial

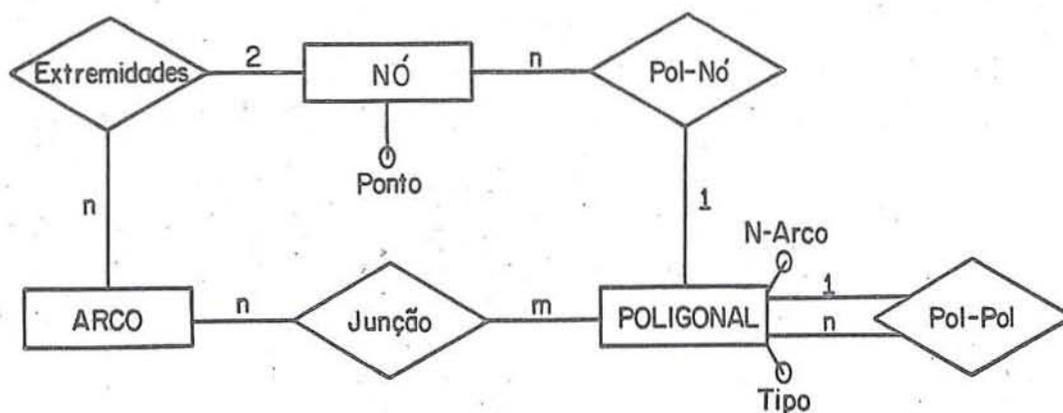


Figura 4 - E-R do Elemento Topologia

um de seus atributos é Numeração, que consiste nos números extremos de uma quadra, em relação a uma determinada rua.

O elemento Topologia compreende as unidades topológicas e as ligações existentes entre as mesmas. Tem a finalidade de estabelecer o encadeamento topológico dos dados digitais, referentes às representações das feições urbanas. É composto pelas entidades Nó, Arco e Poligonal, correspondentes ao mapeamento das unidades topológicas, e pelos relacionamentos Extremidades, Junção, Pol-Nó e Pol-Pol, decorrentes das ligações existentes entre as unidades mencionadas.

A figura 4 esquematiza o elemento Topologia, através do modelo E-R, onde estão assinalados os atributos inerentes a cada entidade.

A entidade Nó é constituída pelo atributo ponto, estrutura que contém os elementos abscissa e ordenada.

A entidade Poligonal é composta pelos atributos:

- N_Arcos — número de arcos que compõem a poligonal;
- Tipo — indica o tipo de configuração da poligonal.

A configuração da Poligonal, resultante da junção de Arcos, poderá ser Aberta ou Fechada, conforme a geometria das feições que estiver representando, seja linear ou planar, respectivamente.

No caso da poligonal ser fechada, deverá, ainda, ser classificada segundo a quantidade de feições que são envolvidas pelo seu contorno; neste caso, é necessário que, pelo menos, uma das feições tenha a configuração plânar. Se a poligonal contiver, apenas, uma feição, será denominada Poligonal Fechada-Homogênea, e se for constituída por mais de uma feição, receberá a denominação de Poligonal fechada-Heterogênea.

O relacionamento Extremidades refere-se às entidades Nó e Arco. Ele relaciona, a cada arco, dois nós, que são as extremidades do arco, e cada nó poderá ser a extremidade de vários arcos.

O relacionamento Junção engloba as entidades Arco e Poligonal. Uma poligonal poderá ser o resultado da junção de vários arcos e um arco poderá pertencer a várias poligonais, caracterizando, portanto, um relacionamento de várias entidades, com várias entidades (m:n).

Os relacionamentos Pol-Nó e Pol-Pol dizem respeito a existência de Ligações entre a entidade Poligonal, quando esta for do

tipo Fechada-Heterogênea, com as entidades Nó e Poligonal, respectivamente. A associação destes relacionamentos é de um para vários (1:n).

Deve-se observar que o relacionamento Pol-Pol é efetuado, somente, sobre a entidade Poligonal. Este tipo de relacionamento deverá ser realizado através de um arquivo "dummy".

4. CONCLUSÃO

4.1 TENDÊNCIAS

O desenvolvimento dos primeiros SIG foram condicionados a uma tecnologia incipiente, não permitindo que tivessem a capacidade de gerar soluções adequadas aos problemas que lhes fossem apresentados.

Face ao surgimento de novos recursos, tanto em "hardware", como em "software", os SIG terão, certamente, um acelerado desenvolvimento, considerando que:

- a constante diminuição da relação custo/capacidade dos computadores e o aumento de sua memória têm possibilitado um armazenamento cada vez maior de informações. Esta característica capacita um SIG a armazenar, simultaneamente, a mesma informação, nos formatos matricial e vetorial e, ainda, efetuar o controle desta duplicidade de dados, a fim de evitar a perda de sua integridade. Em consequência, os acessos às estruturas do banco de dados tornar-se-ão mais ágeis, pois não mais necessitarão realizar as conversões relativas ao formato de armazenamento da informação;
- inúmeras pesquisas vêm sendo desenvolvidas no aperfeiçoamento de equipamentos de câmaras de barrete eletrônico e de varredura ótica, com os correspondentes dispositivos de exibição, permitindo seu emprego em vários tipos de aplicações;
- a proliferação, aliada ao crescente desempenho, dos microcomputadores, tem criado impactos em todas as áreas da computação, permitindo que se desenvolva processos cada vez mais sofisticados. Desta maneira, pode-se afirmar, sem receio, que o desenvolvimento de um SIG é capaz de ser realizado, inteiramente, em ambiente de microcomputador;
- atualmente, grande parte das pesquisas relacionadas a Banco de Dados está orientada para o modelo relacional, em virtude

das facilidades obtidas, ao definir os dados sob a forma de relação. No caso específico de SIG, os trabalhos mais recentes têm adotado este modelo, principalmente por possibilitar grande flexibilidade de análise da informação, através da álgebra relacional;

as pesquisas recentes, na área de inteligência artificial, principalmente, nos setores de sistemas especialistas, reconhecimento de padrões e linguagem natural, têm mostrado sua aplicabilidade em vasto campo relacionado à computação. No caso particular do SIG, alguns sistemas estão sendo desenvolvidos usando técnicas de Inteligência Artificial, para edição interativa e análise.

4.2 DISPONIBILIDADES

Encontra-se, na literatura mundial, uma vasta gama de propostas de implantação de SIG para as mais diversas aplicações. Sistemas, como o proposto neste trabalho, ainda são incipientes, apesar da consciência, cada vez maior, de sua necessidade e importância. Os sistemas mais simples, disponíveis, executam, somente, parte do SIG, evitando a complexidade de operações topológicas e as relacionadas à análise e manipulação.

No Brasil, não existe, ainda, um SIG que atenda a todas as necessidades do administrador urbano, constituindo uma poderosa ferramenta de apoio à decisão colocada à disposição daquele dirigente.

No intuito de justificar a viabilidade da implantação de um sistema, nos moldes do proposto, descreve-se, a seguir, algumas características de "hardware" e "software", disponíveis no mercado interno, que poderão ser utilizados no desenvolvimento do mesmo.

4.2.1 HARDWARE

- Aquisição de Dados — pode ser realizada através da restituição digital (restituidores conectados a microcomputadores), mesa digitalizadora (com formato e resolução compatíveis com a aplicação), Levantamentos topográficos ou Leitura de fitas CCT ("Computer Compatible Tape") relativas às imagens de satélites da série LANDSAT ou SPOT;
- Atualização e Manipulação — neste segmento, encontram-se os supermicros, e microcomputadores com velocidade de processamento e áreas de memórias interna e externa suficientes para atendimento de grande parte das cidades brasileiras, assim como terminais gráficos com a resolução necessária para representação dos diversos objetos geográficos;
- Exibição — este módulo é atendido por "plotter" de pena (com formato e resolução compatíveis com a aplicação), terminais gráficos e impressoras.

4.2.2 SOFTWARE

A necessidade de ferramentas básicas, para o desenvolvimento de sistemas específicos, é contemplada pelos SGBD, geral-

mente relacionais, e núcleos gráficos disponíveis para pequenos computadores. Neste aspecto, é interessante ressaltar que estas duas ferramentas sejam desenvolvidas segundo uma mesma filosofia, a fim de facilitar o seu interfaceamento. Da mesma forma, no desenvolvimento dos aplicativos, é desejável que se utilize uma linguagem hospedeira, compatível com estas duas ferramentas, possibilitando a implementação de um sistema integrado, sem ter de criar interfaces complexas.

Esta é a posição, atual, do cenário brasileiro; de um lado, se dispõe de equipamentos e programas básicos; em contrapartida, encontram-se as reais e prementes necessidades das administrações públicas. O que estaria faltando?

BIBLIOGRAFIA

1. Abib, O.A. — Cartografia Apoiada por Computador — Anais do XII Congresso Brasileiro de Cartografia — 1985.
2. Abib, O.A. — O sistema Geográfico de Informações no Planejamento Urbano — Anais do II Congresso Nacional de Automação Industrial — 1985.
3. Abib, O.A. — Especificações para um Sistema de Cartografia Apoiada por Computador — Tese de Mestrado — IME — 1986.
4. Abib, O.A. — Geoprocessamento como Instrumento de Apoio à Administração Urbana — Anais do XIII Congresso Brasileiro de Cartografia — 1987.
5. Chen, P.P. — The Entity Relationship Model: Toward a Unified View of Data — ACM Transactions on Database Systems — 1976.
6. CODASYL — DBTG — CODASYL Data Base Task Group Report - ACM — 1971.
7. Crain, I.K. e MacDonald, C.L. — Trends in Data Structures in GIS — Nineteenth International Symposium on Remote Sensing of Environment - 1985.
8. dangermond, J. e Freedman, C. — A Conceptual Model of a Municipal Data Base — Basic Readings in Geographic Information Systems — 1983.
9. Date, C. J. — An Introduction to Database System — Addison-Wesley — 1977.
10. ESRI — Environmental Systems Research Institute — Geographic Information Software Descriptions — 1986.
11. MacDonald, C.L. e Crain, I.K. — Applied Computer Graphics in a Geographic Information System-Problems and Successes Graphic Interface — 1985.
12. Moura, A.M. e Abib, O.A. — Banco de Dados Geográficos - Uma Proposta de Especificação — I Simpósio Brasileiro de Banco de Dados — 1986.
13. Navathe, S. e Cheng, A. — Database Schema Mapping, Entity Relationship Approach to information Modeling and Analysis — North Holland — 1983.
14. Tusco, C. — Base de Dados — Um Sistema de Informações Cartográficas — Tese de Mestrado — IME — 1988.
15. Tusco, C. — Sistema de Informações Cartográficas - III Simpósio Brasileiro de Banco de Dados — 1988.

O PROJETO DE AUTOMAÇÃO DA CARTOGRAFIA NO EXÉRCITO

Oswaldo Ari Abib

Introdução

A crescente demanda por informações geográficas atualizadas, associada à grande quantidade de dados fornecida pelos sensores remotos, posicionados em satélites artificiais, gerou a necessidade de outros processos de aquisição, gerenciamento, análise e exibição da informação geográfica, tornando-a disponível, em tempo hábil, e com um nível de atualização compatível.

Por outro lado, a efervescente indústria da Informática tem alcançado avanços tecnológicos significativos, sendo válido inferirmos que, a curto prazo, todas as atividades do ser humano estarão relacionadas a esta Ciência. Dentro deste progresso, na área de Informática, dois setores, entre outros, merecem destaque: a Infografia e o Banco de Dados Geográfico. O primeiro, relaciona-se à aquisição, gerenciamento e exibição de informações geográficas e o segundo cria as estruturas lógicas e físicas necessárias ao armazenamento e recuperação desses dados.

O Sistema de Informações Geográficas (SIG) procura atender às atuais necessidades, relacionadas à informação geográfica, com auxílio da Informática, principalmente, através dos recentes recursos acima citados.

Os sistemas comerciais, disponíveis, em geral, usam estruturas de CAD ("Computer Aided Design") já existentes, fazendo meras adaptações para a aplicação geográfica. Este enfoque contudo, não é eficaz, pois certas características típicas de CAD não se adaptam, perfeitamente, às aplicações geográfico-cartográficas, devido a que, nestas, os objetos são mais complexos e não, geometricamente, definidos, além de que os métodos e algoritmos são distintos.

Desde 1985, a DSG tem atuado no sentido de ver implantado, no âmbito de suas unidades subordinadas, novos métodos e processos de características digitais.

Como conseqüência desses esforços, foi incluído, na programação do triênio 1987/89, o Projeto de Automação da Cartografia — PAC que objetivava a implementação, a curto prazo, da Cartografia Digital, no Âmbito do Exército.

A filosofia de implantação deste sistema será compatível com os princípios básicos de um Sistema de Informações Geográficas, pois prevê-se a possibilidade de aquisição de dados das mais diferentes fontes, o gerenciamento e análise da informação, podendo-se atender a vários tipos de usuários, e, finalmente, o fornecimento destas informações, em diversas formas.

O SIG-DSG está sendo desenvolvido, concomitantemente, às fases de treinamento, desenvolvimento do projeto piloto e sistematização, previstas no programa de implantação do sistema.

2. Fases da Cartografia Convencional

Os trabalhos executados, atualmente, pela DSG seguem os

métodos convencionais, tendo-se, ao final, a carta impressa. As etapas deste processo são as seguintes:

2.1. Cobertura Aerofotogramétrica

As fotografias aéreas, da região a ser trabalhada, são tiradas atendendo-se a critérios técnicos específicos e de modo a que haja superposição entre fotos contíguas, com vistas a possibilidade de visão estereoscópica (terceira dimensão).

2.2. Trabalho de Campo

Nesta fase, são determinadas as coordenadas dos pontos de apoio, necessários ao relacionamento da fotografia aérea com o terreno. Além disso, é realizada a reambulação, que procura eliminar casos dúbios, existentes nas fotos, bem como levantar os nomes dos acidentes geográficos.

2.3. Aerotriangulação

Os pontos, anteriormente, determinados, são densificados em gabinete, fornecendo-se, ao final, no mínimo, quatro pontos, com coordenadas, por par de fotografias.

2.4. Restituição

Colocando-se os pares de fotografias nos aparelhos denominados restituidores e, após o relacionamento dos mesmos, com o terreno, as diversas feições são acompanhadas pelo operador e o seu traçado executado, nas mesas, através das pontas de grafite.

2.5. Gravação

O resultado da restituição é decomposto em tantos plásticos quantas serão as cores da carta. As feições existentes, em cada plástico, são percorridas pelo operador, tornando-se, em conseqüência, um negativo.

2.6. Impressão

Os negativos da fase anterior são responsáveis pela sensibilização das chapas que, nas máquinas 'off set', serão os originais para a impressão em cada cor.

As fases de cobertura aerofotogramétrica, trabalho de campo e aerotriangulação, já há algum tempo, usam o computador como apoio às suas atividades, permanecendo, entretanto, a restituição e a gravação sendo executadas pelos processos convencionais, e às vezes, até artesanal.

A cartografia automatizada veio alterar, profundamente, os processos destas duas últimas fases, seja pela aquisição digital dos dados, seja pela edição e preparação para a impressão, executadas, inteiramente, por computador.

3. PAC — Projeto de Automação da Cartografia

Nos seus 100 anos de existência, a DSG caracterizou-se pelo pioneirismo, no campo cartográfico, suprimindo o Exército com informações relevantes, relativas ao terreno, bem como participando, intensamente, do mapeamento sistemático nacional. Para a manutenção desta posição e frente à necessidade de atendimento premente a outros órgãos do Exército, a DSG precisava, urgentemente, penetrar na tecnologia digital, alterando os seus métodos e processos.

Frente a este quadro, foi remetido, ao escalão superior, um estudo para implantação, na DSG, das técnicas de automação cartográfica. Após estudos pertinentes e o levantamento dos recursos necessários, em DEZ 85, o Projeto de Automação da Cartografia — PAC, foi incluído no Plano Diretor do Exército — PDE, para o biênio 1987-89.

4. CCAuEx — Centro de Cartografia Automatizada do Exército

Ao longo deste período, coube, sinteticamente, ao PAC:

- definição da configuração global do sistema;
- aquisição dos equipamentos selecionados;
- absorção da tecnologia digital.

Paralelamente a estas atividades, verificou-se a necessidade da criação de uma Organização que concentrasse todos os recursos materiais e humanos existentes, que fosse a responsável pela sistematização da produção cartográfica, com a nova tecnologia, e implantasse o SIG-DSG nos moldes propostos neste trabalho.

Estas idéias foram transmitidas ao escalão superior, em diversos documentos, redundando na criação do CCAuEx, no final de 1987.

Em virtude deste fato, as missões atribuídas ao PAC foram incorporadas a esta Organização, inclusive recursos materiais e humanos. Desta forma, coube ao CCAuEX as atribuições de desenvolvimento e sistematização da nova tecnologia.

Para cumprir suas funções, foram fixados, para esta Unidade, as seguintes metas, a serem atingidas a curto e médio prazos:

- treinamento da nova tecnologia;
- desenvolvimento de projeto piloto, composto de:
 - digitalização de cartas topográficas;
 - restituição digital; tratamento de imagem de satélites;
 - processamento de DTM;
 - plotagem.
- especificação do SIG-DSG;
- produção cartográfica automatizada;
- desenvolvimento do SIG-DSG;
- apoio para o desenvolvimento de aplicativos militares;
- exploração do SIG-DSG.

Ao mesmo tempo, estão sendo desenvolvidos três projetos de vital importância para a sedimentação e descentralização dos novos métodos e processos:

- definição de especificações e acompanhamento do Convênio fixado com o INPE, cujos objetivos são os seguintes;
- desenvolver tecnologia em "hardware" e "software" nacionais, visando à substituição futura dos equipamentos importados;

- desenvolver equipamentos portáteis, para serem usados na frente de combate em apoio aos diversos escalões.
- análise dos equipamentos nacionais existentes, visando à aquisição de dados, 'off line', pelas DL.
- definição de especificações para o desenvolvimento de estações de trabalho, portáteis, para atender às unidades militares na frente de combate.

5. Conceito de SIG — Sistema de Informações Geográficas

Os SIG são sistemas que surgiram na década de 60 e foram projetados para adquirir, gerenciar, analisar e exibir dados vinculados a uma determinada posição geográfica.

Um SIG dispõe de dois tipos distintos de dados:

- dados gráficos — que constituem a entidade geométrica, materializada por pontos, linhas e áreas;
- dados não gráficos — que descrevem, quantitativa e/ou qualitativamente, a entidade geométrica.

Geralmente, um SIG típico realiza quatro funções básicas:

- aquisição;
- gerenciamento;
- análise;
- exibição de resultados.

A função de aquisição está relacionada com a conversão de informações analógicas em digitais. A coleta de dados é proveniente de diversas fontes, tais como, fotografias aéreas, ortofotos, levantamentos topográficos, imagens sensoriais, mapas, cartas, relatórios estatísticos e outras fontes de informações, por intermédio de reprodutores, fitas magnéticas, digitalizadores e entrada de dados via teclado.

O gerenciamento consiste na inserção, remoção ou modificação dos dados, sendo, normalmente, realizada através de um Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados — SGBD. Comporta as seguintes tarefas:

- armazenamento dos dados;
- recuperação de informações;
- preservação da integridade dos dados;
- controle do processo.

A análise efetua o exame dos dados que contenham informações relacionadas, a fim de gerar novas informações que atendam às diversas visões externas, permitidas pelo sistema. Poderá realizar as seguintes tarefas:

- seleção e agregação de informações;
- controle da geometria e topologia;
- conjugação de informações temáticas;
- extração de informações estatísticas.

A função de exibição de resultados refere-se, principalmente, à representação dos resultados dos dados manipulados e poderá ser, exclusivamente, constituída por dados não gráficos.

Cabe ressaltar que o aspecto mais relevante do SIG é obtido através da manipulação de seus dados, possibilitando a interação entre as mais diversificadas áreas de aplicação, tais como, Sociologia, Economia, Agricultura, Recursos Naturais, Geopolítica e Militar, entre outras.

A modelagem dos sistemas de informações, atualmente é realizada através das seguintes abordagens:

- "top down" — neste caso os objetos são as próprias feições geográficas, tais como, rodovias, rios, edificações, etc., sendo representadas, graficamente, através de pontos, linhas ou áreas;
- "bottom down" — sob este enfoque, considera-se, como

objetos, as unidades elementares da representação gráfica (pontos, linhas ou áreas), sendo as feições geográficas simples componentes daqueles.

6. SIG — SGE

6.1 Descrição Geral

Tradicionalmente, o SGE tem fornecido ao Exército informações cartográficas pelos métodos convencionais, ou seja, em papel. Além disto, foram realizadas algumas incursões na Cartografia Temática, através da geração de mapas de transitabilidade de blindados, hidrografia, águas subterrâneas e informações militares, entre outros.

Com a introdução de técnicas digitais, procura-se atender as mais recentes necessidades do Exército, além das que já eram normalmente realizadas.

Desta forma, o SIG-SGE, mantendo a filosofia de um sistema integrado, com capacidade de aquisição e exibição de dados pelas mais diversas formas, tem como objetivos:

- agilizar a elaboração e atualização de documentos cartográficos, com melhor qualidade e com maiores confiabilidade, segurança e produtividade;
- apoiar o Estado Maior do Exército, EME, fornecendo-lhe suporte cartográfico compatível com as necessidades da Guerra Eletrônica e do Sistema de Informações Estratégicas;
- apoiar a Secretaria de Ciência e Tecnologia, SCT, fornecendo-lhe suporte cartográfico compatível com o desenvolvimento dos Sistemas de Armas;
- apoiar o Departamento de Ensino e Pesquisa, DEP, fornecendo-lhe suporte cartográfico compatível com as necessidades do Sistema de Ensino, em particular as dos Jogos de Guerra;
- apoiar o Sistema de Instrução, fornecendo-lhe suporte cartográfico compatível com as necessidades dos Simuladores para Adestramento da Tropa.

6.2 Fases

O desenvolvimento de projeto do SIG-SGE está sendo realizado através das seguintes fases:

- Análise das necessidades;
- Definição do Modelo Conceitual;
- Estudo das Ferramentas Disponíveis;
- Definição do Projeto Físico; Desenvolvimento do Projeto Físico;
- Implantação do Projeto Físico;
- Testes de Aceitação;
- Documentação.

6.3 Funções

6.3.1 Aquisição de Dados

A aquisição de dados, no SIG-SGE, será realizada através da digitalização, restituição ou de dados extraídos da interpretação de imagens de satélites.

A digitalização visa a aproveitar as informações analógicas dos documentos cartográficos já existentes. Essas informações serão digitalizadas, através da varredura automática dos originais cartográficos, por intermédio de um "Scanner". Caso ocorram conflitos, nesse tipo de aquisição, esses serão sanados, através da digitalização manual, utilizando-se mesas digitalizadoras.

A restituição, conforme o tipo de equipamento e fotograma, poderá ser realizada, analógica ou analiticamente, no que diz respeito as orientações interior e relativa; já a orientação absoluta será efetuada sempre analiticamente.

Os fotogramas poderão ser provenientes ou de fotografias aéreas ou de imagens de satélites.

Os dados oriundos da restituição serão armazenados, digitalmente, e, sempre que possível, com os símbolos e/ou convenções correspondentes à feição que estiverem mapeando.

Os dados resultantes da interpretação de imagens de satélite, poderão ser utilizados na atualização das informações de áreas já cartografadas ou no levantamento geométrico de áreas de feições, com características peculiares, que irão compor um determinado tema.

6.3.2 Gerenciamento

O gerenciamento, no SIG-SGE, visa a inserir os dados, que foram adquiridos através da digitalização, da restituição ou por intermédio da interpretação de cenas obtidas por sensores remotos, na base de dados, conectando-lhes as informações qualitativas ou quantitativas correspondentes. Essa função deverá ser capaz de efetuar a atualização ou remoção das informações da base de dados, tanto no que diz respeito aos dados gráficos, como também aos dados tabulares.

Os procedimentos relativos à função Gerenciamento, geralmente, serão interativos e serão realizados através de um editor gráfico e de um sistema gerenciador de banco de dados.

6.3.3 Análise

A função Análise, no SIG-SGE, deverá efetuar as solicitações feitas pelos diversos usuários do sistema, por intermédio da linguagem de manipulação de dados do sistema de gerenciamento de banco de dados, extraindo e/ou gerando, dessa forma, as informações correspondentes às diversas visões. Por exemplo, um determinado usuário poderá estar interessado, apenas, na representação gráfica de uma área, dispensando as informações tabulares.

O acesso ao Banco de Dados, em equipamentos com características semelhantes ao do CCAuEx, poderá ser efetuado através de atributos descritivos ou pela indicação da feição, na tela da estação de trabalho.

As visões dos diversos usuários serão representadas, fisicamente, através de uma interface padrão, especificada, conjuntamente, pelo SGE e pelos usuários.

6.3.4 Exibição dos Resultados

O SIG-SGE deverá exibir os resultados, decorrentes da análise, através de documentos cartográficos ou em arquivos, com formato padrão, armazenados em mídias magnéticas.

O SIG-SGE gerará, para cada aplicação, um conjunto de arquivos inerentes à mesma.

Os documentos cartográficos poderão ser cartas produzidas por processos eletrostáticos, fotolitos ou mesmo desenhos cartográficos, gerados através de "plotter" de penas.

6.4 Modelo Conceitual

A modelagem do SIG-SGE foi realizada através da abordagem "top down". O método adotado na descrição das feições geográficas foi o modelo Entidade-Relacionamento.

Visando melhor representar as feições geográficas, com características semelhantes, as entidades foram grupadas da seguinte maneira:

Grupo 1 — Sistema Viário

- 1.1 Rodovias
- 1.2 Ferrovias
- 1.3 Hidrovias
- 1.4 Obras de Arte
- 1.5 Pontes
- 1.6 Terminais Terrestres
- 1.7 Terminais Portuários
- 1.8 Terminais Aéreos

Grupo 2 — Hidrografia

- 2.1 Feições Lineares
- 2.2 Feições Planares
- 2.3 Vaus
- 2.4 Travessias

Grupo 3 — Limites, Marcos e Pontos de Apoio

- 3.1 Limites
- 3.2 Marcos
- 3.3 Pontos de Apoio

Grupo 4 — Áreas

- 4.1 Florestas
- 4.2 Áreas Cultivadas
- 4.3 Áreas Governamentais
- 4.4 Solos

Grupo 5 — Construções

- 5.1 Educação
- 5.2 Saúde
- 5.3 Comunicações não Direcionadas
- 5.4 Comunicações Direcionadas
- 5.5 Água e Esgoto
- 5.6 Postos de Distribuição ou Depósito de Combustíveis
- 5.7 Instalações Especiais
- 5.8 Instalações Militares

Grupo 6 — Emissários

- 6.1 Dutos
- 6.2 Linhas

Grupo 7 — Divisão Política e Geográfica

- 7.1 Municípios
- 7.2 Estados
- 7.3 Regiões

A altimetria não faz parte da base de dados. Ela consta de um arquivo isolado, no formato Modelo de Elevação do Terreno.

As informações, não incluídas na base de dados, somente serão representadas graficamente.

7. Conclusões

O SIG-SGE está, ainda, na fase embrionária e deverá sofrer várias modificações, até atingir um estágio operacional. Atualmente, encontra-se na fase de definição do projeto físico.

Em breve, pretende-se especificar a saída dos produtos que serão gerados pelo SIG-SGE através da adoção de formatos de arquivos padrões, tais como, DLG (Digital Line Graphics), DEM (Digital Elevation Model) e outros que venham a ser estabelecidos pela comunidade cartográfica nacional.

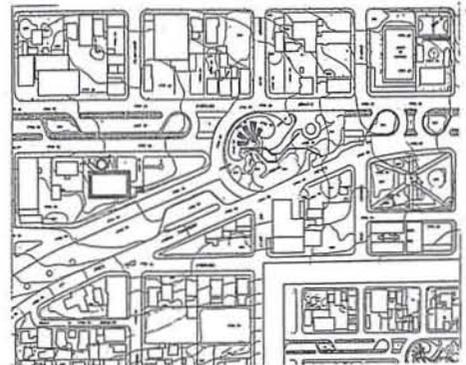
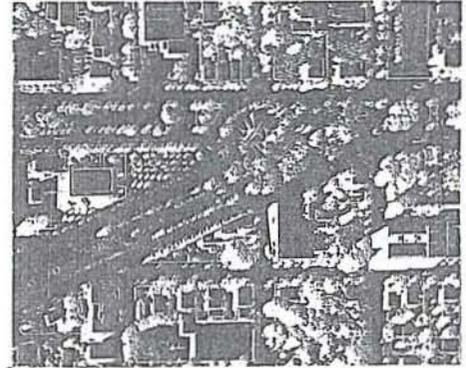
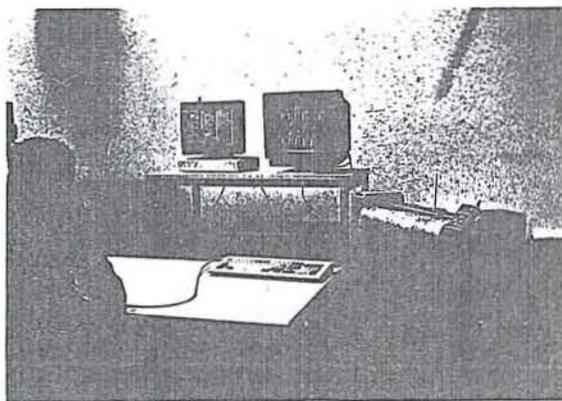
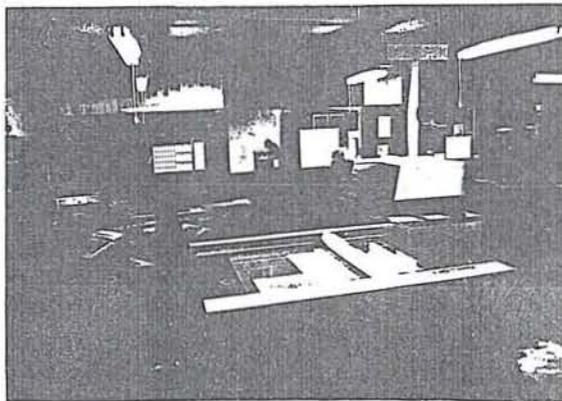
O SIG-SGE deverá, futuramente, incorporar elementos de topologia, a fim de adequá-lo à orientação de objetos.

Visando acelerar o processo de aquisição e exibição de dados digitais, o CCAuEx está recebendo os seguintes equipamentos:

- Scanner/Photoplotter, capaz de digitalizar, automaticamente, por varredura, qualquer documento gráfico, bem como exibi-lo por meio da geração de fotolitos;
- Estação, com capacidade de processamento de imagem de satélite, visando à elaboração de documentos temáticos, assim como atualização de cartas;
- Restituídor analítico, com possibilidade de restituição tridimensional de imagem de satélite da série SPOT.

8. Referências Bibliográficas

1. ABIB, O.A. Especificação para um Sistema de Cartografia Apoiada por Computador, Dissertação de Mestrado, IME, Rio de Janeiro, 1987.
2. CHEN, P.P. The Entity-Relationship Model: Toward a Unified View of Data. ACM Transactions on Database System, 1 : 9, 1976.
3. CRAIN, I.K.; MACDONALD, C.L.; COMEAN, M.A.; RIZZO, B.R. Trends in Data Structures in GIS. 19th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Michigan, 1985.
4. DATE, C.J. Introdução a Sistemas de Banco de Dados, Editora Campos, Rio de Janeiro, 1986.
5. GUPTILL, S.C. The Impact of Computer Graphics, Data Manipulation Software and Computing on Spatial Data Structures, Harvard University, 1981.
6. KOBAYASHI, I. Cartographic Databases, Lecture Notes in Computer Science — Pictorial Information Systems, 1980.
7. TUSCO, C. Base de Dados de um Sistema de Informações Cartográficas, Dissertação de Mestrado, IME, Rio de Janeiro, 1988.



Aerolevantamentos

*Coberturas Aerofotogramétricas
Bases Cartográficas para Projetos de Engenharia
Bases Cartográficas para Cadastro
Cartografia Digitalizada*

Levantamentos Topográficos e Geodésicos

*Posicionamento Geodésico
Apoio Terrestre
Regularização Fundiária e Colonização
Projetos Roda-Ferrovários
Projetos de Linhas de Transmissão
Projetos de Engenharia*

*Sistemas Viários
Pavimentação e Saneamento Básico
Consultoria Técnica
Urbanização*

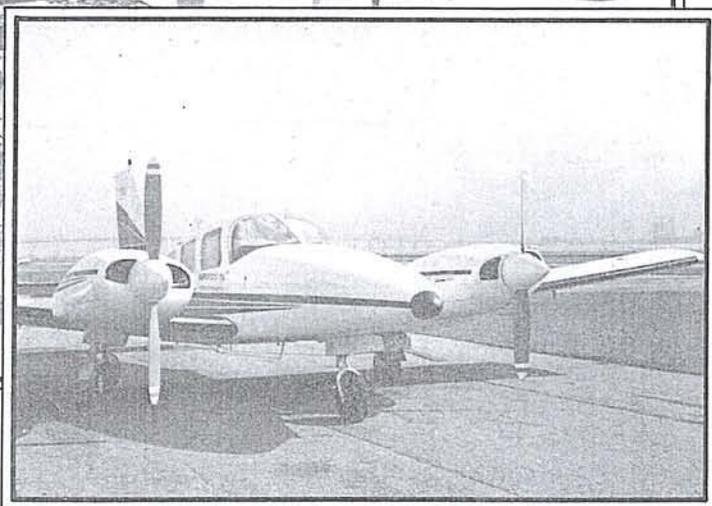
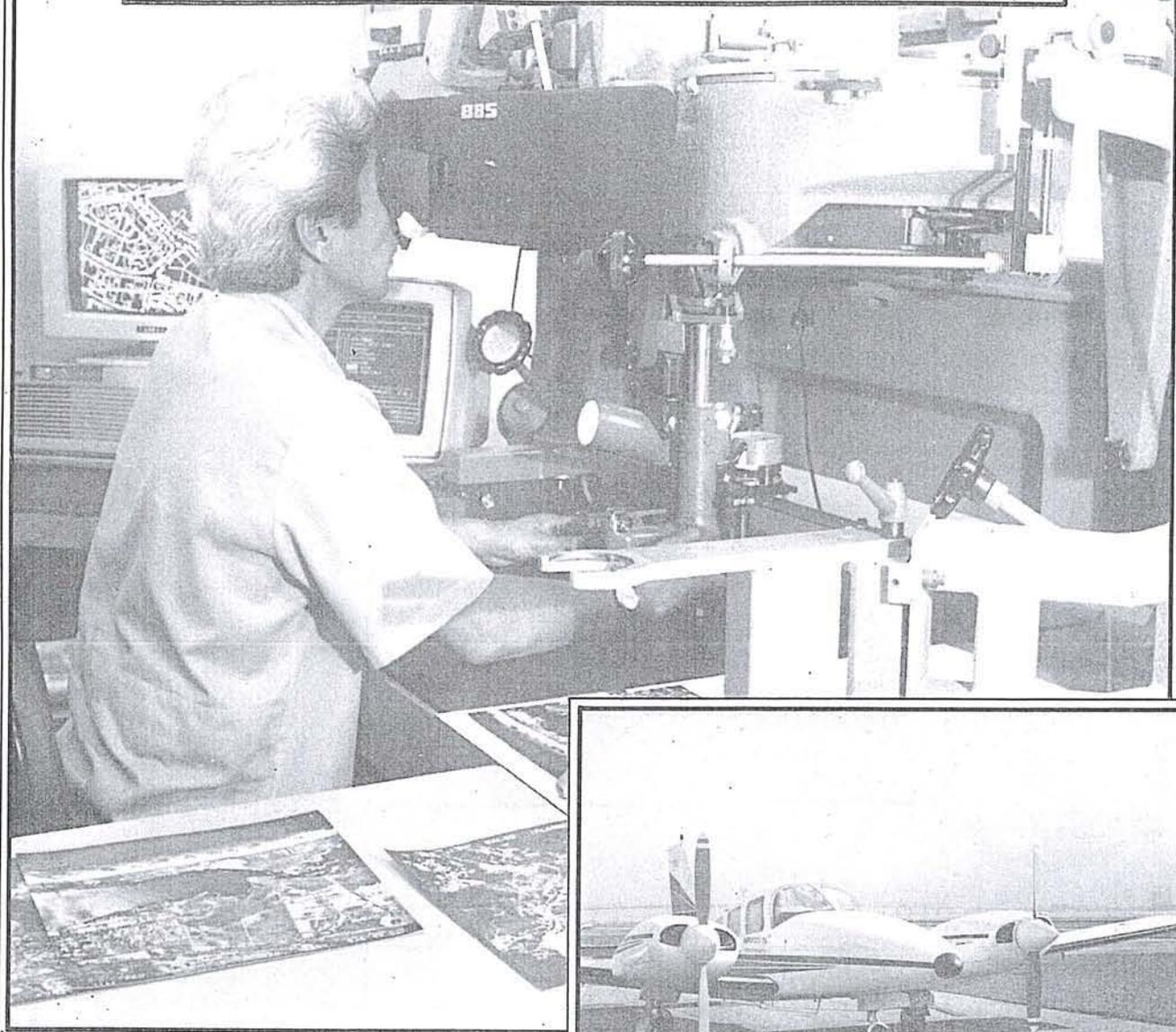
Cadastrros Físicos e Tributários

*Levantamentos e Processamento
Treinamento*

 **ENGEFOTO**
Engenharia de Aerolevantamentos sa.

Rua: Senador Roberto Glaser, 99 Jardim Santa Bárbara CEP 81500
Fone: (041)266 76 71 Fax: (041)266 74 44 Telex: (41)6985
Curitiba — Paraná

NOVO ALIADO CONTRA O CHOQUE DO FUTURO



A mais avançada tecnologia, que em sua memória guarda o agora e incorpora sempre que necessário novos dados, adiantando o futuro.

Há quinze anos especializados em aerofotogrametria, contamos com este novo aliado a nossa dedicação e rigor técnico. Afinal, excelência de serviços é a nossa meta.



AGROFOTO AEROFOTOGAMETRIA S/A
Rua Ramom Franco 99 Urca 22290 Rio de Janeiro
(021) 295-7547 Fax (021) 542-6749 Telex 2133727 AGFT

VÔO FOTOGAMÉTRICO • RESTITUIÇÃO DIGITAL • DIGITALIZAÇÃO DE CARTAS • MAPEAMENTO POR SENSORIAMENTO REMOTO • CARTOGRAFIA APLICADA A PROJETOS DE ENGENHARIA E ESTUDOS DO MEIO AMBIENTE • GEODÉSIA E TOPOGRAFIA



Índice Comercial



ASSESSORIA AOS USUÁRIOS DE CARTOGRAFIA E CADASTRO TÉCNICO

ELABORAÇÃO DE MAPAS TEMÁTICOS E GUIAS

DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS PILOTO DE CARTOGRAFIA DIGITAL

Av.Cândido de Abreu,526 - s/1306B - Tel.:(041)254-7153 - 80530 Curitiba - PR

GEOSAT
PESQUISAS ESPACIAIS

Aplicações de Imagens de Satélite
e de Fotografias Aéreas • Levantamento
e Mapeamento de Recursos Naturais • Análises do Espaço
Geográfico • Diagnósticos Ambientais • Cartografia Temática
Aplicações • Atlas • Mapas Murais.

Praia do Flamengo, 66 Bloco B sala 602
22210 - Rio de Janeiro RJ - (021) 225-4392



ASSISTÊNCIA TÉCNICA DE EQUIPAMENTOS CIENTÍFICOS
DESDE 1958

Distanciômetros: MRA3; MRA101, CA1000, MRAS, CMW20, MRA6, D14L etc.
Rastreadores de Satélites
Equipamentos óticos e eletro-óticos (Níveis e teodolitos)

PRO-GEO REPRESENTAÇÕES LTDA

Rua da Lapa, 180 - SI 1103 - Tel.: 222-0520 20021 - Rio de Janeiro/RJ

zênite

Engenharia e Informática

CADASTRO
AVALIAÇÕES
TOPOGRAFIA
CARTOGRAFIA
INFORMÁTICA
GEOPROCESSAMENTO

Zênite engenharia e comércio de produtos cartográficos Ltda.
Rua Il Sogno di Anarello, 78 - Vila Mariana
CEP 04012 - São Paulo-SP - Tel.: (011) 570-7518



MAP REVISIONING?

WE HAVE THE BETTER SOLUTION



KERN DSR 15

A sua Configuração de Alta Tecnologia para Mapeamento Digital. Com sobreposição de imagens Raster mono ou estereoscópico e sistema de correlação.

O sub-sistema de sobreposição mantém a imagem Raster e permite sobrevoar a imagem inteira independente da densidade de dados adquiridos.

A Imagem é injetada na extremidade inicial do sistema ótico, evitando distorções geométricas por Zoom e rotação através dos prismas Dove.

O sistema KERN de correlação com câmeras de vídeo acopladas ao divisor de raios permite o uso de técnicas de processamento digital de imagens para medição semi-automática da orientação interior, relativa e absoluta, para correlação de altitudes dos modelos digitais de elevação e a geração de ortofotos digitais verdadeiros.