Campus de São Carlos

A TOPOGRAFIA E O
PLANEJAMENTO : COM
ATENÇÃO À METODOLOGIA
AEROFOTOGRAMÉTRICA E SUA
IMPLICAÇÃO AS OBRAS DE
ENGENHARIA E AO ENSINO

Dilvio Del Grande

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

A TOPOGRAFIA E O PLANEJAMENTO

COM ATENÇÃO À METODOLOGIA AEROFOTOGRAFÉTRICA E SUA
IMPLICAÇÃO ÀS OBRAS DE ENGENHARIA E AO ENSINO

DILVIO DEL GRANDE

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA
E E S C — U S P

AVENIDA DR. CARLOS BOTELHO, 1465
CEP 13.560 — SÃO CARLOS — SP

Tese apresentada à Escola de
Engenharia de São Carlos, da USP,
para obtenção do título de Doutor.

SÃO CARLOS
1972

DEDALUS - Acervo - EESC

31100017760

Class.	TESF-EEEC
	1895
Tombo	0017/7.2

At 0713962

AGRADECIMENTO

Não podemos deixar de agradecer ao Eng^o Antonio Augusto dos Santos Nogueira que nos orientou neste trabalho, à Srta. Maria Francisca Perez Matos que o datilografou e a tantos outros colegas incentivadores, pelo que deixamos aqui registrado, o nosso muito obrigado.

Dedicatória

aos meus filhos e à me-
mória do grande mestre
Serafim Orlandi

SUMÁRIO

A - INTRODUÇÃO

B - O PLANEJAMENTO

C - GENERALIDADES SOBRE CARTAS TOPOGRÁFICAS

D - A TOPOGRAFIA - INSTRUMENTO DO PLANEJAMENTO

E - O CAPÍTULO AEROFOTOGRAMETRIA (QUE SE TORNA
UMA CIÊNCIA E UMA "FERRAMENTA DE TRABALHO")

F - INTEGRAÇÃO NO ENSINO

G - CONCLUSÃO

ÍNDICE

Introdução	1
O Planejamento	
Origem	4
Conceito	4
Generalidades sobre Cartas Topográficas	
Preliminares	6
Escala usuais	6
Cartas topográficas	7
Precisões	8
Elaboração das cartas	9
Técnica de preparo para impressão de cartas	9
A Topografia - instrumento do Planejamento	
Origens	14
Evolução	15
A Fotogrametria	15
Instrumento do Planejamento	18
Características específicas	19
O capítulo Aerofotogrametria	19
O capítulo Aerofotogrametria (que se torna uma ciência e uma "ferramenta de trabalho")	
Preliminares	21
Um exemplo	21
O processo aerofotogramétrico	23
Obtenção das fotos	24
Processamento do filme	26
Medição dos pontos de apoio	26
Aerotriangulação	31
Restituição	37
Desenho	43
Reambulação	44
Vantagens	45
A ortoprojeção	47

Aplicações ao projeto de vias de transporte	48
Ante-projeto	48
Projeto	52
Construção	61
Integração no ensino	
Objetivos	63
Programa	63
Conclusão	67
Bibliografia	71

A - INTRODUÇÃO

Dentro das limitações inerentes a um aspecto de tão grande multiplicidade de facetas, tentamos com este trabalho abordar o problema das relações entre a Topografia e o Planejamento (fazer uma perfeita tanto quanto o outro requer), partindo-se da análise dos fatores próprios a cada um, verificando-se posteriormente os possíveis entrelaçamentos que devem estar em jogo para que, a vista dos fins específicos do Planejamento, possam se doar acertadamente as precisões das técnicas a serem empregados pela Topografia, ou seja, planejá-la com metodologia apropriada.

Baseados em um decênio de experiências em que as preocupações foram a rotina e os interesses imediatos; verificando e estudando experiências afins, algumas das quais em disciplinas bem diversas; trabalhando agora na equipe do S.T.T. da Escola de Engenharia de São Carlos, onde categorizados colegas que labutam em firmas de Engenharia de Planejamento contam as dificuldades que advêm da falta de elementos que conheçam novas técnicas e por isso não tem visão mais global, incapazes de escolher o método mais adequado, com escalas e precisões mais condizentes, foi que decidimos elaborar este estudo.

Nos apareceu como solução a necessidade de generalização, mesmo sabendo da impossibilidade de alcançar o todo, pois há também a dimensão da livre iniciativa, que vem através do futuro de forma surpreendente, por cima de toda a técnica e incluindo a mesma.

Falamos então, somente de uma série de diretrizes e metas gerais que são estabelecidas, tendo em conta estratégias globais; essa visão colocada à disposição dos novos técnicos poderá conduzi-los a experimentar, criar e teorizar para que a Topografia, alicerce que é dos projetos de Engenharia, seja digna de confiança e dimensionada na medida exata para cada caso.

Acreditamos assim que tais diretrizes, elucidadas - com um (possível) exemplo real, que terá duas soluções, uma encaminhada pelo método clássico e outra, pelo esquema moderno mais adequado, possam vingar como tentativa de aperfeiçoamento do aprendizado da Topografia, pois o essencial é que, sendo discutidos os resultados decorrentes da utilização de diferentes métodos, sejam determinados os efeitos dos erros nas premissas admitidas e assim encorajadas mais pesquisas, pelas exigências das técnicas modernas - da Engenharia e do Planejamento, refinando e inovando os métodos.

Hoje em dia, a Aerofotogrametria, por exemplo, é indispensável à elaboração dos estudos de:

- a) Diretrizes de vias de transporte
- b) Planos de conjunto de um aeroporto
- c) Planejamento de uma via navegável, seus portos e ligações rodo-ferroviárias
- d) Aproveitamentos múltiplos de bacias hidrográficas:
 - d.1 - Abastecimento de águas à populações
 - d.2 - Diluição de esgotos
 - d.3 - Controle de enchentes
 - d.4 - Aproveitamentos hidro-elétricos - escolha de eixos da barragem - layout geral das obras
 - d.5 - Irrigação e drenagem de grandes áreas de aproveitamento agrícola
 - d.6 - Planos de turismo na região de barragens
 - d.7 - Planejamento da solução de problemas ecológicos de uma bacia hidrográfica
- e) Planejamento urbanístico de novas cidades e ampliação das existentes
- f) Planejamento de sistemas integrados de transporte numa região
- g) Planejamento de saneamento de grandes áreas urbanas e suburbanas.

Fixa-se assim nesse exemplo, a interdependência do Planejamento com a Topografia, trabalho que pretendemos agora - abordar, revendo inclusive os ensinamentos da Cadeira de Topografia no intuito de os reordenar mais didaticamente, à luz das modernas técnicas e suas aplicações, tendo em vista as dimensões e os problemas peculiares de nosso país.

B - O PLANEJAMENTO

B.1 - Origem

O planejamento é encontrado na História desde que o homem utilizou sua inteligência para construir sua civilização. As ciências evoluíram atendendo a cada novo campo de fenômenos que surgiram, intensificando-se a partir do século passado, através de interesses e finalidades divergentes e criaram seus próprios corpos de doutrina e métodos.

No nosso século entretanto, os problemas começaram a adquirir tal complexidade que, isoladamente, cada ciência, cada técnica, tornou-se impotente para resolvê-los. Vemos, por exemplo, o processo de urbanização que agrava a explosão demográfica, provocando uma rápida concentração da população em certas áreas; paralelamente, a revolução industrial contribuiu para o impacto da complexidade crescente de novos processos de produção, novos hábitos de consumo.

As duas grandes Guerras, especialmente a segunda, determinaram a derrubada do individualismo e evidentemente a cada um desses fenômenos corresponde (felizmente) um saldo positivo para a construção da nova civilização, tarefa que desafia ao engenheiro, que deverá modificar a paisagem, o cenário dessa nova ordem que surge.

A 2ª Grande Guerra provocou ainda mais a alteração das técnicas e a evolução das ciências. Agora, novas exigências as pressionam assim como aos seus métodos para uma rápida adaptação. Os instrumentos tradicionais e próprios de cada ciência tornam-se obsoletos. É o caso específico da aerofotogrametria cuja evolução como ciência, através de métodos e equipamentos altamente sofisticados, será lembrada em capítulo subsequente.

B.2 - Conceito

Na sua expressão mais simples, o Planejamento é um pro-

cedimento sistemático e dirigido, através do qual podemos dar - maior eficiência a uma atividade e, nesse processo, não há substitutivo para a larga experiência e o julgamento abalizado dos técnicos. O problema, em muitos casos, consiste em se determinar, nas estimativas das possibilidades, a proporção adequada do critério - de julgamento do especialista, pois em todo o fazer aparecem efeitos não intencionais e imprevisíveis e não queremos nos desligar - da realidade onde, nos países em desenvolvimento, os limites do razoável são necessariamente bem estreitos (seria, p. ex. ir além - destes limites, falar da determinação de uma relação de elasticidade de preço-demanda para água de abastecimento, em uma região onde a metade da população ainda não dispõe desse conforto).

Um bom planejamento requer estudos básicos relativamente completos e o nível desses estudos deve ser elevado de tal forma, que os dados factuais adotados nas decisões sejam o mais - completos e precisos possível e o que propugnamos é que, com os recursos da técnica e a capacidade dos técnicos é possível chegar-se ao resultado desejado em tempo relativamente curto e sem dúvida, os métodos serão cada vez mais aperfeiçoados, mas o essencial, entretanto, é que sejam discutidos os resultados decorrentes da utilização de diferentes métodos.

A Ciência, a Tecnologia e a Inteligência Humana conduzem o Homem a uma fase histórica da nossa Civilização, quando então, o difícil passa a ser rotina e o impossível realizável.

C - GENERALIDADES SOBRE CARTAS TOPOGRÁFICAS

C.1 - Preliminares

Uma das bases fundamentais onde se apoia o Planejamento e a Planificação do desenvolvimento socio-econômico de um país, reside na disponibilidade de Cartas Topográficas.

Elas, constituem então Pré-requisito, devendo anteceder aos diversos planejamentos, sendo também essencial que sejam elaboradas de maneira sistemática.

De fato, nenhuma nação tem condições para progredir, rápida e ordenadamente se não contar com documentos cartográficos - de qualidade que expressem com precisão e adequadamente a feição de todo o seu território.

C.2 - Escalas usuais

Tendo em vista a finalidade "elaboração e preparação de cartas, projetos e outras formas de expressão" é necessário que aqui especifiquemos os mais importantes tipos de cartas de acordo com a escala, segundo Ceurio de Oliveira, do I.B.G.:

- a) muito grandes (de 1:500 a 1:5.000);
- b) grandes (de 1:10.000 a 1:20.000);
- c) médias (de 1:25.000 a 1:250.000);
- d) pequenas (de 1:500.000 a 1:1.000.000);
- e) muito pequenas (menores que 1:1.000.000).

As cartas em escalas muito grandes, também chamadas - plantas, destinadas ao cadastro, às obras de urbanismo, aos projetos de barragens, aos traçados de vias de transporte etc., são de extraordinária precisão geométrica e permitem a representação dos objetos em suas dimensões reais reduzidas à escala.

As cartas em escalas grandes, são destinadas aos (ante) projetos e estudos necessários às obras públicas, à produção industrial e constituem as cartas de base na maioria dos países de-

envolvidos, sendo também de notável riqueza de detalhes e de grande precisão geométrica.

As cartas em escalas médias, cobrindo superfícies mais extensas, substituem na maioria dos países em desenvolvimento, as cartas de base, pois que também podem dar uma boa representação geométrica.

As cartas em escalas pequenas, com os mais diferentes usos entre nós, podem ser adotadas (dentro do rigor possível) como cartas de base de extensas regiões de rala densidade demográfica, como o Centro-Oeste e o Noroeste Brasileiros, e são também o fundamento para as cartas temáticas.

As cartas em escalas muito pequenas, são destinadas a todos os trabalhos que requerem uma larga visão de conjunto de todo um país ou mesmo continente, sem garantia de precisão quanto à locação de objetos, que figuram por meio de símbolos e cores.

Teremos então as plantas, as cartas em escalas grandes e as em escalas médias, as quais chamamos de topográficas e as demais que chamamos de geográficas, as quais fogem ao escopo do nosso estudo.

C.3 - Cartas topográficas

Para o seu preparo necessitamos do original topográfico, que é o desenho topográfico, obtido por compilação e fotogrametria, pela operação denominada de restituição.

Para as escalas de 1:10.000 até 1:25.000, podem ser utilizadas fotografias em escalas de 1:25.000 até 1:40.000; para se obter boa precisão geométrica é necessário um apoio terrestre de pontos geodésicos plani-altimétricos e, uma restituição em aparelhos ditos de 1ª ordem; a compilação dos dados não obtidos pela foto-interpretção, como detalhes encobertos, nomes e atualização de estradas, rios etc., divisas territoriais, é feita através da operação de campo denominada de reambulação.

Para as escalas seguintes, 1:50.000, 1:100.000 e 1:250.000, são usadas fotos em 1:60.000, 1:70.000 e 1:100.000; a precisão geométrica é garantida por um apoio terrestre de pontos, amarrados à rede fundamental de 1ª ordem, sendo que a restituição pode ser realizada em restituidores simplificados de 2ª e de 3ª ordem.

A título ilustrativo, transcrevemos as áreas cobertas (paralelos e meridianos), dentro dos padrões de desenho, pelas várias escalas das cartas topográficas:

- a) 1:250.000 - área de $1^{\circ} \times 1,5^{\circ}$
- b) 1:100.000 - área de $30' \times 30'$
- c) 1:50.000 - área de $15' \times 15'$
- d) 1:25.000 - área de $7'30'' \times 7'30''$
- e) escalas maiores - geralmente área de 594×841 mm (formato A1 da ABNT).

C.4 - Precisões

No que diz respeito aos graus de precisão podemos resumir:

Altimetria - noventa por cento das elevações determinadas a partir das linhas contínuas das curvas de nível da carta topográfica, deverão ter uma precisão de pelo menos meio ($1/2$) intervalo de curva em relação à elevação real e os 10 % restantes - das elevações devem apresentar um erro máximo de um intervalo de curva do nível; com relação às cotas plotadas a precisão é 2 vezes maior.

Planimetria - a precisão planimétrica de uma carta topográfica é dada pelo produto do erro de graficismo (0,2 mm) pelo denominador da escala da carta.

Vemos então, que a escolha acertada de uma escala para o desenho deve atender:

- 1ª) a extensão do terreno a representar comparada com

as dimensões do papel que vai receber o desenho;

2ª) a natureza e a quantidade dos detalhes que devem ser representados com clareza e precisão;

3ª) a precisão do processo empregado no levantamento.

O chavão de que "mede-se o adiantamento de um país pelas Cartas que possui", encerra a verdade, que estamos aptos a encontrar com os recursos técnicos e humanos que possuímos.

C.5 - Elaboração das cartas

Atendidas as condições de precisão do método de levantamento aplicado e escolhida a escala conveniente do desenho, resta impor que o trabalho resultante, o original cartográfico, preencha também os requisitos de precisão adotados.

O material básico que atende hoje em dia as características de exatidão para o desenho é um plástico de base poliéster (CRONAFLEX DRAFTING FILM), estabilidade dimensional, alta resistência ao tempo, e grande capacidade de receber inscrições dos mais variados tipos.

Vamos descrever a título ilustrativo, um método de gravação, de grande precisão e rendimento, chamado "Scribing Method" ou seja, a gravação dos traçados por meio da "riscagem" da camada opaca de um plástico de base poliéster (RUST SCRIBE COAT FILM), - que é o chamado fotoplástico.

C.5.1 - Técnica de preparo para impressão de cartas.

O original topográfico é fotografado por contato, sendo obtido um negativo, que vai dar origem a quase todas as fases até a impressão.

O negativo do original é usado para o transporte fotográfico nos fotoplásticos, sendo obtidas 4 cópias para gravação em Scribe, uma para o azul (linhas de hidrografia), uma para o sépia (hipsografia, barragens de terra, cortes, aterros etc), uma para o preto (quadriculagem, traçados e elementos artificiais)

e uma última para as linhas de contato de vegetação, que servirá - para obter as máscaras de vegetação.

Além disso, tiramos 4 cópias em material plástico peliculável denominado SENSITIZED PEEL COAT, que serão as máscaras para as possíveis cores do desenho: máscara do vermelho, copiada fotograficamente da gravação do preto e utilizada para classificação das rodovias e áreas densamente edificadas; máscara do azul-claro, copiada da gravação da hidrografia e utilizada para as áreas cobertas de água; máscara do verde, copiada da gravação dos contatos da vegetação, classificando os seus vários tipos; as vezes também, uma para o relevo sombreado e para os rochedos.

A gravação processa-se diretamente; a camada do Rust-Scribe filme é gravada com instrumental apropriado: usando-se "carrinhos" (gravadores SWIVEL-GRAVER e RIGID-GRAVER) com lâminas e agulhas de diversas espessuras, que deslizam sobre o plástico - por meio de rolamentos, e são equipados com lupas; para a gravação das convenções e símbolos, utilizam-se pequenos gabaritos.

As máscaras no PEEL COAT são preparadas facilmente por meio do levantamento (descolagem) da película dentro do contorno marcado para a coloração, obtendo-se assim as áreas desejadas.

Passamos depois a prova dos negativos; com os fotoplásticos (Scribe Coat) e as máscaras (Peel Coat) é feita uma prova que é a reunião desses elementos já nas cores definitivas; - essa prova é feita sobre um plástico branco opaco (LOFTRITE OPAQUE) aonde, por processo químico, são expostos os negativos, obtendo-se a prova para verificação.

É bom de se ressaltar que, após cada operação do método, deve-se fazer uma verificação imediata ainda no setor de trabalho; assim haverá tantas verificações quantas forem as fases de trabalho.

Posteriormente, temos a fixação de topônimos que

é feita numa folha plástica transparente, colocada sobre a prova, que será a folha de Nomenclatura, onde além dos topônimos (nos tamanhos apropriados) colados horizontalmente, com exceção dos rios e serras, estão também os elementos marginais e de rodapé.

Passa-se finalmente a uma verificação geral, onde verificamos na prova dos negativos: a fidelidade ao original - topográfico, a obediência às convenções topográficas, a correta - densidade das linhas, a perfeição do registro entre os vários elementos e o ajustamento (sobreposição) com as demais folhas do projeto; na folha de nomenclatura: a fidelidade à minuta (dados coligidos), a obediência às leis da ortografia, e a exatidão do registro, verificando-se também as redes de projeção, título e sub-títulos, elementos marginais e rodapé.

Depois de feitas as correções necessárias a folha de nomenclatura é fotografada por contato, 3 vezes, para termos 3 negativos selecionando-se uma cor para cada um: azul (nomes hidrográficos), sépia (para as cotas das curvas de nível e altitudes) e, preto (para os nomes de cidades, serras, cotas plotadas - etc).

Realiza-se uma prova final, repetindo-se a mesma operação da primeira prova e acrescentando-se os 3 negativos - nas respectivas cores.

Temos assim, um "check-up" final e uma, orientação para os trabalhos de impressão, onde será utilizado o sistema "off-set" que, para uma tiragem pequena, que usa o fotolito de albumina e bastam, para isso, os originais cartográficos em negativo e, se quisermos uma tiragem elevada, é aconselhável o uso de fotolitos gravados, acarretando mais uma fase que é a transformação dos originais cartográficos negativos em positivos.

Segundo o I.B.G. (Fernando A. Moites) esse trabalho é realizado em 424 homens/hora, assim distribuídas:

80 horas - organização da minuta
200 horas - gravação e seleção
96 horas - fixação de topônimos
24 horas - verificação
24 horas - trabalhos complementares

Se, só com trabalho objetivo e organizado, conseguiremos resolver o problema em curto prazo, vemos que a uniformização de métodos e sistemas, a racionalização e o uso de técnicas atualizadas devem constituir as idéias básicas para a produção sistemática de cartas topográficas.

PREPARO PARA A IMPRESSÃO DE CARTAS TOPOGRÁFICAS

D - A TOPOGRAFIA - INSTRUMENTO DO PLANEJAMENTO

D.1 - Origens

A Topografia é uma ciência aplicada que estuda os instrumentos e os métodos necessários à representação gráfica de uma parte da superfície terrestre; essa idéia da representação dos detalhes do terreno é, provavelmente, tão antiga como o é a escrita; as indicações de natureza cartográfica contidas em documentos da era Antes de Cristo são tão rigorosas e perfeitas, que tem servido de base a não poucas pesquisas históricas e paleontológicas.

Na evolução humana através do tempo e do espaço, o homem deixa a marca de seu conhecimento do lugar onde vive, seja desenhando na areia molhada, nas paredes de uma gruta, numa tabuleta de barro ou num manuscrito zelosamente guardado; vai desenhando, portanto, gráficos de sua passagem pelo mundo.

Toda movimentação humana implica num novo espaço, desconhecido e virgem e como fiel testemunha da História, estão as cartas, que o Homem, inicialmente, escrevia a si próprio para reencontrar um antigo caminho ou para ter consciência de que aquilo representado era seu, estava à sua disposição, e paulatinamente, passou às diversas interpretações do planeta, e ajudou a plasmar a Terra para, posteriormente, modificar os mapas representativos ao projetar cidades e caminhos sobre a própria carne da Terra, ou ao mudar curso dos rios, conquistar terrenos ao mar, eliminar montanhas ou transformar desertos em jardins.

A primeira referência cartográfica histórica vem da Suméria - cujo povo aplicou seu esforço na vida do intelecto - onde foi encontrada uma placa de barro cozido, cuja origem remonta ao ano 2.500 A.C., na qual se representa o lado setentrional da Mesopotâmia, cruzado pelo rio Eufrates e onde os pontos cardeais estão indicados; encontramos também, o "mapa" ou "plano dos Campos Elísios" no "Livro dos Mortos" dos egípcios, sobre medição e partição de terras.

D.2 - Evolução

Depois do impulso inicial dado pelos egípcios (sobre as ciências em geral), aparecem os gregos com Alexandre Magno, que se fazia acompanhar sempre em suas conquistas, por agrimensores e cartógrafos (como também o faria Bonaparte, acrescentando geógrafos e topógrafos); na Renascença encontramos os árabes bem avançados nesse campo, com o aparecimento do Astrolábio, o primeiro instrumento de medida angular e de navegação astronômica; assim surgem: o Nô - nio (1542); Mercator e o primeiro sistema de projeção matemática - (1554); Galileu e a 1ª luneta (1609) culminando com a pedra basilar da medição geodésica - o Teodolito (construído por Ramsden em 1787).

A base matemática desses estudos tem também notável incremento; o geógrafo grego Eratóstenes (270 a.C.) calculou com exatidão a circunferência terrestre partindo das seguintes observações: conhecendo a distância entre Assuan e Alexandria (5.000 estádios) que supoz estarem sobre um mesmo meridiano, verificou também que as distâncias zenitais do sol no solstício de verão eram desiguais, ou seja, o sol não projetava sombras em Assuan (junto ao trópico do Cancer) e, em Alexandria aparecia uma sombra correspondente a um ângulo de $7^{\circ}12'$ ($1/50$ da circunferência); esse ângulo era igual ao formado pelos raios terrestres que passavam pelas cidades, resultando daí o comprimento do meridiano igual a 250.000 estádios, cuja unidade equivaleria a 185 m, o que fornece um resultado ($46,25 \times 10^6$) onde o erro existe devido à imprecisão do instrumento de medição, mas a metodologia se mostra perfeita para a época.

As medições de arcos de meridiano, agora no século XVIII deram origem ao primeiro sistema de unidades cientificamente elaborado que é o sistema métrico decimal.

D.3 - A Fotogrametria

Os aperfeiçoamentos da mecânica de precisão introduzidos,

Câmara adaptada ao cesto
de um balão captivo, 1894.

Prancheta fotográfica de 1858

Fototeodolito
da Wild

a fotogrametria aérea

assim como os progressos realizados na parte ótica dos instrumentos, na leitura dos ângulos e nos extraordinários aperfeiçoamentos, da fotogrametria terrestre e aérea, deram à Topografia o valor que realmente tem como ciência e como técnica, no levantamento preciso do terreno e na sua representação gráfica equivalente.

O progresso da aviação combinado com os avanços da técnica fotográfica a partir da 2ª guerra, fizeram com que os Estados Unidos, em poucos anos, fotografassem quase 1/3 das terras do nosso planeta. Como diz o historiador cartográfico Crone, é a câmera fotográfica hoje, "o principal instrumento do topógrafo" para determinar a face da Terra; vamos mais além, pensando no "verdadeiro, fidedigno e representativo Universo de Papel" que pode ser executado através das fotografias que chegam das câmeras fotográficas dos satélites artificiais e com o qual, o homem passa a ver com os mesmos olhos que o afortunado astronauta.

D.4 - Instrumento de Planejamento

No Brasil, país de dimensões continentais, em fase de desenvolvimento acelerado, só poderemos domar esse desenvolvimento, ou seja, planejá-lo, adequadamente, se fornecermos o seu elemento básico - a área de estudo - no menor tempo possível e com as mais altas condições de precisão e economia, sendo isso conseguido através da Fotogrametria, que abrange rápida e precisamente grandes extensões, e que somente se serve dos métodos topográficos clássicos para auxiliá-la no estabelecimento do arcabouço geométrico do relevo e no levantamento complementar de detalhes encobertos à câmera.

Os instrumentos que permitem orientar as fotografias e obter medidas rigorosas delas e ainda, confeccionar o original topográfico (a restituição), a medição eletrônica de distâncias e o processamento dos dados através da computação eletrônica, completam (até hoje) o esquema planejado pela aerofotogrametria, para que seja realmente um instrumento eficaz de Planejamento que o

nosso país necessita.

D.5 - Características específicas

Resumimos agora as principais características do levantamento fotogramétrico:

- a) possibilidade de abranger e estudar grandes superfícies de territórios ao mesmo tempo;
- b) recolhimento de informações de zonas inacessíveis às operações de campo;
- c) não precisa tocar o que vai ser medido;
- d) rapidez em obter o material básico de investigação;
- e) permite a medição em condições mais favoráveis;
- f) o custo de investigação é reduzido;
- g) permite a permanência do dado registrado;
- h) permite repetir medidas quantas vezes desejar.

Vemos assim, como o esquema vai sendo conduzido em direção a Fotogrametria, que surgiu com o início do século, revolucionando os métodos clássicos e tradicionais de levantamento, com a associação da câmera fotográfica aos instrumentos de orientação - (Fototeodolito) e, nas vistas tomadas, com a execução de medidas rigorosas (Estereocomparador) e também o com seu desenho (Estereo autógrafo).

D.6 - O capítulo Aerofotogrametria

Pela existência nas fotografias de áreas em ângulo morto, o levantamento fototopográfico ficou em 2º plano até o desenvolvimento da aviação, que proporcionou implantar novos métodos, vivendo-se hoje a era da "espaço fotogrametria".

As condições preenchidas para que a Aerofotogrametria se transformasse no instrumento do Planejamento, Cartografia etc., - foram:

- 1 - fotografias obtidas com a técnica da "fotografia vertical".
- 2 - máquinas fotográficas métricas e isentas de distorção
- 3 - filmes fotográficos estáveis e com poder resolutivo dentro das especificações do menor limite de detalhe a ser identificado
- 4 - aparelhagem capaz de transformar essas fotografias em cartas topográficas que atendam as condições de precisão exigidas.

E. - O "CAPITULO" AEROFOTOGRAMETRIA (QUE SE TORNA UMA CIÊNCIA E E UMA "FERRAMENTA DE TRABALHO").

E.1 - Preliminares

Um "slogan" que logo sugeririam as firmas de propaganda: "Nunca foi tão fácil obter cartas topográficas boas e baratas; é só pedir para a Aerofotogrametria que ela resolve o seu problema por mais difícil que êle se apresente".

A questão de se saber se a Aerofotogrametria pode ser usada em um trabalho, é um assunto muito mal enfocado; pensando-se na atual estágio da técnica, a pesquisa gira em torno de se saber qual a precisão requerida, para precisar o quanto custa esse grau de precisão, conseguindo-se desse modo um compromisso equilibrado; ainda mais, depois da fase de implantação da nova técnica, ou seja com a rotina, os custos tendem a diminuir; o procedimento adequado em cada fase do trabalho, tendo em vista a diminuição do trabalho de campo (mais oneroso) reflete não o "fazer custe o que custar", mas sim, sintetiza o escopo final da Engenharia.

E.2 - Um exemplo

Para que se possa ter idéia das possibilidades da aerofotogrametria, relatamos, embora de forma sucinta, um exemplo de aplicação em obra de engenharia civil - O Pequeno Anel Rodoviário de São Paulo (que atravessa áreas intensamente povoadas da capital) - numa escala de projeto de 1:500 com curvas de nível de 0,5 em 0,5 m (inérita no Brasil, em termos de aerofotogrametria e restituição).

Os estudos preliminares de escolha de diretrizes foram executados, em fotografias aéreas na escala - 1:25.000, através - de estereoscópios de espelho que além da topografia, equacionaram o estudo da geologia de superfície e da hidrologia. Foi então montado um mosaico (não controlado) com as diretrizes provisórias, para que fosse efetuado um vôo para obtenção de fotos (escala - 1:8.000 com câmera de distância focal de 152 mm) para restituição

com o Esterocartógrafo (tipo A-8 da Wild) na escala 1:2.000 com - curvas de nível de 1,0 em 1,0 m; o aparelho satisfaz plenamente as condições de precisão impostas.

Nessas plantas em escala 1:2.000 foram feitos todos os estudos para elaboração do ante-projeto sendo definidos todos os elementos básicos para o projeto definitivo (diretriz, largura e nº de faixas, raios de curvas, rampas, obras de arte, etc.).

Com o ante-projeto detalhado, tendo em vista ainda as - precisões requeridas pelo projeto, foram feitas as especificações (e os termos contratuais) para a execução dos serviços completos - de levantamento aerofotogramétrico e de restituição para o projeto final que, resumidamente, constaram do seguinte:

a) - Fotos aéreas verticais na escala 1:2.500, tiradas com filmes pancromáticos, com área de imagem 23 x 23 cm, através - de câmera aérea com "single-lens", grande angular, de distância fo - cal de 152 mm. Na realidade há outra opção (imagem de 18 x 18 cm - com câmera de lente normal de distância focal de 210 mm, mais indi - cada para levantamentos cadastrais) embora com limitação da preci - são altimétrica.

Cabe aqui lembrar que o produto do voo - a foto é o elemento chave da aerofotogrametria e a sua obtenção, se cerca - de um planejamento todo especial (ocasião propícia para o voo, ti - po de avião, de câmera, de filtro, de filme e do seu processamen - to) afim de que a imagem defina de maneira perfeita, as condições de precisão requeridas.

b) - Mapas topográficos na escala 1:500 com curvas de nível de 0,5 em 0,5 m.

c) - Cópias fotográficas de contato, foto-índice das fo - tografias e das cópias (na escala 1:10.000), foto-mosaico não con - trolado (na escala 1:2.500), além de cópias positivas transparen - tes dos mapas acabados e um mapa índice geral.

A precisão requerida para o controle do projeto -

foi a de 2º grau que admite os seguintes erros máximos:

- distâncias horizontais não corrigidas = 1:10.000;
- ângulos horizontais não corrigidos (Poligonais) = $10'' \sqrt{N}$;
- ângulos horizontais não corrigidos (Fechamento de triângulo) = $5''$;
- distâncias verticais não corrigidas = $8,4 \text{ mm } \sqrt{K}$;

tendo sido, para garantia dessas condições, executada uma rede de apoio básico cuja precisão obtida foi superior a:

- distâncias horizontais não corrigidas = 1:25.000;
- ângulos horizontais não corrigidos (Poligonais) = $2'' \sqrt{N}$;
- ângulos horizontais não corrigidos (Fechamento de triângulo) = $3''$;
- distâncias verticais não corrigidas = $4,0 \text{ mm } \sqrt{K}$.

Várias etapas foram concluídas e entregues, e os testes de controle de precisão já executados comprovaram que escolhendo e usando adequadamente o equipamento de aerofotogrametria, pode-se realizar inclusive trabalhos dificilmente acessíveis à topografia clássica (imaginem-se neste mesmo exemplo, o levantamento planialtimétrico que deveria ser executado nessas áreas tão densamente ocupadas); verifica-se, ademais da precisão, a tendência de diminuir o prazo entre a fotografia e a carta impressa.

E.3 - O processo Aerofotogramétrico

Enumeremos as etapas do processo, detalhando a seguir, - cada uma de per si. Assim:

- E.3.1 - obtenção das fotos, no campo
- E.3.2 - processamento do filme para obtenção dos diapositivos
- E.3.3 - medição dos pontos de apoio
- E.3.4 - aerotriangulação
- E.3.5 - restituição
- E.3.6 - desenho
- E.3.7 - reambulação.

E.3.1 - Obtenção das fotos

A fotografia aérea é a fonte básica de dados para a aplicação da fotogrametria, sendo tanto uma ciência como uma arte; ela é o resultado dos esforços científico - produtivos do projetista ótico, do fabricante da câmera, do produtor de materiais fotográficos, do fabricante do avião e dos manipuladores dos diversos produtos fotográficos, lembrando ainda, que ela também depende das condições do tempo e da posição do sol no momento da foto. A fotografia pode ser classificada segundo os seguintes critérios:

E.3.1.1 - Orientação do eixo da câmera, que poderá - ser vertical ou oblíquo; a orientação vertical é mais largamente utilizada pois nela, as medidas obedecem relações geométricas menos complicadas, a forma das imagens é mais próxima da normal e ainda, a área de terreno oculta na imagem é menor; a fotografia com eixo oblíquo, que pode ser oblíqua "alta" ou "baixa" conforme inclua ou não o horizonte, tem como vantagem o aumento da área visível, embora possa haver partes de área ocultas por morros ou montanhas; é mais usada com finalidades artísticas e para registro de dados (como o andamento de projetos de construções).

E.3.1.2 - Sistema de lentes, que pode ser simples (o mais largamente usado) e múltiplo; este é formado de duas ou mais câmeras que mantem entre si um ângulo fixo, ou de duas ou mais lentes na mesma câmera (fotos panorâmicas), sendo que os obturadores podem ser sincronizados ou não; deve haver calibração cuidadosa da posição entre os eixos das lentes.

E.3.1.3 - Propriedades especiais do equipamento como: a fotografia infra-vermelha, que pode atravessar bruma e fumaça e é útil para o delineamento dos contornos dos cursos d'água, para certos tipos de vegetação e estudos sobre o uso de terras, mas onde o excesso de contraste pode acarretar a perda de detalhes; as características métricas das câmeras que devem ser de alta precisão e a calibração, que deve ser feita de modo que a relação geométrica das lentes, o plano focal, as marcas de referências etc. es

tejam de acôrdo com a sua utilização para a restituição; as características das lentes quanto à distorção, resolução, distância focal, ângulo de visada, etc. tem certos limites para a produção de negativos satisfatórios para fotografias destinadas à restituição, que devem ser testados afim de poder separar e conhecer algum desvio do sistema de lentes e não atribuí-lo à operação de vôo (vibrações); as características dos filtros usados a serem obedecidas, - que são o paralelismo das faces e a cor uniforme; a estabilidade dimensional da base do filme, que deve ser óbvia para manter as relações espaciais das imagens; a emulsão que vai ser impressionada, que deve ser de granulação fina e deve possuir alta sensibilidade e alto poder de resolução; além disso, o filme de estar perfeita - mente encostado na placa plana de apoio, no instante da exposição (por vácuo ou pressão) para evitar deformações das imagens; por último, há conveniência de se registrar em cada negativo, dados necessários do instante da foto, de instrumentos tais como do altímetro (barométrico ou eletrônico), da câmera de horizonte (ou do nível de bolha), da hora do dia, data, nº da foto etc.

E.3.1.4 - Exposição correta da emulsão do filme, que - deverá reter a maior parte dos detalhes e possuir outras qualidades necessárias a um bom negativo, sendo regulada pelas adequadas abertura do diafragma e velocidade do obturador da câmera, tendo - que se considerar para isso os seguintes fatores: velocidade do filme, uso de filtros, tipo de revelação, condições atmosféricas, condições da área a ser fotografada, distância do solo à câmera, posição do sol e velocidade do avião; da análise desses fatores, - aliada a uma considerável experiência prática, se chega a uma regulação de abertura das lentes que de a mais alta resolução com o padrão de distorsão mais favorável e a uma velocidade do obturador - que evite a borração da imagem, resultando numa melhor exposição.

E.3.2 - Processamento do filme

Mesmo tendo obedecido as condições anteriores, a eficiência de qualquer emulsão dependerá do tipo de processamento usado, os quais são projetados meticulosamente pelos fabricantes e, hoje em dia os métodos de revelação automáticos são aperfeiçoados, contando com máquinas que revelam, fixam e secam um filme de 120 m (480 fotos) em menos de uma hora, havendo copiadoras contínuas que duplicam o filme em diapositivos ou em cópias de papel e fazem, ao mesmo tempo, a compensação dos contrastes.

Embora o poder de resolução tenha sido mencionado tanto nas lentes como nos filmes, devemos esclarecer que a qualidade final do detalhe a ser identificado é função da combinação lente-filme (ou seja câmera e emulsão) e das técnicas de processamento, interligadas com outros fatores, tais como: vibração do avião, bruma, brilho, razão de contraste e ainda, tamanho do objeto; esses fatos, que fazem parte do planejamento de voo, podem tornar inadequadas as fotografias.

O poder resolutivo se mede pelo número de linhas que podem ser bem definidas por milímetro; por ex., se uma fotografia foi obtida com uma combinação câmera e emulsão que tenha um poder resolutivo de 50 linhas por milímetro, teremos bem definida uma linha por 20 μ (micra); ampliando a foto 10 vezes, identificaremos detalhes de até 20 cm no terreno.

E.3.3 - Medição dos pontos de apoio

Os pontos de apoio, necessários à orientação absoluta (V. Restituição) são 3 (na prática usam-se 4 situados nos cantos da zona comum às duas fotografias), determinando-se às vezes, a cota de um ponto no centro para redução de certas deformações do modelo ótico (V. Restituição).

As coordenadas desses pontos são obtidas pelos métodos da Topografia, com base numa triangulação topográfica (ou geodésica), sendo escolhidos pontos bem identificáveis tanto nas fo-

tografias como no terreno, o que equivale a dizer que, partindo-se do poder resolutivo do filme e tendo em vista a escala da fotografia, ou seja, sabendo-se qual o menor detalhe possível de ser perfeitamente identificado, é que escolheremos os pontos que no terreno se prestam a essa precisão.

A necessidade de, na fotogrametria aérea, determinar-se as coordenadas dos pontos de apoio, constitui um obstáculo à economia e rendimento do método; o tempo perdido com essa medição está sendo abreviado pela utilização generalizada dos medidores eletrônicos de distância, dos quais um bom exemplo é o Telurômetro, que utilizando métodos de comparação de fase e de medida do intervalo de tempo do deslocamento de uma onda eletromagnética, permite se obter medições de distância com precisão geodésica.

Criado e desenvolvido pelo Dr. T.L. Wadley do "National Telecommunication Research Laboratory" da União Sul-Africana, consiste de 2 equipamentos montáveis sobre tripés comuns (peso de mais ou menos 15 Kg); um deles é a estação "principal" que se coloca num dos extremos da distância e emite micro-ondas (centimétricas) dirigidas para a outra unidade "secundária" situada no outro extremo da distância, que retransmite os sinais recebidos em direção a "principal". O tempo de percurso, ida e volta, medido em mili-micro-segundos é indicado num painel e depois é convertido em unidades de comprimento, até o centímetro.

Como as condições meteorológicas afetam a velocidade das micro-ondas, são feitas correções devidas à temperatura e pressão barométrica do momento da medição. A onda portadora emitida é de 10 cm de comprimento e 3 000 MHz/seg de frequência e é previsto para medições de distâncias de 150 m até 60 Km, tendo dentro dessa gama de medição uma precisão definida por um erro instrumental constante da ordem de 5 cm, mais um erro relativo (dependente das condições do tempo) da ordem de 1:300.000; donde, uma linha de 30 Km terá um erro relativo total de 0,15 m ou 1:200.000.

Outro exemplo é o Geodímetro, aparelho ótico-eletrônico que, colocado num vértice, emite um raio de luz que é modulado - por uma célula de Kerr e projetado por um sistema ótico coaxial a um refletor prismático colocado no outro vértice e pela reflexão total volta ao emissor, onde os impulsos de luz são convertidos - em impulsos elétricos por uma fotocélula. A diferença de fase entre os impulsos emitidos e os recebidos fica determinada pelo - ajuste da linha de defasagem, que ao ser obtida indica uma leitura "zero" e os valores da linha de defasagem aparecem em forma digital num mostrador, deduzindo daí a distância da linha medida.

O aparelho tem como vantagem sobre o anterior, necessitar um só operador especializado (pois o aparelho é um só) e, como desvantagem o seu alcance, que só é grande à noite. É previsto para alcances (com lâmpada de mercúrio) de 5 a 6 km de dia e de 25 km de noite, com alcance mínimo de 15 m, sendo a exatidão definida por um erro de $10 \text{ mm} + 2 \text{ mm/km}$.

Tanto um aparelho como outro podem auto-comprovar a medição (e aumentar a precisão) pela emissão de outras frequências, garantindo resultados seguros.

Mais recentemente apareceu um taqueometro registrador - eletrônico (Reg Elta 14, da Zeiss) de alta precisão, para medição e registro da direção horizontal, ângulo zenital e distância inclinada..

O registro é feito em uma cinta perfurada no próprio terreno e pode aplicar-se diretamente a um sistema de computação eletrônica para o processamento dos dados.

A sua aplicação se estende a todos os campos da topografia de precisão, levantando pontos do terreno até um alcance de - 2 000 m, com uma precisão de mais ou menos 1 cm, e medindo ângulos com um erro médio quadrado de mais ou menos 3" (segundos de arco), gastando para a medição e registro de cada ponto um tempo médio de cerca de 30 segundos.

Geodímetro e o princípio de funcionamento

Taqueometro Registrador Eletronico Reg. Elta 14

E.3.4 - Aerotriangulação

Para diminuir o trabalho das medições geodésicas dos pontos de apoio (de controle) no campo, uma das mais onerosas - etapas do processo, que tem ainda a desvantagem de depender das condições meteorológicas e da própria natureza do terreno, surgiu a idéia da triangulação e nivelamento aéreos, segundo os - quais, dispondo-se de um modelo orientado por dados geodésicos, os modelos subsequentes podem ser orientados através de pontos - fotogramétricos.

Portanto, determinam-se as coordenadas de pontos de fiadas de fotografias, apoiando-se apenas em alguns pontos ob - tidos no terreno, fazendo-se assim, a concatenação das fotogra - fias de uma mesma faixa de voo.

E.3.4.1 - Metodologia

Os métodos utilizados na aerotriangulação podem classificar-se em analíticos, analógicos (métodos instru - mentais) e semi-analíticos e constituem uma das mais importantes etapas do método fotogramétrico.

A sua aplicação prática consiste em: co - nhecidas as coordenadas de, pelo menos, três pontos no primeiro par de fotografias, faz-se a sua orientação externa, ou seja, de - termina-se o seu modelo ótico nivelado e em escala exata; em se - guida, mantendo-se a 2ª fotografia no aparelho, faz-se a orienta - ção de uma 3ª, e ligam-se os modelos (1ª, 2ª) e (2ª, 3ª), por in - termédio da zona comum (lembrando da superposição de 60 %) e as - sim sucessivamente.

A introdução da computação eletrônica nos cálculos veio dar mais impulso, proporcionando um enorme rendimento de trabalho com um adicional de custo irrisório.

E.3.4.2 - Método analítico

A característica geral é a orientação relativa realizada matematicamente e o ajustamento também matemático, tendo evoluído para completa solução (rapidez, eficiência, precisão 1 a 2 microns - e economia) através da computação eletrônica, com um sistema de cálculo numérico, que refere a posição de cada ponto a partir de uma projeção ideal, o que permite corrigir todos os erros inerentes à obtenção das fotografias.

A triangulação analítica é mais empregada em nações desenvolvidas, não só em programas de mapeamento sistemático (escalas médias e grandes), como também na solução de problemas de plotagem de trajetória de foguetes e satélites; é de se prever o seu uso em larga escala no mapeamento, quando aparecerão dados, como a correção da curvatura da terra a enormes altitudes, grandes distâncias focais, posições tridimensionais da câmera, distorções, etc., na tomada de fotografias por aparelhos ou sensores ultra-aperfeiçoados em altitudes orbitais ou mesmo sub-orbitais, dados esses, sem possibilidades de serem incluídos em soluções analógicas.

E.3.4.3 - Método analógico

A característica geral é a orientação relativa realizada no instrumento e o ajustamento não matemático, sendo intensamente usado pela maior simplicidade, pela demanda enorme de mapeamento nos países desenvolvidos e em desenvolvimento e pelos constantes aperfeiçoamentos dos aparelhos analógicos, os quais podem ser classificados, quanto ao sistema de projeção em:

- a) ótico-mecânicos (tipo stereotopograph Poivilliers, da S.O.M.
- b) óticos (tipo stereoplanigraph, da ZEISS)
- c) mecânicos (tipo A7, da WILD).

Uma outra classificação mais popular (e não científica), levando em conta outros critérios é:

a) aparelhos de 1ª ordem - cuja característica é poder formar sucessivamente os modelos; por meio de dispositivos mecânicos e sistemas óticos especiais, que invertem a base e o percurso ótico, forma o 2º modelo como se a 2ª fotografia (que foi deixada na câmera direita) estivesse colocada na câmera esquerda, constituindo assim um sistema unido e homogêneo de coordenadas (A7 da WILD, mecânico, p. ex.); para evitar a propagação dos erros inevitáveis que provocam a deformação do modelo das fiadas, os ajustes, com o auxílio de pontos conhecidos do terreno, são procedidos no início, no fim e também nas posições intermédias;

b) aparelhos de 2ª ordem - cuja característica é de serem essencialmente restituidores, pois não possuem sistema inversor, podendo no entanto utilizar o método de aerotriangulação por modelos independentes (Multiplex, ótico, ou o A8 da WILD, mecânico, p. ex.).

E.3.4.4 - Método semi-analítico

A característica geral é a orientação relativa realizada no instrumento e o ajustamento matemático, executado por computadores, onde é usado economicamente p. ex., um aparelho aerotriangulador alimentando cerca de 4 restituidores, tendo em vista o traçado cartográfico.

O método é principalmente usado na aerotriangulação dos modelos independentes, utilizando o restituidor (de 2ª ordem) acoplado a um registrador eletrônico de coordenadas (X, Y e Z), com saída para máquina de escrever elétrica e perfuradora de fita ou de cartões e, os dados são processados no computador com um programa que forme e ajuste a faixa, para referí-la a uma mesma origem do sistema de coordenadas que é, geralmente, o centro perspectivo do 1º modelo.

O centro terá a determinação de suas coorde-

nadas antes da formação da faixa, por meio de um outro programa - específico, vendo-se então uma grande dependência dos computadores eletrônicos, o que conduz a uma precisão tão boa quanto o método analógico com instrumento de 1ª ordem.

De modo geral, citamos as seguintes fases operacionais:

a) orientação relativa no instrumento dos modelos da faixa, com leitura e registro das coordenadas (X, Y e Z) dos pontos de passagem e os de controle existentes em cada modelo (cada modelo tem seu sistema de coordenadas);

b) determinação das coordenadas dos centros perspectivos dos projetores, no mesmo sistema do respectivo modelo;

c) formação de faixa para unificar e homogeneizar todas as coordenadas em referência ao sistema de coordenadas arbitrário do 1º modelo;

d) transformação e compensação das coordenadas de faixa para referi-la ao sistema geodésico escolhido.

E.3.4.5 - Dados auxiliares

Afim de eliminar algumas causas de erro e auxiliar os métodos de ajustamento (diminuindo o número de pontos no terreno), é possível colher durante o voo, dados auxiliares - que, graças à eletrônica, tem sido objeto de grandes progressos.

a) Para orientação dos aviões, temos o SLI (Straight Line Indicator), instrumento que usa estações no terreno que transmitem impulsos eletrônicos, os quais indicam uma linha reta para a linha de voo, economizando e uniformizando o recobrimento lateral das fotografias; esses equipamentos eletrônicos aerotransportados, também fornecem o perfil do terreno voado, através do conhecimento da altura de voo, com a emissão de sinais que obedecem o mesmo princípio do radar (é o A.P.R. - Air Profile

Recorder).

b) Conquanto o apoio fundamental e o seu adensamento seja feito por poligonais eletrônicas simples, através de equipamentos sofisticados de grande precisão, em terrenos de extrema rugosidade e cobertura florística, ou ainda intransitáveis ou impenetráveis (pantanos etc), somente com equipamentos eletrônicos aerotransportados é que se resolve o problema; esse aparelho tem, tais como o Aerodist, capacidade de medida de distâncias até 200 Km (com precisão de 1:100.000) entre uma unidade mestre aerotransportada e até 3 unidades remotas instalados no solo.

c) Mais recentemente, utiliza-se o efeito Doppler pelo registro dos sinais emitidos por um satélite artificial de órbita conhecida, para a determinação da posição (coordenadas) de pontos do terreno, onde se colocam estações receptoras (rastreadores). Esses registros sucessivos fornecem a diferença em distância entre o início e o fim do intervalo de tempo o qual define um hiperbolóide que tem focos nas posições do satélite já referidas; observando-se outros 2 intervalos de tempo, obtém-se 2 outros hiperbolóides e a intersecção deles dá a posição da estação rastreadora.

d) Para os trabalhos de adensamento dos pontos para a triangulação e os de identificação e marcação de pontos de passagem (ou de transporte), comuns a dois modelos consecutivos dentro de uma fiada de fotografias, podemos nos servir de um aparelho que é o "marcador e registrador de pontos" (PMG1 da Kern ou PUG da Wild), o qual facilita grandemente o trabalho do operador do instrumento da restituição; esse pequeno aparelho permite, tanto pela precisão da sua ótica, quanto da sua mecânica, caracterizar de maneira inconfundível os pontos (detalhes fotográficos) por meio da gravação de uma marca anular (de cerca de 1 mm) no centro da qual se fará, através de uma agulha, uma marca em forma de um ponto finíssimo, o qual será bem identificado quando da orientação das fotos no restituidor.

Marcador de pontos PUG

Estereoscópio de espelhos

E.3.5 - Restituição

A partir de duas fotografias estereoscópicas (que se recobrem) podemos por métodos analíticos ou gráficos, obter a posição plani-altimétrica de pontos do terreno e, portanto, executar uma planta com curvas de nível, que é o fim da restituição.

E.3.5.1 - Visão de fotos estereoscópicas

Se tivermos duas lupas distantes entre si - de cerca de 65 mm (distância interpupilar) e colocarmos as fotos estereoscópicas, uma em cada plano focal, cada vista só verá uma foto e a acomodação será para o infinito, donde aparecerá o "modelo ótico" - é o estereoscópio (de bolso) construído por Brewster, em 1849. Para possibilitar a observação de fotos maiores, pois a parte observada era limitada, conseguiu Helmholtz aumentar a distância entre as fotos para 25 cm, por duas reflexões através de espelhos e, pelo fato das fotos serem obtidas de pontos distintos, aparecem as chamadas paralaxes horizontais, no que resulta uma "imagem natural", mostrando a estrutura plástica dos objetos, permitindo também a sua medição tridimensional.

Se tirarmos de um ponto elevado qualquer sobre o terreno, duas fotografias a uma distância igual a "n" vezes mais próximo e resultará uma impressão de profundidade "n" vezes maior que a real; usando-se agora um estereoscópio com uma lupa -

de "v" vêzes de aumento, a precisão da profundidade aumenta de "v"; assim, ao produto " $n \times v$ ", chamamos aumento da impressão da profundidade (quantas vêzes o modelo ótico aumenta a impressão e a precisão da profundidade), do que podemos nos valer para examinar trechos da paisagem com mais detalhe ou fazer aerotriangulação, escolhendo pontos de transição para a ligação das fotos esteoscópicas correlativas.

E.3.5.2 - Medições no Modelo

Se fixarmos um ponto P no espaço, a sua imagem se forma sempre na retina (mancha amarela); os dois raios visuais e a distância interpupilar formam o "plano de observação"; além do ponto P vemos a parte vizinha dele (especialmente as partes em frente e atrás).

Suponhamos os pontos R (em frente) e S (atrás) e suas respectivas imagens na retina.

Para comparar melhor, vejamos os pontos imagens projetados a um sistema (meridianos e paralelos) na retina, sendo a origem, o ponto P fixado na mancha amarela. Ainda, o ponto R está no plano de observação (do ponto P) e S está num plano diferente do de P (acima).

Assim, as imagens de R estão no mesmo paralelo de origem, mas não no mesmo meridiano e a diferença entre as duas abscissas é:

$$X_{r_1} - (-X_{r_2}) = p_{x_r} \quad (\text{paralaxe horizontal ou em } x)$$

Assim também:

$$X_{s_1} - (-X_{s_2}) = p_{x_s}$$

Essa paralaxe determina a diferença entre as distâncias dos pontos P e R (ou P e S) em relação ao observador. O ponto S que supomos num plano diferente do de P, terá suas imagens num paralelo diferente do de P, mas o mesmo para as duas imagens, de modo que:

$$Y_{s_1} = Y_{s_2}$$

A diferença entre essas duas ordenadas, desde que as duas imagens de um ponto estão sempre na mesma posição relativa em relação ao objeto fixado, é sempre igual a zero, ou seja:

$$Y_{s_1} - Y_{s_2} = p_y = 0 \quad (\text{paralaxe vertical ou em } y)$$

Baseados no exposto, podemos medir o modelo em relevo com um medidor de paralaxes - o estereomicrômetro - desde que tenhamos duas fotografias estereoscópicas normais (a prumo), pois que aí, como no caso do olho humano, a profundidade de foco do objeto ("altura") é ligada diretamente às diferenças de paralaxes horizontais (em x); do mesmo modo podemos determinar os elementos de orientação dos pares, ou seja, tornar idêntica a posição relativa das fotografias à da tomada da vista, pelas paralaxes verticais (em y).

E.3.5.3 - Orientação dos pares fotográficos

Procurando a intersecção dos raios de perspectivas homólogos, chegamos à definição (no seu conjunto) de uma imagem virtual que é o "modelo plástico", geometricamente similar ao terreno, reduzida na mesma proporção que existe entre a base do modelo e a base do vôo e, a medição do modelo plástico - se fará através da visão estereoscópica, com o aparelho denominado de "restituidor".

Inicialmente, ajusta-se o aparelho à distância focal da câmera métrica que originou as fotos, e colocam-se os porta-fotogramas bem centrados, nas suas posições corretas; através da ocular do aparelho vê-se o modelo plástico (ampliado de 6 a 10 X).

Nos aparelhos de 1ª ordem do tipo A7 da Wild (restituidor mecânico de que falaremos muito a miude) os raios visuais (de perspectiva) são materializados por hastes especiais mecânicas com articulação tipo cardan, equilibradas por contrapesos, para que nos seus movimentos junto com o carro da base (do modelo) não haja influência da gravidade; como índice -

de medição, foi adotada uma marca puntual de cor negro intenso - (diâmetro de 0,04 mm no plano do fotograma) que colimada no sistema de observação, indica o ponto do modelo plástico onde se cruzam os raios de projeção homólogos materializados pelas hastes.

Para que tudo isso aconteça, devemos então fazer a "orientação relativa" das fotografias; não estando na hora da foto, o eixo da câmera exatamente vertical, a posição certa da fotografia não é horizontal e, além disso, as duas fotografias não são paralelas por terem sido afetadas diferentemente pelo momento de vôo; devemos portanto, em primeiro lugar, acertar os projetores do aparelho restituidor executando:

a) uma rotação de cada projetor em torno do eixo principal (eixo da câmera), que chamamos de K_1 e K_2 (superposição dos 2 modelos);

b) uma inclinação de cada projetor no sentido do vôo, que chamamos de Y_1 e Y_2 (inclinação longitudinal - do nariz);

c) uma inclinação de um dos dois projetores perpendicularmente à direção do vôo, que chamamos W_1 e W_2 (inclinação transversal - da asa).

Esses cinco movimentos angulares são os "movimentos da orientação relativa" e são lidos diretamente com a precisão de 0,01 do grau centesimal (no A7). O modelo plástico pode ser visto agora sem esforço, estereoscopicamente, ou seja, estão anuladas as paralaxes em y. Como cinco são os movimentos, bastará anular as paralaxes em cinco pontos característicos do modelo ótico e mais um ponto para controle, conforme o croquis, sendo que os pontos 1 e 2 são os centros dos dois fotogramas.

Formado o modelo ótico, resta conhecer a sua posição em relação ao plano horizontal e a dimensão do modelo, isto é, o nivelamento e a escala do modelo ótico, que é a sua "orientação absoluta"; a escala depende da distância " b ", base do modelo, que corresponde à distância entre os dois pontos do espaço de onde foram tiradas as duas fotos e, como ela não é conhecida, determinamos a distância no terreno entre dois pontos identificados do modelo ótico (pontos geodésicos, de controle), nos seus extremos; se a escala desejada do modelo é igual a " E " e a distância no terreno é " D ", podemos ajustar a distância entre os dois projetores " b ", através de suas componentes " b_x , b_y e b_z ", com uma precisão de 0,01 mm de tal forma que a distância no modelo, que corresponda à distância no terreno seja igual a " $D.E$ "; a escala do modelo será aproximadamente igual a " E " e passará a ser exata, quando nivelarmos o modelo em relação ao horizonte (quando o declive da distância no modelo for igual ao do terreno).

Precisamos de três pontos de altura conhecida no terreno (não em reta) aparecendo no modelo ótico, para que definam um plano, o qual será nivelado da seguinte forma:

- a) determinam-se as diferenças de nível na escala " E ";
- b) inclina-se o modelo em duas direções - perpendiculares, até que as diferenças de nível no modelo sejam iguais às calculadas na escala " E ".

Sendo grande a inclinação, é necessário repetir a determinação da escala, aplicando uma correção à base " b " (variando a base) e, se necessário (pela modificação da escala), repetir o nivelamento; essa operação pode ser considerada terminada quando aos pontos de controle do modelo, correspondem exatamente os pontos de controle marcados na folha de desenho da restituição e o contador de alturas do instrumento indica exatamente a cota do terreno.

Terminada a "orientação absoluta", todo o modelo terá escala desejada "E" e representará o terreno fotografado nessa escala e na posição certa em relação ao horizonte, podendo-se portanto, efetuar nesse modelo ótico, as mesmas medidas que seriam executadas no campo diretamente.

O "modelo ótico" é portanto, a base da restituição.

Foram necessários dois pontos planimétricos e três altimétricos para a orientação absoluta de um par estereoscópico; sendo duas as coordenadas planimétricas de cada ponto, temos 4 coordenadas e 3 alturas, isto é, 7 elementos, que somados aos 5 elementos determinados indiretamente quando da orientação relativa, nos fornecem 12 elementos, que foram os necessários para a "orientação externa".

E.3.6 - Desenho

O desenho é a fase mais lenta para a produção do documento cartográfico; em geral, o desenho executado na mesa do instrumento de restituição não serve diretamente para reprodução; ele deve ser completamente redesenhado de acordo com as normas e convenções próprias.

Atualmente, desenvolve-se uma pesquisa visando a digitalização da restituição, ou seja, o seu registro em fita magnética e depois, a execução do desenho (ou da gravação) com um coordenatógrafo eletrônico, tendo como finalidade, portanto, a eliminação do desenho a lápis da mesa do autógrafo e do desenho a nanquim ou da gravação (causas inclusive de diminuição da precisão).

Na realidade, essa pesquisa gira em torno da rapidez e da eficiência do registro da informação na fita magnética e neste caso, aparece um novo tipo de operador, que raciocina pela máquina, ou seja registra, antes de cada informação, como a máquina deve tratar a mesma.

A sequência dos registros é a seguinte:

- 1 - origem das coordenadas;
- 2 - pontos de apoio;
- 3 - quadrícula (sòmente duas intersecções pois as linhas intermediárias são executadas pelo próprio coordenatógrafo);
- 4 - restituição propriamente dita: estradas, casas, hidrologia, cobertura vegetal e curvas de nível (vários tipos de traços e de cores e sinais convencionais).

Aqui, o operador deve ter em mente:

- a) registro do início e do fim do desenho de cada detalhe;
- b) registro do tipo de interpolação (linear - ou cúbica) entre dois pontos do desenho.

Para o registro das curvas de nível, um disparador eletrônico (em função do tempo ou da distância percorrida) registra pontos da curva, enquanto o operador se preocupa em segui-la; pesquisa também a junção de dois modelos, pela transmissão de uma base, assegurando assim a continuidade do desenho, o que não oferece maiores problemas.

O computador, que calcula as interpolações lineares e cúbicas entre pontos, pode calcular também a mudança de escala entre o registro e o desenho, ou seja, uma carta registrada - p. ex. em escala de 1:7.500 poderá ser desenhada tanto em 1:5.000 quanto em 1:10.000 ou em 1:25.000.

E.3.7 - Reambulação

Os trabalhos de restituição e desenho devem ter controles, esclarecimentos e verificações, para que se evitem erros grosseiros e omissões importantes; são executadas revisões destinadas a completar e interpretar cuidadosamente certos pormenores.

No terreno há detalhes, como a linha das fundações -

dos prédios encobertos pela dos beirais; detalhes confusos por sua pequenez, como nascentes, cruzeiros etc.; detalhes encobertos pela vegetação; detalhes que devem ter nomes próprios, como os rios, estradas, serras etc. e ainda outros, de naturezas diversas, que devem ser registrados junto as fotografias respectivas ou a cópias de minutas já restituídas e que constituem a fase dos trabalhos chamada de Reambulação, que segue normas especiais, sendo motivo de estudo pormenorizado em cada tipo de trabalho fotogramétrico.

E.4 - Vantagens

Tomando-se por base, dados estatísticos obtidos na França onde, como em vários outros países, os levantamentos aerofotogramétricos são utilizados regularmente e apenas levando em conta a realização de cartas na escala 1:20.000, chegamos às seguintes conclusões:

Adotando-se 100 como número índice do preço de custo por quilômetro quadrado, as diversas etapas do processo tem as seguintes parcelas nesse total,

Obtenção das fotos e seu processamento	15
Medição dos pontos de apoio	20
Aerotriangulação, Restituição e desenho	25
Reambulação	40

Vê-se que as etapas que necessitam dos recursos de levantamentos terrestres são as que mais oneram os trabalhos aerofotogramétricos. Ainda mais, comparando-se o mesmo levantamento, agora obtido exclusivamente através da topografia classica (prancheta), o preço de custo chegou a 250.

Torna-se evidente a vantagem econômica da Aerofotogrametria, e também a melhoria com relação à precisão, pois desde que os pontos de apoio e a orientação dos pares de fotografias sejam corretamente determinados, a restituição terá características de bastante uniformidade, com uma representação muito mais fiel das curvas de nível.

Além disso, a documentação fotográfica permite através da estereoscopia simples, estudos aprofundados de: geomorfologia, geologia, tectônica, vegetação, geografia-humana, hidrografia, - vias de comunicação, etc.

O desenvolvimento experimentado pelo Brasil nos últimos dez anos, trouxe um incremento fantástico na movimentação de cargas, feita predominantemente por rodovias, que demandam todos os cantos do país, implantando novos polos de desenvolvimento, sugerindo também o tráfego turístico interno e atraindo o externo, pensando-se na ligação direta de nossas fronteiras com todos os países sulamericanos à exceção do Chile e do Equador, impondo-se portanto, o estabelecimento de uma rede ampla de vias de transporte como condição básica para a concretização harmônica desse desenvolvimento.

Isso está sendo possível de ser conseguido pela mecanização e racionalização da indústria da construção que podem propiciar prazos curtos na execução dessas obras, restando portanto, para que seja completo esse pronto atendimento, a existência de recursos financeiros, que os governos se empenham em propiciar e a possibilidade de planejar e, a execução rápida dos respectivos projetos de implantação de milhares de quilômetros de novas estradas (cite-se agora a "Nova Perimetral Norte" - 3.330 Km e a instituição do "Progress" - que planejará as vias expressas urbanas, anéis viários, estradas de contorno, acessos, etc.).

Numerosas técnicas e métodos de Planejamento foram desenvolvidos para economizar tempo e custo neste tipo de atividade, aparecendo desde logo, a Aerofotogrametria como suficientemente precisa para os levantamentos de engenharia de altos padrões. Além disso, ela permite usar diretamente a maioria dos programas de computação utilizados pelas calculadoras eletrônicas em vários campos, suprimindo assim, a dificuldade de pessoal qualificado e os prazos prementes impostos.

E.4.1 - A ortoprojeção

Com o advento recente em nosso país, da ortoprojeção, isto é, da transformação automatizada dos estereogramas fotogramétricos em imagens ortogonais que são, portanto, fieis a uma mesma escala, com a produção inclusive, de "compartimentos" de relevo através de hachuras (dropped lines) ao mesmo tempo, podemos atingir custos mais razoáveis ainda, dinamizando assim, mais e mais, o Planejamento; segundo notícia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, usando como unidade o custo e o tempo do equipamento ortoprojetor da Diretoria de Cartometrônica do IPH da UFRGS, teríamos respectivamente: para o método fotogramétrico linear - custo 8 e tempo 9 vezes mais e, para a topografia de campo - custo e tempo 65 vezes mais.

Com aparecimento relativamente recente no nosso país (a Serv. Fotogr. Cruzeiro do Sul adquiriu um Ortoprojetor Gigas-ZEISS, há dois anos) é de se prever um incremento no uso e aplicações desse instrumento, substituindo o mapa topográfico convencional, no planejamento urbano, na atualização de plantas de cidades, na divisão agrária e em mais aplicações compatíveis que a imaginação do cartógrafo e do planejador possa idealizar.

E.5 - Aplicações ao projeto de vias de Transporte

No caso específico do projeto de vias de transporte vamos examinar as suas fases de trabalho procurando explanar em cada uma delas, a aplicação dessas novas técnicas. Assim temos:

E.5.1 - O ante-projeto (ou projeto básico ou escolha da diretriz - "design")

E.5.2 - O projeto (ou projeto executivo ou plantas para execução - "engineering")

E.5.3 - A construção

Ante-projeto

Inicialmente coletamos e estudamos as cartas existentes (escalas de 1:25.000 até 1:250.000) nas quais é definida uma linha básica que deverá em conta, os pontos de passagem obrigatória, os centros importantes, as riquezas a serem desenvolvidas e os acidentes topográficos a serem evitados; (é o planejamento do vôo de ante-projeto); nas regiões não mapeadas (caso da implantação da Rodovia Transamazônica) é feito um reconhecimento aéreo - sem elementos precisos para orientação, pelo qual se permite optar por uma faixa de implantação que melhor se ajuste à construção.

Executamos então um vôo segundo a direção da linha básica, levando-se em conta a largura da faixa onde poderia haver desvios, dada a topografia desfavorável; a escala de vôo (ou seja, a escala do negativo da fotografia) mais usada se situa ao redor de 1:25.000.

Sabendo-se que para uma dada distância focal, a escala do negativo é inversalmente proporcional à altura do vôo e, tendo-se ainda em conta o tamanho do negativo e o recobrimento das fotos, para haver estereoscopia tanto na direção do vôo (60 %) - quanto na direção perpendicular (30 %) para cobrir toda a largura da área, pode-se elaborar uma tabela que relaciona êsses parâ

metros, chamada tabela de vôo.

Assim, por exemplo, uma câmera fotográfica aérea grande angular (ângulo de abertura de 90°) que geralmente usa filme de tamanho de quadro 23 x 23 cm e tem distância focal de 152/153 mm forneceria a seguinte tabela:

Esc. do Negativo $M=1:H/f$ $= 1:m$	Altura de vôo $H = m.f$		Lado do terreno fotograf. m	Avanço 40 %	Largura 70 %	Área Modelo Km^2
	metros	pés				
1:1.000	153	500	230	92	161	0,015
2.000	305	1.000	460	184	322	0,059
3.000	460	1.500	690	276	483	0,133
4.000	610	2.000	920	368	644	0,237
5.000	760	2.500	1.150	460	805	0,370
6.000	915	3.000	1.380	552	966	0,533
7.000	1.070	3.500	1.610	644	1.127	0,728
8.000	1.220	4.000	1.840	736	1.288	0,948
9.000	1.375	4.500	2.070	828	1.449	1,200
10.000	1.525	5.000	2.300	920	1.610	1,480
11.000	1.680	5.500	2.530	1.012	1.771	1,792
12.000	1.830	6.000	2.760	1.104	1.932	2,133
13.000	1.980	6.500	2.990	1.196	2.093	2,503
14.000	2.135	7.000	3.220	1.288	2.254	2,903
15.000	2.290	7.500	3.450	1.380	2.415	3,333
17.000	2.590	8.500	3.910	1.564	2.737	4,281
18.000	2.745	9.000	4.140	1.656	2.898	4,799
20.000	3.050	10.000	4.600	1.840	3.220	5,925
22.000	3.355	11.000	5.060	2.024	3.542	7,169
25.000	3.810	12.500	5.750	2.300	4.025	9,257
30.000	4.575	15.000	6.900	2.760	4.830	13,331
40.000	6.100	20.000	9.200	3.680	6.400	23,699

Esse vôo de ante-projeto será utilizado para o apoio -

do vôo do projeto, para a fotogeologia de superfície e a hidrologia e para a restituição na escala de 1:10.000 com curvas de nível de 10 em 10 m, havendo a escolha da diretriz de projeto, determinada agora, em função da topografia, da fotogeologia e da hidrologia, e que será o eixo para a faixa do vôo baixo (de projeto).

São executados os trabalhos de processamento dos filmes visando a obtenção de cópias fotográficas, foto-índices, diapositivos para a aerotriangulação e restituição e a montagem de mosaico fotográfico na escala de vôo.

Em seguida aparecem os serviços de apoio topográfico - efetuado no campo, que é o levantamento de pontos escolhidos nas faixas fotográficas (4 pontos por foto, dos quais 2 na sobreposição com a foto posterior), que serão calculados para servirem de orientação dos pares fotográficos; esse tipo de apoio é chamado - de apoio para a par (coordenadas materializadas no campo em todas as fotos). Esse apoio também pode ser feito por triangulação aérea, onde são escolhidos 4 pontos nos pares extremos da faixa e 3 no centro, que são levantados no campo e os intermediários são obtidos nos instrumentos aerotrianguladores (é o método mais usado em levantamentos para estradas).

A restituição para o ante-projeto é usual na escala 1:10.000, só sendo desenhada a faixa de implantação e os locais de intersecções.

As fotografias aéreas podem substituir a falta das cartas, ou completar as informações nelas contidas. Servindo-se do efeito tridimensional do estereoscópio de espelho, com o auxílio do estereocomparador, podemos obter um primeiro perfil longitudinal do traçado examinando pontos em zonas críticas, tendo assim - uma visão geral dos locais e condições onde deverá ser implantada a diretriz, que será marcada nas fotos, auxiliando a eleição do traçado final; as fotos dão todos os detalhes existentes na região, enquanto que os mapas apresentam somente os de maior impor-

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

E E S C — U S P

AVENIDA DR. CARLOS BOTELHO, 1465

CEP 13.560 — SÃO CARLOS — SP

tância.

A utilização dos fotomosáicos também constitui uma documentação muito elucidativa, que torna possível discussões esclarecedoras com entidades oficiais e com os proprietários das terras a serem desapropriadas. Essa técnica pode ser grande auxiliar quando estudamos as cartas na escala de 1:10.000.

No entretanto, a foto-interpretação é muito mais importante no estudo da caracterização geológica das áreas percorridas pela diretriz fornecendo além disso, noções da utilização dos materiais.

Assim, executam-se mapas que classificam os solos quanto à origem, granulometria média e índices físicos e as rochas quanto à classificação petrográfica e os seus graus de alteração; indicam-se os locais onde são necessárias sondagens para verificações de espessura do solo e também as coletas de dados adicionais, resultando uma compilação geral, com relatório explicativo e recomendações mais convenientes ao traçado e mapas geológicos-geo-técnicos onde figuram os afloramentos de rochas, as pedreiras, as possíveis áreas de empréstimo e também as zonas instáveis quanto à fundações, erosão dos taludes, escavação de túneis, etc.

Fazemos também os estudos hidrológicos, com o auxílio do estereoscópio de espelhos, trabalhando nas fotos na escala 1:25.000; torna-se simples delimitar as áreas de drenagem das grandes e médias bacias que afetam a ligação em estudo, que são marcadas e planimetradas na planta (as pequenas bacias serão pesquisadas no voo baixo).

Colhem-se paralelamente, dados pluviométricos por ventura existentes e faz-se a sua catalogação e análise; estuda-se a distribuição geográfica da precipitação média e das chuvas intensas de curta duração e analisa-se a relação da sua intensidade, duração e frequência, assim como a relação da sua intensidade e a área de drenagem, determinando-se finalmente as intensida

des das chuvas de projeto e o período de retorno ou intervalo de recorrência correspondente.

Colhem-se também os dados fluviométricos disponíveis - dos principais rios e afluentes que cortam o eixo da estrada e realizam-se estudos, compreendendo, avaliação das cotas máximas e mínimas, potencial das enchentes das bacias, localização das áreas sujeitas a inundação, podendo, na falta de dados, adotar critérios simplificadores para pré-dimensionamento; determina-se as vazões de projeto e estudam-se, o traçado e o perfil para a determinação das principais seções de drenagem e escoamento; avaliam-se as condições de retenção e escoamento superficial das bacias em função da natureza do solo, da cobertura vegetal e do grau de impermeabilização atual e futuro das bacias hidrográficas.

Os cálculos hidrológicos descritos são realizados com a ajuda do computador digital.

Com o auxílio do estereoscópio torna-se simples delimitar as áreas de drenagem, que são então transportadas para as plantas, através de detalhes de fazendas, estradas, linhas de alta tensão etc. e planimetradas as suas áreas; para as pequenas bacias o critério é idêntico, sendo usadas no entanto, as fotos do vôo baixo.

Com as áreas de drenagem e os estudos hidrológicos da região, fazem-se cálculos de verificação de segurança para as obras de arte e de drenagem, adotando-se vazões correspondentes a períodos de retorno maiores que o adotado para o pré-dimensionamento; podemos finalmente dimensionar os bueiros, as galerias e as obras de arte.

Projeto

Entramos na fase do Projeto onde se faz o vôo baixo (para a obtenção de fotos na escala de 1:8.000) segundo a diretriz escolhida na fase do ante-projeto e, a área a ser restituída é somente a faixa de implantação da estrada e os locais de interse-

ções, sendo recomendada a escala de 1:2.000, com curvas de nível de m em m; no caso de vias expressas o vôo, em geral, se situa - em 1:4.000 e a restituição em escala de 1:1.000 ou 1:500.

Para o processo de restituição, como já foi dito atrás, colocamos as duas fotos aéreas consecutivas (cerca de 60 % de imagem comum) nas câmeras do aparelho ocupando (em relação aos seus eixos x, y e z) as mesmas posições relativa e absoluta que tinham quando se efetuaram as fotos (em relação aos eixos geodésicos - X Y e Z); além disso, sendo "B" a distância entre as duas exposições sucessivas, fazemos com que haja no autógrafo um valor "b", para que seja formado o "modelo ótico", absolutamente semelhante ao terreno, na escala "b/B", o qual foi então obtido;

1ª) reconstituindo a posição espacial relativa das duas fotografias (projeções centrais) - é a orientação relativa;

2ª) reconstituindo o acerto de escala e cotas em todos os pontos do modelo ótico, para o que, necessitamos do conhecimento das coordenadas geodésicas de, pelo menos, 3 pontos do terreno identificáveis nas fotografias - é a orientação absoluta.

Pela observação da marca puntual estereoscópica, em cada posição do terreno, são lidas as coordenadas no autógrafo com as precisões de:

1/100 mm em relação a "x" e "y" e
1/10.000 da altura de vôo em relação a "z".

Assim, por exemplo, se tivermos:

altura de vôo = 700 m
escala da fotografia = 1:4.500
escala do modelo = 1:3.000,

podemos concluir:

precisão planimétrica = 1/100 (3 000) mm = 3 cm
precisão altimétrica = 1/10.000 (700) m = 7 cm

Das plantas restituidas tiramos os elementos das curvas

horizontais e do perfil longitudinal e, por processamento eletrônico desses dados obtemos as coordenadas de pontos do eixo central do projeto.

Passamos agora ao levantamento das seções transversais ao eixo, que juntamente com o perfil longitudinal são executadas, normalmente em nosso país, por operações de campo - das mais onerosas.

Essas operações já são executadas, em países da Europa, principalmente, no próprio escritório, no aparelho de restituição, com o auxílio de um acessório denominado Perfiloscópio (PR-1, da Wild) onde então, a medição desses perfis é executada de forma fotogramétrica.

Esse dispositivo é montado no cordenatógrafo da mesa de desenho do restituidor e consiste de um **projektor** episcópico com uma objetiva focalizável, com 8 aumentos e um espelho de reflexão que projeta parte do desenho restituído sobre um vidro despolido que é orientável para o operador que está junto às oculares do restituidor; ainda, como complemento, temos uma placa de cristal transparente, na qual estão gravados o perfil longitudinal com divisões de 20 em 20 metros e os perfis transversais de 5 em 5 metros, 100 metros para cada lado do eixo longitudinal.

Como temos a planta perfeitamente orientada, através do perfiloscópio, com o modelo ótico formado no aparelho e colocamos a placa de cristal orientada sobre o eixo da estrada desenhado, a imagem da planta e do diagrama da placa (que são iluminados) aparecem projetados no vidro despolido, o qual tem um indicador (alvo) redondo para determinar a posição de qualquer ponto (do papel) com precisão; uma vez centrado o ponto estão determinadas as coordenadas x e y e, basta o operador ajustar a marca estereoscópica para termos também a coordenada z .

O registro dos valores numéricos dessas coordenadas pode ser conseguido automaticamente com a conexão a um registrador

eletrônico de coordenadas (tipo EK-5 ou EK-8 da Wild) ligado a uma máquina de escrever elétrica IBM, ou uma perfuradora de fita, para processamento em computador.

Um Teste com o Perfiloscópio

Devemos agradecer inicialmente à Vasp Aerofotogrametria S.A. a colaboração que nos prestou nesse teste, cedendo altruisticamente, o equipamento de que necessitamos e ao engenheiro Sérgio da Costa Sampaio que nos assessorou, doando inclusive, as suas horas particulares (nos domingos).

Em fins de 1969, a empresa Vasp, havia efetuado um teste (pioneiro) com o referido instrumento, em escala de projeto (1:2.000) que seria a mais conveniente pensando-se em termos de projeto de Estradas, utilizando o Wild A8 como aparelho restituidor, chegando às seguintes considerações:

- a) instruir pormenorizadamente o operador;
- b) traçar antecipadamente na folha de restituição, o eixo do levantamento com as estacas, marcar os PC e PT, o centro da curva circular e os raios que o ligam a cada estaca;
- c) manter um auxiliar para operar exclusivamente o registrador de coordenadas (EK-5);
- d) padronizar um código de registro para a folha impressa e a fita perfurada.

Não se chegou a estimar um padrão para o tempo gasto no levantamento de cada seção (11 pontos de 20 em 20 m), tendo havido uma variação de 2 a 12 minutos.

Baseados na experiência anterior e tendo como finalidade, verificar a possibilidade de reduzir os prazos e os custos numa nova metodologia aerofotogramétrica visando atender ao Planejamento, que como já dissemos, em nosso país, precisa caminhar junto com o desenvolvimento, experimentamos o que vai descrito a seguir:

O perfiloscópio

O 47 com mesa de desenho

1) Utilizamos como aparelho restituidor o Wild A7, cuja precisão altimétrica é, segundo o engenheiro Renê Vizio, da Wild, de $0,10\text{‰}$ da altura de voo.

2) Baseados nisso, usamos um par de fotografias na escala de voo 1:25.000 de um trecho de estrada já levantada topograficamente com as respectivas seções transversais que, para a focal de 153 mm, daria teoricamente um erro altimétrico sem torno de 38 cm.

Temos que levar em consideração os erros de operação do instrumento (de orientação absoluta, da deformação do modelo e de identificação) que nos dá, somando-se ao erro instrumental de 38 cm, um erro médio, para pontos plotados através do perfíloscópio, na escala já citada, de aproximadamente 50 cm.

3) Impusemos a escala do modelo plástico 1:10.000 e restituímos uma faixa com largura de 140 m por um quilômetro de extensão, apenas planimetricamente usando o eixo longitudinal já demarcado na fotografia como eixo da faixa, subdividindo-o em estacas de 20 em 20 metros.

4) Preparamos o perfíloscópio sobre o coordenatógrafo baseado num ponto de apoio existente na foto e no desenho e colocamos a placa de cristal com o seu eixo sobre o eixo existente na fotografia, sendo que devido a escala da placa (1:1.000), tivemos que deslocá-la seção por seção, para efetuar a digitalização fotogramétrica das seções transversais, trabalho esse que ocupou um tempo adicional de cerca de 10 segundos.

5) Efetuamos o levantamento das seções transversais, modificando as considerações do teste anterior:

a) usando um auxiliar apenas para colocar a placa em posição, para cada digitalização de nova seção, isso só porque a escala da planta era diferente de 1:1.000, o que seria abolido, se a placa tivesse a mesma escala da planta.

b) o auxiliar para o EK-5 foi abolido, pois o ope-

Modelo N.º TESTE PERFILOSCÓPIO ESCALA DO VÔO 1: 25.000

FOLHA N.º 05

Modelo ODELO ESCALA DO MODELO 1: 10.000

POSIÇÃO DA BASE INT.

Modelo A.7 ESCALA DO DESENHO 1: 2.500

CAMARA FIXA

CAMARAS	DIAPPOSITIVO	Bx	By	Bz	K	ψ	ω	φ
ESQUERDA (1)	303.22	13938	99.78	99.34	02.275	100.21	98.11	
DIREITA (2)	303.21		99.69	98.83	03.15,5	100.51	100.44	

31	100060	6741.62	3232.98	00697.3
31	100065	6741.66	3233.59	00697.4
31	100070	6741.73	3234.21	00697.3
31	100075	6741.81	3234.83	00697.4
31	100080	6741.87	3235.45	00697.3
31	100085	6741.93	3236.07	00697.0
31	100090	6742.01	3236.68	00696.9
31	100095	6742.07	3237.32	00696.8
31	100100	6742.16	3237.94	00696.7
31	100105	6742.22	3238.55	00696.5
31	100110	6742.29	3239.25	00696.4
31	100115	6742.34	3239.81	00696.2
31	100120	6742.41	3240.43	00696.1
31	100125	6742.48	3241.05	00695.8
31	100130	6742.55	3241.67	00695.7
31	200060	6740.35	3233.12	00697.2
31	200065	6740.42	3233.75	00697.5
31	200070	6740.49	3234.35	00697.5
31	200075	6740.55	3234.98	00697.4
31	200080	6740.62	3235.61	00697.3
31	200085	6740.69	3236.22	00697.1
31	200090	6740.74	3236.82	00697.2
31	200095	6740.83	3237.47	00697.0
31	200100	6740.90	3238.08	00696.7
31	200105	6740.96	3238.71	00696.6
31	200110	6741.04	3239.36	00696.4
31	200115	6741.09	3239.97	00696.2
31	200120	6741.17	3240.58	00695.8
31	200125	6741.24	3241.19	00695.9
31	200130	6741.32	3241.81	00695.7

Observações:

rador da restituição já instrua o registrador com o número do ponto seguinte a ser colimado, levando-se em consideração que o EK-5 demora 1 segundo para memorizar o registro, ao cabo do qual, poderá ser colocada nova instrução, e demora cerca de 5 segundos para efetuar o registro na máquina de escrever IEM ou na perfuradora de fitas, tempo esse que já é utilizado dentro da colimação do ponto seguinte.

c) o tempo cronometrado para essas seções variou - entre 2,5 a 3,5 minutos (15 pontos) dependendo das dificuldades encontradas (vegetação, pontos notáveis etc), o que nos dá uma média entre 10 a 15 segundos por registro de ponto.

d) outra consideração que se obteve desse teste - foi que o tempo ótimo de trabalho continuo deve ser de 1 h 15 min, com um período de descanso de 15 minutos, o que dará, 5 horas de trabalho de perfiscopio, ao cabo das quais estarão levantados os perfis necessários de 2 km de estrada.

Segundo investigação feita na Suécia (em escala de 1:4.500) dois operadores trabalhando 9 horas, levantaram 2 km de projeto, em terreno montanhoso, o que dá em favor do novo teste 4 horas e é explicado pelas diferenças de escalas, considerando que 1 par de fotos em 1:4.500 tem extensão útil de 0,41 km necessitando-se então pelo menos, para cobrir a mesma extensão, 4 orientações de pares a mais.

Computando-se cerca de 0,5 hora para cada orientação, teremos 2 horas perdidas na orientação relativa e absoluta e as outras duas horas na colimação de cada ponto (pois o caminho a percorrer no modelo é, evidentemente, bem maior).

A precisão encontrada no nosso teste pode ser comparada graficamente, dando para a planimetria um erro em torno de 2 % e para altimetria, um erro médio de 50 cm por comparação de curvas de nível, o que está dentro dos limites considerados inicialmente.

Embora esse limite esteja fora das normas do D.E.R. esse ensaio pode auxiliar, neste 1º estágio da experiência a determinarmos normas mais exatas no campo do ante-projeto, com a utilização de um trabalho de campo reduzido (apenas pontos de apoio para os pares fotográficos), podendo-se ter nesta fase, um estudo bem apurado de custo do projeto que irá ser detalhado.

Os trabalhos do teste não são conclusivos e continuam, com estudos de escalas diferentes e focais, para se determinar dentro das precisões exigidas, uma altura de vôo mais econômica, diminuindo com isso, ainda mais o trabalho de campo em função das escalas já testadas em trabalhos de digitalização para projetos de estradas, por diversos autores.

Aliás, a metodologia introduzida recentemente pelos ingleses e denominada Modelo Digital do Terreno (D.G.M) através de instrumentação altamente sofisticada, prevê um estudo preliminar dos movimentos de terra baseado no conhecimento do perfil longitudinal do terreno, com levantamento de pontos cotados obtidos de aerofotos, justificando e mostrando assim, o caminho ora em pesquisa.

Construção

Nessa fase também a aerofotogrametria presta inestimáveis serviços; com voos periódicos o acompanhamento progressivo da obra, inclusive com o levantamento dos cortes e aterros que se rá feito nos autógrafos e, se estudada uma programação, poderão ser feitas medições com o auxílio de um computador.

O apoio, já realizado, servirá para a execução desses trabalhos, o que redundará novamente, em economia de custo e de prazo de execução.

Ao término da obra podemos ter então, o seu cadastro executado.

Sem dúvida, ao lado da condição binomial economia-precisão que a fotogrametria e o cálculo eletrônico satisfazem, aten-

dendo a interrelação da Topografia com o Planejamento, há o valor desses novos métodos, que libertam o engenheiro projetista de cálculos e desenhos longos e fastidiosos, dando-lhe mais tempo para aperfeiçoamentos do projeto, onde ele pode usar a sua mente criadora.

F - INTEGRAÇÃO NO ENSINO

F.1 - Objetivos

Ao aluno de uma Escola de Engenharia do curso civil devem ser, obrigatoriamente, transmitidos os ensinamentos referentes à Topografia dando-lhes o enfoque de verdadeiro instrumento do Planejamento, definindo concretamente as suas ingerências aos diferentes campos da Engenharia, procurando mostrar sempre que a metodologia a ser aplicada a cada caso depende sempre do grau de precisão exigido, obtendo assim um compromisso equilibrado entre os gastos e as exigências da precisão.

A estrutura do programa de Topografia deve, por outro lado, ser fornecida aos alunos de maneira tão positiva quanto atraente; por isso haverá que se limitar a extensão de certas noções - mais próprias para um curso de filosofia e todavia, desenvolver outras, inerentes às novas técnicas, que possam fortalecer os conhecimentos do "Engenheiro Planejador" para efeitos de sua aplicação correta no seu vasto campo de atividades.

Foi portanto baseado nesse duplo objetivo: instrumento - do Planejamento e apresentação da matéria que mais positivamente seja necessária as execuções da Engenharia - que sendo maleável, como é o próprio Planejamento, proporciona revisão constante dos objetivos, para atingir estágios novos, implantando o hábito da pesquisa técnica, ou seja, o refinamento do "Know-How" - que reordenamos os ensinamentos da cadeira de Topografia.

F.2 - Programa

Procuramos dar importância inicial global ao conhecimento do Planejamento e logo em seguida, às Cartas Topográficas, pois essa familiarização com as diretrizes e metas gerais facilitará a aquisição das restantes noções a serem conhecidas. - Assim:

PARTE 1ª

INTRODUÇÃO GERAL

PLANEJAMENTO NA ENGENHARIA

GENERALIDADES SOBRE CARTAS TOPOGRÁFICAS

Para que o futuro engenheiro se firme nos conhecimentos práticos indispensáveis aos trabalhos topográficos, mister se faz a apresentação paralela dos métodos e dos instrumentos utilizados para as medições de distâncias, de ângulos e de diferenças de nível. Onde:

PARTE 2ª

MEDIÇÕES DE DISTÂNCIAS

MEDIÇÕES DE ÂNGULOS

NIVELAMENTO

A aplicação do apresentado na parte 2ª deverá ser exposta sempre pensando-se, tanto no aspecto isolado do levantamento topográfico, como no vasto campo de domínio da Engenharia geral. Para fundamento desses estudos, devemos ter como escopo - partir do geral para o particular, mostrando a Geodésia sem separá-la da Topografia, para que se possa sentir a natureza das simplificações que podem ser impostas, de acordo com a finalidade do trabalho. Portanto:

PARTE 3ª

FORMA DA TERRA

APOIO DOS LEVANTAMENTOS

Passamos então à exposição dos métodos de levantamento, dando ênfase separada aos fotogramétricos, para que sendo necessário, o engenheiro saiba escolher o mais indicado para o problema que tenha que resolver. Assim:

PARTE 4ª

MÉTODOS CLÁSSICOS DE LEVANTAMENTO

PARTE 5ª

MÉTODOS FOTOGRAFÉTRICOS DE LEVANTAMENTO

Agora, mercê do conhecimento dos instrumentos e dos métodos e, com base na teoria da cadeira de Física, podem ser examinados os erros relativos às medições de distâncias, ângulos e diferenças de nível, o que proporciona também a vantagem da revisão da matéria ministrada. Assim:

PARTE 6ª

ERROS E COMPENSAÇÕES DE OBSERVAÇÕES

Devemos expor agora as noções de Astronomia de Campo, de Cartografia e de Geodésia, indispensáveis e fundamentais - do ponto de vista da Topografia, apresentando-as de forma prática e procurando somente discutir as suas condições de aplicação. Donde:

PARTE 7ª

NOÇÕES DE ASTRONOMIA DE CAMPO

PARTE 8ª

NOÇÕES DE CARTOGRAFIA

PARTE 9ª

COMPLEMENTOS DE GEODÉSIA

Concluindo os ensinamentos a serem ministrados, teremos as Aplicações da Topografia (das quais várias facetas foram alinhadas no decorrer deste trabalho); assim, abordaremos os levantamentos de faixas de terrenos, projetos geométricos e locações de obras, levantamentos hidrográficos, medições de deslocamentos de obras e aplicações especiais de fotogrametria, mostrando assim, de maneira global, os objetivos da Topografia como auxi

liar fundamental na execução do planejamento e das obras de Engenharia geral. Portanto:

PARTE 10a

APLICAÇÕES GERAIS

Para que o curso se torne o que dele se espera é necessário tempo e material suficiente para o aprendizado, o que se pode conseguir, montando-se um laboratório para exploração industrial e executando-se serviços diversos com a colaboração dos alunos, reservando-se para tanto o tempo necessário e oferecendo uma remuneração, proveniente da renda obtida do próprio serviço dando assim também, uma noção inicial prática de apropriação de custos.

A conclusão do trabalho será altamente significativa em termos de ensinamento; propomos assim:

PARTE 11a

ESTÁGIO DE CAMPO.

G - CONCLUSÃO

O avanço tecnológico experimentado pela Topografia, especialmente no ramo da Aerofotogrametria, através da sofisticação ultra moderna de seus equipamentos e da metodologia de sua aplicação, - complementada com a medição e o cálculo eletrônicos, pode ser sentido neste já muito vasto campo, que se alarga cada vez mais, estendendo-se à atividades fora da ação da Engenharia, em seu emprego como "ciência" e como "ferramenta de trabalho", e que damos - aqui uma real e todavia pálida idéia.

1 - A fotointerpretação, cujas possibilidades são aplicadas:

- a) na fotogeologia, no reconhecimento das características físicas dos terrenos;
- b) na geomorfologia, na análise das mudanças de forma dos cursos de água e das linhas da costa;
- c) na hidrologia, na preparação dos planos gerais de sistematização de bacias hidrográficas;
- d) no estudos de usos dos solos e técnicas florestal, estabelecendo inventários para planejamento e organizando normas de exploração florestal;
- e) na oceanografia, no estudo de ondas, de correntes, da morfologia da costa, dos fenômenos de erosão e sedimentação;
- f) na criminologia, no estudo dos acidentes de trânsito, da balística e das falsificações;
- g) na arqueologia, como auxiliar nas descobertas mais recentes;
- h) na engenharia, nos trabalhos fluviais, marítimos, nos estudos de planejamento e urbanização e de vias de transporte.

2 - A fotogrametria a curta distância, cujas possibilidades são aplicadas à representação de objetos:

- a) na arquitetura e construção, no estabelecimento das -

A Fotogrametria a curta distância

- formas e dimensões de edifícios e monumentos, principalmente quando existem decorações e esculturas;
- b) nos laboratórios de engenharia, utilizando as câmeras estereométricas sincronizadas, na determinação do movimento de objetos, como é o caso dos ensaios de modelos de hidráulica, ensaios de pequenas deflexões em modelos aerodinâmicos e medidas de deformações em estruturas;
 - c) na biologia, medicina e odontologia, com câmeras subaquáticas medindo a migração de salmões, ou mini-câmeras, procedendo a exame microfotogramétrico da superfície de um dente ou ainda, procedendo a um raio X estereoscópico.

3 - A aerofotogrametria, cujas possibilidades já são por demais conhecidas em varios campos, como:

- a) na aerotriangulação analógica, analítica e semi analítica;
- b) no mapeamento geral, especial e sistemático;
- c) no planejamento e no estudo da sociologia de regiões;
- d) na locação de linhas de transmissão e oleodutos;
- e) no cadastro de cidades e de áreas;
- f) nas aplicações militares;
- g) nos estudos meteorológicos;
- h) no controle de tráfego;
- i) na execução de mapas eletrônicos (com recursos do radar);
- j) na investigação espacial;
- k) no projeto de Vias de transportes (exemplificado em capítulo anterior;
- l) nos planos de conjunto de um aeroporto;
- m) no planejamento de uma via navegável, com os seus portos e as ligações rodo-ferroviárias para transbordo;
- n) no planejamento dos aproveitamentos múltiplos de bacias hidrográficas;
- o) no planejamento urbanístico de novas cidades;

- p) no planejamento de sistemas integrados de transporte numa região;
- q) no planejamento do saneamento de grandes áreas urbanas e suburbanas.

Creemos assim, que este trabalho cujo propósito inicial foi o de mostrar as relações de dependência da Topografia com o Planejamento de maneira geral, conseguiu também mostrar as reais capacidades que esta nova e importante "ciência" (a Aerofotogrametria) possui, na esperança de que o seu ensino nas Escolas de Engenharia possa ser incentivado, montando-se laboratórios para a pesquisa, que poderão ser facilmente mantidos e cada vez mais atualizados, e onde a imaginação do pesquisador, o fotogrametrista, terá uma grande responsabilidade, a de ajudar o cientista e o engenheiro, a reconhecer as chances que aparecerão e a fazer uso delas, visando a finalidade do Planejamento, ou seja, a "promoção humana à semelhança de Deus".

BIBLIOGRAFIA

- AGUILAR, José - História da Cartografia - Codex, 1970 - B.Aires.
- AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY - Manual of Photogrammetry - 1966 - Falls Church.
- ANEL RODOVIÁRIO DE SÃO PAULO - Vasp Aerofotogrametria - 1972 - São Paulo
- ANSON, Abraham - Photogrammetry as a Science and as a tool - The American Society of Photogrammetry, 1963 - Falls Church
- CANONICA, Antonio - Fotogrametria e Cálculo Eletrônico nos Projetos de Vias de Comunicação - Boletim da Ordem dos Engenheiros, 1963 - Lisboa
- CARLETO, Salvador - Aplicações da Aerofotogrametria em Projetos de Estradas - Vasp Aerofotogrametria, 1972 - S. Paulo
- CONZETT, R.- El Calculo Eletronico Aplicado a la Construcccion de Carreteras en Suiza - Wild Heerbrugg, 1962 - Heerbrugg
- ESPARTEL, Lelis - Topografia - Globo, 1965 - Porto Alegre
- FLEURY, - A Aerofotogrametria no Progresso do Brasil - Vasp Aerofotogrametria, 1969 - São Paulo
- KASPER, Hugo and BLASCHKE, Wolfgang - Aerial Surveyand Road Construction - 1960 - Heerbrugg
- LAMPARELLI, Celso Monteiro - Uma Contribuição para o Método de Planejamento e seu Ensino - Tese de Docência Livre - EESCUSP, 1964 - S. Carlos
- MAKSOUD, Henry - Métodos Estimativos das Necessidades e Possibilidades Futuras no Desenvolvimento Integral das Bacias Hidrográficas - F.H.S.P.U.S.P., 1967 - S.Paulo

- MOITES, Fernando Alves - Elaboração de Cartas - I.B.G., 1971 - Brasília
- NOTARI, José Moura - Seleção de Instrumentos Fotogramétricos - IME, 1967 - Recife
- OLIVEIRA, Cêurio de - Elaboração de Cartas - I.B.G., 1968 - Guanabara
- POELSLER, Vinzens - Fotogrametria - D.H.N., 1954 - Guanabara
- RODRIGUES, Lysandro Vianna - A Importância da Unificação dos Sistemas Geodésicos - IBG, 1968 - Guanabara
- SANTORO, Hermano Lomba - Aerotriangulação nos Países em Desenvolvimento - D.S.G., 1971 - Brasília
- THOFEHRN, Hans Augusto - Bases Geocartográficas do Planejamento Compreensivo - I.P.H.U.F.R.G.S., 1971 - Porto Alegre
- XEREZ, Antonio Carvalho - Topografia Geral - Técnica, 1966 - Lisboa.