



Pelo Cap. LUIZ EUGENIO DE FREITAS ABREU

O autor d'êste trabalho é professor de "Cálculos Técnicos" na Escola de Geografos do Exército e já lecionou anteriormente a cadeira de "Geologia".

O artigo que apresenta é uma síntese perfeita do levantamento estéreo-aërofotogramétrico e merece a maior divulgação entre os officiais de E. M. e das diferentes armas.

E' nossa intenção, neste rápido artigo, lançar um golpe de vista geral sôbre as diversas operações que constituem o levantamento estéreo-aërofotogramétrico, hoje de aceitação quasi universal e método que se impõe aos países que como o nosso, têm grande área a levantar, devendo procurar fazê-lo em praso razoável.

Aliás o Brasil vem sendo há vários anos, para honra nossa, um dos pioneiros na exploração das sucessivas conquistas da fotogrametria, para cujo rápido desenvolvimento tem podido colaborar eficientemente.

O emprêgo da fotografia tem feito evoluir intensamente os métodos de levantamento topográfico. Laussedat, o grande topógrafo francês, foi o pai da fotogrametria, utilizando, já no meado do século XIX, fotografias terrestres que funcionavam como croquis panorâmicos, de onde se deduziam afastamentos angulares. Duas fotografias, tomadas nos extremos de uma base, visando uma mesma região, permitiam a restituição por meio de interseções a vante, constituindo, então, novo aspecto do clássico processo das interseções.

Com o estéreocomparador Pulfrich surge em 1901 a estereofotogrametria, com a observação simultânea do par de fotografias, produzindo sensação de relêvo do modêlo. Finalmente em 1911 surge o estereoautógrafo de Orel, permitindo a restituição automática do modêlo que se observa.

O desenvolvimento da fotogrametria vem, pouco a pouco tornando mais seguros os seus resultados, desdobrando as possibilidades de operações de gabinete e, em consequência, simplificando os trabalhos de campo, reduzindo sensivelmente as despesas e aumentando o rendimento.

Pretendemos, justamente, dar uma idéa sôbre as possibilidades atuais, mostrando o que a fotografia fornece e o que continua a ser procurado no terreno. Além disso a rápida descrição que se segue mostrará certas outras vantagens que a fotogrametria já apresenta sôbre os métodos clássicos, demonstrando, entretanto, que ainda está longe de fazer milagres. Não se trata apenas de bater fotografia e desenhar.

* * *

O nosso Serviço Geográfico publica suas cartas topográficas — escala normal de $1/50000$ — em *folhas* de 10 por 10 minutos, isto é, enquadradas por meridianos e paralelos múltiplos de 10 minutos. (Fig. 1).

Sôbre a área de uma dessas folhas faremos, supondo a escala normal, a rápida descrição das operações que constituem o levantamento estéreo-aérofotogramétrico.

Para sobrevoar a área de uma folha é necessário inicialmente determinar e balizar, no terreno, os 4 cantos respectivos. Uma turma de Astronomia executa êsse serviço por meio de *posições geográficas*, isto é, determinações de latitude e longitude. Balizados os cantos com telas ou sinalização no próprio terreno, pode ser iniciado o vôo, que é, entretanto, ainda precedido de reconhecimento a pequena altura.

Suponhamos uma câmara fotográfica de distância focal 200 m/m. Para se obter a escala, *nas fotos*, de $1/20000$, o vôo já será de 4000 metros acima do nível médio do solo. Embora desejemos escala $1/50000$ para impressão das folhas, a escala maior que nos é imposta, nas fotos, pela grande dificuldade de vôos fotogramétricos a altura superior a 4000 metros, torna-se sobremodo vantajosa, não só pela maior nitidez das fotos, mas também porque a redução final da escala acarreta consequente-

mente redução dos erros cometidos nas operações intermediárias.

A primeira operação característica do método é o vôo fotogramétrico, em cuja regularidade repousa a eficiência do levantamento.

VÔO FOTOGRAMÉTRICO

Durante os vôos fotogramétricos o avião deve manter o máximo de estabilidade e conservar direção e altura.

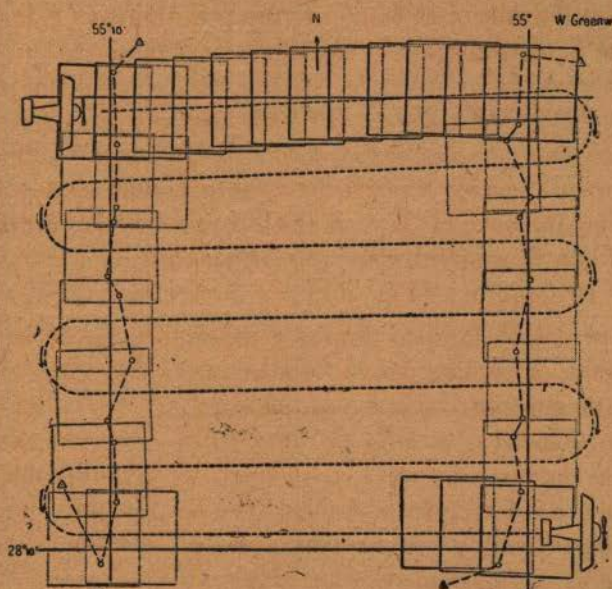


Fig. 1

Nas faixas extremas da folha, ao N e ao S, a direção é mais facilmente assegurada pelo balizamento dos cantos no terreno. Nas intermediárias, entretanto, crescem as dificuldades, fazendo-se o vôo pela bússola, servindo ainda de orientação os acidentes sobrevoados na faixa contígua, agora deixados à margem. Constitue inicialmente grande dificuldade para o piloto a realização de faixas perfeitamente paralelas e com o necessário recobrimento. (Fig. 1)

A conservação da altura é assegurada pelo estatoscópico exigindo porém, dada a pequena tolerância, grande habilidade e atenção do piloto. A estabilidade do avião deve garantir a verticalidade do eixo ótico da câmara dentro de 2 ou 3.º.

E' fácil avaliar as dificuldades da satisfação dessas condições, lembrando a irregularidade das correntes atmosféricas com as rajadas, os remuos, etc., e o grande número de preocupações exigindo a atenção do piloto. Os mais hábeis falham nos primeiros vôos, recobrando em demasia ou deixando áreas não sobrevoadas, perdendo ou ganhando altura, fazendo zig-zags, etc.

A realização dos vôos fotogramétricos está subordinada à limpeza absoluta do céu, condição difícil de se obter. A frequência média de ocorrência dessas condições atmosféricas necessárias, não é superior a 3 dias por mês.

O vôo em linha reta, com exposições periódicas, permite fotografar-se uma faixa de terreno com a largura de 3600 metros, dado o formato de (18 x 18 das fotos que consideramos e a escala decorrente da altura de vôo).

As fotos são batidas de forma a haver superposição maior de 50 %, para que qualquer ponto do terreno apareça, em duas fotos consecutivas.

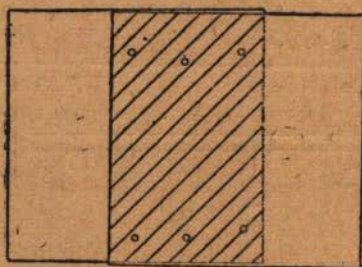


Fig. 2

A zona de superposição de fotos consecutivas forma o chamado *par estereoscópico*, que nos permitirá a sensação de relevo do modelo.

Duas faixas vizinhas devem ter recobrimento de 20 %, o que torna necessário 7 faixas para sobrevoar a área de um

folha que tem aproximadamente 18,5 x 18,5 kms. na região equatorial e 18,5 x 16,0 no extremo sul do Brasil.

Em cada faixa são feitas umas 15 exposições, o que dá total médio de 100 fotos cobrindo cada folha.

Fazendo o vôo de ida e volta, isto é, as faixas alternadamente de este para oeste e de oeste para este (fig. 1), o desenvolvimento corresponderá a uns 175 kms. por folha, o que limita o rendimento máximo de 2 folhas por dia de vôo, ou sejam 350 kms. Somos obrigados a considerar, no estabelecimento desse limite máximo, o tempo necessário ao avião para atingir os 4000 ms., assim como o esgotamento produzido por um vôo fotogramétrico que dure mais de 4 horas.

As porcentagens de *superposição* das fotos ao longo de uma faixa (permitindo a formação dos pares estereoscópicos), e de *recobrimento* lateral de duas faixas contíguas (constituindo lógica margem de segurança), reduzem a pouco mais de 30 % a área útil de cada foto.

Sobrevoada a folha, revelado e copiado o film, já é possível obter um conjunto da planimetria, compondo um mosaico com as fotos.

A composição do mosaico acarreta, naturalmente, certas deformações que seriam inaceitáveis para uma carta topográfica. Se conhecermos, porém, a situação de alguns detalhes que amarrem algumas fotos, o mosaico crescerá de valor e será chamado *foto carta*.

Como medida de urgência, em casos de operações de guerra, o que sucedeu, por exemplo, durante a revolução paulista de 1932, são fornecidas à tropa fotocartas, ou mesmo simples mosaicos.

A interpretação dos elementos que nos fornecem as fotografias aéreas exige alguma prática e daí o pouco valor que muitas vezes é dado à fotocarta. O estágio de oficiais de tropa no I.G.M., previsto na recente lei do Ensino Militar, para formação de especialistas topógrafos de 1.^a categoria, trará sem dúvida os mais benéficos resultados, difundindo a prática de utilização dos modernos meios de representação dos acidentes do terreno.

A fotocarta dá-nos informações preciosas sôbre a planimetria, embora deixando ainda várias dúvidas. Ela não nos esclarece, por exemplo, sôbre a praticabilidade das estradas, sôbre a possibilidade de travessia dos rios, sôbre as zonas alagadiças ou lodosas, sôbre a nomenclatura dos acidentes, etc. Além disso muitos aspectos fotográficos são de difícil ou mesmo impossível interpretação. Daí a necessidade de *reambulação*, pela qual são colhidos os elementos indispensáveis à completa representação planimétrica.

REAMBULAÇÃO

As fotos são levadas ao terreno acompanhadas cada uma por uma folha de papel vegetal, sôbre que serão lançados os desenhos e legendas esclarecedores. O operador deve palmilhar o terreno, transportando para a folha de vegetal todos os elementos não encontrados ou não interpretáveis na foto. Uma estrada, que se vê nítida, pode ter atoladouros ou más pontes; um pequeno arroio pode ter barrancos que constituam obstáculos ao deslocamento da tropa; passagens geralmente francas inundam-se em certas épocas do ano; etc. A observação pessoal e as informações dos moradores permitem as conclusões do topógrafo.

AMARRAÇÃO PLANIMÉTRICA

A simples reunião dos desenhos contendo a planimetria tirada das fotos e completada pela reambulação, não permitiria um conjunto que satisfizesse às exigências de rigor que caracterizam a carta topográfica. Uma rede de pontos determinados, alguns no terreno e outros em aparelhos estereofogramétricos de precisão, estabelecerá o arcabouço que amarrará as fotos, evitando a propagação dos erros.

Antes das seções de topografia irem para o campo, uma turma de geodésia terá estabelecido uma rede de 3.^a ou 4.^a ordem. Havendo na região triangulações de ordem superior, dela se desenvolverá a de ordem inferior agora necessária. Caso

contrário será medida uma *base* que, desenvolvida, fornecerá um primeiro lado da nova rede.

Quer os vértices geodésicos, quer os pontos astronômicos, determinados anteriormente ao vôo, devem ser balizados no terreno para que possam ser identificados depois nas fotos, servindo como pontos de amarração.

Apoiados nos vértices geodésicos ou nos pontos astronômicos, são medidas poligonais que determinarão novos pontos do terreno identificáveis nas fotografias. Percorrendo as extremidades das faixas de vôo, tais poligonais (fig. 1) determinam dois pontos em cada extremidade de faixa. Fica assim cada faixa amarrada por 4 pontos determinados no terreno, que lhe fixam os extremos. (fig. 3).

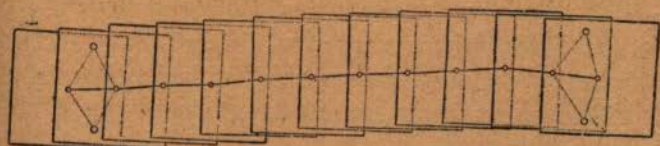


Fig. 3

Aparelhos estéreofotogramétricos de precisão permitem, sobre os films, a medição de poligonais fotogramétricas ao longo das faixas, determinando os pontos centrais das fotos, com precisão pouco inferior às determinações de campo. Essas poligonais fotogramétricas se apoiam nos pontos medidos no terreno, nos extremos da faixa. Fica assim a faixa completamente amarrada. (fig. 3).

Do cálculo das diversas poligonais obtêm-se as coordenadas dos pontos de amarração dos extremos das faixas, assim como de todos os centros de foto. Locados em uma folha de papel, aí se vai compor o original, dispondo convenientemente os desenhos obtidos das 100 fotos.

Resolvida a questão planimétrica vejamos como se resolve o problema altimétrico.

ESTEREOSCOPIA. APARELHOS DE RESTITUIÇÃO

Duas fotos que se superpõem de 60%, apresentam área comum que permite a observação estereoscópica, isto é, a observação do modelo em relêvo dentro do *par estereoscópico*. (fig. 2) São duas perspectivas de uma mesma zona, que conjugadas permitem a sensação do *relêvo*.

Essa *sensação de relêvo* que temos normalmente observando objetos situados em diferentes planos é devida a vários fatores dos quais citaremos os mais importantes:

1 — A *superposição parcial* das imagens é talvez o principal fator indicativo da profundidade relativa dos objetos. Uns aparecem por detrás de outros. A dificuldade de avaliação das distâncias no mar ou na planície é justamente consequência da falta de acidentes intermediários que balizem planos sucessivos.

2 — O *diâmetro aparente* dos objetos próximos é muito maior do que o dos objetos afastados. Como temos certa noção das dimensões verdadeiras desses objetos, interpretamos a diferença de diâmetro aparente como consequência que é, da diferente profundidade.

Êsses dois fatos permitem a sensação monocular do relêvo.

3 — A visão binocular acarreta ainda a *dupla perspectiva* que é importantíssimo fator que serve de princípio aos aparelhos estereoscópicos.

Quando observamos um ponto no infinito, os raios visuais são paralelos, ao passo que observando um ponto próximo os raios são convergentes, e tanto mais convergentes quanto mais próximo o ponto. A variação de convergência é proporcional à distância.

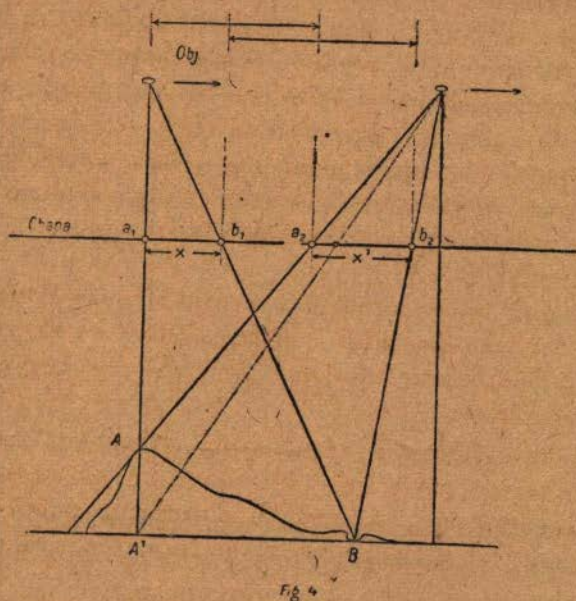
Uma paisagem á grande distância parece-nos plana, porque as perspectivas para cada olho são praticamente iguais, sendo paralelas as visadas para cada ponto. Se a paisagem está próxima as perspectivas diferem em consequência da variação de convergência das visadas.

A sensação de relêvo que obtemos de imagens planas conjugadas, como são as duas fotos de um par estereoscópico, torna-se possível quando fazemos corresponder a cada um dos olhos

uma perspectiva diferente da mesma paisagem. Reproduzimos assim o fenômeno comum da visão binocular.

Imaginemos duas fotos sucessivas de uma faixa de vôo. O avião percorre quasi 1500 ms. entre os momentos das duas exposições. Temos assim duas perspectivas com pontos de vista bem afastados.

Se o terreno recoberto fôr perfeitamente plano a posição relativa dos diversos acidentes planimétricos será idêntica na zona de superposição das duas fotos. Orientemos as duas fotos de modo a cada uma corresponder a um dos nossos olhos, e suponhamos que observamos uma volta de estrada de forma que os



raios visuais sejam paralelos. Se passarmos a observar outros detalhes manter-se-á o paralelismo dos raios, uma vez que a situação relativa dos pontos da planimetria é a mesma nas duas fotos. O modelo nos parece plano como na realidade se supôz o terreno. Todas as imagens se formam num mesmo plano.

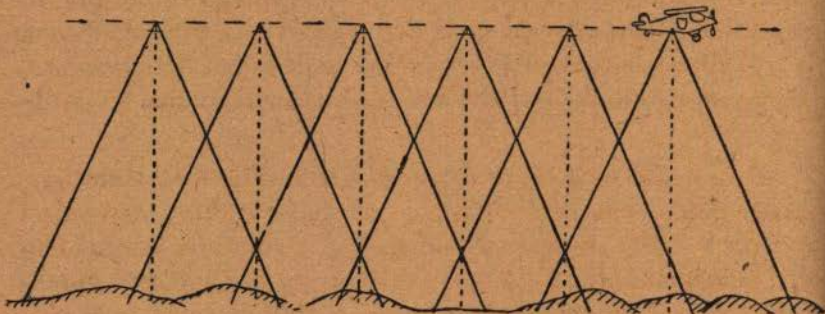
Suponhamos agora uma elevação, em cuja base corra a estrada que trouxemos como exemplo. Já agora a posição rela-

tiva entre o cimo da elevação e a volta da estrada é diferente nas duas perspectivas.

Se tínhamos os raios visuais paralelos quando fixávamos a volta da estrada tê-lo-emos agora convergentes, fato êsse que interessa o nervo ótico refletindo-se no cérebro de modo idêntico ao que acontece quando observamos uma paisagem com diversos planos. E' uma paralaxe, que se introduz e que nos trás a sensação de relêvo. Quanto mais alta a elevação mais sensível a diferença nas posições relativas das duas fotos e, conseqüentemente, mais forte convergência ao observá-la.

Obtemos assim a sensação do modêlo em relêvo, da região compreendida pelo par estereoscópico.

A relação entre as variações de altura do terreno e as conseqüentes variações de situação relativa nas fotos é bem simples e permite, pela fácil medida destas, a determinação daquelas.



Nos aparelhos estereoscópicos, o artifício que permite a medida das variações lineares de posição relativa dos detalhes, consiste em fazer corresponder duas pequenas marcas idênticas, por exemplo um ponto vermelho, um a cada foto. Isto se obtém intercalando as marcas nos sistemas óticos, do mesmo modo que os retículos de um teodolito ou binóculo, porém móveis.

Se essas marcas estiverem colocadas exatamente sôbre as duas imagens de um mesmo ponto, confundir-se-ão na visão estereoscópica do modêlo, parecendo uma só marca em contacto com o modêlo.

Suponhamô-las confundidas estereoscópicamente naquela

mesma volta de estrada. O aparelho permite que seja medida a distância entre elas.

Se deslocamos as marcas para o cimo da elevação, procurando novamente a superposição que as confunde no modelo, a distância entre elas terá variado, porque o deslocamento será diferente sobre cada uma das fotos ($b_1 a_1$ e $b_2 a_2$). O olho esquerdo se desloca de b_1 para a_1 , enquanto o direito se desloca de b_2 para a_2 . (Fig. 4).

Nova medida da distância entre as marcas indicará o valor da correspondente variação linear, ($b_1 b_2 > a_1 a_2$) variação essa proporcional à diferença de nível entre os dois pontos considerados.

Podemos assim obter a altura de qualquer ponto do modelo, em relação a um plano qualquer do mesmo modelo. Nos aparelhos restituidores há dispositivo especial que permite que um lapis trace o percurso de uma das marcas. Percorrendo com ela a planimetria temos o correspondente desenho. Também para cada ponto de altura medida, temos a respectiva situação no desenho.

Para traçar uma curva de nível diretamente é bastante fixar o afastamento conveniente das marcas, para a altura desejada e procurar a linha do terreno em que as marcas se confundem. Para cada ponto dessa linha o afastamento das imagens correspondentes, nas duas fotos, será igual ao afastamento fixado para as marcas.

O aparelho de restituição atualmente em uso no S. G. H. E. é o pequeno estereógrafo tipo S. G. E. inventado pelo nosso técnico sr. Emilio Wolf, autoridade mundial em assuntos de fotogrametria.

Resolveu o problema de aparelhagem substituindo, com pequena diminuição de precisão, os grandes aparelhos anteriormente usados, que nunca poderiam ser adquiridos em série, para produção em larga escala, porque são de preço elevadíssimo.

Cada par estereoscópico fornece uma pequena área desenhada no aparelho. Uma folha compreende, em média, 100 pares, portanto, 100 pequenos desenhos.

AMARRAÇÃO ALTIMÉTRICA

As determinações altimétricas que acabamos de esboçar foram apresentadas com a simplificação decorrente da suposição de um vôo satisfazendo às condições teóricas de estabilidade e manutenção de altura, assim como de exposições com eixo ótico rigorosamente vertical.

As inevitáveis variações de altura e direção de vôo e as pequenas inclinações do eixo ótico da câmara nos momentos de exposição, influem sobre a formação do modelo em relêvo, desmielando-o e deformando-o.

Afim de corrigir êsses êrros torna-se necessário obter uma rede de pontos com altitudes medidas no terreno. Estas últimas formam um arcabouço que permite corrigir os êrros então evidenciados.

Procura-se, para cada par estereoscópico, 6 dêsses pontos de modo que sejam identificáveis na fotografia e no terreno disposto 3 no alto e 3 na base. (fig. 2).

Isso corresponde a correr 2 poligonais altimétricas em cada faixa uma passando no bordo norte das fotos e outro no bordo sul.

Dado o recobrimento das faixas, muitas vezes duas poligonais mais ou menos se entrelaçam, a que corre ao sul de uma faixa e a que corre ao norte da contígua.

Em média são determinadas as altitudes, no terreno, de cerca de 400 pontos por minuto, trabalho que, em terreno coberto e movimentado se torna penoso e moroso.

Tal densidade de referências no terreno, permite-nos obter com suficiente precisão, a carta topográfica na escala de ... 1/50000, com equidistância de 20 metros.

COMPOSIÇÃO

Para reunir os pequenos desenhos obtidos nos aparelhos restituidores são êles decalcados numa folha de papel entelado onde foram locados anteriormente, pelo coordenatógrafo, todos os pontos cujas coordenadas se obtiveram por meio da triangulação.

ção, das posições geográficas e das poligonais de campo ou fotogramétricas.

Aí figurando, como já vimos, os centros de tôdas as fotos, dispõem facilmente os respectivos desenhos, que são então decalcados.

Naturalmente surgirão pequenas divergências na planimetria e na altimetria, as quais serão compensadas de acôrdo com regras simples que ensinam a eliminar os êrros ainda restantes.

Além disso a visão de conjunto permite o reajustamento do modelado em função das leis da topologia.

O trabalho de composição, feito por topógrafo, naturalmente é deficiente quanto à perfeição do desenho. Assim o original precisa ser novamente desenhado por cartógrafos cujo trabalho é moroso, dada a precisão absoluta exigida na representação convencional dos acidentes.

A precisão dos novos processos de levantamento é inteiramente satisfatória para a escala normal que adotamos. Tem ainda, sôbre os métodos clássicos, a vantagem da representação mais fiel do modelado, em consequência da visão de conjunto que se obtém na observação do modelo em relêvo.

As formas são assim mais facilmente interpretadas, podendo ser representadas com seus mínimos detalhes.

Esta rápida descrição talvez tenha dado uma impressão sôbre a redução que sofreram os trabalhos de campo em relação aos métodos clássicos. Evidencia, entretanto, a série de operações que ainda devem ser feitas, além do vôo fotogramétrico, contrariando assim as imaginações simplistas, que supõem os levantamentos modernos reduzidos à tomada, revelação e copiagem de fotografias.