

APLICAÇÃO DO BALPLEX EM ORTOFOTOGRAFIA

DELMAR A. B. MARCHETTI
Professor Assistente Doutor
do Dept.º de Engenharia
Rural ESALQ — USP

1 — INTRODUÇÃO

A aplicação de ortofotos tem aumentado assustadoramente nos últimos 10 anos.

Diversas das maiores firmas em fotogrametria tem dispensado todos os esforços nesse campo, investindo grandes somas de dinheiro no desenvolvimento, produção e comercialização, de equipamento para a ortofotografia. Além disso, pode-se notar, o grande interesse despertado pelo ortofoto, através do grande número de trabalhos recentemente publicados neste campo.

Esta técnica fotogramétrica permite obter em uma emulsão fotosensível um foto-mapa altamente detalhado, contendo informações da terra com todos os detalhes que aparecem na sua superfície.

A Fig. 1 mostra uma ortofotografia com escala real e comum, comparada com a fotografia aérea vertical, com escala variável.

O SFOM 693, que é uma unidade ortofotográfica, é composto de uma mesa de altura ajustável. O plano dessa mesa permanece paralelo à mesa do aparelho "plotador" a qual serve como superfície de referência. O filme, colocado dentro dessa mesa e protegido contra as exposições, é exposto através de um orifício

muito pequeno que corre por toda a largura do filme, permitindo que a área seja totalmente varrida.

O SFOM 693 tem sido especialmente designado para ser adaptado a instrumentos "plotadores" de projeção dupla. A projeção é composta de 2 luzes, a vermelha e a azul. Duas imagens são projetadas, mas somente a azul sensibiliza o filme. A imagem inativa vermelha serve somente para a observação estereoscópica. Neste estudo nós usamos o Balplex o qual tem uma projeção anaglífica que ilumina toda a área do diapositivo. Muitos dos peritos em produção de mapas e construção de instrumentos predizem que os mapas obtidos pela ortofotografia logo ocuparão o lugar dos mapas convencionais.

2 — BALPLEX (ER-55)

O ER-55 foi idealizado e construído pela "Bauch and Lomb Inc." sob o nome de "BALPLEX" e é baseado num projetor (ER-55) idealizado por Russel K. Bean do U.S. Geological Survey. A designação ER-55 é derivada do uso de um refletor elipsoidal (ER) com a distância principal de 55 mm. É um instrumento de projeção anaglífica que ilumina toda a área da fotografia (Fig. 2) e designado para ser usado com

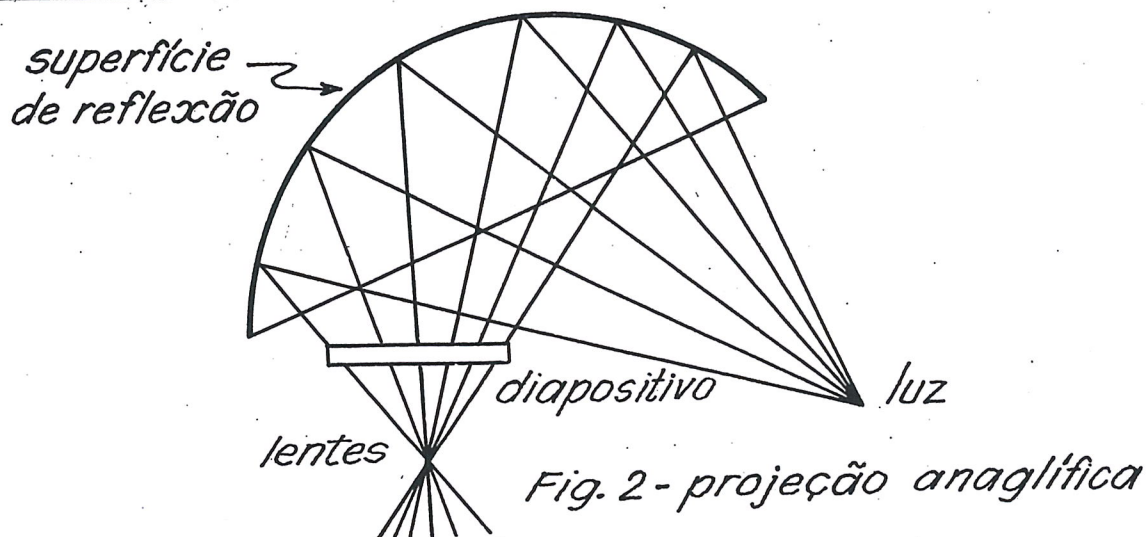


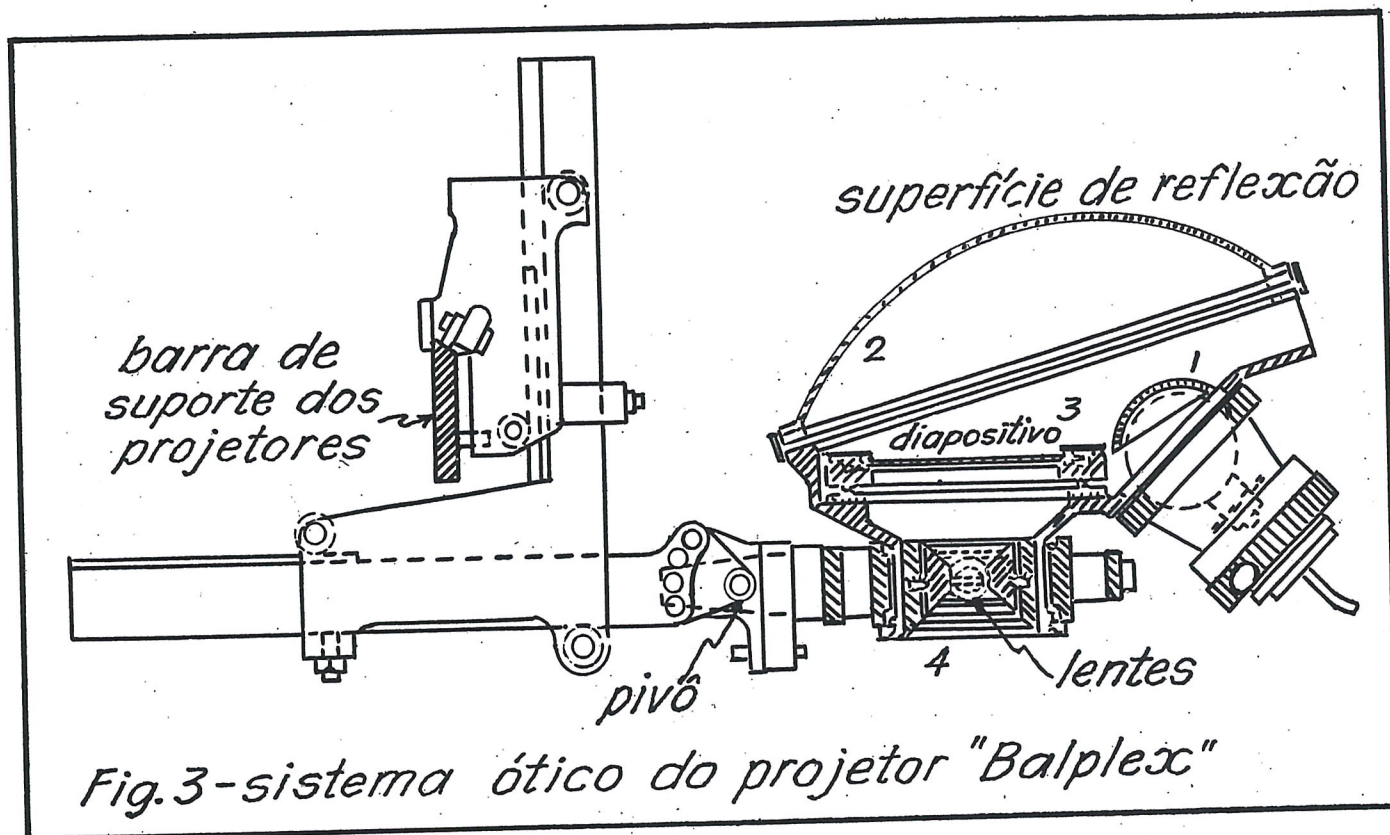
FIGURA 1 — Fotografia aérea vertical à esquerda; ortofotografia à direita.

fotografias com distância focal de 15 cm e ângulo largo.

Uma característica distinta do BALPLEX é seu sistema de reflexão. O refletor é côncavo, possuindo na superfície de reflexão um espelho, formando um elipsóide. A Fig. 3 mostra um diagrama esquemático do BALPLEX mostrando a luz (1), o espelho refletor (2), o diapositivo (3) e o conjunto de lentes (4).

O sistema de iluminação do refletor elipsoidal é altamente eficiente e livre da presença das usuais aberrações cromáticas presentes num sistema de lentes. Todas as cores são refletidas inclusive a vermelha, assim um sistema forçado de ar frio é necessário para prevenir acidentes no sistema de lentes, no refletor ou no diapositivo. O sistema de projeção das lentes é do tipo hypergon e é praticamente livre de distorção. Tem uma distância focal nominal de 49,8 mm e uma





abertura efetiva das lentes de $f/16$. Numa ótima distância de projeção, as imagens são aumentadas aproximadamente 3,4 vezes do tamanho original do negativo da fotografia. As lentes são assim montadas, a fim de assegurar uma ótima projeção das formas da imagem, no plano de projeção quando trabalhando com fotografias oblíquas; isto satisfaz a condição Scheimpflug. Esse princípio ótico afirma que a imagem pode ser obtida somente quando, o plano definido pelo objeto (diapositivo), o plano através do centro perspectivo das projeções normais para o eixo das lentes e o plano de projeção, todos se interceptam na mesma linha (Fig. 4).

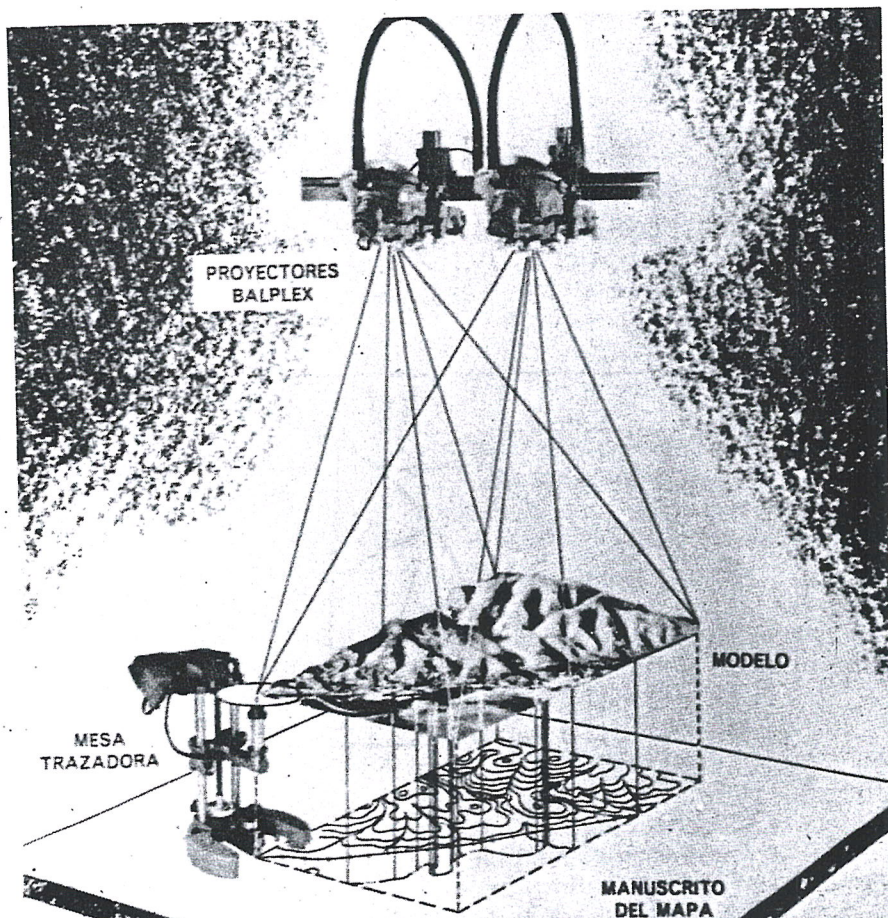


FIGURA 4 — Projetor Balplex

O projetor tem um conjunto de passos para acomodar fotografias oblíquas-baixas. Cada projetor tem 6 movimentos: movimentos de translação ao longo dos eixos x, y e z, bem como os movimentos de rotação em torno desses mesmo eixos. Os diapositivos, que são reduzidos, providos de correção para a distorção radial das lentes, tem o tamanho de 110 mm² (o formato da foto é aproximadamente 82x82 mm) e é mantido na posição mostrada na Fig. 3 através de uma armação.

O suporte dos projetores "BALPLEX" é suficientemente grande para acomodar 3 projetores. A barra de suporte tem saída elétrica para os projetores e mesa traçadora que permite a variação da intensidade de luz projetada. A mesa plotadora pesa cerca de 375 kg.

3 — CARACTERÍSTICA GERAIS DO SFOM MODELO 693

O Ortofotógrafo SFOM modelo 693 (Fig. 5) é um instrumento versátil e econômico para a produção de ortofotografia. Deve ser usado acoplado a estereo-plotadores com projeção dupla direta, ao qual é facilmente adaptável.

Existem dois tipos desse modelo: o A-693, que é um modelo simples cujo movimento transversal (direção do eixo y) é manual e o C-693, um modelo semi-automático equipado com um programador automático para o movimento transversal (direção do eixo y). Esse modelo foi

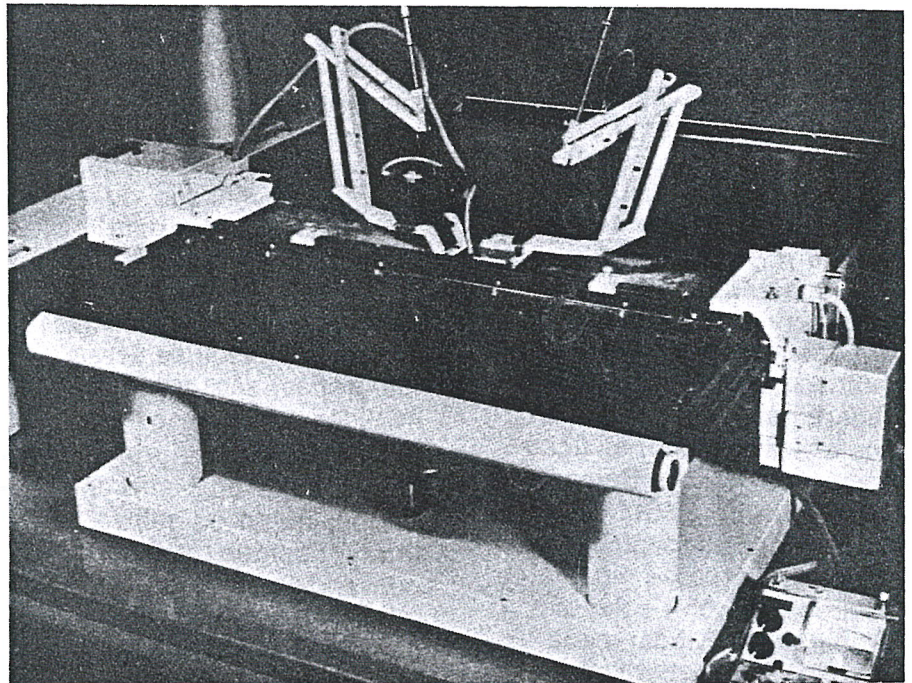


FIGURA 5 — Ortofotógrafo SFOM modelo 693.

projetado para nele serem conectados mecanismos que permitem o traçado automático de curvas de nível. Esses dois modelos têm sido adaptados em diferentes tipos de instrumentos restituidores.

As características do SFOM são:

Tamanho: 960x1.200 mm
 Altura: 345 mm
 Movimento na direção do eixo X: 530 mm
 Movimento na direção do eixo Y: 790 mm
 Movimento na direção do eixo Z: 150 mm
 Máxima variação nas dimensões fotográficas: 520x830 mm
 Altura média do prato com respeito a mesa plotadora: 325 mm
 Tamanho do orifício de exposição:
 Largura ao longo do eixo X: 2 mm
 Comprimento ao longo do eixo Y:

- a) Modelos A e B: 5, 10, 20 ou 40 mm
 - b) Modelos C e D: 4, 7-9, 4-18, 8-37, 6 mm
- Voltagem: 110 e 220 volts.
 Consumo máximo: 40 watts.

Em vista do grande número de estereoplotadores de projeção dupla e direta através de todo o mundo, a "Société Française d'Optique et de Mécanique" usou esses instrumentos como base para a construção de ortofotos. Eles conservaram a capacidade básica do instrumento original e além disso produziram uma máquina tão simples quanto possível sem sacrificar o produto final — o ortofoto. O

interesse foi produzir um equipamento adaptável na maioria dos estereoplotadores, com baixo custo inicial, fácil manutenção e treinamento

mínimo para os operadores. Portanto, para se adaptar o Modelo 693 em muitos aparelhos plotadores é necessário modificar a Barra ou Ponte correspondente aos movimentos do eixo X para garantir ortofotos de alta qualidade. Há também outras considerações que precisam ser levadas em conta. A firma francesa anteriormente citada sugere que para a maioria dos casos a melhor solução é substituir toda a Barra X pela Barra do SFOM 920. Para se fazer adaptação em cada marca de modelo de estereoplotador é preciso examinar e estudar cada modelo para determinar-se quais as modificações necessárias para se obter um ótimo resultado.

O resultado desses objetivos pode ser visto no Modelo Ortofotográfico SFOM 693 na Fig. 5. Na Fig. 6 podemos vê-lo montado no esteoplotador SFOM 920. Nos Estados Unidos esse arranjo é usualmente encontrado na OGM, "Belfort and Aero Service" construtora de plotadores. Recentemente foi mostrado que o modelo SFOM 693 pode ser adaptado, com algumas modificações ao plotador BALPLEX 525 ou 760 produzido pela "Bausch and Lomb".

4 — COMO É PRODUZIDA A ORTOFOTOGRAFIA

A fotografia aérea e a ortofotografia são muito semelhantes (Fig. 1). O ortofoto é um equipamento que converte as fotografias — perspectivas convencionais — na equivalente fotografia-ortogonal; quando isso ocorre o plano da imagem na câmara é paralelo ao plano de

referência e todos os raios correspondentes à imagem são perpendiculares a esses dois planos. Não haverá deslocamento das imagens devido à inclinação ou relevo e o resultado será uma fotografia que corresponde a um mapa com escala uniforme. Assim sendo, as distâncias horizontais medidas nessas fotografias, são corretas, negligenciando-se o relevo da terra. Isto é uma prova contrastante do bem conhecido deslocamento do relevo nas fotografias-perspectivas convencionais. Se a fotografia-perspectiva convencional sofreu uma inclinação no momento da exposição é evidente que há uma distorção na escala. A fotografia ortográfica, por definição, não tem inclinação e

portanto não tem distorção na escala. As fotografias produzidas dessa maneira são chamadas de "ortofotografias".

O princípio da ortofotografia é a transformação de fotografias aéreas convencionais em fotografia ortogonal, possibilitando dessa maneira medidas quantitativas e qualitativas. Uma ortofotografia é o equivalente de uma fotografia ortográfica da terra tomada de um ponto no espaço. Isto pode ser feito removendo-se os efeitos da inclinação, relevo e muitas das aberrações das lentes a partir de fotografias perspectivas convencionais da terra. No caso de terrenos planos, o uso de retificadores

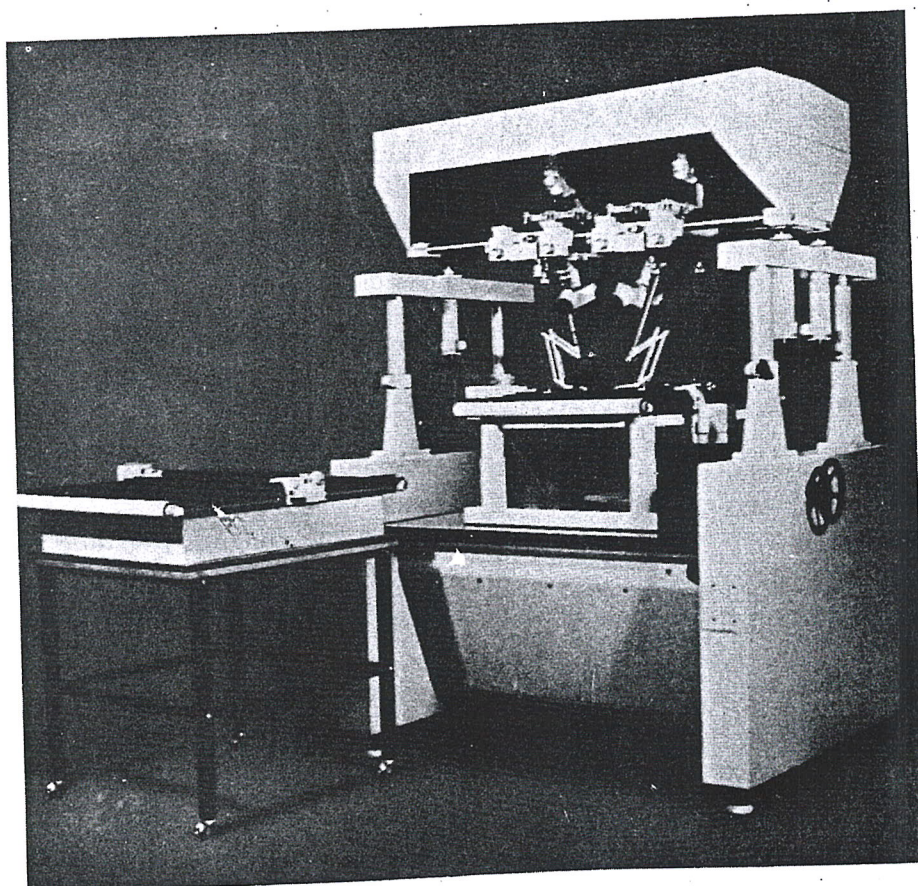
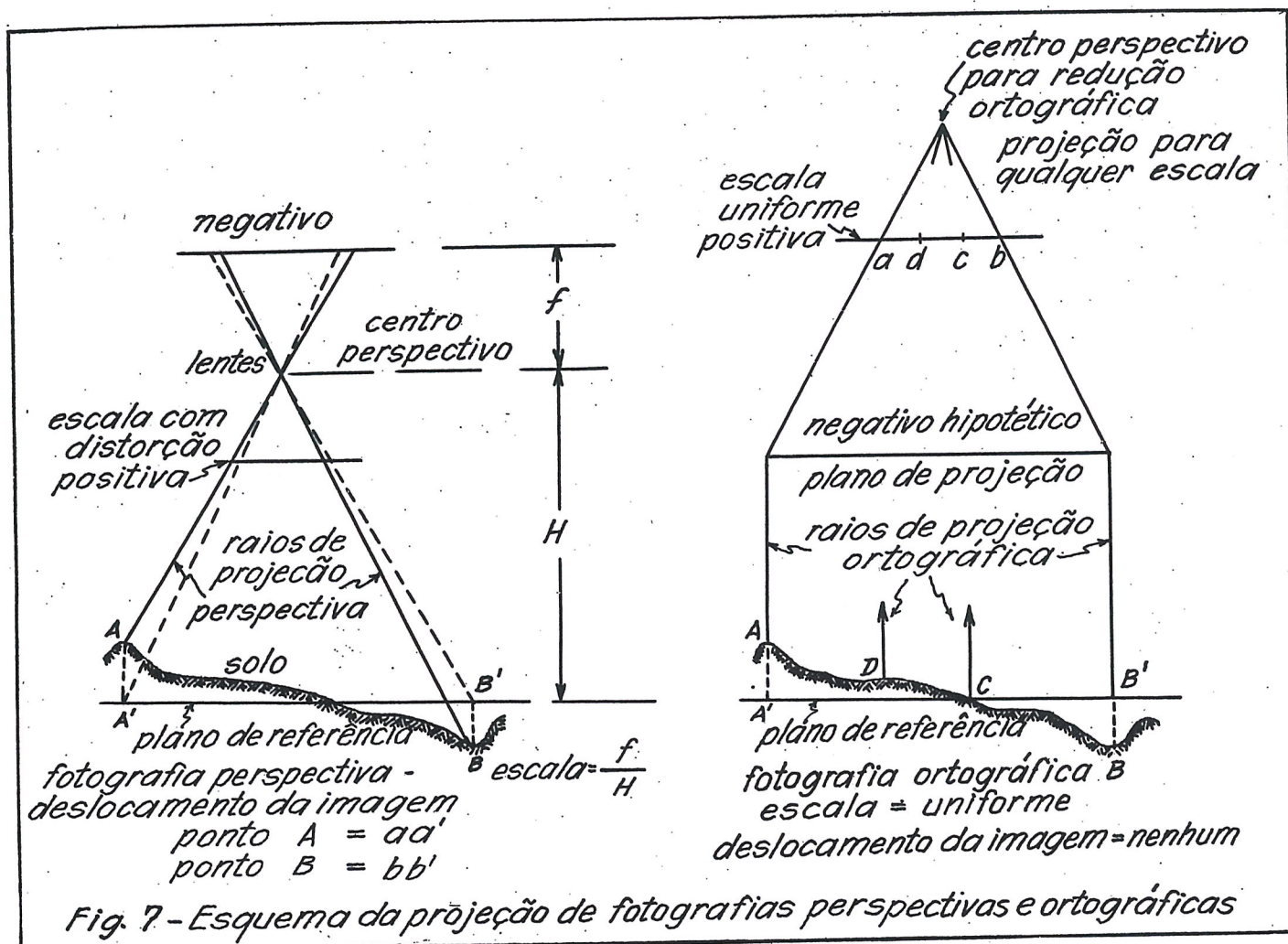


FIGURA 6 — Estereoplotador SFOM 920.



torna possível preparar mosaicos aéreos com características geométricas correspondendo plenamente com as posições verdadeiras dos mapas. Se a mesma técnica for aplicada com fotografias tiradas de um terreno com relevo acentuado, o deslocamento do relevo aumentará radicalmente de acordo com a extensão o que torna praticamente impossível medidas na escala verdadeira.

Para remediar essa situação, são frequentemente preparados mosaicos aéreos com a ajuda de retificadores compostos de fotografias selecionadas e retificadas

de áreas com declives aproximados. Entretanto, aumentando as diferenças no terreno, este método logo encontra seus limites. Uma perfeita solução para o problema da retificação no caso do relevo da terra, consiste em retificar todo o negativo através de "linhas de varredura" (strips) com ajustamento contínuo da escala de acordo com a elevação dos diferentes pontos da terra. A técnica permite a retificação de terreno suavemente ondulado a montanhoso, com o desejado grau de acuracidade, dependendo da largura do orifício que irá "varrer" a área e a velocidade de "varredura".

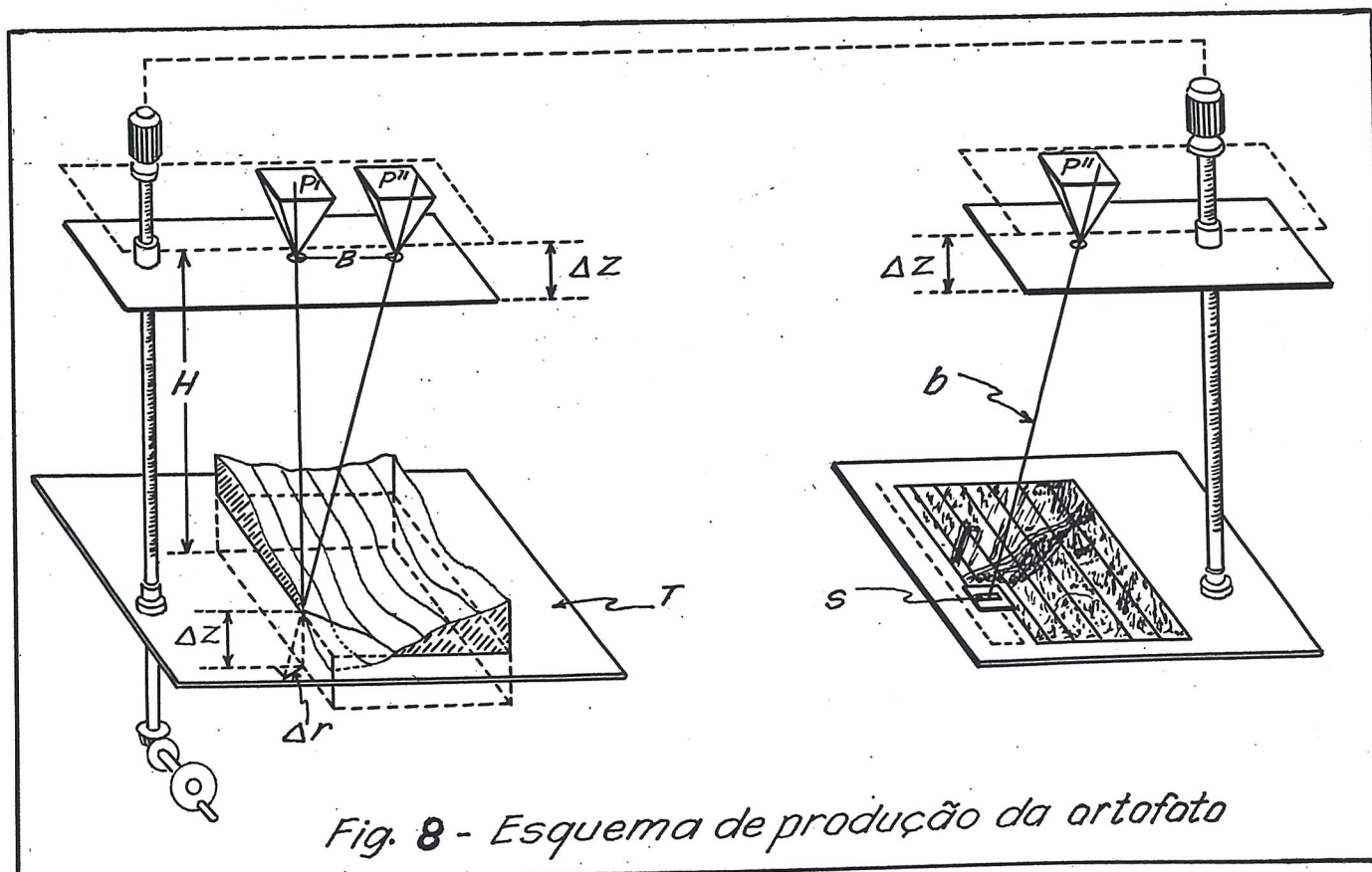
Assim, a fotogrametria torna realidade a obtenção do verdadeiro foto-mapa. Portanto, agora é possível a obtenção de foto-mapas, para a revisão de mapas e preparação de mosaicos aéreos de terrenos desiguais ou acidentados. O ORTOFOTO consiste basicamente em duas partes. A parte superior é essencialmente um instrumento plotador anaglífico de projeção dupla. Quase todos os modelos usam os projetores ER-55 (Balplex). A inferior corresponde a uma mesa de desenho de um instrumento plotador comum, é substituída por um equipamento tendo um

orifício com abertura variável, chamado abertura de "varredura". Imediatamente abaixo desse orifício está o filme a ser sensibilizado e que pode ser movido na direção do eixo Z, enquanto que o orifício percorre toda a área movendo-se na direção dos eixos X e Y. O modelo estéreo anaglífico da terra é projetado no orifício de varredura. A largura do orifício é constante na direção X. O comprimento ao longo do eixo Y é ajustável e pode assumir diferentes valores, os quais são escolhidos em função das características do relevo. O

orifício é constantemente movido através do filme, através de um motor elétrico e toma diferentes níveis no modelo espacial através do operador. Dessa maneira, depois que uma faixa do filme foi exposta, o orifício é movido ao longo do filme, numa distância igual à largura do orifício e outra faixa será exposta. Como o orifício é movido sistematicamente sobre toda superfície, o filme abaixo do orifício é exposto por ambos os raios de luz — o vermelho e o azul — dos projetores. Desde que o filme não é sensível à luz vermelha, somente os raios de luz azul sensibilizam o negativo. Assim cada ponto do modelo tem sua imagem gravada no filme e sua posição

ortográfica correta. Esse processo é repetido até que toda superfície do filme tenha sido exposta. O ortofoto é uma projeção vertical quase verdadeira no plano horizontal do filme. (Ver Fig. 8).

A escala do negativo exposto é a do plano de referência principal do modelo estéreo. A qualidade de um ortofoto depende da qualidade e brilho da imagem do diapositivo projetado sobre o filme a ser exposto. Luz de Quartz-Halogêneo e lente de projeção de alta qualidade são essenciais para um resultado satisfatório.



O ortonegativo, o produto imediato do instrumento está pronto para a leitura e tem as tonalidades contrárias de um negativo. Isto é ortograficamente correto para medidas planimétricas.

Pode-se obter fotografias do ortonegativo em qualquer escala por meio de uma câmara copiadora usada como uma impressora de projeção.

O ortofoto não pode possuir uma perfeita acuracidade planimétrica, apesar de todo cuidado durante a sua obtenção. O erro pode ser muito pequeno (menos do que 0,1 mm); seria muito difícil reduzir esse erro para a ordem de 0,01 mm e talvez desnecessário para a maioria dos usos do ortofoto.

5 — APLICAÇÕES DO ORTOFOTO

O ortofoto pode ser usado em planejamento, comunicação, operações gráficas de campo, cópia direta de características planimétricas, avaliação e supervisão de mapas.

Fotografias tiradas à grandes altitudes torna o uso das técnicas ortofotográficas econômicas, reduzindo o custo do ortofoto e produtos relativos. Provavelmente, o uso do ortofoto para uma única finalidade acima mencionada não seria econômico, mas uma combinação das aplicações torna o uso do mesmo prático e econômico.

A possibilidade de se obter simultaneamente linhas interrompidas para obtenção de curvas de nível e o mapa ortofotográfico torna esta técnica ainda mais econômica.

Este instrumento tem uma variedade muito grande de aplicações, incluindo informações agronômicas, tais como limite de florestas, classificação de florestas, classificação de solos e estudos gerais das diferentes culturas.

Este instrumento pode também ser usado para plotar posições verdadeiras, tais como características geológicas como por exemplo as falhas, contactos litológicos proeminentes como as camas resistentes, características lineares e eixo sinclínico e anti-clínico.

Um treinado operador de estereoplottadores, pode, com um pequeno treino, tornar-se um bom operador das técnicas ortofotográficas.

Os requerimentos para a orientação relativa de um par estereoscópico são idênticos às utilizadas para mapeamento topográfico.

O operador simplesmente olha o modelo em estéreo, projetado na superfície do prato e move somente o parafuso correspondente ao movimento Z, para manter o orifício na superfície do modelo. O movimento X e Y do prato é automaticamente controlado por um sistema elétrico.