

Porém, de (1), $dt = y(1 - \frac{y'}{y}) \therefore$

$$\therefore dt = y \left[1 - \frac{f}{\text{sent}} \cdot \frac{1}{(\frac{f}{\text{sent}} - y)} \right] \therefore$$

$$\therefore dt = y \left(1 - \frac{f}{f - y \cdot \text{sent}} \right) = y \cdot \frac{f - y \cdot \text{sent} - f}{f - y \cdot \text{sent}}$$

$$\therefore dt = - \frac{y^2 \cdot \text{sent}}{f - y \cdot \text{sent}} = \frac{y^2 \cdot \text{sent}}{y \cdot \text{sent} - f}$$

$$\therefore dt = \frac{2}{y - \frac{f}{\text{sent}}} \quad (3)$$

onde “y” é a componente ao longo da linha principal da distância da imagem ao isocentro, ou seja, ao centro de irradiação dos deslocamentos da imagem devidos à inclinação, “f” é a distância focal da câmara e “t”, o ângulo de inclinação da mesma.

Uma forma aproximada da Equação (3) é

$$dt \approx - \frac{y^2 \cdot \text{sent}}{f} \quad (3.a)$$

uma vez que o valor de “y”, no denominador da equação exata, é, normalmente, pequeno em relação ao valor de “f/sent”. O valor de “dt” é negativo porque o deslocamento do ponto imagem “a” dá-se na direção do isocentro “i”.

A retificação elimina o efeito da inclinação e produz uma foto vertical equivalente. No processo de obtenção da ortofoto, isto é conseguido através da orientação absoluta do modelo estereoscópico.

A menos que o terreno seja perfeitamente plano, uma foto vertical equivalente, retificada, conterà, ainda, variações de escala como um resultado de deslocamentos de imagem devidos a variações do relevo.

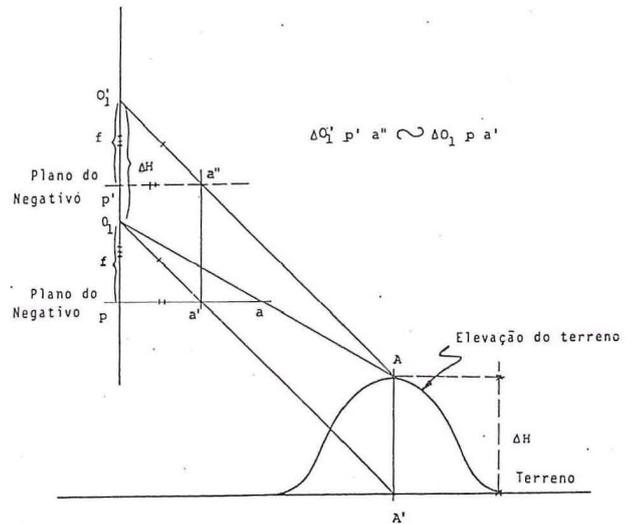


Figura 2: Deslocamento da Imagem devido ao Relevo

Repare a Fig. 2. O ponto “ O_1 ” representa o centro perspectivo durante a tomada da fotografia. A imagem do ponto “A” do terreno que interessa ao mapeamento deveria estar em “a”. Entretanto, devido ao relevo, tal imagem aparece em “a” na fotografia. Se, no entanto, o centro perspectivo sofresse um deslocamento vertical, para cima, “ ΔH ” igual à altura do ponto “A” do terreno, posicionando-se, portanto, em “ O_1' ”, por ocasião da exposição do negativo, ter-se-ia evitado o deslocamento devido ao relevo referente ao ponto “A”. Teríamos, assim, a imagem “a” na foto correspondendo à verdadeira posição planimétrica do ponto considerado. Se para cada ponto do terreno tal procedimento ocorresse, teríamos uma fotografia aérea corrigida dos deslocamentos devidos ao relevo em todos os seus pontos (a semelhança dos triângulos $O_1 p' a'$ e $O_1 p a'$ mostra que $p'a'' = pa'$). Na prática isto não acontece, é claro.

No processo de remoção de deslocamentos do relevo de uma foto, variações de escala também são removidas e a escala torna-se constante em toda a foto. Qualquer foto que possua escala constante em todos os seus pontos é uma ortofoto, tendo a mesma precisão planimétrica que uma carta ou mapa.

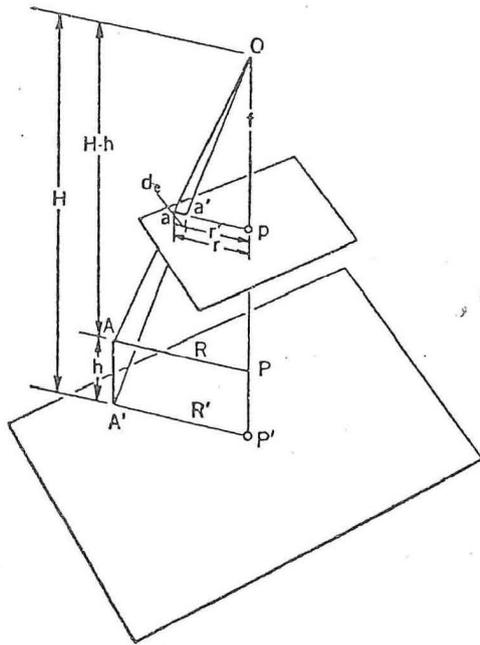


Figura 3 : Deslocamento da Imagem devido ao Relevo

A figura 3 oferece uma outra ilustração de um deslocamento (“de”) da imagem devido ao relevo. “A” é um objeto elevado sobre o solo, não verticalmente sobre a câmara, e “a” é a imagem. A imagem “a” é do topo “A” do objeto, e “a’” é, presumivelmente, a posição correta da imagem; daí, a distância de “a” a “a’” é o deslocamento da imagem causado pela altura “h” do objeto.

Na prática, “A” é, frequentemente, um detalhe sobre uma elevação do terreno. Por isso, a base “A’” não é visível e a imagem não aparece na fotografia. Contudo, a imagem “a” é considerada deslocada em relação à sua correta posição de mapeamento.

A direção do deslocamento da imagem devido ao relevo é radial, com respeito ao ponto nadir que é o centro de irradiação dos deslocamentos da imagem devidos ao relevo. Isto ocorre independentemente da intencional ou acidental inclinação da câmara aérea. O ponto nadir coincide com o ponto principal “p” (centro geométrico) no caso de uma fotografia aérea exatamente vertical.

A magnitude “de” do deslocamento da imagem, devido ao relevo de uma foto exatamente vertical, pode ser, também, deduzida geometricamente:

$$\overline{pa} = r; \overline{pa'} = r', dr = r - r' \quad (4)$$

$$\frac{f}{H} = \frac{r'}{\overline{P'A'}}; \frac{f}{H-h} = \frac{r}{\overline{PA}}; \overline{PA} = \overline{P'A'} \quad (5)$$

$$\text{Daí, } r' = \frac{f \cdot \overline{PA}}{H} \text{ e } r = \frac{f \cdot \overline{PA}}{H-h}$$

$$\text{Logo, } dr = \frac{f \cdot \overline{PA}}{H-h} - \frac{f \cdot \overline{PA}}{H} =$$

$$= \frac{H \cdot f \cdot \overline{PA} - H \cdot f \cdot \overline{PA} + h \cdot f \cdot \overline{PA}}{H} \therefore$$

$$\therefore dr = r \cdot \frac{h}{H} \cdot \frac{f \cdot \overline{PA}}{H-h} \therefore \boxed{dr = r \cdot \frac{h}{H}} \quad (6)$$

$$\text{Da mesma forma, } dr = \frac{h}{H-h} \cdot \frac{f \cdot \overline{PA}}{H} \therefore$$

$$\therefore \boxed{dr = r' \cdot \frac{h}{H-h}} \quad (7)$$

O deslocamento da imagem, devido ao relevo, é corrigido diminuindo-se a distância entre o projetor do diapositivo central, referente ao conjunto de três fotografias consecutivas de uma faixa de vôo, e o plano do negativo, quer por elevação deste, quer por abaixamento daquele (solução analógica). Tal distância corresponderá à altura “h”, na escala do modelo, do ponto visto, estereoscopicamente, durante a varredura dos perfis do terreno. A correção do deslocamento da imagem, devido ao relevo, poderá, também, ser feita mediante variação da distância principal do projetor, combinada a um prisma de Dove (solução analítica).

Os parâmetros, nas equações (6) e (7), são indicados na figura: “r” é a distância, sobre a fotografia, do centro à imagem do topo do objeto; “r’” é a distância correspondente para a base do objeto; “h” é a altura do objeto, e “H” é a altitude de vôo da câmara em relação ao mesmo “datum” de “h”.

Ortofotocartas oferecem significativas vantagens, tanto sobre cartas, quanto sobre fotos aéreas (Ortofotocartas são ortofotografias acrescidas de informações marginais, quadriculagem, toponímia, etc). Isto porque as ortofotos possuem as vantagens de ambas.

Por um lado, ortofotos têm qualidades pictoriais de fotos aéreas porque as imagens de um infinito número de objetos, no terreno, podem ser reconhecidas e identificadas.

Por outro lado, devido ao fato de as imagens serem mostradas com exatidão planimétrica, medidas podem ser feitas, diretamente, sobre ortofotos, tal como é feito em cartas.

Engenheiros civis, engenheiros cartógrafos, planejadores, topógrafos, engenheiros florestais, geólogos, agrônomos, como exemplos, podem usar ortofotos, com vantagem, como cartas básicas para registro de observações de campo.

Ortofotocartas, no entanto, não oferecem qualquer informação a respeito de elevações. Podem servir como cartas planimétricas básicas sobre as quais são superpostas curvas de nível e o produto resultante é chamado de ORTOFOTOCARTA TOPOGRÁFICA. Tais curvas são, normalmente, obtidas em operação de restituição separada.

O uso de ortofotocartas como cartas básicas para curvas de nível, elimina a necessidade de restituição planimétrica e pode resultar em substancial economia de tempo.

Os instrumentos usados na produção de ortofotos podem, geralmente, ser classificados em uma das duas seguintes categorias:

(1) Aqueles que produzem imagens por projeção ótica direta e,

(2) Aqueles que produzem imagens eletronicamente.

Os instrumentos que produzem imagem por projeção ótica direta são, basicamente, versões modifica-

das dos restituidores de projeção ótica direta. Requerem um operador para funcionar.

Os instrumentos que produzem imagens, eletronicamente, são geralmente, automáticos, porém, seu custo é alto e, conseqüentemente, há um número limitado deles em uso.

Pode-se caracterizar duas fases durante a obtenção da ortofoto:

(1) Obtenção dos perfis do terreno de um modelo estereoscópico;

(2) Exposição do ortonegativo segundo os perfis varridos na fase anterior.

Diz-se, então, que os instrumentos de ortofoto dividem-se em dois tipos, dentro da categoria de projeção ótica direta: "ON-LINE" e "OFF-LINE".

Os instrumentos "ON-LINE" são aqueles nos quais a varredura dos perfis e a exposição do ortonegativo são combinadas através de uma operação simultânea simples. Nenhum registro de elevações é feito e o único produto da operação "ON-LINE" é o ortonegativo.

Os instrumentos "OFF-LINE", por outro lado, produzem ortofotos em duas operações distintas. Os perfis são, primeiramente, varridos e registrados, quer numa forma gráfica, quer numa forma digital. Subseqüentemente, estes perfis são lidos através de um instrumento que expõe, automaticamente, o ortonegativo sobre a base dos perfis.

Alguns instrumentos operam tanto em "ON-LINE" como em "OFF-LINE".

Podemos citar algumas vantagens dos instrumentos "OFF-LINE" sobre os instrumentos "ON-LINE". Os instrumentos "OFF-LINE" permitem:

1. Variar a velocidade de varredura na obtenção dos perfis, o que possibilita ao operador obter maior precisão em pormenores que assim o exijam;

2. A obtenção dos perfís por diversos instrumentos, ao mesmo tempo, o que aumenta a velocidade de produção;

3. A exposição mais rápida, através do uso de filmes mais velozes, o que economiza tempo de gravação;

4. O armazenamento de perfís para utilização com outras fotografias mais atualizadas da mesma área;

5. A correção dos erros ocorridos por ocasião da varredura;

6. O teste dos modelos antes de serem retirados do instrumento, após a obtenção dos perfís;

7. A interrupção da varredura dos perfís em qualquer ponto;

8. A interpolação ótica dos perfís, muito útil em terrenos acidentados;

9. A determinação dos perfís pela marca índice, enquanto que, na maioria dos instrumentos "ON-LINE", a janela de varredura funciona como uma marca índice, o que acarreta maior imprecisão.

Concluindo, podemos dizer que, sendo a ortofoto um produto relativamente recente, se comparado com a carta convencional, e possuindo múltiplas e significativas vantagens sobre esta, poderá tornar-se, num futuro bem próximo, uma forte alternativa de mapeamento, e substituir, em grande parte, as tradicionais cartas de linhas e símbolos.

BIBLIOGRAFIA

1. WOLF, Paul R.: "Elements of Photogrammetry", Mc Graw-Hill Book Company, Inc., Japão, 1974.

2. AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY: "Manual of Photogrammetry", 4ª ed., Chester C Slama (Editor Chefe), EUA, 1980.

3. DESTRI, Amauri Ribeiro: **Ortofoto**, Anotações de aula, Curso de Cartografia, Instituto Militar de Engenharia, não publicadas.

4. ANDRADE, Dinarte Francisco Pereira Nunes de: "Fotogrametria básica", Tomo I, Instituto Militar de Engenharia.

5. ARAÚJO, Ricardo Lomba de: "Fotogrametria I", Anotações de aula, Curso de Cartografia, Instituto Militar de Engenharia, não publicadas.

CURRICULUM VITAE

Cap Com JOVIANO ALFREDO LOPES

. Ex-aluno do Colégio Militar do Rio de Janeiro (1968/72);

. Curso da Academia Militar das Agulhas Negras (Comunicações), Turma "31 de Março", 1976;

. Principal função exercida: Instrutor da AMAN, Curso de Comunicações (1981/83);

. Atualmente, é Aluno do 5º Ano do Curso de Graduação do IME (Cartografia)