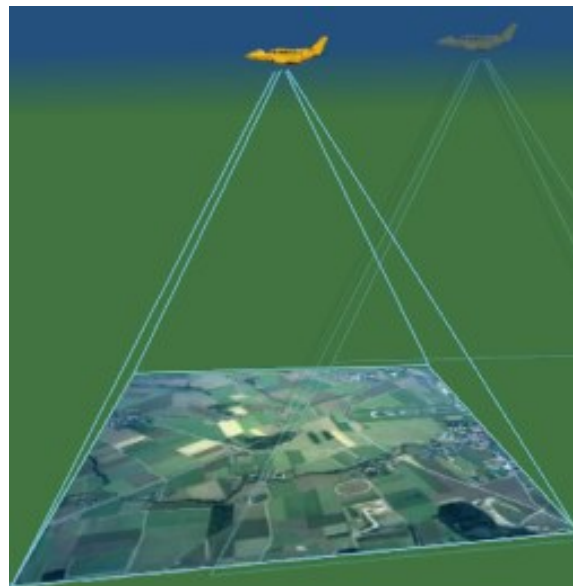


FOTOGRAMETRIA AÉREA



Professora Doutora Paula Redweik
Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia
Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
2007

Introdução

Dado ser o principal campo de aplicação da Fotogrametria Aérea a produção cartográfica, os capítulos que se seguem focam em especial esta actividade, nomeadamente na fase de aquisição de dados primários, a qual é realizada primordialmente por meios fotogramétricos. Serão analisadas todas as fases da cadeia de produção cartográfica, desde as operações preliminares até à restituição da informação, passando pela análise das câmaras fotográficas aéreas e digitais. Serão ainda focados vários métodos de aquisição de dados primários para a elaboração de Modelos Digitais do Terreno e de Superfície.

1- Produção cartográfica por métodos fotogramétricos

1.1. Essencialidade da fotografia aérea na produção cartográfica

A Fotogrametria aérea é já há largas dezenas de anos uma peça indispensável na produção cartográfica. Exceptuando as plantas de grandes escalas de zonas de dimensões reduzidas, para as quais não seria rentável um levantamento fotogramétrico, recorrendo-se ao topográfico, o levantamento fotogramétrico está actualmente na base de qualquer carta topográfica. Isto deve-se a vários factores, entre os quais:

- a afinidade entre o conteúdo de uma fotografia aérea e aquilo que se convencionou representar numa carta topográfica;
- a densidade de informação contida numa fotografia;
- a possibilidade de restituir diversos tipos de informação em variadas épocas;
- a possibilidade de mecanizar o processo de produção fotogramétrica,
- a possibilidade de associar o processamento electrónico de dados e a computação gráfica à restituição fotogramétrica;
- a possibilidade de automatizar todo o processo de restituição, utilizando o processamento digital de imagens e um modelo analítico, dispensando praticamente a presença humana no processo de restituição fotogramétrica.

O que até há poucos anos era considerado o produto final da Fotogrametria, a carta, é actualmente nada mais do que um conjunto de dados que constitui a base geográfica de qualquer sistema de informação geográfica (SIG), sobre a qual se combinam dados de natureza não geográfica quer para obtenção de novas cartas temáticas, quer para permitir análises de variadas situações. Deste ponto de vista, a fotogrametria é uma das técnicas de aquisição de dados para um SIG.

1.2. Técnicas fotogramétricas para produção cartográfica

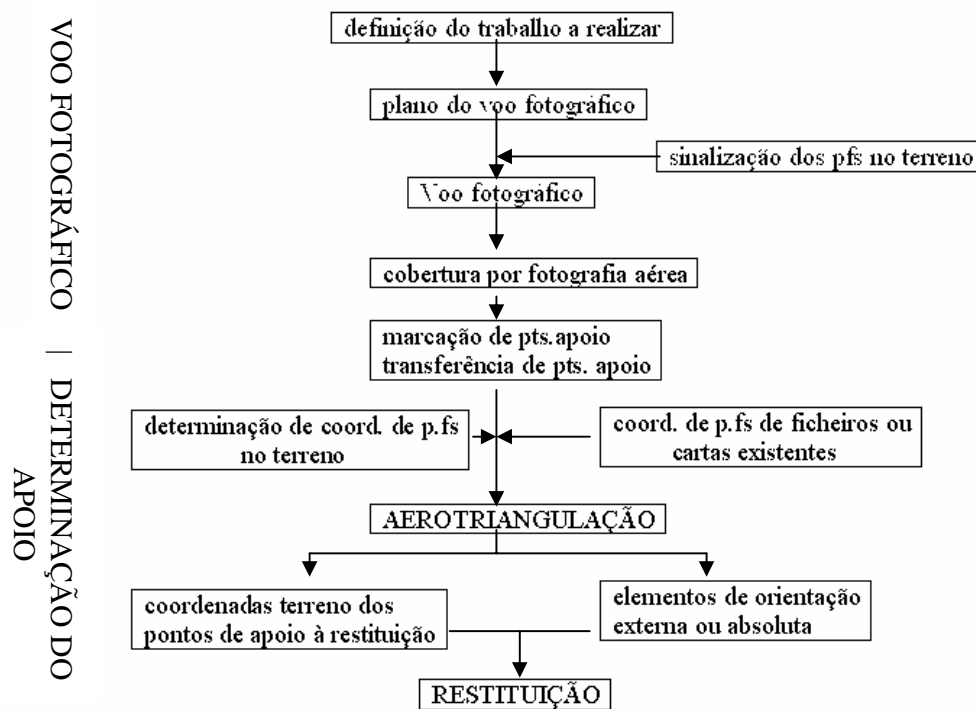
Para a produção cartográfica é utilizada primordialmente a fotogrametria aérea. Os métodos de restituição utilizados são a rectificação fotográfica e a estereorrestituição. Quanto ao formato dos resultados, os produtos fotogramétricos podem constituir uma representação de traço ou uma representação numérica (digital). Esta última pode ainda ser de formato vectorial ou de formato raster. Associada a cada uma das técnicas e formatos está uma determinada precisão que, complementada com a precisão dos dados

de entrada (fotografia, imagem digitalizada) vai condicionar a precisão do produto fotogramétrico final.

1.3. Operações fotogramétricas preliminares

A base de todas as técnicas fotogramétricas para produção de cartas é composta por duas grandes fases que são o voo fotográfico e a determinação de pontos de apoio. Só após estas operações é que se pode passar à restituição do pormenor, por rectificação ou por estereorrestituição.

O esquema geral das operações preliminares é o seguinte:



1.4. Voo fotográfico

1.4.1. Definição do trabalho

Neste passo há que pôr em problema fotogramétrico a tarefa proposta (pelo cliente, pelo plano, etc.)

Em especial interessa saber:

- área a levantar (localização e dimensões)
- disposição espacial da área, (região extensa bidimensionalmente ou uma tira ao longo de um eixo ainda que de orientação variável)
- tipo de representação que se pretende (carta gráfica, carta numérica, ortofoto digital ou em papel, modelo tridimensional do terreno, etc.)
- escala da representação (condiciona a escala da foto inicial e o tipo de pormenor a representar)
- precisão pretendida (planimétrica e altimétrica, determina métodos a utilizar, escala da foto e número de pontos de apoio)
- prazo de execução
- restrições ao voo (época do ano, vegetação, luminosidade, dimensão das sombras, zonas interditas.)
- outros aspectos relevantes para a restituição

1.4.2. Plano de voo

No planeamento do voo fotográfico há que decidir e considerar os aspectos seguintes:

Escala da fotografia - A escala deve ser escolhida ponderando dois aspectos opostos:

. o aspecto técnico, segundo o qual, para produzir uma carta a uma determinada escala, quanto maior for a escala da fotografia aérea melhor se identificam os pormenores do terreno e maior será a precisão das medições a efectuar.

. o aspecto económico, segundo o qual, quanto menor for a escala da foto, mais terreno será abrangido por cada foto e serão necessárias menos fotos para cobrir a mesma área, o que significa economia de restituições e de pontos de apoio necessários.

Empiricamente estabeleceu-se a seguinte regra para determinar a escala da foto em função da escala da carta pretendida (von Gruber):

$$mf = c\sqrt{mc}$$

onde mf é o módulo da escala da foto, mc o módulo da escala da carta e c a constante da câmara utilizada em [mm].

A tabela seguinte mostra o módulo das escalas de foto em função do módulo das escalas de carta mais usuais para uma constante de 153mm. Na prática, devido ao facto de a atmosfera terrestre não ser totalmente transparente, e de a escalas menores corresponder uma maior altura da plataforma onde se encontra

a câmara fotográfica, ou seja a camada de atmosfera que medeia o avião e a superfície terrestre ser mais espessa, a qualidade das fotografias obtidas a menores escalas pode não ser suficiente para produzir cartas. Por isso, sobretudo em face de câmaras analógicas, opta-se frequentemente por escalas maiores do que as que estão indicadas na tabela (para a carta 1:25000 é corrente utilizarem-se fotografias à escala 1:22000). As imagens de câmaras aéreas digitais, no entanto, têm mostrado ter definição suficiente para se poderem utilizar escalas muito menores de foto para produzir uma mesma escala de carta.

mc	mf
500	3500-5000
1000	5100-8000
2500	8500-13000
5000	12100-18000
10000	17000-26000
25000	28000-42000
50000	40000-60000
100000	60000-90000

Tabela 1.4.2.1.- Módulo de escala da foto para diversas escalas de carta ou ortofoto

Sobreposições- Os voos fotogramétricos são planeados de modo a que se venha a obter uma cobertura da zona a levantar constituída por fotografias verticais (idealmente nadirais) na qual as fotografias sucessivas apresentem uma zona de sobreposição ou seja, a mesma zona da superfície terrestre deverá ser captada e registada em duas (ou mais) imagens distintas.

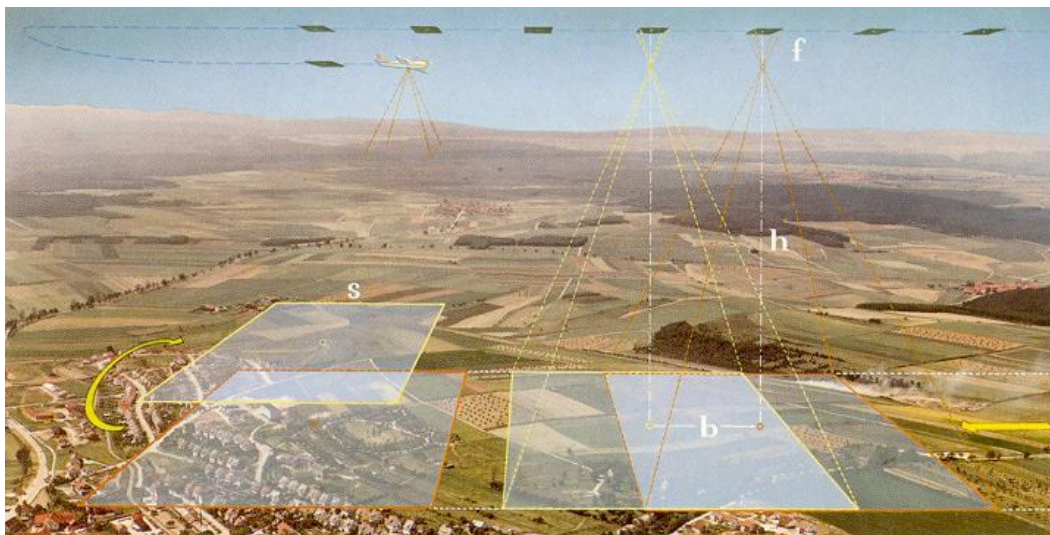


Figura 1.4.2.1. Voo fotogramétrico

A sobreposição mede-se em percentagem da dimensão da fotografia quer na direcção de voo (sobreposição longitudinal ℓ) quer na direcção perpendicular à do voo (sobreposição lateral q). É comum descrever a sobreposição longitudinal como a sobreposição entre fotos sucessivas e a lateral como a sobreposição entre fiadas sucessivas. O objectivo da sobreposição longitudinal é permitir a visualização tridimensional e a restituição estereoscópica, enquanto a sobreposição lateral tem principalmente a função de ser uma margem de segurança para evitar lacunas entre fiadas.

Para efeitos de estereorrestituição é exigida normalmente uma sobreposição longitudinal de 60 % da dimensão da foto na direcção do voo e uma sobreposição lateral de 20 a 30 % da dimensão da foto na direcção transversal à do voo.

Para efeitos de aerotriangulação para medições de alta precisão, voa-se com $\ell = 60\%$ e $q = 60\%$ e fazem-se ainda fiadas na direcção perpendicular à principal com o objectivo de cada ponto do objecto poder ser medido num grande número de fotografias (até 18). Para cartografia sistemática, as direcções de voo preferenciais para as fiadas são Norte-Sul e Este-Oeste, mas qualquer outra direcção é restituível.

Para efeitos de rectificação fotográfica, embora em teoria não seja necessária qualquer sobreposição longitudinal pois não se pretende usufruir da estereoscopia, os voos são geralmente feitos com sobreposições superiores a 70% para se aproveitarem para o produto final apenas as zonas centrais das fotos onde as distorções radiais devidas ao relevo e à altura dos objectos são menores. Normalmente são exigidas para este caso iguais sobreposições longitudinal e lateral.

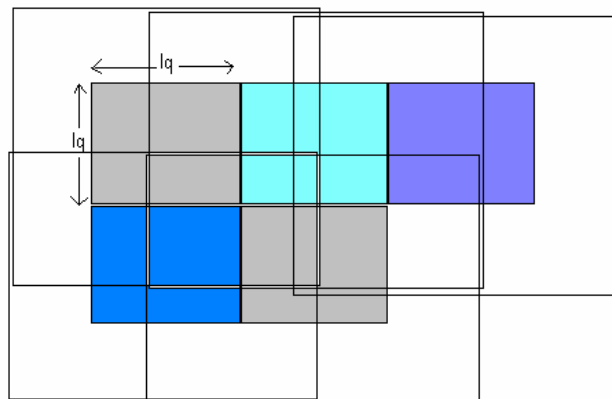


Figura 1.4.2.2. Mosaico de ortofotos de quadrados centrais de fotografias

O valor da sobreposição longitudinal depende, ainda neste caso, da dimensão do lado do quadrado central da foto, l_q , que se pretende aproveitar para a ortofoto. A base aérea toma-se, então, igual à dimensão do lado do quadrado central no terreno:

$$B = l_q \times m_f$$

A dimensão do quadrado central depende da distorção radial admissível na orto, a qual por sua vez, depende directamente da variabilidade (amplitude) do relevo na zona coberta pela fotografia aérea (para zonas pouco acidentadas pode ser maior do que para zonas muito acidentadas ou com objectos elevados)

$$\Delta r = \frac{r}{h_0} * \Delta h = \frac{r}{c.m_f} * \Delta h \qquad \ell q = r\sqrt{2}$$

r = distancia radial máxima do quadrado central (= semi diagonal do quadrado)

Δr = distorção radial máxima admissível na ortofoto (\approx erro de graficismo 0,2 mm no produto impresso)

Δh = variação máxima de cota dentro do quadrado central

h_0 = altura de voo sobre o ponto médio da foto.

ℓq = lado do quadrado central

-Câmaras e objectivas a utilizar - As câmaras a utilizar são câmaras métricas aéreas as quais produzem séries de fotografias com a sobreposição que se pretende. Actualmente existe a alternativa entre câmaras analógicas, câmaras digitais e ainda imagens de satélite de alta resolução (Ikonos, Quickbird, Orbview) embora estas sejam apenas aplicáveis para cartografia de média/pequena escala ou apenas na produção de ortoimagens. Nas câmaras analógicas existe a possibilidade de intermutar as objectivas. As objectivas de diferentes distâncias focais (diferentes constantes da câmara), devem ser escolhidas para o tipo de missão em vista. Com as várias objectivas é possível variar a escala mantendo a altura de voo ou então, variar a altura de voo mantendo a escala.

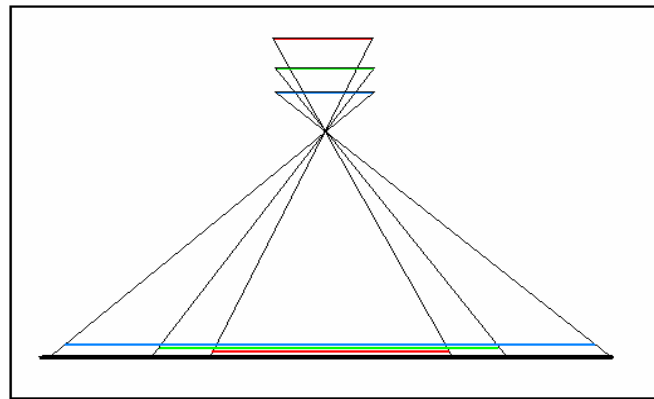


Figura 1.4.2.3- variação de escala a partir da mesma altura de voo usando diferentes objectivas (diferentes constantes da câmara)

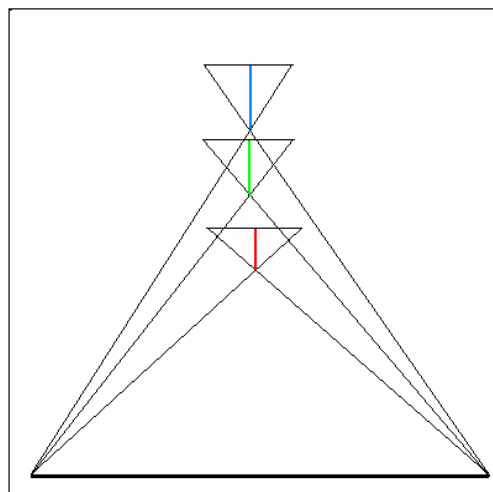


Figura 1.4.2.4. - Escala igual a partir de várias alturas de voo usando diferentes objectivas (diferentes constantes da câmara)

Existem vários critérios para a escolha da objectiva certa. Há tendência para usar distâncias focais maiores (cone de menor abertura -> menores distorções perspectivas) quando o objectivo da missão é:

- fotointerpretação
- cartas fotográficas
- cartografar terreno com altas montanhas e vales profundos
- cartografar cidades com prédios muito altos.

A tendência é para usar distâncias focais menores quando o objectivo é:

- aerotriangulação
- reduzir custos de voo
- voos panorâmicos
- aumentar a precisão altimétrica (aumentando a relação base-altura)

As objectivas mais usuais na Fotogrametria são as seguintes:

objectiva	abertura [grados]	constante [cm]
ang. estreito	33	60
ang. normal	62	30
ang. intermédio	85	21
grande angular	100	15
super grande angular	140	9

Tabela 1.4.2.2 - Constantes e aberturas de objectivas de câmaras analógicas - formato de fotografia 23cm x 23cm

Nas câmaras digitais não existe a possibilidade de alterar a constante da câmara, visto a imagem final distribuída ao utilizador ser uma construção analítica das imagens originais captadas pela câmara, à qual está associada um determinado valor de constante de câmara fictício. O formato da imagem final não é quadrado (rectangular ou em faixa) pelo que os ângulos de abertura da objectiva são diferentes na direcção do voo e na direcção perpendicular à do voo. As constantes e aberturas das câmaras digitais equivalentes às analógicas actualmente mais implantadas no mercado estão indicadas na tabela abaixo.

Câmara Digital	c	Abertura longitudinal	Abertura lateral
ADS 40	62,5mm	-	69 grad
DMC	120mm	49 grad	78 grad
UltraCamp	10mm	41 grad	61 grad

Tabela 1.4.2.3 - Constantes e aberturas de câmaras digitais

-Traçado de voo- O traçado de voo que vai determinar a rota a seguir pelo avião, depende directamente da forma do terreno a levantar fotogrametricamente. O objectivo é, sempre que possível obter fiadas rectilíneas de fotografias com determinada sobreposição entre si. Tanto o eixo da fiada como as margens superior e inferior das fotografias devem ser projectáveis como rectas no terreno.

-Se o terreno a levantar for uma área extensa aproximadamente rectangular, o avião deverá sobrevoá-lo em traçados paralelos, varrendo toda a área como ilustrado na figura.



Figura 1.4.2.5. - Traçado de voo em área de terreno rectangular

- Se a área a levantar apresentar um formato irregular, normalmente é subdividida em vários rectângulos de diversas dimensões e orientações, de modo a que o conjunto de todas as sub-áreas cubra toda a área pretendida. Dentro de cada rectângulo planeia-se o traçado de voo como no caso anterior.

-Se a área a levantar for apenas uma faixa estreita coberta em largura por apenas uma fiada de fotografias, por ex. ao longo de um rio, estrada, caminho de ferro ou faixa onde virá a ser implantada uma estrada ou caminho de ferro, o voo terá de ser constituído por vários troços rectilíneos mas de direcções variáveis, como ilustra a figura.

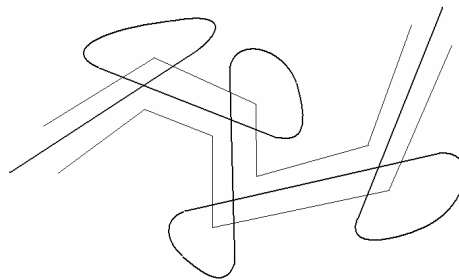


Figura 1.4.2.6. -Traçado de voo em faixa estreita de terreno

-Época do voo- A época em que o voo terá lugar, depende por um lado das condições climatéricas da região a sobrevoar e por outro lado do estado da cobertura vegetal. Para um levantamento fotogramétrico o mais completo possível, não deve haver nuvens nem copas de árvores a cobrir o terreno. Assim, a melhor época do ano para realizar um voo fotogramétrico às nossas latitudes é o princípio da Primavera, quando a maior parte das árvores ainda não tem muita folhagem e já não há tantas nuvens no céu. (tudo isto varia muito de região para região). Para que a fotografia aérea tenha luminosidade suficiente, e as sombras não tenham dimensões que impossibilitem a restituição, é normalmente exigido que o Sol tenha uma determinada altura durante a sessão fotográfica. O valor para essa altura mínima varia não só com a latitude média da região a levantar como também com o objectivo final do voo fotográfico. Enquanto para cartografia de traço, às nossas latitudes é exigida uma altura mínima do Sol de 30°, para ortofotomapas poderá ser exigida uma altura mínima superior, visto pretender-se evitar as sombras no produto final. Para fotointerpretação, sobretudo em zonas de pouco contraste, as sombras podem ser úteis na identificação de objectos, pelo que se deve voar com Sol baixo. O valor da altura mínima do Sol determina para cada dia do ano uma janela temporal dentro da qual é possível realizar um voo fotográfico em condições desde que não haja nuvens. Por outro lado, há situações que obrigam a voar sob um tecto de nuvens para obter uma luminosidade homogénea. As imagens “sem sombras” assim obtidas, permitem a restituição de zonas que estão permanentemente em sombra (vales ou falésias). As imagens de câmaras digitais, pelo facto de terem uma maior resolução radiométrica que o filme fotográfico, permitem distinguir muito mais pormenores em zona de sombra, pelo que os voos com câmaras digitais podem ser realizados dentro de janelas temporais mais alargadas.

-Material fotográfico - O material que se deve utilizar para captação das imagens depende do objectivo a que se destinam as fotos e das condições em que deverá ser feito o voo. Nomeadamente a época do ano e a altura de voo terão influência na escolha da sensibilidade do filme e na utilização de filtros para a objectiva, a fim de compensar a luz celeste em voos muito altos, que piora o contraste das fotografias (utilização de filtro amarelo). Interessa também definir se será utilizado filme pancromático ou colorido, de negativos ou diapositivos. Em geral, o filme pancromático proporciona imagens de melhor resolução geométrica e o filme colorido apresenta informação radiométrica mais diferenciada, o que facilita a interpretação do pormenor. Para as câmaras digitais não se põe o problema de escolher a sensibilidade do material fotográfico, visto a captação de imagens ser realizada pelos sensores CCD que as integram, sendo a sensibilidade e a resolução geométrica possível características da câmara (sensor) e não do filme. É possível, no entanto, escolher entre a aquisição de imagens finais em tons de cinzento, a cores ou a infra-vermelho. As propriedades das imagens pancromáticas relativamente às coloridas são equivalentes às das imagens das câmaras analógicas.

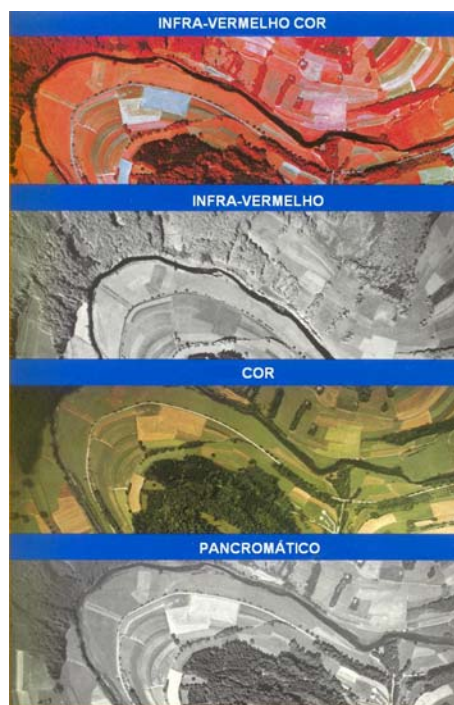


Figura 1.4.2.7. Tipos de filme utilizados em Fotogrametria aérea

-Avião fotogramétrico- O avião a utilizar, caso haja hipótese de escolha, deve ser um aparelho que apresente poucas vibrações durante o voo. Em princípio qualquer avião onde seja possível perfurar a fuselagem inferior para montar uma câmara aérea pode ser transformado num avião fotogramétrico. Geralmente as firmas optam por aviões de pequeno porte que são mais económicos na manutenção. A considerar na escolha, se a velocidade mínima, a altura máxima de voo (tecto), o alcance máximo e a autonomia de voo satisfazem os requisitos do projecto.

Marca/modelo	Num.Lugares	Capacidade p/ combustível	Altitude máxima operacional	Velocidade horizontal	Alcance	Autonomia de voo
Beach/King air	6-10	1170 ℓ	7800m	320km/h	2125km	6:10h
De Havilland/ Twin Otter	22	1150 ℓ	8150m	258km/h	1200km	4:50h
Cessna 402	8	~500 ℓ	7980m	180-300km/h	640km	6:30h
Cessna 404	8	~500 ℓ	7980m	200-340km/h	1000km	10:00h

Tabela 1.4.2.4. Características de alguns aviões fotogramétricos



Figura 1.4.2.8. Exemplos de aviões fotogramétricos

- **Mapa de voo** - Pertence ao plano de voo um esquema de navegação ou mapa de voo elaborado sobre uma carta topográfica da região a levantar, de escala menor que a da cobertura fotográfica pretendida. O mapa de voo deverá conter o traçado planeado para a rota do avião ao longo de cada fiada, na mudança de fiada e por vezes no início e no fim do voo fotográfico. Apenas o traçado dentro da área a levantar é da responsabilidade de quem pretende a cobertura, sendo os restantes traçados da responsabilidade de quem voa. Em cada fiada podem estar assinalados todos os pontos de tomada de foto ou apenas o primeiro, o último e a indicação da sobreposição entre fotos requerida. No início de cada fiada está ainda indicado o rumo a tomar pelo avião e a altura absoluta deste. Juntamente com o mapa de voo, deve ser elaborada uma folha ou ficheiro de informações adicionais de onde constem os seguintes elementos:

- nome do projecto
- data pretendida para a realização do voo
- escala das fotos
- constante da câmara a utilizar
- altura absoluta do avião
- sobreposições longitudinal e lateral
- quantidade de filme necessário (caso de câmara analógica)
- tipo de filme ou de imagem (negativo, diapositivo, pancromático, RGB, IV, etc)

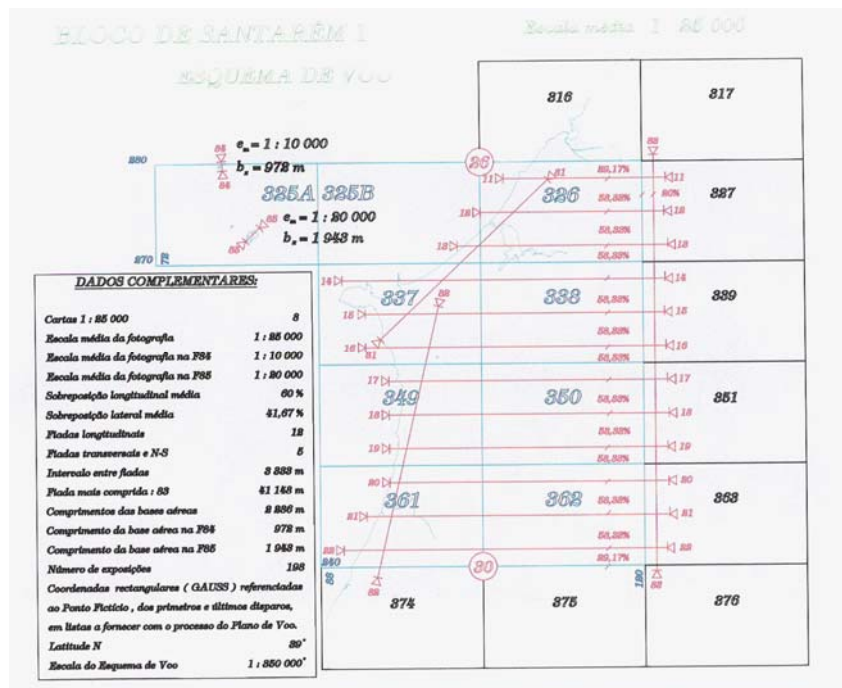


Figura 1.4.2.9. Exemplo de esquema de voo com dados complementares (Cavaca e Sequeira, Relatório de Estágio)



Figura 1.4.2.10. Exemplo de mapa de voo (Cavaca e Sequeira, Relatório de Estágio)

-Orçamento -Ao plano de voo está normalmente associado um orçamento dos custos. Para efeitos de planeamento e de cálculo do orçamento considera-se o caso geral da cobertura de uma extensa área rectangular (dimensões $L \times Q$) por fiadas paralelas, assumindo ainda o terreno plano e as fotografias rigorosamente verticais. Vejamos então como calcular as variáveis que nos permitem elaborar o mapa de voo e o orçamento.

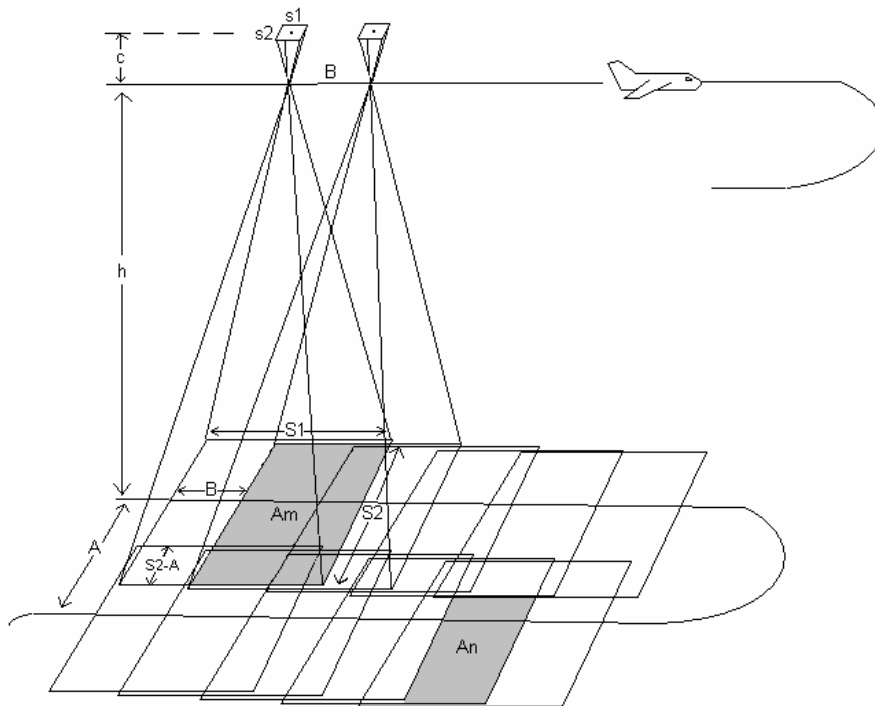


Figura 1.4.2.11. Esquema do plano de voo

- A- distância entre eixos de fiada
- B- base real:distância entre pontos de tomada de foto
- c- constante da câmara
- s1- lado da fotografia na direcção do voo (sem informações marginais)
- s2- lado da fotografia na direcção perpendicular à do voo
- h- altura acima do solo
- Z- cota do terreno
- Zo- altura absoluta do avião
- v- velocidade média do avião (durante a sessão fotográfica)
- L- comprimento de uma faixa ou do bloco
- Q- largura do bloco

Formulário para o plano de voo

módulo da escala da foto: $mf = h / c$

lado da foto no terreno ao longo da fiada : $S1 = s1 \cdot mf$

lado da foto no terreno perpendicular à fiada : $S2 = s2 \cdot mf$

base fotográfica : $b = B / mf$

altura de voo sobre o solo : $h = c \cdot mf$

altura de voo absoluta : $Zo = h + Z$

sobreposição longitudinal % : $\ell = ((S1-B)/S1) \cdot 100 = (1-B/S1) \cdot 100$

sobreposição lateral % : $q = ((S2-A)/S2) \cdot 100 = (1-A/S2) \cdot 100$

área coberta por uma foto: $Af = S1 \cdot S2 = s1 \cdot mf \cdot s2 \cdot mf$

comprimento da base aérea para $\ell\%$ de sobreposição longitudinal : $B = S1 (1 - \ell / 100)$

distância entre fiadas para $q\%$ de sobreposição lateral : $A = S2 (1 - q/100)$

número de modelos por faixa: $nm = \text{int} ((L/B) + 1)$

número de fotos por faixa (fiada) : $nf = nm + 1$

número de faixas (fiadas) por bloco : $nfx = \text{int} ((Q/A)+1)$

área estereoscópica coberta por um modelo : $Am = (S1-B) \cdot S2$

área de sobreposição entre modelos consecutivos : $Asm = (S1-2B) \cdot S2$

área nova no bloco, por modelo (a partir da 2ª fiada): $An = A \cdot B$

intervalo de sequência de fotos : $t[s] = B[m] / v[m/s]$ > ciclo da máquina fotográfica (2.0 seg p/camaras analógicas)

tempo de exposição máximo : $dt = 1/30 \cdot mf/v$ (p / camaras analógicas)

As velocidades do avião são dadas normalmente em nós (milhas náuticas por hora), sendo a conversão a seguinte: 1 nó = 0.515 [m/s] = 1.852 [km/h].

1.4.3. Sinalização de Pfs no terreno

A sinalização aqui referida realiza-se antes do vôo pelo que é também conhecida por pré-sinalização. Trata-se da marcação no terreno de uma forma que se veja bem na fotografia aérea, de marcas cujos centros virão a ser coordenados no terreno pelo topógrafo. O objectivo dos Pfs pré-sinalizados é proporcionar medições mais precisas de coordenadas foto pelo facto de ser inequivocamente identificável na foto o ponto cujas coordenadas terreno foram determinadas pelo topógrafo. Uma correspondência precisa entre ponto imagem e ponto objecto nos Pfs é essencial para a precisão da determinação da orientação externa da foto ou da orientação absoluta do modelo estereoscópico.

A operação de pré-sinalização deve ter em conta os seguintes aspectos:

- localização das marcas
- forma das marcas
- dimensão das marcas
- material de marcação
- cor utilizada

Localização - a localização das marcas deverá ser planeada com base no mapa de voo da zona a levantar e deve satisfazer os requisitos para a distribuição geral e localização estratégica de Pfs num bloco, a qual depende do objectivo a que o bloco se destina (tipo de aerotriangulação a utilizar, orientação par a par, orientação individual, etc). Cada marca deverá localizar-se em terreno plano, com boa visibilidade para cima e longe de objectos altos (edifícios, árvores, aterros) de modo a garantir a sua mensurabilidade em várias fotografias (quanto maior o número de fotos onde um mesmo ponto é medido mais fiáveis serão as coordenadas terreno calculadas). Locais privilegiados para as marcas de Pfs pré-sinalizados são as faixas de socorro de auto-estradas, passeios largos, parques de estacionamento, clareiras em florestas e prados.

Forma - As marcas são constituídas por:

- uma figura geométrica regular cujo centro geométrico constitui o ponto fotogramétrico propriamente dito (círculo, quadrado, triângulo equilátero)
- de uma a quatro faixas rectangulares irradiando da marca central cujo objectivo é facilitar a localização das marcas na fotografia aérea não as confundindo com qualquer outro objecto.

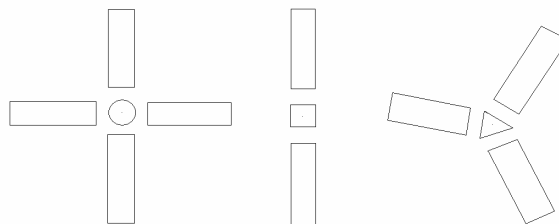


Figura 1.4.3.1. Marcas de pré-sinalização

Apenas o espaço disponível no terreno para a sinalização de cada marca é determinante para a utilização de uma ou de mais faixas identificadoras. Os Pfs sinalizados com três e quatro faixas identificam-se mais facilmente. Quanto à marca central, a experiência dita que o círculo proporciona leituras mais precisas de coordenadas na foto, pois em geral as distorções geométricas que o afectam permitem ainda assim uma identificação precisa do centro (o ponto coordenado), o mesmo já não acontecendo ao quadrado e ao triângulo. Estes últimos só deverão ser usados em voos de grande escala.



Figura 1.4.3.2. Marcação de PF pré-sinalizado (Cavaca e Sequeira, Relatório de Estágio)

Dimensões - As dimensões das marcas dependem da escala da cobertura fotográfica que será realizada. Em teoria, a resolução da imagem sobre a qual serão medidas as coordenadas foto é um critério de partida para determinar a dimensão da marca pré-sinalizada. Considerando d igual ao diâmetro do círculo central (ao lado do quadrado ou ao lado do triângulo respectivamente) como o único parâmetro variável em função do qual se constroi toda a marca, dever-se-á tomar d igual a um múltiplo ímpar da dimensão do pixel no terreno (normalmente de 3 a 5 vezes). O esquema seguinte sugere as restantes dimensões da marca de centro circular, que se podem adaptar às de centro quadrado ou triangular. Não só a resolução da imagem, como também o contraste local, a luminosidade e as próprias condições atmosféricas na altura em que é realizado o voo são fortemente determinantes para a boa visualização dos PFs pré-sinalizados na fotografia aérea e conseqüentemente para a precisão da sua medição.

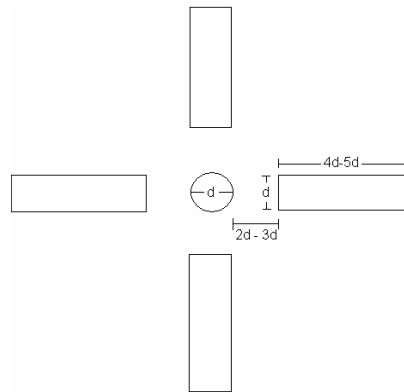


Figura 1.4.3.3. Medidas aconselhadas para marcas de pré-sinalização

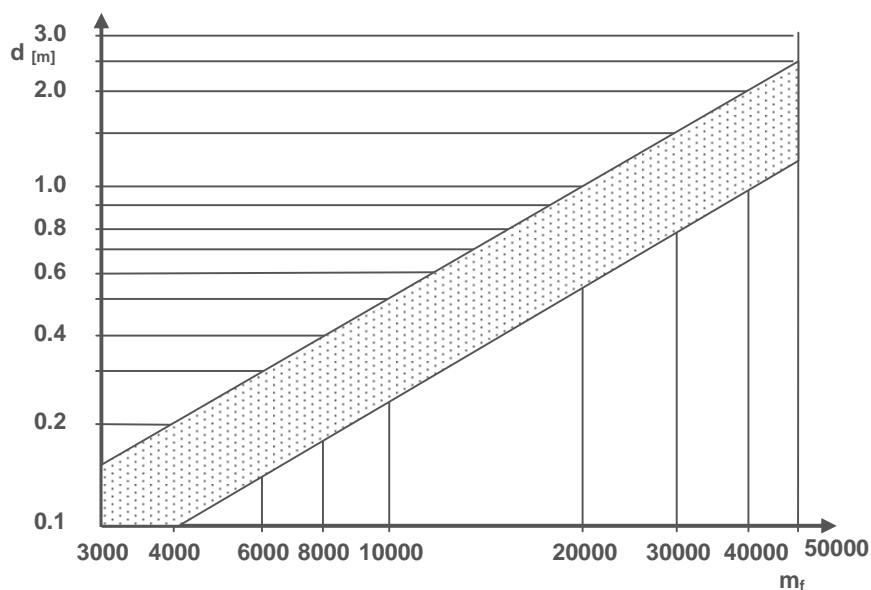


Figura 1.4.3.4. Gráfico de d em função da escala da foto

Material - As marcas são geralmente materializadas com tinta ou telas plásticas fixas ao chão. Na escolha da tinta a utilizar há que ponderar o grau de permanência pretendido para a marca. Do ponto de vista fotogramétrico, será desejável que as marcas sejam o mais permanentes possível, pelo que não se aconselha uma pintura que desapareça numa eventual chuvada próxima. No entanto, a localização de certas marcas, sobretudo em zonas urbanas, pode levantar problemas de ordem estética ou técnica (por ex. confundir-se com outros sinais na estrada) sendo então desejável que a sua permanência seja curta, havendo no entanto que garantir que a marca permanece em boas condições até ser realizado o voo e até o PF ser coordenado pelo topógrafo. Quanto à cor a utilizar, ela deve ser tal que o contraste com o meio envolvente seja grande. Para imagens pancromáticas, cores claras como o branco e o amarelo são muito utilizadas, apesar do branco provocar por vezes uma reflexão da luz solar muito forte redundando em distorções geométricas do sinal. Para

imagens RGB e IV usa-se frequentemente a cor vermelha que é bem captada por estas emulsões (ou sensores).



Figura 1.4.3.5. Coordenação de PF pré-sinalizado. (Cavaca e Sequeira, Relatório de Estágio)

1.4.4. Análise do vôo fotográfico

O vôo fotográfico não é realizado em regra por engenheiros geógrafos, mas a sua qualidade é controlada posteriormente por eles. Da qualidade do vôo depende a qualidade e a precisão dos produtos fotogramétricos.

De posse das fiadas de fotografias do vôo, de preferência em formato de papel, há que analisar:

- a qualidade da fotografia em si (luminosidade homogénea, ausência de nuvens e de sombras profundas, arrastamento dentro dos limites, contraste, nitidez, etc,)
- a verticalidade da foto
- a linha de voo
- as sobreposições entre fotos e entre fiadas (toda a zona a levantar tem que estar coberta por modelos estereoscópicos se o objectivo for a estereorestituição)
- a homogeneidade da escala ao longo do bloco

Tanto a presença de nuvens como a de sombras profundas impossibilita a restituição das zonas ocultas. Quanto à cobertura por nuvens, pode acontecer que a zona oculta numa faixa já não esteja oculta na faixa seguinte (a qual foi obtida num momento diferente, podendo as nuvens entretanto terem alterado a posição ou a densidade).

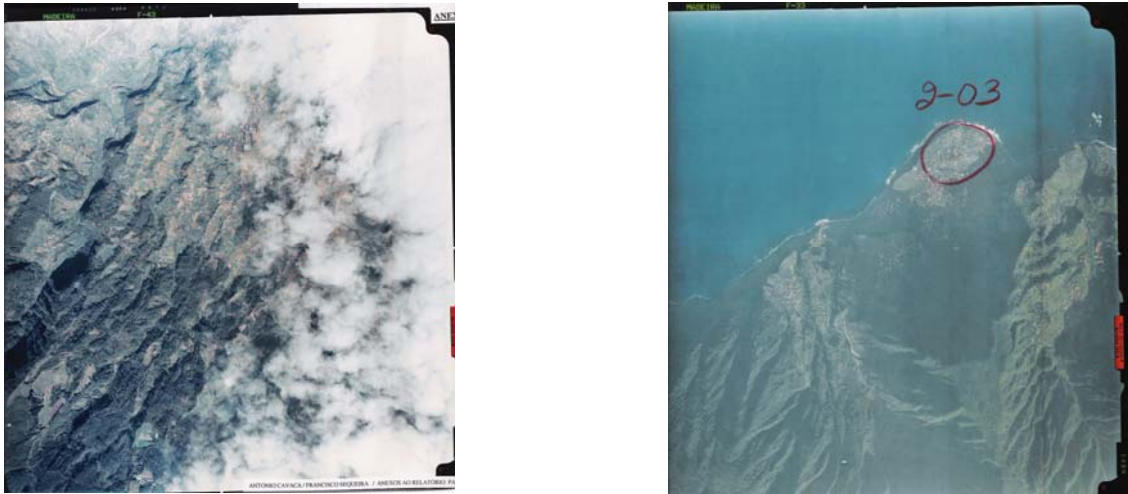


Figura 1.4.4.1. Exemplos de fotografias não aceitáveis por cobertura por nuvens (esq.) e sombra profunda (dir. abaixo do círculo)

Enquanto a estereorrestituição dessas zonas poderá em grande parte ser realizada (desde que a cobertura por nuvens não seja total), a ortorrectificação dessas imagens é impossível, pois não pode constar qualquer nuvem numa ortofoto. Quanto às sombras profundas devidas ao relevo, elas impossibilitam qualquer tipo de restituição na zona oculta. Nas imagens de câmaras aéreas digitais que apresentam uma resolução radiométrica muito superior à do filme analógico (12 bits em vez de 8 bits) é possível restringir as sombras profundas a áreas muito menores, visto que é possível reconhecer pormenor suficiente para restituir nas zonas de sombra desde que se altere a luminosidade e o contraste localmente no momento de visualização.

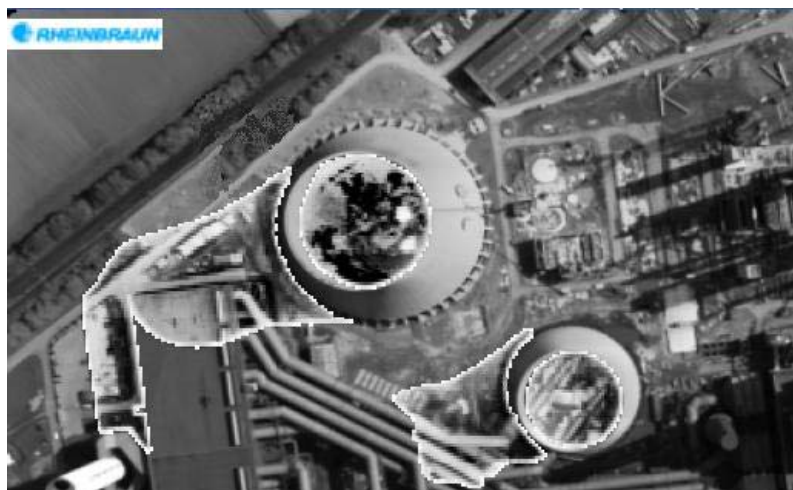


Figura 1.4.4.2. Imagem da câmara digital DMC Z/I. Detalhes visíveis em zonas de sombra “profunda” (Lauenroth)

Se a linha de vôo apresentar grandes desvios em relação ao planeado, pode acontecer que haja lacunas entre fiadas ou que todo o bloco se apresente rodado em relação ao que foi planeado.

A análise das sobreposições e da escala é geralmente feita por amostragem representativa das fotografias do bloco, ou seja, perante o mosaico total da cobertura, é determinada a escala da foto, com base na carta topográfica, de três em três (ou em intervalos maiores de) fotografias. A mesma regra se aplica para a determinação de sobreposições longitudinais e laterais.

O relevo do terreno influencia as sobreposições que se vão obter na cobertura fotográfica (figura 1.4.4.3.).

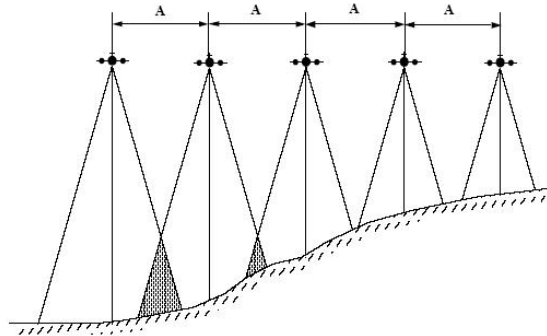


Figura 1.4.4.3. Influência do relevo na sobreposição lateral (Alvarez)

Em geral se o terreno sobe o valor da sobreposição desce. Isto é válido tanto para a longitudinal como para a lateral. Sendo a sobreposição lateral em regra muito menor que a longitudinal, facilmente deixa de existir dando origem a lacunas fotográficas devidas ao relevo. Conhecendo o relevo do terreno previamente (por meio da carta topográfica) esta situação pode-se evitar, variando no mapa de vôo um de dois parâmetros: variar a distância entre eixos de fiadas, mantendo a altura absoluta de vôo (figuras 1.4.4.4.) ou variar a altura absoluta de vôo mantendo a altura sobre o solo (Figura 1.4.4.5.)

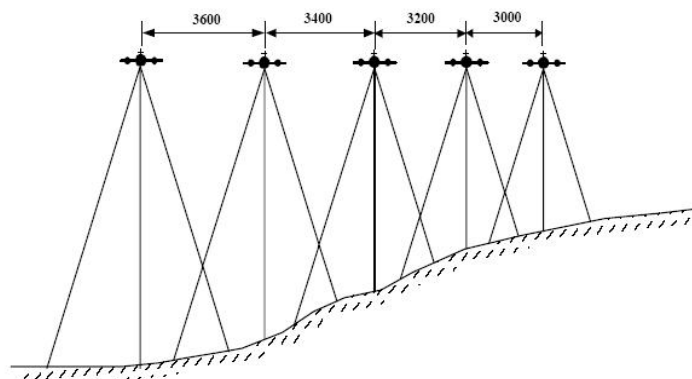


Figura 1.4.4.4. Variação de distância entre eixos para garantir sobreposição lateral (Alvarez)

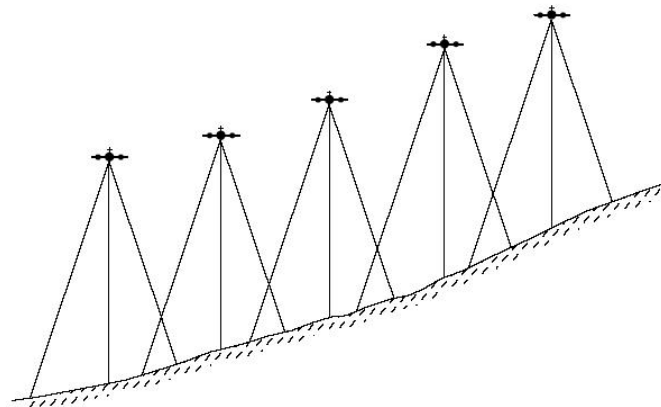


Figura 1.4.4.5. Variação de altura absoluta de voo para garantir sobreposição lateral (Alvarez)

A nível da sobreposição longitudinal, uma sobreposição menor que 55% vai prejudicar a ligação entre modelos e uma redução abaixo dos 50% vai originar mesmo lacunas estereoscópicas.

Analogamente, a solução para este problema passa pela variação da base aérea mantendo a altura absoluta ou pela variação da altura absoluta. Sendo tecnicamente mais exequível que o avião mantenha a altura absoluta ao longo da fiada, opta-se preferencialmente pela primeira solução. Nas câmaras aéreas analógicas com controlador de sobreposição, é possível corrigir em tempo real o intervalo de tempo entre os disparos consecutivos o que equivale a alterar a distância entre os disparos (= base aérea).

Caso o relevo varie ao longo da direcção da fiada de modo crítico, e se não for possível controlar e alterar a base “on-line”, ter-se-á que, semelhante ao que está ilustrado na figura 1.4.4.5., na fase de planeamento realizar uma partição de fiadas, planeando para cada direcção uma fiada parcial a uma determinada altura absoluta de voo e uma segunda (ou terceira) fiada parcial a uma altura absoluta diferente. O avião realizará primeiro as fiadas à mesma altura e numa segunda fase as restantes fiadas a altura(s) diferente(s). O plano deve incluir pelo menos um modelo de sobreposição entre as fiadas da mesma direcção de alturas diferentes.

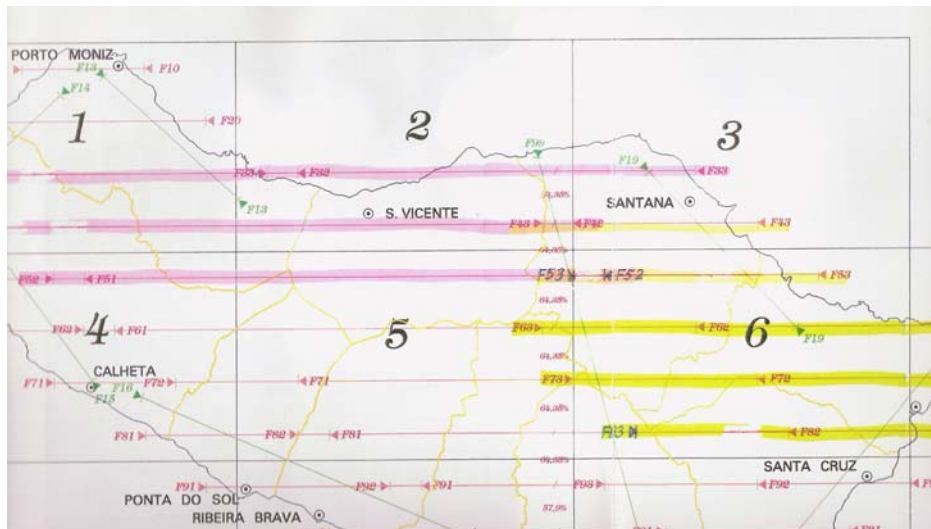


Figura 1.4.4.6. Esquema de voo com partição de fiadas. As setas indicam o início e o fim de cada fiada. (Cavaca e Sequeira, Relatório de Estágio)

Finda a análise do voo é elaborado um relatório, e consoante a gravidade das falhas encontradas, poderá o vôo ter que ser repetido no seu todo ou em parte. Existe um regulamento para a execução de voos fotogramétricos em Portugal publicado pela Autoridade Nacional de Cartografia (Instituto Geográfico Português) onde estão compiladas todas as normas e tolerâncias aceitáveis para os diferentes parâmetros de voo - Regulamento Técnico para as Coberturas Aerofotográficas em Portugal (RTCAP).

Satisfazendo o vôo fotográfico as condições exigidas no planeamento, dentro das tolerâncias do RTCAP, estamos em posição de encomendar os diapositivos ou imagens digitais que nos interessam e passar à fase seguinte. Normalmente é elaborado um mapa índice constituído pela implantação de todas as fotografias pelo centro ou pela mancha (limites), com a respectiva identificação e data de voo, sobre uma base cartográfica (em formato de papel ou digital).

1.5. Determinação do apoio à restituição

A determinação do apoio à restituição constitui a segunda fase das operações preliminares da cadeia de produção cartográfica. O apoio pode ser constituído por um conjunto de pontos com coordenadas objecto (terreno) ou pelos elementos de orientação espacial das fotografias (orientação externa) ou dos modelos (orientação absoluta).

1.5.1. Marcação de pontos de apoio na foto

Os pontos de apoio são pontos bem identificáveis em mais do que uma fotografia e que servem por um lado para realizar a concatenação de fotos ou de modelos entre si e por outro lado para realizar a ligação da cobertura fotográfica ao terreno fotografado (orientação espacial de cada foto ou de cada modelo).

Os pontos de apoio dividem-se em

- pontos fotogramétricos
- pontos de passagem
- pontos de ligação

Dos pontos fotogramétricos é absolutamente necessário saber, na altura da restituição, quais as suas coordenadas objecto, as quais deverão ser determinadas de um modo directo em campo.

Os pontos de passagem e de ligação verão as suas coordenadas objecto determinadas indirectamente em gabinete por aerotriangulação, mas primeiramente destinam-se a ser medidos nas fotos, e não no terreno.

Os pontos que servem para ligação entre modelos numa fiada, designam-se por pontos de passagem (em inglês: Passpoints). Os pontos que servem de ligação entre fiadas adjacentes, designam-se por pontos de ligação (em inglês: Tiepoints).

A quantidade de pontos de apoio necessária à restituição depende do tipo de restituição a realizar. O mínimo teórico de pontos de apoio para orientar uma fotografia espacialmente são três pontos não colineares. A orientação espacial de um modelo estereoscópico é também conseguida à custa de um mínimo de três pontos não colineares.

Para que não haja grandes zonas de extrapolação, é aconselhado localizar os pontos de apoio de modo a formarem um triângulo de maior área possível dentro da área da foto ou do modelo. Isso não evita, no entanto, que continue a haver uma grande área da imagem (ou modelo) não incluída no triângulo, visto que o formato desta não é triangular, mas quadrado ou rectangular. Quatro pontos de apoio localizados nos extremos do modelo já permitem minimizar a zona de extrapolação, para além de matematicamente permitirem um controlo de qualidade da orientação espacial calculada (orientação absoluta do modelo). No caso de uma foto individual, um ponto de apoio adicional na zona central da foto

estabiliza a geometria do feixe melhorando a precisão da orientação externa calculada. Combinando os critérios apresentados para a foto e para o modelo numa só solução, chegou-se à conclusão que o número mínimo de pontos de apoio, do ponto de vista técnico será de seis por modelo, o que corresponde a nove por foto (no caso de voos com sobreposição longitudinal superior a 50%) com a localização indicada na figura 1.5.1.1..

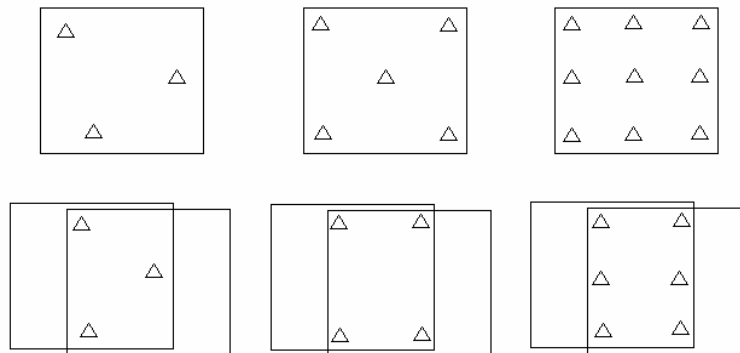


Figura 1.5.1.1. Localização de pontos de apoio em fotos e modelos. Esquerda: mínimo teórico. Centro: área de extrapolação mínima. Direita: combinação dos critérios para foto e modelo

Se a cobertura fotográfica em questão for constituída por um bloco de fiadas com as habituais sobreposições exigidas para cartografia (60% e 30%), a distribuição de pontos de apoio deve ser tal, que cada ponto apoie mais do que uma fotografia simultaneamente, garantindo-se assim uma ligação de modelos e de fiadas por pontos homólogos que favorece a estabilidade da geometria do bloco, o que se reflecte na precisão das orientações calculadas. A figura 1.5.1.2. ilustra a distribuição de pontos de apoio num bloco de três fiadas com cinco fotografias por fiada.

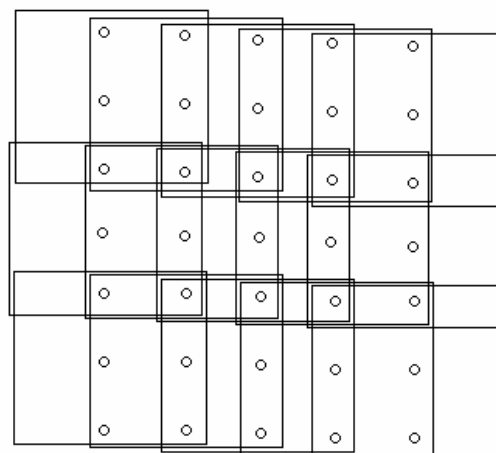


Figura 1.5.1.2. Localização de pontos de apoio num bloco

O número total mínimo de pontos de apoio, com esta disposição, necessário num bloco de k fiadas e i fotos por fiada é dado por

$$n = 3i + (k-1) \cdot 2i = (2k+1) \cdot i$$

As características visuais destes pontos de apoio têm de ser tais que os tornem conspícuos (bem diferenciáveis do meio envolvente e bem identificáveis) em todas as fotos onde aparecem, de modo a garantir uma boa precisão na medição das suas coordenadas foto.

Tradicionalmente, as zonas onde se devem situar estes pontos de apoio, são assinaladas sobre as provas de contacto em papel das fotografias do bloco com um lápis dermatográfico. São geralmente marcadas com um círculo e identificadas com um código numérico ou alfanumérico único. Mais recentemente, esta fase de “zonagem” em papel foi substituída por uma zonagem digital na qual, com apoio do computador, são elaboradas fichas com ampliações das zonas de localização do ponto de apoio obtidas a partir da imagem digital, e identificadas com um código numérico ou alfanumérico, o qual vai coincidir com a identificação do ponto de apoio que for coordenado nessa zona. Associada às fichas deve constar uma imagem completa com a indicação aproximada da zona ampliada para orientação geral.



Figura 1.5.1.3. zonas para pontos de apoio numa foto (Cavaca e Sequeira, Relatório de Estágio)

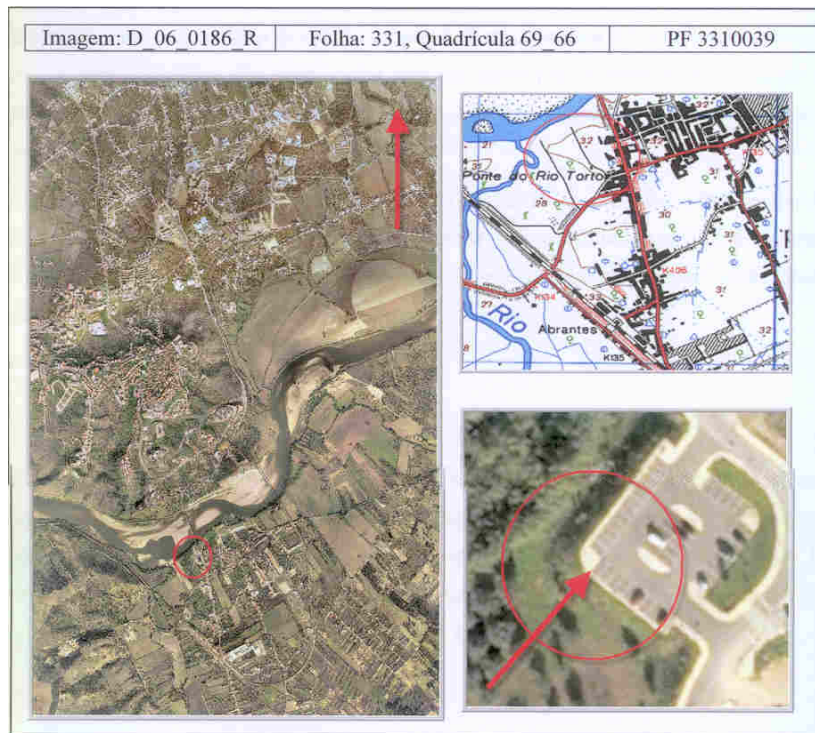


Figura 1.5.1.4. Ficha de marcação de ponto de apoio (Gaspar, Relatório de Estágio)

Utilizando a aerotriangulação para coordenar os pontos de apoio de um bloco, só haverá necessidade de coordenar alguns desses pontos no campo. Regra geral par um bloco de forma rectangular, localiza-se um PF duplo em cada canto do bloco, um PF de 3 em 3 modelos ao longo da primeira e da última fiada, e um PF de 3 em 3 modelos em todas as zonas de sobreposição lateral. Os PFs do interior do bloco só necessitam de ter cota determinada (PFs altimétricos) enquanto os das margens necessitam de ter as três coordenadas determinadas (PFs completos).

Os pontos fotogramétricos podem ser ou pré-sinalizados, do modo descrito em capítulos anteriores, ou naturais, ou seja, serem materializados por objectos existentes na paisagem. Esta última opção é mais económica mas pode redundar em menos precisão se os pontos escolhidos não forem adequados.

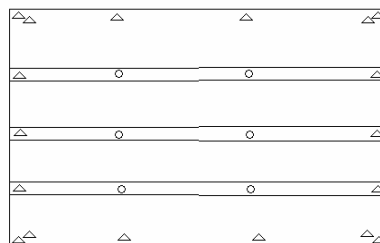


Figura 1.5.1.5. Distribuição convencional de PFs num bloco

Caso não se pretenda ou não seja possível realizar aerotriangulação, todos os pontos de apoio referidos acima (de passagem e de ligação) têm de ser fotogramétricos, ou seja, têm de ser coordenados no terreno e por isso bem identificáveis não só na foto como também no terreno, para além de terem de ser acessíveis ao topógrafo que os vai coordenar. Neste caso, porque a determinação do apoio no campo é uma operação muito dispendiosa, se a área for extensa, normalmente coordenam-se apenas quatro pontos por modelo (nos cantos).

Enquanto a escolha da localização dos PFs pré-sinalizados se faz com base no mapa de voo, as zonas de localização dos pontos fotogramétricos naturais a determinar no terreno, é feita tal como para os pontos de passagem e de ligação sobre a cobertura em formato de papel, marcando com lápis dermatográfico as provas de contacto com um círculo ou um triângulo e um código de identificação, ou alternativamente assinalando-os sobre extractos ampliados da imagem digital. A escolha de pontos fotogramétricos naturais deve obedecer a vários critérios, para além do da localização, e deve ser feita observando o par estereoscópico em causa com um estereoscópio de espelhos de modo a se poder analisar as características do terreno e a acessibilidade para o topógrafo que os vai coordenar no local.

Bons pontos fotogramétricos são pormenores no solo ou junto ao solo que apresentem uma forma geometricamente bem definida, contrastante com o meio envolvente e de carácter permanente, como por exemplo:

- cruzamento de eixos de vias
- intersecção de eixos de valas de irrigação
- esquinas de propriedades
- objectos isolados
- etc.

Exemplos de maus pontos fotogramétricos consistem em pormenores por vezes bem definidos na foto mas pouco definidos no terreno ou vice-versa ou ainda de carácter não permanente:

- esquinas arredondadas
- cruzamentos com ângulos pequenos
- pontos altos, árvores
- cantos de florestas
- pontos em aterros ou desaterros
- margens de cursos de água.

1.5.1.1. Pontos artificiais

Nem sempre há pontos do terreno bem identificáveis na posição ideal para servir de ponto de passagem ou de ligação do modelo. Sobretudo em coberturas de zonas com pouco contraste (florestas, zonas desérticas, etc.) que se conseguem observar estereoscopicamente mas onde não há pontos conspícuos, recorre-se

por vezes, a pontos artificiais que são gravados no negativo ou diapositivo que vai ser restituído, por meio de laser ou de ultra-sons.

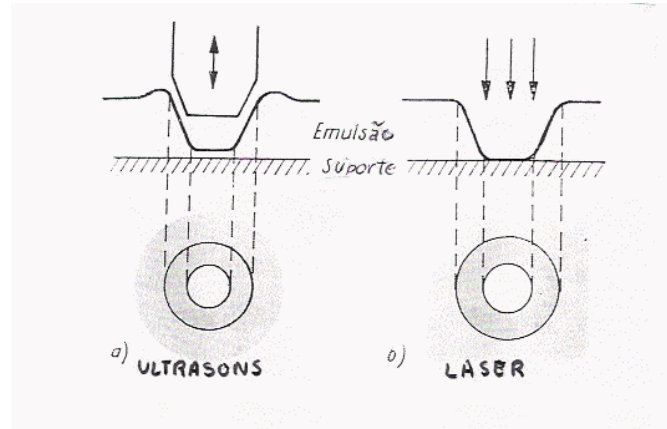


Figura 1.5.1.1.1. Métodos de gravação de pontos artificiais sobre película

Como é evidente, este artifício só é possível de ser aplicado em fotografias analógicas. Os aparelhos que executam esta operação de marcação, são os aparelhos de transferência de pontos (em alemão: Punktübertragungsgerät - PUG). Daí deriva a designação comum dos pontos artificiais, 'pugs' e da operação de marcação desses pontos - 'pugagem'.



Figura 1.5.1.1.2. Aparelhos de transferência de pontos: Kern PMG2 e Wild PUG5

Na pugagem, os pares de fotografias são colocados em estereoscopia apenas em cada zona onde deverá existir um ponto de apoio e é marcado o pug gravando marcas circulares com diâmetros de 0,04 a 0,2 mm, no centro de um círculo de raio maior o qual serve para ajudar à localização posterior do ponto. O pug é geralmente marcado apenas numa das fotos do par. Não só os pontos de passagem como também os de ligação têm de ser pugados.

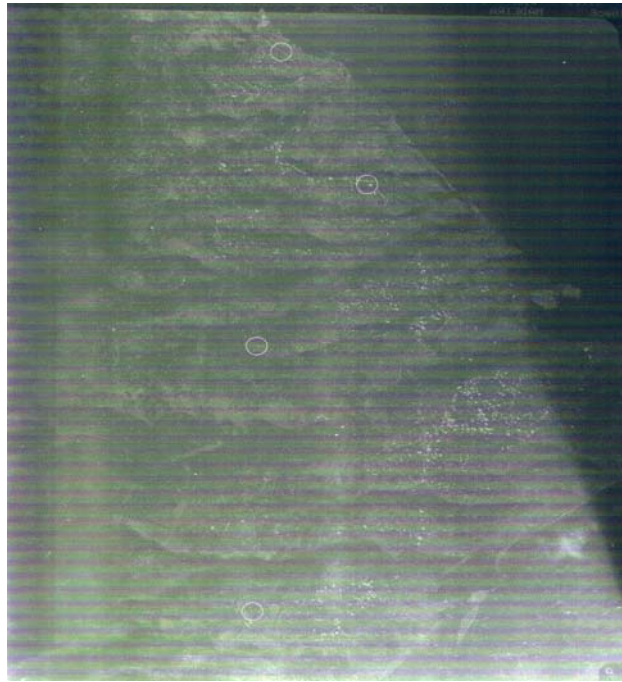


Figura 1.5.1.1.3. Negativo pugado.

A identificação destes pontos é feita sobre um esquema geral onde constam os limites dos modelos, os pugs na sua posição relativa dentro do modelo e o código de identificação do ponto que terá que ser respeitado na fase posterior da medição das suas coordenadas foto (na aerotriangulação e na restituição). Fotografias que se destinem à produção de ortofotos não podem ser pugadas. Havendo necessidade de orientar a cobertura fotográfica recorrendo a pugs, o voo terá de ser planeado com uma sobreposição longitudinal tal ($> 80\%$) que haja fotografias completas não pugadas para serem ortorrectificadas.

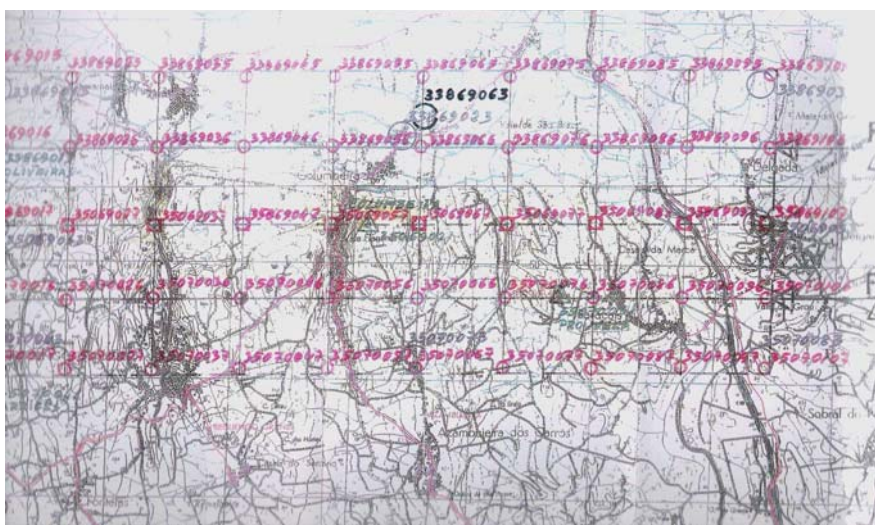


Figura 1.5.1.1.4. Esquema de identificação dos pugs (Cavaca e Sequeira, Relatório de Estágio)

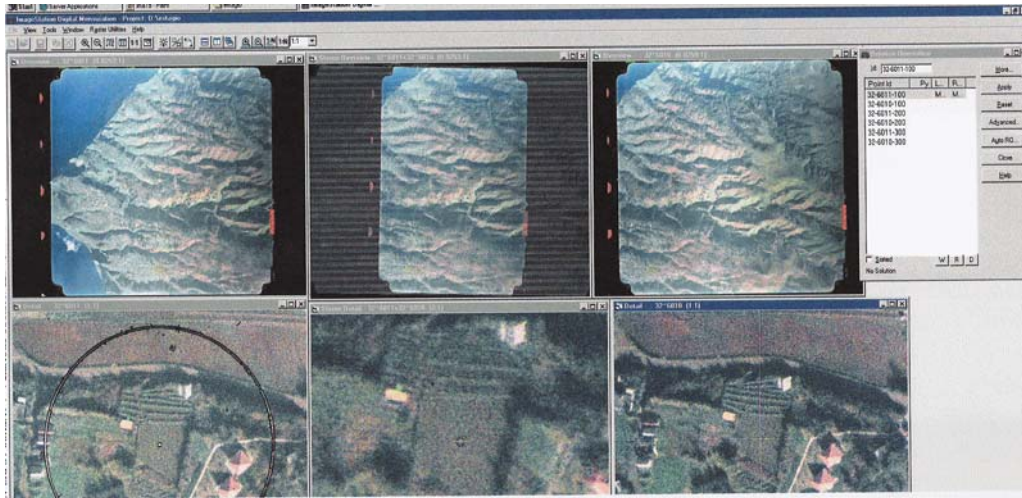


Figura 1.5.1.1.5. Medição de PUG em fotografias

1.5.2. Determinação de Pfs no terreno

A escolha definitiva dos Pfs é feita pelo topógrafo no campo após verificação das condições in loco. O Pf, depois de determinado topo-geodesicamente, é marcado definitivamente na fotografia (prova de papel) picando um triângulo com um alfinete envolvente ao Pf e é feito um croquis de cada Pf, com um desenho que esclareça a localização do ponto na foto, a descrição do mesmo (podendo ser substituída por uma foto no local), a sua identificação, as coordenadas M, P e cota e o método de coordenação utilizado para se poder avaliar da precisão das coordenadas obtidas.

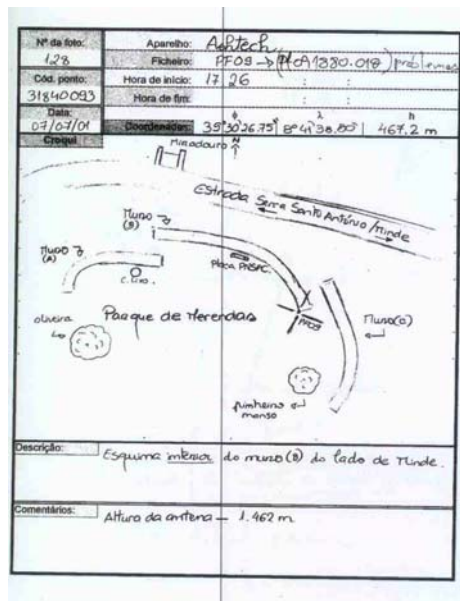


Figura 1.5.2.1. Exemplo de croquis

PFs isolados são normalmente coordenados por intersecção directa ou inversa, podendo o PF eventualmente ser obtido por irradiação de um ponto auxiliar. Conjuntos de PFs são normalmente coordenados por poligonais. As cotas são determinadas, conforme a precisão exigida, por nivelamento trigonométrico ou geométrico. Actualmente, sempre que é possível, utilizam-se métodos de coordenação por GPS. Prefere-se o método diferencial estático, estacionando um receptor num ponto de coordenadas conhecidas e estacionando um segundo receptor em cada ponto a coordenar durante 10 a 15 minutos. O receptor fixo pode ser substituído, caso possível, pela utilização dos dados de uma estação GPS permanente. O receptor móvel deve ser de dupla frequência e deve utilizar-se a fase das ondas portadoras como sinal, permitindo uma precisão centimétrica.

A precisão exigida para a determinação das coordenadas dos PFs, depende da escala a que se destina a restituição e das limitações não só da imagem como dos instrumentos utilizados na sua restituição.

Um dos indicadores numéricos para a precisão exigida baseia-se no erro de graficismo. Assim, admitindo uma tolerância geométrica no produto final (carta ou ortofoto) igual ao valor da incerteza devida ao graficismo (0.2 mm) e uma propagação igual do erro pelas três fases principais da cadeia de produção (determinação de PFs no campo, determinação de pontos de apoio por aerotriangulação e restituição) exige-se para a primeira fase:

-em planimetria $sp[cm] \leq 1/3 \cdot 0,02 \cdot mc$ --mc módulo da escala da carta a restituir e 0.02 cm é o erro de graficismo

Outro indicador baseia-se não no produto final, mas sim na resolução geométrica da foto, a qual poderá ser utilizada para produzir produtos em várias escalas. Assim sendo, o critério tolera uma incerteza em planimetria menor que o valor da resolução geométrica da imagem no terreno.

Neste ponto há que distinguir imagens analógicas de digitais ou digitalizadas. Em imagens analógicas restituídas analogicamente/analiticamente, a resolução geométrica vai de 5 a 10 μm . Em restituições digitais, a resolução geométrica é regida pela dimensão do pixel (assumido como quadrado) da imagem (digitalizada ou digital de raiz). Exige-se, então, por este critério:

-em planimetria
foto analógica: $5 \cdot 10E-4 \cdot mf \leq sP [cm] \leq 1 \cdot 10E-3 \cdot mf$
foto digital: $sP \leq pixel \cdot mf$

mf - módulo da escala da foto
 $sP = \sqrt{sX^2 + sY^2}$

Para a altimetria, toma-se como valor limite da incerteza da cota determinada por estereorrestituição o chamado erro de cota que se considera igual a 0.3 % da

altura média de voo. Pelo mesmo princípio referido anteriormente aplicado à deterioração da precisão altimétrica ao longo das três fases principais da cadeia de produção, exige-se uma incerteza na determinação dos PFs:

$$\begin{aligned} \text{- em altimetria} \quad sZ &\leq h \cdot 0,0001 \\ h &= \text{altura média de voo} \end{aligned}$$

A tabela dá os valores de precisão exigidos para as coordenadas geodésicas dos PFs em função da escala da carta, do critério utilizado e da constante da objectiva utilizada.

mc /mf	sp [cm]		sZ [cm]		
			c = 9	c = 15	c = 30
	Critério 1	Critério 2 (analógica)	SGA	GA	AN
500	4	2	3	4	9
1000	7	2..3	4	6	12
2000	14	3..5	5	9	18
5000	35	4..8	8	14	27
10000	70	6..10	12	20	40
25000	175	10..16	20	30	60

Tabela 1.5.2.1. Valores máximos de incerteza para a determinação de PFs.

Para determinados objectivos, como por exemplo a completagem de uma carta, poderá ser suficiente determinar as coordenadas de Pfs em cartas já existentes, desde que sejam de qualidade e de escala maior. A incerteza associada a esses pontos terá como determinantes o erro de graficismo (para planimetria) e um terço a um quinto da equidistância natural da carta (para altimetria)

1.5.3. Introdução à aerotriangulação

A aerotriangulação é o conjunto de algoritmos matemáticos e estatísticos que a partir da geometria da fotografia permitem determinar coordenadas terreno de pontos de apoio em todas as fotografias e orientações espaciais das fotografias ou dos modelos de um bloco, a partir apenas das coordenadas terreno de apenas alguns pontos fotogramétricos.

Nesta fase do processo, são introduzidas num programa computacional todas as coordenadas terreno dos Pfs e os elementos de orientação interna da(s) câmara(s) utilizada(s) no voo.

São medidas a seguir no estereorrestituídor, as coordenadas foto ou modelo de todos os pontos de apoio (Pfs, PP, PL, V.Geod.).

É feita uma compensação das observações (medições) e um ajustamento ao terreno por meio dos Pfs.

São determinadas as coordenadas terreno de todos os pontos de apoio.

São determinados os elementos de orientação externa de cada fotografia ou os elementos de orientação absoluta de cada modelo.

É feito um controle do ajustamento por meio de pontos de controle, dos quais se conhecem as coordenadas terreno, mas não entraram no cálculo do ajustamento como Pfs.

Fica-se então, após uma aerotriangulação bem sucedida, de posse de pontos em todas as fotos ou modelos, dos quais conhecemos as coordenadas terreno, o que é indispensável para a restituição do pormenor existente nas fotos, como se verá em capítulos seguintes.

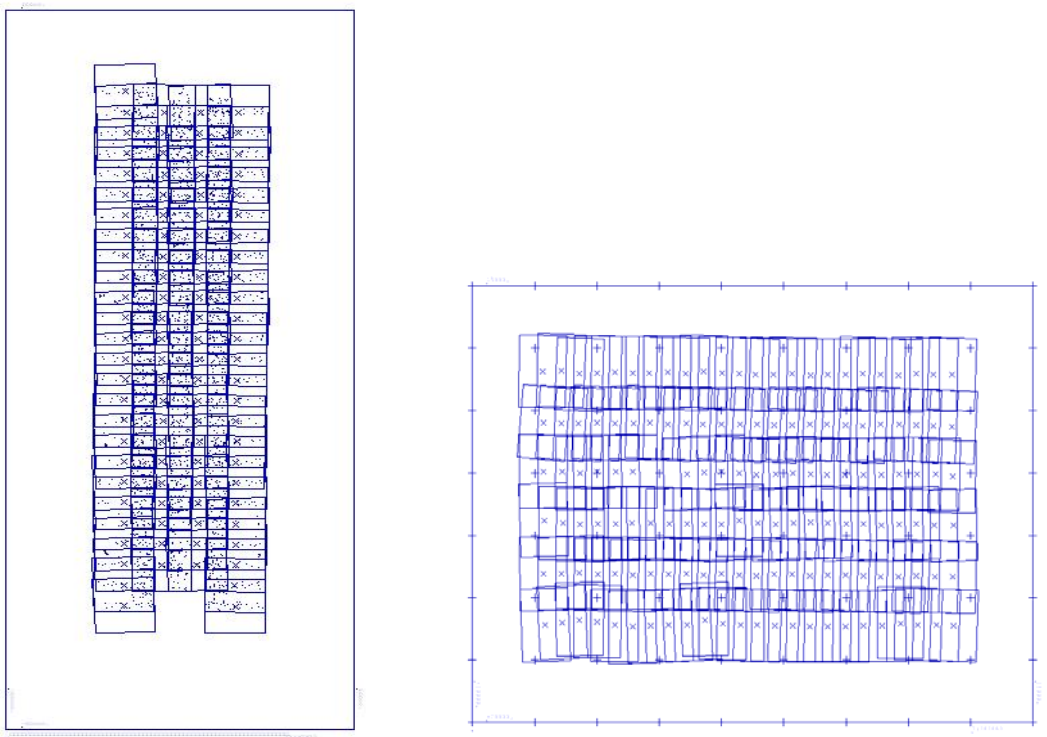


Figura 1.5.3.1. Esquemas de blocos aerotriangulados