

Sistema de Navegação para Fotografia Aérea de Pequeno e Médio Formato

João Castro*, **Luís Martins****, **José Aranha***** e **Fernando Macedo******

* Professor Adjunto

Departamento Florestal. Escola Superior Agrária de Bragança. Campus de Santa Apolónia, Apartado 1172, 5301 - 854 BRAGANÇA

**Professor Auxiliar

***Professor Associado

**** Investigador Principal

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Quinta de Prados,
5000-911 VILA REAL

Sumário. Neste trabalho é apresentado um sistema de navegação para a aquisição de fotografias aéreas de pequeno e médio formato, baseado na utilização de um computador portátil e de um sistema GPS, adaptado às características da(s) câmara(s) e da aeronave utilizada (Cessna 172). O sistema foi testado com o registo da trajectória da aeronave, a qual foi comparada com a rota projectada para o voo, o que permitiu determinar o respectivo desvio. Essa avaliação revelou que o sistema é eficiente e de baixo custo, o que aconselha a sua utilização com vantagem em estudos florestais a nível local.

Palavras chave: Fotografia aérea de pequeno e médio formato; navegação aérea; GPS; SIG; monitorização e inventário florestal

Aerial Navigation System Adapted for Small and Medium Format Photography

Abstract. In this paper one can find details of an aerial navigation system adapted for small format photography acquired from a light aircraft (Cessna 172). This arrangement is controlled by a portable PC and GPS receiver with suitable software, and an intervalometer adapted from a off the shelf digital metronome. The system was tested over a small study area with acceptable results concerning the flight precision. The system can be developed and used with low costs and may therefore be recommended as an efficient tool for spatial data sampling in local forestry and environment monitoring.

Key words: Small format aerial photography; aerial navigation; GPS; GIS; forest survey; environment monitoring

Système de Navigation pour Photographie Aérienne de Petit et Moyen Format

Resumé: Dans cet article est présenté un système de navigation aérienne pour l'acquisition de photographies de petit et moyen format à installer sur un avion léger (Cessna 172). Le système est composé d'un PC portable, d'un récepteur GPS et d'un métronome digital adapté (intervallomètre). Le système a été mis au point et testé sur une zone forestière avec des

résultats acceptables en ce qui concerne la précision de vol. Le système peut être construit à bas coût et utilisé efficacement pour des inventaires forestiers et des monitorisations environnementales locales.

Mots clés: Photos aériennes de petit et moyen format; navigation aérienne; GPS; SIG; inventaire forestier ; monitorisation environnementale

Introdução

A fotografia aérea é uma técnica de detecção remota de inegável valor em estudos florestais, quer usada independentemente, quer associada à tecnologia mais recente de imagens de satélite de média e elevada resolução espacial (Landsat, SPOT, ERS, QuickBird, IKONOS, etc.). Tal como referem WARNER *et al.* (1996), foram criadas grandes expectativas relativamente às imagens de satélite, mas na realidade a fotografia aérea continua a ter um papel preponderante em detecção remota. De facto, as imagens dos sensores Landsat TM e ETM+, com resolução espacial de 30 m no terreno, em modo multiespectral e 15 m no modo pancromático, são apenas úteis para grandes áreas de trabalho e não para estudos de pormenor em pequenas áreas. As imagens recentes dos sensores QuickBird e IKONOS renovaram essas expectativas, que rapidamente se desvaneceram, pelo elevado custo envolvido, e ainda porque a sua resolução espacial é próxima da obtida com fotografias aéreas convencionais (FAC).

Em Portugal, realizaram-se várias coberturas parciais ou integrais do território continental, usando fotografia aérea convencional (FAC), com formato 23 cm × 23 cm, destinadas a inventários florestais (MACEDO, 1997). A Força Aérea Portuguesa (FAP), disponibiliza as coberturas que realizou a partir da segunda metade do século passado por encomenda estatal, as quais têm possibilitado estudos importantes sobre a

evolução da ocupação e uso do solo.

As coberturas aéreas do território nacional passaram também a ser realizadas por iniciativa privada, desde 1990, nomeadamente pela Associação das Empresas de Celulose (ex-ACEL, actualmente CELPA), em parceria com o Ministério da Agricultura: coberturas integrais em 1990 e 1995, ambas com película infravermelho colorido, às escalas 1:15000 e 1:40000, respectivamente. As fotos de 1995 foram digitalizadas e ortorectificadas pelo Instituto Geográfico do Exército (IGeoE) e comercializadas pelo extinto Centro Nacional Informação Geográfica (CNIG), agora integrado no recém criado Instituto Geográfico Português, que acumula as funções de distribuição.

O Ministério da Agricultura, através de alguns dos seus organismos oficiais, nomeadamente o Instituto da Vinha e do Vinho (IVV) e o Instituto Nacional de Garantia Agrária (INGA), também têm vindo a encomendar algumas coberturas aerofotográficas. O IVV obteve a cobertura em película pancromática (preto e branco) de algumas Regiões Vitícolas com Denominação de Origem Controlada (DOC). O INGA encomendou, desde o final da década passada, várias coberturas fotográficas com o objectivo de efectuar o cadastro olivícola e das culturas arvenses. Dispõe da cobertura integral relativa ao ano de 2000, à escala média 1:40000, pretendendo realizar nova cobertura em 2005. A digitalização e ortorectificação destas fotografias foi da responsabilidade do INGA. No entanto, o

INGA apenas comercializa ortofotografia impressa ou em formato digital, o que limita a utilização da informação original em trabalhos específicos que requeiram maior precisão geométrica. No caso da informação digital que ambas as instituições disponibilizam, as fotografias apresentam um pixel quadrado com 1 m de lado, o que é insuficiente para determinadas aplicações, nomeadamente em inventário florestal.

As imagens, à escala 1:40000, da CELPA e do INGA apresentam diferente nitidez, como se pode observar na Figura 1.

As resoluções espaciais das fotografias aéreas pancromáticas do INGA (2000, esc. 1:40000) e da FAP (1986, esc. 1:15000) são respectivamente 1 m e 0,5 m. A excelente qualidade das fotografias da FAP e o seu detalhe são as suas principais vantagens em relação às do INGA. Como desvantagem, pode referir-se a menor superfície coberta por cada fotografia.

Contudo, há estudos florestais que não são significativamente afectados pela escala das fotografias aéreas e consequente resolução espacial. Por exemplo, em estudos de monitorização da doença da tinta do castanheiro a resolução espacial não é o principal factor, dada o

grande diâmetro das copas das árvores adultas (5 m) e também o largo compasso de plantação (10 m × 10 m). Neste caso, a resolução espectral é o factor mais importante, sendo mais adequadas as películas sensíveis ao infravermelho (preto e branco e colorido).

Na maior parte dos estudos relativos à monitorização de recursos florestais é fundamental dispor-se de fotografias recentes, o que raramente acontece em Portugal. As fotografias aéreas da CELPA, do tipo infravermelho colorido, são adequadas à monitorização da doença da tinta, mas estão completamente desactualizadas. As árvores em que se poderia detectar precocemente a doença da tinta em 1995, data da captação das fotografias, morreram entretanto. A fotografia do INGA de 2000 é recente, mas por ser pancromática é apenas adequada para cadastro e cartografia de ocupação e uso dos solos, aplicações que foram entretanto prejudicadas pela ocorrência de fogos florestais nos últimos três anos, em vastas áreas do território nacional.

Em resumo, as FAC disponíveis em Portugal apresentam os seguintes inconvenientes:

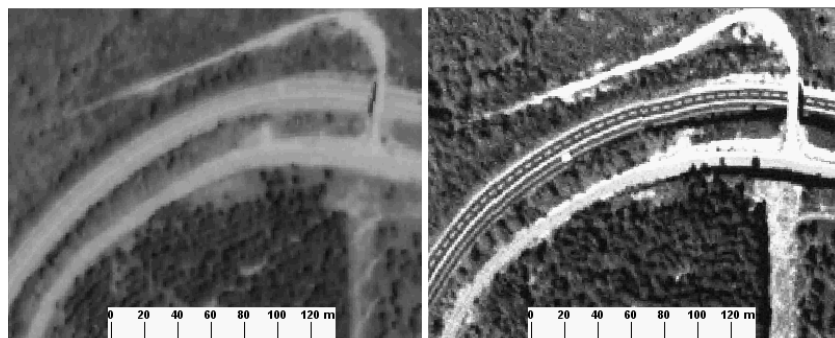


Figura 1 - Imagens ortorectificadas relativas ao mesmo local (Serra do Marão): INGA 2000, à esquerda, e CELPA 1995, à direita

- Ausência de um plano nacional de coberturas aéreas integrais do território, com factores de escalas, periodicidades, e tipos de películas adequadas a diversas aplicações;

- Os factores de escala das fotografias aéreas disponíveis actualmente não são os mais adequados para numerosos estudos, nomeadamente estudos dendrométricos (diâmetro de copa, densidade de copas, altura das árvores, etc.); as suas periodicidades não se adequam às necessidades da monitorização atempada dos recursos naturais; os tipos de película utilizados não satisfazem muitas necessidades, nomeadamente no que se refere a estudos de epidemiologia ambiental;

- Ausência de controlo de qualidade das coberturas aéreas realizadas;

- Restrições na aquisição de provas de contacto das fotografias aéreas e de cópias em papel.

- Elevado custo de comercialização dos produtos derivados das coberturas aéreas realizadas, nomeadamente das ortofotografias digitais;

A Fotografia Aérea de Pequeno e Médio Formato (FAPMF) tem vindo a ser cada vez mais utilizada em inúmeros estudos locais e regionais, para monitorização de recursos naturais e em múltiplos estudos florestais e ambientais (WARNER *et al.*, 1996), pois que essa tecnologia permite obviar aos inconvenientes da FAC, atrás expostos. O grande potencial da FAPMF tem-se revelado especialmente na monitorização da sanidade de povoamentos florestais e na estimativa de parâmetros dendrométricos (AVERY e BURKHART, 1994; MARTINS *et al.*, 1995). Actualmente, os autores deste artigo têm em curso dois

estudos independentes em Trás-os-Montes e Alto Douro, "A avaliação da incidência da tinta do castanheiro (*Castanea sativa* Mill.)" e "O inventário florestal sobre pinheiro (*Pinus pinaster*) e eucalipto (*Eucalyptus globulus*)", que recorrem a FAPMF.

A FAPMF constitui uma alternativa viável para amostragem espacial, sendo várias as suas vantagens: 1) custo reduzido (que pode não ultrapassar 10% do valor de uma cobertura aérea convencional); 2) possibilidade de ser obtida no momento desejado, obviando à deficiente periodicidade das coberturas aerofotográficas nacionais; 3) pode ser captada a nível local para objectivos muito específicos (MARTINS *et al.*, 2001); 4) permite a utilização simultânea de câmaras fotográficas de diferentes formatos, objectivos, filtros e películas; 5) conseguem-se resoluções espaciais, no terreno, inferiores a 25 cm (Quadro 1).

Não obstante as vantagens da FAPMF, esta tecnologia não se encontra muito divulgada em Portugal. Com o presente trabalho pretende-se dar um contributo para a sua divulgação, apresentando a experiência adquirida na sua utilização, num estudo que teve por objectivo a avaliação da incidência da doença da tinta do castanheiro numa área de estudo predefinida. Para tal passaremos seguidamente em revista os aspectos essenciais que houve que considerar na realização desse estudo: 1) equipamento fotográfico e suporte de câmaras; 2) planeamento da missão aerofotográfica; 2) sistema de navegação. Daremos ênfase especial ao sistema de navegação utilizado, que permitiu cumprir com grande rigor as missões aéreas planeadas e adquirir fotografias com qualidade adequada ao objectivo do estudo.

Quadro 1 - Planeamento de voo (especificações técnicas)

Descrição	RolleyFlex 6008	Nikon F3	Fuji S1 Pro
Factor da Escala (E)	6500	10400	18571
Distância focal (f) das lentes	80	50	28
Altura de voo (h) (pés)	1707	1707	1707
Altura de voo (h) (m)	520	520	520
Cota média do ponto principal (C) (pés)	2484	2484	2484
Cota média do ponto principal (C) (m)	757	757	757
Altitude de voo (H) (pés)	4191	4191	4191
Altitude de voo (H) (m)	1277	1277	1277
Lado do Negativo (d ₁) (mm)	42,0	24,0	15,6
Lado do negativo (d ₂) (mm)	56,0	36,0	23,3
Dist. longitudinal de terreno coberto por fotografia (D ₁) (m)	273	250	290
Dist. longitudinal de terreno coberto por fotografia (D ₂) (m)	364	374	433
Sobreposição longitudinal p (%)	60	60	60
Distância base (B) (m)	109	100	116
Comprimento da linha de voo (L) (m)	1	1	1
Número de Fotografias/Linha (mais 2 antes & 2 depois) (N)	15	16	14
Velocidade do avião (V) (nós)	90	90	90
Velocidade do avião (V) (m/seg)	46	46	46
Velocidade do avião (V) (Km/h)	165,6	165,6	165,6
Intervalo entre exposições (T) (seg)	2,4	2,2	2,5
Velocidade do disparo (s) (seg)	1/500	1/500	1/500
Arrastamento (A) (µm)	14	8	4
Resolução ao solo (m)	0,3	0,4	0,2

Nota: a resolução espacial no terreno foi determinada para as duas câmaras analógicas considerando uma digitalização do negativo com um scanner com a resolução de 600 ppp. No caso da câmara digital é considerada a aquisição directa a 2304 × 1536 pixels²

Área de estudo

A área de estudo corresponde à denominação de origem "Castanha da Padrela", abrangendo 6 freguesias do Concelho de Valpaços (Distrito de Vila Real) (Figura 2). Essa área caracteriza-se por um relevo irregular, sendo maioritariamente ocupada por agricultura e pequenas povoações dispersas.

Na Figura 2 representam-se a tracejado as linhas de voo projectadas sobre a área de estudo. Os polígonos representam limites administrativos de freguesias. É indicada a latitude e longitude dos cantos do mapa, correspondentes ao Datum WGS84.

Equipamento fotográfico e suporte de câmaras

Ao contrário do que acontece com a FAC, para obtenção de FAPMF raramente se utilizam câmaras métricas e tampouco suportes com estabilizadores giroscópicos, altamente sofisticados, normalmente instalados em aeronaves de grande porte, e exigindo adaptações de estrutura para instalação desses suportes. Mesmo com câmaras fotográficas não métricas, de pequeno e médio formato, utilizadas normalmente em FAPMF, é possível no entanto reconstituir a geometria das fotografias usando *software* de

fotogrametria digital, recorrendo a modelos digitais do terreno (MDT) e a alguns pontos de controlo no terreno, desde que o tipo de estudo o justifique. Embora este aspecto não seja desenvolvido neste trabalho, apresenta-se na Figura 3 um exemplo de uma FAPMF ortorectificada, obtida pelos autores, sobreposta a uma FAC ortorectificada (CELPA, 1995) referente a uma zona da Serra do Marão. Para a ortorectificação

da FAPMF foi utilizado um MDT criado a partir de informação altimétrica digital, de tipo vectorial, fornecida pelo IGeoE, com equidistância natural de 10 m, usando-se o programa para ortorectificação digital OrthoEngine 6.2, pontos de controlo no terreno com coordenadas determinadas por um receptor GPS Trimble Pro XR com 12 canais, com subsequente correcção diferencial.

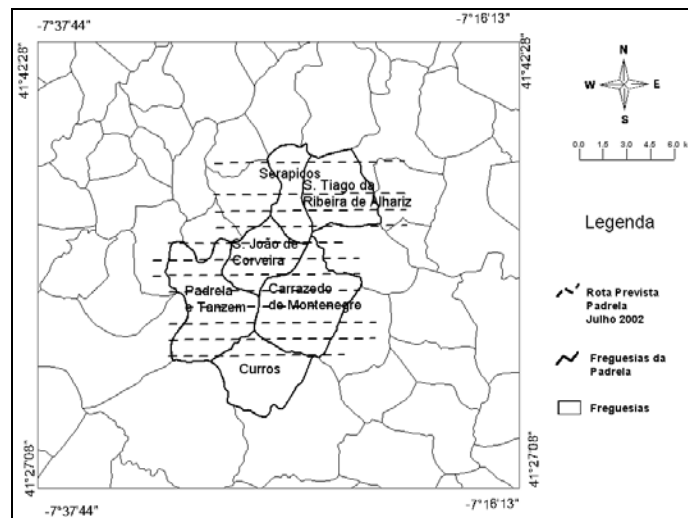


Figura 2 - Área de estudo e linhas de voo (Coordenadas geográficas, Datum WGS84).

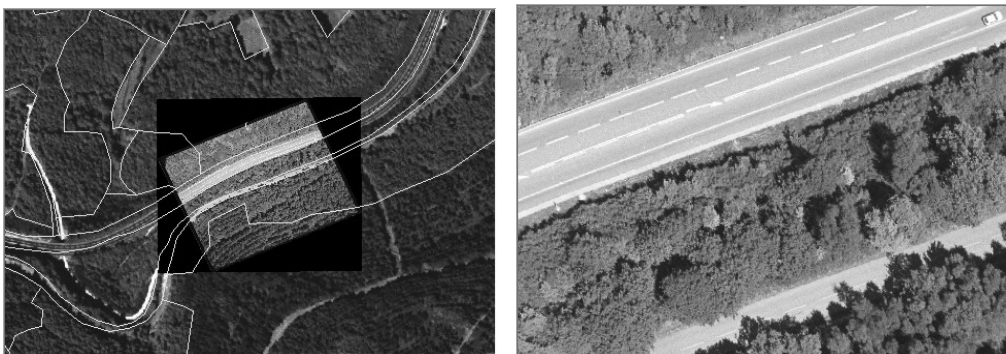


Figura 3 - À esquerda, FAPMF captada com câmara fotográfica de 35 mm, objectiva com distância focal de 50 mm e película colorida com sensibilidade de 200ASA, inserida sobre uma ortofotografia da CELPA de 1995; à direita, apresenta-se uma ampliação da fotografia de pequeno formato

As aeronaves mais comuns utilizadas para obtenção de FAPMF são do tipo monomotor de asa alta, existentes em aeroclubes de muitas cidades, não necessitando alteração estrutural para esse fim. A missão de fotografia aérea realizou-se com um avião Cessna 172 equipado com um suporte de câmaras retráctil, desenvolvido para o efeito e instalado no compartimento para bagagem, sobre o qual se montaram 3 câmaras fotográficas: uma câmara de médio formato (Rolleiflex 6008), com uma objectiva de 80 mm, uma de pequeno formato (Nikon SLR), com uma objectiva de 50 mm e uma câmara digital de pequeno formato SLR (FujiFilm S1Pro), com uma objectiva Nikon de 28 mm. As câmaras foram disparadas simultaneamente, sendo a cadência de disparos controlada por um intervalómetro desenvolvido pela equipa de trabalho, por adaptação de um metrónomo digital.

Planeamento da missão aerofotográfica

Na planificação de uma missão aerofotográfica deve ter-se em conta a distância focal da câmara utilizada e o seu formato, bem como o factor de escala, a sobreposição longitudinal (p) e a sobreposição lateral (q) das fotografias aéreas pretendidas. O factor de escala da fotografia (E) depende da altura de voo acima do terreno (h) e da distância focal da câmara (f) (Eq. 1). Embora a altitude do avião (H) não sofra alterações significativas durante uma missão aérea, o mesmo não se verifica com h que varia de acordo com o relevo, especialmente em zonas montanhosas, visto que $h=H-z$, em que z é a cota do terreno. Alterando-se h altera-se concomitantemente o factor

de escala.

$$E = \frac{h}{f} \quad (1)$$

Para garantir a cobertura integral do terreno ao longo duma linha de voo, as sucessivas fotografias são captadas com uma determinada sobreposição longitudinal (p). Se a cobertura a efectuar necessitar de um voo segundo várias fiadas paralelas, então também é requerida sobreposição lateral (q). Os valores mais usuais dessas sobreposições $p=60\%$ e $q=10\%$.

Considerando as dimensões do negativo (por exemplo de pequeno formato analógico $d_1=36$ mm e $d_2=24$ mm), as correspondentes distâncias no terreno (D_1 e D_2) variam com h, e conseqüentemente, variam também as sobreposições longitudinais (p) e laterais (q), podendo, portanto, originar-se lacunas ou excessos de cobertura (Eq. 2 e Eq. 3). Além disso, com a variação da escala, altera-se a distância entre os pontos principais de duas fotografias consecutivas, conhecida como "distância base" (B) (Eq. 4) (WARNER *et al.*, 1996; MARQUES, 2001).

$$D_1 = d_1 \cdot E \quad (2)$$

$$D_2 = d_2 \cdot E \quad (3)$$

$$B = D_1 (1 - p) \quad (4)$$

Assim, o intervalo entre exposições (T) depende da velocidade do avião em relação ao terreno (V), de h e da dimensão longitudinal do negativo (d_1) (DISPERATI, 1991; WARNER, 1994). Considerando um valor de p fixo e assumindo que V é constante, o intervalo entre exposições (T) é dado pela Eq. 5.

$$T = \frac{B}{V} \quad (5)$$

Para um determinado comprimento da fiada (L), o número de fotografias por fiada (N) será dado pela Eq. 6.

$$N = \frac{L}{B} \quad (6)$$

Relativamente ao número de fotografias por fiada (N), autores como WARNER (1994) sugerem que se tirem 2 fotografias a mais antes de se iniciar o sobrevoo da fiada e 3 fotografias depois de sobrevoada a fiada, para garantir a cobertura integral da área que se pretende fotografar.

Fez-se uma amostragem sistemática da área de estudo, constituída por 10 fiadas sobre as quais se instalaram 27 transeptos com o comprimento individual de 1000 m, coincidentes com as manchas de souto (Figura 2) previamente identificadas e registadas num sistema de informação geográfica. O delineamento da amostragem permitiu definir os parâmetros de voo que se apresentam no Quadro 1.

Não foi considerada qualquer sobreposição lateral das fotografias nem o número de fiadas necessárias para cobrir a área de estudo, dada a amostragem ter sido realizada por transeptos situados em fiadas independentes.

Sistema de navegação

Tal como referem HEIMES *et al.* (1992), é fundamental utilizar-se um sistema de navegação que permita cumprir rigorosamente a missão aerofotográfica planeada. Da cabina do avião não é possível observar o terreno que se está a sobrevoar, possuindo-se apenas uma visão frontal e lateral. Por isso, antes de aparecer o sistema GPS, que permite uma navegação aérea automática, uma solução prática para obter a visão vertical consistia em utilizar uma câmara de vídeo ligada a um pequeno monitor (EKIN, 1994), mas a navegação com GPS é mais eficiente. Efectivamente,

o sistema GPS pode indicar com grande rigor a posição geográfica, desde que seja feita a correcção diferencial em tempo real (ACKERMANN and SCHADE, 1993), o que exige todavia que o receptor GPS móvel, instalado na aeronave, esteja em comunicação via rádio com um receptor fixo, situado numa posição perfeitamente conhecida.

O sistema de navegação desenvolvido para este trabalho é constituído pelo programa informático MapSite™, dois receptores GPS de navegação (Garmin eTrex Ventura e Magellan 320) e um computador portátil (Figura 4-a).

A metodologia aplicada para navegação aérea dividiu-se nas seguintes tarefas:

- reconhecimento do terreno e delimitação da zona a sobrevoar, através dum SIG (Geomedia Professional);
- estabelecimento no SIG das linhas de voo pretendidas;
- transformação do sistema de coordenadas original (Hayford Gauss Militares) para o sistema WGS84 e exportação das linhas de voo para o programa MapSite™;
- criação dum mapa de voo no programa MapSite™;
- instruções ao piloto sobre o objectivo do trabalho e as linhas de voo a seguir;
- realização da missão de voo;
- importação para o SIG das linhas de voo realmente percorridas;
- análise dos desvios das rota percorridas em relação às rotas projectadas.

Durante a missão aerofotográfica realizada em 2002, em que se utilizou o sistema de navegação acima descrito, verificou-se que o monitor do computador portátil é suficientemente grande para permitir a visualização simultânea

do plano de voo e da posição do avião fornecida pelo receptor GPS (Figura 4b). A posição do avião é assinalada por uma marca no monitor do computador (aspecto gráfico do programa

MapSite™). No final da missão aerofotográfica é possível representar num SIG ou num CAD as rotas prevista e executada (Figura 5) e analisar as variações em X, Y e Z.

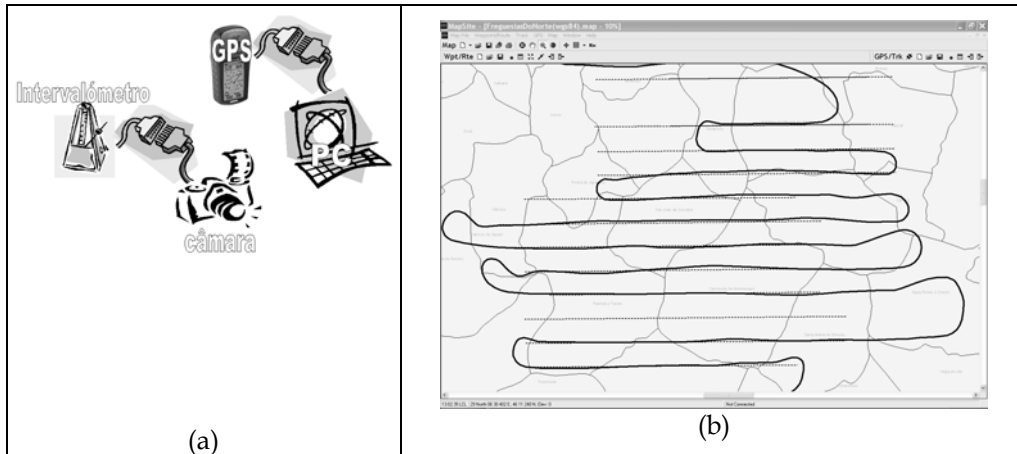


Figura 4 - (a) Esquema do sistema de navegação - GPS Garmin eTrex Venture ligado ao PC portátil via porta de série (programa utilizado: Mapsite™) e intervalómetro ligado à câmara fotográfica. (b) Aspecto visual do monitor do PC portátil com o programa MapSite™ no final da missão aérea. São visíveis as rotas planeadas (a tracejado) e as efectuadas (a cheio)

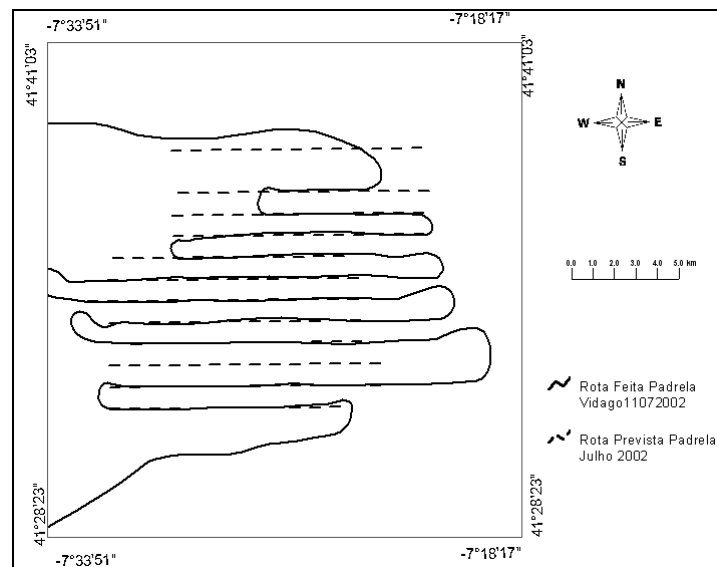


Figura 5 - Rota efectuada com um sistema de navegação constituído por um receptor GPS ligado a computador portátil com um programa MapSite™, na Serra da Padrela, em 11 de Julho 2002

Embora essas rotas só estejam representadas graficamente a duas dimensões, também é registada a informação relativa à altitude do avião durante o voo (H).

Antes de efectuarmos a missão planeada de acordo com a metodologia proposta, realizámos um voo experimental nas proximidades do aeródromo de Vila Real, utilizando para navegação apenas o receptor GPS. Como se pode verificar através da Figura 6 os desvios de rota em relação ao planeado são evidentes. A navegação apoiada apenas no visor de um receptor GPS produz maus resultados, devido sobretudo às reduzidas dimensões do visor do receptor GPS, que não permite uma boa visualização das linhas de voo.

Análise dos resultados

Para estimar o erro instrumental na navegação com GPS, sem correcção diferencial em tempo real, compararam-se os desvios das posições fornecidas por um receptor GPS fixo, instalado na UTAD,

em relação à sua localização conhecida. O registo dessas posições, foi feito exactamente à mesma hora em que se realizou a missão aerofotográfica sobre a área de estudo, situada a cerca de 50 km da UTAD. Verificaram-se os desvios médios $dX=-0,33$ m, $dY=1,68$ m, e $dZ=-0,49$ m, desvios padrões $sX=1,43$ m, $sY=1,18$ m e $sZ=2,31$ m, e amplitudes de variação de 5,5 m, 6,4 m e de 12 m em X, Y e Z, respectivamente (Figura 7). As coordenadas de um ponto fixo, fornecidas pelo sistema GPS, têm portanto uma variação admissível para a navegação aérea, uma vez que as modas dos desvios foram $dX=-2,1$ m, $dY=1,4$ m e $dZ=1,7$ m. Além disso, durante o voo, está-se menos sujeito às principais fontes do erro que afectam as coordenadas fornecidas pelo sistema GPS, tais como caminhos múltiplos do sinal, originados pela reflexão deste em objectos próximos com posições mais elevadas que a antena, ou variações atmosféricas locais que alteram a velocidade de propagação do sinal.

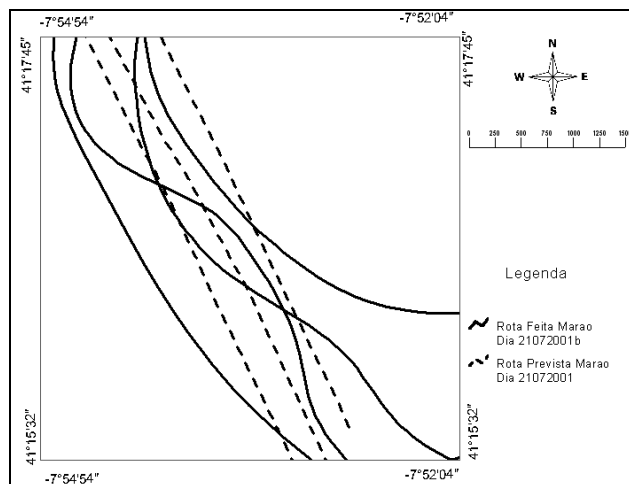


Figura 6 - Rota efectuada com navegação com GPS simples

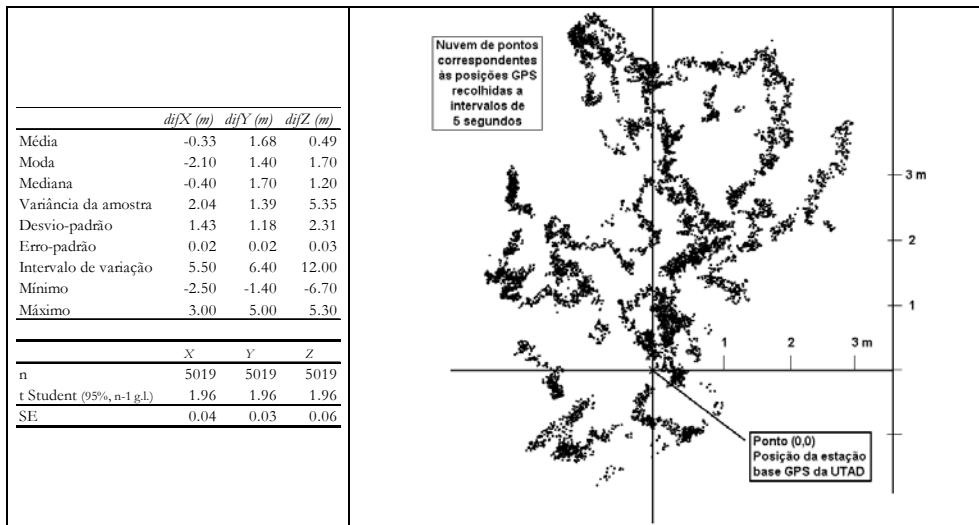


Figura 7 - Distribuição dos desvios das posições fornecidas pelo receptor GPS fixo, instalado na UTAD, relativamente à posição verdadeira

Para estimar a discrepância entre as rotas planeadas e as rotas realmente percorridas, mediram-se os desvios entre as rotas efectuadas e as planeadas, em intervalos de 200 m, relativamente às direcções dos eixos Y (transversal) e Z (vertical), correspondentes à deriva e à variação da altitude do avião, respectivamente.

Durante a fase de planeamento da missão aerofotográfica esperava-se obter fotografias aéreas com escalas de 1:6500, 1:10400 e 1:18571, consoante os tipos de câmaras fotográficas utilizadas (Quadro 1).

O desvio médio lateral na trajectória de voo foi de 51,9 m a que se deve adicionar o erro instrumental do receptor GPS relativamente à coordenada Y (=1,4 m), de que resultou um erro médio lateral na trajectória de 53,3 m, cujo efeito sobre a sobreposição lateral é de cerca de 14%, no caso da fotografia analógica com a câmara Nikon de 35 mm, à escala de 1:10400. Embora este erro não afecte a

qualidade do trabalho, porque as fiadas foram consideradas independentes, não deve ser descurado quando se pretender efectuar coberturas aéreas locais com sobreposição lateral suficiente, de modo a evitar lacunas de cobertura entre fiadas contíguas. O desvio médio vertical na trajectória de voo foi de 35,1 m, acrescido do erro instrumental do receptor GPS relativamente à coordenada Z (=1,7 m), de que resultou um erro médio vertical na trajectória de cerca de 37 m, que corresponde a uma variação de escala próxima de 7%, ainda no caso da fotografia analógica com a câmara Nikon de 35 mm, à escala de 1:10400. As variações de escala têm efeito sobre as sobreposições lateral e longitudinal, efeitos que devem ser tomados em consideração no planeamento da cobertura fotográfica.

Acumulando os efeitos dos erros laterais e verticais de trajectória, obtém-se o desvio lateral total de $14\% + 7\% = 21\%$, valor que se deve adicionar á

sobreposição lateral usual de 10%, de modo a evitar lacunas de cobertura entre fiadas contíguas, quando este aspecto for considerado importante.

Ao longo das linhas de voo, havia grande variação de cotas nos correspondentes perfis do terreno. Para calcular a variação da escala das fotografias, causada pelas irregularidades do relevo, considerou-se que a altitude de voo se manteve constante (1277 m). Para cada linha de voo calcularam-se as alturas máxima e mínima do avião acima do solo e os correspondentes factores de escala, mínimo e máximo. A discrepância média entre os factores de escala assim calculados e a escala prevista no planeamento do voo foi de 34%. Daqui se conclui que as variações do relevo têm um efeito muito maior (34%) sobre a escala das fotografias do que as variações da altitude do avião durante o voo (7%).

Conclusões

Dos resultados obtidos pode concluir-se que o sistema de navegação utilizado é adequado para aquisição de FAPMF destinada a estudos relativos a recursos florestais, a nível local ou regional e que a utilização desse sistema, constituído por um computador portátil, um receptor GPS e um programa informático (por exemplo MapSite™) é fácil e eficiente. O sistema de navegação utilizado é ainda pouco dispendioso, visto que o custo de um computador portátil, de um receptor GPS e de um programa MapSite™ foi apenas 2500 euros, em Janeiro de 2003, que o custo das missões de voo foi 200 Euros/hora e que o custo das fotografias foi 15 Euros por rolo de 36 fotografias (negativo + revelação + provas). Deve-se ainda referir que neste tipo de missões

aerofotográficas se podem utilizar vários tipos de câmaras e películas em simultâneo e que os dados recolhidos se podem analisar quase imediatamente, após cada missão. Essa prontidão permite corrigir lacunas ou acrescentar informação atempadamente, de acordo com as necessidades do utilizador.

Outros estudos estão em curso para avaliar as eventuais vantagens de outros sistemas de navegação aérea, sistemas fotográficos e aeronaves, para obtenção de FAPMF, destinada a estudos de patologia florestal e de dendrometria.

Agradecimentos

A equipa de trabalho agradece ao Sr. Carlos Martins o desenvolvimento do intervalómetro para controlo dos obturadores das câmaras fotográficas.

Este trabalho foi financiado pelo INIA, no âmbito da medida AGRO, em que se inclui o projecto nº 179, intitulado "Cadastro e detecção remota da doença da tinta do castanheiro por fotografia aérea de infravermelho próximo".

Agradecemos também ao IGeoE a cedência de informação digitalizada, e ao ex-CNIG a cedência de ortofotografia digital.

Bibliografia

- ACKERMANN, F., SCHADE, H., 1993. Application of GPS for aerial triangulation. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **59**(11) : 1625-1632.
- AVERY, T.E., BURKHART, H.E., 1994. *Forest Measurements*. Fourth Edition. McGraw-Hill, Inc. New York. ISBN 0070025568.
- DISPERATI, A.A., 1991. *Obtenção e uso de fotografias aéreas de pequeno formato*. Universidade Federal do Paraná. 1ª ed. Curitiba. 290 pp.

- EKIN, W.H., 1994. The use of a low cost GPS receiver for block aerial vertical photography. *Photogrammetric Record* **14**(84) : 875-886.
- HEIMES, F.J., BRECHTKEN, R., PURUCKHERR, R., 1992. Computer controlled survey flight based on a low cost GPS C/A code receiver. *Photogrammetric Record* **14**(80): 293-301.
- LILLESAND, T.M. KIEFER, R.W., 1987. *Remote Sensing and Image Interpretation*. 2^a Ed. John Wiley & Sons. U.S.A.
- MACEDO, F.W., 1997. Detecção remota de recursos florestais em Portugal: realidades e perspectivas. *Silva Lusitana* **5**(2) : 257-273.
- MapSite, 2001. *MapSite™. Global Map-User Software, User Guide*. Stellar Navigation Systems Inc., Ontario, 70pp.
- MARQUES, C.P., 2001. *Apontamentos da disciplina de Detecção Remota*. Curso de Licenciatura em Engenharia Florestal. UTAD. (Publicação Interna)
- MARTINS, L.M., CASTRO, J.P.M., RUAS, L., SEIXAS, P., 1995. *Uso da Fotografia Aérea de Infravermelho na Detecção da Doença da Tinta*. UTAD (15 p). (Publicação Interna).
- MARTINS, L.M., LUFINHA, M.I., MARQUES, C.P., ABREU, C.P., 2001. Small format aerial photography to assess chestnut ink disease. *For. Snow Landsc. Res.* **76**(3) : 357-360.
- WARNER, W.S., 1994. Evaluating a low-cost, non-metric aerial mapping system for waste site investigation. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **60**(8) : 983-988.
- WARNER, W.S., GRAHAM, R.W., READ, R.E., 1996. *Small Format Aerial Photography*. ASPRS. USA. ISBN 1-57083-034-7.

Entregue para publicação em Março de 2003

Aceite para publicação em Outubro de 2003