

A DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NO BRASIL TEM PREOCUPADO NÃO SÓ AMBIENTALISTAS, MAS, TAMBÉM, UMA BOA PARTE DA SOCIEDADE QUE OBSERVA UMA REPERCUSSÃO NEGATIVA NA FAUNA E NA FLORA COM OS DESENVOLVIMENTOS INDUSTRIAL E AGROPECUÁRIO E O CONSEQÜENTE “INCHAÇO” DAS CIDADES, ESPECIALMENTE DAS CAPITAIS ESTADUAIS, AMPLIANDO GRANDEMENTE A QUANTIDADE DOS REJEITOS E SUBPRODUTOS DA OCUPAÇÃO HUMANA, DEGRADANDO O MEIO AMBIENTE DE MANEIRA GENERALIZADA. DIVERSAS FERRAMENTAS TÊM SIDO UTILIZADAS PARA AVALIAR, QUANTIFICAR E MONITORAR ESSA DEGRADAÇÃO.

NOS ÚLTIMOS ANOS, AS FOTOGRAFIAS AÉREAS DE PEQUENO FORMATO (FAPEFs) TÊM SE POPULARIZADO COMO MATERIAL DE SUPORTE NA COLETA DE INFORMAÇÕES EM PROJETOS AMBIENTAIS, DEVIDO AO SEU BAIXO CUSTO, FACILIDADE OPERACIONAL, QUALIDADE E QUANTIDADE DOS RESULTADOS OBTIDOS, QUANDO USADAS ADEQUADAMENTE.

O LIVRO APRESENTADO É INÉDITO EM LÍNGUA PORTUGUESA, POR APRESENTAR DE FORMA PRÁTICA E OBJETIVA DIVERSAS APLICAÇÕES AMBIENTAIS DAS FAPEFs. SÃO MOSTRADOS EXEMPLOS DE PROJETOS REALIZADOS NO SUL E NORDESTE DO BRASIL, EM PORTUGAL E NA ARGENTINA, ONDE É VALORIZADO O CARÁTER INTERDISCIPLINAR DESTA FERRAMENTA EM REGIÕES COSTEIRAS E CONTINENTAIS, URBANAS E RURAIS.

SÃO NOVE CAPÍTULOS ONDE É APRESENTADA INICIALMENTE UMA RESUMIDA BASE TEÓRICA (INTRODUÇÃO, CÂMARAS DE PEQUENO FORMATO E A DIGITALIZAÇÃO DE FOTOGRAFIAS E, FUNDAMENTOS DE FOTOINTERPRETAÇÃO) NECESSÁRIA PARA A MELHOR COMPREENSÃO DOS SEIS CAPÍTULOS QUE TRATAM DAS APLICAÇÕES AMBIENTAIS.

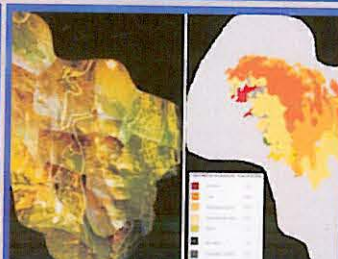
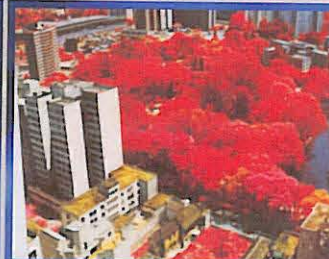
O TEXTO ESTÁ ESCRITO EM LINGUAGEM SIMPLES E ACESSÍVEL NÃO SÓ A PROFISSIONAIS DAS VÁRIAS ÁREAS DE CONHECIMENTO, COMO TAMBÉM AO PÚBLICO LEIGO INTERESSADO EM CONHECER PARA PRESERVAR O MEIO AMBIENTE.

ESTE LIVRO FOI ORGANIZADO POR TRÊS PROFESSORES DOUTORES DE TRÊS DIFERENTES UNIVERSIDADES (UNICENTRO, UFRN E UFPE) E TODOS OS CAPÍTULOS FORAM ELABORADOS POR ESPECIALISTAS COM EXPERIÊNCIA PRÁTICA EM SUAS ÁREAS DE ATUAÇÃO.



**ATTILIO ANTONIO DISPERATI
RICARDO FARIAS DO AMARAL
CARLOS ALBERTO BORBA SCHULER**

Fotografias Aéreas de Pequeno Formato: Aplicações Ambientais



**FOTOGRAFIAS AÉREAS
DE PEQUENO FORMATO:
APLICAÇÕES AMBIENTAIS**

5

Fotografia Aérea de Pequeno Formato na Monitorização da Tinta no Castanheiro no Norte de Portugal

Luís Miguel Ferreira Pontes Martins
João Paulo Miranda de Castro
Fernando Aníbal Wolfango Pereira de Macedo

5.1 Introdução

A fotografia aérea de pequeno formato (FAPEF) tem-se revelado um instrumento precioso em numerosos estudos de natureza ecológica, ambiental e florestal, tanto ao nível local como regional (ZSILINSZKY, 1970; SPENCER e HALL, 1988; DISPERATI, 1991; WARNER et al., 1996; LILLESAND e KIEFER, 1999; MARTINS, 2004).

No presente estudo ensaiámos os diversos sub-sistemas que possibilitam a FAPEF (aeronaves, sistemas de navegação e sistemas fotográficos), aplicada ao inventário epidemiológico da doença da tinta, que tem afectado numerosos castanheiros (*Castanea sativa*) no Norte de Portugal, causando elevados prejuízos na produção de castanha e conseqüentemente na economia da região.

A doença, causada pelo oomiceta do solo *Phytophthora cinnamomi*, manifesta-se pelo aumento gradual da transparência da copa e morte em *dieback* originada pela infecção centrípeta das

raízes (Figura 1). A doença da tinta é a principal causa de declínio dos castanhais portugueses, quer pela capacidade do oomiceta persistir em condições desfavoráveis quer pelas condições culturais intensivas, tanto em lavouras como em mobilizações do solo a que as árvores estão sujeitas. Essa sintomatologia pode ser detectada em imagens aéreas de colorido normal, também designadas policromadas (CN) ou de infravermelho colorido próximo (IVP), devido às alterações de reflectância das copas afectadas. Assim, neste estudo, utilizou-se um conjunto de técnicas que integram a FAPEF, na detecção, dispersão e evolução da doença da tinta ao longo dos anos.

FIGURA 1 - Fase terminal da doença da tinta num castanheiro jovem. observa-se o avanço da necrose de *Phytophthora cinnamomi* em forma de cunha, para além do colo da árvore



Numa primeira fase efectuaram-se várias missões aerofotográficas (Quadro 1), sobre a área de estudo representada na Figura 2. Foi ainda utilizada fotografia aérea convencional (FAC) de 1995, fornecida pelo Instituto Geográfico Português.

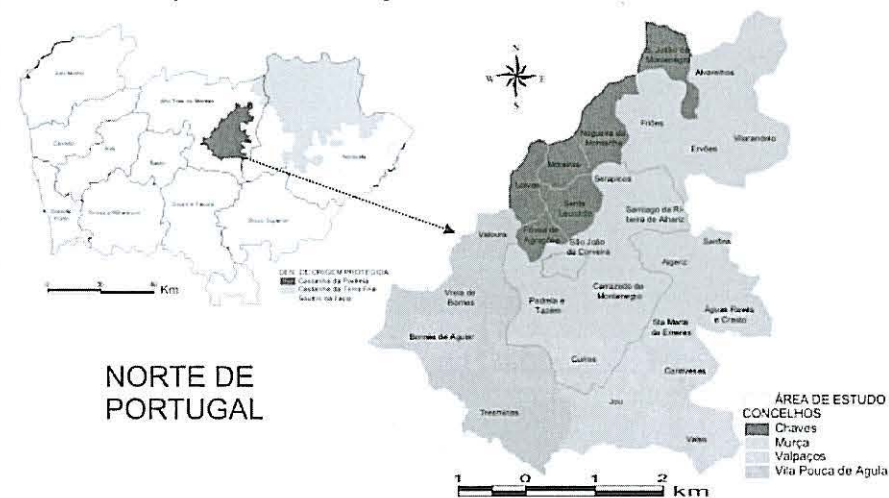
QUADRO 1 - Sistemas utilizados nas missões aerofotográficas para cobertura da área de estudo

Data	Aeronave	Navegação	Película	Área coberta
2000	Cessna 152	À vista	Pancromática e CN	470 ha
2001	Cessna 172	GPS	IVP	470 ha
2002	Aeromodelo; paromotor; balão cativo		CN	11760 m ²
2002	Cessna 172	GPS + PC	CN	12160 ha

IVP= Infravermelho próximo; CN= Colorido Normal

Na Secção 2 descrevem-se vários tipos de aeronaves usadas no estudo da epidemiologia da doença, de modo a determinar as respectivas operacionalidades, especificidades e capacidades de adaptação ao objectivo de obtenção das FAPEFs com a maior facilidade e menor custo. Na Secção 3 apresentam-se ensaios com vários sistemas de navegação e suportes para aviões tripulados e suas possibilidades de integração tendo em vista a aquisição de imagens nas melhores condições operacionais.

FIGURA 2 - À esquerda representação das três zonas de produção de castanha em trás-os-montes com denominação de origem protegida (castanha da padrela, castanha da terra fria e soutos da lapa). à direita, freguesias da castanha da padrela e localização da área de estudo



Na Secção 4 comparam-se os dados obtidos por fotointerpretação das FAPEFs com os dados de observação de campo. Apresenta-se ainda a dispersão do declínio na área de estudo estimada por métodos geoestatísticos.

5.2 Aeronaves de controlo remoto para FAPEFs

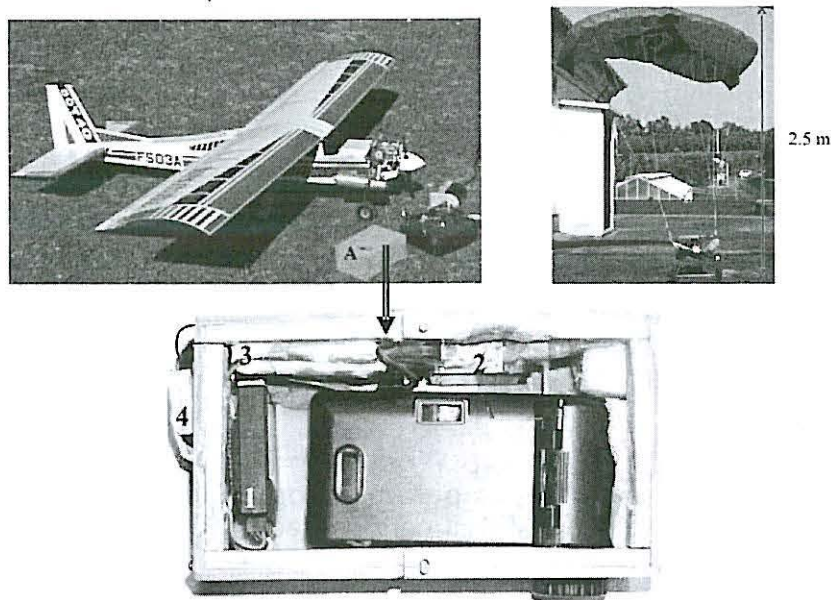
5.2.1 Material e métodos

5.2.1.1 Aeromodelos

Foi ensaiado um aeromodelo de asa alta (Modelo *Apache 40*), com 1.6 m de envergadura, boa sustentação e capacidade para transportar carga extra (Figura 3). O comando fez-se através de um emissor rádio com 6 canais, sendo 4 utilizados para controlo do voo e um quinto para comando do disparo da câmara fotográfica. Para a determinação da altura de voo usou-se um método estadimétrico.

Foi ainda testado um paramotor ao qual foram adaptados servos ao botão de disparo duma câmara fotográfica de 35 mm (Figura 3). O aparelho transportou o sistema fotográfico na parte inferior, sendo a altura de voo estimada através de um método estadimétrico.

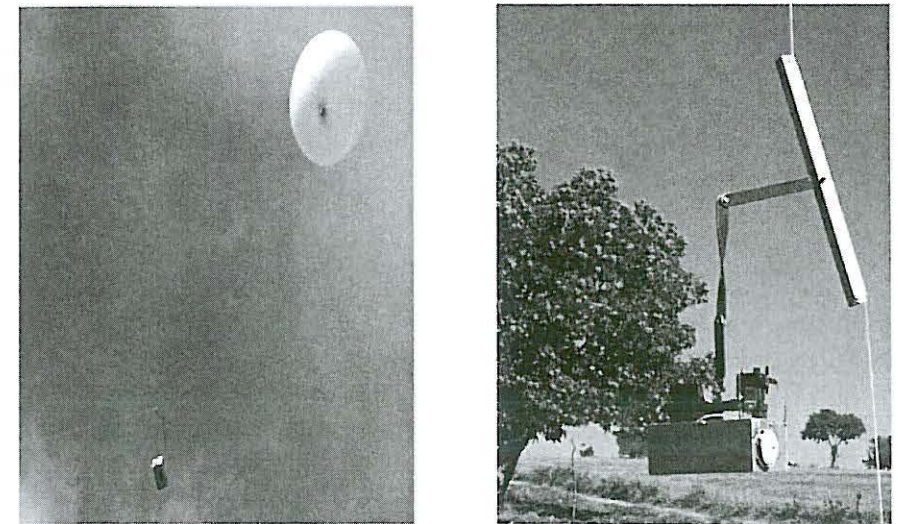
FIGURA 3 - À esquerda, aeromodelo de avião com controlo remoto e caixa de protecção do sistema fotográfico (a). à direita, paramotor, onde pode ser instalado mais facilmente o equipamento referenciado em (a). em baixo, câmara fotográfica instalada numa caixa protectora e equipamento necessário para o controlo remoto do disparo da câmara (receptor de rádio; servo para accionar o disparo; fonte de alimentação; antena de recepção)



5.2.1.2 Balão cativo

Usou-se um balão esférico de látex, insuflado com 2.5 m³ de hélio, ligado ao solo por um fio marcado por pequenas fitas, em intervalos de 100 m, de modo a estimar a sua altura. Experimentaram-se processos de suspensão da câmara fotográfica propostos por diversos autores (Whittlesey, 1970; Marks, 1989), mas não permitiram obter um equilíbrio suficientemente estável da câmara. Assim, optou-se por uma estrutura de suspensão de tipo *cardan* que é colocada a 50 m do balão, no fio que o retém. Foi também construído um suporte para uma câmara de pequeno formato (Olympus AF 10), com objectiva grande angular (35 mm). No suporte, instalaram-se motores eléctricos (servos) para controlo da rotação horizontal, oblíqua e disparo da máquina, fazendo-se o comando por controlo remoto (Figura 4).

FIGURA 4 - Balão cativo e sistema de suspensão que permite a obtenção de fotografias verticais, oblíquas e a rotação da câmara até 180°



Em 2002, uma área de 11760 m², com castanheiros, foi fotografada com os três sistemas acima descritos, de uma altura média de 200 m.

5.2.2 Discussão dos resultados

5.2.2.1 Aeromodelos

Nos testes realizados com o avião telecomandado, constata-se que as condições do meio florestal são adversas para fazer FAPEF: relevo acidentado; copas das árvores; ventos inconstantes; cabos eléctricos ou telefónicos; ausência de pistas de aterragem com qualidade razoável.

O paramotor possui características aerodinâmicas mais favoráveis para a sustentação de carga adicional. Mas do mesmo modo que o avião, em meio florestal, não é fácil fotografar com este aparelho. Isso sucedeu no sobrevoo do pomar de castanheiros (souto), apesar de se terem realizado previamente vários voos de treino. Mesmo assim as imagens obtidas não foram as melhores, pois sofreram algum arrastamento.

5.2.2.2 Balão cativo

No souto delimitado na fotografia aérea convencional de 1995, foram contabilizados 45 castanheiros saudáveis. No entanto, a mesma área observada e fotografada em Setembro de 2002, a partir do balão cativo, possuía apenas 19 indivíduos com classes de estrago baixas (0-1). O declínio ou mortalidade da maior parte das árvores (58 %) ter-se-á devido à incidência da doença da tinta, cuja sintomatologia de dieback, transparência de copa e clorose generalizada (Figura 1), foi confirmada no campo e nas imagens CN obtidas a partir do balão. Nas fotografias (oblíquas ou verticais), detectou-se o foco inicial da tinta e a respectiva dispersão no souto, o que não se conseguiu pela observação no terreno por não ser possível uma visão global da área. O foco de infecção detectado estava localizado perto de uma via de comunicação, sugerindo a possibilidade de o agente responsável pela doença ter sido introduzido pelo homem.

FIGURA 5 - Fotografia aérea policromada da área de estudo, captada dum balão cativo à altura de 200 m. as setas indicam o sentido da dispersão da doença da tinta

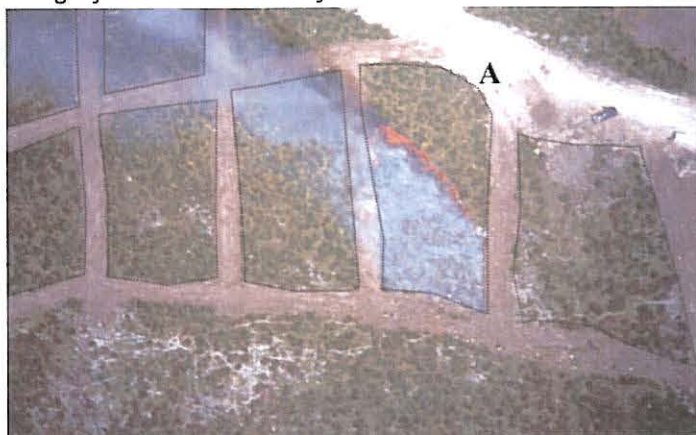


O balão cativo oferece boas perspectivas de captação de FAPEFs sobre áreas florestais, por operar em alturas entre 30 e 200 m, ideais para obter imagens verticais ou oblíquas com grande escala. Conseguem-se fotografias difíceis de captar por outro meio, pois são poucas as aeronaves que podem operar a tão baixas alturas em condições de segurança. O sistema adoptado é até preferível ao helicóptero tripulado ou telecomandado, quando o objectivo é fotografar pequenas áreas com grande escala e a baixo custo.

O equipamento é facilmente transportável e a estrutura pendular confere boa estabilidade ao sistema fotográfico, mesmo com algum vento. É silencioso e o gás usado (hélio) é inerte, minimizando-se os impactes ambientais. Além disso, o operador trabalha a partir do solo, com pequeno risco de acidentes pessoais. O balão cativo é portanto viável para registar imagens aéreas de povoamentos florestais, excepto em locais onde as copas se intersectam ou onde existam cabos eléctricos ou telefónicos e em áreas de estudo que não ultrapassem 100 ha.

As características mediterrânicas do território continental português dão eco também à utilização do fogo controlado na gestão do estrato arbustivo. A FAPEF pode também ser usada na avaliação do comportamento do fogo. Isso foi por nós constatado, através da confrontação dos parâmetros ambientais (temperatura, humidade, direcção e velocidade do vento, entre outros) com imagens captadas por balão cativo, no momento da recolha desses parâmetros (Figura 6).

FIGURA 6 - Fapef obtida de balão cativo em maio de 2002, a uma parcela (a) na serra do alvão, sujeita a um fogo controlado. a sequência de imagens idênticas a esta possibilitou a monitorização do comportamento do fogo desde a ignição até a sua extinção



5.3 Fotografia aérea e navegação em aviões tripulados

5.3.1 Material e métodos

Para obtenção de fotografias aéreas a partir de aviões ligeiros tripulados (Cessna 152/172) foi necessário conceber suportes de câmaras adaptados a esses dois modelos e um sistema de navegação de uso fácil, eficiente e económico.

5.3.1.1 Planejamento das missões aerofotográficas

Definidos os objectivos das missões ponderou-se sobre: i) tipo de dados a recolher; ii) localização, topografia, área e forma da zona a fotografar; iii) escalas das fotografias; iv) altura mínima e máxima de voo possível com a aeronave disponível; v) tipo de câmaras fotográficas, lentes, filtros e películas.

Destas considerações resultarão os parâmetros técnicos que permitem a elaboração do plano de voo. No Quadro 2 apresentam-se os parâmetros técnicos relativos aos voos realizados em 2000 e 2001, calculados em função dos aspectos atrás mencionados. As fotografias verticais obtidas, após ampliação (4x) foram consideradas apropriadas para classificação dos estragos das árvores por fotointerpretação.

QUADRO 2 - Parâmetros de voo da missão fotográfica realizada em 2000 e 2001

Parâmetro	Fórmula	Unidades	Valores dos parâmetros
Fator de escala das fotos (E)	-	-	8500
Distância focal da objetiva (f)	-	mm	50
Dimensões do negativo (l1 x l2)	-	mm	24 x 36
Velocidade do avião (v)	-	m/s	36 e 42
Sobreposição longitudinal (p) e lateral (q)	-	%	60; 15
Altitude média do terreno (C)	-	m; pés	890; 2920
Altura média de voo (h)	$h = E \cdot f$	m; pés	430; 1400
Altitude média de voo (H)	$H = h + C$	m; pés	1320; 4320
Dimensões do terreno por foto (L1xL2)	$L1 = l1 \cdot E;$ $L2 = l2 \cdot E$	m	204 x 306
Distância entre fotos consecutivas (B)	$B = L1 \cdot (1-p)$	m	82
Intervalo de tempo entre exposições (t)	$t = B / v$	s	2.3; 2.0
Distância entre linhas de voo (D)	$D = L2 \cdot (1-q)$	m	260
Velocidade de disparo do obturador (1/T)	-	s	1/500
Área de estudo (S)	-	ha	470
Área útil por foto (s)	$s = L1 \cdot L2 \cdot (1-p) \cdot (1-q)$	ha	2.12
Número de fotografias (N)	$N = S/s$	-	221
Número de fiadas de voo	n	-	8

Relativamente ao voo realizado em 2002, tiveram-se em conta os formatos das três câmaras fotográficas utilizadas (70 mm, 35 mm e digital). Usaram-se objectivas de ângulo normal, isto é, com distância focal próxima da diagonal do negativo. Desse modo, o efeito de rebatimento na periferia da imagem é minimizado. Como as áreas de terreno cobertas pelas três câmaras são aproximadamente iguais, o disparo das câmaras fez-se em simultâneo (Quadro 3).

QUADRO 3 - Parâmetros de voo para a cobertura fotográfica de uma área de 12 mil hectares, usando três câmaras em simultâneo numa plataforma retráctil

Descrição	Rolleiflex 6008	Nikon F3	Fujifilm S1 Pro
Fator de escala das fotos (E)	6500	10400	18570
Distância focal (f) (mm)	80	50	28
Dimensão do negativo (l1 x l2) (mm)	42 x 56	24 x 36	15.5 x 23.3
Velocidade do avião (v) (km/h; m/s; nós)	165; 46; 90	165; 46; 90	165; 46; 90
Sobreposição longitudinal (p); lateral (q) (%)	60; 0	60; 0	60; 0
Altitude média do terreno (C) (m; pés)	760; 2480	760; 2480	760; 2480
Altura média de vôo (h) (m; pés)	520; 1707	520; 1707	520; 1707
Altitude média de vôo (H) (m)	1280; 4190	1280; 4190	1280; 4190
Dimensões do terreno fotografado (L1 x L2) (m)	273 x 364	250 x 374	290 x 433
Distância entre fotos consecutivas (B) (m)	275	250	290
Intervalo de tempo entre exposições (t) (s)	2.5	2.5	2.5
Comprimento dos transeptos na linha de vôo (m)	1000	1000	1000
Distância entre linhas de vôo (D) (m)	1000	1000	1000
Velocidade de disparo do obturador (s)	1/500	1/500	1/500
Arrastamento (A) (mm)	14	8	4
Resolução no terreno (m)	0.3	0.4	0.2
Número de fotografias por transecto	5	5	5
Área de estudo (S) (ha)	12160	12160	12160
Número de fiadas de vôo	12	12	12

Nota: A resolução espacial no terreno foi calculada para as fotografias analógicas supondo uma digitalização de 600 ppp enquanto a imagem digital tem uma resolução de 2304x1536 *pixel*².

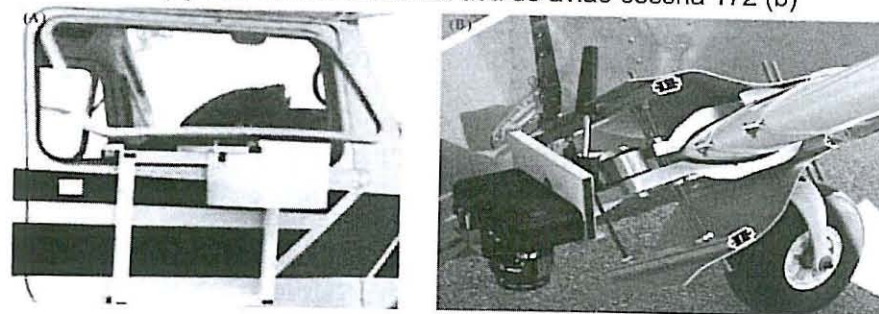
5.3.1.2 Suportes do sistema fotográfico

Construiu-se um suporte em alumínio, idêntico ao usado por Long *et al.* (1986), mas com uma protecção aerodinâmica. Suporta uma câmara fotográfica de 35 mm (Nikon F70) e instala-se na janela da porta direita do avião Cessna 152. Pode ser instalado em pleno voo, abrindo a janela, e ligando-o à porta com parafusos de garra (Figura 7-A). De acordo com o posicionamento da câmara, são capturadas FAPEFs com o lado menor do negativo paralelo à linha de voo. O suporte possui encostos de borracha que evitam

o contacto directo com a fuselagem do avião, reduzindo assim a transmissão à câmara de vibrações do avião.

Outro suporte externo foi concebido para ser adaptado ao tirante da asa direita do avião Cessna 172, através de duas peças de alumínio desenhadas e torneadas com a configuração do perfil desse tirante (Figura 7-B). Está também adaptado a uma câmara de 35 mm, fazendo-se a colocação e remoção da câmara através da janela direita do avião, sendo o disparo da câmara comandado através de um intervalómetro.

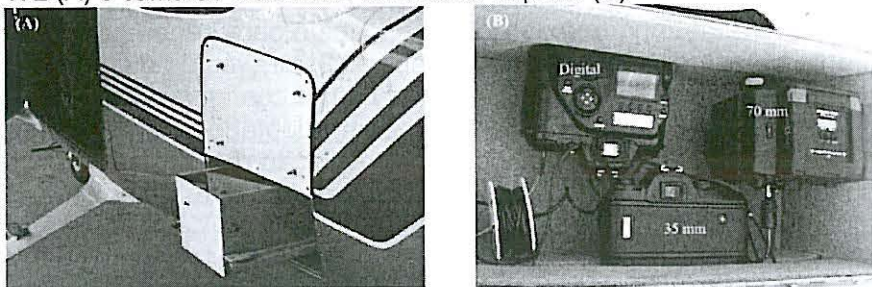
FIGURA 7 - Suportes externos adaptados à porta do lado direito do avião cessna 152 (a) e ao tirante direito da asa do avião cessna 172 (b)



Concebeu-se outro suporte de câmaras para o avião Cessna 172, mas de tipo retráctil. Coloca-se no compartimento da bagagem, com espaço bastante e acesso independente através de uma pequena porta situada no lado direito da aeronave. O suporte deslizante tem dimensões suficientes (50x23x22 cm) para comportar câmaras fotográficas de formatos diferentes. Tem o topo transparente, o que permite vigiar o equipamento a partir do interior da cabina, e desloca-se sobre calhas para o exterior durante o voo, sendo recolhida após a tomada das FAPEFs (Figura 8).

Para instalação é necessário retirar a porta do compartimento da bagagem e o encosto do banco posterior, sendo a estrutura metálica aparafusada aos apoios do banco. A eficiência da plataforma e a qualidade das imagens obtidas com a câmara de 70 mm (Rolleiflex 6008), pequeno formato (Nikon SLR) e digital (Fujifilm S1 Pro), foram testadas na cobertura fotográfica efectuada em 2002.

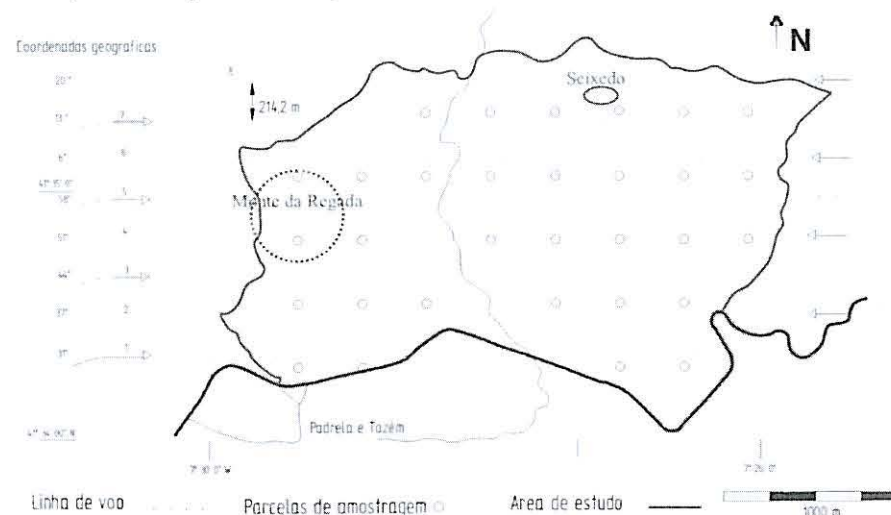
FIGURA 8 - Suporte retráctil adaptado à porta posterior do avião Cessna 172 (A) e câmaras instaladas no mesmo suporte (B)



5.3.1.3 Navegação

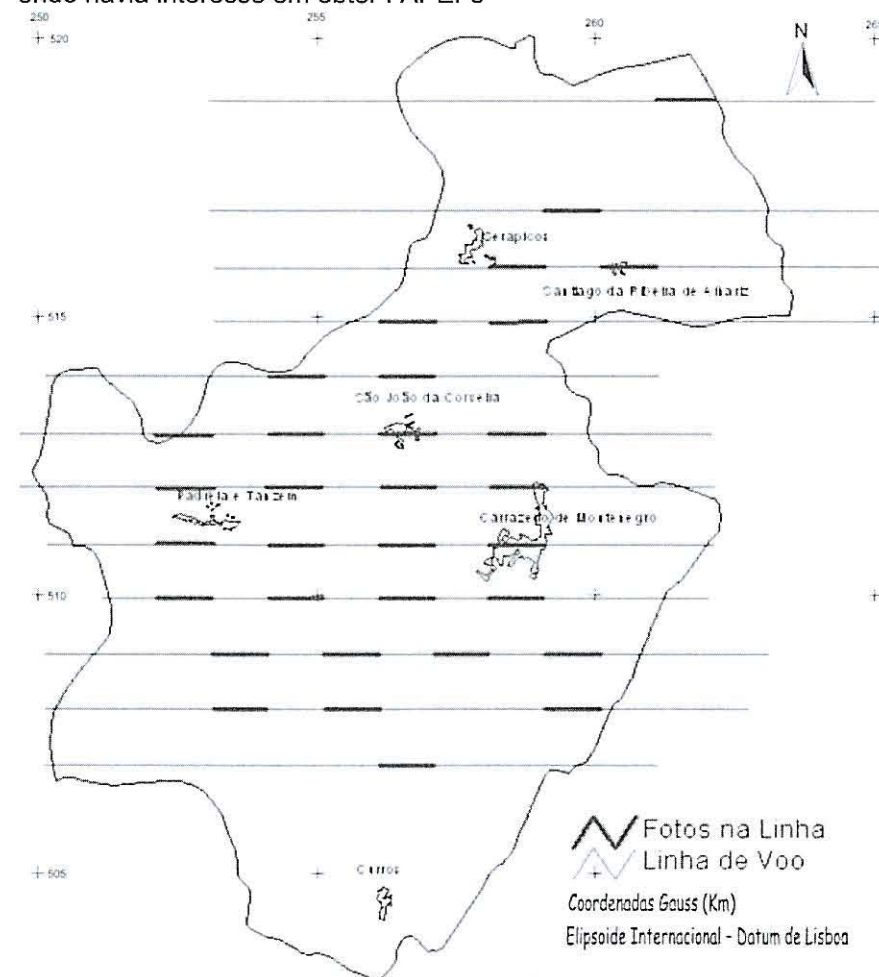
A sinalização de pontos de referência no terreno e a comunicação, via rádio, com equipas no terreno foi efectuada em 2000. Em 2001 foi usado como receptor o GPS de navegação *Garmin Etrex*, na mesma área de estudo (Figura 9).

FIGURA 9 - Área de estudo onde foi usada a navegação à vista (2000) e a navegação por GPS (2001). A azul é representada a estrada nº 206 que serviu como elemento principal de referência para a navegação e orientação nas linhas de voo. As habitações de Padrela, Seixedo, Corveira, Sobrado e Rio Bom e o monte da Regada foram também importantes pontos de referência. É também representada a localização das parcelas de amostragem interpretadas quer no campo quer na fotografia aérea



Em 2002 navegou-se com um receptor GPS ligado a um PC portátil, procurando obter FAPEFs de diferentes tipos (Quadro 3), através de uma plataforma retráctil (Figura 8). O objectivo consistiu em colher imagens de plantações de castanheiros em transeptos independentes (Figura 10). Desse modo a navegação é mais fácil e rigorosa, visto que o monitor do PC portátil é suficientemente grande para o piloto e o navegador visualizarem o plano de voo num mapa definido por um SIG e uma marca que indica a posição do avião no ecrã, podendo o piloto corrigir facilmente a rota, se necessário.

FIGURA 10 - Área de estudo (6 freguesias de Valpaços) e respectivo plano de voo. Os transeptos a vermelho coincidem com manchas de castanheiro, onde havia interesse em obter FAPEFs



5.3.2 Discussão dos resultados

Dos aviões testados, Cessna 152/172 o segundo é o mais conveniente para FAPEFs. É também um dos modelos mais utilizados durante a fase de instrução de pilotos, por ser bastante fiável, fácil de pilotar e capaz de transportar quatro pessoas com relativa comodidade. Sendo maior, mais pesado e potente, não é tão sensível às perturbações atmosféricas como os modelos antecessores, permitindo um melhor alinhamento de voo.

O espaço da carlinga é suficientemente amplo para comportar todo o equipamento e os operadores movimentam-se mais à vontade. As operações de fotografia aérea e de navegação podem ser realizadas por até quatro pessoas (incluindo o piloto), sendo portanto mais eficientes e menos sujeita a erros do que uma equipa composta apenas por dois tripulantes.

5.3.2.1 Suportes do sistema fotográfico

O suporte externo acoplado ao tirante da asa (Figura 7-B) é o mais apropriado, por não ser necessário manter a janela aberta e por permitir o correcto alinhamento e nivelamento da câmara fotográfica. Apesar de ser de construção mais dispendiosa, é preferível à plataforma instalada na janela.

Já o suporte retráctil (Figura 8) permite o correcto alinhamento das câmaras com o eixo longitudinal do avião, contribuindo assim para minimizar o enviesamento das fotos. Este, se existir, deve-se apenas aos efeitos de deriva do avião, que podem ser reduzidos se a missão for efectuada em dias com pouco vento. Tem um custo de construção relativamente baixo e uma vez que a aeronave não sofre qualquer transformação irreversível, a sua utilização é recomendada para FAPEF.

Ekin e Deans (1986) desenvolveram uma estrutura que quando recolhida permite o fecho total da porta. Contudo, com o tipo de estrutura aqui apresentada não se nota a entrada de vento ou de ruído adicional muito relevantes.

5.3.2.2 Navegação

Na navegação à vista há imprecisão na determinação do início das fiadas, sendo também difícil avaliar o rumo que a aeronave deve seguir, pois geralmente não é possível ver o extremo da fiada. Além disso, tal como refere Read (1989), é extremamente difícil

estabelecer e manter permanentemente o diálogo entre as equipas no solo e no avião, devido às perdas de sinal e ao ruído da aeronave. Esses dois problemas causam certa descoordenação das operações gerando-se por isso, imagens repetidas ou lacunas na cobertura aérea pretendida.

Uma forma semelhante de sinalização das linhas de voo através de alvos é descrita por Schuler (1995). O autor pretendeu monitorizar estragos causados por *Dirphiopsis epiolina* em povoamentos de bracatinga (*Mimosa scabrella*) do Paraná (Brasil). No entanto, nesta cobertura fotográfica foi usado um helicóptero para facilitar a localização dos alvos. Os aviões monomotores de asa alta apenas permitem visão frontal ou lateral. Por isso, antes de aparecer o sistema de navegação GPS, uma solução prática consistia em utilizar uma câmara de vídeo com o eixo óptico vertical, ligada a um circuito interno de televisão (EKIN, 1988).

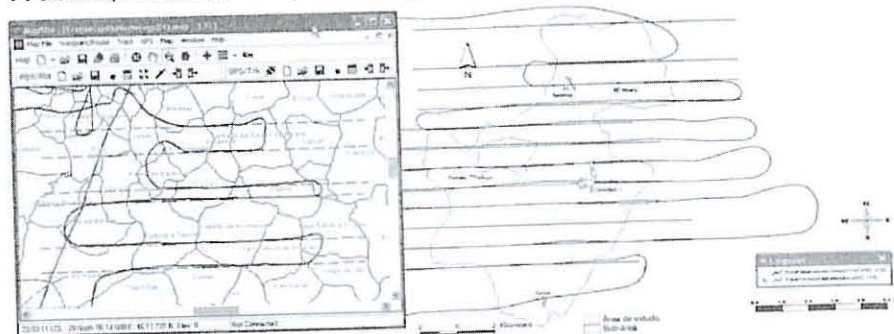
Ekin (1994) reconhece que embora a navegação à vista seja um método por vezes necessário, a navegação com GPS é mais eficiente. Ackermann e Schade (1993) admitem ainda que a obtenção de FAPEFS pode basear-se quase exclusivamente no monitor do GPS, que permite corrigir o alinhamento do voo em tempo real. As vantagens referidas por esses autores foram confirmadas numa missão de fotografia aérea realizada em Setembro de 2001. O risco de repetir fotografias sobre a mesma área é menor que na navegação à vista, dado ser possível visualizar no monitor do receptor GPS a trajectória percorrida.

Contudo, o GPS tem alguns constrangimentos, relacionados sobretudo com a dimensão do monitor. Este não permite ter a noção global das linhas que se pretendem percorrer, o que dificulta a tomada de decisão do piloto quanto à melhor rota a seguir para curvar e "entrar" na linha de voo seguinte. Efectivamente, e embora com precisão melhorada em relação à navegação à vista, registaram-se desvios de trajectória, que se traduziram na omissão de algumas manchas de soutos, sendo outras manchas fotografadas mais que uma vez.

A utilização de um PC e indicação no mapa base dos locais de interesse, o início e interrupção dos disparos das câmaras pode realizar-se no momento preciso, diminuindo assim os gastos com fotos repetidas. O mapa de navegação visualizado no monitor do PC pode incluir objectos ou pontos de referência importantes desde o aeródromo até à área de estudo. Desse modo, não é necessário o prévio reconhecimento da área e o avião pode ser logo dirigido

para a primeira fiada de fotos. Reduzem-se assim os custos, pela redução do tempo de voo, e melhora-se a precisão da cobertura aérea (Figura 11).

FIGURA 11 - À esquerda, aspecto do monitor do computador com o programa MapSite™. O mapa de base, além das linhas de voo, tem indicações que ajudam a navegação (localidades, estradas e localização dos aeródromos). À direita, linhas de voo previstas (vermelho) e rota feita em 2002



Para estimar o erro instrumental na navegação com GPS, sem correcção diferencial em tempo real, analisaram-se os desvios das posições fornecidas por um receptor GPS fixo, instalado no Departamento Florestal da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD), em relação à sua localização rigorosa, determinada por triangulação geodésica. 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.

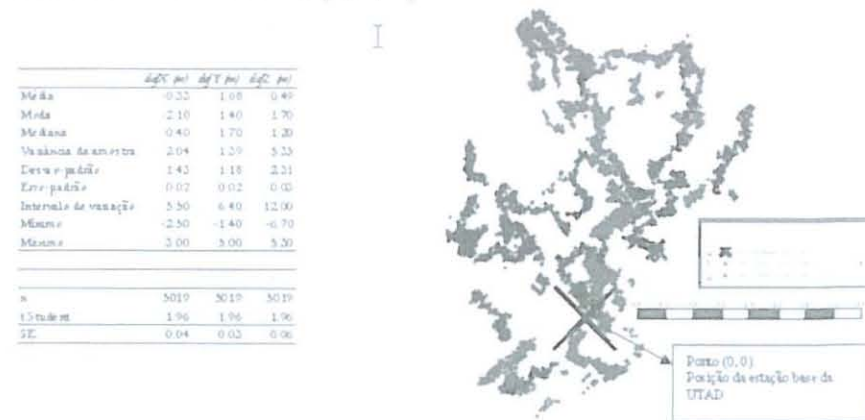
Verificaram-se os desvios médios $dX=-0,33$ m, $dY=1,68$ m, e $dZ=-0,49$ m, desvios padrões $sX=1,43$ m, $sY=1,18$ m e $sZ=2,31$ m, e amplitudes de variação nas coordenadas X, Y e Z, do ponto fixo de 5,5 m, 6,4 m e de 12 m respectivamente. As coordenadas GPS têm portanto erros instrumentais admissíveis para a correcta navegação aérea para obter FAPEFs. Além disso, durante o voo, está-se menos sujeito às principais fontes desses erros, tais como caminhos múltiplos do sinal, originados pela reflexão em objectos próximos, com posições mais elevadas que a antena, ou variações atmosféricas locais que alteram a velocidade de propagação do sinal.

Para estimar a discrepância entre as rotas planeadas e a rota percorrida, foram medidos os desvios 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. 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 14 %, no caso da fotografia analógica com a câmara 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 (CASTRO et al., 2004). 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 de 35 mm, à escala de 1:10400 (Figura 12).

FIGURA 12 - Nuvem de pontos correspondentes à recepção do sinal GPS pela estação base da UTAD, relativamente à sua verdadeira posição do centro do eixo cartesiano (X, Y, Z)



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

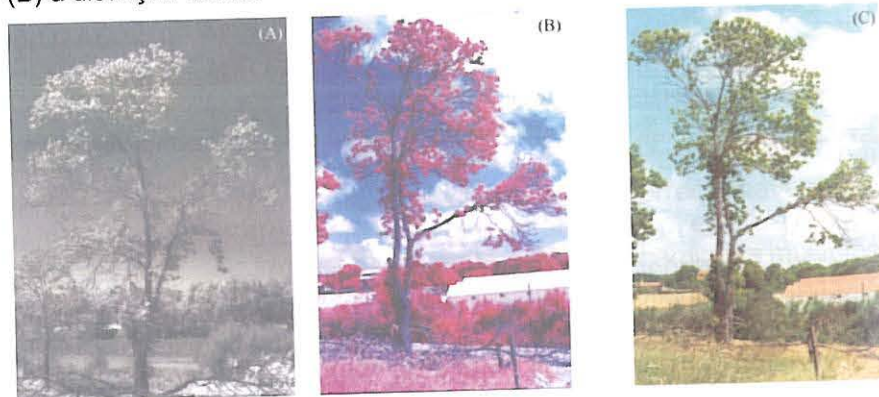
5.3.2.3 Películas fotográficas

As imagens obtidas com a película IV a preto e branco não permitiram a boa distinção de folhas com cloroses de folhas saudáveis (Figura 13). Além disso, como a película é muito sensível à luz, deve ser colocada na máquina fotográfica numa câmara escura, dificultando bastante a substituição dos rolos fotográficos durante as missões aéreas. A utilizada não é portanto recomendada para coberturas aerofotográficas.

Para os sistemas de 70 e 35 mm há poucos laboratórios com capacidade para revelar as películas de infravermelho pelos processos EA5 (fotografias a preto e branco), E4 ou AR5 (fotografias de IVP) (STANLEY et al. 1993), mas a película utilizada (*Kodak height speed Ektachrome Professional Infrared Film; EIR*) pode ser processada de forma idêntica ao diapositivo (processo E6). No entanto, detectou-se uma densidade bastante elevada do corante magenta, mesmo nos castanheiros afectados.

Apesar de existirem variações devido ao processamento da película EIR, esta possibilita a boa distinção de ramos e árvores mortas. Isso sucede também nas imagens captadas sob um tecto de nuvens, i.e., fotografias onde a reflectância pelas folhas no infravermelho próximo é substancialmente inferior (Figura 13; Figura 14)

FIGURA 13 - Castanheiro (classe de estrago 3) fotografado com três películas diferentes. Na película de infravermelho a preto e branco (A) a distinção entre folhas sãs e cloróticas é pouco evidente. Na película IVP (B) a distinção de ramos secos é mais fácil que na CN (C)



Não foram observadas diferenças relevantes entre as marcas comerciais de películas CN. A opção por diapositivos a cores é contudo aconselhável quando se pretende a sua digitalização

e observação das imagens digitais com resoluções elevadas. Estas películas podem ser observadas no campo, através de estereoscópios com fonte de luz (CRAIG e MYERS, 1981). Em gabinete a observação com lupas munidas de fonte inferior de luz, possibilita detectar diferenças de cor e contraste mais subtis que em fotografias. Por outro lado, a utilização de fotografias facilita a organização do mosaico fotográfico e identificação dos locais amostrados.

FIGURA 14 - Nestas duas imagens é visível a superior qualidade da película IVP, comparativamente às CN, para separar castanheiros mortos dos restantes



As fotos de infravermelho, apesar de mais dispendiosas, oferecem excelentes possibilidades de separar a vegetação dos restantes objectos (Figura 15). Na interpretação da vegetação possibilitam não só a fácil distinção entre folhosas e resinosas, como também a distinção das espécies de cada um desses grupos (AMBROSINI et al., 1997). De modo semelhante, é facilitada a separação de espécies arbustivas em áreas de fraca aptidão agrícola ou florestal, tanto nos sistemas de 70 como de 35 mm.

FIGURA 15 - FAPEF de IVP e CN captadas em 2002 na freguesia de Padrela e Tazém. A caracterização de equipamento urbano pode ser mais fácil na imagem CN dada a melhor separação dos objectos pela cor



5.4 Monitorização espacial da doença da tinta

5.4.1 Material e métodos

5.4.1.1 Comparação entre observações em FAPEFs e no campo

Para a modelação espacial os dados de campo de 2000 e 2001 sobre a sanidade dos castanheiros serviram para aferir a fotointerpretação de FAPEFs. As árvores foram seleccionadas com base numa amostragem sistemática, considerada adequada, visto que estudos anteriores demonstraram que a distribuição da doença da tinta é dispersa.

Nas FAPEFs foram observadas árvores no interior de parcelas de amostragem com 20 m de raio tanto em películas CN como de IVP. A classificação, numa escala de 0 a 4 (0 = árvore sem qualquer sintoma; 4= árvore morta), seguiu o Regulamento CEE 1696/87 (CEE, 1987), que estabelece a metodologia da avaliação de estragos florestais. Segundo este Regulamento, o processo baseia-se na comparação dos sintomas, relativamente a árvores-padrão representativas de cada uma das 5 classes de estrago consideradas (CADAHIA et al., 1991; MARTINS, 1997; MARTINS, 2004).

5.4.1.2 Modelação geoestatística

Para a interpolação espacial dos estragos da doença da tinta em toda a área de estudo, foram observadas árvores em fotografia aérea convencional de 1995 e em FAPEFs de 2002. Optou-se por métodos geoestatísticos que permitem estimar os danos desconhecidos em pontos da área a partir dos estragos observados em pontos vizinhos. Por interpolação dos dados georeferenciados relativos à doença da tinta são obtidos mapas de isolinhas, i.e., linhas que unem pontos com igual nível de estrago, que descrevem a distribuição espacial da doença.

Estes métodos pressupõem a correlação entre valores de uma variável regionalizada em pontos próximos, correlação que tende a diminuir à medida que a separação entre árvores aumenta. Segundo Soares (2000), os fenómenos espaciais estruturados, como os que se referem aos povoamentos florestais, têm regra geral duas características comuns: *i)* são entidades que se distribuem no espaço de um modo não aleatório, ou seja, obedecem a uma certa estrutura; *ii)* a informação disponível sobre o fenómeno espacial é, na sua maioria, parcelar, discreta e escassa, sendo o seu conhecimento associado a alguma incerteza. Assim, a partir dessa informação escassa disponível, métodos geoestatísticos permitem prever o fenómeno estudado relativamente no espaço não amostrado, de forma a quantificar a sua distribuição espacial (RODRIGUES, 2002).

5.4.2 Discussão dos resultados

5.4.2.1 Comparação entre observações em FAPEFs e no campo

As classes de estrago determinadas por fotointerpretação das FAPEFs de CN de 2000 não foram significativamente diferentes das obtidas por observações de campo.

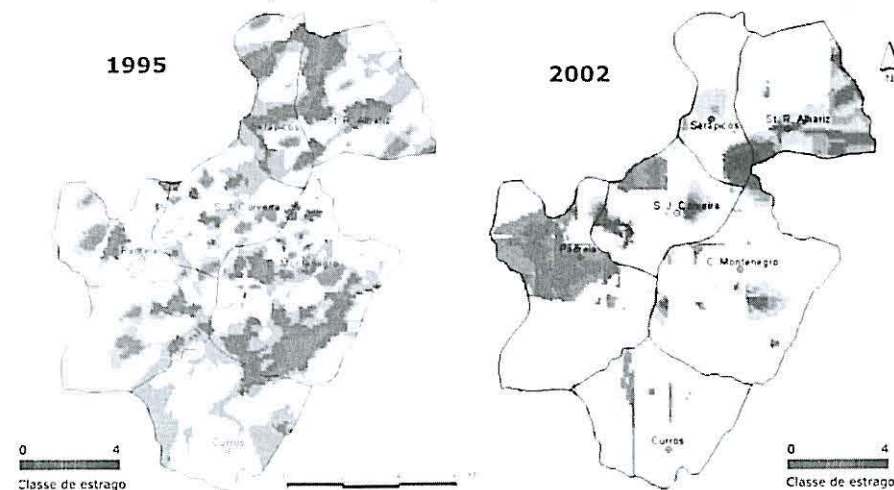
O intervalo de confiança para os estragos detectados por interpretação de imagens IVP de 2001, foi 1.40 ± 0.15 e o intervalo de confiança para a classe de estrago determinada por observações do ano anterior foi 1.65 ± 0.16 . Houve assim uma ligeira redução dos estragos detectados nas FAPEF de 2001, relativamente a 2000. Durante a fotointerpretação constatou-se ainda existir alguma dificuldade em identificar castanheiros com a classe 3, nas fotografias de infravermelho.

5.4.2.2 Modelação geoestatística

Para obter valores interpolados da sanidade dos castanheiros em 1995 e 2002, considerou-se o método de krigagem ordinária o mais adequado. Neste método os erros dependem apenas da posição do ponto de interpolação, x_0 , para uma dada distância, sendo portanto independentes dos valores observados $z(x_i)$.

A utilização de uma grelha de interpolação 100 x 100 m foi tida como razoável para a interpretação visual das isolinhas dos estragos. A utilização de uma malha mais apertada tornaria o cálculo computacional mais demorado, não havendo interesse de natureza prática dada a dimensão da área de estudo. Na Figura 16 representa-se a dispersão da doença da tinta em 1995 e 2002, registando-se o aumento do declínio no período considerado.

FIGURA 16 - Estimaco por krigagem ordinária, da sanidade do castanheiro em 1995 e sua evolução até 2002 (resolução espacial: 100x100 m)



5.5 Concluses

Neste estudo demonstrou-se a viabilidade de usar FAPEFs para monitorização da sanidade de povoamentos florestais. Podem inclusivamente utilizar-se aeronaves não tripuladas na recolha de imagens de pequenas áreas. O paramotor supera o avião pela sua maior estabilidade, facilidade de telecomando, menor velocidade e capacidade de carga. No entanto, o balão cativo  melhor que aqueles aparelhos, tanto no aspecto do custo, como no do controle

e qualidade da FAPEF. Para áreas acima de 100 ha, já  preferível a utilização de uma plataforma retráctil num avião de asa alta do tipo Cessna 172 e a navegação com GPS ligado a um SIG. Este sistema possibilita a execução de FAPEFs de boa qualidade e a 15 % do custo de uma cobertura aerofotogrfica convencional.

Por comparação das avaliações da sanidade efectuadas no campo em fotografias aéreas, deduz-se que as películas CN ou IVP podem ser usadas para reconhecer cinco níveis de afectação. As primeiras são mais acessíveis, têm menor custo e manipulação mais fácil, sendo necessário pouco tempo para o treino do fotointrprete. Podem, portanto, considerar-se eficientes, sobretudo se observadas a escalas superiores a 1: 4000. Nas segundas, são melhor detectáveis perdas de reflectância no infravermelho próximo, provenientes das árvores doentes.

Com base nas FAPEFs de 2002, deduz-se que o sistema mais adequado  monitorização da sanidade de castanhais deve basear-se na captura de imagens  altura de voo entre 550 e 900m, usando equipamento de médio formato (com películas IVP) e digital (de preferência com CCD = 24x36 mm). O processamento das películas pode realizar-se pelo sistema E6, mas respeitando os devidos requisitos técnicos, quer na manipulação do filme, quer na fase de obtenção de imagens. Já a interpretação da sanidade em imagens digitais tem vantagens comparativamente à utilização de equipamentos ópticos. Podem melhorar-se diferenas entre árvores por ampliação dos contrastes ou utilização de filtros digitais e, principalmente, tirar partido dos índices que realam as características da vegetação.

O aumento do declínio do castanheiro de 1995 até 2002  confirmado através da interpolação da sanidade, por krigagem. Na análise geoestatística, detectaram-se vários focos de declínio em 1995, em todas as freguesias objecto de análise. Contudo, estão também indicados diversos locais sem doena. Na evolução até 2002, observou-se que a maioria dos focos de tinta evoluíram para condições mais desfavoráveis.

Não foi possível estabelecer uma relação coerente entre o modelo digital de terreno, transformado nas suas variáveis de exposição, declive e posteriormente na radiação incidente, com a sanidade dos castanheiros. É portanto mais plausível considerar que a maior ou menor incidência da doena da tinta esteja relacionada com aspectos de natureza cultural e da fertilidade dos solos sendo muito provável que o homem se tenha constituído como factor principal na propagação e agravamento do problema.

5.6 Referências

- ACKERMANN, F.; H. SCHADE. Application of GPS for aerial triangulation. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 59 (11): 1625-1632, 1993.
- AMBROSINI, I.; L. GHERARDI; M. VITI; G. MARESI; T. TURCHETTI. Monitoring diseases of chestnut stands by small format aerial photography. *Geocarto Internacional* 12 (3): 41-46, 1997.
- CADAHIA, D. J.; M. COBOS; S. SORIA; F. CLAUSER; R. GELLINI; P. GROSSONI; M. C. Ferreira. *Observação de danos em espécies florestais mediterrâneas*. Madrid: Comissão das Comunidades Europeias, Ministério da Agricultura, Pescas e Alimentação, MAPA, Secretaria Geral Técnica, 96 p., 1991.
- CEE (Comunidade Económica Europeia). Regulamento CEE n.º 1696 / 87 da Comissão das Comunidades Europeias, Bruxelas, 1987.
- CASTRO, J. P. M.; L. M. MARTINS; J. T. ARANHA; F. W. MACEDO. Sistema de navegação para fotografia aérea de pequeno formato. *Silva Lusitana* 12 (2): 213-225, 2004.
- CRAIG, I. E.; B. J. MYERS; C A lightweight illuminated device for viewing small format aerial photographs in the field. *Aust. For.* 44 (1): 68-70, 1981.
- DISPERATI, A. A. *Obtenção e uso de fotografias aéreas de pequeno formato*. 1. ed. Curitiba: Universidade Federal do Paraná. 290 p., 1991.
- EKIN, W. H. A video tracking system for a light aircraft. *Photogrammetric Record* 12 (71): 575-588, 1988.
- EKIN, W. H. The use of a low cost GPS receiver for block aerial vertical photography. *Photogrammetric Record* 14 (84): 875-886, 1994.
- EKIN, W. H.; N. D. Deans. Further developments of an inexpensive retractable vertical camera rig for a light aircraft. *Photogrammetric Record* 12 (68): 227-236, 1986.
- LONG, D. S; J. E. TAYLOR; J. MCCARTHY. Cessna aircraft cabin door mount for photographic and videographic cameras. *Photogrammetric Eng. and Remote Sensing* 52 (11): 1753-1755, 1986.
- LILLESAND, T. M.; R. W. KIEFER. *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley and Sons, Inc., Fourth Edition, New York, 725 p., 1999.
- MARKS, A. R. Aerial photograph from a tethered helium filled balloon. *Photogrammetric Record* 13 (74): 257-261, 1989.
- MARTINS, L. M. Influência dos solos supressivos sobre a doença da tinta do castanheiro. Mestrado em engenharia dos recursos florestais, UTAD, Vila Real, 115 p., 1997.
- MARTINS, L. M. Monitorização da doença da tinta do castanheiro com fotografia aérea de pequeno formato. Tese de Doutoramento, UTAD, Vila Real, 247 pp., 2004.
- MARTINS, L. M.; M. I. LUFINHA; C. P. MARQUES; C. G. ABREU. Small format aerial photography to assess chestnut ink disease. *For. Snow Landsc. Res.* 76 (3): 357-360, 2001.
- READ, R. E. Navigation for small format photographic operations. *Photogrammetric Record* 13 (74): 241-247, 1989.
- RODRIGUES, J. M. G. Caracterização de um índice de vitalidade da floresta portuguesa. DGF, Lisboa, 15 pp. (publicação interna), 2002.
- SCHULER, C.A.B. *Avaliação de danos causados por Dirphiopsis epiolina R. Felder em povoamentos de bragantina – Mimosa scabrella Bentham, manejados pelo sistema tradicional, através de fotografias aéreas de pequeno formato*. 208 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.
- SOARES, A. *Geoestatística para as ciências da terra e do ambiente*. IST, Lisboa, 175 p., 2000.
- SPENCER, R. D.; R. J. HALL. Canadian large-scale aerial photographic systems (LSP). *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 54 (4): 475-482, 1988.
- STANLELY, B; DUNNE, S.; KEANE, M. Monitoring forest conditions using colour infrared aerial photography. Final report. *Coilte Teoranta* (ed), Ireland, 87 p.

WARNER, W. S.; R. W. GRAHAM; R. E. READ. *Small format aerial photography*. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Maryland: [s.n.], 348 p., 1996.

WHITTLESEY, J. H. Tethered ballon for archaeological photos. *Photogrammetric Engineering* 36 (2): 181-186, 1970.

ZSILINSZKY, V. G. Supplementary aerial photography with miniature cameras. *Photogrammetria* 25: 27-38, 1970.