



INSTITUTO POLITÉCNICO de PORTALEGRE



ESCOLA SUPERIOR AGRÁRIA de ELVAS

Relatório de Estágio do Curso de
Mestrado em Agricultura Sustentável

**Desenvolvimento de uma Ferramenta para Obtenção de Fotografia Aérea de Alta
Resolução a Baixo Custo para Apoio à Decisão em Agricultura de Precisão**

Paulo Alexandre Pilré Garcia Pereira

Orientador:

Dr. Ricardo Nuno Fonseca Garcia Pereira Braga

2008



INSTITUTO POLITÉCNICO de PORTALEGRE



ESCOLA SUPERIOR AGRÁRIA de ELVAS

Relatório de Estágio do Curso de Mestrado em Agricultura Sustentável

**Desenvolvimento de uma Ferramenta para Obtenção de Fotografia Aérea de Alta
Resolução a Baixo Custo para Apoio à Decisão em Agricultura de Precisão**

Escola Superior Agrária de Elvas

Paulo Alexandre Pilré Garcia Pereira

Orientador:

Dr. Ricardo Nuno Fonseca Garcia Pereira Braga

2008

Este trabalho não contempla as críticas e correcções sugeridas pelo Júri

Assinatura dos Membros do Júri:

Presidente do Júri

Orientador Interno

Arguente

Classificação Final: : _____

Agradecimentos

Ao professor Dr. Ricardo Braga que orientou este projecto, pelo apoio, e transmissão de conhecimentos prestados durante a realização deste trabalho;

Ao professor João Paulo Mendes pela sua contribuição na parte mecânica deste projecto;

A todos os professores que contribuíram para a formação académica que me permitiu elaborar este estudo;

Um especial agradecimento ao regimento de Bombeiros de Benavente pelo magnífico resgate efectuado durante um ensaio de campo;

À Eng. Maria Emília Barata, companheira inseparável nos avanços e recuos do projecto;

A todos os familiares e amigos que me apoiaram na realização deste trabalho;

Obrigado.

Resumo

No âmbito da Agricultura de Precisão é essencial descrever e caracterizar a variação espacial do crescimento e desenvolvimento das culturas.

A detecção remota apresenta-se como uma ferramenta indispensável para esse propósito. Os meios tradicionais de obtenção de imagens multiespectrais, como os satélites ou os aviões não têm correspondido às necessidades dos utilizadores rurais, nomeadamente em relação às resoluções temporal e espacial. Os custos associados a estes meios são demasiado elevados, tornando-se inacessíveis à maioria dos empresários agrícolas.

Deste modo, equaciona-se a utilização de um veículo aéreo não tripulado, controlado remotamente, como ferramenta útil para os gestores agrícolas adeptos da agricultura de precisão.

Neste projecto desenvolveu-se um veículo aéreo não tripulado, com capacidade de obtenção de imagens multiespectrais passíveis de georreferenciação.

Este veículo foi utilizado para obter imagens de alta resolução de diferentes culturas como demonstração da sua capacidade operacional.

As imagens multiespectrais adquiridas pelo aparelho foram processadas de modo a evidenciar a variabilidade espacial das culturas. Foi, posteriormente, efectuada uma verificação no terreno a partir dos mapas de dados multiespectrais obtidos, sendo que neste processo, conseguiram-se identificar variações da quantidade de biomassa e zonas de infestantes nas culturas.

Palavras-chave: Agricultura de Precisão; Detecção Remota; UAV, Espectro electromagnético, Variabilidade Espacial, Azevém, Cenoura.

Abstract

In the context of Precision Farming it is essential to describe and characterize the spatial variation of growth and development of cultures.

The Remote Sensing represents itself as an indispensable tool for this proposed.

The traditional means of obtaining multispectral images, such as satellites or aircraft are not matching the needs of rural users, particularly in relation to the spatial and temporal resolutions. Costs associated with these technologies are too high, making it inaccessible to most agricultural managers.

Thus, equates to the use of an unmanned aerial vehicle, remotely controlled, as useful tool for agricultural managers, supporters of Precision Agriculture.

In this project it has been developed an Unmanned Aerial Vehicle, capable of obtaining multispectral images.

This vehicle was used to obtain high-resolution images of different cultures as a demonstration of its operational capacity.

The images acquired by the unit were processed in order to demonstrate the spatial variability of cultures. Was subsequently carried out a ground truth verification following the data maps obtained and it was possible to identify spatial variations in the amount of biomass and areas of weeds on crops.

Keywords: Precision Agriculture; Remote Sensing; UAV, Electromagnetic spectrum, Spatial Variations, Ryegrass, Carrots.

Índice Geral

	Pág.
Agradecimentos	i
Resumo	ii
Abstract.....	iii
Índice Geral.....	iv
Índice de Quadros.....	vi
Índice de Figuras	vii
1. Introdução	1
2. Revisão Bibliográfica	3
2.1 Agricultura de precisão	3
2.1.1 - Detecção remota	6
2.1.2 - Resposta espectral da vegetação devido à radiação.....	7
2.1.3 - Tipos de sensor	9
2.1.4 - Resolução	10
2.1.5 - Índices de Vegetação	12
2.1.6 - Classificação de imagens	16
2.2 – Veículos Aéreos Não Tripulados.....	20
2.2.1 -Classificação.....	22
3 – Materiais e Método.....	23
3.1 – Requisitos Técnicos	23
3.2 – Projecto	24
3.2.1 - Planeamento	25
3.3 – Construção e Ensaio	28
3.3.1 - Ensaio	33
3.3.2 - Primeiras imagens.....	41
3.3.3 – Redimensionamento.....	43
3.4 – Segurança	43
3.5 - Aplicações.....	44
3.5.1 - Testes	44
3.5.2 – Pós-Processamento de imagem.....	45
4 - Discussão e análise dos resultados.....	62

4.1 – UAV	62
4.1.1 - Componentes do sistema.....	63
4.1.2 - Falhas e limitações do Sistema.....	66
4.2 – Análise espectral.....	68
4.2.1 – Parcela de Azevém.....	68
4.2.2 – Parcela de Cenouras	73
5. Conclusões	76
Referências Bibliográficas.....	77
Anexo 1.....	79
Os UAV no mundo.....	79

Índice de Quadros

Quadro 1 – Limites de classificação com base nos picos do histograma	18
Quadro 2 – Wing Cube Loading. Cálculo da carga alar a partir do peso do aparelho.	26
Quadro 3 – Folha de Cálculo de Motorizações	30

Índice de Figuras

Figura 1 – Ciclo de Agricultura de Precisão	4
Figura 2 – Espectro electromagnético	7
Figura 3 – Espectro de reflexão ideal para solo, vegetação e água	8
Figura 4 – Curva de espectro captada por um sensor de quatro bandas de resolução para plantas em crescimento e plantas em senescência	11
Figura 5 – Histograma digital no infravermelho próximo de uma imagem hipotética.....	18
Figura 6 – Medições efectuadas pelo LandSat ao longo de uma linha de solo	19
Figura 7 – Passos básicos para a classificação supervisionada	20
Figura 8 – ANTEX-03 E ANTEX-02. Uma colaboração do IST com o exército português.....	21
Figura 9 – Modelos reais de pára-motor e modelo à escala	25
Figura 10 – Câmaras digitais Olympus Fe-100 e Pentax Optio Z10.	28
Figura 11 – Construção da estrutura em aço tubular.....	28
Figura 12 – Aspectos da estrutura terminada na primeira fase de construção.....	29
Figura 13 – Pantógrafo tridimensional construído para dar resposta à disponibilidade de hélices	31
Figura 14 – Algumas das hélices danificadas durante os ensaios de voo.....	31
Figura 15 – Esquema do Sistema de Comunicações.....	32
Figura 16 – Lezíria de Vila-Franca, local dos primeiros testes de campo.....	33
Figura 17 – Aspecto do local do primeiro ensaio.	34
Figura 18 – Nova estrutura com secção frontal em alumínio e asa de 5m ²	36
Figura 19 – 4.º Ensaio. O aparelho ganha velocidade e descola em cerca de 20 metros.....	37
Figura 20 – Neste ensaio o voo revelou-se instável com o modelo a oscilar sobre o centro de gravidade.	38
Figura 21 – Descolagem a partir de caminho rural.	39
Figura 22 – 7.º ensaio. O modelo mergulha após oscilação lateral grave.	40
Figura 23 – Apesar da violência do embate os danos restringiram-se à secção frontal.	41
Figura 24 – Plantação de arroz onde foram obtidas as primeiras imagens aéreas.	42
Figura 25 – Primeira imagem captada pelo sistema.....	42

Figura 26 – Aspecto do aparelho em voo.....	43
Figura 27 – Múltiplos acidentes durante os ensaios.....	44
Figura 28 – Imagens capturadas com Olympus Fe-100 de 4,0 Mega pixeis.....	44
Figura 29 – Imagem capturada com Pentax Optio z10 de 8 Mega pixeis e pormenor.	45
Figura 30 – Painel de configuração do programa Autostich.	46
Figura 31 – Distorção do mosaico devido à falta de verticalidade das imagens obtidas.	47
Figura 32 – Aberração da luminosidade provocada por diferenças de incidência solar.....	48
Figura 33 – Exemplo de mosaico obtido com recurso ao Autostich.	49
Figura 34 – Área de influência do conselho de Vila Franca de Xira.	50
Figura 35 – Mosaico resultante do processamento das imagens pelo Autostich.....	51
Figura 36 – A área da cultura de Azevém após a georreferenciação, orientada a norte e à escala.....	52
Figura 37 – Imagem da cultura em cor real e decomposta nas bandas do espectro visível, vermelho, verde e azul.	53
Figura 38 – Cálculo entre as bandas no SpatialAnalist.....	53
Figura 39 – Green Blue Simple Ratio	54
Figura 40 – Red Blue Simple Ratio	54
Figura 41 - Green Red Simple Ratio.....	55
Figura 42 - Normalized Difference Green Red Índice.....	55
Figura 43 – Índice SGB, subtracção da banda Verde pela banda Azul.....	56
Figura 44 – Histograma da imagem obtida a partir do índice de vegetação SGB.....	56
Figura 45 – Área de influência do concelho de Salvaterra de Magos.....	57
Figura 46 – Parcela de cenouras, marginada por floresta de pinheiro bravo.....	58
Figura 47 – Imagem aérea da cultura de cenouras após georreferenciação, orientada a norte e à escala.	59
Figura 48 – Imagem de cor real e decomposta nas três bandas do espectro visível, vermelho, verde e azul.	60
Figura 49 – Green Blue Simple Ratio.	60
Figura 50 – SGB, subtracção da banda Verde pela banda Azul.	61
Figura 51 – Histograma da imagem resultante do índice SGB.....	61
Figura 52 – O aparelho no seu aspecto final.....	62
Figura 53 – Vistas frontal e traseira do sistema.	63

Figura 54 – Resultado da subtração da banda verde do espectro pela banda do azul.....	68
Figura 55 – Rampa de rega na pastagem de azevém.....	69
Figura 56 – Comparação da parcela com a imagem aérea.	69
Figura 57 – Orientação na parcela através dos índices de vegetação.....	70
Figura 58 – Área de infestantes.....	71
Figura 59 – Beterraba brava (<i>Beta vulgaris</i> L. Spp. <i>Marítima</i> (L.))......	71
Figura 60 – Zona de fraca emergência com grandes manchas de solo nu.....	72
Figura 61 – Área de maior concentração de biomassa.	72
Figura 62 – Resultado da recombinação das bandas do vermelho e do azul.....	73
Figura 63 – Cultura de cenouras.	74
Figura 64 – Canhão Auto-enrolador.....	74
Figura 65 – Fora da zona regada a cultura não apresenta desenvolvimento.	75
Figura 66 – Na zona abrigada pela cortina de pinhal, observa-se um aumento da quantidade de biomassa.....	75

1. Introdução

A agricultura como conjunto de factores de produção agrupados de modo heterogéneo apresenta uma necessidade crescente de gestão, caracterizada pela quantidade e qualidade de informação disponível.

Técnicas como avaliação de mapas de produção, distribuição de factores em taxas variáveis e análise da variabilidade espacial de culturas, são já práticas correntes para uma quantidade crescente de empresários agrícolas, o que lhes permite avaliar quais as melhores decisões a tomarem nas práticas culturais de uma parcela

A análise e mapeamento espacial das culturas têm tido como ferramentas fundamentais, as imagens de satélite e as fotografias aéreas de elevada altitude. Este tipo de imagens, são muitas vezes inadequadas ou inacessíveis para a maioria dos agricultores. De facto, as imagens de satélite pecam pela sua baixa resolução temporal e abrangem áreas demasiado grandes. As imagens aéreas realizadas por aviões convencionais, são demasiado dispendiosas para as culturas anuais e apresentam problemas de burocracia e logística. A necessidade de procurar uma alternativa a estes meios, que possa ser utilizada para o acompanhamento das culturas de um modo imediato, com resolução espacial adequada e a baixo custo, tem provocado um interesse crescente na investigação de aparelhos de detecção remota não tripulados, vulgarmente designados por UAV (Unmanned. Aerial Vehicles).

Estas ferramentas, traduzem-se em aparelhos capazes de obter fotografias aéreas multiespectrais de alta resolução permitindo uma análise espacial das culturas evidenciando a sua heterogeneidade.

O objectivo deste trabalho é o desenvolvimento de uma ferramenta capaz de proporcionar de um modo expedito e a baixo custo, informação para a aplicação na gestão da variabilidade espacial das culturas agrícolas, no âmbito da agricultura de precisão.

De modo a testar as funcionalidades do aparelho, é também objectivo apresentar análises espectrais de culturas, realizadas através de imagens adquiridas pelo sistema desenvolvido.

2. Revisão Bibliográfica

2.1 Agricultura de Precisão

Com a globalização da economia e o crescente valor dos factores de produção agrícolas, surge a necessidade de se obter níveis elevados de competitividade internacionais. Além disto, a busca pela conservação dos recursos naturais, impõe à actividade agrícola novos métodos e técnicas de produção, aliados a uma maior eficiência na aplicação dos factores de produção e no controlo dos resultados obtidos no campo.

Com o constante avanço da tecnologia e dos sistemas de informação geográfica, podemos hoje aplicar em áreas de cultivo mecanizado, o que os nossos antepassados praticavam na agricultura de subsistência (Vargas, 2008).

A agricultura de precisão é um sistema de gestão dos factores de produção (Fig. 1) que surge com a capacidade de monitorizar a evolução de uma determinada cultura, de reconhecer a heterogeneidade das parcelas e da aplicação desses mesmos factores em taxas variáveis, independentemente da área afectada. Para tal, dispomos hoje, de ferramentas tecnológicas, tais como, mapas de produtividade, análises de solo, imagens de satélite, fotografias aéreas, sistemas de posicionamento global, entre outros, que permitem ao empresário agrícola tomar as melhores decisões sobre determinado factor de produção num curto espaço de tempo (SLC/ John.Deere).



Figura 1 – Ciclo de Agricultura de Precisão (Extraído de Arvus Tecnologia;Ltda).

As imagens aéreas em Agricultura de Precisão têm provado ser ferramentas úteis para uma série de objectivos como por exemplo:

1. Antes da emergência/ abrolhamento da cultura
 - a. Cartografia de infestantes;
 - b. Cartografia de densidade de restolho;
 - c. Delineamento de manchas de solo / zonas de manejo intra-parcelar;
 - d. Cartografia de drenagem natural da parcela;
 - e. Amostragem de solo orientada;

2. Depois da emergência / abrolhamento até à maturação
 - a. Monitorização do crescimento da cultura;
 - b. Previsão do mapa de colheita (em termos relativos);
 - c. Avaliação da densidade da copa/ vigor

A capacidade de monitorizar as culturas pode levar o empresário a questionar-se sobre a variabilidade do solo e o seu impacto ao nível da produtividade da cultura; ou se a margem bruta da cultura não apresentará uma variabilidade espacial, podendo isso significar estar a perder dinheiro em zonas marginais da parcela; ou ainda se a aplicação de taxas variáveis de fertilizantes e pesticidas não será uma forma mais racional de gestão das parcelas.

Na melhor das hipóteses, o empresário agrícola decidirá fazer uma amostragem de solo por mancha para confirmar as diferenças de fertilidade e, caso sejam significativas, poderá passar a aplicar fertilizantes de acordo com um mapa de prescrição que leve em consideração as especificidades de cada local da parcela e não com base apenas numa média da parcela (Braga, 2005).

Para colmatar as deficiências da resolução temporal dos satélites, utilizam-se meios mais expeditos como a fotografia aérea de baixa altitude, realizada normalmente por aeronaves. Este método, embora mais rápido e simples que os satélites, apresenta no entanto, desvantagens. Os custos elevados, e a necessidade das deslocações entre aeródromos autorizados tornam o sistema inacessível à generalidade dos agricultores.

Os sistemas não tripulados (UAV) constituem ferramentas potenciais inovadoras na obtenção de dados para a agricultura de precisão. Permitem operações rápidas para obtenção de imagens aéreas multiespectrais em pequenas áreas e são relativamente simples de operar. Uma vez que não existe piloto humano a bordo e as dimensões dos aparelhos são reduzidas, as autorizações necessárias para voos de não tripulados são normalmente simples de obter ou inexistentes. Os UAV têm, por conseguinte, o potencial de substituir e/ ou complementar as observações por satélite ou por aeronaves tripuladas, fornecendo um ponto de vantagem exclusivo. Estes aparelhos são capazes de operar numa gama de velocidades e altitudes que os tornam interessantes para uso científico e comercial (Simpson, 2002).

2.1.1 - Detecção remota

Detecção remota pode ser definida como um processo de recolha de informações sobre um objecto, área ou fenómeno sem estar em contacto com ele (Simpson, 2002). Os olhos humanos são exemplos disso; são capaz de reunir informações sobre o ambiente circundante estimando o montante e a natureza da energia luminosa reflectida por uma fonte externa. A ciência da detecção remota consiste na interpretação de medições de energia electromagnética reflectida de ou emitida por um objecto a partir um ponto afastado do mesmo (Eastman, 1996, Simpson, 2002).

No caso concreto deste projecto, referimo-nos à detecção remota como o processo de recolha de dados multiespectrais através de um dispositivo colocado num ponto acima da superfície da Terra.

A detecção remota e o diagnóstico de imagens aéreas não são novos para a agricultura, mas o seu uso é ainda limitado. Isto deve-se ao custo das imagens e da análise dos dados, da resolução temporal, da falta de precisão na transferência dos dados para o terreno, e das condições ambientais de cada região. As técnicas de detecção remota estão disponíveis há cerca de cinquenta anos, mas apenas recentemente, nos apercebemos das suas potencialidades para a agricultura.

Aeronaves tripuladas, satélites ou sensores terrestres podem actualmente ser usados para obter imagens de por detecção remota. A vasta maioria da investigação em detecção remota tem utilizado sistemas baseados em satélites, mas as técnicas e princípios envolvidas na detecção remota são os mesmos independentemente das plataformas utilizadas. Esta tornou-se uma ferramenta amplamente usada nas mais diversas necessidades de observação da Terra e tornou-se cada vez mais útil na agricultura, particularmente no acompanhamento dos recursos naturais (Verbyla, 1995).

Espectro Electromagnético

A maioria dos objectos, incluindo plantas emitem ou reflectem radiação electromagnética. O intervalo do espectro electromagnético varia muito, desde comprimentos de onda muito curtos, conhecidos como raios gama, para comprimentos de onda de rádio de várias centenas de metros. Devido às lentes e à absorção atmosférica, a primeira janela significativa de reflexão é a dos comprimentos de onda visíveis (Verbyla, 1995). Os comprimentos de onda do verde, vermelho e

infravermelho próximo (NIR) fornecem boas capacidades de avaliação das interações da superfície da Terra sem interferência significativa da atmosfera (Simpson, 2002).

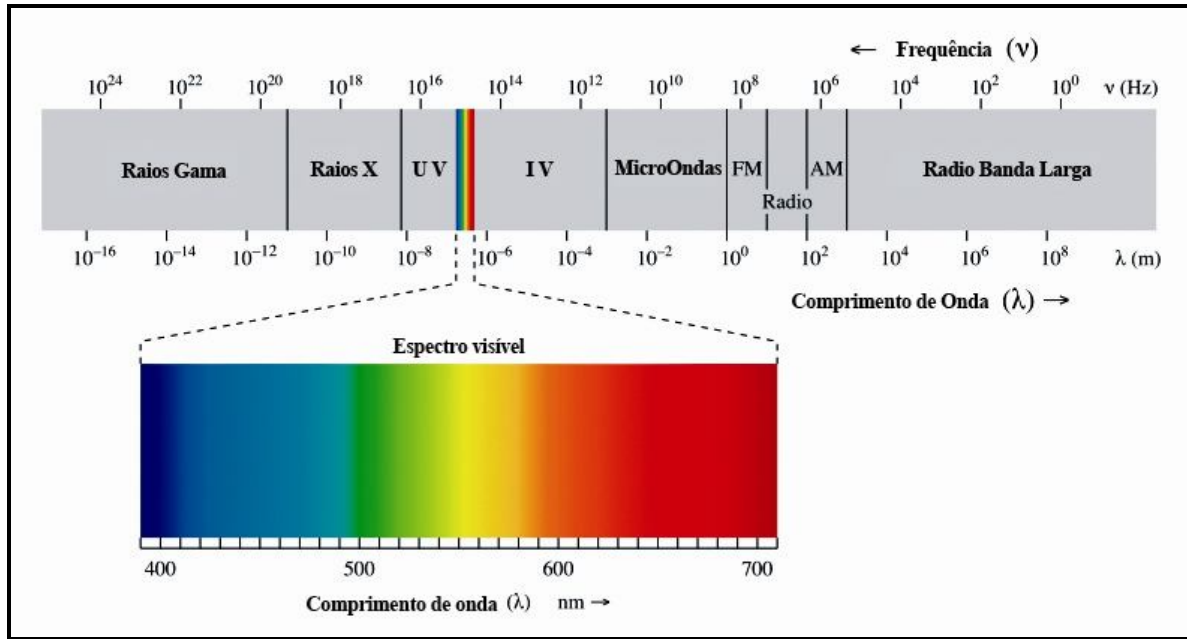


Figura 2 – Espectro eletromagnético (Adaptado de Kaiser, 2008).

A fonte do espectro eletromagnético (Fig.2) é a energia radiante do sol. A energia radiante do sol atinge os objectos no solo. Essa energia pode ser absorvida, dispersa, ou reflectida de volta para o sensor remoto. A resposta espectral de um objecto é a quantidade de energia emitida pelo objecto e detectada pelo sensor.

2.1.2 - Resposta espectral da vegetação devido à radiação

Os padrões de resposta espectral são também chamadas assinaturas (Simpson, 2002). Um exemplo simples de um padrão de resposta espectral ou assinatura é o conceito de cor. O olho é capaz de captar padrões de resposta espectral porque é na verdade um sensor multi-espectral.

Nos primórdios da detecção remota, esperava-se que cada material à superfície da Terra tivesse um padrão de resposta espectral distintivo que permitiria que fosse detectado com precisão por meios visuais ou digitais (Simpson, 2002). No entanto, na realidade, este não é muitas vezes o caso. Por exemplo, duas árvores diferentes podem ter colorações diferentes num dado momento do ano e bastante semelhantes num outro. Isto pode-se dever ao facto da clorofila absorver principalmente comprimentos de onda vermelhos e azuis até violeta para usar na fotossíntese,

que pode variar de acordo com a época do ano. A luz verde não é absorvida facilmente e, por conseguinte, é reflectida, dando à vegetação uma aparência verde. Além disso, os comprimentos de onda NIR são reflectidos devido à dispersão sofrida na área de interacção ar/ célula nos tecidos do mesofilo das folhas (Verbyla, 1995).

A clorofila é transparente à luz NIR. O aumento brusco da energia reflectida junto da região do vermelho no visível, e na região do infravermelho próximo, não é constante e sofre alterações ao longo da vida da folha. Este aumento acentuado está localizado em torno de um comprimento de onda de $0,7\mu\text{m}$ (Simpson, 2002).

Os factores de stress ambiental como as secas, as doenças, a pressão de infestantes e pragas, causam alterações fisiológicas nos tecidos vegetais. Estas alterações provocam respostas espectrais diferentes das de plantas saudáveis na mesma fase de crescimento. Assim, a detecção remota torna-se um instrumento útil para a identificação de stress nas plantas.

Localizar padrões de resposta espectral é a chave para a maioria dos procedimentos de interpretação de imagens de detecção remota assistida por computador. Uma curva ideal de reflexão espectral em vegetação vigorosa apresenta valores relativamente baixos nas regiões do vermelho e azul do espectro visível, com um pequeno pico na banda do verde (Fig. 4).

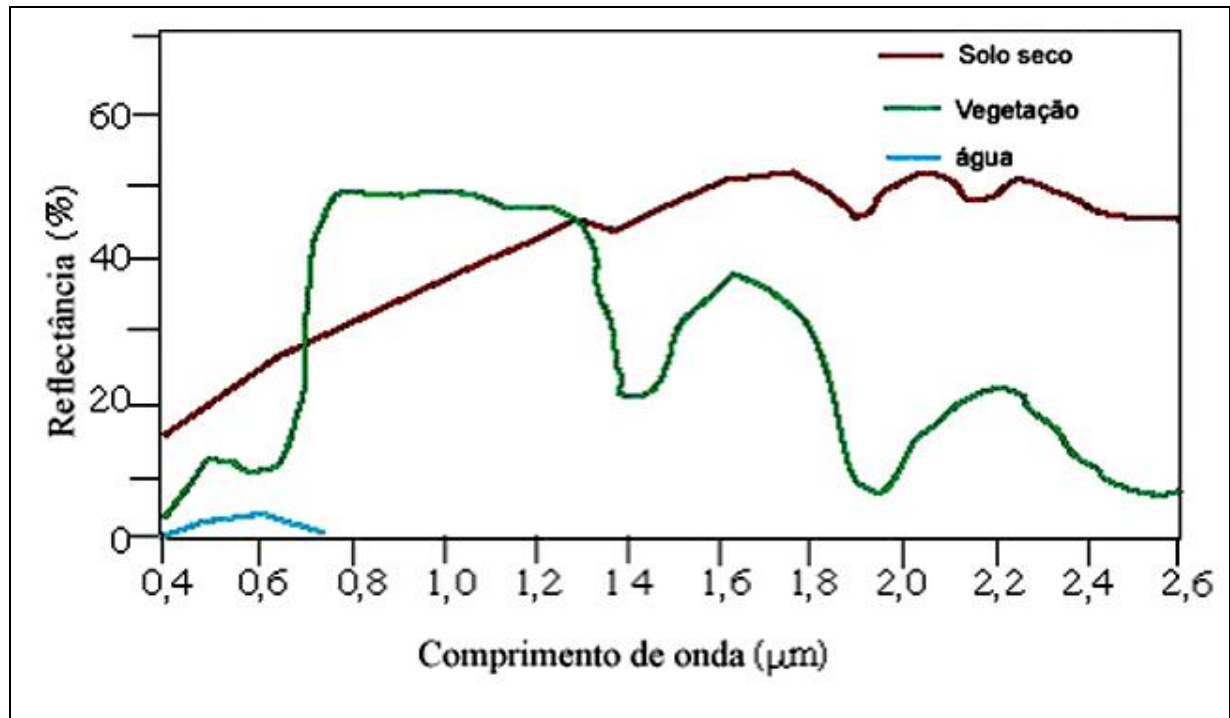


Figura 3 – Espectro de reflexão ideal para solo, vegetação e água (adaptado de Simpson, 2002).

Esses picos e depressões são causados pela absorção de luz azul e vermelha pela clorofila e outros pigmentos presentes nas plantas. Normalmente, são absorvidos 70-90 %, tanto de luz azul como de luz vermelha para fornecer energia ao processo de fotossíntese. O pequeno pico de reflexão entre 0,5 e 0,6 μm é a razão para que a vegetação em crescimento activo se apresente verde.

A reflexão aumenta drasticamente na região dos 0,75 μm e mantém-se elevada no infravermelho próximo na região entre 0,75 μm e 1,35 μm devido à estrutura interna da folha e da área de tecido de interface ar/ célula da folha.

Entre 1,35 μm e 2,5 μm , a reflexão é controlada pelo teor de água dos tecidos foliares. Com o envelhecimento das plantas, o nível de reflexão na região do infravermelho próximo decresce, enquanto que a reflexão na parte visível do espectro não é significativamente afectada. A curva de reflexão dos solos é geralmente caracterizada por um aumento na reflexão à medida que aumenta o comprimento de onda. Isto é o oposto da curva espectral da água (Simpson, 2002).

A região de infravermelho intermédio (MIR), 1,55 μm – 1,75 μm , é uma área em que podem surgir diferenças significativas entre indivíduos adultos de espécies diferentes. Em consequência, aplicações com vista à diferenciação entre espécies, normalmente envolverão as regiões de NIR e MIR.

A reflexão da água varia muito consoante a turvação. Água límpida, por exemplo, reflecte muito pouco na maior parte das regiões do espectro, enquanto que quando muito turva, a água reflecte quantidades significativas de radiação, especialmente no vermelho e NIR (Verbyla, 1995).

Resumindo, o espectro electromagnético é amplo e nem todos comprimentos de onda são igualmente eficazes para fins de detecção remota.

2.1.3 - Tipos de sensor

Os sensores de imagem de detecção remota agrupam-se em duas categorias: sensores activos e passivos. Os sensores passivos medem apenas a energia emitida e reflectida naturalmente pelo ambiente. Esta categoria engloba a grande maioria dos sensores utilizados em detecção remota. Os sensores activos fornecem a sua própria fonte de energia electromagnética, que é transmitida para o objecto e feita a medição da energia reflectida (Simpson, 2002).

2.1.4 - Resolução

Uma plataforma de detecção remota por imagem que opere nas regiões do visível e infravermelho é classificada em termos da sua resolução espectral, espacial, temporal e radiométrica.

Resolução espectral

Resolução espectral é a capacidade de um sensor detectar uma gama de frequências específica.

A uma determinada gama de frequências que um sensor é capaz de detectar dá-se o nome de banda espectral. A resolução espectral refere-se à largura destas bandas em relação à largura total do espectro electromagnético.

Um instrumento de banda larga esbateria simplesmente as variações de reflexão das diferentes regiões espectrais.

A Figura 4 demonstra a reflexão da vegetação saudável (linha pontilhada) e da vegetação em stress (linha sólida) e da sua relação com o comprimento de onda (Simpson, 2002). A maioria das diferenças ocorre na região do infravermelho próximo (NIR). Se a resolução espectral do sensor for relativamente baixa, as informações da região do infravermelho próximo seriam misturadas com as informações da região do vermelho. Neste caso, as diferenças entre a vegetação não iriam ser aparentes (Mather, 1999). A título de exemplo, o Landsat TM, uma plataforma de detecção remota baseada num satélite recolhe sete faixas do espectro: azul (0,45-0,52 μ m), verde (0,52-0,60 μ m), vermelha (0,63-0,69 μ m), infravermelho próximo (0,76-0,90 μ m), infravermelho médio (1,55-1,75 μ m) e infravermelho longínquo (2,08-2,35 μ m), e infravermelho térmico (10,4-12,5 μ m). Para fornecer uma identificação mais correcta de alvos específicos numa imagem de detecção remota, a resolução espectral do sensor deve corresponder tão perto quanto possível à curva de reflexão espectral do objecto (Mather, 1999).

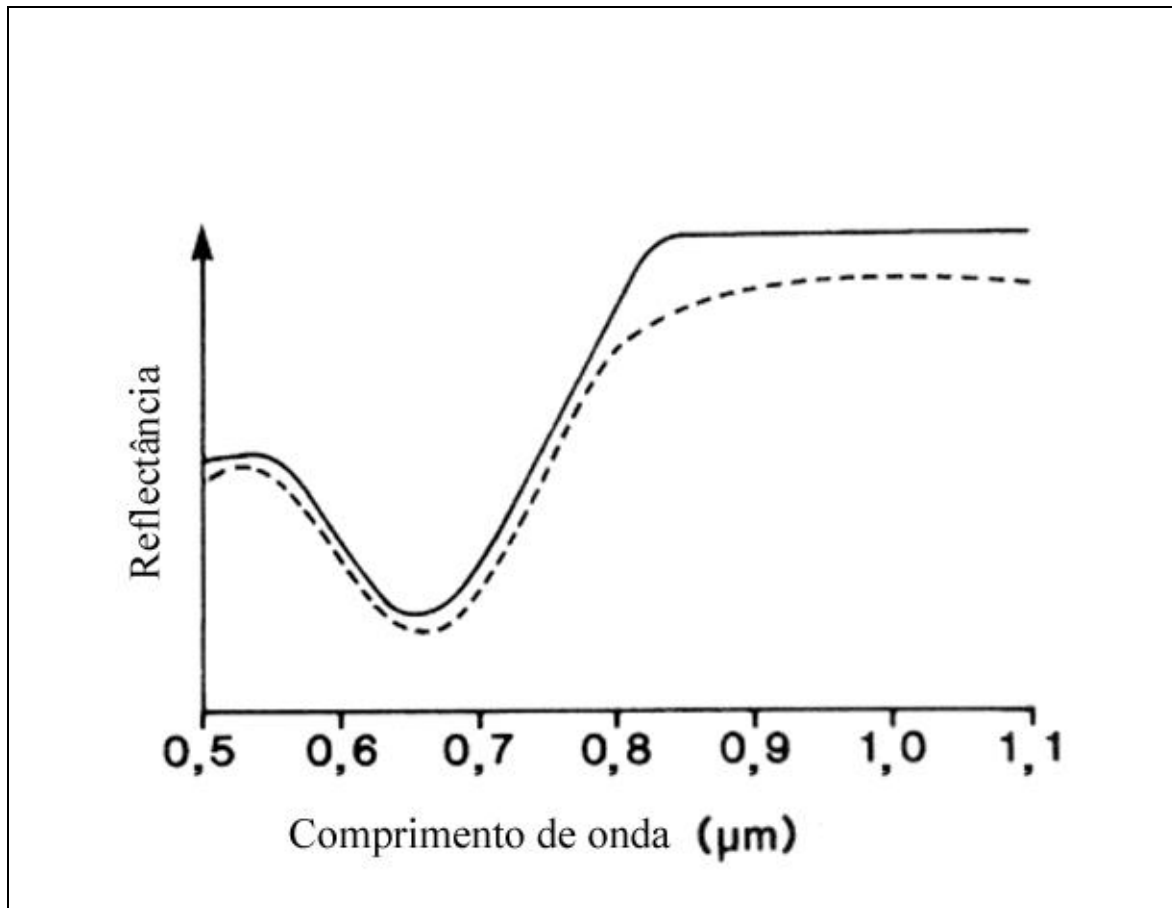


Figura 4 – Curva de espectro captada por um sensor de quatro bandas de resolução para plantas em crescimento (linha pontilhada) e plantas em senescência (linha sólida) (adaptado de Mather, 1999).

Resolução espacial

A resolução espacial refere-se à quantidade de área abrangida sobre o terreno por cada “pixel” da imagem obtida. Reflete a capacidade do sensor identificar o detalhe de menor tamanho (ou “pixel”) presente numa imagem. No entanto, isso não significa que um objecto menor do que o tamanho de um “pixel” não seja detectado. Cada “pixel” é uma representação da média ponderada da reflexão nessa área.

A resolução espacial de algumas plataformas baseadas em satélites é consideravelmente baixa. Os dados por elas obtidos tornam-se assim, inadequados ao estudo da variabilidade espacial das parcelas agrícolas, como é o caso dos sistemas Landsat TM com 30 m de resolução e dos sistemas NOAA-AVHRR, com uma resolução de 1,1 km (Mather, 1999).

Resolução Radiométrica

Resolução radiométrica ou contraste, descreve a capacidade do sensor para medir a Intensidade do sinal ou brilho dos objectos. A resolução radiométrica é frequentemente expressa pelo número de bits de informação digital. Um sensor de 8 bits, por exemplo, apresentará 1 em cada 2^8 ou 256 valores específicos de intensidade para cada faixa da resolução espectral.

Obviamente, à medida que as resoluções espectrais, espaciais e radiométricas aumentam, o tamanho de arquivo de dados pode tornar-se bastante grande.

Resolução Temporal

Resolução temporal é o intervalo de reaquisição de imagens (Eastman, 1996); é o tempo decorrido entre imagens do mesmo objecto no mesmo local. Quanto maior for a frequência com que o sensor puder rever o mesmo local, maior será a resolução temporal. A resolução temporal do Landsat TM é de 16 dias, que é maior do que a de outros sensores como o SPOT (Système Pour L'Observation de la Terre), que tem um ciclo orbital de 26 dias. O NOAA-AVHRR, por outro lado, pode mostrar vastas zonas numa base diária (Eastman, 1996). A resolução temporal das imagens de satélite geralmente melhora a latitudes mais elevadas, devido à sobreposição significativa das imagens nas voltas consecutivas do satélite. Sobreposição é a área que é digitalizada duas vezes em duas passagens de satélite adjacentes. Assim, a mesma área pertence a duas imagens. A percentagem de sobreposição para imagens do Landsat TM varia entre 15 % no Equador para 85 % a latitudes extremas (Verbyla, 1995).

2.1.5 - Índices de Vegetação

Índices de vegetação (IV) são uma técnica de tratamento de imagem utilizada para fornecer informações valiosas sobre a densidade e o vigor da vegetação e ao mesmo tempo minimizar os efeitos de brilho do solo e o ruído atmosférico. O tipo de índice a usar depende das necessidades de processamento da imagem. A escolha requer uma compreensão do problema a tratar e depende se o utilizador pretende manter o efeito de solo em segundo plano ou removê-lo (Mather, 1999).

O índice de vegetação mais usado é o *Normalised Difference Vegetation Index* ou NDVI [Eq. 1]. O NDVI é calculado a partir da reflexão do vermelho e da radiação do NIR (Rosendo, 2005).

$$NDVI = (NIR - VERMELHO) / (NIR + VERMELHO)$$

[1]

O NDVI funciona como um índice de vegetação nos seguintes princípios, como discutido anteriormente. A clorofila absorve comprimentos de onda vermelhos e azuis para processar a fotossíntese. Os comprimentos de onda NIR são reflectidos pelas folhas numa quantidade relativa à área de transferência ar/ célula do tecido foliar. Assim, a quantidade de clorofila nas folhas determina os níveis de reflexão de luz vermelha e o nível de água nos tecidos vegetais determina a quantidade de reflexão no comprimento de onda NIR. Se a planta é saudável e contiver um alto teor de clorofila, o nível de reflexão de luz vermelha será baixo e o nível de reflexão no NIR será de um nível médio. Logo, diferença entre os dois valores de reflexão será bastante elevada. Por outro lado, se a planta se encontrar em stress, os níveis de clorofila serão baixos, por conseguinte, a reflexão da luz vermelha será elevada, e os níveis de humidade na planta serão baixos, logo a reflexão no comprimento de onda NIR será elevada. No entanto, o aumento da reflexão no NIR não será tão substancial como o aumento da reflexão no vermelho e, portanto, a diferença entre os valores reflectidos será reduzida e muitas vezes negativa.

O NDVI tem se mostrado bastante útil na estimativa de parâmetros biofísicos da vegetação e o seu ponto forte é o conceito de razão que reduz várias formas de ruídos, tais como diferenças de iluminação, sombra de nuvens, atenuação atmosférica, e certas variações topográficas. Observa-se ainda uma peculiaridade atribuída ao NDVI; a rápida saturação que o torna insensível ao aumento da densidade das copas. Os valores NDVI estabilizam-se num patamar independente do aumento da densidade da vegetação (Rosendo, 2005).

Mais simples que o NDVI e com a vantagem de evitar valores negativos, aparece proposto por Crippen, (1990) o Infrared Percentage Vegetation Index (IPV) [Eq. 2].

$$IPV = NIR / (NIR + VERMELHO)$$

[2]

O *Transformed Vegetation Index* (TVI) [Eq. 3] proposto por Deering et al., (1975), modifica o NDVI para adicionar uma constante de 0,50 para todos os valores e efectuar a raiz quadrada dos resultados. A constante 0,50 é introduzida para evitar operações com valores negativos de NDVI. O cálculo da raiz quadrada pretende corrigir os valores do NDVI introduzindo uma distribuição normal. O TVI é expresso da seguinte forma:

$$TVI = \sqrt{((NIR - VERMELHO) / (NIR + VERMELHO)) + 5} \quad [3]$$

No entanto, o uso do TVI requer que o valor mínimo NDVI introduzido seja maior que -0,5 para evitar abortar a operação. Além disso, não há nenhuma diferença técnica entre o NDVI e o TVI em termos de produção de imagem ou detecção de vegetação activa (Rosendo, 2005).

O *Ratio Vegetation Index* (RVI) [Eq. 4] possui a mesma deficiência que o TVI, embora seja mais simples. O RVI é o contrário da relação simples proposta pelo RATIO:

$$RVI = VERMELHO / NIR \quad [4]$$

O *Normalized Ratio Vegetation Index* (NRVI) [Eq. 5] é uma modificação do RVI por meio do resultado do RVI -1 normalizado com RVI +1:

$$NRVI = (RVI - 1) / (RVI + 1) \quad [5]$$

Essa normalização é similar ao efeito do NDVI, pois reduz efeitos de iluminação topográfica, efeitos atmosféricos e cria uma distribuição normal estatisticamente desejável (Rosendo, 2005).

Outro grupo de índices de vegetação, é o Índice de Vegetação Baseado na Distância, que se baseiam essencialmente no Índice de Vegetação Perpendicular (PVI) sugerido por Richardson (1977). O objectivo principal deste índice de vegetação é cancelar o efeito de brilho de solo para gerar uma imagem que apenas destaca o sinal da vegetação. Este efeito é particularmente importante em zonas áridas e semi-árida onde a vegetação é escassa. O procedimento baseia-se no conceito de linha de solo. A linha de solo é obtida através da regressão linear da banda NIR contra a banda do vermelho de modo a obter uma amostra de pixels de solo nu.

Na análise dos dados da imagem, os pixels na região da linha de solo são assumidos como solo, enquanto que os afastados dessa linha são considerados vegetação (Simpson, 2002).

Apesar da maioria dos estudos sobre índices de vegetação incluírem a banda do infravermelho próximo, existem autores que mais recentemente vêm a considerar a utilização de índices nas bandas do visível.

Zakaluk, R. (2006, 2008) ensaia a utilização do RGB na quantificação da água presente nas folhas da batateira, de modo a efectuar uma gestão correcta das aplicações da rega. Para tal, utiliza índices de vegetação nas bandas do visível obtendo resultados positivos conjugando as bandas do vermelho e do verde. Alguns exemplos dos índices sugeridos podem ser observados abaixo.

O *Green Blue Simple Ratio*

$$\mathbf{GB= VERDE / AZUL} \quad \mathbf{[Eq. 6]}$$

O *Red Blue Simple Ratio*

$$\mathbf{RB=VERMELHO / AZUL} \quad \mathbf{[Eq. 7]}$$

O *Green Red Simple Ratio*

$$\mathbf{GR=VERDE / VERMELHO} \quad \mathbf{[Eq. 8]}$$

O *Normalized Difference Green Red Index*

$$\mathbf{NDGRI= (VERDE - VERMELHO) / (VERDE + VERMELHO)} \quad \mathbf{[Eq. 9]}$$

O *Normalized Difference Green Blue Index*

$$\mathbf{NDGRI= (VERDE - AZUL) / (VERDE + AZUL)} \quad \mathbf{[Eq. 10]}$$

O *Normalized Difference Red Blue Index*

$$\mathbf{NDGRI= (VERMELHO - AZUL) / (VERMELHO + AZUL)} \quad \mathbf{[Eq. 11]}$$

Zakaluk, R. (2008) sugere ainda cálculos em termos de Intensidade, Tonalidade e Saturação das imagens.

Intensidade;

$$\mathbf{I=VERMELHO + VERDE + AZUL} \quad \mathbf{[Eq. 12]}$$

Tonalidade;

$$H = (\text{VERDE} - \text{AZUL}) / (\text{I} - 3\text{AZUL}) \quad [\text{Eq. 13}]$$

Saturação;

$$S = (\text{I} - 3 \text{AZUL}) / \text{I} \quad [\text{Eq. 14}]$$

Transformação de bandas do vermelho, do verde e do azul, respectivamente;

$$X = \text{VERMELHO} / (\text{AZUL} + \text{VERDE} + \text{VERMELHO}) \quad [\text{Eq. 15}]$$

$$Y = \text{VERDE} / (\text{AZUL} + \text{VERDE} + \text{VERMELHO}) \quad [\text{Eq. 16}]$$

$$Z = \text{AZUL} / (\text{AZUL} + \text{VERDE} + \text{VERMELHO}) \quad [\text{Eq. 17}]$$

2.1.6 - Classificação de imagens

A classificação de imagem é um processo em que todos os pixels de uma imagem que apresentam assinaturas espectrais semelhantes estão identificados (Simpson, 2002). Especificamente, é o processo de agrupamento de pixels que têm valores espectrais semelhantes. A cada grupo de pixels semelhantes dá-se o nome de classe espectral, que se pressupõe que correspondam a uma classe de tipo de cobertura, como culturas, zonas húmidas ou solos nus. O objectivo das operações de classificação é substituir a análise visual dos dados da imagem por técnicas quantitativas de modo a automatizar a identificação dos diferentes componentes de uma imagem (Eastman, 1996).

A quantidade de energia reflectida ou emitida medida em cada banda do espectro para um único pixel é considerada como estando relacionada com as características do material de que é formada a cobertura da superfície sobre a área de terreno correspondente a esse pixel. O objectivo global da classificação da imagem é automaticamente classificar todos os pixels numa imagem como classes de cobertura do solo. No entanto, na realidade há sempre factores de perturbação, que ocorrem devido a:

-Efeitos das interações entre energia electromagnética e os componentes da atmosfera;

-Efeitos da geometria do sistema de obtenção de imagens, especialmente quando em comparação com a topografia da área a tratar;

-Os pressupostos subjacentes às técnicas estatísticas utilizados no processo de classificação (Simpson, 2002).

A detecção de assinaturas espectrais de classes de cobertura de solo é a base para a maioria das classificações de imagem. O êxito das classificações depende dois factores:

1- A presença de assinaturas espectrais distintas para as classes de cobertura de solos nas banda utilizadas,

2- A capacidade de distinguir estas assinaturas de outros padrões de resposta espectral que podem estar presentes na imagem (Eastman, 1996).

Existem duas abordagens gerais na classificação de uma imagem: classificação supervisionada e não-supervisionada. Estas diferem no modo como a classificação é executada. A classificação supervisionada procura detectar padrões específicos já conhecidos de coberturas de solos, enquanto que na classificação não-supervisionada o analista procura definir todas as categorias existentes na imagem (Simpson, 2002). O tipo de classificação utilizada depende se os dados de padrão de resposta espectral de determinada zona estão disponíveis para o analista.

Classificação Não-Supervisionada

A primeira etapa num processo com base num histograma é gerar um histograma que apresente o número de pixels em cada classe de números digitais. A Figura 5 apresenta um exemplo de um histograma NIR de uma região com água, arbustos de folha larga, coníferas e afloramentos rochosos.

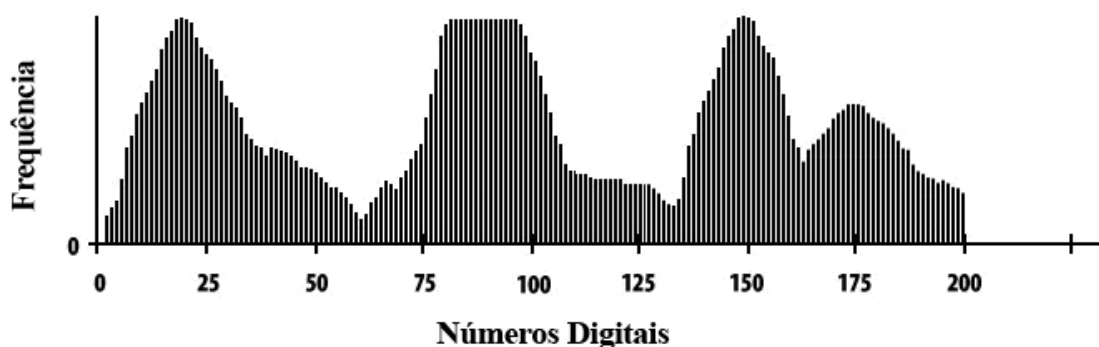


Figura 5 – Histograma digital no infravermelho próximo de uma imagem hipotética (adaptado de Verbyla, 1995).

O histograma de pixels de um tipo de cobertura uniforme é normalmente apresentado em forma de sino. A classificação não-supervisionada baseada em histogramas depende deste pressuposto e segue uma série de regras para delinear classes espectrais (Verbyla, 1995). O procedimento determina, e primeiro lugar, os picos do histograma em toda a gama de valores digitais da imagem, em que cada pico do histograma corresponde a uma classe espectral. Por exemplo, o histograma da Figura 5 tem quatro picos distintos (aproximadamente 20, 95, 150, e 175), assim, quatro classes espectrais irão ser delineados. A próxima etapa é determinar os limites de cada classe.

Uma maneira simples de fazer isso é supor que as fronteiras entre classes espectrais irão ser metade da distância entre picos de cada classe. Os limites para figura, serão, 60, 125 e 162.5 (quadro 1).

Quadro 1 – Limites de classificação com base nos picos do histograma (adaptado de Verbyla, 1995)

CLASSE ESPECTRAL	GAMA DE VALORES DIGITAIS	COR DEFINIDA
1	<60	Azul
2	61 A 125	Verde-escuro
3	126 A 162	Amarelo
4	>162	Castanho

A etapa final será classificar a imagem original baseada nestas regras de classificação.

Cada pixel seria atribuído a uma classe segundo o seu intervalo correspondente. Se um pixel tiver um valor de 140, seria atribuído à classe três e atribuída a cor ‘ amarela. A classificação não-supervisionada com base no histograma pode ser aplicada para imagens multi-espectrais. Por exemplo, numa imagem de duas bandas, os picos do histograma seriam semelhantes a colinas (picos de dois tamanhos). Com sete bandas espectrais, haveria sete picos no histograma, em que a distância espectral poderia ser calculada matematicamente (Verbyla, 1995).

Classificação Supervisionada

A estratégia base na classificação supervisionada passa por recolher amostras de áreas de coberturas conhecidas de modo a criar áreas de valores espectrais representativos de cada tipo de cobertura de solo. As áreas de amostragem utilizadas são denominadas áreas de treino e os seus valores representativos chamam-se assinaturas espectrais (Verbyla, 1995). Este método de classificação é considerado mais preciso que os métodos não-supervisionada.

Para explicar este processo, considere-se cinco faixas de dados de uma imagem de satélite. A Figura 6; mostra uma linha de recolha de dados numa paisagem com vários tipos de coberturas de solo. Os números típicos digitais de seis tipos de cobertura são mostrados. As barras verticais indicam as intensidades relativas em cada faixa espectral; portanto, os histogramas representam uma descrição da resposta espectral dos vários tipos de cobertura do terreno ao longo da linha de digitalização. Se esses padrões espectrais são suficientemente distintos para cada tipo de cobertura, poderão constituir a base para a classificação da imagem.

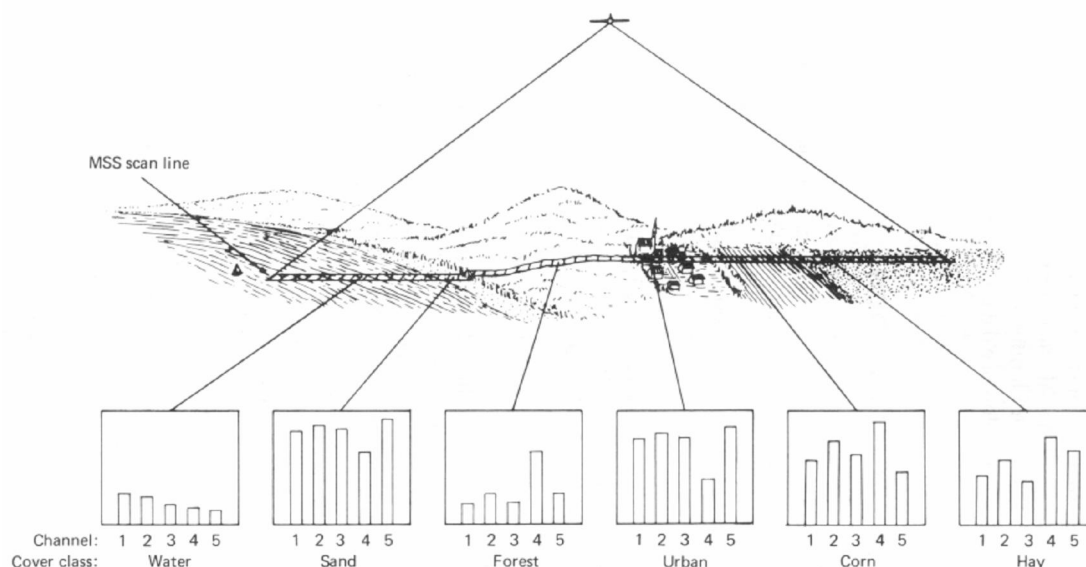


Figura 6 – Medições efectuadas pelo LandSat ao longo de uma linha de solo (Simpson, 2002).

Existem três etapas básicas (Fig. 7). nos procedimentos típicos de uma classificação supervisionada

Na fase de treino, o analista identifica áreas de treino representativas e desenvolve uma descrição numérica dos atributos espectrais de cada tipo de cobertura de solo da imagem.

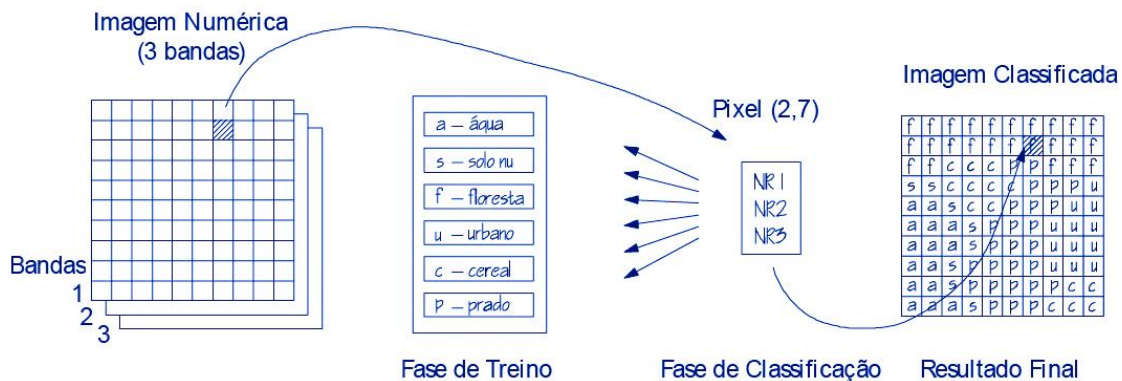


Figura 7 – Passos básicos para a classificação supervisionada (Simpson, 2002).

A fase de classificação consiste em agrupar cada pixel no conjunto de dados da imagem, na classe de cobertura do solo com que este mais se assemelha. Se o pixel não é suficientemente semelhante a qualquer uma das classes é normalmente denominado como ‘desconhecido’. A etapa final, é a fase de saída onde os resultados são apresentados. Isso é feito de várias formas, como mapas temáticos, tabelas de estatísticas e digitalmente para a inclusão em sistemas de informação geográfica (SIG).

2.2 – Veículos Aéreos Não Tripulados

UAV ou Unmanned Aerial Vehicles, ou veículos aéreos não tripulados, são aeronaves remotamente pilotadas ou de voo autónomo com capacidade de equipar sensores, equipamentos de comunicações e carga diversa. Estes aparelhos têm sido utilizados essencialmente como ferramentas de reconhecimento e recolha de informação tanto em situações militares como civis desde a década de 50. Desde o início da Segunda Guerra Mundial, mais de 250 modelos de UAV foram produzidos ou estão em fase de estudo pelo mundo fora (Anexo 1).

Em Portugal a aposta no sector é ainda recente, sendo que a pesquisa a nível das Instituições do Ensino Superior tem-se destacado com alguns protótipos. A Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Leiria e a Universidade da Beira Interior com o *Skyguardian*, a Universidade do

Minho com o *AIVA* e o Instituto Superior de Engenharia do Porto com o *Falcos*, são disso exemplos. O desenvolvimento das tecnologias de comunicações, a vigilância florestal e o combate a incêndios têm sido o mote recorrente e impulsionador do estudo deste tipo de aparelhos em Portugal. A Força Aérea, o Exército e a Marinha Portuguesa têm também acompanhado a evolução tecnológica em parceria com diversas universidades, apresentando modelos como o *ANTEX-M* (Força Aérea/ I. S. Técnico) (Fig. 8) e o *Percursor* (Exército/ U. Aveiro) (Maldonado, J).



Figura 8 – ANTEX-03 E ANTEX-02. Uma colaboração do IST com o exército português.

Os UAV estão nos dias de hoje dispersos pelos mais variados ramos de aplicações sejam militares ou civis.

No ramo militar as missões de reconhecimento e apoio a combate são áreas cada vez mais do domínio dos UAV dado que são actividades que implicam o risco de vidas humanas. Ainda em fase embrionária, o ataque directo a alvos militares foi já registado pelo sistema Predador, o que prevê a utilização massiva destes aparelhos num futuro próximo. Nas fases de treino de artilharia, a utilização de alvos dinâmicos não tripulados vem sendo comum desde os tempos do pós-guerra.

No apoio às actividades civis, os UAV têm vindo a ser estudados para as mais diversas tarefas desde o mapeamento e cartografia, a prevenção de fogos florestais, investigação atmosférica, fotografia e vídeo publicitário e agricultura.

Em geral, actividades que de algum modo possam colocar em risco vidas humanas ou se tornem impraticáveis com a presença de um piloto, podem ter como solução a utilização de um piloto remoto ou automático.

2.2.1 -Classificação

Para além da área de influências, estes aparelhos são classificados pelas suas características técnicas e capacidades. Assim, teremos aparelhos de Asa fixa, Asa flexível, Asa rotativa, de descolagem vertical (VTOL), Drones, e Balões e Dirigíveis.

Pelas capacidades, podemos agrupar os UAV pelo raio de acção, pelo tecto de operações, pela sua dimensão e pela autonomia de voo.

Os UAV diferem ainda pelas inúmeras soluções de lançamento e recolha. A escolha dependerá do cenário de actuação e da dimensão do aparelho. Dentro das hipóteses de lançamento temos a mais comum _ descolagem horizontal em pista, usada para aparelhos de maiores dimensões ou que operam a partir de uma base fixa; em situações que exigem maior mobilidade, efectua-se o lançamento à mão _ para mini e micro UAV, por catapulta, a partir da plataforma de um veículo ou por descolagem vertical no caso dos helicópteros e outros VTOL.

No caso da recolha teremos a aterragem horizontal com ou sem trem de aterragem, recolha por rede _ situação comum nos aparelhos que operam a partir de navios, por pára-quedas ou aterragem vertical no caso dos VTOL.

3 – Materiais e Método

3.1 – Requisitos Técnicos

O objectivo proposto para este trabalho foi, desenvolver um sistema de obtenção de imagens aéreas de grande resolução, passíveis de georreferenciação, com vista à sua utilização no mapeamento e acompanhamento de parcelas agrícolas, de modo a complementar a informação disponível para o gestor agrícola.

Como objectivo secundário, e de modo a verificar as funcionalidades do sistema, foi proposta a observação e análise de culturas, recorrendo às imagens adquiridas.

Assim, revelou-se necessário desenvolver uma plataforma aérea remota capaz de obter imagens de grande resolução, obedecendo aos seguintes requisitos:

Capacidade de actuação em cenário rural

A questão da necessidade de uma superfície de descolagem e aterragem para uma aeronave foi um dos problemas apresentados neste domínio. As características inerentes aos nossos campos agrícolas, com caminhos não asfaltados muitas vezes bordoadas por arvoredo, linhas de alta tensão e telefónicas, pedem um sistema que necessite de um curto espaço para se elevar, sem interferir com estes obstáculos. Ao mesmo tempo, o sistema teria de ser robusto de modo a suportar aterragens em zonas longe de ideais para tal, e capaz de suportar toda uma panóplia de poeiras, lama e detritos usualmente observados neste cenário.

Simplicidade e rapidez de operação

Ao problema anterior apresentou-se como favorável ao objectivo, um sistema de elevação vertical, tal como balões atmosféricos ou os modelos de aeronaves de descolagem vertical como os helicópteros ou os VTOL (Vertical Take Off and Landing).

As experiências com envelopes cheios de hélio revelaram-se desadequadas, já que estando à mercê do vento, não seria possível coordenar os pontos a fotografar. A tentativa de manter a sua posição espacial através de cabos, resultou numa fraca elevação do sistema e ampliou as dificuldades de operação.

Os modelos de descolagem vertical, embora amplamente utilizados nas mais diversas áreas, revelam-se demasiados dispendiosos, vulneráveis e complicados de operar, sobretudo a partir das altitudes alvo que permitem o tipo de fotografia desejada.

O modelo teria, portanto, de permitir descolagens verticais ou curtas, aterragens nos mesmos moldes, em terreno desfavorável e com um comportamento em vôo suave e lento de modo a permitir imagens de grande qualidade. Teria ainda de ter uma grande visibilidade de modo a poder ser compreendido e controlado a grandes altitudes pelo operador no solo.

Apresentação dos resultados num curto espaço de tempo

A escolha de um modelo pilotado remotamente permite realizar várias acções de aquisição de dados sobre determinada parcela num curto espaço de tempo.

A informação registada pode ser recuperada do modelo e processada no local.

Permitir correcções e verificações em tempo útil

A visualização imediata dos resultados permite que em caso de necessidade se possa repetir o processo, de um modo simples e sem aumentar os custos inerentes ao serviço.

Investimento

Manter o investimento a níveis aceitáveis foi uma das metas deste projecto. Isso implica um sistema simples, robusto, de fácil manutenção e composto maioritariamente por componentes acessíveis, de modo a permitir reparações e manutenções rápidas e pouco dispendiosas.

3.2 – Projecto

Neste projecto as fases de estudo e construção do protótipo apresentaram-se como as maiores consumidores de tempo. As escolhas referentes ao tipo de modelo, aos materiais a empregar na construção e às técnicas por vezes mal dominadas, definiram os avanços e recuos na elaboração do trabalho.

A segunda fase deste projecto, a análise espectral das culturas, fica dependente do sucesso da plataforma na aquisição de imagens sem as quais não poderia ser realizada.

3.2.1 - Planeamento

Definido o tipo de modelo a desenvolver, começou-se por uma recolha de informação sobre este tipo de aparelho. Esta recolha recaiu tanto sobre os veículos pára-motores “reais” dos quais se poderia fazer um modelo reduzido, como sobre os modelos de pára-motor existentes no mercado de aeromodelismo (Fig.9).



Figura 9 – Modelos reais de pára-motor (a e b) e modelo à escala (c) (PPUSA, Baylei Aviation, RcGroups, 2008)

A partir desta recolha ficou definida uma configuração base para a estrutura do aparelho, restando estabelecer as dimensões, a motorização, a carga alar e consequente superfície alar, os sistemas a equipar e respectivo peso e volume, o tipo de controlo e o trem de aterragem.

Carga Útil

A carga útil, ou volume e peso do equipamento a transportar, foi definido como sendo 2 câmaras fotográficas, um receptor de GPS (de tipo portátil) e um transmissor de vídeo com respectiva bateria.

Em termos de volume o equipamento ocupa um espaço reduzido, mesmo tendo em atenção que a sua montagem tem de acentar num sistema de amortecimento de impacto o qual deve ser instalado a uma certa distância do motor de modo a evitar vibrações nefastas à captura de imagens. O peso total do equipamento foi estimado em não mais de 1,5 quilogramas.

Estrutura

Conhecido o volume do equipamento a instalar, deu-se início ao dimensionamento da estrutura. Para além dos inúmeros esboços, foi realizada uma maquete em tamanho real recorrendo a perfis de plástico, dado ser este um material fácil de trabalhar e pouco dispendioso. Este processo permitiu ter uma primeira visualização do modelo e foi extremamente útil nos primeiros passos de construção da estrutura.

Carga Alar e Área Alar

Terminada a estrutura e montadas as rodas, fez-se uma estimativa do peso de modo a calcular a carga alar e por conseguinte a área de sustentação.

Dadas as características do modelo, foi adoptada uma folha de cálculo usada geralmente em aeronaves de asa convencional (Quadro 2).

Quadro 2 – Wing Cube Loading. Cálculo da carga alar (Basset, J., 2002).

Wing Area = sq. in. WCL = $\frac{\text{Weight (oz.)}}{(\text{Wing Area (sq. ft.)})^{1.5}}$

Weight = oz.

Wing Area = dm²

Weight = g

Wing Loading = oz. / sq. ft. g/dm²

Wing Cube Loading =

Suggested suitable values for WCL are:

Gliders	-	under 4
Trainers	-	6 to 7
Aerobatic	-	9 to 10
Scale	-	12 to 13
Racers	-	15 and over

A partir da carga alar determinou-se a superfície mínima de sustentação para o modelo. Dadas as características de voo, foi adoptado um índice relativo a planadores.

A superfície de sustentação, uma asa flexível do tipo “para-foil”, foi adaptada a partir de uma asa comercial, destinada ao treino de Kyte-surf, cedida para os primeiros ensaios. Esta asa, com

dimensão inferior à calculada (3,2m² ao invés dos 5,0m²), confirmou os cálculos e revelou-se insuficiente para o objectivo traçado.

Materiais

Os materiais à disposição para este trabalho não poderiam ser mais diversos. Das fibras de carbono e vidro, ao aço e ligas de alumínio, passando pelos perfis redondos de plástico e acrílicos.

Seguindo as directivas de robustez, simplicidade e recursos financeiros escassos, procedeu-se à eliminação de materiais:

_ Fibras de carbono e vidro – As fibras de carbono revelaram-se demasiado dispendiosas, pouco resistentes excepto quando organizadas em estruturas complexas e com uniões fracas quando submetidas a vibrações intensas. Já as fibras de vidro, muito menos dispendiosas, apresentam-se pesadas e quebradiças quando sujeitas a impacto.

_ Plástico – Com a construção da maquete em plástico, tornou-se claro que este seria um material demasiado frágil e maleável para suportar um motor de combustão, sendo que o acrílico, embora mais resistente, revela-se extremamente pesado para o efeito pretendido.

_ Aço e ligas de alumínio – O aço, apresentado em perfis redondos das mais variadas secções e espessuras, tem a vantagem da enorme solidez e da facilidade com que se trabalha. O alumínio, por seu lado, marca pontos pelo peso reduzido e força estrutural, embora seja bastante difícil de trabalhar. A união por soldadura fica limitada a unidades industriais especializadas em soldadura TIG, que cobram bastante pelo serviço, criando assim entraves à experimentação.

Nesta primeira fase de construção optou-se por sacrificar o peso do modelo utilizando perfis redondos de aço.

Equipamento de imagem

O sistema de aquisição de imagens foi, durante os ensaios, constituído por uma câmara digital Olympus Fe-100 de 4,0 Megapixeis e uma lente de 17,4mm, sendo posteriormente substituída por uma Pentax Optio-Z10 de 8,0 Megapixeis equipada com uma lente de 44 mm (Fig.10).

A qualidade das imagens obtidas, a capacidade de armazenamento e o baixo peso relativo, aliados a um custo decrescente, tornam este tipo de câmaras o instrumento ideal para integrar

plataformas aéreas não pilotadas. Durante os ensaios deste projecto não foi possível testar a banda de NIR devido aos custos inerentes a uma câmara sensível ao infravermelho próximo



Figura 10 – Câmaras digitais Olympus Fe-100 e Pentax Optio Z10.

3.3 – Construção e Ensaios

A estrutura foi realizada a partir da maqueta previamente elaborada, segmentando os perfiz de aço e unindo-os posteriormente através de soldadura (Fig. 11).

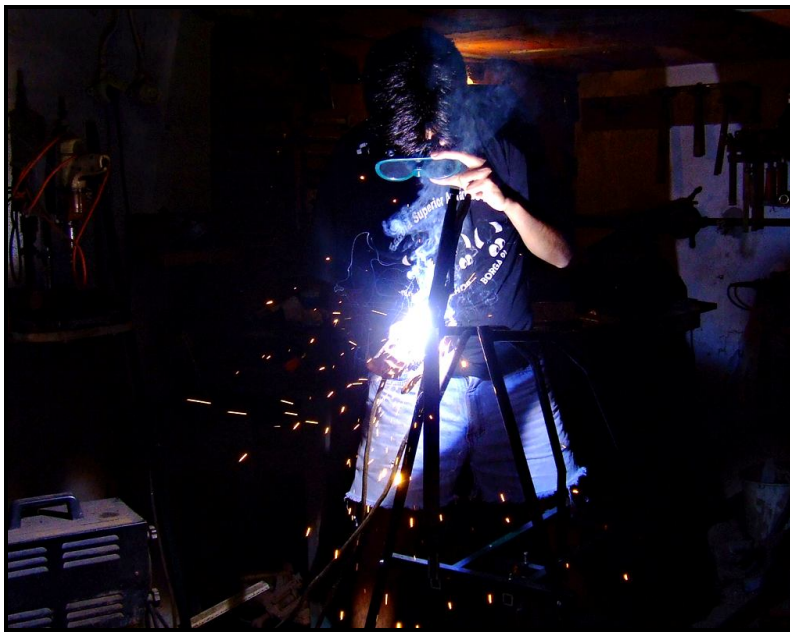


Figura 11 – Construção da estrutura em aço tubular.

Acabada a estrutura, foram realizadas as furações para os pontos de apoio dos restantes componentes (Fig. 12).



Figura 12 – Aspectos da estrutura terminada na primeira fase de construção.

Trem de aterragem

Para o trem de aterragem, obedecendo aos princípios de operacionalidade, procurou-se no mercado rodas pneumáticas, de tamanho considerável que pudessem fazer frente às irregularidades do terreno, proporcionando ainda, algum efeito de amortecimento para o modelo. Foram ainda tidos em conta, o peso e a presença de rolamentos selados que aumentam a durabilidade dos eixos. As rodas foram montadas na estrutura recorrendo a eixos maquinados em aço.

Motorização

A unidade motriz eleita foi um motor de combustão a dois tempos alimentado a gasolina, de arranque manual, com uma potência declarada de 3,4cv, para o qual não dispunha da curva de potência.

Segundo os cálculos efectuados (Quadro 3), esta motorização seria suficiente para elevar a carga alar estabelecida.

O depósito de combustível, é um modelo comercial, com 0,5 litros de capacidade.

Quadro 3 – Folha de Cálculo de Motorizações (Swart, W., 2008)

<input type="text" value="bcr"/>		Name of the plane		
<input type="text" value="5000"/>	mm	Specify span		
<input type="text" value="500"/>	dm2	Specify wing area		
<input type="text" value="6000"/>	g	Specify weight		
<input type="text" value="1"/>		Specify a shape factor		
<input type="text" value="3"/>	m/s	Specify the required climb		
<input type="button" value="Calculate Step 1"/>				
		Recommended maximum wing loading for a combustion motor model	<input type="text" value="268"/>	g/dm2
		Recommended maximum wing loading for a electric motor model	<input type="text" value="214"/>	g/dm2
		Wing loading for configuration specified	<input type="text" value="12"/>	g/dm2
		Minimum sink rate	<input type="text" value="0.07"/>	m/s
		Watts required for level flight	<input type="text" value="6"/>	W
		Watts required for requested climb	<input type="text" value="264"/>	W
		Minimum watts based on 100W per kg rule	<input type="text" value="600"/>	W
		Maximum Watts required for take-off	<input type="text" value="840"/>	W
		Watts required for adjustment of 1 m/s	<input type="text" value="86"/>	W
<input type="text" value="264"/>	W	With this power the further calculations will be done		
		Prop diameter (Minimum)	<input type="text" value="17.5"/>	inch
		Prop diameter (Recommended)	<input type="text" value="19.5"/>	inch
<input type="text" value="19.5"/>	inch	With this propeller diameter the further calculations will be done		
		Prop pitch (Minimum) 50% of diameter used for a dragger	<input type="text" value="10"/>	inch
		Prop pitch (Recommended)	<input type="text" value="18.5"/>	inch
		Prop pitch (Maximum) 90% of diameter used for a hotliner	<input type="text" value="17.5"/>	inch
<input type="text" value="18.5"/>	inch	With this propeller pitch the further calculations will be done		

Hélices

De acordo com a motorização estabelecida, a hélice a utilizar deveria ser uma hélice de empurrar (Tipo “push”), com medida entre 17,5 a 19,5 polegadas (Quadro 3) de diâmetro na rotação. Disponível no mercado encontrou-se apenas uma dentro destes parâmetros com 18 polegadas de diâmetro. Um dos factores que mais atrasos provocaram no desenvolvimento deste projecto foi a pouca disponibilidade deste produto no mercado. De facto, apenas um fornecedor internacional se mostrou disponível para comercializar este tipo específico de hélice. Com um prazo de entrega de 2 meses e com a grande quantidade de hélices danificadas (Fig.14) durante os ensaios, rapidamente se chegou à conclusão que seria necessário procurar outra solução. Há falta de fornecedor eficaz e a um custo acessível, o problema resolveu-se com a construção de um pantógrafo (Fig. 13) com vista à fabricação das hélices.

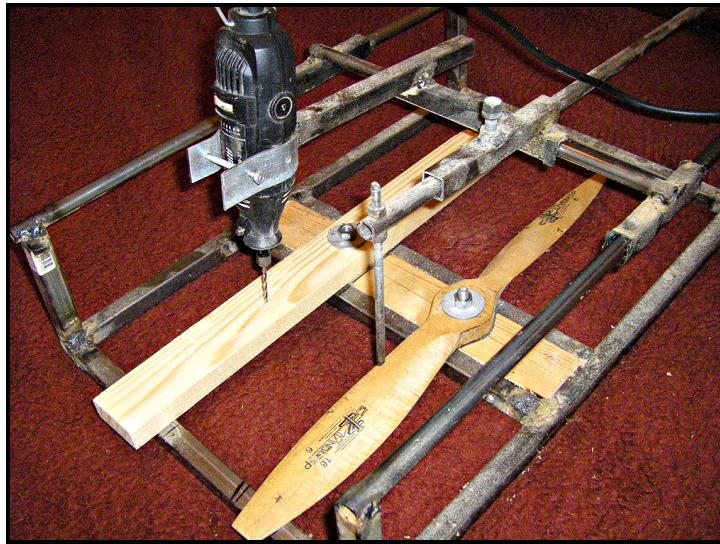


Figura 13 – Pantógrafo tridimensional construído para dar resposta à necessidade de hélices.

A partir deste ponto, sempre que uma hélice se danificava num ensaio, prontamente se construía uma substituta, dando novo ânimo ao avanço do projecto (Fig. 14).



Figura 14 – Algumas das hélices danificadas durante os ensaios de voo.

Controlo e comunicações

Estabeleceu-se para o controlo do aparelho, um transmissor FM. Através de diferentes canais de frequências de rádio os comandos são transmitidos a um receptor a bordo, que por sua vez transmite as ordens a servo-actuadores eléctricos controlando o regime do motor, a posição dos cabos de controlo da asa e os comandos inerentes ao sistema fotográfico (Fig. 15).

Foi escolhido um emissor de aeromodelismo na banda dos 35 Mhz, com base nos canais de frequências necessários ao modelo, a sua capacidade de evolução, e o valor comercial do mesmo.

Para alimentar o sistema foram adoptadas baterias de Níquel Cádmio que embora mais pesadas que as de Lítio, não apresentam os mesmos riscos de incêndio em caso de dano.

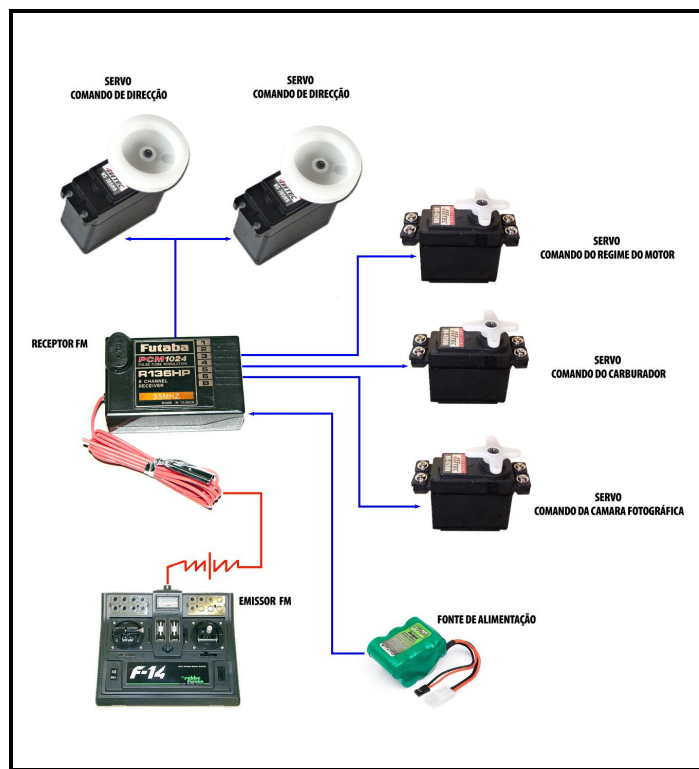


Figura 15 – Esquema do Sistema de Comunicações.

3.3.1 - Ensaios

Para os primeiros testes foi escolhida a região da lezíria de Vila Franca por uma questão de proximidade ao local onde foi construído o aparelho e por apresentar uma zona ampla, sem obstáculos naturais ou humanos que poderiam potenciar acidentes (Fig.16). Esta área contém todos os elementos que se pretendem para efectuar os ensaios de campo, culturas anuais diversificadas e caminhos rurais para as manobras no solo.



Figura 16 – Lezíria de Vila-Franca, local dos primeiros testes de campo.

1.º Ensaio

No primeiro teste, começou-se por verificar os procedimentos de solo, de modo a facilitar e uniformizar todos os testes posteriores.

O sistema de fotografia e de GPS foi excluído dos primeiros ensaios por uma questão de segurança.

Após verificação dos componentes, foi colocado o motor em marcha e fez-se avançar o aparelho.

O solo, coberto por feno recentemente cortado (Fig. 17), representou uma grande resistência ao deslocamento, não garantindo, o regime máximo do motor, velocidade suficiente para insuflar a asa flexível.

Testado em solo compacto, o modelo ganhava velocidade, ainda que insuficiente para garantir uma descolagem.



Figura 17 – Aspecto do local do primeiro ensaio.

A conclusão retirada deste primeiro ensaio foi de que o empuxo, provocado pelo sistema motriz que seria suficiente em voo, onde o sistema é mais eficiente, não o era no solo onde o atrito provocado pelas rodas e pela asa, reduziam a velocidade de avanço do aparelho.

Duas opções se apresentavam, diminuir o peso bruto do modelo ou eleger um novo motor mais eficiente. Em resposta, substituiu-se a estrutura frontal do modelo por alumínio, reduzindo-se o peso total do aparelho.

A substituição da estrutura de aço por alumínio, total ou parcialmente constituiu um problema, já que os 2 materiais não ligam entre si. A falta de possibilidade efectuar soldadura TIG representou um entrave à criação de uma estrutura de liga leve pelo alto custo que esta

representa. Um outro ponto, é o da resistência. Em caso de danos estruturais, o valor das reparações seria sempre substancial.

Optou-se por uma construção mista, mantendo a estrutura em aço nas zonas de maior esforço de modo a dar alguma protecção ao motor e electrónica e substituindo a zona de carga por alumínio o que resultou numa substancial redução do peso bruto do aparelho. A ligação entre perfis foi realizada através de encaixes, tornando as reparações simples e pouco dispendiosas.

2.º Ensaio

Com o peso do aparelho reduzido, fez-se um pequeno ensaio para avaliar a velocidade de deslocação. Desta vez a rolar num relvado, o modelo ganha velocidade e infla a asa, mantendo-a em posição de voo. A roda frontal ergue-se do solo e o modelo demonstra sustentação sem, no entanto, descolar. A distância a percorrer para sair do solo revela-se proibitiva em relação aos objectivos traçados.

Conclusões a retirar, como os cálculos haviam demonstrado, a superfície alar da asa de teste é insuficiente. Tornou-se necessária a aquisição de uma asa de dimensões apropriadas levando a um aumento da superfície alar passando de $3,2\text{m}^2$ para $4,7\text{m}^2$, medida escolhida por estar limitado aos tamanhos comerciais disponíveis (Fig. 18).



Figura 18 – Nova estrutura com secção frontal em alumínio e asa de 5m².

3.º Ensaio

O terceiro teste de voo, evidenciou um binómio crítico para a capacidade de descolagem: Carga alar vs Força motriz.

As fórmulas teóricas utilizadas desprezam o atrito inicial no cálculo da carga alar. Factor este que aumenta exponencialmente com as dimensões da asa, no caso das asas “flex”.

O teste realizou-se em terra batida. O modelo começa por ganhar velocidade, mas com a asa a 45°, o motor revelou-se impotente para vencer o atrito criado por esta.

Demonstrada a necessidade de maior força de tracção por parte do sistema propulsor para este modelo, realizaram-se testes de bancada com vista a seleccionar um hélice com o diâmetro e passo que maior empuxo produzisse. Objectivo, conseguir cerca de 5kg de empuxo.

Não existindo curva de potência, foram experimentados 4 hélices (18x6, 18x8, 20x6 e 20x8) e feita a leitura das rotações do motor (RPM's) no regime máximo de modo a determinar o ponto de maior potência do mesmo. Registou-se que o hélice de medida 18x6 atingia rotações mais altas, revelando-se mais eficiente e produzindo um maior empuxo que os hélices de maiores

dimensões. A tracção registada quedou-se, no entanto, por uma média de 4kg, revelando-se insuficiente para uma descolagem eficaz.

A solução para este problema foi encontrada a partir de um teste efectuado com um novo motor. Mais leve, mais potente e com um regime de trabalho mais amplo.

4.º Ensaio

O novo sistema propulsor, um motor Fuji-Imvac BT34G, equipado com um hélice 18x6, revelou-se muito rotativo na bancada de trabalho que o anterior. Os primeiros testes, ainda em rodagem, revelaram uma força de tracção de 6 kg, para um peso 30% inferior.

Para este ensaio, foi escolhida uma área de pastagem, com vegetação baixa, onde o aparelho, anteriormente, não havia conseguido desenvolver velocidade.

Desta vez, porém, o modelo ganhou velocidade e descolou em poucos metros (Fig.19), ganhando altitude rapidamente. A atitude em voo revelou-se instável, com o modelo a oscilar violentamente sobre o centro de gravidade (Fig.20). Os comandos de direcção não obtiveram qualquer resposta e o modelo descreveu uma curva aberta pela direita.

Reduzindo o regime do motor, o aparelho desceu suavemente, embora bastante afastado do ponto inicial. Com a excepção de um hélice quebrado pelo terreno irregular, não se observaram mais danos.



Figura 19 – 4.º Ensaio. O aparelho ganha velocidade e descola em cerca de 20 metros.



Figura 20 – Neste ensaio o voo revelou-se instável com o modelo a oscilar sobre o centro de gravidade.

5.º Ensaio

Com o modelo a conseguir descolar, as metas seguintes foram a capacidade de controlo da direcção e da estabilidade do aparelho. Para tal efectuaram-se sucessivos ajustes dos cabos de direcção. O ponto óptimo de ajuste destes cabos revela um compromisso entre a geometria da asa flexível e o controlo direccionado do aparelho. Ou seja, se muito justos os cabos, obtém-se uma capacidade efectiva de direccionar o modelo, mas perde-se força ascensional. Se muito largos; obtém-se uma capacidade ascensional muito favorável, mas perde-se em controlo direccionado.

Foram realizados diversos voos com resultados diversos mas pouco satisfatórios. As aterragens algo acidentadas na pastagem, não produziram danos relevantes.

Durante este ensaio, introduziu-se um sistema fotográfico provisório de modo a trabalhar com o peso semelhante ao exigido em trabalho.

6.º Ensaio

Este teste teve lugar na lezíria de Benavente, a partir de uma estrada rural com cerca de 3 metros de largura (Fig. 21).



Figura 21 – Descolagem a partir de caminho rural.

O aparelho acelera ligeiramente cruzado com o caminho, descola e ganha altitude rapidamente embora algo instável. Uns instantes para estabilizar e uns pontos de ajuste nos comandos de direcção produziram um voo estável e controlado durante cerca de 10 minutos, realizando um padrão circular para a esquerda e para a direita do terreno.

A aterragem decorreu suave e alinhada com a estrada, necessitando o modelo de um curto espaço para se imobilizar.

Reabastecido o aparelho, instalaram-se as baterias de alimentação do sistema fotográfico e o receptor de satélite num total de 380 gramas.

Nova descolagem, desta vez a acusar a introdução do peso, ganha altitude com forte deriva para a direita. Não responde aos comandos e afasta-se em curvas apertadas sobre a direita. Dado o comando de aterragem, esta efectua-se por trás de uma cortina de arvoredo suavemente e sem danos. Recuperado o aparelho, verificou-se um deslocamento da barra de sustentação da asa, o que terá provocado o desequilíbrio do modelo.

7.º Ensaio

Este teste consistiu no retirar da barra de sustentação da asa, por uma questão de simplicidade do modelo e de economia de peso.

A taxa de ascensão melhorou consideravelmente, perdendo-se, no entanto, a estabilidade natural do modelo. Regista-se uma oscilação violenta sobre o centro de gravidade da qual não se consegue recuperar (Fig. 22). O modelo não obedece aos comandos e “mergulha” numa curva apertada, sobre o nariz a cerca de 20 metros de altura.

Os danos resultantes foram consideráveis. Toda a secção frontal do aparelho foi destruída. Os instrumentos a bordo não sofreram qualquer dano (Fig. 23).



Figura 22 – 7.º ensaio. O modelo mergulha após oscilação lateral grave.



Figura 23 – Apesar da violência do embate os danos restringiram-se à secção frontal.

A reparação do aparelho revelou-se rápida e simples, passando pela substituição da secção de alumínio e do eixo frontal.

A análise das imagens captadas durante o ensaio revelou que sem a barra, o perfil da asa altera-se, retirando estabilidade ao modelo.

Reinstalada a barra de sustentação da asa flexível, procurou-se, durante os testes seguintes, ajustar os cabos de direcção para um melhor controlo do aparelho. Verificou-se ainda o comportamento do modelo em situações de vento moderado e forte.

3.3.2 - Primeiras imagens

Tendo conseguido alguns voos relativamente satisfatórios, procurou-se capturar as primeiras fotografias aéreas (Fig. 24 e 25).

Acrescentou-se um 5.º canal de transmissão de rádio, de modo a comandar o obturador da câmara fotográfica.

Estas primeiras imagens, ainda longe do objectivo traçado, permitiram ver a potencialidade do aparelho, e o objectivo passou a ser ganhar altitude, com vista a uma maior abrangência de área por imagem capturada.



Figura 24 – Plantação de arroz onde foram obtidas as primeiras imagens aéreas.



Figura 25 – Primeira imagem captada pelo sistema.

3.3.3 – Redimensionamento

A estrutura relativamente grande do aparelho representava alguns contratempos na lide habitual do aparelho, como o transporte, o armazenamento e as deslocações em espaços confinados. Assim, e aproveitando a possibilidade de uma redução de peso, redimensionou-se toda a estrutura, diminuindo o tamanho global do aparelho. O transporte e maneo foram muito facilitados com esta alteração, tendo-se ainda reduzido o peso total do modelo para 7 kg. Este decréscimo de peso veio também contribuir para uma taxa de elevação superior e por conseguinte, descolagens mais curtas.

Os testes seguintes tiveram como objectivos, melhorar as características de voo do aparelho e recolher imagens de culturas de modo a aperfeiçoar o mapeamento (Fig. 26).



Figura 26 – Aspecto do aparelho em voo.

3.4 – Segurança

Os aspectos da segurança do operador no manuseamento do sistema, ficam restritos ao momento de colocar o motor em marcha, em que o operador é obrigado a contactar com o hélice do aparelho. A utilização de luvas ou de um arrancador eléctrico torna-se obrigatório.

Durante o decorrer das operações, os riscos são transferidos para o aparelho, podendo este sofrer embates com o solo ou com obstáculos. Durante os ensaios registaram-se os mais variados incidentes (Fig. 27), em que ficou patente a solidez e a facilidade de recuperação do aparelho em poucas horas de trabalho. Este facto torna-se importante no aspecto de manter uma resolução

temporal elevada, já de si afectada por condições meteorológicas adversas ao voo, nomeadamente condições de vento forte.

No caso de terceiros, a segurança do sistema é relativamente elevada. O seu reduzido peso e as características de voo lento e auto estabilidade tornam-no praticamente inofensivo em caso de acidente. No entanto, será necessário dar conhecimento das actividades às autoridades de segurança da área a estudar, sejam estas, os bombeiros, a polícia ou a protecção civil. Isto para evitar situações de falsos alarmes, já que o modelo é por vezes confundido com o aparelho pilotado, que ao aterrar no campo, provoca o pânico na população local julgando tratar-se de um acidente.



Figura 27 – Múltiplos acidentes durante os ensaios.

3.5 - Aplicações

3.5.1 - Testes

Os ensaios de campo, com vista à obtenção de imagens de parcelas de culturas resultaram em imagens de grande qualidade (Fig. 28 e 29), sem distorções e com um nível de detalhe excelente.



Figura 28 – Imagens capturadas com Olympus Fe-100 de 4,0 Mega pixeis.



Figura 29 – Imagem capturada com Pentax Optio z10 de 8 Mega pixels e pormenor.

A maior dificuldade nesta tarefa revelou-se na área abrangida por cada imagem, obrigando a voar a grande altitude, já que a utilização de lentes de grande angular resultaria na distorção das imagens.

A capacidade do operador visualizar o aparelho a grandes altitudes resulta num limite de operação, que será resolvido com recurso a uma ligação de vídeo em tempo real entre o aparelho e o operador, que poderá pilotar este através de visão remota.

O problema de abrangência das imagens, é contornado realizando passagens consecutivas sobre os objectivos a fotografar. Dado não existir um limite de captura de imagens, pode-se obter um grande número destas e posteriormente descartar as que não interessam, tais como imagens não verticais, desfocadas ou arrastadas pela velocidade de obturação.

A falta de referências da posição espacial do aparelho em relação ao operador e ao solo, quando não utilizada a ligação de vídeo em tempo real, provoca falhas nas passagens sobre os pontos a fotografar. A visualização imediata das imagens ajuda a colmatar a falha, realizando novo vôo sobre os pontos em falta. A deslocação do operador ao longo da área a fotografar, acompanhando o aparelho ajuda a diminuir este factor, resultando em menos repetições de voos e num trabalho mais rápido.

3.5.2 – Pós-Processamento de imagem

Autostich

Após a captura das imagens, e devido à baixa altitude a que as imagens são adquiridas, torna-se necessário utilizar um software específico para juntar as fotos obtidas num mosaico com vista ao mapeamento total da área em questão. Para esse efeito foi utilizado o programa Autostich versão

2,2 desenvolvido por Mathew Brown e David Lowe da Universidade de British Columbia (Fig. 30).

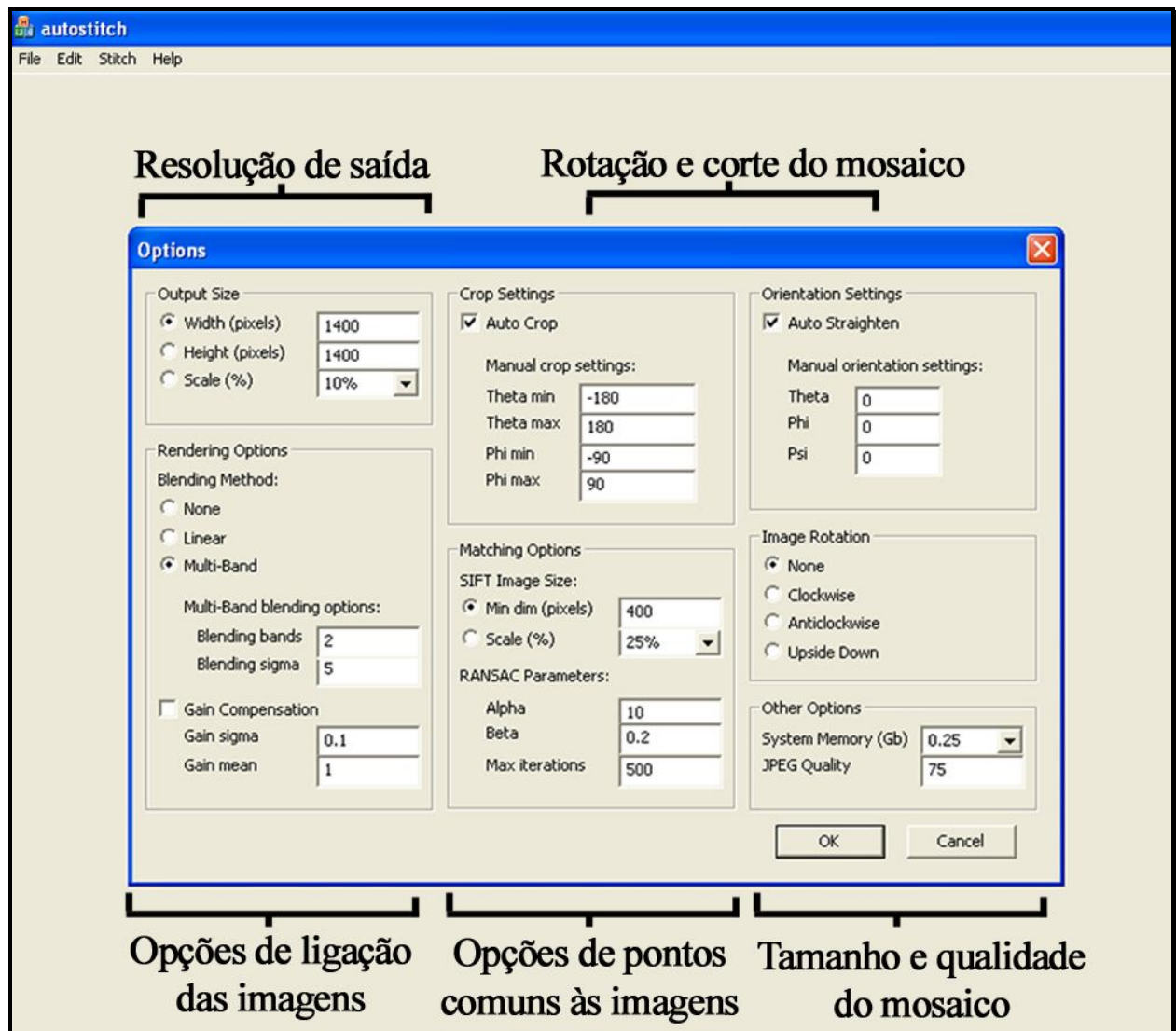


Figura 30 – Painel de configuração do programa Autostitch.

Depois de introduzidas as opções de configuração, carregam-se as imagens previamente sujeitas a uma selecção com vista a eliminar as que não se apresentam verticais ao plano do solo. O programa efectua uma busca dos pontos comuns às imagens e junta-as em mosaico de acordo com as opções introduzidas.

Para que estes pontos de coincidência existam em quantidade suficiente, há que fotografar com uma determinada sobreposição das imagens, sobreposição essa estimada entre 20 e 40% em cada passagem. Este software apresentou melhores resultados quando introduzido um pequeno número de imagens. Distorções nas imagens, sombras, inclinações ao plano do solo e imagens

tremidas ou arrastadas, dificultam o processo de busca de pontos comuns, conduzindo a colagens defeituosas ou distorcidas.

A utilização deste tipo de software reduz um pouco a qualidade das imagens obtidas, tanto mais quanto menor for a qualidade destas. De modo a reduzir este inconveniente há que respeitar certos pontos:

-Verticalidade das imagens – este tipo de software utiliza pontos comuns para colar as imagens, pelo que as distorce até esses determinados pontos coincidirem (Fig. 31), resultando em imagens desfocadas e geograficamente distorcidas. A verticalidade das imagens pode ser obtida através de um dispositivo de controlo de posição vulgarmente conhecido como “gimbal” que, independentemente da atitude do aparelho, mantém a câmara perpendicular ao solo.



Figura 31 – Distorção do mosaico devido à falta de verticalidade das imagens obtidas.

-Intervalo entre passagens – há que ter em conta a incidência da luz solar durante a captura das imagens. Estas deverão ser adquiridas num curto intervalo de tempo de modo a evitar diferenças de luminosidade entre planos. Este facto não só dificulta a união dos planos como provoca aberrações de luz e sombras no mosaico final (Fig. 32).



Figura 32 – Aberração da luminosidade provocada por diferenças de incidência solar

-Variações de altitude – As diferenças de altitude a que são captadas as imagens provocam problemas de escala. Quando a variação é pequena, o software recorre à ampliação das imagens numa pequena percentagem de modo a fazer coincidir os pontos comuns destas. Se, no entanto, a variação de altitudes for demasiado elevada, os pontos coincidentes não são encontrados, sendo impossível realizar o mosaico.

Apesar do aparelho não incorporar um altímetro, foi possível obter variações mínimas de altitude em passagens consecutivas, dependendo este factor da experiência do operador.

Apesar da redução de qualidade das imagens em mosaico, a qualidade obtida é suficiente para análise, mantendo-se uma resolução elevada (Fig. 33).



Figura 33 – Exemplo de mosaico obtido com recurso ao Autostich. Salvaterra de Magos, Junho de 2008)

Arctview

No processamento geográfico e espacial das imagens obtidas, foi utilizado o software Arctview da ESRI na versão 3,2.

Através do programa Arctview foi efectuada a georreferenciação das imagens, a demarcação e avaliação de áreas das parcelas e das manchas de variabilidade.

Estudo dos Índices de Vegetação

De modo a avaliar a aplicação da plataforma aérea na análise prática de culturas, efectuaram-se ensaios procurando evidenciar zonas de heterogeneidade que foram posteriormente confirmadas no campo. Os estudos sobre índices de vegetação assentam essencialmente na conjugação das bandas do espectro visível com o infravermelho próximo.

Na impossibilidade de obter imagens na banda do infravermelho próximo, testaram-se diversos índices de vegetação a partir das bandas do visível.

Após a recolha de algumas imagens em diferentes tipos de solo e culturas, definiram-se como alvo de ensaio duas parcelas com culturas de regadio distintas. A primeira, uma cultura de azevém para forragem animal regada por uma rampa rotativa e a segunda, uma plantação de cenouras.

A partir destas duas culturas fizeram-se ensaios, de modo a evidenciar áreas de heterogeneidade nas parcelas e posteriormente verificaram-se as mesmas áreas no terreno procurando estabelecer ligações entre o estado das culturas e as imagens capturadas.

Parcela de Azevém.

Enquadramento da Parcela

A parcela de Azevém apresentada neste estudo situa-se na Lezíria Grande de Vila Franca de Xira. Situada a cerca de 25 km de Lisboa, a Lezíria é uma faixa de terreno de forma alongada, limitada pelos rios Tejo e Sorraia, que a contornam sensivelmente a Oeste e a Este, nos concelhos de Vila Franca de Xira e Azambuja (Fig. 34).



Figura 34 – Área de influência do conselho de Vila Franca de Xira.

Mapeamento da parcela

A primeira tarefa a cumprir foi a obtenção de imagens aéreas da cultura. Seguidamente, as imagens foram tratadas de modo a constituírem um mosaico representativo da parcela através do software Autostich. Cerca de 60 imagens foram interligadas neste mapeamento (Fig. 35).

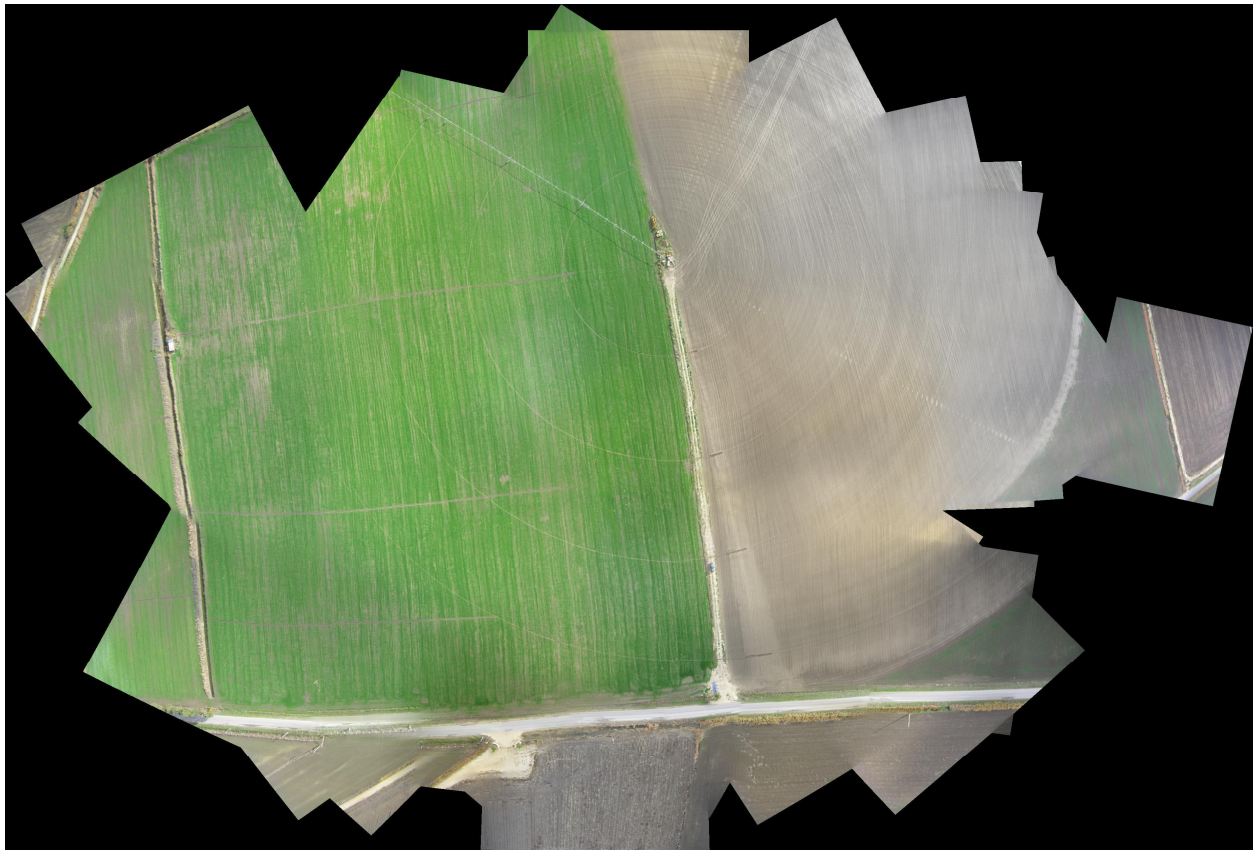


Figura 35 – Mosaico resultante do processamento das imagens pelo Autostich.

Georreferenciação

A partir do mosaico obtido e de pontos de controlo obtidos no campo, procedeu-se à georreferenciação da parcela através do software SIG, Arcview3,2. Para tal, foram obtidas as coordenadas de 3 pontos de controlo na parcela, através de GPS, os quais foram processados recorrendo à extensão “Register & Transform” do programa Arcview. A georreferenciação da imagem, permite obter com relativa exactidão os limites das diferentes manchas, assim como calcular as suas áreas. Esta informação será usada nas confirmações de campo, dirigindo-se o agricultor às zonas afectadas através de um receptor de GPS portátil.

A primeira informação que se pode obter da imagem aérea georreferenciada (Fig 36) é a área da parcela, neste caso de 9,403 hectares.

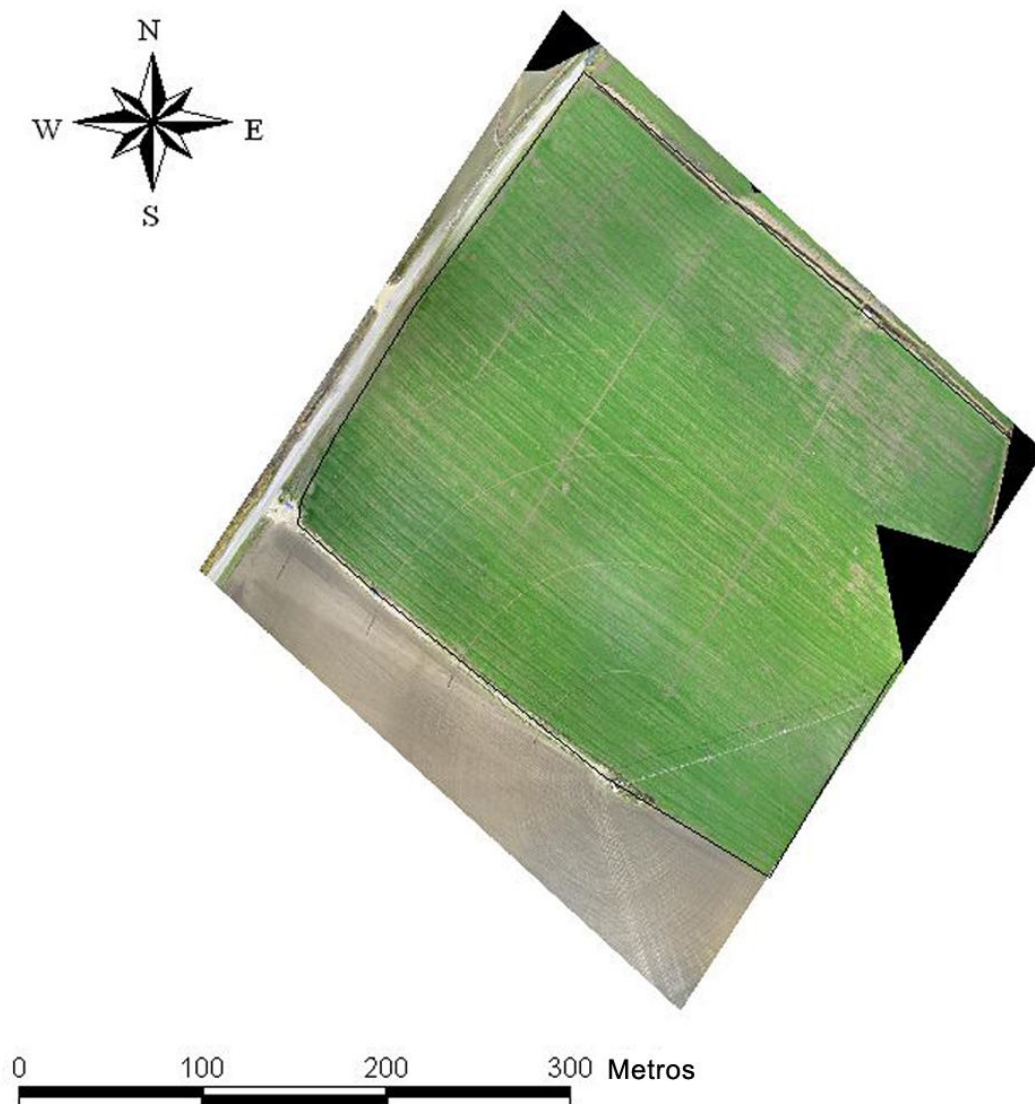


Figura 36 – A área da cultura de Azevém após a georreferenciação, orientada a norte e à escala.

Análise

Após a georreferenciação, converteu-se a imagem para uma grelha, decompondo a imagem nas 3 bandas do visível, vermelho, verde e azul (RGB) (Fig. 37). Como referido anteriormente, as diferentes coberturas do solo absorvem diferentes comprimentos de onda, o que permite, através da separação e recombinação das bandas do espectro, visualizar manchas, que no visível passariam despercebidas.

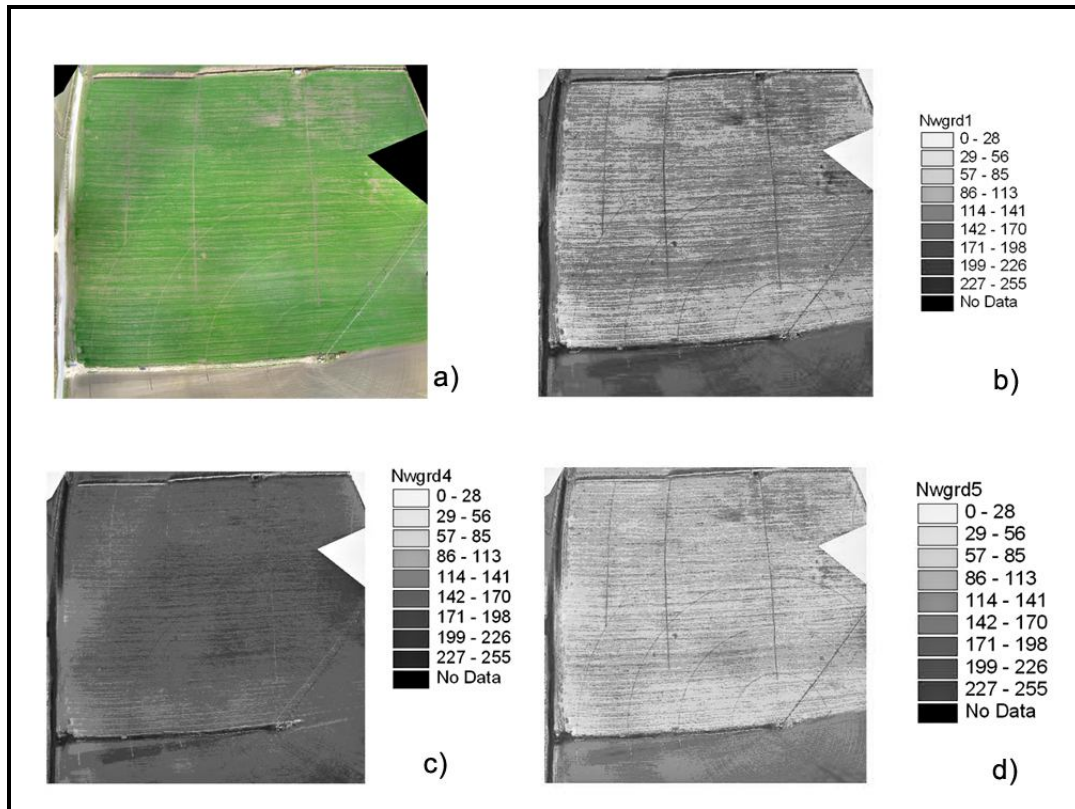


Figura 37 – Imagem da cultura em cor real (a) e decomposta nas bandas do espectro visível, vermelho (b), verde (c) e azul (d).

Através da extensão SpatialAnalyst integrada no programa Arcview, realizaram-se cálculos entre as bandas (Fig. 38) procurando fazer sobressair a variabilidade da cultura.

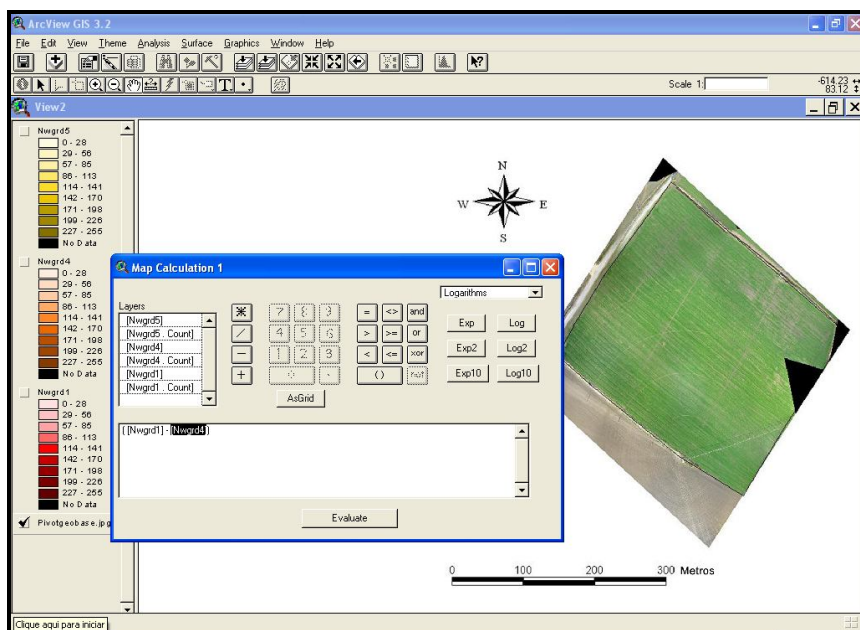


Figura 38 – Cálculo entre as bandas no SpatialAnalyst.

Dos índices aplicados, resultaram diferentes resultados dos quais deixamos alguns exemplos.

O Green Blue Simple Ratio

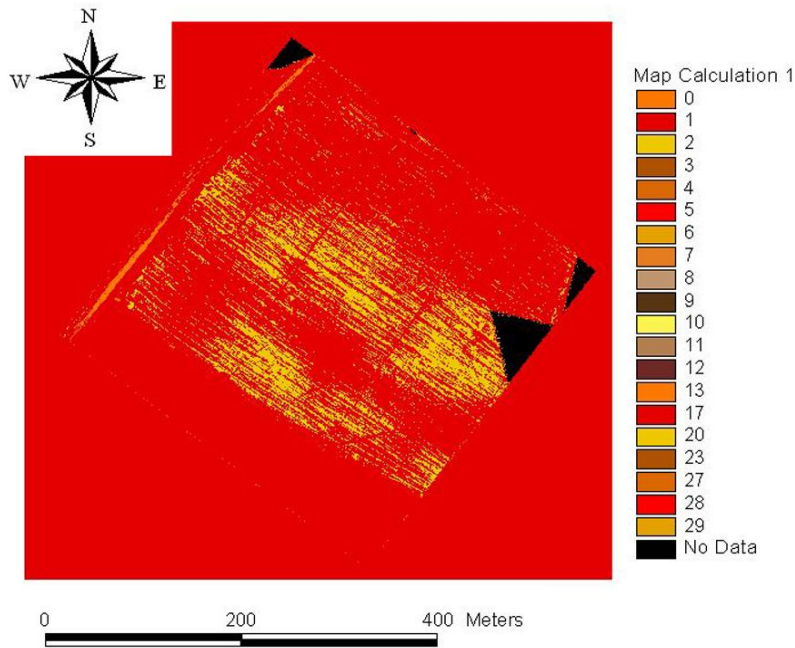


Figura 39 – Green Blue Simple Ratio [Eq. 6]

O Red Blue Simple Ratio

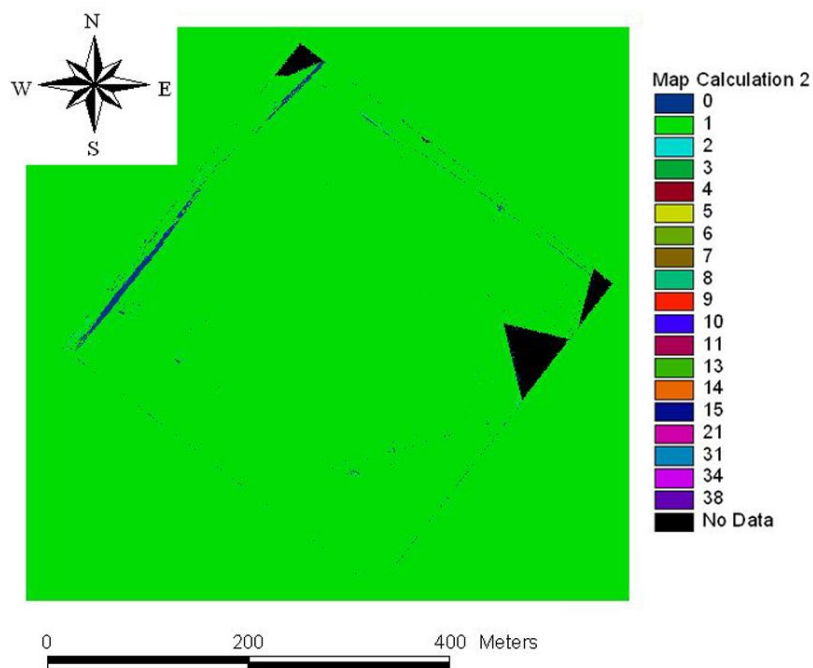


Figura 40 – Red Blue Simple Ratio [Eq. 7]

O Green Red Simple Ratio

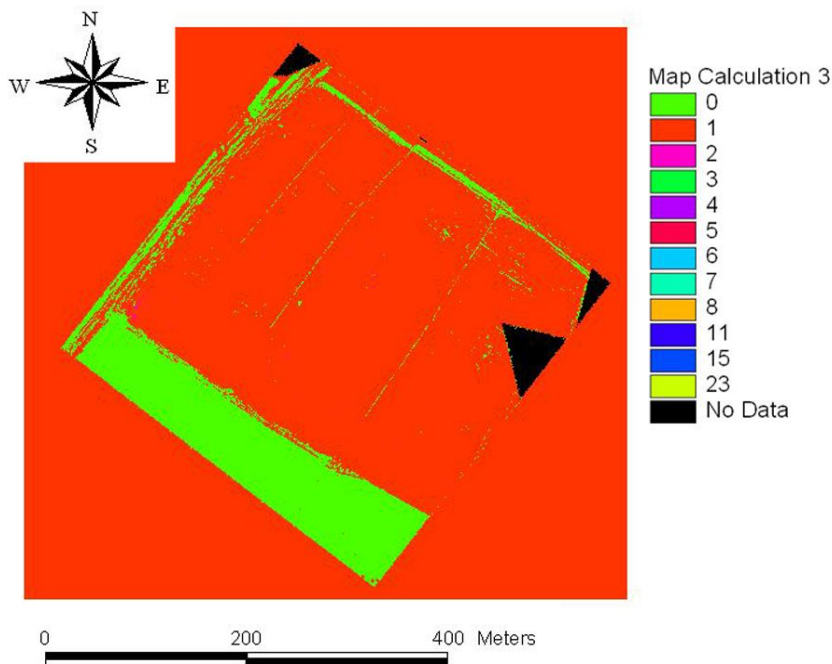


Figura 41 - Green Red Simple Ratio [Eq. 8]

O Normalized Difference Green Red Índice

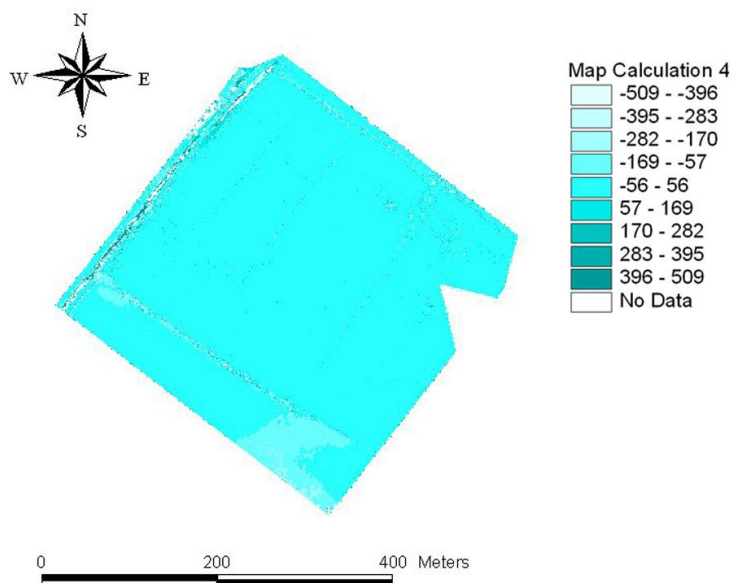


Figura 42 - Normalized Difference Green Red Índice [Eq. 9]

Para além dos ratios entre bandas testou-se também outros cálculos entre as bandas de onde resultou um índice curioso. A subtracção entre as bandas do verde (G) e do azul (B) evidenciou

manchas nítidas de variabilidade espacial na cultura. Como tal escolheu-se este índice (SGB) [Eq. 18] para efectuar a análise das parcelas em estudo.

SGB=VERDE – AZUL

[Eq. 18]

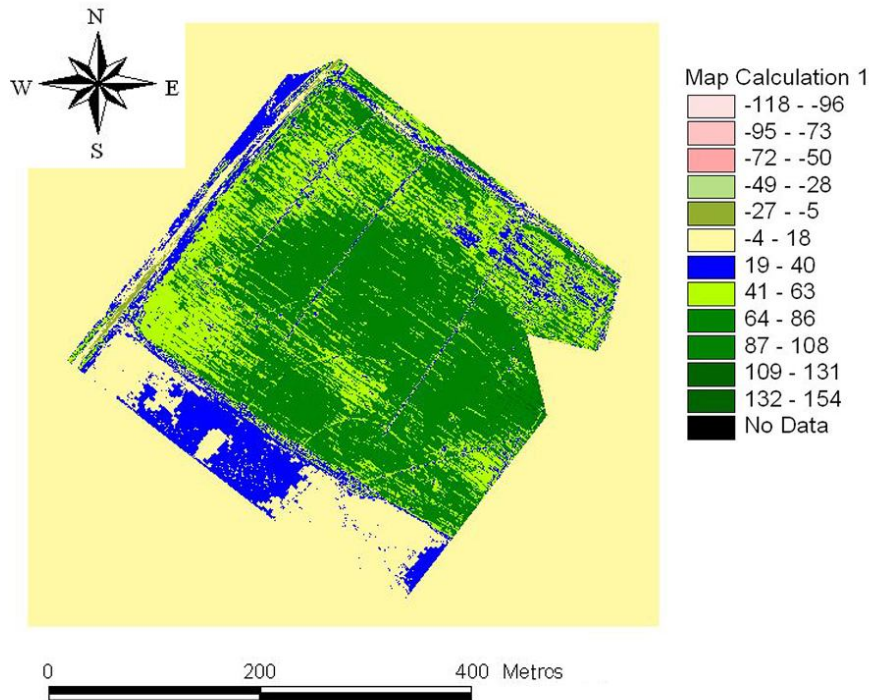


Figura 43 – Índice SGB, subtracção da banda Verde pela banda Azul [Eq.18].

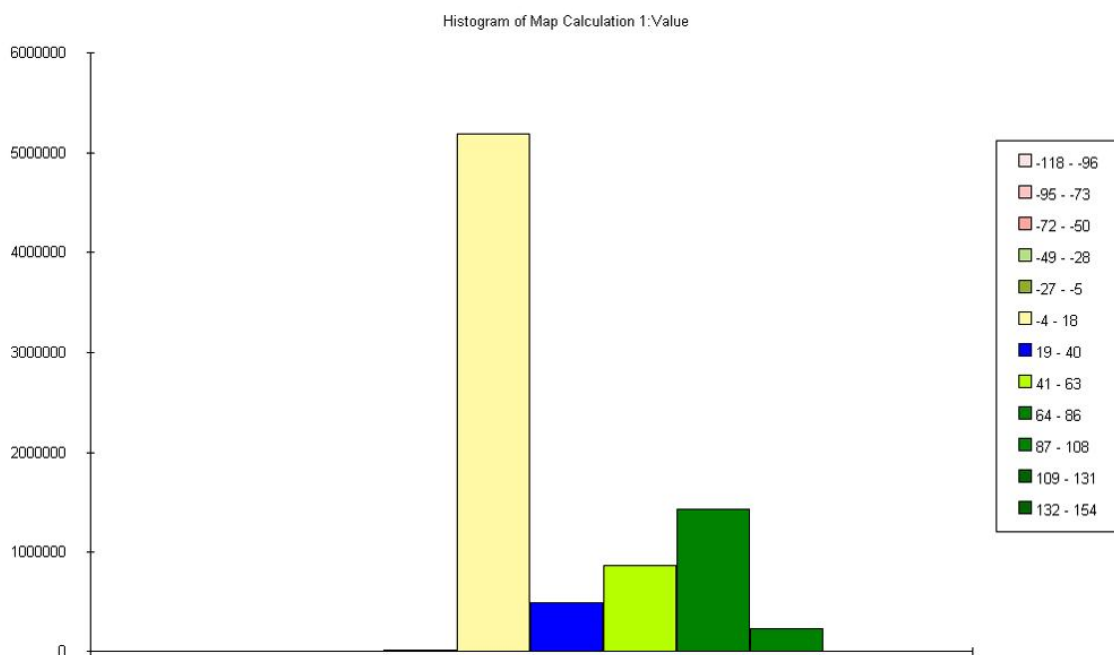


Figura 44 – Histograma da imagem obtida a partir do índice de vegetação SGB.

A faixa de frequências anormalmente alta neste histograma (Fig. 44) representa a margem em branco resultante da rotação da imagem no programa Arcview, pelo que não deverá ser tida em conta na análise da parcela.

Parcela de Cenoura

Enquadramento da parcela

Situada no concelho de Salvaterra de Magos (Fig. 45), Freguesia de Marinhais, esta parcela situa-se junto à Estrada Nacional 118 numa cota baixa, a menos de 1 km do rio Tejo.



Figura 45 – Área de influência do concelho de Salvaterra de Magos.

Mapeamento da parcela

Tal como para o azevém, iniciou-se o estudo desta parcela com a aquisição das fotografias através do UAV, realizando-se o mapeamento das mesmas com o programa Autostich.

Para tal, foram obtidas cerca de 85 imagens individuais, tendo sido coberta uma área superior à necessária para este ensaio (Fig. 46).



Figura 46 – Parcela de cenouras, marginada por floresta de pinheiro bravo.

Georreferenciação

Tal como para o Azevém, a parcela foi georreferenciada a partir de coordenadas UTM de pontos de controlo obtidos no terreno, posteriormente processados no programa Arcview a partir da extensão “Register & Transform”.

A georreferenciação (Fig. 47) permitiu de imediato calcular a área da parcela em 24160 m² e após análise, quantificar as manchas de variabilidade espacial.



Figura 47 – Imagem aérea da cultura de cenouras após georreferenciação, orientada a norte e à escala.

Análise

A imagem aérea em cor real apresenta, por si só, uma grande zona de solo nu (Fig.47), denunciando um mau aproveitamento da parcela e conseqüente perda de rendimento. Dos cerca de 2,416 hectares totais da parcela, apenas 20870 m² apresentam plantas viáveis. Efectivamente, cerca de 3300 m² de solo útil não produzirão qualquer produto.

Efectuando a decomposição da grelha nas 3 bandas do espectro (Fig. 48) do visível e recalculando-as através do spatialAnalyst, pode-se constatar que existem manchas de crescimento marcadamente diferentes, apesar da parcela ser relativamente pequena (Fig. 50).

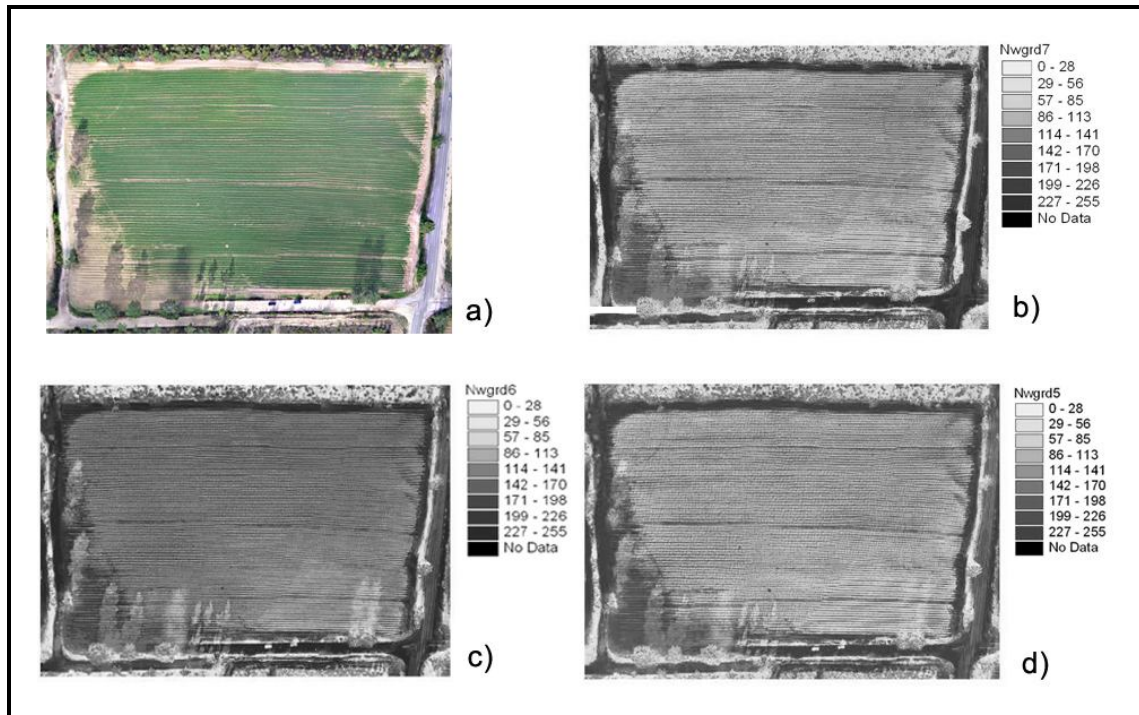


Figura 48 – Imagem de cor real (a) e decomposta nas três bandas do espectro visível, vermelho (b), verde (c) e azul (d).

Para esta parcela, e após os resultados obtidos com o azevém testaram-se dois índices de vegetação, o **Green Blue Simple Ratio** [Eq. 6] e o **SGB** [Eq. 18].

O **Green Blue Simple Ratio**, ao contrário do que se tinha observado para o azevém, não identificou qualquer variabilidade na cultura, apresentando toda a informação numa gama limitada de números digitais.

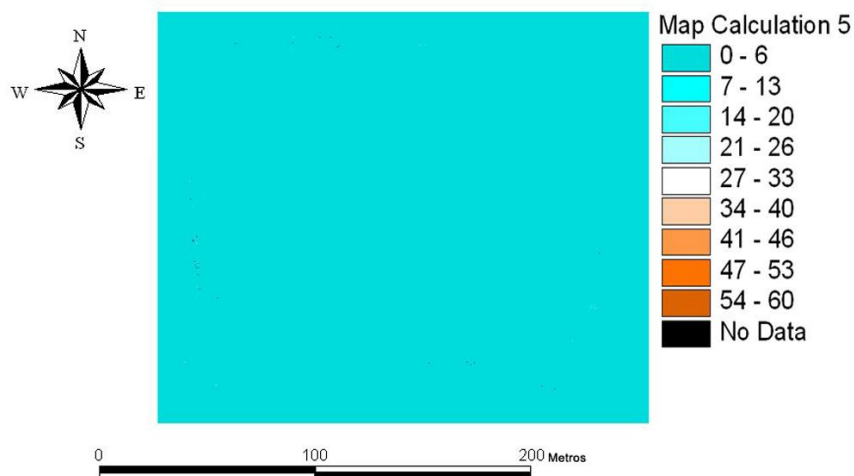


Figura 49 – Green Blue Simple Ratio [Eq. 6].

O índice **SGB**, tal como para o azevém, voltou a revelar uma grande heterogeneidade na cultura. O histograma da imagem resultante (Fig. 51) apresenta uma forma de sino típica da presença de uma cultura uniforme.

SGB= VERDE – AZUL

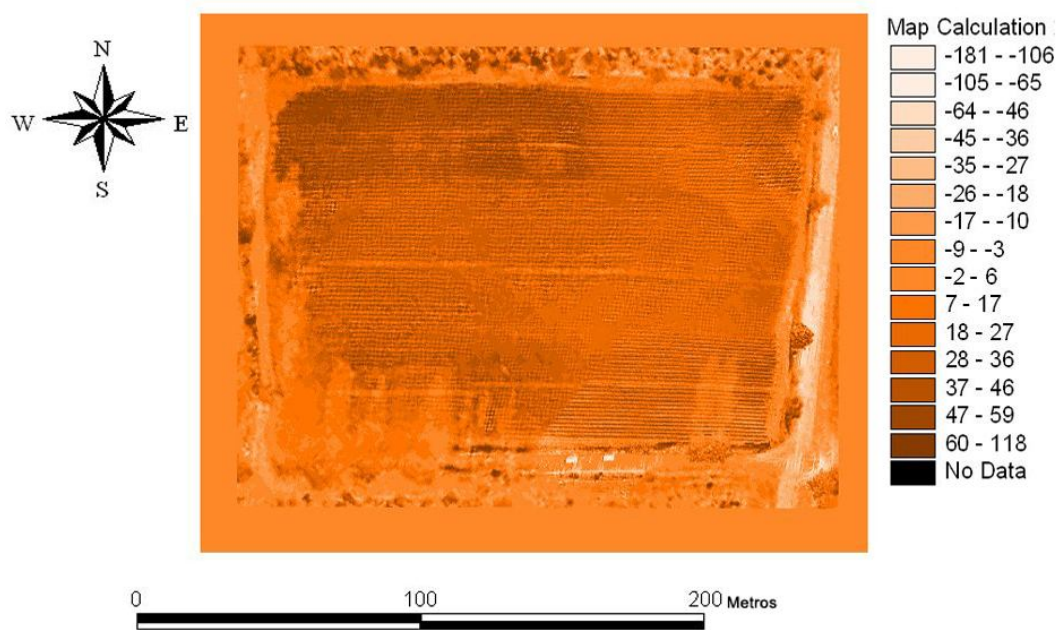


Figura 50 – SGB, subtração da banda Verde pela banda Azul [Eq. 18].

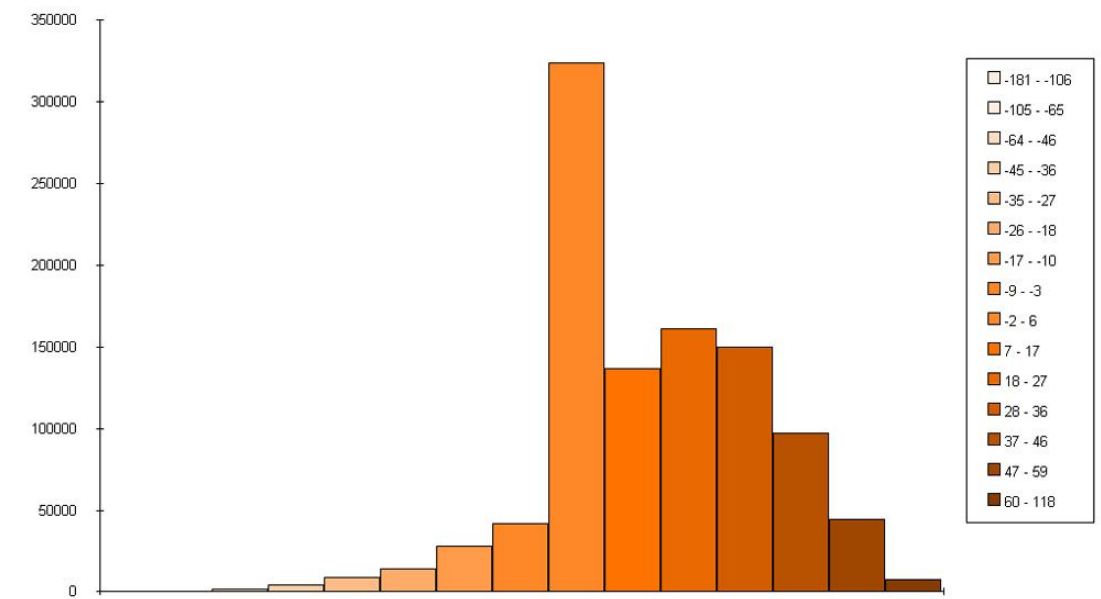


Figura 51 – Histograma da imagem resultante do índice SGB.

4 - Discussão e análise dos resultados

4.1 – UAV

O design escolhido para o aparelho recaiu sobre o modelo motorizado ultra-ligeiro de asa flexível (Fig. 52 e 53) por apresentar características coincidentes com os requisitos previamente estabelecidos. Descolagens e aterragens relativamente curtas, comportamento em vôo suave, lento e auto-estável, uma estrutura simples e robusta de operação simples.



Figura 52 – O aparelho no seu aspecto final.

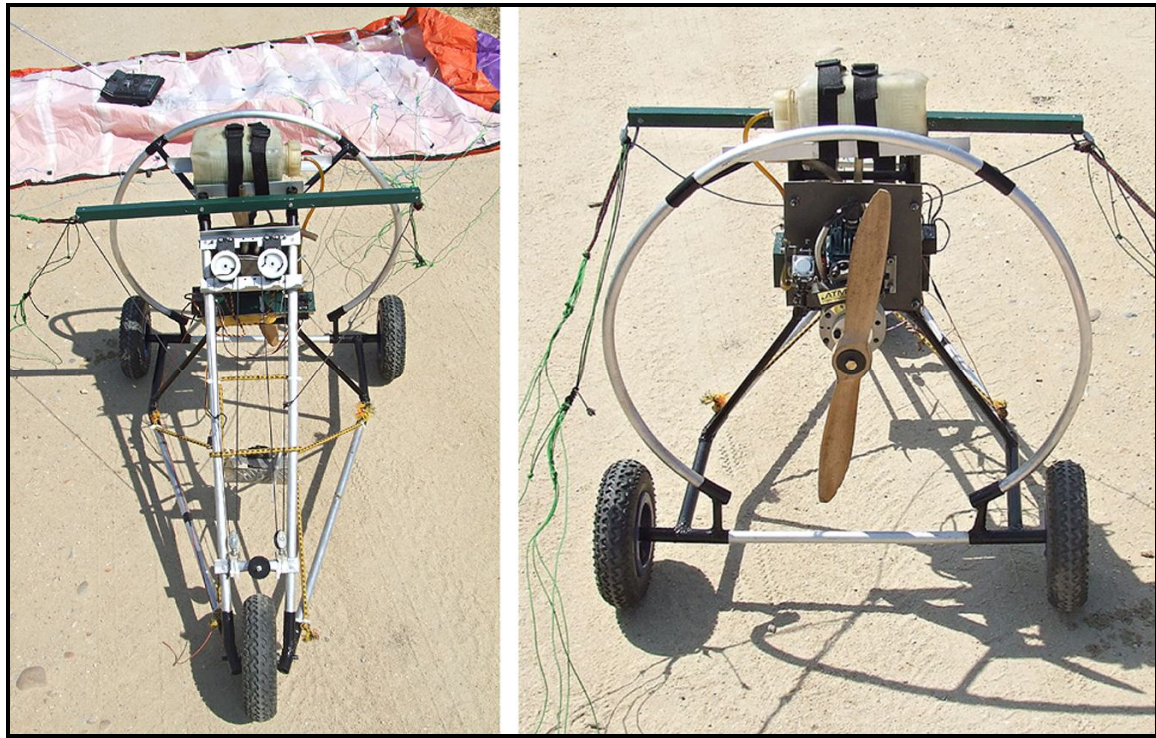


Figura 53 – Vistas frontal e traseira do sistema.

4.1.1 - Componentes do sistema

Motorização

O modelo é impulsionado por um motor a 2 tempos a gasolina, com 34cc de capacidade debitando cerca de 3,2 cv de potência. O hélice a utilizar é do tipo “push” com as dimensões de 18' x 6'.

Características:

- _ **Fuji-Imvac BT34G**
- _ Capacidade – 34 c.c.
- _ Amplitude de trabalho – 1200 – 10000 rpm
- _ Potência – 3,2 hp / 11000 rpm
- _ Peso a seco – 1,7 kg



O depósito de combustível tem a capacidade de 0,5 litros permitindo uma autonomia de cerca de 20 minutos em condições normais de voo.

Estrutura

O modelo é constituído por uma estrutura piramidal em tubo de alumínio reforçado na zona da bancada do motor por uma estrutura em aço. O motor é suportado por amortecedores de borracha numa “firewall” em alumínio.

A estrutura foi realizada a pensar na economia de peso sem, no entanto, reduzir a resistência do todo. Os componentes em alumínio que constituem a frente do modelo podem ser rapidamente substituídos em caso de dano.

A zona frontal do modelo é ampla, permitindo a instalação do equipamento fotográfico e de GPS.

Trem de aterragem

De modo a suportar a irregularidade do solo em que terá de operar, foram escolhidas rodas pneumáticas de grandes dimensões, o que permite rolar em terrenos gradados, com restolho ou pastos curtos e ainda amortecer algum do impacto das aterragens sem recurso a suspensões que aumentariam o peso da estrutura.

Superfícies de sustentação

As superfícies de sustentação, ficam neste modelo, reduzidas a uma asa do tipo flexível parafoil com uma área de 5m². Este tipo de asa permite um voo lento, estável e suave, com grande visibilidade para o piloto no solo, dentro das condições de actuação do aparelho.

Carga útil

A carga útil no modelo é limitada ao equipamento fotográfico, uma ou duas câmaras de tipo compacto em paralelo e a um receptor de GPS portátil. Pode ainda ser instalado um sistema de vídeo com ligação de vídeo em tempo real que permite a observação da área a fotografar pelo operador.

Peso e centragem

O peso total do aparelho é limitado pela motorização e pela área da asa, pelo que deve ser mantido o mais baixo possível.

O peso máximo à descolagem não deverá ultrapassar os 10kg.

Pelas características da asa flexível o centro de gravidade (CG) não é tão crítico como nas aeronaves de asa rígida, podendo situar-se entre o fulcro dos cabos de sustentação ou ligeiramente avançado no modelo.

Comandos e sistemas

Os comandos do aparelho são todos mecânicos e/ ou eléctricos actuados por servos ou micro-servos e controlados à distância através de um emissor de rádio e de um receptor a bordo.

O emissor utilizado é um Futaba F16c de 6 canais, na banda dos 35Mhz.

O receptor é um Futaba F-PR118f.

Todo o sistema a bordo é alimentado por 5 células NihCad de 4000mAh.

Operação do sistema

A utilização do sistema é relativamente simples, apresentando este comandos lentos e fáceis de absorver quando comparados com outros modelos.

A operação do modelo começa pela montagem da asa no modelo através dos cabos de sustentação e verificação de todos os componentes do aparelho.

O depósito é abastecido com uma mistura a 2% de gasolina e óleo específico para motores a 2 tempos.

O motor pode ser colocado em funcionamento fazendo rodar o hélice à mão no sentido contrário ao ponteiro dos relógios ou utilizando um arrancador eléctrico, constituído por um motor eléctrico e uma redutora que acoplada ao hélice, o faz girar.

Em qualquer dos modos, este é o momento mais sensível da operação, por apresentar algum risco para o operador.

Após o arranque do motor e verificada a afinação do mesmo, o modelo está pronto a realizar o seu trabalho. A asa é aberta no solo atrás do modelo ou erguida por um auxiliar que a liberta assim que o aparelho ganha velocidade.

O aparelho tem uma tendência própria à estabilidade, o que possibilita a que possa ser controlado por um operador com pouca experiência.

Os comandos estão limitados a:

- _ Subir, aumentando o regime do motor,
- _ Descer, reduzindo o regime do motor,
- _ Virar à esquerda e à direita, actuando sobre os cabos da asa,
- _ Accionar o comando de disparo da câmara fotográfica.

4.1.2 - Falhas e limitações do Sistema

Os inúmeros ensaios com o protótipo permitiram verificar não só as suas funcionalidades, facilidade de operação, construção e recuperação, mas também as suas falhas e os seus limites de função.

Se as falhas podem ser consideradas pontuais, já os limites, representam verdadeiros entraves na utilização do aparelho no dia-a-dia.

Vento

Um factor que se revelou importantíssimo no decurso deste estudo foi o vento. O pára-motor, pelas suas características próprias não consegue operar em ventos com velocidades superiores a 18 km/ h. Apesar do vento contribuir favoravelmente para efectuar descolagens curtas, uma vez no ar, a capacidade de manobra diminui consideravelmente, sendo o modelo arrastado na direcção do vento. Não constituindo propriamente uma impossibilidade de operação, a presença de obstáculos e o facto de não se conseguir aterrar no ponto de partida pode ter consequências desagradáveis. Ao mesmo tempo, a capacidade de realizar passagens correctas sobre o ponto alvo fica seriamente comprometida.

O número de dias com velocidade média de vento superior a 16 km/ h em Portugal, varia de região para região, sendo que na região ensaiada, a resolução temporal do estudo foi muito afectada, não sendo mesmo possível realizar qualquer voo durante o mês de Agosto.

Obstáculos

Os obstáculos presentes em grande número nos nossos campos limitam a actuação de um aparelho deste tipo. Ainda que a capacidade de descolagem e aterragem permitam a sua utilização em espaços confinados, o grande raio de curvatura obriga a que não haja obstáculos elevados nas proximidades, correndo o risco de embate com árvores, ou mais grave, com linhas de alta tensão. Durante os testes fizeram-se voos em parcelas com estas características, e registaram-se duas colisões com árvores. Uma por perda de sinal de rádio, logo impossibilidade de controlar o aparelho, a outra por simples distração. A capacidade de dominar o modelo em espaços exíguos é claramente afectada pela velocidade do vento e pela experiência do operador.

Tecto de operações

A capacidade do operador “ler” o aparelho a partir do solo estabelece a altitude máxima a que este poderá subir, influenciando a área abrangida por cada imagem capturada.

A utilização de uma câmara de vídeo com ligação permanente ao solo, pode ser utilizada para pilotar o aparelho remotamente, fornecendo ao operador capacidade de voar em altitudes superiores, passando o limite a ser definido pelo alcance do transmissor de rádio.

Sensibilidade de afinação

Esta poderá ser considerada mais uma falha que uma limitação. O binómio que representa a afinação dos cabos de direcção do aparelho. Taxa de subida vs capacidade de controlo. Os cabos posteriores da asa, que comandam as mudanças de direcção podem servir como travões aéreos, ajudando o aparelho durante a fase de descida. Ora quanto mais tensos mais o aparelho trava a aceleração, mas também a mudança de direcção fica facilitada. Ao soltarem-se os cabos para ganhar altitude, perde-se no controlo do aparelho. O ponto óptimo é sensível e convém ser marcado de modo a evitar que em cada voo se tenha de o voltar a encontrar.

4.2 – Análise espectral

Apesar de não ter sido possível testar os principais índices de vegetação como o NDVI, pela impossibilidade de obter imagens na região do infravermelho próximo, os índices utilizados revelaram dados interessantes sobre a cultura.

4.2.1 – Parcela de Azevém

A aplicação de um índice de vegetação (SGB [Eq. 18]) na imagem aérea das culturas permitiu definir zonas de variação espacial (Fig. 54), posteriormente verificadas no terreno.

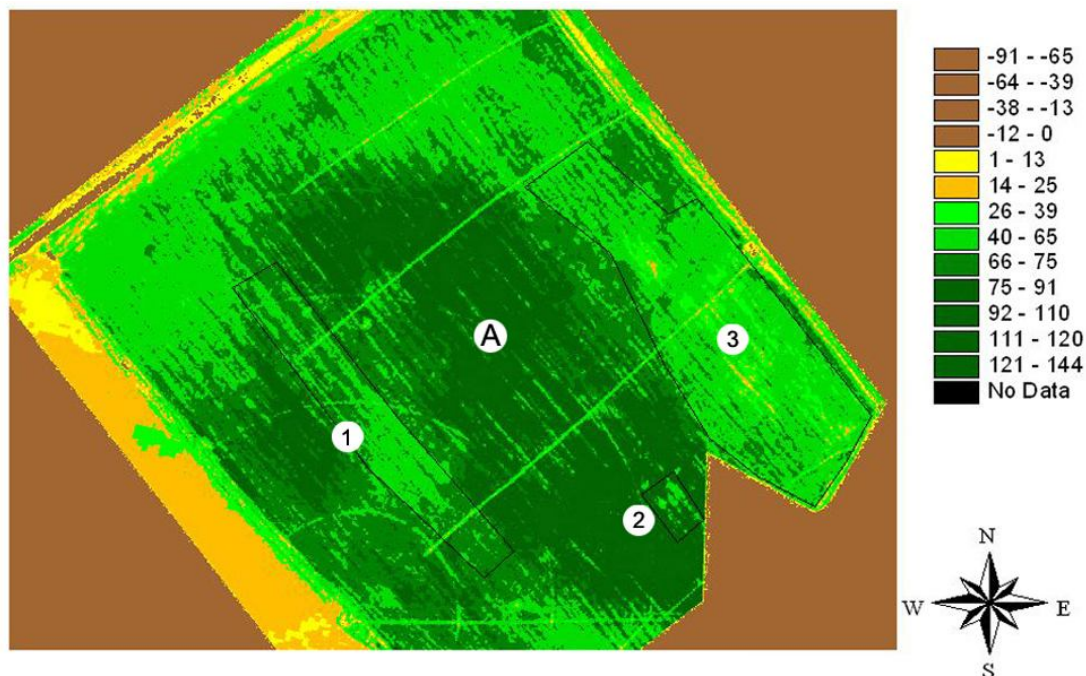


Figura 54 – Resultado da subtração da banda verde do espectro pela banda do azul (SGB).

Confirmação no terreno

Com o contraste entre áreas revelado pelo índice de vegetação, procedeu-se a uma visita à parcela (Fig. 55) de modo a confirmar a existência de variabilidade na cultura e tentar identificar as manchas reveladas na análise (Fig. 56 e 57).



Figura 55 – Rampa de rega na pastagem de azevém.



Figura 56 – Comparação da parcela com a imagem aérea.



Figura 57 – Orientação na parcela através dos índices de vegetação.

Na análise efectuada, foram identificadas 3 áreas de grande variabilidade espacial, identificadas por **zonas 1, 2 e 3**, assim como uma mancha de maior concentração de biomassa representada por **zona A** (Fig. 54). Através da georreferenciação foi possível estimar a dimensão das áreas de variabilidade espacial. Assim, teremos para a **zona 1** uma área de 5015 m², na **zona 2** uma mancha de 910 m², e na **zona 3** uma área de 13780 m². A mancha de maior quantidade de biomassa (**zona A**) apresenta uma área com 27880 m².

A inspecção no terreno revelou na **zona 1** uma mancha de infestantes (Fig. 58), nomeadamente, Acelgas (*Beta vulgaris* L. Spp. *Marítima* (L.)) ou beterrabas bravas (Fig. 59).

Nas **zonas 2 e 3**, encontraram-se áreas com graves problemas de emergência, uma densidade de plantas bastante baixa e com muito solo exposto (Fig. 60).

As principais falhas à emergência registadas na cultura encontram-se na **zona 3**, zona limítrofe da rampa de rega, e junto à vala de drenagem a norte da parcela.



Figura 58 – Área de infestantes.



Figura 59 – Beterraba brava (*Beta vulgaris* L. Spp. *Marítima* (L.)).

O acompanhamento que esta mancha faz do pivot, sugere que a área apenas receberá água a partir do canhão de rega na extremidade da rampa, o que será insuficiente para uma emergência uniforme da cultura.

Nas áreas afectadas por infestantes correspondentes à **zona 1**, há claramente competição entre as beterrabas e o azevém (Fig. 58), sendo que este se encontra abafado, não emergindo ou emergindo debilmente e atrasado em relação a áreas não afectadas por este problema.

Foi possível ainda identificar manchas de maior quantidade de biomassa da cultura, normalmente, dentro do raio de acção do pivot (Fig. 61).



Figura 60 – Zona de fraca emergência com grandes manchas de solo nu.



Figura 61 – Área de maior concentração de biomassa.

4.2.2 – Parcela de Cenouras

A aplicação dos índices de vegetação permitiram evidenciar claramente a variabilidade espacial presente nesta cultura. A Figura 58 que apresenta as principais áreas de heterogeneidade observadas foi obtida através do índice SGB [Eq.18]. Os números digitais mais baixos correspondem a zonas de maior quantidade de biomassa, enquanto que os mais elevados correspondem a manchas de solo.

Um dos problemas verificados nesta parcela foi a perturbação dos dados causada pela presença das sombras das árvores. Os índices testados não se mostraram eficazes na remoção desse ruído.

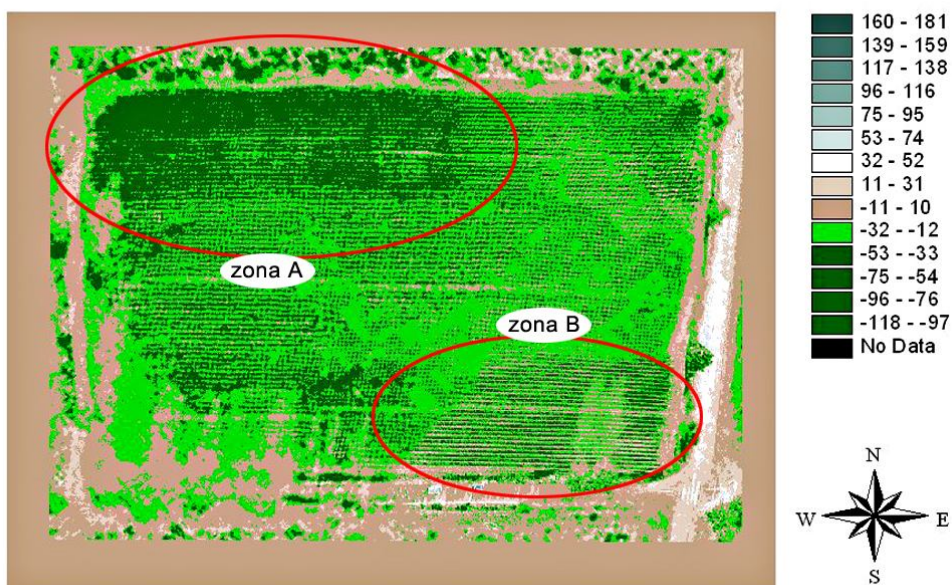


Figura 62 – Resultado da recombinação das bandas do vermelho e do azul (SGB) [Eq. 18].

Confirmação no Terreno

Uma visita à parcela (Fig.63) munido dos mapas resultantes da análise, permitiu identificar e confirmar a heterogeneidade da cultura observada nas imagens aéreas.



Figura 63 – Cultura de cenouras.

Esta parcela, regada apenas por um canhão (Fig.64), revela alguns problemas, essencialmente nas zonas menos atingidas pela rega (Fig.65). No entanto, dentro da área de acção do canhão, os índices de vegetação permitiram identificar as zonas de maior quantidade de biomassa, como sendo as mais abrigadas pela cortina de floresta (Fig.66), o que poderá levar a concluir que a acção da cortina de árvores contribui para a protecção das plantas naquela zona.



Figura 64 – Canhão Auto-enrolador.

O canhão de rega faz o seu percurso de Oeste para Este, sendo que nas zonas marginais que correspondem ao início do seu avanço, podem ser observadas grandes áreas de solo nu. Na faixa sul indicada como **zona B** (Fig. 62) observa-se um decréscimo acentuado do vigor das plantas (Fig. 66) em relação à faixa Norte da parcela identificada como **zona A** (Fig. 62). A partir da

georreferenciação da imagem determinaram-se as áreas destas zonas. A faixa denominada por **zona A** abrange uma área de cerca de 3850 m², enquanto que a **zona B**, a sul da parcela, apresenta uma área de cerca de 4260 m².



Figura 65 – Fora da zona regada a cultura não apresenta desenvolvimento.



Figura 66 – Na zona abrigada pela cortina de pinhal, observa-se um aumento da quantidade de biomassa.

Análises mais aprofundadas ao solo e à distribuição da água de rega, poderiam confirmar se as causas da variabilidade no desenvolvimento desta cultura se devem apenas à distribuição irregular das regas e /ou ao efeito de cortina provocado pela faixa de floresta.

5. Conclusões

Os ensaios com o protótipo demonstraram que as funcionalidades e capacidades deste tipo de aparelho são ajustadas ao cenário agrícola presente em Portugal.

O modelo opera dentro dos limites estabelecidos e é capaz de adquirir informação útil na condução do manejo das culturas, dentro do âmbito da agricultura de precisão.

O desenho do aparelho revelou-se estável e robusto resistindo aos ensaios a que foi submetido. No caso de acidentes, os instrumentos transportados não sofreram danos relevantes. A estrutura absorveu os impactos com eficácia protegendo os sistemas de fotografia e GPS. A estrutura foi facilmente recuperada em poucas horas de trabalho e com um custo reduzido.

O tamanho reduzido do aparelho e o facto da asa ser maleável, permitiu um transporte simples numa viatura convencional. No campo pôde ser transportado e manobrado por apenas uma pessoa. O tempo de preparação para o voo não ultrapassa os 10 minutos, com abastecimento e verificações. As operações apresentam-se simples passando por abastecer o depósito de combustível, montar a asa e colocar o motor em funcionamento; descolar e subir à altitude desejada, efectuar diversas passagens sobre o objectivo, aterrar e descarregar as imagens, repetindo o processo se necessário. A limpeza e manutenção é simples e rápida de efectuar.

A autonomia mostrou-se suficiente sendo que em apenas um voo de 10 minutos conseguiu-se fotografar uma área de cerca de 8 hectares, capturando aproximadamente 90 imagens.

As imagens capturadas apresentaram, após tratamento nas bandas do visível, áreas de marcada heterogeneidade que após confirmação no campo revelaram zonas problemáticas nas culturas. Foi também possível calcular áreas e definir perímetros de parcelas através da georreferenciação das imagens.

A utilização de sensores de Infravermelho Próximo permitirá a aplicação de índices de vegetação elaborados tais como o NDVI, revelando certamente variações nas culturas que as bandas do visível não assinalam.

Numa fase de evolução, a aplicação de uma asa construída para o efeito poderia permitir operar numa gama de velocidades de vento mais alargada, melhorando a resolução temporal das imagens. A instalação de uma ligação de vídeo com qualidade superior, um altímetro digital e uma câmara giro-estabilizada nos 2 eixos, permitiria operar o UAV a altitudes superiores, abrangendo assim, parcelas consideravelmente maiores.

Em termos de custos, o UAV alcançou os objectivos propostos, sendo que o valor de construção e operação fica muito àquem dos valores praticados no sector da fotografia aérea.

Referências Bibliográficas

- Arvus Tecnologia, 2008. Tecnologias para Agricultura de Precisão. Conceitos de Agricultura de Precisão (URL:<http://www.arvus.com.br>, consulta em 10-10-2008)
- Baio, M., e Matos, J., 2007. Detecção remota. Relatório de investigação, Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura. Instituto Superior Técnico.
- Basset, J., 2002 Wing Cube Loading, [software] (<http://www.ef-uk.net/data/wcl.htm>, consultado em 15-02-2008)
- Braga, R., 2005. Agricultura de Precisão, imagens aéreas de Alta Resolução e o Google Earth. – 2005 (URL:www.Agroportal.pt, consulta em 05-09-2008)
- Baileyaviation, 1999 (URL:<http://www.baileyaviation.com/index.htm>, consulta em 26-01-2008)
- Eastman, R., 1996. Introduction to Remote sensing and image processing, Idrisi for Windows User's Guide, Clark University.
- Jensen, T. e Apan, A. e Young, F. e Zeller, L. 2007. Detecting the attributes of a wheat crop using digital imagery acquired from a low-altitude platform (URL:www.Sciencedirect.com)
- Johannsen, J., 1995. Electronic report on precision farming. West Lafayette, Ind.: Purdue Univ.
- Kayser, P., 2008. The Joy of Visual Perception. [versão electrónica] (URL:<http://www.yorku.ca/eye/toc.htm>, consulta em 16-11-2008)
- Lowenberg-DeBoer, J., 2001, Economic Analysis of Precision Farming. In Agricultura de Precisão. Federal University of Vicosa, Vicosa, MG, Brazil.
- Lubachesky, R., 2003. Fotografia Infravermelho Digital (URL:www.rbfotografia.com.br)
- Lingard, S., 1995. Ram-air parachute design. Precision Aerial Delivery Seminar. In proceedings of the 13th AIAA Aerodynamic Decelerator Systems Technology Conference. Clearwater Beach.
- Maldonado, J., 2006. Veículos aéreos não tripulados. Jornal do Exército nº 548.
- Marais, K., 2006. Remote Sensing. Vegetation Indices. Relatório de investigação. Africa do Sul.
- Mather, M., 1990. Theoretical problems in image classification, applications of remote sensing in agriculture, University Press, Cambridge.
- Mather, M., 1999. Computer processing of remotely-sensed images: An introduction. New York. John Wiley & Sons.

Martins, A. e Almeida, J., 2006. Veículos Autônomos Aéreos. Relatório de investigação, Laboratório de Sistemas Autônomos. Instituto de Engenharia do Porto.

Obermeyer, J., 2001. Purdue Pest Mgmt and Crop Production Newsletter. Purdue University, News Service (URL: www.newswise.com/articles/2001/5/bugs.pur.html)

ParamotorPerformanceUSA, 2008. Powered Powergliders.
(URL:<http://www.paramotorperformanceusa.com>, consulta em 15-02-2008)

Richardson, A. J., 1990. Comparison of two models for simulating the soil-vegetation composite reflectance of a developing cotton canopy. International journal of remote sensing Vol. II, Março 1990.

Rosendo, J., 2005 – Índices de vegetação e monitoramento do solo e cobertura vegetal na bacia do rio Araguari, utilizando dados do sensor Modis. Universidade Federal da Uberlândia, Instituto de Geografia.

Rc Groups. Rcgroups.com
(URL:http://static.rcgroups.com/gallery/data/513/36711Paramotor_13-med.JPG, consulta em 15-02-2008)

Simpson, A. e Stombaugh D. e L.G. Wells., 2002. A low-cost Unmanned Vehicle for remote Sensing. ASAE Paper No 0210083, St Joseph, MI

Sugiura, R., Noguchi, N., Ishii, K., 2004. Remote-sensing Technology for Vegetation Monitoring using an Unmanned Helicopter.

Swart, W., 2008. Motor Calculations [software]
(URL:<http://www.xs4all.nl/~wswart/motoren/motoren.htm>, consulta em 08-03-2008)

Verbyla, D., 1995. Satellite Remote Sensing of Natural Resources, CRC Press, inc., Florida.

Vargas, C., Agricultura de Precisão. WebRural. Online em:
(URL:www.Webrural.com.br)

Walker, W., e DeVore, S., 1995. Low altitude large scale reconnaissance: A method of obtaining high resolution vertical photographs for small areas. Interagency Archeological Services, National Park Service, Denver Colorado.

Zakaluk, R., e Sri Ranjan, R., 2007. Artificial Neural Network Modelling of Leaf Water Potential for Potatoes Using RGB Digital Images: A Greenhouse Study. Potato Research (2007) 49:255–272.

Zakaluk, R. and Sri Ranjan, R. 2008. Predicting the leaf water potential of potato plants using RGB reflectance. Canadian Biosystems Engineering/ Le génie des biosystèmes au Canada (2008) 50: 7.1- 7.12.

Anexo 1

Os UAV no mundo

Austria

Schiebel Camcopter S-100

Belgica

EPERVIER drone, (1969)

B-Hunter, (2002)

Bulgaria

RUM-1, alvos dinâmicos, (1967)

RUM-2, alvos dinâmicos, (1967)

RUM-2M, alvos dinâmicos, (1969)

RUM-2MB, alvos dinâmicos, (1971)

M-200, alvos dinâmicos, (1971)

UtRUM, alvos dinâmicos, (1974)

P-200, alvos dinâmicos, (1975)

Yastreb-1, alvos dinâmicos, (1978)

Yastreb-2, alvos dinâmicos, (1981)

Yastreb-3, alvos dinâmicos, (1982)

NITI, (2006)

Canadá

Canadair CL-89, reconhecimento, (1964)

CL-227 Sentinel, reconhecimento, (1977)

Silver Fox ALIX, (2004)

SAGEM Sperwer, (2003-2006)

Advanced Subsonics/XIPHOS Grasshopper, (2000)

MMIST CQ-10 Snowgoose, (2000)

Chile

Sirrol, reconhecimento e pesquisa, (2007)

China

ChangKong-1, alvo dinâmico, reconhecimento, (1966)

ChangKong-2

ASN-206

WuZhen-5

WZ-2000, reconhecimento, (2003)

Rep.Checa

SOJKA III

Europa

EADS Barracuda, reconhecimento e combate, (2006)

EADS SIDM, reconhecimento, (2006)

Dassault nEUROn, combate, (2011)

Higheye HE60, Cam helicóptero

França

SAGEM Sperwer, reconhecimento

Dassault AVE-D Petit Duc, pesquisa, (2000)

Dassault AVE-C Moyen Duc, pesquisa, (2001)

Dassault-Sagem SlowFast, reconhecimento, (2004)

Verhagen X2 Autonomous Helicopters, reconhecimento, (2008)

Alemanha

Luna X 2000 UAV, reconhecimento

Rheinmetall KZO, reconhecimento

Luna X 2000, reconhecimento

Mikado

EuroHawk, reconhecimento, (EUA)

EADS Barracuda, (Espanha)

Grécia

HAI Pegasus, reconhecimento, (1982)

3 Sigma Nearchos, reconhecimento, (1996)

EADS 3 Sigma Iris

EADS 3 Sigma Alkyon

EADS 3 Sigma Perseas

Palestina

Mirsad-1, reconhecimento, (2004)

Índia

DRDO Nishant

HAL/ADE Lakshya

Searcher MkII (Israel)

HAL Heron (Israel)

ADE Kapothaka

HAL/DRDO Rustam

HAL/DRDO Pawan

HAL/DRDO Gagan

Indonésia

PUNA (Pesawat Udara Nir-Awak)

Israel

IAI Pioneer

IMI Mastiff

Top I Vision Casper 250

Top I Vision Aerostat

IAI Pioneer (USA)

RQ-5 Hunter (USA)

IAI General

IAI Harpy

IAI Heron / Machatz-1, reconhecimento

IAI Ranger

IAI Scout

IAI Searcher

IAI Skylite - Canister Launched mini-UAV system

Elbit Hermes 450

Elbit Skylark

Aeronautics Defense Systems - Aerostar

Aeronautics Defense Systems - Dominator

Aeronautics Defense Systems - Aerolight

Aeronautics Defense Systems - Orbiter

EMIT Blue Horizon 2

EMIT Sparrow

EMIT Butterfly

Irão

Ababil

Shahbal

Mohajer 3

Mohajer 4

Italia

Meteor, now SELEX Galileo Avionica Mirach series, reconhecimento

SELEX Galileo Avionica NIBBIO, reconhecimento

SELEX Galileo Avionica FALCO, reconhecimento

Alenia Aeronautica Sky-x, pesquisa UCAV, (2005)

Alenia Aeronautica Sky-y, pesquisa MALE, (2007)

Alenia Aeronautica Molyx/Black Lynx, reconhecimento

Japão

Yamaha R-50

Yamaha R-MAX

Jordania

Jordan Falcon

I-wing

Jordan Arrow

Silent Eye

Malasia

Eagle ARV System

Mexico

The S4 Ehécatl by Hydra Technologies

The E1 Gavilán by Hydra Technologies

Paquistão

Ababeel Aerial Drone

Baaz Aerial Drone

Uqaab Aerial Drone

Polónia

ITWL HOB-bit

WB Electronics SOFAR

WB Electronics RUFUS

Sérvia

IBL-2000

Mini UAV Gavran

Medium UAV

Singapura

ST Aero FanTail

ST Aero Skyblade

ST Aero MAV-1

South African models

Kentron Seeker

Kentron Skua

ATE Vulture

Denel Bateleur

Coreia do Sul

KAI Night Intruder, reconhecimento

Russia

ZALA 421-08,

Lavochkin La-17, reconhecimento, (1953)
Tupolev Tu-123, reconhecimento, (1964)
Tupolev Tu-141, reconhecimento, (1970)
Yakovlev Pchela, reconhecimento
ZALA 421-08, reconhecimento, (2007)
ZALA 421-06, reconhecimento, helicóptero, (2008)
ZALA 421-12, reconhecimento, (2008)

Espanha

Aerovision Fulmar, reconhecimento, (2007)

Suíça

RUAG Ranger
Swiss UAV NEO S-300

Suécia

SHARC
Saab Skeldar
Saab Filur
CybAero APID 55

Taiwan

Chung Shyang II

Turquia

Bayraktar Mini UAV
Malazgirt VTOL Mini
TAI TIHA, (2010)
METU Güventürk
Bayraktar Mini UAV, reconhecimento
VESTEL Efe (Mini), 2007
VESTEL Arı (Micro), 2007

Tailândia

IAI Searcher (Israel)

Reino Unido

RAF MQ-9 Reaper
BAE Taranis
Fairey Queen, (1930)
de Havilland Queen Bee, (1930)
Airspeed Queen Wasp, (1936)
Miles Queen Martinet, (1940)
ML Aviation Sprite, (1981)
Meggitt Banshee, Alvo dinâmico, {1984}
BAE Phoenix, reconhecimento, (1986)
QinetiQ Observer, reconhecimento
BAE Corax, pesquisa, (2004)
BAE HERTI, reconhecimento, (2004)
Thales Watchkeeper WK450, reconhecimento, (2005)
BAE Skylynx II, reconhecimento, (2006)
BAE Fury, reconhecimento/ combate, (2008)
BAE Taranis, pesquisa
BAE Mantis, pesquisa
QinetiQ Zephyr
QinetiQ Mercator, pesquisa
UnKnown Aerospace Cygnet, logística

Estados Unidos – modelos militares

Hewitt-Sperry Automatic Airplane, combate, (1916)
Kettering Bug, combate, (1918)
OQ-2/TDD-1 Radioplane, alvo dinâmico, (1939)
Ryan A/BQM-34 series Firebee I and II, alvo dinâmico, (1951)
North American X-10, pesquisa, (1953)
Northrop GAM-67 Crossbow, (1956)
Northrop AQM-35, alvo dinâmico, (1956)
McDonnell ADM-20 Quail, alvo dinâmico, (1958)
Beech MQM-61A Cardinal, alvo dinâmico, (1959)
Gyrodyne QH-50, pesquisa, (1960)
Beech AQM-37 Jayhawk, alvo dinâmico, (1961)
Ryan Model 147/AQM-34 series Fire Fly and Lightning Bug, reconhecimento, (1962)
Northrop M/BQM-74A Chukar, alvo dinâmico, (1964)
Lockheed D-21, reconhecimento, (1964)
Ryan AQM-91 Firefly, reconhecimento, (1968)
BQM-90, alvo dinâmico, (1970)
Boeing YQM-94A Compass Cope B, reconhecimento, (1973)
BAE Systems SkyEye (Reino Unido), reconhecimento, (1973)
Ryan YQM-98A Compass Cope R, reconhecimento, (1974)
Ryan AQM-81A Firebolt, alvo dinâmico, (1983)
BAI BQM-147 Dragon Drone, reconhecimento, (1986)
RQ-2 Pioneer, reconhecimento, (1986)
General Atomics GNAT-750, reconhecimento, (1989)
Sikorsky Cypher, pesquisa, (1992)
General Atomics MQ-1 Predator, reconhecimento/ combate, (1995)
LR-3 Tigershark, reconhecimento, (2004)
RQ-3 Dark Star, pesquisa, (1996)
RQ-6 Outrider, reconhecimento, (1996)
Bell Eagle Eye, tiltrotor, reconhecimento, (1998)
IAI RQ-5 Hunter, reconhecimento, (1999)
AAI RQ-7 Shadow, reconhecimento, (1999)
MQ-8 Fire Scout, reconhecimento, (2000)
RQ-4 Global Hawk, reconhecimento, (2001)
General Atomics MQ-9 Reaper/ Mariner, reconhecimento e combate, (2001)
Desert Hawk, reconhecimento, (2001)
Dragon Eye, reconhecimento, (2002)
Boeing X-45, pesquisa, (2002)
X-47 Pegasus, pesquisa, (2003)
Boeing X-50, pesquisa, (2003)
ScanEagle, reconhecimento, (2004)
Boeing A160 Hummingbird, pesquisa, (2005)
RQ-11 Raven, reconhecimento, (2005)
Lockheed P-175 Polecat, pesquisa, (2006)
Boeing Persistent Munition Technology Demonstrator, pesquisa, (2006)
MQ-9 Reaper, combate aéreo, (2006)
Boeing Dominator, experimental, (2007)
Composite Engineering BQM-167 Skeeter, (2006)

Estados Unidos – Modelos não militares
NASA Mini-Sniffer, pesquisa, (1975 to 1982)

General Atomics ALTUS, pesquisa, (1996)
NASA Advanced Soaring Concepts Apex, pesquisa
NASA Helios and Pathfinder, pesquisa, (2001)
Octatron SkySeer

Projectos Privados

Trek Aerospace Dragonfly
Phantom Sentinel
Phyxius
Insitu Aerosonde
Airborne Autonomous Systems (HAWS)
Miraterre Flight Systems
Rotomotion
Autopilot
Neural Robotics
Micropilot
Procerus Technologies
Mavionics
Baykar Machine
Arcturus-UAV T-15/T-16
Nikola Tesla-150, EMA, Sérvia
UAV Development, Brazil
Imaging 1's micro
ATAIR LEAPP
ATAIR Micro LEAPP
ATAIR Insect
Viking Aerospace, LLC
Continental Controls and Design, Inc.
Gyrodyne DASH or Drone Anti-Submarine Helicopter
Verhagen X2
Vector P
Kestrel-T UAS
Albatross UAV Project
CUAV
DIY Drones
Full UAV developer
Paparazzi
The R/C pilot project
The Remote Control Auto Pilot 2
HOVTOL The Horizontal Or Vertical Takeoff Or Landing UAV