Actas

I Seminário Internacional UAV

José António Tenedório, Rossana Estanqueiro, Rui Pedro Julião (Coord.)

CICS.NOVA
CENTRO INTERDISCIPLINAR DE CIÊNCIAS SOCIAIS

FCSH
FACULDADE DE CIÊNCIAS SOCIAIS E HUMANAS
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

2016

Nota de Abertura

O ritmo da evolução tecnológica tem acelerado nos últimos anos, proporcionando novos meios para a aquisição, gestão, exploração e disseminação de conteúdos geográficos, motivando a alteração de muitos dos paradigmas neste domínio. Uma das áreas onde a inovação registada permitiu modificar os processos de trabalho foi a da aquisição de dados geográficos. Depois da consolidação do recurso a sistemas de posicionamento global e do desenvolvimento dos vários tipos de sensores, nomeadamente no que diz respeito às resoluções espectral e geométrica e às suas características físicas (dimensões e peso), tem-se registado o crescente recurso a Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) ou Unmanned Aerial Vehicles (UAV), se usarmos a designação anglo-saxónica, ou drone quando utilizado o termo mais vulgarizado.

A relevância da utilização deste tipo de plataformas é inegável, na medida em que fomentou a agilização dos processos de produção de dados geográficos, em termos da sua celeridade, repetibilidade e custo, abrindo novas perspectivas para a investigação e a aplicação das tecnologias de informação geográfica.

Todavia, a crescente utilização de UAV não tem sido isenta de discussão. É fundamental perceber em que medida surgem e/ou se modificam paradigmas e conceitos técnicos; quais os domínios e o potencial da sua aplicação; e quais as suas implicações e eventual necessidade de enquadramento legislativo.

Neste contexto, o I Seminário Internacional UAV, organizado pelo CICS.NOVA-FCSH conjuntamente com FCUP, CEG-IGOT, LNEC e UNESP, esteve aberto à participação da comunidade técnica e científica e estruturou-se em três eixos temáticos:

Tecnologias e Metodologias. Este eixo deu primazia: i) à apresentação de tecnologias UAV e dos tipos de sensores; ii) à exposição dos resultados da aplicação de metodologias de extracção automática e/ou semiautomática de informação geográfica, ao workflow de modelação 3D de objectos e de estruturas; iii) à avaliação de qualidade da informação geográfica obtida.

Mercados e Aplicações. Este eixo recolheu o contributo das empresas e das equipas de investigação. Pelo lado das empresas, na demonstração da operacionalização das

metodologias nos processos de produção de informação geográfica para mercados emergentes; pelo lado da investigação, na demonstração do valor acrescentado dos dados adquiridos por UAV e das metodologias de extracção de informação para estudo de fenómenos espacial e temporalmente confinados.

Conceitos, Legislação e Regulamentação. Um dos tópicos que tem gerado controvérsia é o enquadramento conceptual e a regulamentação jurídica, nomeadamente as habilitações e certificação para fazer levantamentos com uso de drone. Em Portugal, ainda não há resposta, nem sobre como realizar um voo devidamente regulamentado nem sobre o reconhecimento técnico dos dados geográficos que através deles se podem obter. Os progressos europeus nestas duas matérias ainda não são substanciais. Pelo contrário, no Brasil há muita experiência acumulada facto que contribuiu para enriquecer os debates durante o seminário.

O presente e-book surge na sequência desta iniciativa, servindo de registo e consolidando os temas abordados, e proporciona uma base para futuros desenvolvimentos.

Fica o nosso sincero agradecimento para todos os que contribuíram e participaram no I Seminário Internacional UAV.

Lisboa, Abril de 2016

José António Tenedório

Rossana Estanqueiro

Rui Pedro Julião

ÍNDICE

Nota de Abertura

SANT. LEGISLAÇÃO E REGULAMENTAÇÃO: UM POTENCIAL DE OPORTUNIDADES
Pedro Antunes da Cunha 1

CONTRIBUTOS TÉCNICOS PARA A REGULAMENTAÇÃO
João Gomes Mota 15

UTILIZAÇÃO DE VANT PARA O GEORREFERENCIAMENTO DE IMÓVEIS RURAIS
Amilton Amorim; Guilherme Gomes Pessoa; Ian Ribeiro Lemes; Juliane Mendonça Komazaki; Lorena Canali Jorge; Maurício Galo; Paulo de Oliveira Camargo 25

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE GEOMÉTRICA DE PRODUTOS CARTOGRÁFICOS LEVANTADOS POR VANTS APLICADOS AO CADASTRO PREDIAL EM MUNICÍPIO DE PEQUENO PORTE NO BRASIL
Marcos A. Pelegrina; Máicon A. Canal; Rui Pedro Julião; Karoline Kolosinski Obal 37

UTILIZAÇÃO DE VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS NA INVESTIGAÇÃO DE ACIDENTES DE VIAÇÃO
José Sousa; Joaquim J. Sousa; Ricardo Bento; Emanuel Peres; João Martins; Óscar Moutinho 49

MONITORIZAÇÃO DE QUEBRA-MARES COM VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS
Maria João Henriques; Dora Roque; Alexandre Santos 58

UTILIZAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS NA MONITORIZAÇÃO TOPOGRÁFICA DA EROSÃO COSTEIRA
Gil Gonçalves; Sara Santos; Diogo Duarte; João Duarte; José Gomes 68

AVALIAÇÃO DE ALTERAÇÕES NO CABEDELO DO RIO DOURO COM RECURSO A VANT'S
José A. Gonçalves; Renato Henriques; Óscar Moutinho; Ana Rodrigues; Joaquim J. Sousa; Ivaneide Santos 82

LEVANTAMENTOS UAV NO APOIO AO PROJETO "MELHORIA DA CONDIÇÃO E DA ENVOLVENTE AO FREIXO DE DUARTE D'ARMAS"
Sérgio Madeira; Luís M Martins; Joaquim J. Sousa 93

DETEÇÃO DE OBJETOS A PARTIR DE IMAGENS OBTIDAS POR VANT
António Sousa; Joaquim J. Sousa; Jorge Costa 103

METODOLOGIAS PARA REPRESENTAR E PROMOVER O PATRIMÓNIO GEOLÓGICO UTILIZANDO VANT'S, TECNOLOGIA MULTIMÉDIA E REALIDADE AUMENTADA
Ivaneide Santos; Renato Henriques; Gorki Mariano; Diamantino I. Pereira 112

ATUALIZAÇÃO CADASTRAL DIRIGIDA, UTILIZANDO ORTOFOTOS ORIUNDAS DE VANT
Marcos A. Pelegrina; Máicon A. Canal; Rui Pedro Julião; Karoline Kolosinski Obal 129

CLASSIFICAÇÃO E ESTRATIFICAÇÃO DE TIPOS DE OCUPAÇÃO DO SOLO SOBRE FOTOGRAFIAS AÉREAS CAPTADAS COM RECURSO A VANT (VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS)
José Aranha; Rui Soares; Levi Pires; Ricardo Bento; João Sousa 133

MONITORIZAÇÃO DO DECLÍNIO DO CASTANHEIRO COM RECURSO A AERONAVE NÃO TRIPULADA
Luís M Martins; João P Castro; Ricardo Bento; Joaquim J Sousa 144

VARIAÇÃO DA SOBREPOSIÇÃO LONGITUDINAL E LATERAL ENTRE IMAGENS OBTIDAS POR UAV E UTILIZAÇÃO DE GCP NA MELHORIA DA QUALIDADE DOS DADOS
Marcelo Ribeiro; Rossana Estanqueiro; Carlos Pereira da Silva; José António Tenedório 152

INDIVIDUAL TREE CROWN APPROACH TO ESTIMATE ABOVEGROUND BIOMASS USING UAV PHOTOGRAMMETRIC POINT CLOUDS IN PINUS PINEA STANDS IN PORTUGAL
Juan Guerra Hernández; Sonia Pacheco Faias; Alexandra Correia; Alexandre Sarmento; João Silva; Luís Fontes; Margarida Tomé; Eduardo González-Ferreiro; Ramon Diaz-Varela 162

DRONE2MAP FOR ARCGIS: O CONTEXTO DOS DRONES EM AMBIENTES OPERACIONAIS SIG
Edgar Barreira; Rodrigo Silva; António Marques 168

TESTES UTILIZANDO UNMANNED AERIAL VEHICLES PARA INSPEÇÕES EM REDES DE TRANSMISSÃO ELÉTRICA
João Gomes-Mota; Ricardo Oliveira; Sandra Antunes; Vítor Almeida 175

APLICAÇÃO DE UM SISTEMA AÉREO NÃO TRIPULADO (UAS) NA DISTRIBUIÇÃO DE MEDICAMENTOS ÀS FARMÁCIAS NA CIDADE DE LISBOA
Luis Neto 186

FICHA TÉCNICA

Título: I SEMINÁRIO INTERNACIONAL UAV

Coordenação: José António Tenedório; Rossana Estanqueiro; Rui Pedro Julião

Edição: CICS.NOVA.FCSH

ISBN: 978-989-20-6726-1

Ano de edição: 2016

Apoios:

Centro Interdisciplinar de Ciências Sociais - Faculdade de Ciências Sociais e Humanas - Universidade Nova de Lisboa (CICS.NOVA.FCSH/UNL), UID/SOC/04647/2013, com o apoio financeiro da FCT/MEC através de fundos Nacionais e quando aplicável co-financiado pelo FEDER no Âmbito do acordo de parceria PT2020

SANT. LEGISLAÇÃO E REGULAMENTAÇÃO: UM POTENCIAL DE OPORTUNIDADES

Pedro Antunes da Cunha

Resumo

Sensibilizar os diversos operadores de SANT's para as regras e procedimentos do espaço aéreo, das suas zonas especiais, das diferentes zonas controladas, bem como para os instrumentos de informação e para as alterações temporárias ou definitivas que possam ocorrer.

Contribuir para planeamentos de operações enquadradas na legislação, nos regulamentos em vigor e em desenvolvimento, e a sua adequação fácil a futuras alterações.

Reduzir as ocorrências de incumprimento e consciencializar todos os intervenientes para a criação de uma comunidade integrando esta nova realidade.

Identificar o potencial de oportunidades daqui recorrentes.

1. Introdução

A tecnologia dos SANT (Sistemas Aéreos Não Tripulados), UAS (Unmanned Aircraft Systems) ou RPAS (Remoted Piloted Aircraft Systems) e nesta comunicação denominado SANT, encontra-se em constante desenvolvimento, com **modelos incorporando sensores e processadores de última geração** que servem um **mercado cada vez mais aberto a novas ideias e aplicações**, solicitando novos **desafios de certificação das operações resultantes desta nova oferta**.

O número elevado de **"quase acidentes entre SANT e aviões comerciais"** levou a que **fortes condicionalismos tenham sido impostos** pelas autoridades e agências estatais em diferentes geografias.

A **UAVSI** (*Association for Unmanned Vehicle Systems International*), estima que a indústria de SANT irá criar mais de **100.000 postos de trabalho** e gerar um impacto económico de **82 biliões de dólares dentro dos próximos 10 anos**, após a publicação e entrada em vigor da Legislação e Regulamentação.

A **ASD** (*Aerospace and Defense Industries Association of Europe)* estima que os SANT serão parte importante do futuro da aviação e da inovação na Europa, contribuindo com mais de **150.000 empregos diretos antes de 2050**.

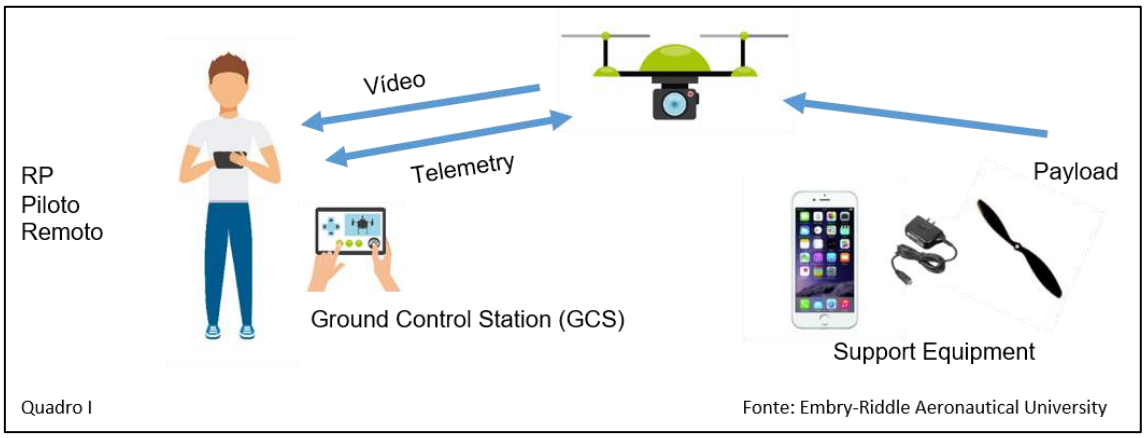
A Legislação e Regulamentação têm de integrar todo este progresso atual e potencial pelo que a sua introdução está identificada pelas autoridades aéreas das diferentes regiões do mundo, como fundamental e prioritária, para permitir que os SANT passem a fazer parte da vida quotidiano do século XXI, **como solução e não como problema!**

2. Porquê SANT ou UAS? A tomada de consciência do sistema.

Estamos a lidar com um sistema composto por diferentes elementos. O **operador (Piloto Remoto), futuramente designado como RP,** é a pessoa responsável que vai operar o VANT/UAV/drone (nesta comunicação futuramente designado como **VANT**).

Vai utilizar a estação de rádio, o **GCS**, que tem uma dupla função de comando e controlo, **por telemetria**. Recebe igualmente o vídeo ou a resposta, quando é necessário cumprir uma missão ou as instruções que o operador pretender. Tem, portanto, uma função **de comunicação**.

O **VANT** pode ter associado uma carga útil**,** neste caso uma câmara de AD.



Quadro I — Fonte: Embry-Riddle Aeronautical University

Os **restantes equipamentos de apoio**, podem ser por exemplo, a plataforma de lançamento e recuperação do VANT, os carregadores de bateria, hélices sobresselentes, o smartphone e software de suporte ao planeamento de voo (por exemplo "app's).

Este ambiente é comum, tanto a pequenas como a grandes plataformas.

As Comunicações, o Comando e o Controlo (C^2 e C^3) podem variar dependendo do utilizador, mas são o mesmo processo básico - um dado nível de controlo, uma capacidade de telemetria e controlo de dados entre o veículo aéreo e o solo.

Estas plataformas, como as da Raytheon, tratam os dados e informações recolhidas tal como as unidades SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition).

O SANT **opera no espaço aéreo**, que é um elemento fundamental do sistema.

Então o operador é um RP (piloto remoto)!

Mesmo em recreio, este:

- Pode e deve divertir-se, mas tem de ter noção da responsabilidade.
- Tem de desenvolver o "bom senso" (o melhor dos maus sensos).
- Em caso de dúvida… deve ficar em terra até ter o seu voo bem pensado e planeado.

Para reduzir o risco em relação a pessoas e bens o RP deve procurar conhecer:

- Os **conceitos básicos** do SANT.
- A **envolvente geral da operação** com o SANT.
- **O espaço aéreo do território** onde pretende voar.
- Os **procedimentos de segurança de voo**.
- O **processo de aprovação do voo** com o SANT.
- **Onde esclarecer as suas dúvidas**.

Daí a necessidade de alguns conceitos a desenvolver

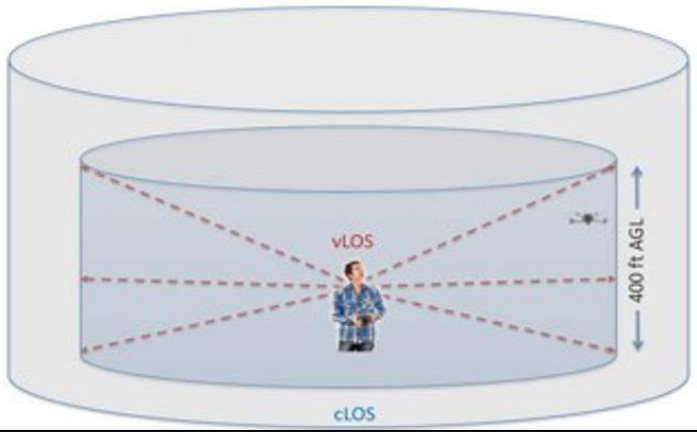
O Conceito de Células

*Célula à vista **VLOS** (Visual Line of Sight) e célula de comunicações **CLOS** (Communications Line of Sight)*

São conceitos distintos que carecem de total clareza e dependem do tipo de sistema.

Quando em operação, o **VANT tem de estar sempre à vista do RP** (usando **óculos ou lentes prescritas**, se necessário), para que o seu **voo seja legal**, mesmo mantendo comunicações de dados, vídeo e GPS.

Recorrer a observadores externos para aumentar o seu alcance visual pode originar confusões e erros, pelo que não são permitidos. Por isso, não é permitida a utilização de binóculos ou qualquer outro meio auxiliar de observação.



Células VLOS e CLOS

Quadro II

Fonte: Embry-Riddle Aeronautical University

E**m caso de perda da ligação** de controlo, o **C**[3] é fundamental para planear os eventuais problemas de comunicação:

- O que indica o fabricante? Qual o procedimento?
  - Vai a unidade VANT retornar à base (RTB) por programação?
  - Vai continuar em voo?
  - Vai cair?
- Por quanto tempo vai voar até a fonte de alimentação se esgotar?
- Como proceder para a recolha? Existem os meios apropriados? Carro? Moto?
- A quem recorrer para socorro? Há aeroportos próximos?
- Existem procedimentos para uma aterragem de emergência?
- Estão identificadas as opções para os problemas no voo?

A procura de resposta a estas questões faz parte do bom senso e tem de ser pensada antes de acontecer.

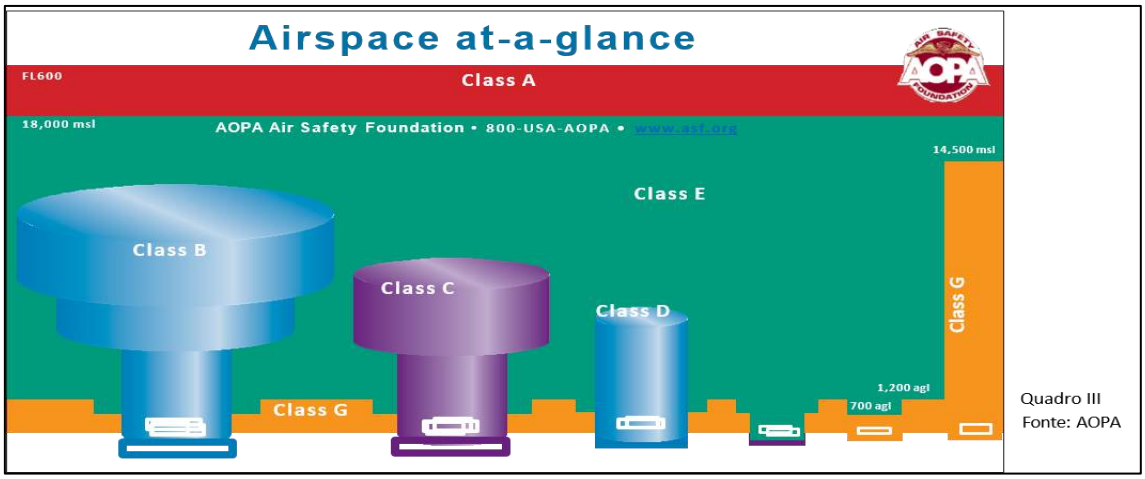
Um plano eficaz de contingência, deve contemplar os procedimentos para retoma de ligação para aterragem forçada (seleção de local, com mitigação de risco), dispor de meios apropriados, telefones para aviso da situação ocorrida (noção do rumo seguido, altura e a distância de um aeródromo mais próximo, por exemplo).

A maior parte dos voos de recreio são efetuados em zonas familiares ao RP.

No entanto, muitos voos carecem de um planeamento mais profundo e onde os conhecimentos e **a consciência de Espaço Aéreo Regulado têm de estar presente.**

3. Como está organizado o espaço aéreo?

As regras do ar são o documento operacional que define a divisão do espaço aéreo em termos conceptuais, em função dos serviços de controlo de tráfego a prestar. Permite a cada estado membro da ICAO (International Civil Aeronautical Aviation), ajustar as classes de espaço aéreo aplicáveis a condições específicas no seu território.



Quadro III
Fonte: AOPA

O espaço aéreo tem duas categorias, regulado e não regulado. Dentro de cada categoria existem quatro tipos:

- Controlado
- Não controlado,
- Uso Especial
- Outro espaço aéreo de acordo com os serviços de controlo aéreo **ATS** (*Air Traffic Services*).

Classificação do espaço aéreo

	A	B	C	D	E	F	G
Regras de voo	IFR	IFR / VFR	IFR / VFR	IFR / VFR	IFR / VFR	IFR / VFR	IFR / VFR
Serviço de controlo tráfego	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim, mas somente IFR	Aconselhamento em voos IFR	Info voo sempre que solicitado
Separação de tráfego	Sim	Sim	Sim IFR-IFR IFR-VFR	Sim IFR-IFR	Sim IFR-IFR	---	---
Nos EUA	Upper Limit	Busiest airports	Congested airports	Pequenos aeroportos, com TWR	Aeródromos locais e privados, sem TWR		Espaço livre depois de A, B, C, D e E
Em Portugal	Só FIR Sta Maria	---	Upper Limit + TMA's	Bases áereas militares	---	---	Espaço livre depois de A, C, e D

Quadro IV

Fonte: Circular de Informação Aeronáutica n.º 19/02 - Inac, **Anexo 2, Regras do Ar**
Embry-Riddle Aeronautical University

As aeronaves têm de dispor dos meios exigidos para operar nas Classes pretendidas (de A a G). A Classe A é a mais exigente, sendo as classes subsequentes menos restritivas que a anterior.

Em Portugal, a NAV (*Navegação Aérea de Portugal*) regulamentou a existência de espaços controlados para a FIR (*Flight Information Region*) de Lisboa, as classes C e D. A classe G, como não controlado, é a porção restante.

Os espaços A, B, C, D, E e F têm grandes restrições à maioria dos utilizadores de SANT do sector público e comercial.

O espaço G é muito relevante na operação, nomeadamente na sua versão de recreio.

Apesar das autoridades de controlo de tráfego aéreo não exercerem, neste espaço, autoridade ou responsabilidade, exige-se ao RP:

- Operar com os mínimos definidos nas Regras de Voo à Vista (VFR)
    a. Em posse de relatórios meteorológicos com previsões atualizadas, que contemplem a rota ou área a sobrevoar, segundo regras visuais de voo.
    b. Voar livre de nuvens, em cima de terra ou água.

As **Zonas Especiais** (*Special Use Airspace*) contemplam as diversas zonas do espaço aéreo com restrições, identificadas nas cartas aeronáuticas, como **Zonas**:

- *Perigosas* **(D):** espaço aéreo de dimensões definidas, dentro do qual atividades perigosas para o voo de aeronaves podem desenrolar-se durante períodos específicos.
  Exemplo, LP**D10** Alcochete dias úteis 0700-1800- GND e FL 240- Fogo Ar Solo).
- *Regulamentadas* **(R):** espaço aéreo de dimensões definidas, em terra ou sobre águas territoriais, nos limites do qual os voos estão sujeitos a condições específicas temporárias.
  Exemplos: LP**R 39** Tancos H24 - GND e FL 055. O Parque Nacional Peneda Gerês: LP**R24C**-H24- GND a 3.400 pés AGL).

- *Proibidas* **(P):** espaço aéreo de dimensões definidas, onde são proibidos quaisquer tipos de voo de aeronaves.
  Exemplo: localização de paióis - LP**P2** Pinhal Do Arneiro- MIL H24- GND a 2.000 pés AGL.

Zonas especiais são normalmente espaços com fortes restrições aos utilizadores de SANT, quer do setor público quer comercial.

Os voos de recreio devem ter como premissa, zonas especiais iguais a "zonas proibidas".

No espaço aéreo e **dentro da FIR** (*Flight Information Region)* existem, *ainda quatro tipos de espaços controlados*:

- **ATZ** ou Zona de Tráfego de Aeródromo é controlada pela torre de controlo. Nesta área os controladores têm contacto visual com as aeronaves em voo VFR na aterragem e na descolagem.
- **CTR** ou Zona de Controlo, cujo principal objetivo é proteger a aterragem e descolagem de aeronaves em procedimento por instrumentos (IFR). Normalmente, os aeródromos que têm CTR não têm ATZ. No entanto, os procedimentos de aterragem e descolagem em VFR continuam a ser controlados visualmente pela torre de controlo.
- **TMA** ou Área de Controlo Terminal, situado em regiões de grande densidade de tráfego, fica normalmente situada junto a aeroportos importantes e tem como principal missão o controlo dos procedimentos por instrumentos.
- **CTA** ou Área de Controlo de Tráfego, típica de espaço aéreo controlado, tem como missão principal a coordenação de tráfego de aeronaves na aproximação ou afastamento de corredores aéreos ligados a **TMA**.

É necessário um instrumento de informação, designado por **NOTAM** (*Notice To Airman),* que permita ajustar cada alteração ou restrição ao espaço aéreo. É informação fundamental de consulta no planeamento de qualquer voo ou missão**,** pois descreve informação que não está incluída em qualquer outra publicação.

4. O processo de planeamento de voo: "Do's" e "Dont's"

Com as bases para entender a inserção de uma operação em espaço aéreo, **os estágios de planeamento**, **comuns a RP's, profissionais ou de recreio**, são:

- Definição do planeamento do voo (através de uma metodologia de preparação)
- Verificação da sistematização do voo
- Lançamento
- Execução do voo
- Recolha
- Avaliação da missão/voo

Da **metodologia de preparação** fazem parte:

- A localização em carta aeronáutica da região da rota do voo pretendida.
- A distância em relação a aeroportos, aeródromos ou heliportos.
- O espaço aéreo onde estamos inseridos e implicações no perfil de voo.
- O Google Earth para entender a proximidade das infraestruturas aeronáuticas e outros obstáculos (vias férreas, linhas de alta tensão, por exemplo).
- A verificação dos NOTAM's que se encontram válidos.
- A verificação das **Zonas Especiais** (*Special Use Airspace*)
- Informar e obter as autorizações necessárias (dos responsáveis dos aeródromos e heliportos, públicos ou privados)
- Verificar se há zonas de acesso interdito a SANT's, ou onde não sejam bem-vindos
- Verificar com as autoridades as restrições locais
- Coordenar com outros operadores de SANT's.
- Na procura de todos as informações necessárias à preparação de voo, existem APP's e sites disponíveis, para cada FIR.

Ter sempre presente, o que é permitido fazer e o que é proibido ou restringido!

Este trabalho de preparação e planeamento clarifica quais os "Do´s" e "Dont's" adicionais às obrigações de base:

- O PR tem a responsabilidade de conhecer as regras em vigor para manter o local seguro.
    a. Garantir o contacto visual permanente e não ultrapassar os 400 pés.
    b. Garantir o afastamento de aeronaves, aeroportos, aeródromos e heliportos.
    c. Usar o bom senso e voar em segurança.
- SANT's equipados com câmaras não podem voar:
    a. A distância inferior às determinadas para o território, pessoas, veículos, edifícios e estruturas.
    b. Sobre áreas congestionadas ou eventos desportivos ou concertos.

Ter consciência de que existem consequências legais em caso de incumprimento.

5. As implicações formais de operar um SANT

Operar um SANT implica conhecer **as regras e regulamentos aplicáveis à operação** (recreio, comercial ou pública).

A necessidade de registo do SANT na entidade responsável depende das regras em vigor em cada território:

- Para a **FAA (*Federal Aviation Administration*),** o critério é função do peso do seu peso máximo à descolagem:

  A categoria 0, com peso máximo à descolagem, igual ou inferior a 0,55 libras (250 g) não necessita de registo, de acordo com as novas regras.

  A categoria 1, unidades com peso máximo à descolagem entre as 0,55 e as 55 libras (250g e 25kg), mesmo de uso em recreio, já carecem de registo obrigatório.

- Já a **CAA (Civil Aviation Authority)** no Reino Unido, não obriga a registo para pesos inferiores a 20kg, sendo obrigatório para unidades de peso superior.

  Considera a existência de uma categoria A, inferior ou igual a uma massa de 7 kg, (excluindo o combustível). Esta categoria não permite voar dentro do espaço aéreo controlado, zonas especiais e ATZ (zonas de controle tráfego de aeródromos), a menos que obtenha uma autorização da ATC (Air Traffic Control) por motivo relevante, de acordo com o serviço de informação Aeronáutica, AIS (Aeronautical Information Service).

  O critério relevante para a CAA é a complexidade técnica operacional em função da massa, de que resultam as categorias A, B e C e da autorização solicitada. É possível a obtenção de massas superiores a 20 kg como categoria A, se a operação tiver baixa complexidade.

  No entanto, desde janeiro de 2010, os VANT's de peso inferior a 20kg, **SUA** (*Small Unmanned Aircraft*), **requerem a qualificação do RP para operar** em áreas congestionadas ou próximas de pessoas e bens, não exigindo certificação de aeronavegabilidade. Caso entenda necessário, solicita a demonstração do conhecimento e compreensão básica dos regulamentos em vigor, em particular das regras do Ar, antes de qualquer autorização para operar.

- A **EASA (European Aviation Safety Agency)** em junho de 2015 (*A-NPA 2015-10, annex1 Overview of the EASA Member States regulation on drones*), faz uma **análise de situação nos 18 países membros que têm intenção ou já adotaram**

regulação com os critérios, (categoria, operações permitidas e áreas possíveis sobrevoar), em que a segurança seja assegurada:

- Por meio da combinação de limites de peso máxima à descolagem
- Cenários e limitações operacionais
- Regras relativas às operações, ao RP e ao SANT

Limitações comuns aos 18 países

Limitações de peso com variações em cada categoria

- Categoria inicial de 0 a 2Kg e de 2 a 7 Kg e uma segunda categoria de 2 a 7 kg e de 20 a 25 Kg.
- **Nos cenários operacionais**, as limitações de operação são o VLOS (alguns estados o BVLOS-Beyond Visual Line of Sight), com uma operação centrada no operador;

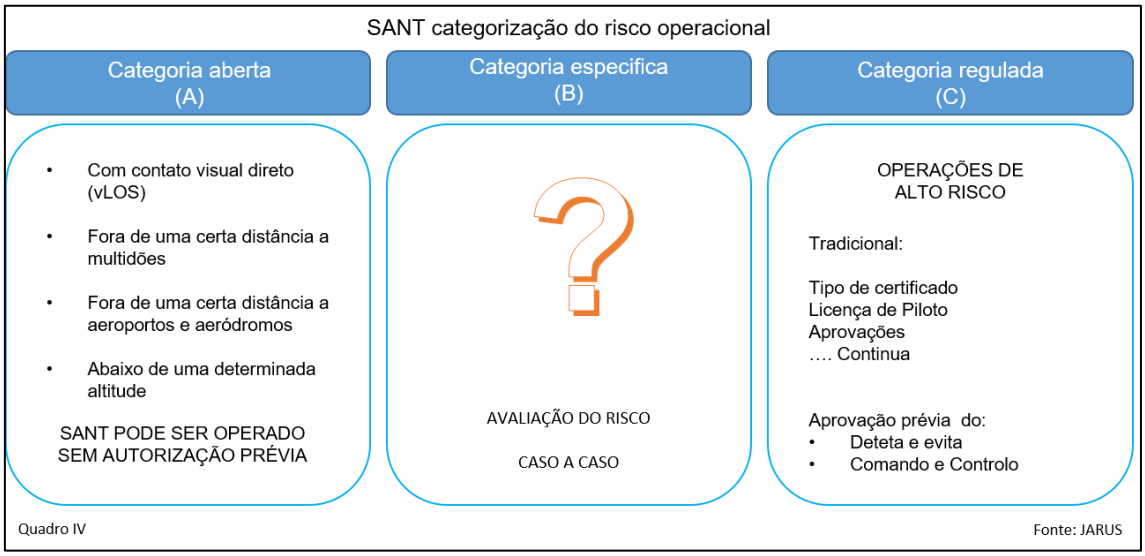
Limitações operacionais

- Limitação em altitude em cerca de 400pés
- Alguns países, uma distância máxima de 500m
- Em praticamente todos os estados é mandatário os SANT darem prioridade a toda e qualquer situação
- A maior parte dos membros a exigirem seguros a impor relatórios de ocorrência.

Regras relativas às operações, ao RP e ao SANT

- Para pequenos SANT a certificação é mínima ou inexistente.
- Nos 20 a 25kg muitos dos países membros solicitam, no processo de aprovação de operação, o licenciamento e avaliação técnica do RP, por escola certificada. Os procedimentos são muito semelhantes aos exigidos na aviação, aparentemente com enfoque na operação comercial, mas pouco exigente no processo.

Parece ser compreensão geral que a distinção entre operação comercial e não comercial não tem efeito na avaliação de risco. O conhecimento do sistema convencional aeronáutico por utilizadores privados de produtos de consumo é idêntico. A oposição à inclusão de operações não comerciais, é muito forte entre estados membros.



A Categoria Aberta (A), está sujeita a forte contestação, por parte do ATC, na utilização do espaço aéreo e no que respeita aos SANT's classificados como brinquedos ou eletrónica de consumo. O elevado número de relatórios de ocorrência, incumprimento de regulamentação, invasão de privacidade, etc., leva a que o CAA queira também esta categoria regulada, não recolhendo no entanto, grandes apoios.

Seguros

A maior parte dos estados membros exige seguros de responsabilidade civil. No entanto a normativa comunitária 785/2004 para "Air carriers and aircraft operators" não o exige para SANT com menos de 20kg.

Torna-se clara a dificuldade na harmonização, embora hajam princípios comuns.

Há que integrar a regulação.

6. Os desafios...

Quer a FAA quer a EASA, estão pressionados pelo Congresso e pela CE, para publicarem regulação de referência que potencie o crescimento económico resultante dessa estabilização, dentro de horizontes temporários bem determinados.

Os desafios são complexos na dificuldade de compatibilizar dois mundos distintos.

Comparação entre Mundos	
Tripulado	Não Tripulado
- Conservador - Evolutivo - Organizado - Cultura de segurança	- Inovador - Revolucionário - Organizado ? - Cultura de segurança ?

Quadro XII — Fonte: EASA |SESAR Joint Undertaking

- Já existe regulação em cerca de 10 países, estando em desenvolvimento noutros nove (dos quais seis com operações com restrições).
- Há mais de 3.000 companhias com aprovações para trabalho aéreo de índole civil, números estes a crescer em cada dia.
- As previsões económicas são de um impacto de vários milhares de milhões $€ até ao final da década.

Há que encontrar o caminho, com dois facilitadores relevantes: Funding e Regulação

Funding

As Ventures de Capital de Risco e as multinacionais do setor, estão muito abertas na análise de projetos e dispõem de capital abundante para oportunidades, por sentirem um enorme trabalho catalisador por parte das entidades governamentais, militares e pelo universo empresarial.

Só na China Continental o investimento direto em empresas neste sector ultrapassou em 2015 os 500 milhões de US dólares.

Grandes multinacionais da indústria da aviação, mas também outros setores, como os ligados a distribuição, pressionam pelas oportunidades que a oferta potencia.

Para financiar projetos de I&D, de preferência envolvendo *consortia* e associações temporárias, o programa SESAR 2020 disponibiliza fundos aos projetos estruturados e com mínimos de viabilidade.

Todos sentem que se iniciou um processo revolucionário na Aviação

Regulação

Há muitas entidades envolvidas a trabalhar de forma coordenada

A **JARUS** (***Joint Authorities for Rulemaking of Unmanned Systems***), coordenador das principais agências e autoridades aeronáuticas de diversos países, (como exemplo a FAA, o Eurocontrol , a EASA), tem a missão de recomendar a regulação e harmonização

em todos os aspetos relacionados com os requisitos técnicos, segurança e operacionais, para uma integração segura dos SANT no espaço aéreo e em aeródromos.

Com uma abordagem holística tem trabalhado na integração dos interesses de todos os "Stakeholders" da indústria, com o grande objetivo de criar orientações guia por forma a evitar a duplicação de esforços das autoridades aeronáuticas de cada estado membro na criação da sua regulação.

Problemas como a privacidade, "ciber" segurança e aplicação da lei são aspetos revelantes no seu foco e que estão a ser contemplados, para responder à velocidade do desenvolvimento técnico, por forma a mitigar a necessidade de revisões dos regulamentos.

A ICAO, A JARUS, a EASA, a CE através do programa SESAR 2020 na I&D e a ADS, têm uma visão ambiciosa para os anos próximos (2016 a 2018), levando a acreditar na integração dos SANTs no Tráfego Aéreo por fases, com uma regulação ajustada aos desafios.

A oportunidade resultante da Recomendação FCL das JARUS de setembro 2015, para a adoção pelos estados membros da regulação relativa ao licenciamento de pilotos para SANT (RPL), clarifica a organização de todo o processo de formação.

É desde já uma formidável oportunidade, a integração em escolas certificadas e a procura de uma visão menos convencional, para oferecer aos futuros pilotos, e de desenvolvimento da cadeia de valor conectada com a operação.

A formação irá garantir uma mentalidade ajustada às novas regras e permitir atingir padrões de segurança e legalidade, que possibilitarão o levantamento de algumas das restrições atualmente existentes.

A publicação de recomendações previstas para os próximos três anos, fará surgir uma procura de certificação de operações, com base nas oportunidades resultantes de diversos nichos de mercado de serviços, relativas:

- A harmonização para operações EVLOS,
- Aos requisitos para as operações em VLL/BVLOS,
- Ao voo em rota dentro do espaço aéreo controlado RLOS/IFR,
- As operações restritas em BRLOS/IFR, suportadas por comunicações via satélite

Referências Bibliográficas

Todd, Craig J. (2015). “The Future of Drone Technology”. Drone Life.

UAVSI (Association for Unmanned Vehicle Systems International) (2015). “Unmanned Aerospace Systems (UAS) Key Concepts for New Users”. Acedido em http://www.erau.edu/.

Annex 11 of the Convention of International Civil Aviation, “Classification of airspaces”.

INAC (2002). Circular de Informação Aeronáutica n.º 19/02, Anexo 2, Regras do Ar.

EASA (2015). “Advanced Notice of Purpose Amendments” Annexo 1, A-NPA-2015-10.

SARP, CAA (2015). “Unmanned aircraft system operation in UK airspace – guidance”, CAP 772, CAP 2, Approval requirement map.

CAA registration, aircraft operation and safety requirement for unmanned aircraft (website). Acedido Maio 25, 2015, em JARUS UPDATE

Northstroem, Frederic (2015). AIRBUS Defense and Space, Madrid.

PINPOINT RESOURCE GROUP (website). Acedido em http://www.pinpoint.jobs/the-future-of-the-tech-industry-drone-jobs/.

BUSINESS INSIDER INTELLIGENCE (website). Acedido Julho 15, 2014, em http://www.businessinsider.com/top-industries-that-will-be-transformed-by-drones-2014-6.

EU (2012). EU Regulation 923/2012 “Standardised European Rules of the Air” (SERA).

AOPA (website). Acedido em http://www.aopa.org/.

AMA (website). Acedido em http://www.modelaircraft.org/.

AUVSI (website). Acedido em http://www.auvsi.org/home.

NAV (website). Acedido em https://www.nav.pt/.

AIS (website). Acedido em https://www.nav.pt/ais.

KNOW BEFORE YOU FLY (website). Acedido em http://knowbeforeyoufly.org/.

AIRMAP (website). Acedido em https://www.airmap.io/.

DRONE LIFE website). Acedido em http://dronelife.com/.

Autores

Pedro Antunes da Cunha
Loft Journey, Business Development
pedro.cunha@outlook.pt

CONTRIBUTOS TÉCNICOS PARA A REGULAMENTAÇÃO

João Gomes Mota

Resumo

Além do enquadramento geral já apresentado pela ANAC e pela European Aviation Safety Agency (EASA A-NPA 2015-20), há um conjunto de requisitos técnicos que devem enquadrar a utilização de RPAS ou de drones em meio civil. Esta contribuição, propõe soluções para esses requisitos numa perspetiva de regulação e de partilha do espaço aéreo por diferentes classes de utilizadores: 1) ver e ser visto ou, neste caso, sentir e ser sentido; 2) geofencing e navegação em referenciais locais; 3) integração com o segmento do solo e terceiros e 4) modos de operação.

Atualmente, os drones são operados como se fossem a única aeronave no espaço aéreo à sua volta, como se existisse uma segregação de facto desde o solo até algumas centenas de pés de altitude. Esta premissa é sustentável em zonas remotas e de fraca presença humana mas perde verosimilhança à medida que os drones se aproximam das zonas à beira-mar ou na vizinhança de atrações ao ar livre: corridas desportivas, concertos e espetáculos, etc.. Para melhorar o uso partilhado do céu apresenta-se três medidas: uso de transponders, comunicação ponto a ponto ou com o solo e deteção de obstáculos.

À delimitação de uma superfície definida em coordenadas geográficas e com um teto acima do nível de solo chama-se geofencing. Associar o geofence a um intervalo temporal de uso é prática comum para regulamentar o uso partilhado do espaço aéreo. Porém, a sua eficiência depende da qualidade de receção dos sinais de GPS, da qualidade das coordenadas fornecidas e de interferências nocivas. Para colmatar esta falha e reforçar a segurança, propõe-se o uso de sensores que sigam elementos notáveis do cenário. Esta função, chamada target fencing por analogia, destina-se a operar no interior de um volume de geofencing e aumenta as margens de robustez já que geofencing e target fencing dependem de princípios físicos diferentes.

Para uma operação ou supervisão fiável e robusta de drones há que acautelar a ligação de telecomunicações com o solo, seja porque o piloto perdeu a comunicação em canal dedicado seja porque é urgente comunicar com pessoas isoladas no terreno. Pela sua ubiquidade, a rede de telefonia móvel pode ser uma boa alternativa pois quase todas as pessoas trazem um equipamento recetor no bolso; porém esta hipótese obriga a novos cuidados de disponibilidade e de segurança.

Tal como no ponto anterior, ICAO e o público-cliente dos drones parecem querer avançar em direções opostas: enquanto a primeira sublinha a necessidade de pelo menos um piloto por cada aeronave, os agentes no mercado propõem fundir as funções de operador de câmara e de piloto. O grau de complexidade da missão e as variações de condições ambientais relevantes são determinantes na definição e formação das equipas e de procedimentos.

Palavras-chave: perceção da situação; *geofencing*; *target fencing*; telemetria; conceito de operação.

1. Introdução

De acordo com o programa de regulamentação da EASA [EASA RMP 2016-20], está prevista uma sequência de publicações para RPAS num futuro próximo (referência RMT.0230) que enquadrarão a atividade de voo a nível europeu e nacional: Terms of Reference durante o ano de 2016: alterações à regulação base de operação em Junho de 2016, opiniões (ou "Implementing Rules" IR) para a categoria mais ligeira ("open") em Dezembro de 2016; para a categoria de missões específicas ("specific") será publicado um documento preparatório da discussão pública (Notice of Proposed Amendment, NPA) em Junho de 2017 e uma IR em Junho de 2018 e finalmente, a categoria certificada ("certified"), para aeronaves mais pesadas e operações mais complexas está prevista para 2019.

É nesse cenário que o texto se desenvolve, partindo do princípio que os drones a usar se incluirão na categoria de missões específicas (massa máxima à descolagem até 25kg), e expondo ferramentas e procedimentos que contribuam para implementar os propósitos da Agência. A regulação pretende ser orientada ao tipo de missão (e não ao tipo de aeronave), proporcional e progressiva em função dos riscos envolvidos; pretende ainda ser "performance based", isto é, em vez de definir como se atinge um objetivo (de segurança, por exemplo), define-se apenas o objetivo, cabendo aos operadores demonstrar o cumprimento do objetivo de forma aceitável.

2. Ver e ser visto

Um dos elementos principais da pilotagem é a capacidade de perceção da situação ("*situation awareness*"). No caso dos drones, o piloto tem uma posição diferente da aeronave e também não está sujeito às acelerações do voo e às alterações de contexto ambiental (sol, chuva) tendo de confiar em sensores a bordo da aeronave, na observação do meio ambiente e na sua capacidade intelectual para interpretar a situação em tempo real e à medida que ela se modifica e agir ou reagir em tempo útil. A resposta regulatória inicial para esta necessidade foi clássica (por oposição à "performance based"): o voo com drones deve ser feito em linha de vista (VLOS: Visual Line Of Sight). Porém, mesmo em linha de vista, a capacidade da visão humana de perceber distâncias e profundidades é muito limitada e para lá de algumas dezenas de metros de distância, é impossível manter distâncias de segurança a outras aeronaves e utilizadores dos céus (cuja trajetória é normalmente desconhecida), a objetos imóveis, e a fauna e flora circundante. É por isso essencial ver e ser visto ou, tratando-se de

sensores, sentir e ser sentido. Este problema subdivide-se em dois outros, consoante os corpos a analisar (vivos ou inanimados) são cooperantes ou não.

No caso dos corpos cooperantes, foi proposta a extensão para drones de soluções já existentes para aviação ligeira e para pára-quedistas baseadas em balizas rádio. Estas balizas são emissores-receptores de rádio que identificam o corpo em que estão instaladas, o seu tipo, a trajetória estimada e recolhem informação de outras balizas semelhantes nas proximidades, tipicamente com um alcance até 5nm (ou aprox. 10km). As duas soluções técnicas mais comuns são Flight Alarm (FLARM) e Automatic dependent surveillance – broadcast (ADS-B). Estes dispositivos baseiam-se num recetor GPS acoplado a uma unidade de processamento e antenas de rádio UHF que difunde a sua localização e velocidade do sensor e do corpo a ele solidário. Dado que estes sistemas se destinam a aeronaves simples é frequente um único equipamento apresentar múltiplas funções; por exemplo, há sensores FLARM que usam mapas locais para implementar funções de restrição de espaço aéreo.

A disponibilidade destes sistemas para integração na aviónica de aeronaves ligeiras (tripuladas ou não) tirando partido de sensores já existentes torna-os fáceis de integrar assim que se estabeleça regulação para a integração de drones no espaço aéreo. Até lá, é possível usá-los em modo passivo, apenas com função de escuta (*inbound*).

A deteção de corpos não cooperantes (ou pouco cooperantes), vivos ou inanimados, inclui a deteção de outras aeronaves bem como de construções, linhas elétricas, vegetação, deteção do solo, *etc.*, requerem abordagens sensoriais mais complexas, quer por transferência de dados para a estação de controlo em terra (com as limitações a abordar na Secção 3) quer por meio de sensores ou sistemas cartográficos instalados a bordo. Um exemplo destes últimos são os sistemas de alerta de solo (TAWS, Terrain Awareness and Warning System) baseados em mapas de altitude. Trata-se de embarcar um mapa do terreno e, opcionalmente, de construções e outros elementos humanos de grandes dimensões (linhas elétricas, chaminés e antenas) e usar a localização por GPS para consultar em tempo real as distâncias de segurança aos elementos do mapa. Estes são muito usados na aviação tripulada mas tornam-se mais difíceis de usar com drones dada a escassa distância máxima ao solo (500ft ou 150m) agravada pelo facto da maior incerteza da localização de GPS estar associada à estimação de altitude. Para mitigar este problema, complementa-se a localização absoluta do GPS com dois sensores baseados em princípios físicos relativos: um barómetro/altímetro que mede a diferença de pressão/altitude face à descolagem (assumindo que os voos se realizam numa vizinhança do ponto de descolagem e são

de curta duração) e uma sonda de solo com radar, ultra-sons ou LiDAR que deteta a distância o objeto mais próximo numa direção. Esta última é a preferida para controlar a altura acima da pista na aterragem automática de drones de asa fixa. Na próxima secção, propõe-se um sistema com este fim baseado em LiDAR.

Recentemente, surgiram propostas de processamento de vídeo em tempo real para deteção de objetos voadores não cooperantes, mas estas são computacionalmente exigentes e dependentes do ambiente e do cenário para funcionar bem, o que limita o seu reconhecimento como contributos para a aeronavegabilidade (*airworthiness*) de um sistema. Não obstante, é previsível que estas soluções se expandam porque procuram reproduzir a perceção dos pilotos que já não estão a bordo.

3. *Geofencing* e navegação em referenciais locais (*target fencing*)

O *geofencing* é uma técnica de separação de tráfego aéreo baseada na criação de zonas diferenciadas a partir de mapas. Pode ser definido em duas dimensões (coordenadas geográficas) ou em três dimensões (acrescentando a altitude ou altura ao solo). Pode ser baseado num princípio de exclusão: todo o espaço está aberto exceto as zonas interditas (*no fly zones*) ou restritas (o voo requer autorização específica), ou num princípio de inclusão: a aeronave encontra-se no interior de um volume autorizado e não pode sair dele. O facto da limitação partir das coordenadas da aeronave deu origem à expressão "geofence", literalmente, cerca georeferenciada. Num sentido lato, a limitação de voo de drones acima de 500ft ou 150m acima do solo é uma forma de *geofence* "vertical".

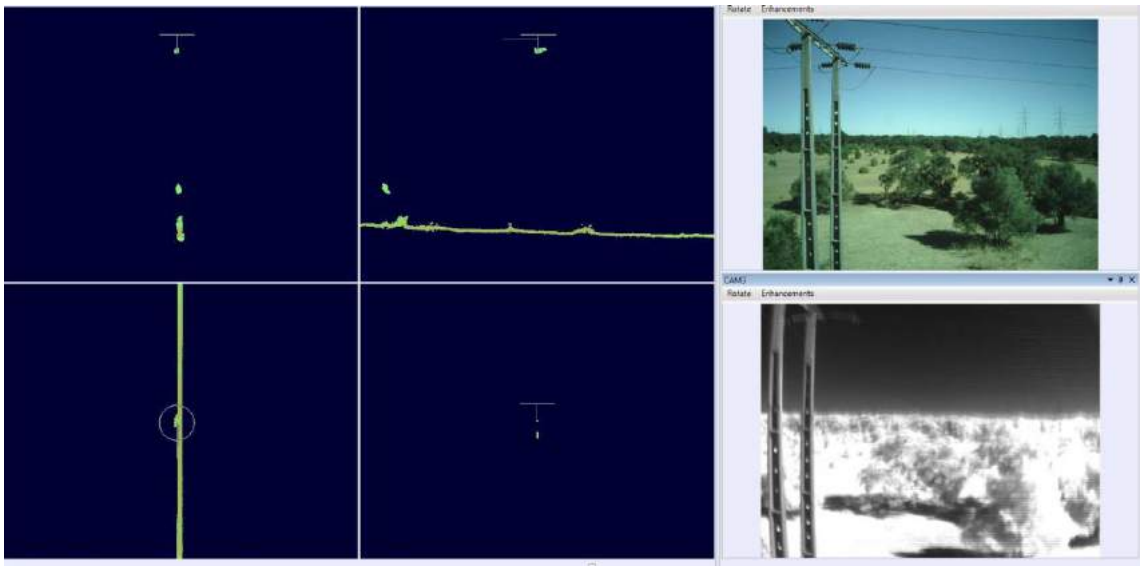
No caso de drones desempenhando missões específicas, a implementação de um *geofence* é um importante contributo para a aeronavegabilidade. Imagine-se uma mina a céu aberto, uma pedreira, um estaleiro de construção civil ou um sítio arqueológico: a definição de um *geofence* que limite a zona em que um drone pode voar, possivelmente associado com uma restrição temporal – realizar voos quando o sítio não tem trabalhadores – reduz as consequências de uma falha praticamente à perda do drone, quase eliminando os riscos no solo. Torna-se assim possível realizar missões repetitivas de alta qualidade e precisão para avaliação de progresso do trabalho (ou até de vigilância) de forma mais eficiente. Os responsáveis pelo sítio podem reforçar a segurança solicitando às autoridades um *geofence* complementar de exclusão para outros drones, criando uma segregação *de facto* do espaço aéreo.

A fiabilidade e robustez do *geofence* estão dependentes da localização absoluta por GPS. Uma segunda fragilidade resulta da incerteza das coordenadas na demarcação da fronteira: num sítio confinado é fácil obtê-las com rigor, mas a exatidão e o detalhe na definição dos contornos de zonas extensas são difíceis de obter.

Para reforçar a aeronavegabilidade, seria útil dispor de sistemas de navegação relativa que mantivessem o drone dentro de distâncias de segurança à instalação: nem demasiado perto por risco de colisão, nem demasiado longe para evitar a degradação da qualidade de observação. O autor, estando envolvido no desenvolvimento de sistemas de inspeção de linhas elétricas aéreas (Gomes Mota, 2015), propõe o uso de um sensor LiDAR.

O LiDAR mede a distância até ao objeto mais próximo em cada direção. Se estiver acoplado a um espelho rotativo, mede a distância em todas as direções de um círculo. Manobrando o drone no cenário, torna-se possível criar um modelo tridimensional de todos os objetos em torno do drone. Este LiDAR cumpre uma tripla função: 1º) cria um mapa da vizinhança do drone definida pelo espaço livre em coordenadas relativas, contribuindo para a perceção da situação (note-se que em relação às soluções baseadas em mapas pré-carregados e bases de dados citadas antes, esta perceção inclui os objetos presentes em cada local e a cada instante); 2º) serve de dispositivo de alerta de colisões (ACAS, Airborne Collision Avoidance System) relativamente a corpos não cooperantes, incluindo o solo, numa vizinhança próxima, desde que estes tenham velocidades baixas a moderadas; 3º) mantém a distância à instalação de interesse dentro dos parâmetros de segurança e qualidade. A Figura 1 representa uma aplicação deste sistema. Para esta técnica propõe-se o nome “target fencing” uma vez que é uma extensão de *geofencing*, e deve ser operada dentro de um *geofence* de inclusão. O *target fencing* baseia-se em localização relativa que é complementar à localização absoluta baseada em GPS do *geofence* para melhor aeronavegabilidade.

Figura 1 – Sistema de perceção da situação e inspeção com LiDAR, vídeo e infra-vermelho



O sistema pode ser integrado com supervisão automática em tempo real para guiar o drone autonomamente no decorrer da missão de inspeção (Antunes, 2014).

4. Ligação entre aeronaves, o solo e terceiros

A forma tradicional de ligação entre aeronaves e o solo é a ligação rádio entre uma estação de solo e uma aeronave, mesmo que o canal de comunicação seja aberto a terceiros. No caso dos drones, esta ligação assume aspetos críticos porque é a única forma de transmitir comandos e receber informações (*telemetria*) sobre o voo e dados de perceção sensorial em torno da aeronave. Como, por ora, os drones não comunicam entre si, este canal é também o único canal de comunicação.

A propagação das ondas rádio em linha reta entre a estação de solo e a aeronave atravessa um volume elipsoidal. A quantidade de dados e o seu ritmo de atualização (chamados "largura de banda") diminuem à medida que a distância aumenta e a transmissão é perturbada pela atmosfera, pelo solo e pela vegetação e construções acima do solo; para comunicações a maior alcance há que acrescentar o efeito da curvatura da superfície terrestre. Como os drones voam muito próximo do solo este elipsoide ou lobo de radiação é afetado pelo efeito de solo, limitando efetivamente o alcance da comunicação. Estando a altura do drone acima do solo limitada pela regulação e pelas missões a realizar, a solução passa por subir a antena da estação de controlo. Pode-se subir a um monte, pode-se instalar a antena no alto de um mastro ou até num balão de hélio que se faz subir até uma cota próxima do voo.

Uma alternativa para melhorar a comunicação passa por aumentar a diretividade da antena no solo, instalando refletores atrás das antenas ou uma plataforma motorizada: dado que as localizações da estação do solo e do drone são conhecidas com exatidão, é possível calcular o vetor que os une e os ângulos de azimute e elevação desse vetor, apontando precisamente para a aeronave.

Porém, todas estas medidas visam ganhos marginais dentro da solução clássica de comunicação ponto a ponto. Partindo da observação que os drones, ao contrário dos aviões, estão mais ligados às pessoas em terra e às suas atividades do que ao tráfego aéreo, torna-se interessante explorar a possibilidade de recorrer às redes de comunicações terrestres. Enquanto os drones tiverem velocidades comparáveis às dos automóveis, parece viável usar as redes de comunicações móveis "normais" GSM e até Wi-Fi nas zonas de maior concentração de atividades humanas.

A opção pela ligação a GSM+Wi-Fi tem vantagens: há uma rede densa, pré-instalada, que cobre a maior das zonas de interesse de atividade dos drones. Todos os protocolos de comunicação, de transição entre estações de terra, de partilha de canais, de comunicação ponto-a-ponto ou de difusão estão bem definidos e padronizados, evoluindo à medida das necessidades dos utilizadores. Os equipamentos terminais móveis (antenas) estão acessíveis e têm massa e consumo elétrico modestos. A comunicação entre o drone e a estação de controlo é independente da distância que os separa. O volume e o tipo de tráfego está preparado para transmissão de vídeo e de comunicação de dados (telemetria).

Naturalmente, o GSM e o Wi-Fi também têm desvantagens: não há um circuito dedicado entre a estação de terra e o drone; o ritmo e volume de dados transmitidos são incertos, não havendo sequer garantia de continuidade da ligação; o sistema está sujeito a congestões, sobretudo em zonas de intensa atividade humana (pense-se no caso dos concertos e eventos desportivos e culturais ao ar livre que atraem multidões) e a cobertura da rede e a largura de banda pioram à medida que os drones se afastam das zonas urbanizadas.

Sopesando todos os factores, parece que a inclusão de GSM e Wi-Fi como opção de comunicação com o solo pode melhorar o desempenho global do sistema, sobretudo se se discriminar o tipo de tráfego: comandos e telemetria, que são críticos para evitar os riscos da operação, seriam enviados por rádio; tratando-se de dados de pequena largura de banda, é possível esperar alcances de vários quilómetros (reforçado pelas medidas de melhoria da antena no solo citadas). Os dados sensoriais de perceção

seriam enviados por rede GSM ou Wi-Fi quando o drone se encontrar para lá do alcance da ligação rádio.

A capacidade de conexão à rede GSM abre novas funcionalidades aos drones em contexto de recuperação de emergências: se um drone assumir o papel de estação de base de uma rede GSM durante e após tempestades ou outros fenómenos naturais, pode contribuir para reforçar a malha de comunicação, substituindo temporariamente estações inoperacionais e até difundir e receber alertas pelos canais de sinalização da rede para pessoas perdidas ou ameaçadas no solo, pois é altamente provável que estas tragam um telemóvel no bolso.

5. Modos de operação

O uso da designação drone, UAV (Unmanned Aerial Vehicle), UAS (Unmanned Aerial System) ou RPAS (Remotely Piloted Aircraft System) não é indiferente, até porque retratam conceitos de operação diferente. O primeiro termo, que captou a atenção do público e por isso é o preferido da EASA, subentende um sistema autónomo, dotado de inteligência e capacidade de se adaptar ao mundo em redor. Já UAV remete para uma aeronave ignorando o sistema no solo e UAS considera como sistema o conjunto aeronave+solo+planeamento. Finalmente, RPAS identifica claramente que o sistema é pilotado por uma pessoa que, ao contrário das outras aeronaves, está no solo. Esta é a designação usada pela ICAO (International Civil Aviation Organisation), a autoridade máxima da ONU. Há, portanto, uma tensão latente entre a visão regulatória da ICAO com um piloto por aeronave e as expectativas de autonomia dos utilizadores.

O conceito de operação é a especificação fundamental de qualquer operação com aeronaves. Deve ser definido do ponto de vista do operador e incluir objetivos, capacidades, riscos, análise de contexto e procedimentos e deve ser comunicado a todas as pessoas envolvidas e, no caso dos drones, às autoridades e demais utilizadores do espaço aéreo. Muitas propostas de conceitos de operação que circulam entre o público e nos grupos de inovação, baseiam-se na autonomia do veículo aéreo enquanto outras têm fases de voo autónomo e voo supervisionado, eventualmente com mais do que uma estação de controlo em terra. Outras ainda referem um piloto para mais do que uma aeronave ou até "bandos" de aeronaves em colaboração.

As regras atuais, com exceções em alguns países para a categoria mais leve ("open") ou para operações em circunstâncias especiais (espaço aéreo fechado ou segregado) exigem a operação em linha de vista e o mínimo de um operador por aeronave.

Antes de ampliar os conceitos de operação, urge padronizar regras de apresentação de conceitos de operação, de procedimentos, de demonstração de cumprimento de funções, de estimação dos riscos associados no ar e no solo, de formação de operadores e de instruções de manutenção de aeronavegabilidade.

6. Conclusões e pistas de aprofundamento

Em aeronáutica, o tempo e o espaço (ou distância) são duas variáveis críticas de segurança intimamente ligadas pela constante de proporcionalidade dada pela velocidade da aeronave em relação ao vento (e não ao solo!). O lapso de tempo entre uma ordem dada no solo e a sua execução pela aeronave exprime-se em milhas percorridas; a medição de uma distância ao solo ou a um obstáculo exprime-se em segundos para decidir e atuar controladores que modifiquem o voo antes do impacto. Por esse motivo, é essencial classificar o mérito das soluções propostas de acordo com a velocidade esperada para os drones. Em menor grau, a controlabilidade dos drones é também importante, mas mais difícil de aferir de forma regulamentar.

Se se admitir que os drones de asa rotativa têm velocidades máximas (VNE, Velocity Never to Exceed) entre os 20kt (37km/h) e os 40kt (74km/h) e que os drones de asa fixa têm VNE entre os 30kt (56km/h) e os 60kt (111km/h), as especificações dos contributos propostos devem corresponder a limiares de risco aceitável em tempo e distância: pode não fazer sentido para um drone de asa fixa ter uma ver e ser visto a 5nm (9km) com atualizações de 1s mas faz sentido ter uma frequência de medida de distâncias de colisão de 1s para distâncias até 50m (que podem ser percorridos entre 5s a 10s). No caso dos drones de asa fixa, voar a 60kt significa que a visibilidade de 3nm (5km) representa um período de 3 minutos entre o primeiro sinal de presença de outro corpo (cooperante ou não) e o risco de impacto. No caso mais desfavorável de aeronaves com trajetórias na mesma direcção e sentidos contrários, o tempo pode reduzir-se para menos de metade. Logo, o limiar de deteção de 5nm, aparentemente excessivo, surge como mais razoável, sobretudo para drones com massa que possa causar danos catastróficos noutras aeronaves ou no solo.

O uso de uma das duas soluções de alerta de proximidade ADS-B ou FLARM seria um contributo positivo para a segurança e partilha do espaço aéreo pois o seu uso tornar-se-á obrigatório para algumas das classes de aviação tripulada ligeira na Europa e América do Norte entre 2017 e 2020 e requeriria os menores esforços de compatibilização com os sistemas existentes.

A consideração de inovações como *target fencing* e comunicações GSM e Wi-Fi como suplemento às ligações rádio pode reforçar a aeronavegabilidade. Em termos de ligação ao solo e de modos de operação, é necessário definir os tempos máximos admissíveis de perda de ligação ou de controlo e os comportamentos a programar nos drones durante esses períodos.

A implementação coordenada de sistemas e sensores baseados em princípios físicos diferentes contribui para a robustez dos sistemas não tripulados, pois as limitações de cada um deles tenderão a manifestar-se em situações diferentes. Já a separação de sistemas segundo as funções para reforço da fiabilidade pode revelar-se excessiva face à massa dos sistemas e ao risco envolvido (princípio da proporcionalidade).

Todos os contributos propostos visam contribuir para o reforço da aeronavegabilidade, garantindo às autoridades e às populações um nível de segurança aérea adequado e aos operadores um alargamento progressivo dos conceitos de operação válidos, a partir da demonstração do cumprimento das margens de segurança.

Sem pretender ser exaustivo, o autor pensa que, além dos quatro temas abordados, há outros temas que trazer contributos técnicos à regulação da operação fiável e robusta de drones: 1) telecomunicações para lá de *security*; 2) autonomia, hierarquia de controladores; 3) fiabilidade e redundância de sistemas; 4) sistemas de gestão de tráfego aéreo; 5) robustez, degradação suave de desempenho e *design to fail*; 6) sistemas de apoio à aterragem; 7) fatores ambientais; 8) manuais de procedimentos; 9) áreas de teste e 10) integração com o tráfego aéreo tripulado.

Referências Bibliográficas

EASA (2015). Introduction of a regulatory framework for the operation of drones. European Aviation Safety Agency (A-NPA 2015-10).

EASA (2015). European Aviation Safety Agency, Rulemaking Programme 2016-2020. 82p.

Gomes Mota, J. *et al.* (2015). Target fencing for RPAS power line inspections. 1st International Conference on RPAS related Technologies. França: Paris, Le Bourget.

Antunes, S. *et al.* (2014). Safe Flight Envelope for Overhead Line Inspection, 3rd International Conference on Applied Robotics. Brasil: Foz do Iguaçu.

Autores

João Gomes Mota
Albatroz Engenharia
gomes.mota@albatroz.engineering

UTILIZAÇÃO DE VANT PARA O GEORREFERENCIAMENTO DE IMÓVEIS RURAIS

Amilton Amorim
Guilherme Gomes Pessoa
Ian Ribeiro Lemes
Juliane Mendonça Komazaki
Lorena Canali Jorge
Maurício Galo
Paulo de Oliveira Camargo

Resumo

A implantação e manutenção de uma base cartográfica não é uma tarefa simples, principalmente se considerarmos grandes extensões territoriais, como por exemplo, o Brasil, cuja área corresponde a aproximadamente 15,7 vezes a área da França, 16,9 vezes a da Espanha e 92,5 a de Portugal. Ao se tratar do mapeamento urbano, a questão é também delicada, pois as cidades obedecem a um sistema dinâmico de crescimento, sofrendo alterações significativas em um período relativamente curto e os sistemas cadastrais necessitam de informações que permitam a representação em escala grande, o que aumenta a problemática da atualização, para alguns municípios, uma vez que a precisão e o custo estão intimamente relacionados com a escala. Os imóveis são, geralmente, descritos fisicamente a partir das coordenadas bidimensionais dos vértices da parcela. No Brasil, este procedimento é previsto pela Lei 10267/2001 para o cadastro de imóveis rurais, que visa à produção da representação gráfica da estrutura fundiária de uma região e minimização de problemas de sobreposição ou lacunas entre parcelas e, consequentemente, a redução dos conflitos fundiários. Além disso, uma área constantemente marginalizada, quando se trata de mapeamento e cadastramento urbano, é a chamada área de expansão urbana, geralmente formada por imóveis com uso predominantemente urbano, mas com características físicas rurais, uma vez que a grande maioria dos imóveis não foi objeto de parcelamento urbano e possuem limites definidos por polígonos irregulares. Este fato impossibilita que as operações de recadastramentos urbanos sejam extensivas a esses imóveis, a partir da mesma metodologia, necessitando geralmente de levantamentos por métodos topográficos convencionais, que muitas vezes podem inviabilizar as referidas operações, impactando negativamente na arrecadação de tributos referentes a esses imóveis. Com o objetivo de auxiliar esse processo, principalmente para as prefeituras de pequeno e médio porte, este trabalho mostra os primeiros resultados de mapeamentos, em área rural, elaborados a partir do uso de imagens obtidas por um pequeno VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) integrado a receptores GNSS (Global Navigation Satellite System) de navegação. Embora sistemas desta natureza não sejam viáveis para grandes extensões, este trabalho mostra que, para áreas menores, pode-se obter redução de tempo e consequentemente dos custos dos trabalhos, atingindo os padrões de precisão estabelecidos pela legislação cartográfica vigente.

Palavras-chave: VANT; Cadastro Rural; Cadastro Territorial Multifinalitário.

1. Introdução

A evolução tecnológica tem sido muito intensa nas últimas décadas, principalmente graças aos desenvolvimentos nas áreas de Eletrônica e Informática. Uma das áreas diretamente beneficiadas como consequência dessa evolução é a área de mapeamento, na qual inúmeros sensores e plataformas são disponibilizados. Exemplo disso são os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT), que têm sido muito utilizados tanto para recreação (drones) como para a realização de trabalhos profissionais.

Um aspecto crítico no uso desta tecnologia se relaciona à necessidade de aprimoramento na legislação, bem como no controle do uso dessa tecnologia, devido ao uso compartilhado do espaço aéreo. A Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) estabeleceram algumas regulamentações. No entanto, ressalta-se que existe a necessidade de especificar melhor as restrições e permissões, de acordo com os inúmeros modelos de equipamentos disponíveis no mercado, que possuem desde um alto nível de segurança e controle até um nível quase inexistente (BRASIL, 2012; BRASIL, 2015).

Esses equipamentos podem ser encontrados no mercado com diferentes configurações e características, desde muito pequenos (com poucos gramas de peso) até muito grandes (com toneladas), desenvolvidos para as mais diversas finalidades de aplicações. Entre estes extremos têm-se também aqueles adequados para a aquisição de imagens aéreas (fotografias e filmes).

Os equipamentos desenvolvidos para a tomada de imagens permitem aplicações em trabalhos que, até a pouco tempo, só era executado por empresas de Fotogrametria, com aeronave equipada com câmaras aéreas convencionais.

Com o avanço tecnológico e a redução no tamanho de sensores como câmaras fotográficas, sistema inercial e receptor GNSS foi possível embarcá-los em VANT's cada vez menores e mais leves. Aliados ainda ao desenvolvimento dos processos fotogramétricos, este tipo de plataforma pode ser considerada com uma alternativa para algumas aplicações.

Como acontece em todas as áreas, num primeiro momento, os equipamentos recém-desenvolvidos são oferecidos no mercado com valores elevados e, nem sempre, atrativos. No entanto, com o passar do tempo tendem a ficar mais acessíveis e atrativos, demonstrando viabilidade econômica para sua utilização em diversos tipos de aplicações.

Atualmente, os chamados *light drones* ou "micro VANT's" possuem sistemas de controle que permitem sua utilização com muita segurança, além da possibilidade de embarque de sensores que permitem a execução de mapeamentos fotogramétricos com qualidade equiparada à Fotogrametria convencional.

Obviamente, um sistema para a obtenção de fotografias aéreas com câmara de pequeno formato, como é o caso de uma câmara embarcada em um micro VANT, não pode ser comparado com a Fotogrametria convencional em termos de produtividade, uma vez que há restrições para a utilização do mesmo em áreas urbanas e também pela limitação das pequenas áreas imageadas. Por outro lado, para algumas aplicações, em áreas de menor dimensão, onde a aquisição por meio de uma plataforma aerotransportada não é viável, essas plataformas podem ser consideradas como uma alternativa interessante.

De acordo com BRASIL (2013), as normas técnicas do Instituto de Colonização e Reforma Agrária - INCRA, não permitem a utilização de imagens para determinar as coordenadas dos vértices artificiais definidores de limites de propriedades rurais, para efeito da Lei 10267/2001, que são materializados por marcos ou por intersecção de cercas. Este foi um dos fatos que nos motivou à realização deste trabalho, cujos experimentos foram realizados em uma área rural do municipio de Presidente Prudente - SP, Brasil.

2. Objetivo

Avaliar a qualidade posicional das coordenadas dos vértices obtidos a partir de ortoimagens geradas pelo processamento de imagens adquiridas por uma plataforma VANT, e sua adequação à Lei 10267/2001, que dispõe sobre o georreferenciamento de imóveis rurais para fins de registro.

3. Fundamentação teórica

3.1. Posicionamento por satélite

O GNSS (*Global Navigation Satellite System*) é uma das tecnologias mais avançadas que existe atualmente para o posicionamento em um referencial global. Um dos principais componentes do GNSS é o GPS (*Global Positioning System*), desenvolvido pelo governo Norte-Americano, e o GLONASS (*Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*), desenvolvido pela extinta URSS (União das Repúblicas

Socialistas Soviéticas) e hoje sendo de responsabilidade da República da Rússia. Outro componente do GNSS, que está sendo desenvolvido pela União Europeia, é o Galileo. Há também o sistema chinês *Beidou/Compass*, que se encontra em desenvolvimento. Outros componentes, além dos citados, que compõem o GNSS são os sistemas aumentados designados de SBAS (*Satellite Based Augmentation System*), tais como o Norte-Americano WASS (*Wide Area Augmentation System*), o europeu EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay Service*), entre outras iniciativas similares (SEEBER, 2003).

O GNSS, além de aplicação em levantamentos, vem sendo aplicado em georreferenciamento de imóveis para fins cadastrais e Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

A determinação da posição de um objeto ou feição a partir de levantamento com GNSS pode ser feita por diferentes métodos (MONICO, 2008): posicionamento absoluto ou por ponto, relativo e diferencial.

Neste trabalho, foi utilizado o Posicionamento Relativo Estático Rápido que consiste em instalar um receptor que serve como base, permanecendo fixo sobre um vértice ou estação de referência, coletando dados, enquanto outro receptor percorre os vértices/pontos de interesse, permanecendo estacionado e coletando dados por cerca de 5 a 20 minutos em cada vértice. Este método possui o mesmo princípio do posicionamento estático e a diferença principal é o período de ocupação da estação de interesse, que não ultrapassa 20 minutos (MONICO, 2008).

3.2. Georreferenciamento de imóveis rurais

No Brasil, até 2001, exigia-se um levantamento topográfico no sistema local, acompanhado de um memorial descritivo, para a realização do registro do direito de propriedade de uma parcela em um Cartório de Registro de Imóveis (BRASIL, 1973). Acompanhando este memorial devia-se também ter a Anotação de Responsabilidade Técnica (ART), emitida por um profissional qualificado e registrado no Conselho Regional de Engenharia e Agronomia (CREA).

No entanto, a partir de agosto de 2001, com a promulgação da Lei 10267, passou-se a exigir o memorial descritivo, executado por um profissional habilitado, contendo as coordenadas dos vértices definidores dos limites dos imóveis rurais, georreferenciadas, ou seja, referenciadas ao Sistema Geodésico Brasileiro oficial, além de estabelecer padrões de precisão posicional definida pelas normas técnicas

estabelecidas pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) (BRASIL, 2001).

A 3ª edição da Norma Técnica para o Georreferenciamento de Imóveis Rurais alterou significativamente as normas anteriores, principalmente pela possibilidade de utilização de novos métodos de posicionamentos, cabendo destacar neste trabalho a possibilidade de utilização de imagens aéreas e orbitais.

De acordo com a Norma Técnica para o Georreferenciamento de Imóveis Rurais, considera-se vértice de limite entre imóveis rurais como sendo *"o ponto onde a linha limítrofe do imóvel rural muda de direção ou onde existe intersecção desta linha com qualquer outra linha limítrofe de imóvel contíguo"*. Deste modo, os segmentos de reta definidos pelos referidos vértices descrevem os títulos de domínio e são classificados como Limites Artificiais (LA) e Limites Naturais (LN), de acordo com o BRASIL (2013).

Deve-se ressaltar que, apesar da possibilidade da legislação permitir o uso de técnicas de Sensoriamento Remoto e Fotogrametria, restringem-se as mesmas à determinação das coordenadas dos vértices chamados "virtuais", ou seja, cujo posicionamento é realizado de forma indireta, portanto não ocupado diretamente *in loco*. Sendo assim, não é aceitável, pelas referidas normas técnicas, que os vértices artificiais caracterizados por intersecção de cercas ou por marcos de concreto tenham suas coordenadas determinadas nas imagens.

Este estudo de caso foi realizado com o propósito de verificar a possibilidade de se determinar as coordenadas de vértices artificias e a intersecção de cercas, a partir de produtos cartográficos gerados com imagens obtidas por VANT.

3.3. Utilização de VANT para mapeamentos

Com a disseminação da utilização dos VANT's nos últimos anos, principalmente com o propósito de aquisição de imagens, esses equipamentos vêm fazendo com que a Fotogrametria ocupe um espaço no mercado que, por vários motivos, sempre foi restrito aos levantamentos terrestres.

O mapeamento de uma pequena área, seja por objetivos específicos como o levantamento para o monitoramento de um processo erosivo ou mesmo o mapeamento de uma pequena cidade ou ainda uma parcela rural específica, historicamente tem sido executado por meio de levantamentos diretos, ou seja, por meio de Topografia.

Recentemente, quando se mencionava a possibilidade de se mapear uma pequena porção da superfície terrestre, por meio de Fotogrametria, os custos inviabilizavam o processo. Atualmente, pequenas empresas visualizam a possibilidade de investir nos VANT's como instrumento para aquisição de imagens aéreas que possibilitam o mapeamento fotogramétrico, não apenas com o atrativo do custo viável, mas também pela possibilidade de se executar mapeamentos que atendam a necessidade tanto em termos de qualidade geométrica quanto semântica.

A principal motivação para o desenvolvimento deste trabalho foi, justamente, a possibilidade de avaliar o atendimento das normas técnicas estabelecidas para o georreferenciamento de imóveis rurais no Brasil, utilizando um VANT para a aquisição das imagens, bem como pelo uso do processamento fotogramétrico para a produção dos documentos cartográficos. Dentre os documentos gerados têm-se as ortofotos, que serão úteis para a medição dos vértices das parcelas.

4. Desenvolvimento

4.1. Implantação da área teste

A área teste (Figura 1) localiza-se na área rural, ao nordeste da cidade de Presidente Prudente - SP. Esta área foi selecionada por estar fora da rota de aeronaves tripuladas, o que facilita a obtenção de autorizações junto ao Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), por ser de fácil acesso, além de permitir a execução de voos com diferentes alturas.

Figura 1 – Localização da rede de referência na área teste.

Os pontos artificiais implantados na área, 26 no total, constituem-se de marcos de concreto pré-fabricados, na forma tronco-piramidal, com 60 cm de altura, 10 cm no topo e 20 cm na base, devidamente identificados com chapas de alumínio, como mostram as Figuras 2 e 3.

Figura 2 – Chapa de identificação dos marcos da área teste

Figura 3 – Marco (M13) implantado e sinalizado

4.2. Levantamento de campo

Para a determinação das coordenadas dos pontos implantados, que podem ser usados tanto como pontos de controle quanto pontos de verificação, foi realizado um levantamento relativo estático utilizando como referência três estações base da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos sistemas GNSS (RBMC) (ILHA, ROSA e PRMA). O método de posicionamento utilizado foi o relativo estático rápido, em função do comprimento das linhas de base a uma das estações da RBMC, a estação PPTE, situada a aproximadamente 6 km da área teste.

Na Tabela 1 é apresentado o resultado do processamento dos dados GNSS dos pontos coletados em campo. Estes pontos podem ser utilizados tanto como pontos de controle utilizados para geração da ortofoto, quanto para o controle de qualidade.

Tabela 1 – Coordenadas UTM / Fuso 22 / dos pontos de controle e verificação, no referencial SIRGAS 2000, utilizados nos dois experimentos realizados.

Pontos	E (m)	N (m)
Referência	464207,175	7552314,767
M01	463852,074	7552064,942
M02	463672,767	7551984,014
M03	463843,758	7551780,589
M08	463780,407	7552300,913
M10	464068,524	7552345,803
M11	464494,110	7552416,627
M12	464216,286	7553076,741
M13	464629,157	7552050,562
M14	464662,132	7552206,247
M15	464343,408	7552056,034
M17	464145,178	7552246,234
M20	463932,500	7552666,428
M22	464564,627	7552254,327
M23	463841,112	7552420,694
M26	464484,314	7552120,790

4.3. Voo fotogramétrico

O voo fotogramétrico foi executado com o VANT eBee (Figura 4), que é um equipamento de asa fixa com antena e receptor GNSS, Sistema Inercial, tubo *Pitot*, bateria e Câmara fotográfica RGB de 16 MP.

Figura 4 – VANT utilizado no voo (modelo eBee - SenseFly)

Os planos de voos, bem como a execução dos mesmos (Figura 5), foram elaborados com o auxílio do *software Emotion2*, da Sensefly, sendo as alturas de voos fixadas em 130 e 260 metros, o que possibilitou a aquisição das imagens com pixels de 4 e 8 cm de resolução espacial (GSD – *Ground Sample Distance*), respectivamente.

Figura 5 – Plano de voo no *Software Emotion*

4.4. Resultados

A partir do processamento das imagens com o software *Postflight Terra 3D*, da empresa Pix4D, foi feita a geração de modelos de superfície e ortofotos, visando a posterior realização de algumas análises. As ortofotos foram geradas com GSD de 4 cm (5 pontos de controle e 7 de verificação) e 8 cm (7 pontos de controle e 14 de verificação.

Nas Tabelas 2 e 3 são apresentadas as discrepâncias (erro) entre as coordenadas medidas nas ortofotos geradas e respectivos pontos de verificação, bem como o erro planimétrico, além da média e desvio padrão .

Tabela 2 – Erro posicional dos pontos de verificação (GSD de 4 cm)

Pontos de verificação	ΔE (m)	ΔN (m)	ΔPlanimetria (m)
M10	-0,097	-0,036	0,103
M11	-0,022	-0,074	0,077
M13	0,080	-0,051	0,095
M15	0,058	-0,065	0,087
M17	0,040	-0,024	0,047
M22	-0,065	0,019	0,068
M23	-0,081	0,047	0,094
Média	-0,012	-0,026	0,082
Desvio Padrão	0,072	0,045	0,019

Tabela 3 – Erro posicional dos pontos de verificação (GSD de 8 cm)

Pontos de verificação	ΔE (m)	ΔN (m)	ΔPlanimetria (m)
M01	-0,054	-0,043	0,069
M03	-0,008	-0,012	0,014
M07	0,069	-0,044	0,082
M08	-0,007	-0,024	0,025
M10	-0,021	0,032	0,038
M11	-0,113	-0,015	0,114
M12	0,047	-0,058	0,075
M13	-0,032	0,134	0,138
M14	0,034	0,261	0,263
M15	0,014	0,139	0,140
M17	-0,054	0,052	0,075
M20	0,002	-0,030	0,030
M22	0,016	0,158	0,159
MOU2	0,001	0,008	0,008
Média	-0,003	0,044	0,088
Desvio padrão	0,048	0,094	0,070

Com base nos resultados apresentados nas Tabelas 2 e 3, percebe-se que a maior discrepância encontrada foi na direção N do marco M14 (0,261 m), em consequência disso um maior erro planimétrico foi encontrado nesse mesmo marco, que foi de 0,263 m.

Observa-se que os resultados atendem às exigências do INCRA, que prescreve que as coordenadas de vértices materializados (tipo “M” ou definidos por intersecção de cercas, possuam erro posicional inferior a 0,500 m

5. Conclusões

Como pode ser observado, a partir dos resultados apresentados nas Tabelas 2 e 3, tanto a ortofoto gerada com GSD de 4 cm, quanto a ortofoto gerada com GSD de 8 cm são produtos cartográficos que poderiam, caso fosse permitido pelas normas do INCRA, serem utilizados para a obtenção das coordenadas definidoras dos limites dos imóveis rurais.

Recomenda-se que, tanto para os vértices do tipo “M” (marcos) como para os vértices definidos por intersecção de cercas, devem-se executar voos sinalizados, como executado neste trabalho, uma vez que contribui tanto para a identificação quanto para a pontaria, no momento da medição das coordenadas.

Recomenda-se ainda, para trabalhos futuros, estender as análises para voos mais altos, portanto com GSD maior, visando melhorar a relação custo-benefício, uma vez que se consegue elaborar ortofotos de áreas maiores em uma mesma operação.

Referências Bibliográficas

Amorim, A., Camargo, P. de O., Miyashita, P. M. (2010). Avaliação do potencial das imagens Quickbird ortorretificadas para o mapeamento das propriedades localizadas na área de expansão e vazios urbanos. Boletim de Ciências Geodésicas. v. 16, nº 3, 456-474.

ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil (2012). Instrução Suplementar no. 21-002. Revisão A. Emissão de Certificado de Autorização de Voo Experimental para Veículos Aéreos Não Tripulados - VANT's. Brasil, SAR/GTPN.

Brasil (1973). Lei n° 6015 de 31 de Dezembro de 1973. Brasília – DF.

Brasil (2001). Lei n° 10267 de 28 de Agosto de 2001. Brasília – DF.

Brasil (2012). Instrução Suplementar - IS - N° 21-002 - Revisão A. Portaria n° 2.031/SAR, de 4 de outubro de 2012, Agência Nacional de Aviação Civil - ANAC. Brasília. 2012.

Brasil (2013). Norma Técnica para o Georreferenciamento de Imóveis Rurais. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA. 3ª edição. Brasília – DF.

Brasil (2015). ICA 100-40 – DECEA – Departamento de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro. Portaria 415, de 09 de Novembro de 2015.

Monico, J. F. G. (2008). Posicionamento pelo GNSS: Descrição, Fundamentos e Aplicações. 2.ed. São Paulo: Editora UNESP. 476p.

Seeber, G. (2003). Satellite geodesy: foundations, methods and applications. Berlin: Walter de Gruyter. 356p.

Vergara, O. R. (2002). Atualização cartográfica integrando técnicas de sensoriamento remoto, processamento de Imagens e Sistemas de informação geográfica. X Simpósio Latino Americano de Percepción Remota. Bolívia: La Paz. Anais em CD-ROM.

Agradecimentos

À FAPESP, pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa (Processo n° 2014/01841-7) e à participação do I° Seminário Internacional UAV, Lisboa - Portugal.

Autores

Amilton Amorim
Universidade Estadual Paulista – UNESP.
amorim@fct.unesp.br

Guilherme Gomes Pessoa
Universidade Estadual Paulista – UNESP.
guilhermegpessoa@hotmail.com

Ian Ribeiro Lemes
Universidade Estadual Paulista – UNESP.
ianlemes@hotmail.com

Juliane Mendonça Komazaki
Universidade Estadual Paulista – UNESP.
Ju_komazaki@yahoo.com.br

Lorena Canali Jorge
Universidade Estadual Paulista – UNESP.
canali.lorena@gmail.com

Maurício Galo
Universidade Estadual Paulista – UNESP.
galo@fct.unesp.br

Paulo de Oliveira Camargo
Universidade Estadual Paulista – UNESP.
paulo@fct.unesp.br

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE GEOMÉTRICA DE PRODUTOS CARTOGRÁFICOS LEVANTADOS POR VANTS APLICADOS AO CADASTRO PREDIAL EM MUNICÍPIO DE PEQUENO PORTE NO BRASIL

Marcos A. Pelegrina
Máicon A. Canal
Rui Pedro Julião
Karoline Kolosinski Obal

Resumo

Nos últimos anos, com o desenvolvimento da tecnologia VANT (Veículos Aéreos Não Tripulados) criou-se uma nova plataforma para fotogrametria e abriram-se novas possibilidades para a produção cartográfica. No Brasil, esses equipamentos rapidamente dominaram o mercado e estão sendo utilizados em diferentes aplicações. De outra parte, ainda não existe uma legislação específica, regulamentado o seu uso, principalmente para produção de mapeamentos. No entanto, já em 2012 a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) publicou a Instrução Suplementar n.º 21 002 (com base no Regulamento Brasileiro da Aviação Civil n.º 21 – RBAC 21) para Emissão de Certificado de Autorização de Voo Experimental para VANT, onde os mesmos só podem ser utilizados em pesquisas, desenvolvimento de produtos e treinamento de pilotos; também o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) emitiu no dia 9 de Novembro de 2015 a Portaria n.º 415/DGCEA, que aprova a edição da já existente Instrução do Comando da Aeronáutica ICA 10040 em virtude da preocupação com a segurança com relação a aviões e pessoas; ou seja, houve apenas uma adequação para o uso de VANT da legislação já existente. Somente com a liberação da nova regulamentação de VANT pela ANAC, que deve ocorrer no primeiro semestre de 2016, é que o uso corporativo e técnico deste tipo de aparelho estará de fato regularizado. Neste sentido, o presente artigo tem como objetivo comparar as discrepâncias entre as coordenadas observadas no produto cartográfico gerado por VANT e as coordenadas de referência de uma base cartográfica preexistente de um município de pequeno porte aplicado ao cadastro predial. Outrossim, fará uma discussão da precisão posicional do produto gerado por VANT frente à legislação cartográfica brasileira e o levantamento bibliográfico sobre legislação e regulamentações em vigor referente aos VANT.

Palavras-chave: VANT; Cadastro Predial; Cadastro Multifinalitário; Municípios; Brasil.

1. Introdução

A qualidade de uma base cartográfica confiável é essencial para a realização de diversas atividades relacionadas ao planejamento do uso e ocupação do espaço, entre elas se destacam a atualização cadastral (BRAZ et al, 2015), acompanhamentos na agricultura de precisão (GALVÃO & ROSALEN, 2013), e ao cadastro predial em municípios, ao qual nos atentaremos neste estudo. Devido a crescente demanda os recursos tecnológicos passaram por evoluções, representando avanços importantes na obtenção de dados espaciais, bem como em análises mais precisas. Assim com a mudança da coleta de dados analógica para a digital, torna-se essencial a confiabilidade de dados e análises espaciais.

É desejável identificar parâmetros relativos à qualidade de mapeamento tal que se possa quantificá-los, e com isto, modelar os procedimentos para avaliação da qualidade de bases cartográficas. O conhecimento quantitativo destes parâmetros possibilita a automatização de processos verificadores dos níveis de qualidade de mapeamento. Estes processos se automatizados podem contribuir significativamente tanto para o uso mais adequado das informações espaciais já existentes, como também para a criação de novas informações espaciais com o respectivo conhecimento da qualidade.

No Brasil tem-se considerado apenas o Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC (decreto lei n.º 89.817). Este, apesar de ser um valioso elemento de classificação, reporta-se somente à exatidão posicional das informações mapeadas, devendo, ainda, ser adaptado ao contexto digital. Certamente, estes fatos fazem concluir que o PEC não é suficiente para a determinação da qualidade do produto em sua totalidade. Pois, por qualidade de mapeamento se entende a consideração de um conjunto de parâmetros, onde a acuracidade é apenas um dos elementos deste conjunto. Diversos outros parâmetros podem ser agregados a este conjunto. Os padrões de metadados possuem importante contribuição no registro e manutenção da qualidade existente dos dados espaciais, porém, não quantificam a qualidade dos dados.

No que diz respeito à legislação cartográfica sobre VANT, o mesmo pode ser considerado uma nova plataforma para obtenção de dados espaciais através da fotogrametria. No entanto, as legislações mais recentes dizem respeito a Instrução Suplementar n.º 21 002 da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). Outro órgão responsável por estas questões é o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) que emitiu em 2015 a Portaria n.º 415/DGCEA, aprovando a edição da

Instrução do Comando da Aeronáutica ICA 10040 em virtude da preocupação com a segurança com relação a aviões e pessoas.

O objetivo deste paper é avaliar a qualidade geométrica de produtos cartográficos levantados por vants aplicados ao cadastro predial em município de pequeno porte no Brasil.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. VANT na legislação brasileira

Neste item buscamos esclarecer os pontos identificados na legislação brasileira que tratam sobre os VANTs. Devemos, no entanto advertir para a questão de que ainda não existe uma legislação cartográfica específica sobre as normas referentes ao profissional habilitado parao trabalho com VANT, bem como padrões de precisão para os dados, e quais os tipos de equipamentos indicados para os levantamentos.

Entretanto, em virtude do aumento do uso de VANTs para as mais variadas atividades, tanto para uso profissional, quanto para lazer, instituições e orgãos públicos realizaram intervenções em leis existentes a fim de preservar a segurança de pessoas e do espaço aéreo brasileiro e a qualidade do produto gerado.

A Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), em 2012 publicou a Instrução Suplementar n.º 21 002 (com base no Regulamento Brasileiro da Aviação Civil n.º 21 – RBAC 21) para Emissão de Certificado de Autorização de Voo Experimental (CAVE) para VANT. Durante o decorrer do texto fica expresso que o piloto “possui responsabilidade direta pela operação segura da aeronave durante todo o voo” (BRASIL, p. 4, 2012).

O CAVE sendo o certificado de aeronavegabilidade para voo experimental de VANT, só pode ser emitido para ações com propósito de pesquisa e desenvolvimento, treinamento de tripulações e/ou pesquisa de mercado, com validade de um ano, não autorizando operações de aeronaves com fins lucrativos (BRASIL, p. 5, 2012). Os VANTs que operarem de acordo com a instrução da ANAC precisam ser coloridos com esquemas de alto contraste, a fim de facilitar seu rastreamento tanto pelo piloto quanto por observadores, além de aumentar a possibilidade de ser detectada por pilotos de aeronaves tripuladas, visando acima de tudo a segurança dos mesmos.

O Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) emitiu no dia 9 de Novembro de 2015 a Portaria n.º 415/DGCEA, que aprova a edição da já existente Instrução do Comando da Aeronáutica ICA 10040 em virtude da preocupação com a segurança com

relação a aviões e pessoas. Para tanto, são discriminadas informações referentes ao NOTAM, documento necessário para ações com VANT.

O NOTAM (Notice to Airmen) é um aviso com informações sobre procedimentos aeronáuticos de vôo, incluindo ações com VANT, para o pronto conhecimento dos encarregados pelas operações de vôo. Tem por finalidade "divulgar antecipadamente a informação aeronáutica de interesse direto e imediato para a segurança e regularidade da navegação aérea" (BRASIL, p. 13, 2015).

Uma legislação específica sobre as regras ligadas diretamente ao uso de VANT no Brasil esta em processo de finalização, visto que reuniões com representantes de vários orgãos foram realizadas, bem como uma audiência pública. A expectativa é que a ANAC, responsável pela legislação, a publique até o final do primeiro semestre de 2016.

Do cenário traçado torna-se evidente a necessidade de uma legislação, bem como de um órgão responsável pela fiscalização das atividades realizadas com VANT, principalmente no que diz respeito aos produtos cartográficos dele oriundos, a fim de garantir a sua qualidade. Tais produtos devem respeitar a legislação cartográfica em vigor, o padrão de qualidade geométrica e a qualidade temática de seus produtos e derivados.

2.2. Padrão de Exatidão Cartográfica

O Diário Oficial da União publicado no dia 20 de junho de 1984, através do Decreto nº 89.817, estabelece as Instruções Reguladoras de Normas Técnicas da Cartografia Nacional.

Segundo o artigo 8º do mencionado Decreto, a classificação das cartas quanto à sua exatidão deve obedecer ao Padrão de Exatidão Cartográfico - PEC, que é descrito a seguir:

> 1- Noventa por cento dos pontos bem definidos numa carta, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfico-Planimétrico estabelecido.
>
> 2- Noventa por cento dos pontos isolados de altitude, obtidos por interpolação de curvas de nível, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfico - Altimétrico estabelecido.

O PEC é um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% de probabilidade que define a exatidão de trabalhos cartográficos. A probabilidade de 90% corresponde a

1,6449 vezes o Erro-Padrão (PEC = 1,6449 * EP). O Erro-Padrão isolado num trabalho cartográfico, não ultrapassará 60,8% do Padrão de Exatidão Cartográfica.

Portanto, consideram-se equivalentes as expressões Erro-Padrão, Desvio Padrão e Erro Médio Quadrático.

O artigo 9º do mesmo decreto estabelece que as cartas sejam classificadas, segundo sua exatidão, nas classes A, B e C, considerando os seguintes critérios conforme tabela 1.

Tabela 1 – Padrões de Exatidão Cartográfica (PEC) e Erros Padrões para escalas 1:10.000 e 1:2.000

Escala	Classe	PEC				ERRO-PADRÃO			
		Planimétrico		Altimétrico		Planimétrico		Altimétrico	
		Carta (mm)	Terreno (m)	Carta (fração da eqd)	Terreno (m)	Carta (mm)	Terreno (m)	Carta (fração da eqd)	Terreno (m)
1:10.000	A	0,5	5	1/2	2,5	0,3	3	1/3	1,5
	B	0,8	8	3/5	3,0	0,5	5	2/5	1,8
	C	1,0	10	3/4	3,75	0,6	6	1/2	2,3
1:2.000	A	0,5	1	1/2	0,5	0,3	0,6	1/3	0,3
	B	0,8	1,6	3/5	0,6	0,5	1,0	2/5	0,4
	C	1,0	2	3/4	0,75	0,6	1,2	1/2	0,5

Fonte: PEC Decreto n° 89.817/84

O artigo 10º estabelece que é obrigatória a indicação da classe no rodapé da folha, ficando o produtor responsável pela fidelidade da classificação. Caso os documentos cartográficos não estejam enquadrados nas classes especificadas no artigo citado, estes devem conter no rodapé da folha a indicação obrigatória do Erro-Padrão verificado no processo de elaboração.

A lei não se refere a produtos cartográficos em meio digital, pois na época da sua publicação a tecnologia digital não estava difundida. Atualmente torna-se necessário fazer uma adaptação da lei para trabalhar com tais dados; porque podemos obtê-los de várias formas, através de digitalização de produtos analógicos, da digitalização dos diapositivos, do equipamento scanner fotogramétrico, além da restituição semi-analítica e da fotogrametria totalmente digital (PELEGRINA, 2010).

3. Materiais e métodos

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi necessária a utilização de materiais e equipamentos específicos, plantas em meio digital, softwares gráficos e não gráficos.

3.1. Materiais

Cedidos pela Prefeitura Municipal de Capanema-PR:

- Ortofoto em meio digital na Escala 1:2000 do ano de 2012;
- Base cartográfica na Escala 1:2000 do ano de 1995;
- Ortofoto em meio digital na Escala 1:2000 do ano de 2015;
- Software AutoCad;
- Planilha eletrônica Excel.

3.1.1 Equipamentos

- Computador Desktop;
- Ploter HP Deskjet 500;
- Computador Laptop;

3.1.2 Vant

Modelo da camera Canon PowerShot S100 (5.2 mm), resolução 4000 x 3000, distância focal, 5.2 mm, tamanho do pixel: 1.86161 x 1.86161 um.

3.2 Método

Para analisar a exatidão de um produto cartográfico existem diversos procedimentos. O mais difundido é o proposto por Merchant, o qual propõe que os pontos de referência usados tenham confiabilidade necessária para comparação. Esta confiabilidade é dependente da escala e da classe esperada da carta. Outro fator relevante é o número de pontos necessários para fazer uma análise segura: o autor sugere a disponibilidade de, no mínimo, vinte pontos distribuídos por todos os quadrantes da carta (Galo et. al, 1994) e (Oliveira 1996).

Para a avaliação, serão utilizados como referência os valores estabelecidos pelo Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) e Erro Padrão (EP), conforme o decreto nº 89.817/84.

As discrepâncias entre as coordenadas observadas no produto cartográfico gerado por VANTs e as coordenadas de referência da base cartográfica, calculadas para cada ponto i por:

$$\Delta X_i = X_i - X_i^r (1)$$

A média, bem como o desvio padrão das discrepâncias amostrais devem ser calculadas por:

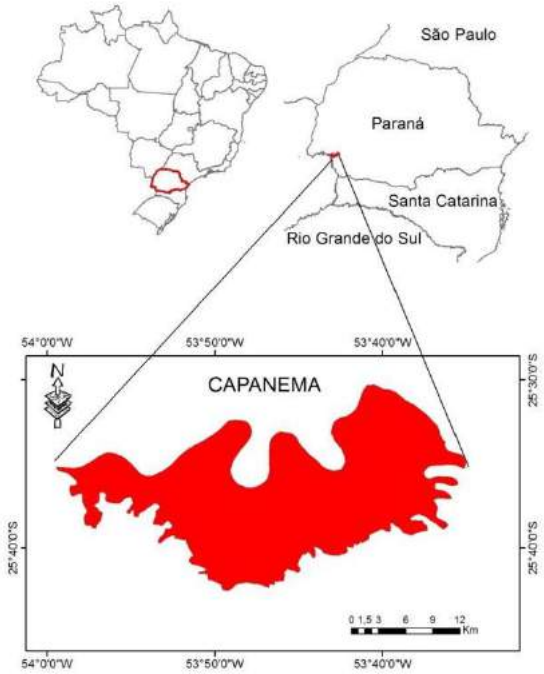
$$\Delta\overline{X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\Delta X_i \quad (2) \qquad S_{\Delta X} = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(\Delta X_i - \Delta\overline{X})^2} \quad (3)$$

A variável X pode representar qualquer uma das coordenadas.

4. Apresentação e análise dos resultados

A área de estudo diz respeito ao município de Capanema, conforme evidenciado na figura 1, situado na região sudoeste do estado do Paraná, Brasil. Localiza-se em torno da Latitude 25º 40' 19'' S Longitude 53º 48' 32'' W, altitude média 368 m, e área territorial de 419,403 km². Possui 19.275 habitantes (IBGE, 2015), com uma taxa de urbanização em torno de 60%.

Figura 1 - Localização da área de estudo



Fonte: IBGE, (2010). Organizado pelos autores.

Neste item objetiva avaliar os resultados obtidos nos levantamentos. Os dados são confrontados e quantificados para que seja possível avaliar a qualidade posicional e a sua utilização na atualização cadastral do município.

Sendo assim, as primeiras análises referem-se aos dados obtidos através do aerolevantamento através da plataforma de um VANT, comparados com a base cartográfica através de ortofoto em meio digital obtida pela fotogrametria digital através de aeronaves, utilizado pela Prefeitura Municipal. Seguem-se as análises dos procedimentos e resultados obtidos na avaliação da base cartográfica.

4.1. Execução do Levantamento com o VANT

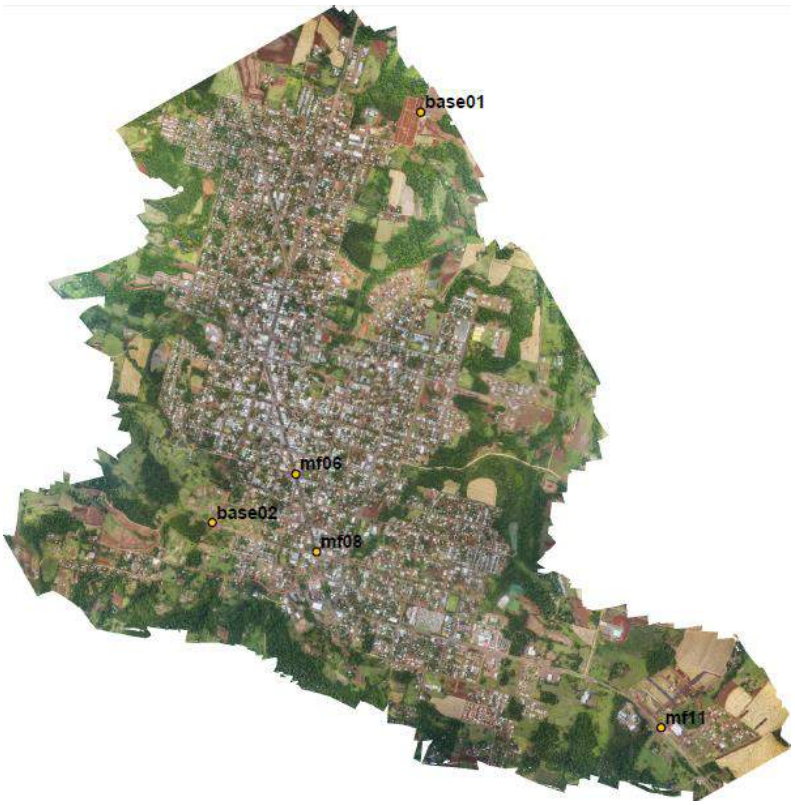
O levantamento foi realizado no dia 08 de outubro de 2015, na tabela 2 características técnicas da execução.

Tabela 2 - Características técnicas do levantamento

Características do Voo	Valores observados
Altura do voo em relação à base	326.527 m
Área sobrevoada	12.6014 km2
Número de fotografias	1376
Resolução espacial	0.10099 m/pix

Fonte: Empresa CTMGEO, 2015

Figura 2 - Localização dos pontos de apoio utilizados no levantamento



Fonte:Empresa CTMGEO, 2015

Na tabela 3, apresenta os erros do ortomosaico confrontados com os cinco os pontos de apoio. Destaca-se que os erros encontrados são submétricos, menos no ponto mf06 onde o erro em pixel é acima de º metros.

Tabela 3 - Erros dos pontos de controle confrontados com ortomosaico

Pontos de Apoio	Erro X (m)	Erro Y (m)	Erro Z (m)	Erro Pixel (m)
base01	-0.000449	-0.000317	0.001085	0.524633
base02	0.066478	-0.127159	0.005691	0.930736
mf06	0.120405	0.165060	-0.013761	0.700249
mf06	-0.185039	-0.026876	0.019492	2.057.891
mf11	0.012434	-0.002851	0.002741	0.000000

Fonte:Empresa CTMGEO, 2015

Silva (2015), comparando 05 pontos de apoio com ortomosaico encontrou os seguintes erros no levantamento com VANT: em média x= -0,0065 em y= 0,0319.

4.2. Determinação dos pontos de estudo

Para a escolha dos pontos estudados foi subdividida a região, onde havia ortofoto da base cartográfica, em hexágonos regulares, como pode ser visto na figura 1. Em seguida, escolhe-se os pontos foto identificáveis, próximo ao centro do hexágono, onde tenha uma parcela fechada, e após, é feito uma verificação de um ponto homólogo no produto do VANT. As coordenadas da base cartográfica municipal e da ortofoto do VANT estão, no sistema SIRGAS 2000.

Figura 3 - Base Cartográfica do Município de Capanema com imagem de VANT de 2015 e hexágonos da região de escolha dos pontos.

Fonte: Empresa CTMGEO, 2015

4.3. Análise da qualidade geométrica

As discrepâncias entre as coordenadas observadas na carta e as coordenadas de referência, foram calculadas para cada ponto e a média, bem como o desvio padrão das discrepâncias amostrais podem ser verificadas na tabela 1.

Tabela 4 – Discrepâncias, Média, Desvio Padrão e Erro Planimétrico (PEC)

	Base Cartográfica		Imagem de Vant		Discrepância		Erro
Ponto	x (m)	y (m)	x (m)	y (m)	x (m)	y (m)	Planimétrico (m)
1	217464,3081	7159494,0211	217465,2064	7159494,2007	-0,8983	-0,1796	0,916078081
2	218144,3464	7159487,0111	218143,8178	7159486,9667	0,5286	0,0444	0,530461422
3	217972,4566	7159014,7349	217973,0455	7159013,3550	-0,5889	1,3799	1,500309041
4	218570,7248	7159214,7045	218570,7857	7159213,3499	-0,0609	1,3546	1,355968278
5	217875,8501	7158248,6784	217876,4801	7158248,5192	-0,6300	0,1592	0,649803539
6	218388,5175	7158496,7499	218387,2071	7158496,5067	1,3104	0,2432	1,332776951
7	219327,2906	7158460,1371	219329,2282	7158460,3239	-1,9376	-0,1868	1,946583674
8	217610,4373	7157652,0557	217610,9807	7157652,5938	-0,5434	-0,5381	0,764745166
9	218338,8032	7157734,4441	218338,2578	7157735,3218	0,5454	-0,8777	1,033353013
10	218991,5336	7157868,3236	218990,3021	7157866,3324	1,2315	1,9912	2,341253871
11	219525,9277	7157949,6800	219525,4610	7157950,2452	0,4667	-0,5652	0,73298017
12	217296,8968	7156712,7912	217297,3820	7156711,1015	-0,4852	1,6897	1,757983256
13	218176,6969	7157095,5264	218177,2475	7157094,6622	-0,5506	0,8642	1,024696052
14	218701,9198	7157297,6010	218702,2312	7157298,2464	-0,3114	-0,6454	0,716596902
15	218678,9797	7156637,6419	218680,1451	7156637,7375	-1,1654	-0,0956	1,169314551
16	219248,8373	7156491,8416	219250,5281	7156493,1094	-1,6908	-1,2678	2,113320014
17	219342,8099	7155950,6351	219343,9128	7155948,5922	-1,1029	2,0429	2,321600487
18	219699,8980	7156128,4751	219701,5766	7156127,2896	-1,6786	1,1855	2,055020246
19	220628,2541	7156086,9730	220636,5033	7156093,7830	-8,2492	-6,8100	10,69698091
20	220749,4753	7155748,4189	220749,2075	7155749,8973	0,2678	-1,4784	1,502459118
				Média	-0,777	-0,084	1,823
				DesPadrao	1,981	1,904	2,166
				PEC	3,267	3,139	3,572

As diferenças entre os dados apresentaram como resultado um Desvio Padrão planimétrico de 1,823. Multiplicando-se este desvio por 2,166, de acordo com as especificações estabelecidas pela norma do PEC, o Padrão de Exatidão Cartográfica estudado no item xx; obter-se um erro planimétrico de 3,572. Seguindo este padrão, podemos classificar o produto cartográfico da empresa como Classe C.

5. Conclusões e recomendações

5.1. Conclusões

Como o trabalho tem por objetivo específico avaliar a qualidade posicional de produto cartográfico oriundo de VANT aplicado ao Cadastro Predial, optou-se por comparar as coordenadas de uma ortofoto obtida por fotogrametria digital através de aeronaves para poder fazer a avaliação da geometria da base. E tendo como referência os valores estabelecidos pelo Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) e Erro Padrão (EP), conforme o decreto nº 89.817/84, que se apoia nos valores de discrepâncias entre as

coordenadas de referência e as coordenadas da ortofoto executado pelo VANT, obteve-se um erro planimétrico de 3,572 m. Portanto, podemos classificar o produto cartográfico da empresa como Classe C.

Vale ressaltar, que objetivo do levantamento dos dados com VANT, era obtenção de uma ortofoto para comparação temporal para identificação de alterações do uso do solo urbano. Para tanto, não exigia precisão compatível com o levantamento cadastral, qual foi realizado por topografia.

Concluísse que os VANTs, são plataformas para aquisição de dados espaciais através de procedimentos metodológicos da fotogrametria. São equipamentos que permitem obtenção de dados de forma rápida e objetiva, aprimorando a gestão cadastral.

5.2. Recomendações

Que os levantamentos sejam realizados por profissionais habilitados, com formação na área da fotogrametria. Para obtenção de informações espaciais com cofiabilidade geométrica e posicional conforme expectativa do contratante.

Referências Bibliográficas

BRASIL, Agência Nacional de Aviação Civil - ANAC (2012). Instrução Suplementar nº 21-002, visa orientar a emissão de Certificado de Autorização de Voo Experimental com base no Regulamento Brasileiro da Aviação Civil n° 21 – RBAC 21 para Veículos Aéreos Não Tripulados – VANT.

BRASIL, Departamento de Controle do Espaço Aéreo – DECEA (2015). ICA 100-40. Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro.

BRAZ, Adalto M., BORGES, Josué P. dos S., BERNARDES, Deany C. da S., TEREZAN, Luiz H. (2015). Análise da aplicação de VANT na atualização de cadastro florestal com uso de pontos de controle. In: Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE: João Pessoa.

GALO, M. & CAMARGO, P. de O. (1994). Utilização do GPS no controle de qualidade de cartas. In Anais do 1o Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário - COBRAC, Vol. II, Florianópolis -SC, Brasil, pp. 41-48.

GALVÃO, Gustavo M. & ROSALEN, David L. (2013). Acurácia da mosaicagem gerada por veículo aéreo não tripulado utilizado na agricultura de precisão. In: Anais XLII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. CONBEA: Fortaleza.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2015). IPARDES – Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. Caderno Estatístico - Município de Capanema. IPARDES: Curitiba.

OLIVEIRA, F.H. (2007). Considerações sobre a necessidade municipais em relação à Cartografia cadastral urbana. In: Cunha, P,M,E., De Cesare, C. M. Financiamento das Cidades: Instrumentos Fiscais e de Política Urbana – SEMINÁRIOS NACIONAIS. Brasília: Ministério das Cidades.

PELEGRINA, M. A. Levantamento Relatório do Diagnóstico do Sistema de Geoprocessamento do Município de Cascavel, PR. 2010.

SILVA, Cristiano A. Da, DUARTE, Cynthia R., SOUTO, Michael V. S., SABADIA, José A. B. (2015). Utilização de VANT para geração de ortomosaicos e aplicação do Padrão de Exatidão Cartográfico (PEC). In: Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE: João Pessoa.

Agradecimentos

A empresa CTMGEO e ao Município de Capanema Estado do Paraná.

Autores

Marcos PELEGRINA
CEDETEG – Departamento de Geografia, Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná (Brasil)
CICS.NOVA – FCSH/UNL
marcospelegrina@gmail.com

Máicon CANAL
CTMGEO
maiconcanal@gmail.com

Rui Pedro JULIÃO
CICS.NOVA – FCSH/UNL
rpj@fcsh.unl.pt

Karoline Kolosinski OBAL
Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná - UNICENTRO (Brasil). Programa de Pós-Graduação em Geografia - PPGG.
karol_kolosiuski@yahoo.com.br

UTILIZAÇÃO DE VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS NA INVESTIGAÇÃO DE ACIDENTES DE VIAÇÃO

José Sousa
Joaquim J. Sousa
Ricardo Bento
Emanuel Peres
João Martins
Óscar Moutinho

Resumo

A investigação de acidentes de viação é um tema contemporâneo e uma área onde se tem vindo a verificar avanços significativos, havendo, atualmente, cada vez mais entidades privadas e públicas a investir no sentido de perceber quais as causas que envolvem o acidente, procurando desenvolver novas técnicas e metodologias para a reconstituição dos eventos que lhe deram origem. No entanto, a tarefa de recolha de dados no local do acidente não é, geralmente, focada com a mesma orientação e relevância. Ou seja, pretende-se atingir o fim (reconstrução do acidente), mas ainda sem ter os meios.

Investigar acidentes de viação requer um equilíbrio entre dois requisitos fundamentais, mas concorrentes: a recolha de informação, processo minucioso e moroso, e a necessidade de reabrir, o mais rapidamente possível, a via ao tráfego, permitindo que este flua novamente e que o impacto sobre os restantes utentes da via seja minimizado.

Este artigo apresenta um trabalho inovador, ainda em progresso, que pretende avaliar o potencial de um novo método de investigação de acidentes de viação, baseado na utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT), de pequenas dimensões e de baixo peso. O trabalho será desenvolvido numa parceria entre a Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD) e a Polícia de Segurança Pública (PSP), mais concretamente com o Comando Distrital de Vila Real. Trata-se de uma solução completa, concebida para reconstruir e medir os acidentes de viação. O sistema proposto oferece uma gama de ferramentas, com base em imagens aéreas, disponibilizando, às equipas de investigação, as ferramentas de recolha de indícios (provas) necessárias para reduzir o tempo e os recursos necessários ao processo de levantamento e de recolha de informação.

Palavras-chave: Acidentes de viação; VANT; Plataforma Informática

1. Introdução

De entre as várias atribuições das forças de segurança, nomeadamente da Polícia de Segurança Pública (PSP), destaca-se a investigação de acidentes de viação. Na

generalidade dos casos, as informações recolhidas são compiladas num único documento - Participação do Acidente de Viação (PAV). No entanto, este processo pode introduzir alguma falta de homogeneidade na recolha de informação, pois o seu preenchimento depende muito da perceção da equipa de agentes que se desloca ao local e das condições presentes (intensidade de tráfego no momento da ocorrência, nível hierárquico da via, localização do sinistro na faixa de rodagem, condições climatéricas e de luminosidade, etc.).

O croqui (Figura 1) é um elemento essencial que integra a PAV. Este pretende ser uma representação fiel do cenário do acidente, contendo informações relevantes como medidas das marcas de travagem, orientação e posições finais dos veículos, características da via, entre outras. Porém, apesar da aplicação e dos cuidados, por parte dos agentes que ocorrem ao local, os procedimentos utilizados para retirar estas informações são incompletos e, muitas vezes, erróneos, levando a que a suposta representação do cenário do acidente possa ser confusa, incoerente e imprecisa, o que constitui, logo à partida, uma limitação da investigação posterior. A equipa responsável por levar a cabo a restante investigação, muitas vezes, não integra os agentes que estiveram no local, sendo que a única informação disponível que esta tem sobre o sinistro é a PAV, constituindo esta diferença entre quem regista os dados e os analisa posteriormente, por si só, uma limitação da metodologia aplicada.

Figura 1 – O croqui: método tradicional de investigação

Para além das consequências económicas e sociais, que têm feito aumentar as campanhas de sensibilização dos condutores para não adotarem comportamentos de risco, os acidentes de viação originam, muitas vezes, filas de trânsito que provocam congestionamentos de tráfego que podem chegar a durar várias horas. Quando

acontecem em autoestradas ou noutros itinerários principais, potenciam, muitas vezes, a ocorrência de outros acidentes.

Parte significativa do tempo necessário à resolução de um acidente, e correspondente desimpedimento da via, prende-se com o trabalho meticuloso de recolha de informações no local do acidente, por parte das autoridades.

Este projeto-piloto, em desenvolvimento em parceria com a PSP e já autorizado pela Comissão Nacional de Proteção de Dados, recorre à utilização de VANT (multirrotores) de pequenas dimensões e de baixo peso, numa proposta de uma nova metodologia de investigação de acidentes de viação, no sentido de comprovar se esta metodologia pode vir a substituir, total ou parcialmente, os métodos atualmente em vigor no que se refere à investigação de acidentes de viação. Numa fase inicial, os dados recolhidos pelos dois métodos serão analisados, comparados e avaliados. Com este projeto esperamos ter impactos consideráveis, através da: (1) Diminuição, significativa, do tempo de investigação no local; (2) Poupança em recursos humanos; (3) Diminuição da perturbação dos normais fluxos de tráfego; (4) Preservação da informação para memória futura e; (5) caracterização, com base em metadados, da informação recolhida em cada local de acidente, para criar uma base de dados relacional e facilmente pesquisável, que permita contribuir para a tipificação de acidentes, mediante o contexto ambiental e estrutural, e a obtenção de estatísticas mais fidedignas.

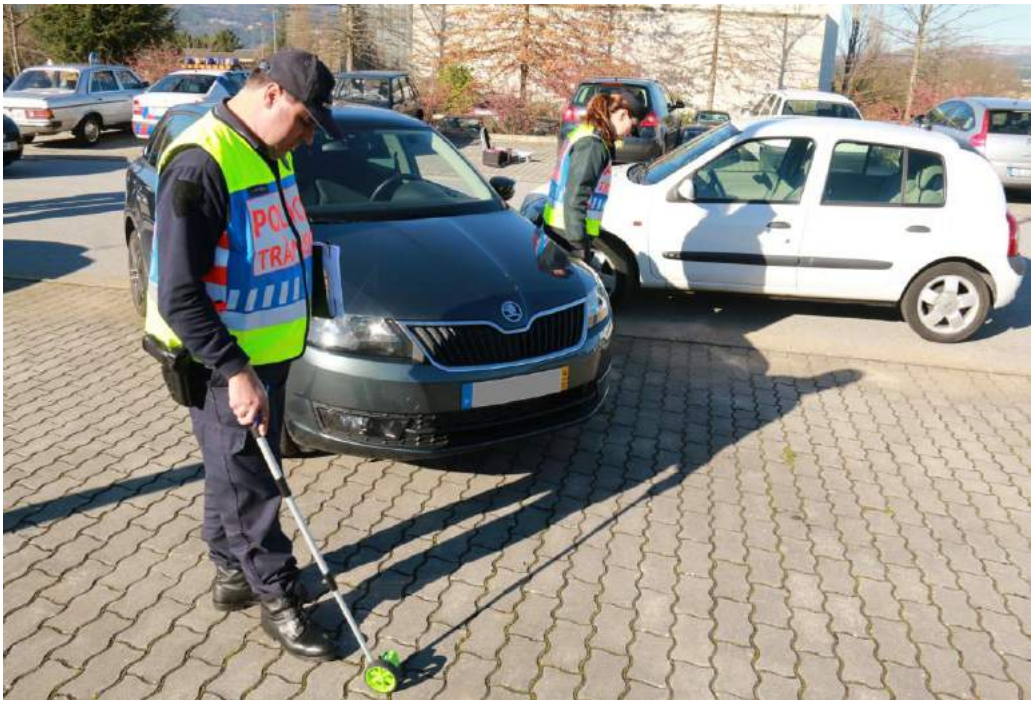
2. Reconstrução e investigação do acidente de viação: o método atual

De acordo com a metodologia atual, a investigação de acidentes de viação processa-se em três fases distintas: Recolha de dados; Análise e; Apresentação dos factos. Estas fases são executadas de forma sequencial, pelo que o êxito de cada uma delas depende do rigor com que a fase anterior é realizada.

O processo de investigação é espoletado pela recolha de informação no local do acidente e, como esta informação estará na base de toda a investigação, o rigor com que é adquirida influenciará o restante processo. Se forem recolhidos dados errados ou se algum detalhe for esquecido, todo o trabalho a desenvolver a jusante ficará comprometido. Por outro lado, ter o processo de investigação o mais detalhado possível poderá, também, auxiliar o processo de compensação por danos ou uma eventual investigação criminal que venha a existir devido ao acidente.

A Figura 2 ilustra o processo de recolha de informação, por parte das forças de segurança, recorrendo à metodologia e às ferramentas existentes. Este método baseia-se na criação de triangulações e de linhas paralelas, originando um esboço, normalmente, à escala 1: 100 ou 1:200. O sucesso desta operação está diretamente relacionado com o profissionalismo, indiscutível, dos agentes que, normalmente, recorrem a uma fita métrica e a um bloco de notas para representar o esboço, assim como a algum material para auxiliar no desenho, como, por exemplo, um lápis, giz/tinta e uma máquina fotográfica.

Figura 2 – A recolha da informação de campo: agentes a realizarem medições



2.1. Principais limitações do método atual

Para além das dificuldades já referidas que se prendem, sobretudo, com o facto de, dependendo da complexidade do cenário encontrado, ser necessário recolher um conjunto elevado de informações, destacando-se, entre outros, a largura do veículo, os sinais de trânsito, a distância da roda da frente e de trás, do mesmo lado, aos pontos de referência (usando o método da triangulação), a distância da roda da frente e de trás a cada uma das linhas de referência (usando método das coordenadas), distâncias do(s) ponto(s) de impacto aos pontos de referência, a largura das faixas de rodagem e os rastos de travagem e/ou derrapagem. Acresce a dificuldade de as medições, anteriormente descritas, deverem ser realizadas a partir de referências específicas, o

que nem sempre é (pode ser) respeitado. Por exemplo, no que se refere às distâncias a partir das rodas do veículo, estas deverão ser medidas a partir do seu centro e não do extremo do pneu e, ainda, serem feitas a partir do mesmo local, no ponto de referência. Em condições atmosféricas adversas, corre-se o risco de algumas marcas/indícios se tornarem pouco visíveis ou mesmo desaparecerem. No caso de haver peões envolvidos no acidente, as informações a recolher aumentam consideravelmente.

Como facilmente se depreende, o preenchimento da PAV é um processo moroso e complexo, envolvendo, dezenas de registos e mais de duas dezenas de páginas (incluindo os anexos).

A metodologia atualmente utilizada, sobretudo na recolha de informação de acidentes de viação, para além de complexa, apresenta como principais limitações:

- Tempo significativo despendido no local do acidente;
- Alocação de recursos humanos, que poderiam estar envolvidos noutras atividades;
- Forte perturbação dos fluxos de tráfego;
- Impacto económico significativo pelo facto de ter a via impedida;
- Impossibilidade de verificar, no futuro, eventuais dúvidas, pois não há preservação de informação para memória futura;
- Agentes e pessoas envolvidas no acidente ficam expostos a riscos elevados, enquanto permanecerem na área do acidente.

Por todas estas razões é de importância vital a exploração de novas metodologias com vista a complementar, ou mesmo substituir, a metodologia atual, assegurando, no entanto, os critérios de precisão, velocidade de execução e de máxima segurança. O objetivo será aumentar a precisão, diminuir a velocidade de execução e garantir mais segurança, aplicando a nova metodologia (kit acidente PSP).

3. Metodologia proposta

Da proposta a seguir apresentada, a desenvolver no âmbito desta parceria entre a UTAD e a PSP, resultará uma nova metodologia para a investigação e reconstrução de acidentes de viação, mais rápida, rigorosa e segura. A solução final consistirá numa aplicação informática capaz de gerar modelos tridimensionais do acidente e da área

envolvente, permitindo, desta forma, obter todas as medições necessárias *a posteriori*, restringindo o processo de recolha de informações de campo a alguns minutos.

3.1. Utilização de VANT para a recolha de informação

Hoje dispõe-se de recursos tecnológicos inovadores que podem ser utilizados para desenvolver e implementar novos métodos capazes de substituir (ou pelo menos complementar) os atualmente em uso na investigação e reconstrução de acidentes de viação. Esses recursos tecnológicos são capazes de garantir resultados que preenchem todos os requisitos, perfeitamente enquadráveis no código de processo penal, que se baseia na aquisição de provas criminais, abandonando, progressivamente, o antigo processo. Por outras palavras, a reconstrução de um acidente, ou pelo menos a sua fase inicial, que é a mais delicada, pode ser levada a cabo com recurso a equipamentos e/ou instrumentos inovadores, mas devidamente aprovados para o efeito.

O uso de VANT de pequenas dimensões e de baixo peso, equipados com uma câmara para adquirir imagens de alta resolução do local do acidente e da área envolvente, combinado com um *software* de reconstrução permitirão, de forma rápida, precisa e económica, reconstruir e documentar o acidente, através da aquisição contextual dos dados fotogramétricos, tudo isto em apenas alguns minutos. Por outro lado, os erros associados à recolha de informação de campo serão drasticamente reduzidos (virtualmente nulos), desaparecendo os riscos para pessoas e agentes que teriam de ocupar a área do acidente; tudo isto permitirá, obviamente, reabrir a via ao tráfego ao fim de alguns minutos, o que, em cidades e vias com tráfego intenso, representará um ganho significativo.

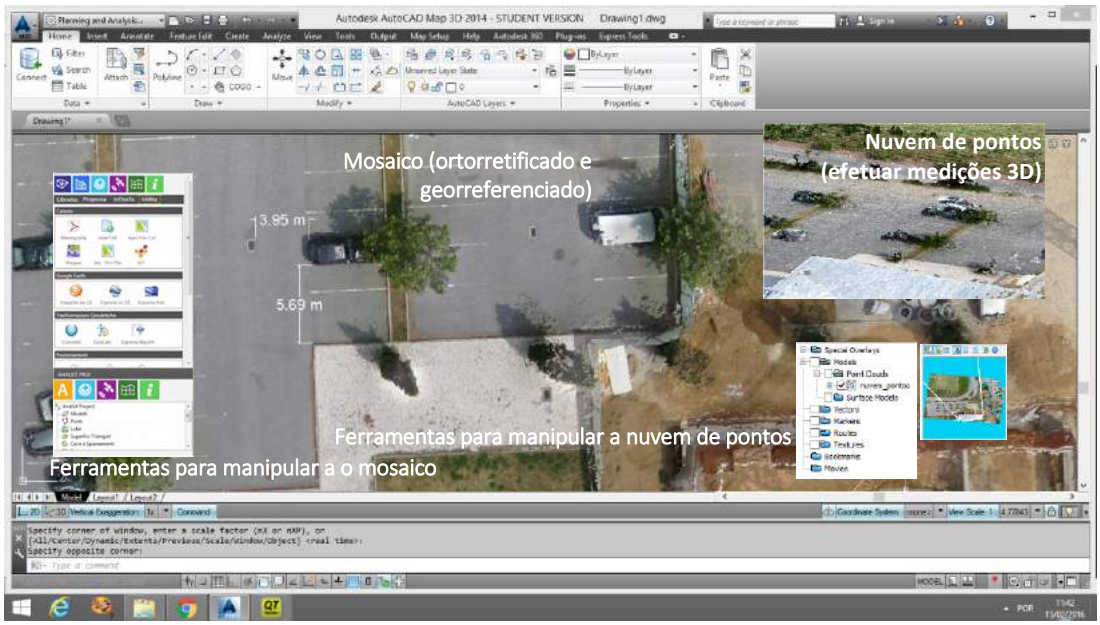
A Figura 3 ilustra o processo de aquisição das imagens de alta resolução com recurso a um VANT de pequenas dimensões e de baixo peso, por parte dos agentes da PSP.

Figura 3 – A recolha da informação de campo com recurso a um VANT

3.2. A reconstrução do acidente

Depois de obtidas as imagens de elevada resolução, com recurso a um VANT, e após estas terem sido processadas utilizando um *software* fotogramétrico, obtendo-se o mosaico da área do acidente, ortorretificado e georreferenciado, assim como a nuvem de pontos 3D, estes elementos poderão ser importados para a aplicação a desenvolver usando, como base, o AutoCAD®, aproveitando, desta forma, os seus recursos, nomeadamente de medição rigorosa. A Figura 4 apresenta o aspeto da aplicação a desenvolver e algumas das ferramentas que incorporará.

Figura 4 – A aplicação para recolha de informação e reconstrução de acidentes de viação



4. Conclusões

Ultrapassada a primeira fase do projeto, ou seja, tendo sido verificada, por comparação de medições, a viabilidade de recorrer a imagens aéreas de alta resolução para, sobre elas, se realizar a recolha da informação relativa ao acidente, estamos, agora, em condições de avançar para as próximas fases: verificação das condições limite de utilização (condições meteorológicas, diurno/noturno, presença de obstáculos, entre outras), por um lado, e desenvolvimento da plataforma informática que servirá ao preenchimento, semiautomático, da PAV e, também, para a reconstrução do acidente, através da nuvem de pontos 3D, por outro.

Nesta nova fase, os agentes da PSP serão acompanhados e será realizado um levantamento autónomo e independente, recorrendo a um multirrotor de pequenas dimensões e de baixo peso. Posteriormente, será feita uma análise rigorosa dos resultados obtidos em diversos cenários e condições de operação, com vista a sistematizar os procedimentos em função das várias condições que poderão limitar a operacionalidade e viabilidade da metodologia proposta.

Referências Bibliográficas

Caderno de campo para recolha de dados de Acidentes de Viação. Divisão de Trânsito da PSP.

OACI (sd). Cir 328/AN/190 on Unmanned Aircraft Systems (UAS)». Cir 328/AN/190 sobre sistemas de aeronaves não tripuladas (UAS)) da OACI, Acedido em http://www.icao.int/Meetings/UAS/Documents/Circular%20328_en.pdf.

Finn, Rachel L., Wright, D., Jacques, L., De Hert, Paul (2014). Estudo encomendado pela Comissão sobre a privacidade, a proteção de dados e os riscos de ordem ética nas operações civis de RPAS (relatório final). Acedido novembro, 2014, em http://ec.europa.eu/DocsRoom/documents/8550.

Comissão Europeia (2014). Uma nova era para a aviação – Abrir o mercado da aviação à utilização civil de sistemas de aeronaves telepilotadas de forma segura e sustentável, Bruxelas, COM(2014) 207 final, 8 de abril de 2014. Acedido em http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX%3A52014DC0207.

Agradecimentos

Os autores deste trabalho gostariam de agradecer à Polícia de Segurança Pública (Comando Distrital de Vila Real) a sua inestimável colaboração, sem a qual seria impossível realizar com sucesso este trabalho.

Autores

José Sousa
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal
jmsousa@utad.pt

Joaquim J. Sousa
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real e INES-TEC (Antigo INESC Porto), Portugal
jjsousa@utad.pt

Ricardo Bento
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real e INES-TEC (Antigo INESC Porto), Portugal
rbento@utad.pt

Emanuel Peres
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real e INES-TEC (Antigo INESC Porto), Portugal
eperes@utad.pt

João Martins
PSP, Comando Distrital de Vila Real, Portugal
jrmartins@psp.pt

Óscar Moutinho
Eye2Map, Porto, Portugal
info@eyw2map.com

MONITORIZAÇÃO DE QUEBRA-MARES COM VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS

Maria João Henriques
Dora Roque
Alexandre Santos

Resumo

No final de 2015 foi realizado um levantamento aéreo dos dois quebra-mares situados na foz do rio Arade com um pequeno veículo aéreo não tripulado. As fotografias obtidas permitiram gerar uma nuvem de pontos e um ortomosaico de cada uma das estruturas. Utilizando o software QGIS foi possível identificar zonas onde ocorreu remoção do material de proteção das estruturas. Para detetar eventuais deslocamentos de blocos da camada superficial foi realizada uma comparação entre os ortomosaicos gerados em 2015 com ortofotos gerados a partir de um levantamento aéreo fotogramétrico realizado em 2008. Na comunicação será apresentado o resultado das análises efetuadas que serão complementadas com informação sobre a experiência que tem sido obtida no LNEC sobre levantamentos de quebra-mares realizados por pequenos veículos aéreos não tripulados.

Palavras-chave: VANT; quebra-mar; monitorização

1. Introdução

A atividade portuária e a importância dos transportes marítimos para a economia justificam que nos portos situados em zonas onde se verifica uma forte ação das ondas marítimas seja dada particular atenção ao estado de conservação das estruturas de proteção. A principal função das proteções é dissipar a energia das ondas e/ou refletir a energia da onda de volta ao mar pelo que danos destas estruturas podem influenciar a atividade de um porto e terem impactos económicos muito elevados. A implementação de um programa de controlo a fim de detetar precocemente as áreas que ficaram fragilizadas permite a reparação atempada dos danos ocorridos e mantém a funcionalidade da estrutura, evitando custos elevados associados não só à reconstrução total de trechos com danos excessivos como à redução da atividade portuária.

Em Portugal (continental e insular) quase todas as estruturas de proteção são materializadas por quebra-mares de taludes cujo manto protetor (camada exterior) é

constituído por enrocamento ou por blocos artificiais. Atualmente a monitorização da parte emersa dos quebra-mares é realizada por inspeções visuais, qualitativas, pelo que a utilização de técnicas que permitam realizar levantamentos contínuos e possibilitem a obtenção de grandezas mensuráveis será certamente uma mais-valia por permitir um melhor acompanhamento da evolução deste tipo de estruturas. O baixo preço e a qualidade dos produtos derivados de fotografias tiradas por câmaras montadas em veículos aéreos não tripulados (VANT) fazem com que esta nova metodologia deva ser aplicada na deteção de modificações do manto protetor de quebra-mares.

Para avaliar o uso desta tecnologia foram realizados no final de 2015 voos com um multicóptero sobre os dois quebra-mares situados na foz do Arade (conhecidos por quebra-mares de Portimão) e obtidas fotografias que permitiram gerar nuvens de pontos e ortomosaicos, tendo-se obtido destes informação sobre remoção de elementos do manto protetor e a extensão das zonas mais afetadas.

Não existindo voos anteriores efetuados por plataformas daquele tipo, foi realizada uma comparação entre os ortomosaicos gerados recentemente e ortofotos de 2008, obtidos de um levantamento aéreo do litoral continental português, comparação esta que será destinada a detetar deslocamentos de blocos da camada superficial. Na presente comunicação será apresentado alguns resultados do trabalho que ainda se encontra em fase preliminar. A comunicação será complementada com informação sobre a experiência que tem sido obtida no LNEC sobre voos realizados por VANT sobre quebra-mares.

2. Quebra-mares da foz do rio Arade

A foz do rio Arade situa-se próximo da cidade de Portimão, no Algarve. Está protegida por dois quebra-mares (Figura 1): o do lado de Poente (Figuras 2 e 3, de Teixeira, 2012) tem cerca de 805 m de comprimento e a direção norte-sul; o do Nascente, situado na freguesia de Ferragudo, tem cerca de 645 m de comprimento e azimute 235°. O afastamento entre as cabeças (extremidades) é cerca de 250 m. Ambos são quebra-mares de taludes, formados por blocos em pedra, e têm uma superestrutura em betão, que se estende desde a costa até à cabeça. Nos extradorsos, lado mais exposto, existem blocos paralelepipédicos em betão junto à superestrutura. O de Poente tem um pequeno cais em betão. Num inventário dos quebra-mares portugueses realizado por Teixeira (2012) encontram-se mais dados técnicos das duas estruturas, nomeadamente uma referência a obras realizadas na década de 1990, destinadas a robustece-las e que incluíram a colocação de mais blocos de betão.

Figura 1 – Foz do rio Arade vendo-se em primeiro plano o molhe Nascente

Figura 2 – O quebra-mar de Oeste em maio de 1952, durante a fase construtiva

Figura 3 – O quebra-mar de Oeste em 2012

3. Elementos sobre os voos realizados por VANT

No levantamento fotogramétrico realizado em novembro de 2015 foi utilizado o VANT Phantom 3 Pro (Figura 4) desenvolvido pela empresa DJI. O objetivo do levantamento foi obter fotografias com uma resolução de 3 cm por pixel. Para respeitar as exigências de qualidade da fotogrametria os voos foram programados de forma a que as fiadas de fotografias tivessem uma sobreposição longitudinal de 80% e lateral de 70%. Os voos foram planeados e operados a partir da aplicação da Pix4D para este tipo de captações de imagens, o Pix4D Capture, ainda em versão beta, para Android. De acordo com o plano os voos foram realizados a uma altura de 80 m e foram captadas fotografias a cada 2 segundos. No levantamento do quebra-mar Nascente, que durou 8 minutos, foram obtidas 204 fotografias; no de Poente, que durou 11 minutos, foram obtidas 285 fotografias. Para georreferenciar os levantamentos foram coordenados alguns pontos em cada quebra-mar por GNSS RTK (FIG5) bem identificáveis nas fotografias.

Figura 4 – Phantom 3 Pro

Figura 5 – Marcação de pontos de apoio

As nuvens de pontos, os ortomosaicos (que serão designados por orto) e os modelos numéricos de superfície (MNS) foram gerados pelo *software* Pix4D. Analisando os ortos, apresentados na Figuras 6, verifica-se que em certas zonas os blocos de pedra foram projetados para cima dos blocos em betão e, no caso do molhe Nascente, também para cima da superestrutura.

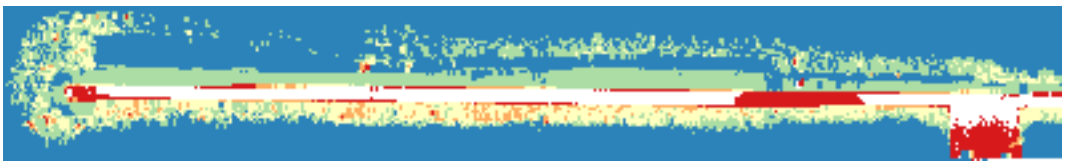
Figura 6 – Ortomosaicos dos quebra-mares de Portimão Poente e Nascente

3. Exploração dos modelos numéricos de superfície

Para explorar os MNS foi utilizado o software QGIS. Para visualizar mais facilmente este modelo foi atribuída uma coloração policromática função da altitude. Na Figura 7 apresenta-se o MNS de Poente colorido de forma a evidenciar diferenças de altitude no coroamento da superestrutura do quebra-mar Poente: entre as zonas branca e vermelha existe um desnível médio de 5 cm. Os níveis escolhidos permitiram evidenciar três zonas do coroamento que estão a uma cota inferior, sendo que uma é a extremidade do cais que, na Figura 7, se situa no canto inferior direito. No quebra-mar Nascente não foi

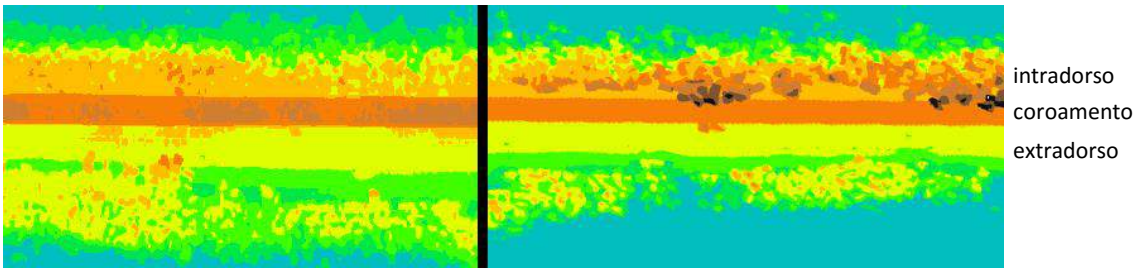
detetada nenhuma diferença de cota assinalável no coroamento mas nota-se que em três zonas este está parcialmente coberto de blocos de pedra.

Figura 7 – Mapa de altitudes baseado no MNS do quebra-mar Portimão Poente



Na Figura 8, onde foi utilizada uma paleta de cores diferente para representar as altitudes, apresenta-se a comparação dos dois quebra-mares. Verifica-se que o Poente tem um coroamento (aparentemente) mais largo e a zona com blocos de betão do extradorso (faixa amarela larga na Figura) é também mais larga. Com base na Figura não se pode inferir sobre a largura dos quebra-mares na zona do enrocamento pois os levantamentos aéreos foram realizados a horas diferentes, portanto com alturas de marés diferentes.

Figura 8 – Mapa de altitudes baseado nos MNS dos quebra-mares Poente, à esquerda, e Nascente à direita



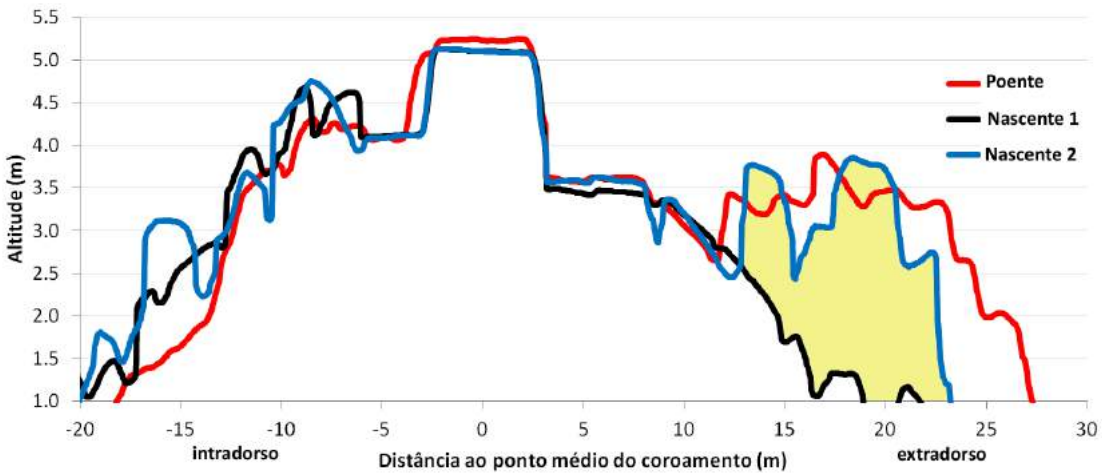
Embora não tenha sido possível aceder a informação detalhada sobre os projetos de construção (de 1935) e de reparação (década de 1990) existem alguns elementos de projeto que são conhecidos (referidos em Teixeira, 2012, e LNEC, 2014). A sua comparação com dados registados nos levantamentos permitiu verificar que as estruturas construídas diferem do previsto: os coroamentos são mais estreitos e situam-se a uma cota inferior. Na Tabela 1 apresentam-se os dados de projeto e os obtidos de medições realizadas no MNS e nas ortos. As cotas apresentadas são relativas ao zero hidrográfico (ZH) o qual, de acordo com o Instituto Hidrográfico (2016) e para Portugal continental, está estabelecido 2.00 m abaixo do nível médio do mar adotado, que é Cascais 1938.

Quadro 1 – Características dos coroamentos (projeto e real)

	Poente		Nascente	
	Projeto	Construído	Projeto	Construído
Largura da superestrutura no coroamento (m)	9	4.2	6	4.2
Cota do coroamento (m)	+6.5	+5.27	+6.0	+5.09

Para obter dados de perfis de forma expedita foi utilizado módulo *Profile Tool* do *software* QGIS tendo os resultados numéricos (coordenadas e cotas de pontos do perfil) sido exportadas para Excel para se utilizarem capacidades de cálculo e de representação gráfica. Os perfis que se apresentam na Figura 9 resultam de cortes transversais realizados sensivelmente a meio dos coroamentos dos dois quebra-mares. De notar que os perfis Poente e Nascente 2 apresentam globalmente muitas semelhanças. Já Nascente 1 e 2 apresentam uma diferença assinalável no extradorso, normal se se tiver em conta que o primeiro foi obtido numa zona onde foi detetada remoção parcial do manto de proteção. Foi estimado, no gráfico, que a área de enrocamento removido (a assinalada a amarelo) tem um valor de 25 m^2. Sabendo, por medições realizadas no ortomosaico, que a zona de onde foi removido material tem 22 m de extensão e no pressuposto que houve uniformidade na extração deduz-se que o material removido terá um volume da ordem de 500 m^3. Para realizar um cálculo mais exato seria necessário ter dados sobre a forma prevista para os taludes (dimensões e inclinação), que seriam comparados com informação existente na nuvem de pontos. Poder-se-ia assim evidenciar muito facilmente as zonas onde falta material de proteção.

Figura 9 – Perfis transversais dos quebra-mares

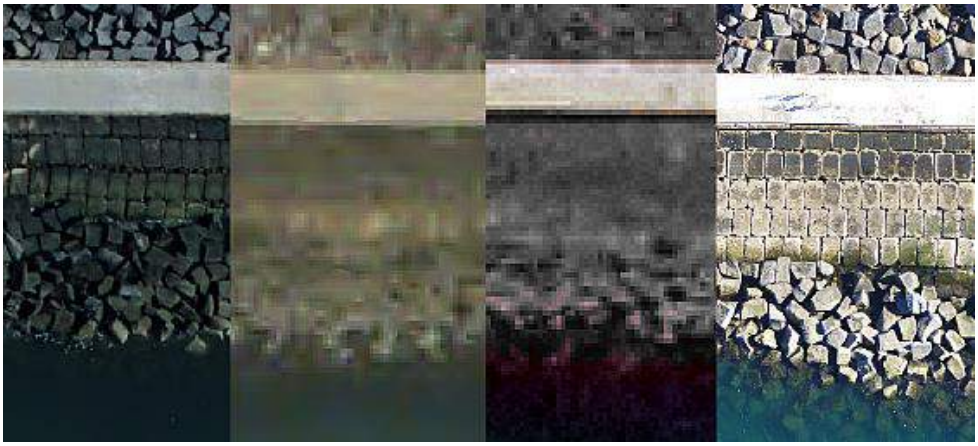


4. Exploração dos ortomosaicos

Para além dos ortomosaicos resultantes dos levantamentos realizados com o VANT, existem ortofotos anteriores, produzidos a partir de fotografias obtidas por câmaras métricas instaladas em aviões convencionais. Na Figura 10 apresenta-se, relativamente a um troço do quebra-mar Poente, uma sequência dos ortos disponíveis. Para além da diferença da luminosidade e da qualidade, nota-se também que existem pequenas diferenças ao nível do posicionamento. O primeiro orto resulta de um levantamento realizado em 2008, que cobriu todo o litoral continental; os dois seguintes datam de 2004 e de 2014; o último resulta do levantamento realizado com o VANT em 2015.

A pouca qualidade dos ortos de 2004 e 2014 faz com que se tenha selecionado para um estudo de evolução unicamente a orto do levantamento de 2008. Para realizar a comparação entre imagens a primeira etapa consistiu no co-registo (foi utilizado o módulo *Georeferencer* do QGIS) pois existe uma diferença no posicionamento que é assinalável, e que está bem patente na Figura 10. Este módulo realiza automaticamente a re-amostragem dos pixeis, fazendo com que os pixéis das imagens fiquem com igual dimensão. A dimensão dos lados dos pixéis, que era de 2.6 cm no orto de 2015 e de 10.0 cm no de 2008, passou a ser de 10 cm (o que resulta numa perda de qualidade significativa para o orto de 2015). Também na Figura 10 pode-se notar a diferença de cor entre os dois ortos que originará dificuldades numa comparação direta.

Figura 10 – Justaposição de quatro ortos do quebra-mar poente



O cálculo da diferença entre as imagens (ver Figura 11C), realizado utilizando o módulo *Raster Calculator* do QGIS, mostra que as diferenças mais marcantes (que na imagem resultante ficam assinaladas a branco) não ficam bem evidenciadas. Na imagem resultante ficam assinaladas não só diferenças derivadas da alteração da posição de blocos mas

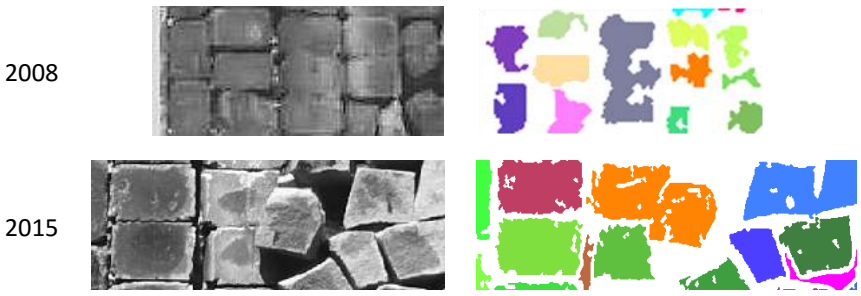
também as provenientes da variação da cor dos blocos, muitos dos quais não sofreram alteração de posição. Por exemplo, os blocos de pedra que entre 2008 e 2015 foram arrastados para cima dos blocos em betão situados no extradorso, não ficam realçados na imagem da diferença (imagem C na Figura 11) porque na zona envolvente houve variação de cor dos blocos a qual ficou também assinalada a branco na referida imagem da diferença.

Figura 11 – Pormenores da mesma zona do extradorso do quebra-mar Poente: A – orto 2008; B – orto de 2015; C – imagem da diferença

A **B** **C**

Verificando-se que a comparação entre ortos pode ser muito falível quando existem diferenças cromáticas entre os ortos, está a ser seguida uma metodologia diferente, baseada na identificação automática da posição dos blocos. Este método tem a vantagem de utilizar as imagens originais (não-reamostradas) e irá detetar alterações no manto por comparação de coordenadas dos blocos. Este estudo encontra-se ainda numa fase inicial estando os autores a desenvolver *software* em SCILAB (*toolbox* I*mage* P*rocessing* D*esign*) para identificar as faces visíveis dos blocos. Na Figura 12 apresenta-se um pormenor do resultado gráfico do software desenvolvido quando aplicado a duas pequenas áreas dos ortos (imagens da esquerda) onde superfícies de blocos contíguos são marcadas com a mesma cor (imagens da direita). A falta de fronteiras entre algumas superfícies tem sido a maior dificuldade a superar pelo que para identificar corretamente a posição das superfícies se afigura desejável interligar a informação planimétrica, existente nos ortos, com informação tridimensional, existente nas nuvens de pontos, e ainda com dados sobre as dimensões dos blocos paralelepipédicos.

Figura 12 – Identificação de zonas com tom de cinzento semelhante



5. A experiência de voos sobre quebra-mares

Devido à configuração e localização do território português (continente e insular) a maioria dos quebra-mares encontra-se em zonas muito expostas ao vento. Este facto leva a que os modelos VANT de asa fixa, mais aerodinâmicos e capazes de voar com ventos mais fortes, sejam mais adequados para realizar levantamentos de quebra mares (LNEC 2013, Henriques et al. 2014). No entanto apresentam uma limitação muito importante que é a de exigirem um local para aterrar plano e com vegetação rasteira que frequentemente não existe na proximidade dos quebra-mares. Se na proximidade da maioria dos quebra-mares portugueses encontram-se zonas planas (praias ou plataformas) aparentemente adequadas, já os materiais destas superfícies (areia ou betão) podem danificar irremediavelmente o VANT nas aterragens. Em oposição, um piloto/programador de voo de um multicóptero, não terá qualquer dificuldade em encontrar um local adequado para aterragem pois este pousa na vertical, sem arrastamento, ficando só os pés em contacto com a superfície. À semelhança de qualquer voo, a sua trajetória deve ser pré-programada e deve-se optar por realizar um voo em modo automático. Dado ser muito frequente surgirem rajadas de vento fortes, o piloto deve seguir o voo visualmente de forma a poder atuar, passando o modo de voo para manual. Relativamente à escolha da hora de voo devem-se privilegiar os períodos próximos do meio-dia solar, de modo a minimizar as áreas que ficam escurecidas pelas sombras dos blocos, coincidentes alturas baixas de maré para maximizar a área exposta do manto superior do quebra-mar.

6. Conclusões

Os VANT, juntamente com os softwares de processamento capazes de gerar ortomosaicos e nuvens de pontos, permitem que seja recolhida informação sobre alterações dos mantos protetores de quebra-mares de enrocamento a custo reduzido. A análise dos produtos gerados permite detetar e quantificar mudanças nas superfícies sendo uma base valiosa para o apoio à tomada de decisão sobre intervenções destinadas a reparar as estruturas.

Na presente comunicação foram utilizadas dados gerados a partir de fotografias obtidas por uma câmara que se pode considerar de baixa qualidade (devido ao tipo de lente e de sensores) para aplicações de fotogrametria. As limitações foram ultrapassadas realizando voos a baixa altitude o que permitiu recolher fotografias com definição superior à que são habitualmente obtidas em voos fotogramétricos convencionais e assim gerar ortomosaicos e nuvens de pontos com qualidade.

Igualmente importante é a capacidade de retirar informação dos ortomosaicos e das nuvens de pontos. Todos os exemplos de exploração de dados referidos no texto utilizaram *software* livre – QGIS, SCILAB – o que contribui para que o trabalho em gabinete não tenha que ser excessivamente dispendioso.

Referências Bibliográficas

Henriques, M.J., Fonseca, A.; Roque, D.; Lima, J.N. & Marnoto, J. (2014). Assessing the Quality of an UAV-based Orthomosaic and Surface Model of a Breakwater. FIG Congress.

LNEC (2013). Utilização de veículos aéreos não tripulados para a monitorização de infraestruturas - Aplicação ao quebra-mar da Ericeira. Relatório técnico 409/2013 – LNEC/DBB/NGA.

Autores

Maria João Henriques
Laboratório Nacional de Engenharia Civil
mjoao@lnec.pt

Dora Roque
LNEC
droque@lnec.pt

Alexandre Daniel Santos
Geosense
Alexandre.santos@geosense.inf

UTILIZAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS NA MONITORIZAÇÃO TOPOGRÁFICA DA EROSÃO COSTEIRA

Gil Gonçalves
Sara Santos
Diogo Duarte
João Duarte
José Gomes

Resumo

A extensa zona costeira portuguesa, sendo muito importante do ponto de vista económico, social e ambiental e diversificada geomorfologicamente com praias (costa baixa ou arenosa) e arribas (costa alta ou rochosa), é constantemente influenciada pela agitação marítima. Ao longo dos anos as praias têm vindo a sofrer várias transformações, devido tanto à forte erosão costeira, mas também à crescente pressão urbana e demográfica. Neste artigo estudamos a evolução da linha de costa, através da comparação visual e quantitativa de vários tipos de dados geoespaciais obtidos por várias geotecnologias. Utilizando Modelos Digitais de Superfície (MDS) obtidos por LiDAR aéreo e por câmaras de ação digitais embarcadas em drones (ou UAV – Unmanned Aerial Vehicles) de baixo custo, foram delimitadas duas posições da linha de costa relativas aos anos 2011 e 2015. Utilizando outras posições históricas da linha de costa e a ferramenta Digital Shoreline Analysis System (DSAS), integrada na plataforma ArcGIS, calculou-se a sua taxa de avanço/recuo (acreção/erosão) no período 1958-2015. Os resultados obtidos mostram que a utilização integrada de várias tecnologias é eficaz na monitorização da linha de costa. Além disso os resultados obtidos com os UAVs revelam também que podem ser utilizados eficazmente na monitorização topográfica de dunas primárias de áreas restritas mas, também, na monitorização dos processos associados aos riscos naturais.

Palavras-chave: Erosão Costeira; LiDAR; UAVs; Fotogrametria; SIG

1. Introdução

1.1. Conceitos e contextualização

Existem várias definições de litoral que, entre outros fatores, dependem "do objeto e do nível da análise pretendido", como também "do foco de incidência temática; umas incidem mais na interface terra/mar, outras nas influências marítimas e outras na jurisdição a que estão sujeitos", (Ferreira, 1997: 57). Já o conceito de zona costeira, tem

sido utilizado em diversos contextos com um significado próximo do de "litoral"; por exemplo Granja (2002:95) defende que se trata "... por excelência, uma zona de grande mobilidade, onde ocorrem transformações rápidas e, por vezes, abruptas, onde o equilíbrio dinâmico é extremamente frágil e muito sensível a impactes de variada natureza, quer naturais quer antrópicos".

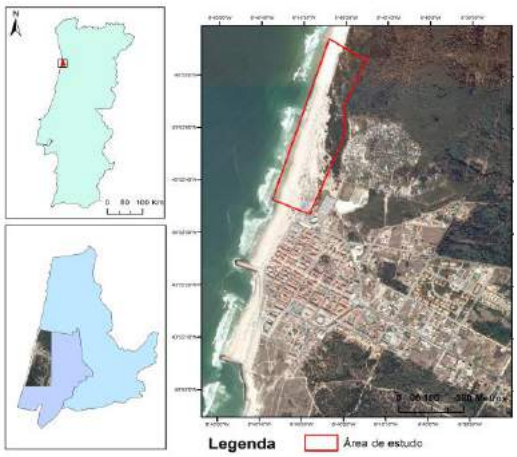
Para além de serem bastante dinâmicos e terem uma elevada sensibilidade ambiental, os ambientes litorais são zonas que refletem os impactes da interação da atividade humana com a dinâmica natural morfo-sedimentar. Cerca de 75% da população portuguesa vive nas zonas costeiras, e é aqui que estão concentrados os centros de decisão política, económica, e industrial. Contudo, o crescimento populacional nas zonas costeiras foi bastante rápido e mal planeado, o que originou uma elevada pressão urbana e industrial. Como consequência desta pressão urbana, surgiu a destruição de muitos ambientes litorais, designadamente, dos cordões dunares primários – as primeiras proteções naturais contra o avanço do mar, e um aumento da vulnerabilidade territorial face à erosão costeira e consequentes registos do recuo da linha de costa.

A erosão costeira é um fenómeno independente da escala que, em termos globais, afeta cerca de 70% das praias arenosas por todo o planeta. Como vai do local ao global, obriga à pesquisa de explicações de diferentes índoles. Entre as principais causas destacam-se as naturais (interação mar – linha de costa) mas também as de origem antrópica (barragens, dragagens, construção de esporões, entre outros). Este processo ocorre quando o mar avança sobre a terra, devido à ação de vários fatores que fazem com que a taxa de remoção de sedimentos seja maior do que a de deposição. É medido ao longo de um determinado período de tempo, sem a interferência das variações sazonais associadas ao clima, às tempestades e à dinâmica sedimentar local, e por fim, está relacionada com a composição geológica, a composição morfológica e com o perfil topográfico da costa. São vários os impactos causados pela erosão costeira como, por exemplo, a perda de terreno com valor económico, social ou ambiental. A destruição de defesas costeiras naturais (dunas), por ação das tempestades, das marés vivas e das atividades antrópicas, que podem ter como consequência inundações costeiras e prejuízos à população. Por último, temos a menor eficácia das defesas artificiais, que origina o aumento do risco de inundação.

1.2. Área de estudo

A praia do Furadouro localiza-se na Região Centro-Norte de Portugal (Figura 1); pertence à freguesia e concelho de Ovar e ao distrito de Aveiro. É limitada a oeste pelo Oceano Atlântico, a leste pela freguesia de Oliveira de Azeméis, a Norte pela de Espinho e a Sul pela de Murtosa e Estarreja. Trata-se de uma área litoral, cuja dinâmica morfogenética na qual intervêm processos de natureza marítima e eólica, é perturbada pela ação antrópica. O crescimento da povoação do Furadouro, que se deve ao apelo que a praia exerce ao turista, tem vindo a influenciar a dinâmica natural. Mas são sobretudo as consequências da construção, cada vez mais próxima das dunas primárias e da própria praia que preocupam, devido ao incremento das vulnerabilidades territoriais que comportam.

Figura 1: Enquadramento geográfico da Praia do Furadouro



A morfologia da praia do Furadouro tem vindo a evidenciar, ano após ano, cicatrizes deixadas pelos processos erosivos de origem marítima, principalmente, mas também eólicos, gerando na população um sentimento de receio e medo do preocupante avanço do mar e da consequente diminuição da extensão do lençol arenoso que compõe a praia. Além de se tratar duma área "em risco" saliente-se o facto de o Furadouro apresentar um ecossistema frágil, tendo já acontecido modificações rápidas, tanto naturais como antrópicas. Aqui encontramos uma área urbana significativamente artificializada e os vários problemas decorrentes dos galgamentos que ocorrem todos os anos, sinalizam um espaço público no qual o risco já se manifestou mais a sul como atestam os muros artificiais, mas que deixam antecipar que, após a construção dos esporões, também a área localizada um pouco mais a norte (menos artificializada) venha a ser perturbada na sua morfodinâmica. Este facto concorre para justificar a necessidade deste estudo da evolução do cordão dunar definido por dunas primárias

de reduzida altura mas onde ainda é visível a existência de vegetação herbácea a subarbustiva adaptada a ambientes litorais, a qual ajuda a estabilizar as dunas.

2. Objetivos, geotecnologias e metodologias

2.1. Objetivos

O objetivo principal deste artigo consiste na análise da evolução da linha de costa na zona norte da praia do Furadouro através da utilização de vários tipos de dados geoespaciais produzidos por diferentes geo-tecnologias. Assim, são utilizados MDS obtidos por LIDAR aéreo e por correlação densa de imagens captadas por UAV de baixo custo e apoiadas por GNSS em modo NRTK. Além disso também foi utilizada a interpretação manual de ortofotos na delimitação de múltiplas posições históricas da linha de costa (1958, 1998, 2010, 2011), bem como a utilização da ferramenta Digital Shoreline Analysis System (DSAS) no cálculo da taxa de avanço/recuo dessas posições relativamente à linha de costa de 2015, obtida por UAV.

2.2 Geotecnologias

Entre as diferentes geotecnologias utilizadas por diversos autores na monitorização topográfica da erosão costeira a uma escala local, destacamos: i) a utilização de dados altimétricos obtidos por LiDAR aéreo juntamente com dados de levantamentos aerofotogramétricos e dados GNSS-RTK, na quantificação da deflação e migração horizontal de um campo de dunas ativo na costa leste dos Estados Unidos (Mitasova et al., 2005); ii) a utilização de tecnologias de posicionamento baseadas em NRTK (Network RTK) suportadas por redes ativas regionais (RAP - Rede Andalusa de Posicionamento) para monitorizar a uma escala local as mudanças da morfologia duma duna devidas a fenómenos de erosão e acreção (Garrido et al., 2013); iii) a utilização MDS produzidos por métodos que combinam técnicas UAV fotogramétricas com técnicas da visão computacional (SfM – Structure from Motion) na reconstrução da morfologia de um sistema dunar. Estes dados altimétricos quando comparados com dados obtidos por Sistemas Terrestres de Varrimento Laser permitiram concluir que a metodologia utilizada tem uma exatidão vertical de 0.19m em termos de Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático (REMQ) (Mancini et al., 2013); iv) a utilização de dados altimétricos adquiridos por fotogrametria UAV no mapeamento de sistemas dunares e mostraram que é possível obter MDS de áreas costeiras com 10cm de

resolução e com uma exatidão vertical (REMQ) próxima dos 5cm (Gonçalves e Henriques, 2015).

2.2.1. Posicionamento por GNSS em modo NRTK

O posicionamento baseado em Rede RTK designado por NRTK (Network-based Real Time Kinematic) utiliza as observações dos Sistemas Globais de Navegação por Satélite (GNSS - Global Navigation Satellite Systems) adquiridas a partir duma rede estações CORS (Continuously Operating Reference Stations) para modelar no rover os erros das distâncias espacialmente correlados (os erros orbitais e os atrasos ionosféricas e troposféricas do sinal GNSS) e que atuam dentro da área coberta pela CORS. Combinando os recetores GNSS de multi-frequência com as correções NRTK disponíveis em redes locais (neste caso nacionais) ativas obtêm-se precisões e exatidões superiores ao posicionamento RTK convencional, ou seja baseado numa única estação. Alem disso a solução NRTK oferece ainda uma melhor cobertura e fiabilidade, uma exatidão mais homogénea e tempos mais rápidos na fixação das ambiguidades (Garrido et al, 2013). Neste trabalho foi utilizada a RENEP (REde Nacional de Estações Permanentes) como rede nacional NRTK ativa. Esta rede, calculada no sistema geodésico ETRS89, realizado pelo referencial ETRF97 da época de referência 1995.4, emite as correções diferenciais em tempo real no formato RTCM 3.1, as quais podem ser obtidas via Internet por NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol). Neste trabalho utilizámos as correções em rede, dado que é possível obter com este método precisões e exatidões posicionais de ordem centimétrica (Garrido et al., 2013).

O equipamento utilizado para a recolha dos pontos de apoio fotogramétrico (GCP - Ground control Points) e traçado dos perfis transversão constou de: i) dois recetores GNSS, Geomax Zenith 10, equipados com antenas de tripla frequência (GPS/GLONASS/Galileo); ii) duas controladoras de campo wireless (Geomax PS336); iii) acessórios adicionais tais como tripés, bastões telescópicos, alvos em PVC e em têxtil. As coordenadas planimétricas (x,y) dos dados geoespaciais recolhidos com esta geotecnologia foram referidas ao sistema ETRS89 PT/TM-06 (EPSG:3763) e a coordenada vertical (z) foram referidas ao geoide (altitude ortométrica ou cota) utilizando o modelo numérico do geoide local, o GeodPT08.

2.2.2. LiDAR aéreo

A vulgarização da utilização da tecnologia LiDAR (Light Detection And Ranging) na aquisição de dados topográficos a escalas grandes é, atualmente, uma realidade inquestionável na recolha de informação geográfica cujas exatidões sejam da ordem da dezena de centímetros. Um sistema LiDAR aerotransportado genérico é composto, basicamente, por um scanner laser, um sistema de posicionamento (GPS em modo diferencial) e orientação (geralmente uma unidade de medição inercial IMU) e uma unidade de controlo (computador e suporte de armazenamento digital). Um conjunto típico de dados LiDAR consiste numa nuvem irregular de pontos com coordenadas tridimensionais (x,y,z), onde a cada ponto é geralmente atribuído: um ID único (marca temporal), a intensidade I do sinal recebido, o número de retorno e a quantidade de retornos. A intensidade da luz refletida depende das características da superfície, do comprimento de onda da luz laser e do ângulo de incidência.

Quadro 1: Características do sistema drone low-cost utilizado.

Plataforma	
Tipo de quadro	Quadcopter plegable Tarot Iron Man 650
Motores	4 T-Motor Navigator MN3110 470KV
Dimensões e peso	95 cm e 1,5 kg com todo o equipamento
Modo de voo	Manual Baseado no controlo wireless
Autonomia	Máx. 18 Minutos
Camara Digital	
Suporte	Walkera G-2D Brusless gimble
Configuração	GoPro Hero4 Silver
	Sensor: CMOS - 12 megapixéis - 1/2.3 polegadas
	Tipo de lente: Lente de vidro grande angular
	Equivalente a 35 mm: 15 - 30 mm
	f2.8 - f2.8
	Peso: 84g
	Dimensões (hxlxp) em mm: 41.0x59.0x29.6
Controlo Remoto	
Controladora	DJI Naza V2(GPS)
Comando de voo	Futaba 8J FHSS - FUTABA
	2-stick, 8-channel, S-FHSS system, Built-in
	Dual Antenna Diversity
	Transmitting frequency: 2.4GHz band
FPV - Tx/Rx	DJI Vídeo Link 5.8Ghz 500mw
Monitor	Lcd de 7”
Custo total: 9000 €	

Os dados LiDAR utilizados neste artigo, cedidos pela DGT, resultaram duma parceria entre a DGT e a Agência Portuguesa do Ambiente, I.P. (APA, I.P.) e foram financiados no quadro do Plano de Ação para o Litoral 2007-2013, pelo Programa Operacional

Temático Valorização do Território (POVT). Estes dados geoespaciais, já em formato grelha (MDS) com a resolução espacial de 1m, foram adquiridos por um sensor LiDAR Topográfico Leica ALS60 voando a uma altitude média de 1800m entre os dias 17 de Novembro e 7 de Dezembro de 2011.

2.2.3 UAV

A recente disponibilização e utilização de sistemas drones (ou UAS – Unmannned Aerial System) de low-cost (baixo custo) aliada com o desenvolvimento e facilidade de uso de Software Fotogramétrico baseado em algoritmos SfM (Structure from Motion) e correlação densa, abre as portas para o uso intensivo desta geo-tecnologia na monitorização topográfica das superfícies dos sistemas dunares. Neste trabalho foi utilizado o sistema drone especificado no quadro 1.

2.3 Metodologias

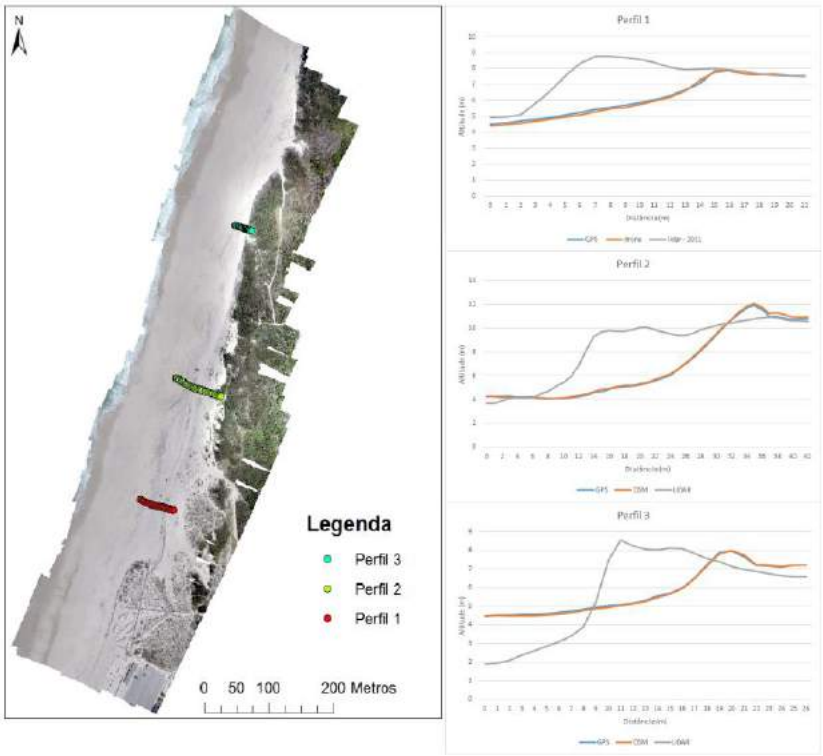
A representação digital 2.5D da orla costeira com MDS de alta resolução tem sido muito utilizada na literatura para a monitorização topográfica da erosão (Mitasova et al., 2005). Estes MDS temporais permitem realizar simulações fiáveis da erosão costeira, fenómenos de inundação e monitorizar o balanço de sedimentos costeiros (Mancini et al., 2013). Neste artigo os MDS obtidos pelas geotecnologias LiDAR aéreo e UAV e foram utilizados para a delineação manual da posição planimétrica da linha de costa para os anos de 2011 e 2015, respetivamente. Recorrendo ao sombreado do relevo (hillshading) dos MDS foi possível delinear manualmente a linha de quebra (praia vs. início da duna) correspondente à posição frontal dunas primárias e que foi tomada como proxy para a linha de costa.

2.3.1 *Workflow* fotogramétrico

O worflow fotogramétrico utilizado para produzir o ortofoto e o MDS a partir das imagens captadas pela câmara de ação do UAV constou de três etapas: i) planeamento do voo; ii) execução do voo; iii) processamento fotogramétrico das imagens com vista à geração dos dois produtos geoespaciais, o ortofoto e o MDS. Na fase de planeamento do voo foram definidos: i) a pegada do pixel no solo (GSD – Ground Sampling Distance); ii) a correspondente altitude de voo para a câmara utilizada; iii) as sobreposições longitudinais (aprox. 80%) e transversais (aprox. 60%) e as correspondentes velocidade de disparo (para a velocidade de voo) e separação entre fiadas; iv) o planeamento dos pontos de apoio fotogramétricos (GCP – Ground Control Points). Na fase de execução foram colocados os alvos no solo nas posições planeadas

e as suas coordenadas medidas com GNSS-NRTK. Dado que este UAV apenas pode ser controlado manualmente, foi introduzida a velocidade de disparo de 5s na câmara, colocou-se o UAV a uma altitude de voo de 100 m (GSD de 6 cm) e realizaram-se 4 fiadas paralelas à linha de costa. A fase de processamento das imagens foi realizada com o Photoscan® e envolveu as seguintes etapas: i) seleção das imagens (170); ii) "alinhamento" das imagens envolvendo a extração dos pontos de interesse em todas as imagens a formação dos pares estéreo, a auto-calibração da câmara e a orientação relativa destes pares utilizando um ajustamento por feixe; iii) a orientação absoluta do feixe de imagens utilizando os GCPS; iv) a reconstrução da superfície por correlação densa das imagens; v) e finalmente a construção da mesh e a produção do DSM e do ortofoto.

Figura 2: Análise de perfis topográficos transversais



2.3.2 Avaliação da exatidão vertical do MDS

Neste trabalho foram utilizados perfis topográficos transversais na avaliação da exatidão vertical do MDS obtido pelo UAV, utilizando-se a comparação direta entre os perfis observados diretamente na praia com GNSS-NRTK com os interpolados no MDS-UAV. Assim, para cada posição planimétrica dos pontos que definem o perfil calculam-se as diferenças entre as cotas do DSM e as cotas obtidas por GNSS-NRTK (que designaremos por resíduos verticais), e determinam-se, para estas diferenças,

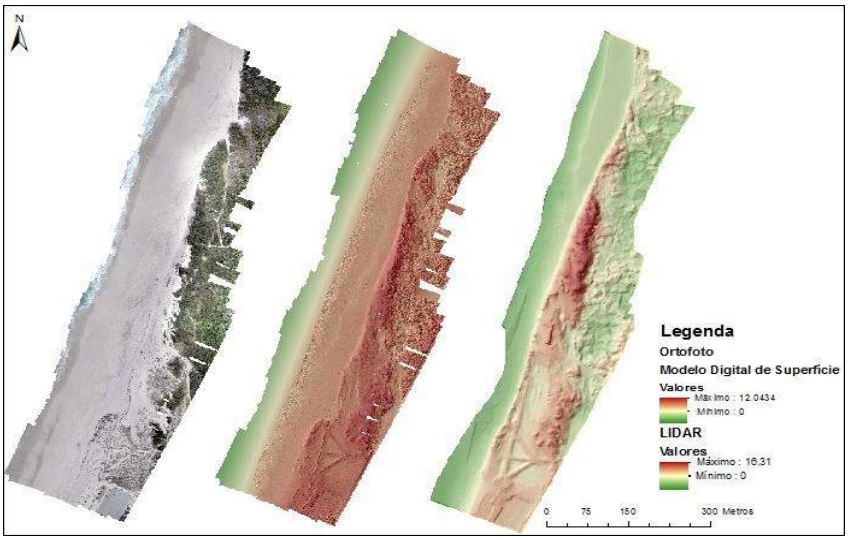
indicadores estatísticos habituais que caracterizam a exatidão vertical: a raiz quadrada do erro médio quadrático (remq), a média (μ) e o desvio padrão (σ).

Na Figura 2, podemos visualizar a localização dos três perfis efetuados na saída de campo, com recurso a um GPS – RTK. Note-se ainda que a análise destes perfis topográficos, além de permitir avaliar a exatidão vertical do MDS-UAV, contribuiu também para o estudo da dinâmica da praia norte do Furadouro, ao serem comparados com os perfis interpolados no MDS- LiDAR.

2.3.3 Evolução da linha de costa com o DSAS

A ferramenta DSAS, disponível para ARGIS, realiza a automação da análise quantitativa da evolução das variações da linha de costa para uma série temporal de dados. Utilizando secções transversais equidistantes entre si (perfis) segmenta-se a linha de costa da época de referência e intersectam-se as outras linhas de costa de outras épocas com estas secções, obtendo-se, para cada perfil várias posições da linha de costa. Com estas posições e utilizando vários métodos estatísticos calculam-se, para o intervalo das épocas, a taxa de avanço/recuo da linha de costa.

Figura 3: Ortofoto e MDS obtidos por UAV (a, b). MDS obtido por LIDAR (c).



Neste trabalho foram utilizados dois métodos estatísticos: o end point rate (EPR), e a regressão linear (LRR – Linear Regression Rate). O método EPR faz os cálculos de variação dividindo a distância do movimento pelo tempo decorrido entre a linha mais antiga e a mais atual (Thieller et al., 2009). O método LRR, calcula as taxas de recuo da linha de costa através duma regressão linear simples, tendo sempre em consideração as variações presentes ao longo de cada linha de costa. Aqui todos os perfis são

considerados para efeito de cálculo. No entanto este método "tende a subestimar a taxa de variação em relação a outras estatísticas", e é "suscetível a desvios extremos" (Thieler et al., 2009). Além disso, é possível obter alguns indicadores estatísticos suplementares, tais como: o coeficiente de correlação, o intervalo de confiança e o erro de ajustamento (R2).

3. Resultados e discussão

3.1 MDS e ortofoto obtido por UAV

As Figuras 3-a) e b) mostram, respetivamente o ortofoto e MDS (resolução de 0.1 m) obtidos por drone e utilizados na delineação manual da linha de costa do ano 2015. A Figura 3-c) mostra o MDS (resolução de 1m) obtido por LiDAR aéreo e utilizado na delimitação manual da linha de costa de 2011.

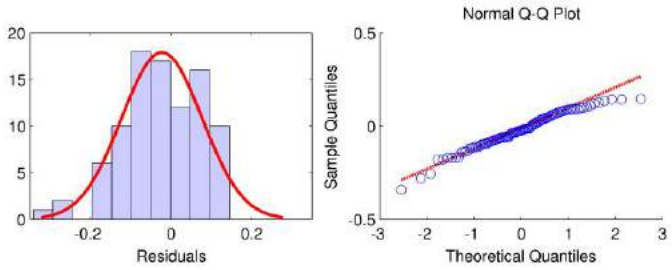
3.2 Exatidão vertical do MDS

Comparando os dois perfis transversais obtidos a partir do MDS-Drone e os medidos diretamente com a tecnologia GNSS-NRTK podemos obter alguns indicadores estatísticos da exatidão vertical posicional da MDS. O Quadro 2 ilustra alguns dos indicadores estatísticos da exatidão posicional (remq=10cm). Note-se o facto de a média alternar para os 3 perfis entre valores positivos e negativos.

Quadro 2: Indicadores da exatidão posicional (cm)

	npt	remq	μ	σ
Perfil1	22	10	6	8
Perfil2	43	12	-9	8
Perfil3	27	5	3	5
Global	92	10	-2	10

Figura 4: Avaliação da normalidade dos resíduos verticais (m)

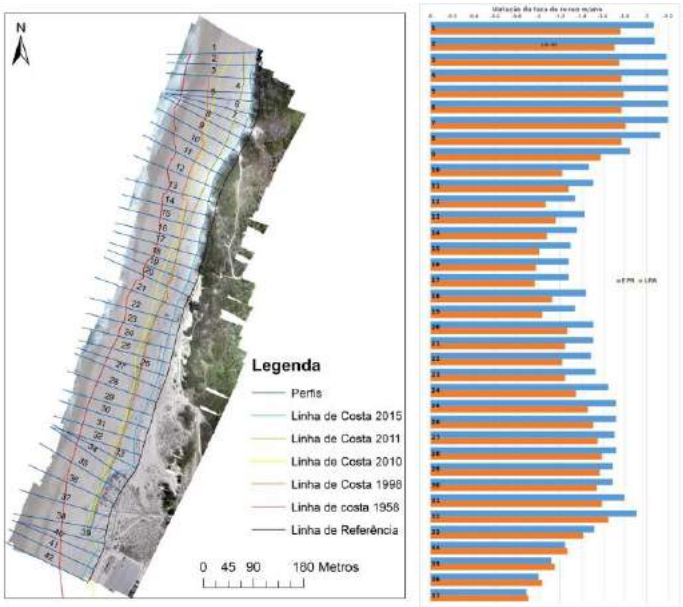


Para averiguarmos sobre a normalidade da distribuição dos 92 resíduos calculámos o histograma e sobrepusemos a curva da distribuição normal (Figura 4-a) e traçamos um gráfico Q-Q (quantil-quantil) (Figura 4-b). Dado que a curva do gráfico Q-Q se aproxima muito da reta a vermelho podemos considerar que estamos perante uma distribuição normal dos resíduos, ou seja com um remq e σ de 10cm (1 GSD).

3.3 Evolução da linha de costa

Para proceder a esta análise, foram utilizadas as linhas de costa de 1958, 1998, 2010, 2012, as quais foram inseridas numa base de dados geográficos (geodatabase). Também foi necessário construir uma linha de referência (baseline), criada através de um buffer de 15 metros a partir da linha de costa de 2015. É de salientar que foi necessário editar alguns vértices na linha de referência, e que esta foi construída sobre a faixa de terra do continente (onshore). Posteriormente foram criados perfis perpendiculares, com um espaçamento de 25 metros entre eles, e com um comprimento de 170 metros (ver Figura 5). O cálculo das diferentes taxas de avanço/recuo da linha de costa foram efetuadas de modo automático e teve como parâmetros adicionais um intervalo de confiança de 90%.

Figura 5: Taxas de recuo da linha de costa com os métodos EPR e LRR



A Figura 5 mostra as taxas de recuo (os valores são negativos) da linha de costa para os dois indicadores estatísticos (LRR e EPR). Como se pode concluir a praia do Furadouro passou por situações de forte erosão costeira, como também de acumulação. Esta última situação deve-se ao ano de 1998 para 2010 em alguns setores da área em estudo (do perfil 15 ao 37). Também houve um forte recuo da linha de costa de 2010 para 2011, por exemplo no perfil 5 houve um recuo de 46 metros. Por fim, no perfil 8, de 1958 a 2015 houve um recuo de 128 metros, sendo este o valor máximo registado nesta área. Além disso a regressão linear (LRR) revela ter valores mais baixos em quase todos os perfis, tendo apenas como exceção os perfis 36 e 37. De salientar que estes

perfis localizam-se numa zona que já está um pouco artificializada, nomeadamente com a construção de passadiços e com o surgimento de uma pequena estrutura longitudinal. O valor mais alto do método LRR corresponde a -1,9 m/ano, e o mais baixo a -0,9 m/ano. Quanto à estatística EPR tem sempre taxas de erosão mais elevadas, tendo atingido o máximo de -2,3 m/ano, e o mínimo de -0,89 m/ano. A taxa média de recuo da linha de costa para o intervalo de 57 anos (1958 a 2015), é de -1,5 m/ano, sendo -1.4 m/ano para a estatística LRR, e -1.6 m/ano para a estatística EPR. Concluímos então que esta área sofreu uma erosão generalizada.

Comparando estes resultados com os obtidos por autores para a mesma zona, observamos alguma discrepância. Por exemplo, Silva (2012), utilizando também a ferramenta DSAS e o método EPR, obteve para o sector Maceda-Furadouro as seguintes taxas de recuo: -2.7 m/ano para o período 1958 a 2010, e -4.0 m/ano para o período 2010 a 2012. No entanto, embora a área de estudo deste autor seja mais extensa e os períodos e a escala de análise serem diferentes, ambos resultados revelam o facto de praia do Furadouro se encontrar em erosão superior a -1.5m/ano.

4. Conclusões

A praia do Furadouro tem vindo a sofrer um recuo da linha de costa desde as últimas décadas. A utilização da ferramenta DSAS revelou-se muito eficaz na quantificação das taxas de recuo, obtendo-se para área de estudo e para o intervalo de 57 anos (1958 a 2015), um valor médio de -1,5 m/ano. Nesta análise o MDS obtido por LiDAR aéreo constitui sem dúvida um excelente ponto de partida na monitorização topográfica (2D e 3D) da erosão costeira pois permite definir, sem ambiguidade, uma posição temporal de referência da superfície da linha de costa. Além disso permite que, localmente, se possam integrar nesta monitorização geoteconologias de baixo custo, como os UAVs. Por outro lado, os UAVs ao permitem obter simultaneamente ortofotos e MDS, revelam-se também como uma mais-valia nos estudos da erosão costeira a uma escala local. Por último resta referir que a integração de várias geotecnologias na monitorização topográfica da linha de costa coloca também a necessidade de se uniformizar o conceito de linha de costa extraído dos diferentes dados geoespaciais.

Referências Bibliográficas

Ferreira, M. J. (1997). O Litoral Português: Contributos para uma "Geografia das Regiões Litorais". III Congresso da Geografia Portuguesa, Porto, Setembro de 1997. Edições Colibri e Associação Portuguesa de Geógrafos. Lisboa, 1999, 57-66.

Garrido, M., Giménez, E., Ramos, M., Gil, A. (2013). A high spatio-temporal methodology for monitoring dunes morphology based on precise GPS-NRTK profiles: Test-case of Dune of Mónsul on the south-east Spanish coastline. Aeolian Research 8, 75-84.

Gonçalves, J., Henriques, R. (2015). UAV photogrammetry for topographic monitoring of coastal areas. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 104, 101-111.

Granja, H. M. (2002). Reconstituição Paleoambiental da Zona Costeira, a Norte da laguna de Aveiro, desde a Idade Média até à Actualidade. O litoral em Perspetiva Histórica (Séc. XVI a XVIII), Porto, Instituto de História Moderna, 93-109.

Mancini, F., Dubbini, M., Gattelli, M., Stecchi, F., Fabbri, S., Gabbianelli, G. (2013). Using Unmanned Aerial Vehicles (UAV) for High-Resolution Reconstruction of Topography: The Structure from Motion Approach on Coastal Environments. Remote Sensing 5 (12), 6880-6898.

Mitasova, H., Overton, M., Harmon, R. (2005). Geospatial analysis of a coastal sand dune field evolution: Jockey's Ridge, North Carolina . Geomorphology 72 (1–4), 204-221.

Thieller, E., Himmelstoss, E., Zichichi, J., Miller, T. (2005). Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 3.0: An ArcGIS Extension for Calculating Shoreline Change: U.S. Geological Survey Open-file Report 1304.

Silva, P. M. C. (2012). A tendência da linha de costa entre as praias de Maceda e S. Jacinto (Dissertação de Mestrado). Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro, Aveiro.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Direção Geral do Território pela cedência dos dados Lidar e à Câmara Municipal de OVAR pela cedência dos dados relativos às várias posições da linha de costa.

Autores

Gil Gonçalves
INESC Coimbra e Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra
gil@mat.uc.pt

Sara Santos
FLUC
saritith@gmail.com

Diogo Duarte
ITC e Universidade de Twent (Holanda)
d.duarte@utwente.nl

João Duarte
IQGeo – Serviços, Lda. e Centro de Geociências da FCTUC
joao.aduarte@iqgeo.pt

José Gomes
CEGOT e FLUC
jgs@ci.uc.pt

AVALIAÇÃO DE ALTERAÇÕES NO CABEDELO DO RIO DOURO COM RECURSO A VANT'S

José A. Gonçalves
Renato Henriques
Óscar Moutinho
Ana Rodrigues
Joaquim J. Sousa
Ivaneide Santos

Resumo

As zonas costeiras sofrem alterações através de processos naturais de transporte de areias, que se traduzem em mudanças topográficas nas praias e nas dunas. A avaliação de alterações pode, facilmente, ser efetuada com recurso a modelos digitais de superfície, obtidos em diferentes épocas, desde que tenham rigor adequado. Os sistemas de varrimento laser e as câmaras fotogramétricas digitais obtêm a informação ajustada a esse fim mas, dados os custos envolvidos na utilização desses meios, só se tornam rentáveis para áreas de estudo de grande dimensão.

O estudo de alterações em praias de pequena extensão pode ser feito recorrendo a imagens obtidas por VANT e recorrendo a técnicas fotogramétricas para extração automática de informação altimétrica. Neste trabalho, descreve-se um estudo deste tipo, tendo por área de estudo o cabedelo do Rio Douro. Trata-se de uma extensão de areia e parte do estuário, com área próxima de 1 km2, que sofre grandes alterações devido à ação do mar e, também, das cheias do rio Douro. Para além das causas naturais, ocorrem, ainda, alterações com causas antrópicas, nomeadamente através de obras como os molhes do Douro. Torna-se, por isso, imperativo desenvolver e aplicar metodologias adequadas, em termos de facilidade operacional, reduzindo os custos, ao mesmo tempo que se aumenta a precisão para efetuar a monitorização das regiões costeiras com maior dinâmica morfológica.

Neste artigo descreve-se um estudo efetuado no cabedelo do Rio Douro, em que foram gerados modelos digitais de superfície em duas épocas diferentes (julho de 2013 e maio de 2015), utilizando dois VANT Sensefly (SwingletCam e eBee), com câmaras compactas de 12 e 16 megapixéis, respetivamente. As imagens foram obtidas com resolução espacial próxima dos 5 cm, tendo sido possível obter modelos com resolução de 20 cm. O apoio fotogramétrico foi efetuado com sinais artificiais, coordenados com um recetor GNSS de dupla frequência, em modo RTK. A exatidão altimétrica foi verificada com cerca de 100 pontos de verificação de cota, tendo apresentado EMQ de cerca de 5 cm.

A comparação dos dois modelos revelou um crescimento do cabedelo, do lado do mar, próximo do molhe sul, de cerca de 60 metros, nesse período inferior a 2 anos. As avaliações fizeram-se com recurso ao traçado da curva de nível de cota 2 metros, assim como à subtração dos dois modelos.

Confirmou-se, por isso, a adequação desta metodologia para este tipo de monitorização, sendo possível realizar todo o trabalho de campo em menos de 3 horas. A principal limitação na aquisição destas imagens prendeu-se com a frequente presença de ventos, que dificulta a execução dos voos.

Palavras-chave: Zonas costeiras; Monitorização; Modelo digital de superfície; Exatidão.

1. Introdução

As zonas costeiras sofrem degradação devido à ação do mar e outras causas, quer de origem natural, quer antrópicas. Os processos de erosão são condicionados pelas construções humanas, que muitas vezes contribuem para a destruição das dunas e outras proteções naturais. A construção de barragens, que impedem o fluxo de sedimentos e a alimentação das praias, é outro exemplo de atividade humana condicionante do litoral. Alterações topográficas de praias ocorrem por isso, mesmo em curtos espaços de tempo (Taveira-Pinto *et al*., 2011). Estas alterações originam a construção de estruturas de proteção para evitar o avanço do mar, e por sua vez elas podem induzir alterações na morfologia de praias vizinhas (Henriques, 2006, Carvalho *et al*., 2005).

As alterações topográficas nas praias e dunas devem ser avaliadas, quer numa base regular, quer após eventos extremos, de forma a criar modelos digitais de superfície que permitam quantificar as alterações e prever a evolução destes ambientes naturais. As técnicas aéreas, através de sensores LiDAR, ou através de câmaras fotogramétricas digitais, permitem executar essas tarefas, contudo, devido ao facto de serem operadas em aeronaves e envolverem custos elevados, a sua utilização apenas é rentável em regiões de grande dimensão. Frequentemente as áreas problemáticas têm uma dimensão relativamente reduzida, por vezes com menos de 1 km de extensão. Os veículos aéreos não tripulados (VANT) são já uma solução bem estabelecida para o levantamento de alta resolução de áreas relativamente pequenas (Remondino *et al*., 2011, Colomina e Molina, 2014). Para além da disponibilidade destas novas plataformas de aquisição de imagem, vários outros fatores contribuem para esta solução. Os desenvolvimentos de algoritmos do âmbito da fotogrametria digital e da visão computacional permitiram uma grande automatização, através da obtenção de grande número de pontos conjugados, por exemplo através de algoritmos como o SIFT – Scale Invariant Feature Transform (Lowe, 2004). A triangulação aérea de grandes números de fotografias aéreas torna-se assim um processo essencialmente automática, sendo a identificação dos pontos fotogramétricos o único processo manual. Os métodos de autocalibração de câmaras, incorporados no processo de

orientação, permitem uma orientação rigorosa de câmaras não métricas de baixo custo. Finalmente a nuvem de pontos é densificada, dando origem a um modelo digital de superfície (MDS) e um ortomosaico. Para o rigor posicional destes produtos de informação geográfica, obtidos em tempos muito curtos, contribui também a utilização de recetores GNSS, com correções diferenciais em tempo real disponibilizadas pelas redes de estações GNSS permanentes, o que permite a recolha de pontos de apoio com rigor centimétrico em tempos de estacionamento de poucos segundos.

O cabedelo do rio Douro, que tem atualmente um comprimento de cerca de 800 metros e uma largura média de 400 metros, é conhecido pelas grandes variações que sofre, ao longo do tempo, em forma e localização. Antes da construção de um molhe destacado, a morfodinâmica da restinga estava relacionada com eventos extremos de caudal, agitação marítima e vento. Após a construção, a forma da restinga estabilizou e observou-se um aumento da sua área e do seu volume (Bio *et al*. 2014). A figura 1 mostra ortofotos de diferentes épocas, permitindo observar as grandes variações de forma e posição do cabedelo, assim como a estabilização com a construção dos molhes do Douro, em 2006.

Figura 1 – Ortofotos do cabedelo em cinco épocas diferentes

1947 1958 2000 2006 2010

Um programa de monitorização tem sido desenvolvido com base em levantamentos terrestres e levantamentos aéreos, com câmara fotogramétrica digital ZI-DMC-I, estendido a todo o litoral do concelho de Gaia. (Bio *et al*., 2014, Gonçalves *et al*., 2011). Foram, entretanto, realizados alguns levantamentos com VANT no cabedelo em 2013 e 2015. Neste trabalho descrevem-se estes levantamentos, incluindo uma análise de rigor posicional de modelos digitais de superfície gerados, bem como a avaliação das alterações entre as duas épocas.

2. Metodologia

O trabalho tem essencialmente três fases, duas de campo – a recolha de imagens e o levantamento dos pontos de apoio fotogramétrico – e o processamento em gabinete, que se descrevem a seguir.

2.1. Aquisição de imagens

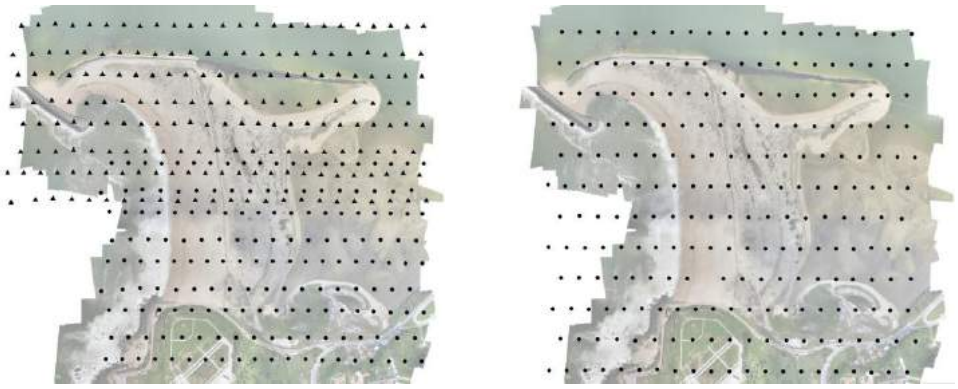
Nos dois voos efetuados foram utilizados VANTs de asa fixa, com câmaras não métricas, com zoom fixado na distância focal mínima. Tal como na fotogrametria convencional, os voos são feitos em fiadas paralelas, com sobreposição longitudinal de pelo menos 60%, de forma a compor pares estereoscópicos. Os voos são planeados utilizando software específico, em que o utilizador define a área retangular a cobrir, a direção de voo pretendida, as percentagens de sobreposição longitudinal e lateral e o tamanho de pixel no terreno pretendido. Em função das dimensões do sensor e da distância focal da lente, são escolhidos a altura de voo e as separações entre fotos consecutivas de uma fiada e as distâncias entre fiadas. São calculados pontos previstos para disparo, que são transpostos para o sistema de navegação do VANT, que cumprirá a navegação autónoma do voo. O sistema dará também as ordens de disparo à câmara, registando a posição desse instante. As posições serão depois inseridas nos cabeçalhos EXIF das imagens.

Normalmente a duração das baterias dos VANT é de apenas poucas dezenas de minutos. Será comum que a cobertura de uma área superior a 1 km^2 possa exigir um tempo de voo superior ao conseguido com uma bateria, pelo que poderá ser necessário dispor de uma bateria de reserva e separar o planeamento em dois voos com uma sobreposição. Posteriormente todas as fotos poderão ser processadas em conjunto.

Outra dificuldade que é de esperar nas zonas costeiras, e especialmente na costa ocidental portuguesa, resulta dos fortes ventos que normalmente se fazem sentir. Os VANT de asa fixa são constituídos por materiais muito leves, não podendo suportar ventos de velocidade elevada. Tipicamente deverão ser operados com velocidades do vento inferiores a 7 m/s. Este facto, combinado com a necessidade de recolher imagens em maré baixa, levanta problemas logísticos quanto aos melhores momentos para efetuar os voos, obrigando a uma análise de previsões de marés e de ventos.

No presente trabalho realizaram-se dois voos sobre o cabedelo do Douro, um em julho de 2013, com um Sensefly Swinglet e outro em maio de 2015, com um Sensefly eBee. A figura 2 mostra, por essa ordem, as localizações das fotos nos dois voos. No primeiro caso, devido à limitação da duração das baterias, foram realizados dois voos, distinguindo-se na figura pelos diferentes símbolos usados na representação dos centros de projeção. Os totais de fotos recolhidas foram de 367 no primeiro caso e 242 no segundo. As sobreposições longitudinal e lateral foram de 60%.

Figura 2 – Localização das fotos obtidas nos dois voos, em julho de 2013 (esquerda), com o Sensefly Swinglet e maio de 2015 (direita) com o Sensefly eBee.



No primeiro caso foi utilizada uma câmara de 12 megapixeis e um tamanho de pixel 4.5 cm. No segundo caso, com uma câmara de 16 megapixeis e tendo em conta a experiência do primeiro trabalho, escolheu-se uma resolução de 5 cm, o que permitiu a recolha de todas as imagens num único voo. No primeiro caso, a duração total dos dois voos, com o tempo de mudança da bateria, foi de cerca de 50 minutos. O segundo teve a duração de 25 minutos.

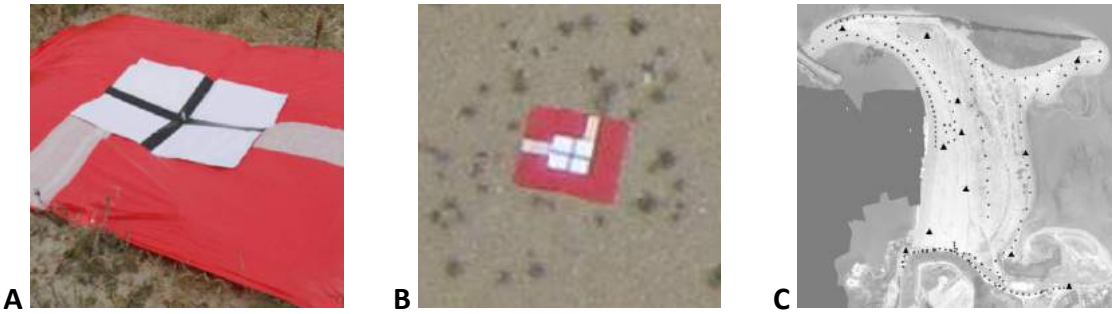
2.2. Aquisição de pontos de apoio fotogramétrico

Os sistemas de navegação autónoma dos VANT utilizados incluem recetor GPS de códigos, com rigor posicional de alguns metros. A georreferenciação direta conseguida por este equipamento não acompanha a elevada resolução das imagens, permitindo apenas uma localização aproximada. Torna-se por isso necessário refinar a orientação externa através de pontos de apoio fotogramétrico, incluídos em processos de triangulação aérea automática.

Nos ambientes construídos, especialmente quando estão presentes marcas de pintura no pavimento, é relativamente simples encontrar pontos bem definidos que podem ser usados como pontos fotogramétricos. No caso presente, tratando-se

essencialmente de um ambiente natural, isso não acontece, a não ser na parte mais a sul, que contém uma estrada. Decidiu-se utilizar pontos sinalizados, que consistiram em lonas coloridas, com cerca de 1 m^2, com cruzes marcadas no centro, colocadas antes do voo em locais planos, e fixas na areia com espias para impedir que se movam com o vento. A figura 3A mostra uma das marcas colocada na areia, que normalmente se identifica facilmente nas imagens, como se observa na figura 3B. Em algumas situações, por exemplo próximo dos extremos da imagem ou devido a maior tempo de exposição, o ponto pode não ser tão claramente visível, mas em geral não houve dificuldades de maior. A figura 3C mostra a localização de 12 pontos utilizados, representados por triângulos. Encontram-se também representados, por círculos, pontos levantados para utilizar posteriormente como pontos de verificação altimétrica do MDS a extrair.

Figura 3 – Sinal utlizado com ponto fotogramétrico, no terreno (A) e na imagem (B). A imagem C mostra a localização de 12 pontos sinalizados (triângulos) e muitos outros (círculos), não sinalizados, utilizados como pontos de verificação altimétrica.



As marcas foram colocadas antes do voo e levantadas logo a seguir ao voo. Utilizou-se um recetor GNSS Trimble R6, com ligação às estações permanentes da rede SERVIR, mantida pelo Centro de Informação Geoespacial do Exército. Os tempos de estacionamento foram inferiores a 15 segundos por ponto. Para além da estimativa de precisão obtida no processamento em tempo real (cerca de 2 cm em altimetria e 1.5 cm em planimetria) várias experiências de repetibilidade de medições por este processo confirmaram essas precisões. Esta rede tinha sido utilizada em trabalhos anteriores e por uma questão de compatibilidade foi aqui também usada. Resultados semelhantes seriam obtidos com a rede RENEP.

Após o voo levantaram-se também um grande número de pontos não sinalizados apenas para verificação altimétrica do MDS a extrair. Esses pontos localizam-se sobre a areia, tendo havido o cuidado de não pisar o local antes de levantar o ponto e de não deixar o bastão penetrar a areia. Para isso foi usada uma plataforma plana fixa na base

do bastão. As altitudes obtidas com GNSS foram reduzidas ao datum altimétrico nacional através da subtração da ondulação do geoide dada pelo modelo nacional, fornecido pela Direção Geral do Território.

2.3. Processamento

Foi utilizado o programa Agisoft Photoscan para todo o processamento fotogramétrico, que consistiu essencialmente nos seguintes passos:

1. Importação das imagens, com identificação de parâmetros de orientação interna aproximados, e parâmetros de orientação externa aproximados (apenas posições) fornecidas pelo sistema de navegação autónoma.
2. Geração de pontos conjugados e orientação relativa em bloco. Resulta uma nuvem de pontos 3D esparsa, com georreferenciação aproximada dada pelo posicionamento dos centros de projeção. Pontos com erros óbvios podem ser eliminados desta nuvem, e consequentemente da lista de pontos conjugados.
3. Inserção dos pontos de controlo e refinamento da orientação externa, com autocalibração (parâmetros do modelo de Brown). Deverão ser considerados os ajustes na distância focal, na posição do ponto principal, os coeficientes do polinómio da deformação radial (K_1, K_2, K_3) e os coeficientes da deformação tangencial. Outras deformações não são de grande interesse para câmaras com deformações relativamente pequenas, e acarretam o risco de, devido a auto-correlação com os parâmetros de orientação externa, introduzirem deformações.
4. Geração de nuvem densa e MDS, na forma de grelha.
5. Ortorretificação (“true ortho”, por ser usado o MDS) e criação de mosaico final.

Finalmente foi efetuado um controlo de qualidade através de pontos de verificação da exatidão planimétrica, e sobretudo altimétrica.

3. Resultados

O quadro 1 contém dados relativos aos dois levantamentos efetuados. O primeiro teve um carácter mais experimental, tendo sido feitas mais análises de rigor posicional, que se encontram apresentadas com mais detalhe em Gonçalves e Henriques (2015). Para além da avaliação de resíduos no processo de triangulação aérea, foi feita uma verificação independente das cotas do MDS, comparando cotas dos pontos de

verificação com as obtidas por interpolação bilinear no MDS. Relativamente à planimetria usaram-se alguns pontos de verificação na estrada que fica junto ao cabedelo. Na tabela são apresentam-se os erros médios quadráticos (EMQ) em planimetria e em altimetria. No segundo voo fizeram-se também pontos de verificação de cota, mas em menor número.

Relativamente à autocalibração foram considerados ajustes à distância focal, ao ponto principal (apresentados na tabela), os 3 coeficientes do polinómio da distorção radial e os coeficientes da distorção radial. Outros parâmetros, como o de "skew", ou a escala diferente em x e y, foram testadas no caso do primeiro voo, contudo não melhoraram, como seria de esperar, o resultado do ajuste.

Para avaliar os efeitos de distorção radial e tangencial, calcularam-se os seus efeitos num extremo da imagem (canto superior esquerdo). O quadro 1 mostra também a dimensão dos vetores de distorção radial e tangencial para as duas câmaras, expressos em número de pixeis. A dimensão destas distorções, apesar de os valores apresentados serem os extremos, evidencia a necessidade de calibração das câmaras.

Quadro 1 – Resultados relativos ao processamento dos dois voos

	Voo 1	**Voo2**
Data e hora	22-07-2013 / 07:22	06-05-2015 / 10:55
VANT	Sensefly Swinglet	Sensefly eBee
Câmara	Canon Ixus 220HS (12 Mp)	Canon Ixus 127HS (16 Mp)
Nº fotos tiradas / usadas	367 / 308	242 / 202
Nº de PFs	11	8
EMQ nos PFs em x, y e cota	3.3 cm / 3.9 cm / 6.8 cm	1.5 cm / 1.2 cm / 1.0 cm
Nº de PV planimétricos e EMQ	29 / 3.8 cm	------
Nº de PV altimétricos e EMQ	114 / 4.6 cm	34 / 6.3 cm
Distância focal calibrada	4.330 mm	4.460 mm
Correção ao ponto principal (x / y)	91 pix / -6 pix	-7 pix / 1 pix
Distorções máximas (rad. / tan.)	44 pix / 35 pix	55 pix / 4 pix

Analisando os resíduos obtidos no primeiro voo, nos 11 PFs usados, observamos valores da ordem de, ou um pouco menores, que a resolução das imagens. No segundo caso os valores são bastante menores, da ordem de 1 cm, quando a resolução é de 5 cm. Apesar de terem sido colocados 12 pontos sinalizados, 4 deles não foram utilizáveis devido às condições de iluminação: dia luminoso, 11 da manhã, em maio. Apesar de o problema não ter sido analisado em maior profundidade, os valores pequenos escondem os erros reais, pelo facto de estarmos a permitir muita liberdade de ajuste, com parâmetros de orientação externa e de calibração. Há um risco de que o ajuste muito bom aos pontos de controlo possa induzir deformações do modelo

noutros locais. Uma validação externa com pontos de verificação altimétrica é importante para avaliar possíveis deformações.

Finalmente geraram-se os MDS das duas épocas, que permitiram avaliar as diferenças ocorridas com o transporte de areia. A figura 4 mostra os dois MDS (2013 e 2015) com as respetivas curvas de nível de cota 2 m. No de 2015 encontra-se a tracejado a curva de nível do MDS de 2013, para avaliação da alteração resultante do acumular de areia. No setor onde o afastamento é máximo (60 m) traçou-se um perfil ao longo da linha de maior declive, que se apresenta na figura 5.

Figura 4 – MDS de 2013 (esquerda) e de 2015 (direita) com sobreposição das curvas de nível de cota 2 m. No de 2015 encontra-se a curva de nível do MDS de 2013 a tracejado.

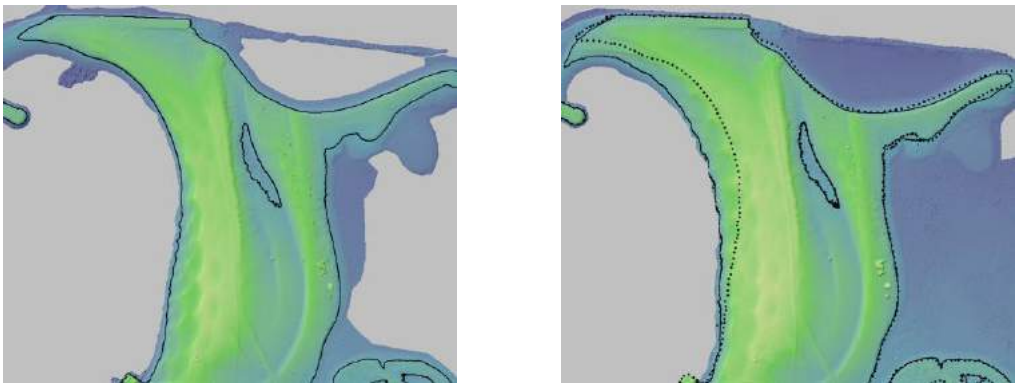
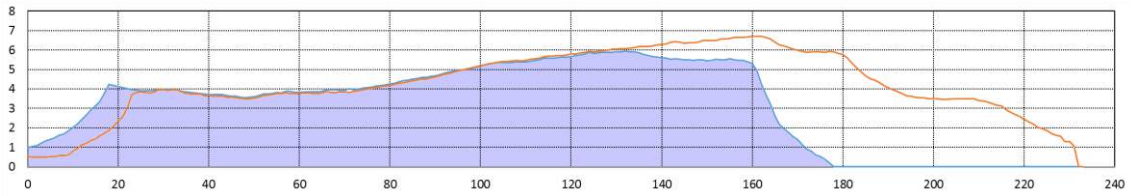


Figura 5 – Perfil dos dois MDS, perpendicular à praia, na zona de maior crescimento. Distância e cota expressas em metros: preenchido a azul – 2013, linha vermelha – 2015.



Através da subtração dos dois modelos foi possível determinar um aumento de volume de areia de cerca de 170 000 metros cúbicos, para cima da cota zero.

Conclusões

O processamento fotogramétrico expedito de imagens obtidas com VANT em zonas costeiras permite obter MDS de grande rigor altimétrico, adequados para tarefas de deteção e quantificação de alterações. Deverão sempre ser tidos os cuidados de apoiar a orientação de imagem num conjunto de pontos de apoio levantados com rigor compatível com a exigência do estudo. A recolha de pontos de verificação altimétrica será também importante para certificar o rigor global do trabalho, já que a inclusão de

muitos graus de liberdade na autocalibração, combinada com uma má localização dos pontos de apoio poderá introduzir deformações indesejadas no MDS. No presente trabalho conseguiu-se uma exatidão altimétrica semelhante à resolução planimétrica. Foi possível detetar o crescimento do cabedelo do Douro, da face exposta ao mar, numa largura de cerca de 60 metros. Os levantamentos com VANT permitem continuar, com melhoria no detalhe e rigor, os estudos que têm sido desenvolvidos há vários anos.

Referências Bibliográficas

Bio, A., Bastos, L., Granja, H., Pinho, J.L.S., Gonçalves, J.A., Henriques, R., Madeira, S., Magalhães, A., Rodrigues, D. (2014). Methods for coastal monitoring and erosion risk assessment: two Portuguese case studies. Journal of Integrated Coastal Management, 15 (1): 47-63.

Carvalho, G. S., H. M. Granja & R. Henriques (2005). Recent coastal defence by engineering structures and their consequences (Problems in the coastal zone of NW Portugal). ICS – International Coastal Symposium. Höfn, Iceland.

Colomina, I., Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 92 (2014), pp. 79-97.

Gonçalves, J. A., Bastos, L., Perez, B., Magalhães, A. (2010). Monitoring of beaches and sand dunes using digital aerial photography with direct georeferencing. Int. Arch. of the Photogrammetry and Remote Sensing, XXXVIII-7/B, 228-232.

Gonçalves, J. A., Bastos, L., Pinho, J., Granja, H., (2011). Digital aerial photography to monitor changes in coastal areas based on direct georeferencing. Proceedings of the 5th EARSeL Workshop on Remote Sensing of the Coastal Zone, Prague, June 2011. http://www.earsel.org/SIG/CZ/5th-workshop/5th_CZ_Workshop_abstractbook.pdf.

Gonçalves, J.A., Henriques, R. (2015). UAV Photogrammetry for topographic monitoring of coastal areas. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 104 (2015), pp. 101-111.

Henriques, R. (2006). Monitorização da zona costeira tendo em vista a sua vuln erabilidade. Aplicação à zona noroeste de Portugal. PhD Thesis, Universidade do Minho, Braga, 486 p.

Lowe, D. (2004). Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints. International Journal of Computer Vision. 60 (2), 91-110.

Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M., Sarazzi, D. (2011). UAV photogrammetry for mapping and 3D modeling - current status and future perspectives. Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing, XXXVIII-1/C22, 25-31.

Taveira-Pinto F., Silva R., Barbosa J. (2011). Coastal erosion along the Portuguese northwest coast due to changing sediment discharges from rivers and climate change. In: Schernewski G, Hofstede J, Neumann T (eds) Global change and baltic coastal zones, Vol. 1. Coastal Research Library. Springer 135–151.

Agradecimentos

Ao Centro de Informação Geoespacial do Exército, pela utilização da rede SERVIR para correções GNSS diferenciais.

Autores

José A. Gonçalves
Universidade do Porto e CIIMAR
jagocal@fc.up.pt

Renato Henriques
Universidade do Minho e ITC/CCT-UM
rhenriques@dct.uminho.pt

Óscar Moutinho
Universidade do Porto
up200704231@fc.up.pt

Ana Rodrigues
Universidade do Porto
up200805757@fc.up.pt

Joaquim J. Sousa
UTAD e INESC-TEC
jjsousa@utad.pt

Ivaneide Santos
Universidade do Minho e ICT/CCT-UM; UFPE (Brasil)
iva.oliveira.ufpe@hotmail.com

LEVANTAMENTOS UAV NO APOIO AO PROJETO "MELHORIA DA CONDIÇÃO E DA ENVOLVENTE AO FREIXO DE DUARTE D'ARMAS"

Sérgio Madeira
Luís M Martins
Joaquim J. Sousa

Resumo

No âmbito do Projeto "Melhoria da condição e da envolvente ao Freixo de Duarte d'Armas " do qual a Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro é promotora, efetuaram-se vários levantamentos quer de âmbito topográfico quer de âmbito aero-fotogramétrico usando um dispositivo UAV (Unmanned Aerial Vehicle) que permite obter imagens georreferenciadas de alta qualidade. Usaram-se duas câmaras fotográficas de características semelhantes, uma delas permite a aquisição clássica RGB a outra possui um filtro diferente do habitual de forma a bloquear a radiação vermelha e permitir a passagem da radiação no espectro do infravermelho próximo, podendo ser considerada uma câmara NirGB. Este artigo descreve o âmbito do projeto do Freixo Duarte D'Armas e as características dos levantamentos UAV que os tornaram úteis nesse projeto. Dado que ocorreu paralelamente o levantamento topográfico e a aquisição de dados com recetor GNSS de observação de fase da área adjacente ao Freixo Duarte d'Armas, isso abriu ainda perspetivas para uma análise acerca da precisão da georreferenciação obtida para os orto-mosaicos gerados.

Palavras-chave: orto-mosaico ; georreferenciação; precisão

1. Introdução

O Freixo de Duarte d'Armas (Fd'A) é uma árvore emblemática da vila de Freixo de Espada à Cinta e muito acarinhada pela sua população. O Fd'A é também uma atração turística para quem visita a vila, devido à história, forma e aparência muito peculiares, resultante da sua antiguidade de mais de 500 anos. A inegável importância do freixo junto à Torre Heptagonal, também conhecida por Torre do Galo, o qual foi objeto de um conjunto de ações promovidas pela Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD), dos quais são parceiros a Universidade do Algarve e Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. Com o projeto pretendeu-se a preservação, valorização e

divulgação do Fd'A e área envolvente, sendo para isso importante as diferentes áreas do saber dos técnicos das instituições envolvidas.

Os trabalhos técnicos desenvolvidos pela UTAD centraram-se bastante em aspetos fitotécnicos para a melhoria do estado vegetativo do Fd'A, mas envolveram também um levantamento aero-fotogramétrico e respetivo processamento no sentido de obter orto-mosaicos georreferenciados, bem como um levantamento topográfico com Estação Total. Abordam-se esses trabalhos de seguida.

2. Trabalhos de levantamento

Foram efetuados alguns trabalhos no sentido de obter informação georreferenciada do local envolvente ao Fd'A, quer de características mais gerais quer de pormenor, dos quais se dá nota de seguida.

2.1. Ligação à rede através de observações GNSS

A ligação á rede foi conseguida através de observação GNSS (*Global Navigation satellite Systems*) de dupla frequência com um equipamento *Leica GPS System 500*. Foram estacionados dois pontos durante 15 minutos cada um, adquirindo-se os respetivos ficheiros RINEX à cadência de 5 segundos (Figura 1). Esses ficheiros foram processados relativamente às linhas de base das estações RENEP de Mogadouro e Foz Côa, cujas distâncias à zona de Freixo de Espada à Cinta em análise são de cerca de 29 km em ambos os casos. A seguir um quadro com as estações e os resultados obtidos:

Quadro 1 – Resultados do Levantamento GNSS de dupla frequência

Ponto	Lon (graus)	Lat (graus)	Alt (Elips)	σΔX (m)	σΔY(m)	σΔH (m)
Processamento FOZ COA (ETRS89)						
002EST	6°48'17.20393"	41°05'32.71214"	525.274	0.039	0.020	0.068
003EST	6°48'18.50555"	41°05'32.47864"	520.732	0.023	0.004	0.012
Processamento MOGADOURO (ETRS89)						
002EST	6°48'17.20387"	41°05'32.71248"	525.226	0.023	0.024	0.043
003EST	6°48'18.50552"	41°05'32.47850"	520.759	0.023	0.004	0.012

Estes resultados apontam para uma precisão horizontal de cerca de 3cm e vertical de cerca de 4cm.

As coordenadas obtidas foram ainda projetadas para o sistema cartográfico PT-TM06, e as altitudes elipsoidais convertidas a ortométricas através do modelo GeodPT. Apresentam-se de seguida os resultados médios:

002EST: X = 111604.37m Y = 158992.12m H = 469.78m

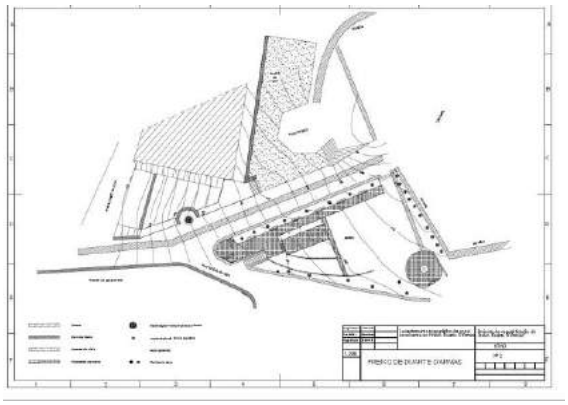
003EST: X = 111574.10m Y = 158984.44m H = 465.27m

Figura 1 - Observação GNSS junto à torre Heptagonal.

2.2. Levantamento com Estação Total

O levantamento topográfico da zona envolvente ao Fd'A foi efetuado com uma estação total *Leica TS02* a partir de estações em 002EST e 003EST, com visadas mutuas para orientação. É de referir que os pontos estação usados distam cerca de 31 metros pelo que a orientação não é tão rigorosa como se fosse efetuada por um ponto distante, mas ainda assim bastante boa para garantir uma precisão absoluta de alguns centímetros, dependendo da distância às estações. Deste processo resultou um levantamento topográfico da referida área, cuja imagem se apresenta na Figura 2.

Figura 2 - Planta resultante do Levantamento Topográfico da área envolvente ao Fd'A.



2.1. Levantamentos com UAV

Dado que estava disponível na UTAD um equipamento EBee da Sensefly (Figura 3), com possibilidade de aquisição de imagens nos formatos RGB e NirGB, significando este último caso as bandas infra-vermelho próximo, verde e azul, realizaram-se paralelamente a aquisição de imagens georreferenciadas dessa forma.

Figura 3 – Ebee (Sensefly, 2016).

Este aparelho possui uma unidade de controlo programável através de um *software* denominado *eMotion*, ainda da mesma empresa, com o qual é possível programar as operações de descolagem e aterrizagem, bem como as linhas de voo a percorrer e os pontos exatos do percurso onde devem ser obtidas as imagens que futuramente serão usadas para a criação de um orto-mosaico georreferenciado. Possui ainda sistemas de orientação e georreferenciação, neste último caso constituído por um recetor *GNSS L1* de códigos e respetiva antena (por norma as coordenadas das imagens obtidas aquando dos levantamentos estão no formato geográficas *WGS84* e as altitudes são elipsoidais). A operação pode ainda ser visualizada e controlada através de *software* de controlo por comunicação rádio bi-direcional. Outras características do EBee prendem-se com a sua autonomia, cerca de 45 minutos, e com a área operável, nesta caso até 10 km^2.

2.1.1. Planificação dos levantamentos aéreos

Relativamente aos levantamentos optou-se por fazê-lo considerando uma região muito maior que a área do levantamento topográfico procurando-se estendê-lo a toda a vila de Freixo de Espada à Cinta. Esses levantamentos ocorreram no dia 22 de Setembro de 2015. Usou-se o mesmo plano de voo para os dois levantamentos, apresentando-se as características do plano de voo no Quadro 2:

Quadro 2 – Características geométricas dos levantamentos UAV

Resolução geométrica	Sobreposição das imagens		Altura de voo	Nº de fotos	Nº de fiadas	Área total
	Lateral	Longitudinal				
12 cm	60%	60%	385m	91	7	2,91 km2

É de notar que alguns dos elementos neste quadro são calculados pelo *software*, nomeadamente a altura de voo, número de fotos e de fiadas e área total levantada. O programador apenas terá que delimitar a área requerida, indicar a resolução geométrica com que pretende as imagens e as sobreposições lateral e longitudinal.

2.1.2. Levantamento RGB

Foi realizado o levantamento RGB com o UAV EBee, descrevendo-se no Quadro 3 as características da câmara fotográfica usada:

Quadro 3 – Características geométricas da câmara RGB

Modelo da câmara	Resolução	Distância focal	Tamanho do pixel
Canon Ixus127 HS	4608x3456	4,3mm	1,33853x1,33853 mm^2

Esta câmara fotográfica tem o seu CCD sensível nas bandas espectrais usuais, ou seja, é uma câmara RGB.

2.1.2. Levantamento NirGB

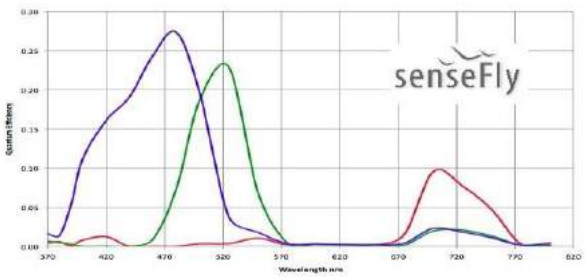
Numa segunda fase foi realizado o levantamento NirGB com o UAV EBee, descrevendo-se no Quadro 4 as características da câmara fotográfica usada:

Quadro 4 – Características geométricas da câmara NirGB

Modelo da câmara	Resolução	Distância focal	Tamanho do pixel
Canon PowerShot ELPH 110 HS	4608x3456	4,3mm	1,33853x1,33853 mm^2

Esta câmara possui um filtro modificado de forma a tornar-se sensível também à radiação infra-vermelha próxima. A sensibilidade espectral da câmara mostra-se na Figura 4.

Figura 4 - Sensibilidade espectral da câmara NirGB (Sensefly, 2016).



Basicamente é usado um filtro corta banda que não permite a passagem de radiação na frequência do vermelho, aproximadamente entre os 600 e os 700 nanómetros, mas que liberta todas as outras frequências inclusive o infra-vermelho. Obtemos então um CCD cujo canal vermelho responde à banda infra-vermelha.

3. Obtenção dos mosaicos georreferenciados

O processamento das imagens no sentido de obter os orto-mosaicos georreferenciados foi efetuado no *software Photoscan* da *Agisoft*. Este *software* necessita como dados de entrada apenas das imagens e suas respetivas coordenadas, ou inseridas na informação *Exif* de cada imagem ou presentes num ficheiro externo. O processo no *Photoscan* segue as seguintes etapas:

1. Alinhamento das fotos.
2. Obtenção de nuvem de pontos densa
3. Construção do suporte do modelo (*Mesh*)

A partir deste ponto é possível obter vários produtos, inclusivamente orto-mosaicos georreferenciados em coordenadas geográficas WGS84 ou projetadas PT-TM06. O grande volume de dados existente num trabalho deste tipo bem como os algoritmos intensivos usados na análise das imagens significa horas de trabalho intensivo do computador, o qual terá de ter a melhor configuração possível sobretudo ao nível do processador e da memória principal, sendo ainda geradas grandes quantidades de informação.

No caso presente obtiveram-se dois orto-mosaicos georreferenciados em formato Geotiff no sistema WGS84 - PT-TM06. Para facilitar a operação optou-se por separar cada orto-mosaico em duas partes. Os orto-mosaicos georreferenciados obtidos apresentam-se nos Quadros 5 e 6:

Quadro 5 – Orto-mosaicos RGB obtidos com o Photoscan.

Mosaicos RGB	Resolução	Resolução geométrica	Tamanho
2015_09_22_FreixoRGB_Norte.tif	13401x6431 pix	0,12m	294 Mb
2015_09_22_FreixoRGB_Sul.tif	13401x6431 pix	0,12m	294 Mb

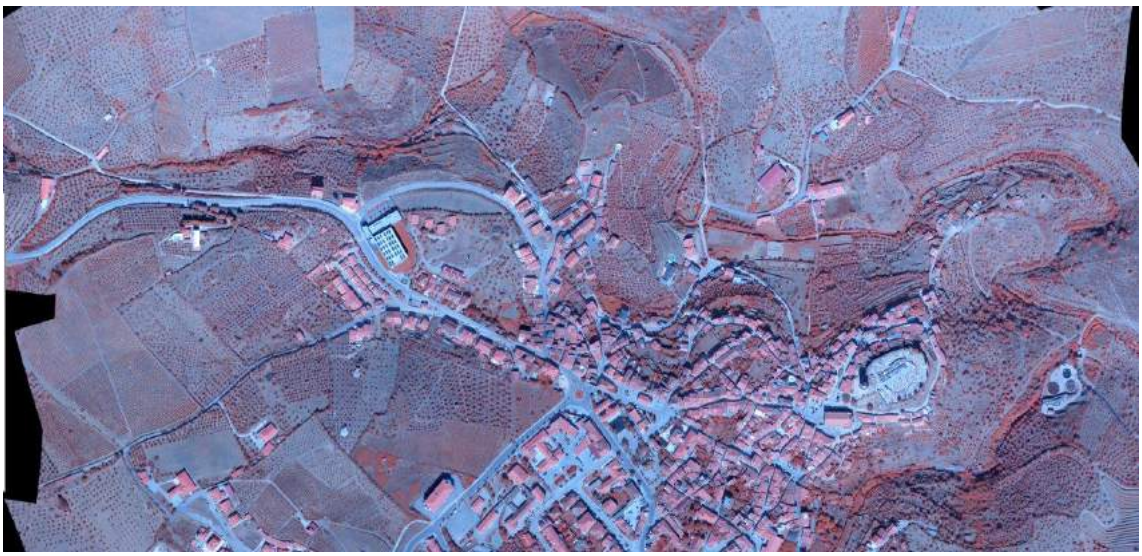
Quadro 6 – Orto-mosaicos NirGB obtidos com o Photoscan

Mosaicos NirGB	Resolução)	Resolução geométrica	Tamanho
2015_09_22_FreixoNIR_Norte.tif	13275x6370 pix	0,12m	294 Mb
2015_09_22_FreixoNIR_Sul.tif	13275x6370 pix	0,12m	294 Mb

Apresenta-se, nas Figura 5 e 6, os orto-mosaicos RGB e NIR da parte norte da vila Freixo de Espada à Cinta.

Figura 5 - Mosaico 2015_09_22_FreixoRGB_Norte.tif**.**

Figura 6 - Mosaico 2015_09_22_FreixoNIR_Norte.tif**.**

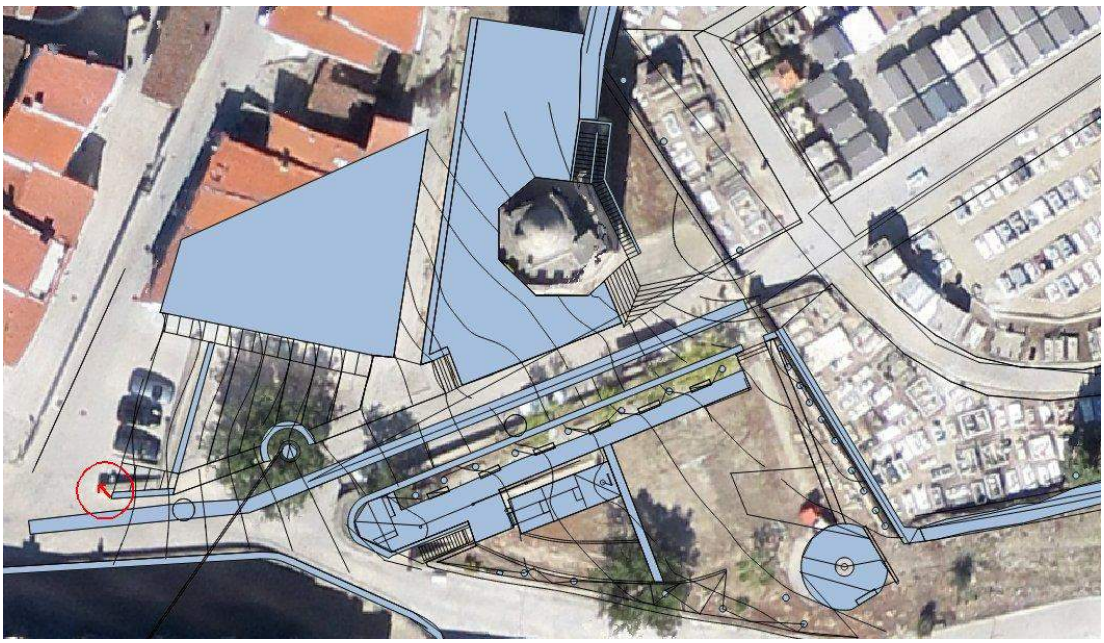


4. Análise da precisão dos mosaicos

O facto de se ter realizado um levantamento topográfico da zona envolvente ao Fd'A e de esse levantamento estar ligado à rede através de coordenadas obtidas por observação GNSS de dupla frequência com precisão de alguns centímetros, permite averiguar a qualidade dos orto-mosaicos obtidos a partir dos levantamentos UAV. O levantamento topográfico foi sobreposto em ambiente Quantum GIS aos mosaicos

podendo assim visualizar-se claramente essas diferenças. Na Figura 7 mostra-se a sobreposição com o orto-mosaico RGB. Observa-se na sobreposição que não há rotação visualmente sensível entre os dois elementos, no entanto observa-se uma translação para noroeste (NO) do orto-mosaico, com a magnitude de 1,46m (esta translação está assinalada na zona inferior esquerda da imagem).

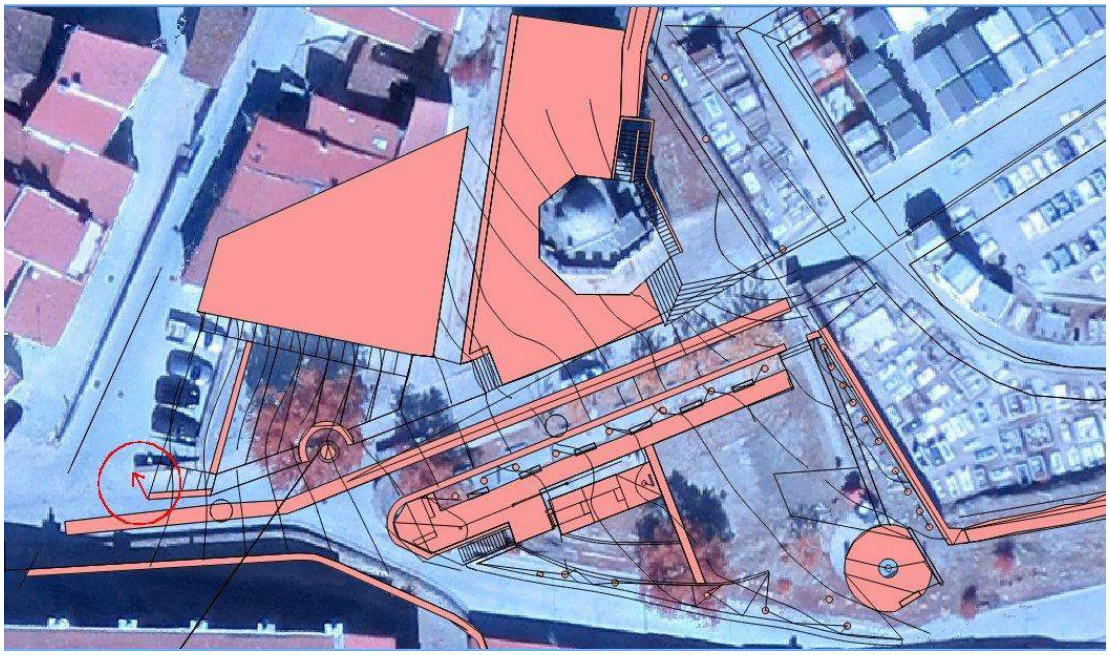
Figura 7 - O levantamento topográfico sobreposto ao orto-mosaico FreixoRGB_Norte.



Na Figura 8 mostra-se a sobreposição com o orto-mosaico NIR. Observa-se também que não há rotação visualmente sensível entre os dois elementos, mas mais uma vez observa-se uma translação para noroeste (NO), desta vez mais próximo da direção Norte do orto-mosaico, com a magnitude de 2,66m (esta translação está assinalada na zona inferior esquerda da imagem).

Estes resultados permitem tirar desde já duas conclusões: primeiro que o alinhamento das imagens efetuado no *Photoscan* permite resolver bem a questão da orientação rigorosa do orto-mosaico resultante; em segundo que há uma translação esperada dada a precisão inferior da georreferenciação efetuada pelo sistema EBee. Neste caso os desvios lineares observados estão de acordo com a precisão da georreferenciação GNSS L1 do EBee, entre 1 e 3 metros.

Figura 8 - O levantamento topográfico sobreposto ao orto-mosaico FreixoNIR_Norte.



4. Vantagens dos levantamentos UAV no projeto Fd'A

Os levantamentos UAV efetuados permitiram obter informação indubitavelmente mais rica da zona envolvente ao Fd'A do que resultaria apenas com um levantamento topográfico. Aliás permitiram obter informação georreferenciada de grande qualidade de toda a vila de Freixo de Espada à Cinta. O rigor da georreferenciação obtida mostrou-se adequado para complementar o levantamento topográfico dado que uma simples translação, no montante já referido no ponto 3, no caso do orto-mosaico RGB, foi suficiente para digitalizar a muralha, o que se mostrava sobremaneira complexo de realizar apenas com a Estação Total.

As imagens que contêm o espectro infra-vermelho próximo poderão ser úteis numa análise mais detalhada do ponto de vista arqueológico à zona do castelo e muralha, o que até à data ainda não foi realizado.

4. Conclusão

De uma forma geral este trabalho permitiu comprovar que os levantamentos fotogramétricos efetuados a partir de UAVs, juntamente com *software* de processamento como o *Photoscan* ou o Pix4D permitem obter informação georreferenciada de grande qualidade, em áreas substanciais e em espaços reduzidos

de tempo. No caso presente verificou-se que a precisão geométrica dos orto-mosaicos obtidos variou aproximadamente entre os 1,5 e 2,5 metros, o que está de acordo com o método de georreferenciação do UAV utilizado.

Referências Bibliográficas

Agisoft PhotoScan User Manual - Professional editiion. Acedido Fevereiro 20, 2016, em http://www.agisoft.com/downloads/user-manuals/

https://www.sensefly.com/home.html, Acedido Fevereiro 20, 2016.

Autores

Sérgio Madeira
INESC/TEC e Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro
smadeira@utad.pt

Luís M Martins
CITAB and e Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro
lmartins@utad.pt

Joaquim J. Sousa
INESC/TEC e Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro
jjsousa@utad.pt

DETEÇÃO DE OBJETOS A PARTIR DE IMAGENS OBTIDAS POR VANT

António Sousa
Joaquim J. Sousa
Jorge Costa

Resumo

Os VANT (Veículos Aéreos Não Tripulados) são aeronaves que podem ser pilotadas remotamente, através de dispositivos eletrónicos, ou programadas para operarem autonomamente. A utilização destas aeronaves tem vindo a generalizar-se nas mais variadas áreas da investigação científica, nomeadamente em aplicações agroflorestais de precisão, monitorização e inspeção de infraestruturas e ações de vigilância e salvamento. A informação obtida com estes dispositivos depende dos sensores que transportam, sendo, os dados obtidos, analisadas posteriormente por algoritmos de processamento digital para obtenção de informação relevante e variada. A extração desta informação permite, entre outras, a deteção e identificação automática de objetos, sendo esta uma área de investigação em expansão, de aplicação abrangente e de grande utilidade para a comunidade científica. Para ser efetuado o correto reconhecimento das áreas de interesse (extração de objetos), nas imagens adquiridas, é necessária a seleção dos sensores mais adequados, assim como das técnicas mais eficientes para o processamento digital das imagens.

Neste estudo, são abordados os aspetos tecnológicos associados aos equipamentos com base na sua categoria (plataformas e sensores), fazendo referência às suas principais características. A nível de processamento digital de imagem, é efetuada uma análise às técnicas mais utilizadas com base na informação que se pretende obter, assim como a sua área de aplicação.

Palavras-chave: VANT; Sensores; Deteção Automática.

1. Introdução

Os VANT, devido aos mais recentes avanços tecnológicos ao nível dos sistemas computacionais, sistemas de microprocessamento, aumento da autonomia de baterias ou à diminuição da dimensão da sua estrutura, têm um papel cada vez mais relevante em muitas áreas do conhecimento. Uma das caraterísticas que demostra a sua flexibilidade consiste na possibilidade de serem pilotados remotamente ou programados para operarem autonomamente (Silva, 2014) em áreas muitas vezes de difícil acesso, ou mesmo impossível, utilizando os métodos tradicionais. O baixo custo

da sua utilização também é um fator relevante em relação a outros veículos (veículos tripulados).

A utilização de VANT tem vindo a generalizar-se em áreas como a agricultura, floresta de precisão, monitorização e inspeção de infraestruturas (construção civil, energia ou estradas) ou ações de salvamento. A informação obtida depende dos sensores dos sensores que transportam a qual é analisada posteriormente por algoritmos de processamento digital.

A necessidade de obter imagens aéreas para efeitos de estudo, monitorização ou inspeção com uma resolução adequada é um aspeto muito relevante para os investigadores. Os VANT possuem a flexibilidade necessária à obtenção de imagens a uma altitude e resolução desejadas permitindo, posteriormente, a extração da informação pretendida (p.e. extração de objetos). Esta configuração já não é possível por exemplo com a obtenção de imagens de satélite em que a resolução nem sempre é a desejada.

Neste artigo são abordadas as questões relacionadas, especificamente, com a deteção de objetos a partir de imagens obtidas por VANT: os aspetos tecnológicos associados aos equipamentos com base na sua categoria (plataformas e sensores), as suas principais caraterísticas, uma análise às técnicas de processamento digital de imagem mais utilizadas com base na informação que se pretende obter assim como a sua área de aplicação.

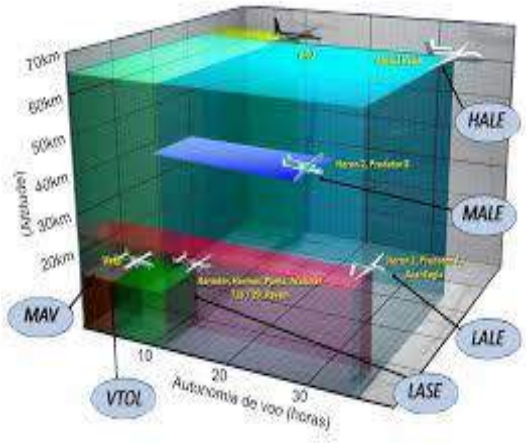
2. Equipamentos tecnológicos (plataformas e sensores)

Os VANT, também designados por *Unmanned Aerial Vehicles* (UAV), são aeronaves que podem ser pilotadas à distância a partir de uma base ou plataforma que disponibiliza meios eletrónicos e computacionais, controlados por uma pessoa ou por controladores lógicos programáveis, como também podem ser programados para operarem autonomamente

Estas plataformas aéreas são classificadas em função do tamanho, autonomia de voo e a capacidade de carga. A classificação é atribuída por categorias: *Micro Air Vehicle* (MAV) ou *Nano Air Vehicle* (NAV), *Vertical Take-Off and Landing* (VTOL), *Low Altitude and Short-Endurance* (LASE), *LASE Close*, *Low Altitude and Long Endurance* (LALE), *Medium Altitude and Long Endurance* (MALE), *High Altitude and Long Endurance* (HALE) (Ruiz, 2015). Esta nomenclatura está representada na Figura 1, onde se

apresenta uma comparação a nível da autonomia e altitude de voo. Para a obtenção de imagens utilizadas na deteção de objetos no solo, os VANT mais utilizados estão enquadrados na classificação *MAV*, *VTOL* ou *LASE*. Estas categorias são as mais requisitadas, essencialmente, devido ao baixo custo e pela facilidade operacional. Os VANT também podem ser divididos em dois tipos, asa fixa ou rotativa, normalmente, os de asa fixa são utilizados para cobrirem maiores distâncias/áreas, enquanto os de asa rotativa (multirotor) são mais utilizados em áreas e menor dimensão por atingirem velocidades mais baixas.

Figura 1: Comparação das diferentes classes de VANT ([Polski04] tradução de [Ruiz15]).



O uso de sensores, cuja informação obtida é utilizada na deteção de objetos, que são transportados pelos VANT, são selecionados em função do tipo de imagens que se pretende captar para que, através destas, se possa extrair, no seu processamento, a informação ou os objetos que se pretende para análise. Estes sensores podem ser: câmaras *RGB* que têm um sistema de cores combinadas por Vermelho (*Red*), Verde (*Green*) e Azul (*Blue*), câmaras térmicas, que permitem fazer a diferenciação dos objetos em função das temperaturas, câmaras multiespectrais, que permitem utilizar diversas bandas do espectro eletromagnético e câmaras hiperespectrais que permitem captar imagens para o processamento de informação em todo o espectro eletromagnético (Jorge, 2014).

Na Tabela 1, pode encontrar-se um quadro resumo com uma representação de um agrupamento da classe, tipo, modelo e descrição dos VANT mais comuns utilizados para obtenção de imagens adequadas à deteção de objetos, assim como o tipo de sensores que podem transportar. Alguns destes modelos já possuem uma câmara incorporada, mas a maioria, permite adaptar o tipo de câmara que se pretende.

Tabela 1: Classificação dos VANT e sensores mais comuns para a deteção automática.

Classe/Tipo/Modelo	Descrição e Sensores
Micro Air Vehicle (MAV) ou Nano Air Vehicle (NAV) / Asa Fixa / UX5 Aplicação: Agricultura, Florestas	Nome: UX5 Fabricante: Trimble Peso: 2,5Kg Autonomia: 30 min Câmara: 16,1 mp MILC RGB
Vertical Take-Off and Landing (VTOL) / Multirotor / md4-1000 Áreas: Construção Civil, Rodovia	Nome: md4 - 1000 Fabricante: Microdrones Peso: 3Kg Autonomia: 100min Câmara: até 1,2 kg (RGB, térmicas, multiespectrais, hiperespectrais e sensores ativos)
Low Altitude and Short-Endurance (LASE) / Asa Fixa / GeoScan101 Áreas: Agricultura, Florestas, Linhas de Alta tensão	Nome: GeoScan101 Fabricante: GeoScan Peso: 2Kg Autonomia: 60 min Câmara: 24.3 mp RGB
LASE Close / Asa Fixa/Sirios I Áreas: Agricultura, Florestas, Linhas de Alta tensão	Nome: Sirius I Fabricante: MAVinci Peso: 3Kg Autonomia: 40 min Câmara: 16 mp RGB

3. Áreas de aplicação de deteção automática

O uso de VANT para a deteção automática permite a aplicação nas mais diversificadas áreas, a maioria já mencionadas anteriormente. A existência de variados problemas nas diferentes áreas, leva ao uso destes equipamentos para obtenção de imagens de diferentes tipos e à necessidade do seu processamento, aplicando técnicas e algoritmos específicos para obter os resultados desejados (informação, objetos) e que, através destes, possa apresentar solução para os problemas detetados. De seguida serão apresentadas as áreas de aplicação mais relevantes, referindo-se, também, as técnicas e os algoritmos usados para o processamento das imagens e deteção dos objetos, assim como os tipos de equipamentos utilizados.

3.1 Uso de VANT para inspeção e fiscalização de linhas elétricas

A informação aérea, capturada por sensores óticos remotos transportados por VANT, tem um grande potencial na vigilância de infraestruturas elétricas. Permitem uma abordagem mais eficiente na deteção de linhas elétricas recorrendo a técnicas de deteção automática de objetos em imagens. Em (Li, 2009; Johnson, 1999) é apresentado um estudo em que se utilizou o equipamento e metodologia

apresentados na Tabela 2. Nesse trabalho são aplicados um conjunto de algoritmos que permitem fazer a identificação de linhas de alta tensão após processamento das imagens obtidas pelos equipamentos representados.

Tabela 2: Exemplo de algoritmos e equipamento utilizado para deteção de linhas de alta tensão.

Algoritmos	Equipamento
Hough transform: permite identificar retas nas imagens digitais. **Pulse Coupled Neural Network (PCNN):** Faz a análise das imagens segmentadas para localizar objetos e fronteiras (linhas, curvas, etc.).	**VANT:** Bat-3 UAV e o ARCAA UAV **Sensores:** Sony HAD câmara de vídeo

3.2. Deteção automática de veículos motorizados (automóveis) e de pessoas em infraestruturas rodoviárias

A deteção automática de objetos em imagens através de VANT permite que seja feita a identificação do tipo pavimento e efetuar o isolamento e o registo de pontos-chave que permitem a identificação de veículos (Clodoaldo, 2004). Por exemplo em [Colomina14] é efetuada a aplicação de algoritmos específicos (Tabela 3) que permitem filtrar o pavimento e segmentar as várias regiões de interesse, resultando na identificação do número de automóveis de um determinado local.

Tabela 3: Exemplo de algoritmos e equipamento utilizado na deteção de veículos motorizados.

Algoritmos	Equipamento
Scale-invariant Feature Transform (SIFT): faz a deteção e descrição de pontos-chave locais em imagens digitais [Lowe04]. **Support Vector Machines (SVM):** Permite efetuar a identificação dos pontos-chave e identificar os que pertencem a veículos [Clodoaldo04].	**VANT Multirotor:** nenhum modelo específico. **Sensores:** Canon EOS 550D

A deteção automática também é usada para encontrar pessoas (passageiros) no interior de veículos em ambiente urbano ou rural, sob variadas condições. Este estudo é importante para o melhoramento de sistemas de vigilância e identificação de situações de emergência. Neste caso, é aplicada uma técnica diferente e algoritmos específicos. Ao nível do equipamento tecnológico já é necessário o uso de sensores térmicos (Tabela 4), recorrendo ao facto da temperatura corporal se distinguir da envolvente (Gąszczak, 2011).

Tabela 4: Exemplo de algoritmos e equipamento utilizado para deteção de veículos motorizados e pessoas.

Algoritmos	Equipamento
Classificador de Haar em cascata: constituído por feições Haar-like que são atributos extraídos de imagens [Breckon09]. Processa a imagem, faz o isolamento de um componente móvel em função do movimento.	**VANT:** Asa fixa, nenhum modelo em específico. **Sensores:** câmara óptica / térmica, o modelo não é especificado.

3.3. Deteção automática de vegetação (agricultura, floresta de precisão)

Atualmente, a comunidade científica tem feito avanços consideráveis no desenvolvimento de aplicações agroflorestais de precisão, área em que há a necessidade de fazer a captação de imagens de grandes áreas cobertas de vegetação, essenciais para estudo, como terrenos de cultivo de espécies arbóreas em meios rurais. Esta técnica é aplicada com o intuito de fazer o controlo de pragas e crescimento deste tipo de vegetação. No processamento das imagens, aplicam-se algoritmos de acordo com o tipo de objetos que se pretende detetar, recorrendo ao equipamento tecnológico adequado (Tabela 5) (Torres-Sánchez, 2014).

Tabela 5: Exemplo de algoritmos e equipamento utilizado para deteção de vegetação (oliveiras).

Algoritmos	Equipamento
Structure from Motion (SfM): Faz uma reconstrução tridimensional através de imagens bidimensionais, e permite obter a altitude da vegetação. **Multiview-stereo (MVS):** Permite reconstruir um objeto de modelo em 3D [Lin15].	**VANT:** UAV 2-mwingspan **Sensores:** DMC-GF1 Panasonic Lumix

A deteção automática para áreas de eucaliptos, por exemplo, em que é necessário observar o nível de humidade e a tonalidade da cor da vegetação já exige a aplicação de outro tipo de algoritmos e equipamento (Tabela 6) (Chaves, 2015).

Tabela 6: Exemplo de algoritmos e equipamento utilizado para deteção de vegetação (eucaliptos).

Algoritmos	Equipamento
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): Algoritmo aplicado para a segmentação de imagem. **HSV - hue (matiz), saturation (saturação) e value (valor):** Sistema de cores formadas pelas componentes hue (matiz), saturation (saturação) e value (valor). Permite detetar o teor de humidade.	**VANT:** eBee (Sensefly) **Sensores:** Câmara Canon ELPH 110HS.

Este novo conceito de estudo também tem sido muito útil na área da viticultura em que é necessário fazer a monitorização de grandes áreas de vinha, recorrendo ao uso de VANT. Estes permitem fazer a deteção automática dos objetos específicos que permitem analisar e controlar o nível de humidade para a obtenção de uma produção de qualidade. Recorre-se a um conjunto de algoritmos mais complexos devido, sobretudo, à necessidade de obter resultados mais rigorosos e, em termos de equipamento, também podem ser usados sensores térmicos (Tabela 7) (Berni, 2009).

Tabela 7: Exemplo de algoritmos e equipamento utilizado para deteção de vegetação (vinhas).

Algoritmos	Equipamento
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Renormalized Difference Vegetation Index (RDVI), Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index (OSAVI): Este conjunto de algoritmos servem para analisar a existência de vegetação verde e viva (desenvolvidos especificamente para a viticultura). **Transformed Chlorophyll Absorption in Reflectance Index (TCARI):** Indica o índice relativo de clorofila. **Crop Water Stress Index (CWSI):** Mede a taxa de transpiração da planta. **Non-Water-Stress-Baseline (NWSB):** Mede o stress hídrico baseado numas linhas base.	**VANT:** mX-SIGHT, UAV Services and Systems, Germany. **Sensores:** Câmara MIRICLE 307, Thermoteknix Systems Ltd, Cambridge, UK.

4. Conclusões finais

O uso de VANT para a obtenção de imagens de grande resolução, utilizadas na deteção automática de objetos em imagens digitais, tem vindo a ser muito utilizado na investigação. A seleção dos sensores e equipamentos mais adequados na obtenção das imagens aéreas assim como a criação posterior dos algoritmos de processamento digital que permitam obter a informação pretendida, continua a representar um grande desafio para os investigadores.

Este campo de investigação está, normalmente, associado à investigação aplicada à resolução de problemas de casos reais. Pode constatar-se que na deteção automática de diferentes tipos de vegetação, por exemplo, recorre-se a algoritmos e equipamentos idênticos entre si, mas com adaptações para se poder captar e analisar as especificidades das áreas pretendidas.

Devido a estas necessidades a nível tecnológico, muitas vezes os equipamentos são desenvolvidos especificamente para cada área de estudo, podendo mesmo, esse desenvolvimento ser efetuado em conjunto, ou pelos próprios investigadores.

Futuramente, a deteção automática de objetos beneficiará bastante com a introdução de novas plataformas, novos sensores com maior resolução e mais miniaturizados, para facilitar o seu transporte e aumentar a autonomia das baterias. Estas melhorias permitirão, em conjunto com o aumento da capacidade computacional dos equipamentos, o processamento das imagens em tempo real, implementação de algoritmos mais sofisticados assim como a identificação e análise de vários objetos em simultâneo.

Referências Bibliográficas

Berni, J., Zarco-Tejada, P., Suárez, L., Fereres, E. (2009). Thermal and narrowband multispectral remote sensing for vegetation monitoring from an unmanned aerial vehicle. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 47(3), 722–738.

Breckon, T., Barnes, S., Eichner, M., Wahren, K. (2009). Autonomous Real-time Vehicle Detection from a Medium-Level UAV. Proc. 24th International Conference on Unmanned Air Vehicle Systems.

Chaves, A., Scalea, R., Colturato, A., Kawabata, C., Furtado, E., Branco, K. (2015). Uso de VANTs e processamento digital de imagens para a quantificação de áreas de solo e de vegetação. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE.

Clodoaldo, L. (2004). Comitê de Máquinas: Uma Abordagem Unificada Empregando Máquinas de Vetores-Suporte. Tese de Doutoramento - Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas Brasil.

Colomina, I. & Molina. P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 92, 79–97.

Gąszczak, A., Breckon, P., Jiwan, H. (2011). Real-time People and Vehicle Detection from UAV Imagery. Proc. SPIE 7878, Intelligent Robots and Computer Vision XXVIII: Algorithms and Techniques, 78780B, 1-13.

Johnson, J. L. & Padgett, M. L. (1999). “PCNN Models and Applications”. IEEE Trans. On Neural Networks, 10(3), 489 – 498.

Jorge, Lúcio & Inamasu, Ricardo (2014). Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em Agricultura de Precisão. Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar, 109-134, Embrapa Instrumentação – São Carlos, SP, Brasil.

Li, Zhengrong, Liu, Yuee, Walker, Rodney A., Hayward, Ross F., & Zhang, Jinglan (2009). Towards automatic power line detection for a UAV surveillance system using pulse coupled neural filter and an improved Hough transform. Machine Vision and Applications, 21(5), 677-686.

Lin, Y., Jiang, M., Yao, Y., Zhang, L., Lin, J. (2015). Use of UAV oblique imaging for the detection of individual trees in residential environments. Urban Forestry & Urban Greening, 14(2), 404–412.

Lowe, D. (2004). Distinctive image features form scale-invariant keypoints. Int. J. Comput. Vis., 60(2), 91–110.

Polski, P. DHS (2004). View of Unmanned Aerial Vehicle Needs. In: Unmanned Unlimited Technical Conference, 3, 20–23, Chicago, 2004.

Ruiz, Luis (2015). Uma abordagem de classificação da cobertura da terra em imagens obtidas por veículo aéreo não tripulado. Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto. Porto Alegre, 2015.

Silva, Gercina & Souza, Kleber (2014). Veículos aéreos não tripulados com visão computacional na agricultura: Aplicações, desafios e perspectivas. 2ºSeminário Internacional de Integração e Desenvolvimento Regional, 07, 08 e 09 de outubro de 2014, Centro de Convenções – Ponta Porã – MS, Brasil.

Torres-Sánchez, J., Peña, J.M., de Castro, A.I., López-Granados, F. (2014). Multi-temporal mapping of the vegetation fraction in early-season wheat fields using images from UAV. Computers and Electronics in Agriculture, 103, 104–113.

Autores

António Sousa
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro and INESC-TEC (formerly INESC Porto), Portugal
amrs@utad.pt

Joaquim J. Sousa
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro and INESC-TEC (formerly INESC Porto), Portugal
jjsousa@utad.pt

Jorge Costa
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro
Mestrado em Tecnologias da Informação e Comunicação
al53401@utad.pt

METODOLOGIAS PARA REPRESENTAR E PROMOVER O PATRIMÓNIO GEOLÓGICO UTILIZANDO VANT'S, TECNOLOGIA MULTIMÉDIA E REALIDADE AUMENTADA

Ivaneide Santos
Renato Henriques
Gorki Mariano
Diamantino I. Pereira

Resumo

A forma mais comum de promover o património geológico baseia-se em mapas, cartazes ou murais informativos, blogs, websites (Geoparks por exemplo) e vídeos. Esta informação é, normalmente, detalhada e visualmente apelativa. Contudo, na maioria dos casos, existe pouca interatividade e descontextualização com o espaço geográfico. O objetivo principal deste trabalho é utilizar informação colhida com Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT's), informação georreferenciada e tecnologias multimédia, para promover uma melhor integração entre a realidade e a representação em computador. Deste modo pretende-se melhorar a promoção do património geológico através do enriquecimento da experiência multimédia online. Tendo em conta a otimização de custos e tempo destinados à produção deste tipo de informação, este trabalho apresenta uma nova abordagem que envolve informação colhida com recurso a VANT's, conjugada com técnicas de fotogrametria e SIG. Deste modo é possível integrar fotografia panorâmica, representação 3D do terreno e informação multimédia, no sentido de providenciar novas formas de promoção e interação com o património geológico, de modo acessível e com linguagem simples, satisfazendo todos os tipos de público. Esta informação é complementada com a utilização de realidade aumentada. Esta técnica consiste em colocar acessíveis diversos níveis de informação, integrados na paisagem real, mostrada sob a forma de uma imagem panorâmica interativa. A informação disponibilizada desta forma pode ser utilizada no campo, apontando um dispositivo eletrónico com monitor para a paisagem e, de modo interativo, obter mais informação acerca dos elementos observados. Estas imagens panorâmicas são inteiramente orientadas e georreferenciadas, podendo ser perfeitamente sincronizadas com a paisagem observada através da utilização de sensores comuns em dispositivos portáteis, tais como GPS, acelerómetros, bussolas eletrónicas ou giroscópios. Por esta razão, a imagem panorâmica interativa, a 360°, constitui uma excelente base de suporte para a disponibilização de elementos de realidade aumentada, funcionando como um guia interativo de interpretação da paisagem. Estes elementos são acedidos clicando diretamente sobre a imagem em pontos identificados e que se mobilizam de acordo com o ponto de vista observado. Estes pontos permitem o acesso a páginas internet, vídeos, imagem, modelos interpretativos animados, texto ou modelos 3D interativos. A utilização de VANT's permite não só a captura de imagem panorâmica, como também a disponibilização de porções de terreno sob a forma de objetos interativos 3D. Esta utilização permite uma nova forma de visualização de aspetos geológicos que não são facilmente percecionáveis a partir do solo. Toda a informação é agregada num website, utilizando a tecnologia atualmente disponível, em especial a linguagem WebCL para disponibilização de elementos 3D. Este tipo de

conteúdos pode ser acedido facilmente a partir de locais com um sinal de rede estável e forte. Onde estas condições não se verifiquem (como é o caso de alguns Geoparks) a informação pode ser obtida previamente para utilização offline, dispensando o sinal de rede, mas podendo utilizar todos os sensores dos dispositivos móveis que permitem contextualização espacial. Nos locais onde há um acesso limitado de rede, a informação pode ser disponibilizada parcialmente, de modo contextualizado, a partir da utilização de "QR Codes" colocados nos locais de interesse.

Palavras-chave: VANT; Património Geológico; 3D; Fotografia Panorâmica; Realidade Aumentada.

1. Introdução

A utilização de novas formas de representação da dinâmica social ou espacial vêm sendo cada vez mais estudadas, na busca da eficiência da associação de formas de representação de informação a diversas perspectivas de visualização. Para tanto, é necessária a utilização de diferentes de mecanismos de colheita, armazenamento e disponibilização de dados, capazes de reproduzir a realidade a ser a representada. Entretanto, a obtenção de dados de campo, muitas vezes, é condicionada pela perspectiva do observador, sendo esta perspectiva implícita na colheita de imagens, obtenção de esquemas interpretativos da paisagem, etc.

Durante a última década, o desenvolvimento de novas tecnologias digitais influenciou fortemente as práticas científicas dentro do âmbito do património geológico e da pesquisa em geoturismo. Ferramentas digitais, tais como os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), têm desempenhado um papel importante no desenvolvimento de novos métodos de processamento e visualização de informação espacial, bem como na avaliação e mapeamento, permitindo o desenvolvimento de propostas de novos geossítios, com manifestos ganhos para o turismo e para a educação (Cayla *et. al.* 2014).

Entre alguns trabalhos relacionados com o modo como as formas de representação condicionam a aquisição de conhecimento, salienta-se Martin (2013) que realizou um inquérito sobre um grupo de indivíduos (com formação diversa) acerca da compreensão de aspectos geomorfológicos, representados em diversos suportes. Este autor concluiu que a representação tridimensional (3D) é uma ferramenta que permite uma maior eficiência na representação de informação, tendo sido o único suporte em que toda a informação que se pretendia transmitir foi notada por todos os indivíduos inquiridos. Foi também identificado como o modo de transmissão de informação mais atraente. Este exemplo permite afirmar que, para um público não especializado em geomorfologia, a representação 3D foi a forma que permitiu dar uma visão mais clara

da realidade e relacionar a informação com os objetos (geomorfológicos, geológicos, etc.).

Sob esta perspectiva, algumas metodologias associadas à aplicação fotogrametria têm trazido resultados capazes de permitir representar diversos aspectos da realidade em diversas áreas científicas das ciências naturais. Neste sentido, têm surgido várias aplicações capazes de disponibilizar e popularizar estas metodologias, de forma barata e acessível, para a promoção do conhecimento, como por exemplo a aplicação "*Maps*" da *Apple Computer* e o "*Google Earth*" (incluindo, entre outras funcionalidades, o "Google Street View"). Ambas as aplicações já reproduzem informação obtida com técnicas de fotogrametria, materializada em informação 3D, de forma gratuita e com baixa complexidade de utilização. Ambas as aplicações utilizam bases de imagens, geradas a partir de satélites ou a partir de fotografia aérea obtida com diversos meios.

Contudo, a disponibilidade de informação naquelas duas aplicações nem sempre tem a resolução desejada em toda a superfície da terra, pois esta depende da disponibilidade, escala e periodicidade de atualização das imagens obtidas. Desta forma, a informação mais detalhada tende a estar concentrada junto aos núcleos urbanos mais importantes. Este aspecto é limitante para a promoção do património geológico pois, à exceção de alguns raros locais de interesse geológico com expressão mundial, a esmagadora maioria dos geossítios, em particular aqueles que ficam mais afastados dos núcleos urbanos, está representada com baixa resolução.

Perante este cenário, é desejável a utilização de novos métodos de obtenção de dados fotogramétricos, baseados em equipamento facilmente transportável e economicamente acessível, que possa permitir a utilização rápida e recorrente em zonas que nem sempre são de fácil acesso. A recente evolução de veículos aéreos não tripulados (VANT's), de utilização simples e equipados com câmaras de crescente resolução, torna estes dispositivos particularmente adaptados para esta tarefa.

A utilização de VANT's é aplicada em diversas áreas tais como na agricultura, nas ciências ambientais, no patrimônio cultural, na arquitetura, na publicidade, para fins militares, etc. Estas ferramentas são capazes de colher imagens verticais ou oblíquas, a diversas escalas, dependendo da altura de voo, de acordo com o interesse do utilizador. Têm ainda possibilidade de colher imagens de acordo com um plano prévio de voo, podendo este plano ser em fiadas, para fins fotogramétricos, ou obedecer a outro tipo de trajetórias definidas pelo utilizador, tais como órbitas em volta de objetos de interesse, navegação por *waypoints*, modos de perseguição do utilizador,

etc. Um dos modos particularmente interessante para aplicação em património geológico é a possibilidade de obter imagens panorâmicas. Estas imagens são baseadas na aplicação de princípios fotogramétricos a uma série de imagens, obtidas a partir do mesmo ponto (ponto nodal), em ângulos sequenciais e com sobreposição, sendo montadas de modo a constituir uma só imagem que cubra todo o horizonte observável. Estas imagens permitem a visualização de todo o contexto que se situa à volta do ponto nodal, centrado na posição do próprio VANT, podendo ser convertidas em panorâmicas interativas, navegáveis a 360º. Esta técnica permite uma perspectiva visual abrangente, de acordo com o perímetro ou objeto de interesse, de um ponto de vista aéreo e privilegiado, impossível de se obter através de um satélite, a partir de um avião convencional ou por um observador no solo.

Segundo Zuffo & Lopes (2008), nos últimos cinquenta anos, várias tecnologias de simulação e visualização tem sido desenvolvidas, propiciando a criação de ambientes imersivos e semi-imersivos. O conjunto de metodologias e tecnologias para a criação de ambientes interativos totalmente imersivos denominamos de Realidade Virtual (RV).

O aspecto-chave que norteou este trabalho foi a possibilidades da aplicação dos diversos produtos gerados a partir de imagens obtidas através de VANTs, alicerçadas pelas tecnologias da informação e por ferramentas de representação das Geociências e do Patrimônio Geológico.

De acordo com Carlis (1999) e Gershon (1997), a visualização de informação é responsável por mapear conjuntos de dados disponíveis, muitas vezes em formato baseado em texto (incluindo descrições textuais, informação numérica mostrada em tabelas, etc.), representando-os num formato visual, visando assistir os utilizadores na exploração e entendimento de tais conjuntos de dados.

Entretanto, muitas destas descrições textuais apresentam um padrão de linguagem uniforme e especializado o que, em certas situações, pode limitar a tipologia e a compreensão do público com interesse pelas Geociências. Assim, a necessidade de criar mecanismos que facilitem a interação entre ciência e o leitor comum, sustentou todo o esforço metodológico deste trabalho.

Muitos autores já aperfeiçoaram a qualidade da visualização de informação, decorrente do emprego de representações da informação com mais de uma dimensão, combinadas com técnicas para incorporação de outras informações como texto, mapas, imagens, fotografias, sons e etc. Adicionalmente, há vários exemplos de

sistemas e aplicações de visualização de informação, que empregam diversos recursos, tais como representações com modelos tridimensionais, realidade aumentada, interface *web*, entre outros.

De acordo com Kirner & Martins (2000), a realidade virtual permite a expansão das possibilidades de visualização, rompendo a barreira da tela do monitor do computador. Com realidade virtual, consegue-se um espaço tridimensional infinito, no qual podem ser dispostos gráficos tridimensionais e por onde se pode navegar e interagir.

A interação dos interlocutores está relacionada às soluções *online* existentes, sendo possível manipular os objetos representados na interface. A linguagem *html5* permite disponibilizar *online* modelos tridimensionais gerados a partir de dados fotogramétricos obtidos por VANT's.

De acordo com Boulos *et. al.* (2010) o *html5* está sendo desenvolvido como a próxima grande revisão do *html (Hypertext Markup Language),* a marcação do núcleo língua do www (*World Wide Web)* tem por objetivo reduzir a necessidade de *utilização* de *plug-in* adicionais às aplicações mais comuns de navegação, como *Adobe Flash*, *Microsoft Silverlight,* e *Oracle -Sun JavaFX*. Para exemplo, o *YouTube* está a planear uma versão *html5* do seu serviço que dispensa "*Adobe Flash"*, mas em vez disso usa *html5* para reproduzir vídeos em navegadores da *web*. Da mesma forma, a *Apple Computer* abandonou o suporte "*Adobe Flash"* nas suas plataformas móveis baseadas no sistema operativo *iOS*, a favor do *html5*. Esta conversão constitui uma forma de otimização de tempo de acesso e de consumo de memória, quando se pretende a reprodução de um grande volume de informações agrupadas na mesma janela *web*, como é o caso dos modelos tridimensionais.

Os modelos tridimensionais podem perfeitamente ser utilizados de forma individual, para representar um sítio, uma estrutura ou um conjunto destas, podem ainda ser integrados em plataformas online ou ser impressos em impressoras tridimensionais.

Para a obtenção de imagens com qualidade, necessárias à criação destes modelos, podem ser utilizados VANT's adequados, que devem ser equipados com uma câmara fotográfica de qualidade e utilizados sob condições meteorológicas e de luminosidade favoráveis.

Para o processamento destas imagens podem ser utilizadas diversas aplicações de fotogrametria, disponíveis hoje no mercado, complementadas com uso de aplicações SIG (Sistemas de Informação Geográfica), capazes de compilar os arquivos de imagens

com o banco de dados geográficos, direcionados à pesquisa em questão. Na atualidade, o uso de softwares SIG *Open Source* otimizam o tempo e os custos e têm a robustez necessária para cumprirem o trabalho.

2. Metodologia

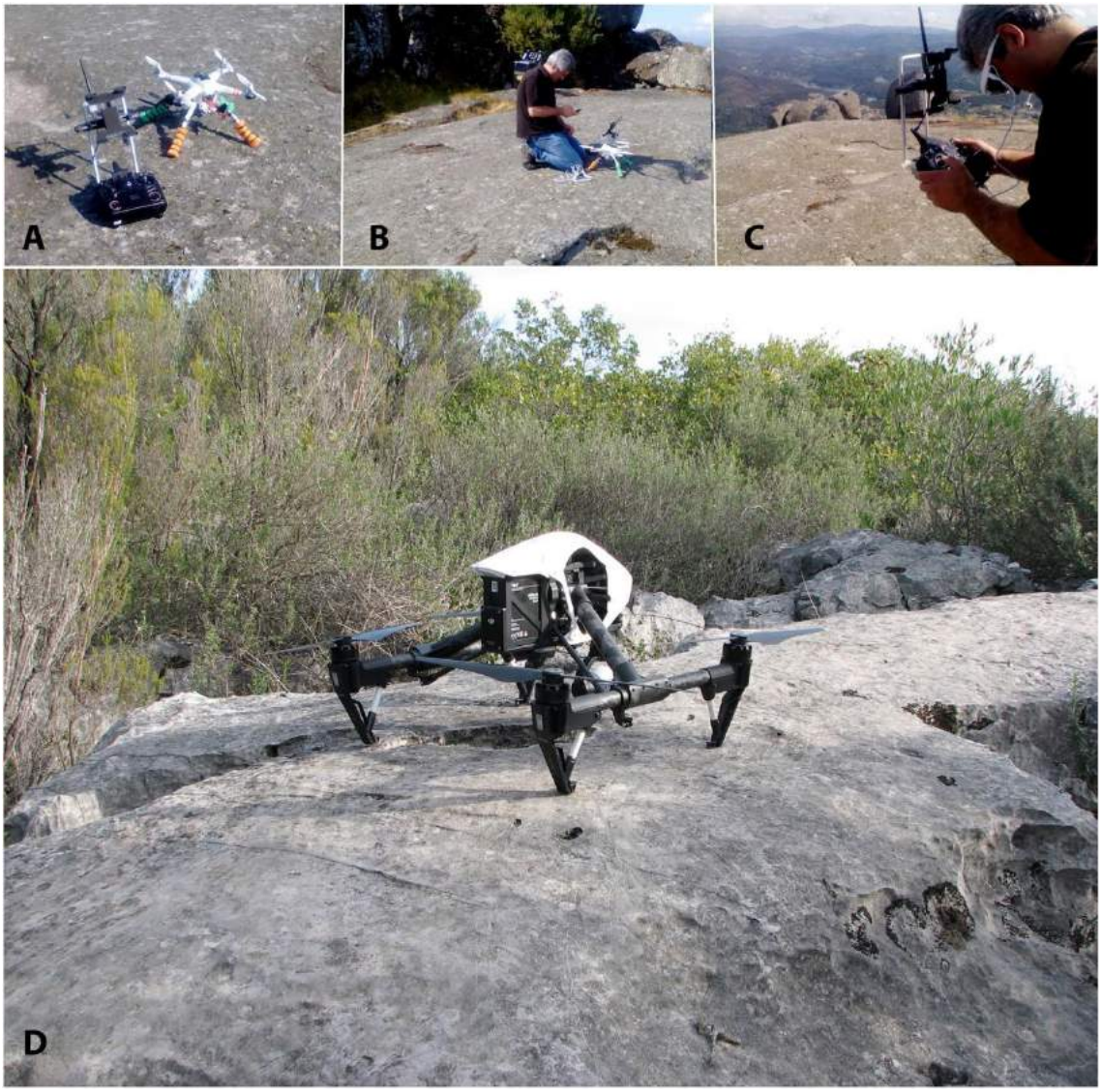
2.1. Trabalho de campo

A primeira fase do trabalho requereu o planeamento dos locais de colheita de informação e realização de trabalho de campo para obtenção de dados de imagem e a localização e recolha de informação acerca de todos os elementos de interesse geológico e geomorfológico. O planeamento envolveu a programação do roteiro do voo do VANT (em Software específico) e a criação de uma base de dados georreferenciada, indicando os sítios de interesse (Patrimônio Geológico) a serem fotografados de forma panorâmica, bem como a direção e a quantidade das fotografias adquiridas em cada ponto. Foram selecionados sítios de geodiversidade, com diversos interesses tais como científico, educativo, paisagístico, etc. (Brilha, 2015).

2.2. Aquisição de informação

No sentido de produzir imagens panorâmicas integradas com Realidade Aumentada para representação e promoção do Patrimônio Geológico, foram recolhidas em campo imagens com recurso a VANT's, posteriormente processadas com aplicações de fotogrametria. Foi também efetuada recolha de informação destinada a ser integrada como elementos de realidade aumentada no interior das imagens panorâmicas. Esta informação incluiu textos, imagens, sequências de vídeo e elementos morfológicos restituídos em 3D (também com imagens colhidas por VANT ou manualmente). Esta informação foi processada no sentido de ser adequada a diferentes públicos-alvo. O objetivo principal da informação refere-se à interpretação e representação e promoção de sítios de Geodiversidade, com diversos interesses tais como científico, educativo, paisagístico, etc. Para obtenção das imagens panorâmicas foi utilizado um VANT do tipo quadcóptero, com uma câmara acoplada (GoPro Hero 4 Silver – no caso do Walkera X350Pro; ZenMuse X3 – no caso do DJi Inspire 1). A escolha destes materiais foi condicionada pela rapidez na aquisição das imagens e pela otimização do processamento das mesmas, considerando que a obtenção ode imagens é realizada apenas no raio de interesse, não necessitando de muitos procedimentos na etapa do recorte espacial.

Figura 01. A, B, C - Trabalho de campo para aquisição de imagens, Julho de 2015, Concelho de Fafe – plataforma Walkera x350 Pro; D – Plataforma DJi inspire 1, Novembro de 2015, Concelho de Alvaiázere – Plataforma DJi Inspire 1 (Foto: João Forte).

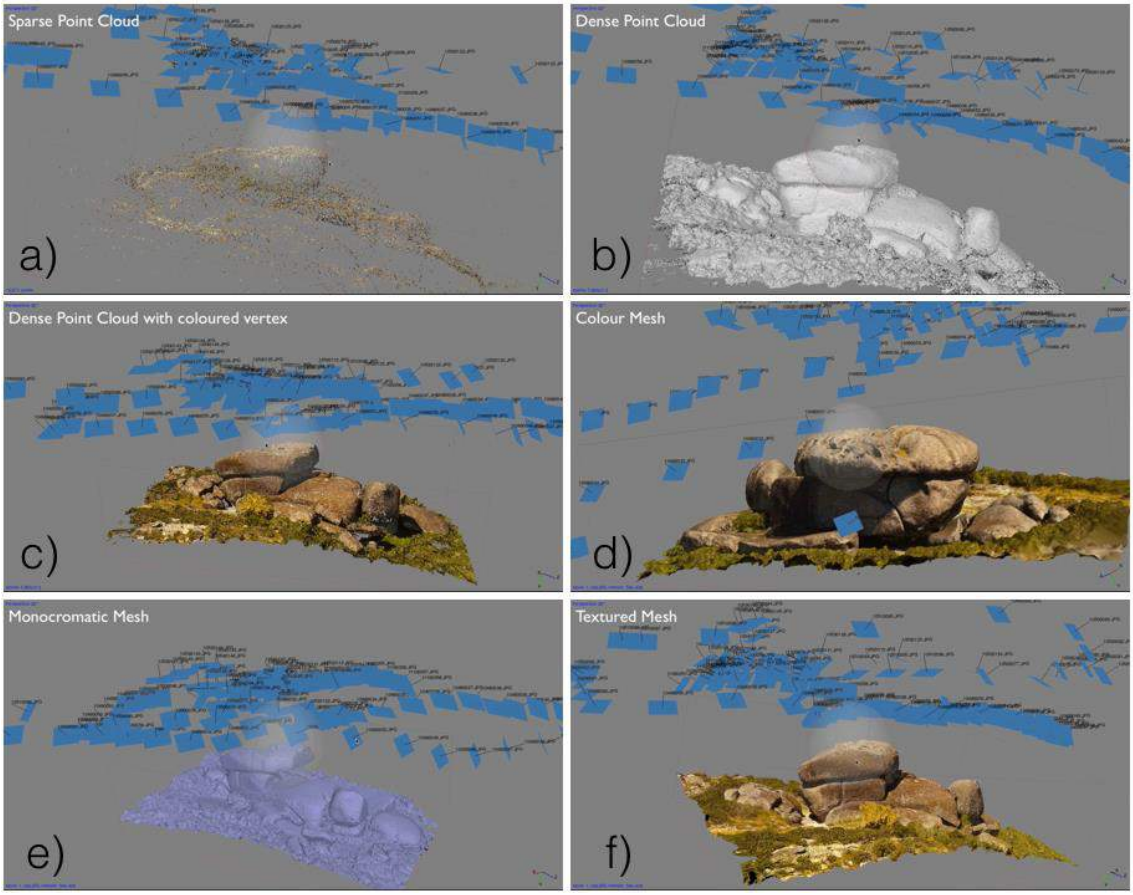


2.3. Processamento fotogramétrico

As imagens recolhidas por VANT's foram processadas no sentido da obtenção de imagens panorâmicas bem como elementos 3D. Foi utilizado software SIG para compilar a base de dados de informação georreferenciada, destinada a posicionar todos os objetos gráficos obtidos, elementos 3D e o ponto nodal das imagens panorâmicas. Nesta etapa são selecionadas as imagens obtidas no trabalho de campo, que já possuem informação georreferenciada, possível através do sensor GPS e do firmware do VANT, configurado em compatibilidade com uma câmara GoPro Hero 4, que associa a localização geográfica a cada imagem obtida. Para a obtenção de

imagem panorâmica, foram selecionadas e separadas as imagens e foram depois processadas pela aplicação AutoPano Giga. A aplicação é relativamente automática, mas alguns passos de afinação final, se necessário, devem ser selecionados e mediados pelo utilizador. Estas imagens são finalmente tratadas em software de edição de imagem, tendo sido neste caso utilizado o Adobe Photoshop, para afinação gráfica e complemento de elementos em falta. Um desses elementos em falta é normalmente a abóbada celeste. Dada a natureza das plataformas VANT utilizadas, baseadas em dois quadcópteros do tipo *Walkera x350 Pro* e *DJi Inspire 1*, a obtenção das imagens panorâmicas ocorre com rotação da plataforma ou com rotação da *gimbal* (suspensão da câmara com motorização de estabilização). Nestas plataformas a câmara encontra-se posicionada na parte inferior da plataforma VANT. Deste modo, a obtenção do Nadir e de toda a imagem envolvente até cerca de 40° acima do horizonte dominante é obtida sem qualquer ocultação. Acima deste ângulo, que inclui normalmente a abóbada celeste até ao Zénite, as imagens sofrem ocultação pela fuselagem do próprio VANT e pelo respectivo sistema de propulsão. Na prática, esta ocultação leva a que a abóbada celeste não apareça integralmente, sendo mesmo obtidas porções sem qualquer informação. O céu é, deste modo, artificialmente implantado ou preenchido, com base nas condições de exposição fotográfica e dos elementos atmosféricos (cor do céu, nuvens, luminosidade, etc.) observados nas porções fotografadas sem ocultação.

Figura 02. Etapas de modelagem tridimensional do Penedo do Boi, Fafe.



Para a restituição tridimensional foi utilizada a aplicação *Agisoft Photoscan*, tendo sido cumpridas as seguintes etapas (de acordo com as letras da Figura 02):

a) A primeira fase da criação de modelos tridimensionais, a partir de fotografia aérea, consiste em detetar e correlacionar pontos comuns (*Matching*) e estabelecer a sua posição geométrica relativa. Nesta fase é obtida a posição relativa das câmaras bem como uma nuvem de pontos esparsa.

b) A segunda fase de obtenção de modelos tridimensionais consiste na obtenção de uma nuvem de pontos densa, que resulta da densificação dos pontos obtidos na nuvem de pontos esparsa. O detalhe aumenta significativamente face à fase anterior.

c) Esta nuvem de pontos é exactamente igual à anterior, entretanto, cada vértice é colorido com base na informação obtida a partir da fotografia. Deste modo há uma maior ilusão de detalhe fornecida pelo modelo. É possível ampliar a sua visualização mantendo uma boa resolução.

d) A terceira fase de obtenção de modelos tridimensionais consiste na criação de uma malha contínua. Este processo consiste na criação de polígonos resultantes da triangulação de todos os pontos da nuvem de pontos esparsa. Desta forma, o modelo adquire uma superfície contínua, ficando com um aspeto mais próximo da realidade. O detalhe do modelo aumenta devido a melhor preenchimento de todos os detalhes, implicando em melhor nitidez e qualidade nas imagens 3D representadas.

e) A malha pode ser visualizada sem qualquer cor, permitindo verificar que o detalhe é bastante bom face ao objeto real fotografado, sendo discerníeis todos os pormenores possíveis a esta escala. Como ocorre um processo de filtragem da nuvem de pontos densa, uma parcela significativa do ruído do modelo é eliminada. Esta visualização permite a eliminação manual de pequenos defeitos no modelo tais como elementos destacados ou excesso de geometria.

f) O Modelo final a disponibilizar consiste na utilização, sobre a malha contínua, de uma textura fotográfica, calculada com base num mosaico de todas as fotografias. Como se trata da informação fotográfica real, obtida pela câmara, o modelo assume grande realismo, permitindo a manipulação e visualização com grande detalhe do objeto geológico ou geomorfológico. Esta informação é depois processada pela aplicação *Keyshot* Pro, que permite que estes modelos possam ser convertidos em elementos animados, baseados em *.html5*, disponibilizados com possibilidade de interação na *web.*

Com a obtenção do modelo tridimensional, é possível utilizá-lo individualmente ou, caso oportuno, associar o modelo a outras informações complementares em plataformas virtuais interativas. Para formatar estas informações é possível integrá-las em plataformas *online* em linguagem *.html*.

2.4. Integração em visitas virtuais

Após a fase de processamento da imagem, que inclui o processamento fotogramétrico, geoprocessamento, edição de imagem e composição gráfica para inserção de elementos de informação, é produzida uma visita virtual. A compilação e integração interativa de todos os elementos para este propósito é efetuada com recurso à aplicação *kolor Panotour*.

3. Resultados

A representação do Patrimônio Geológico requer uma linguagem simples e acessível, pois integra o conjunto de ferramentas de divulgação e valorização. Dentro deste contexto, envolve atores distintos da Sociedade: Comunidade Científica e Sociedade Civil. Sendo assim, a linguagem da representação deve ser universal e que integre estes atores no conhecimento da existência do Patrimônio, nas iniciativas de valorização e nas ações de consciencialização da conservação destes ambientes.

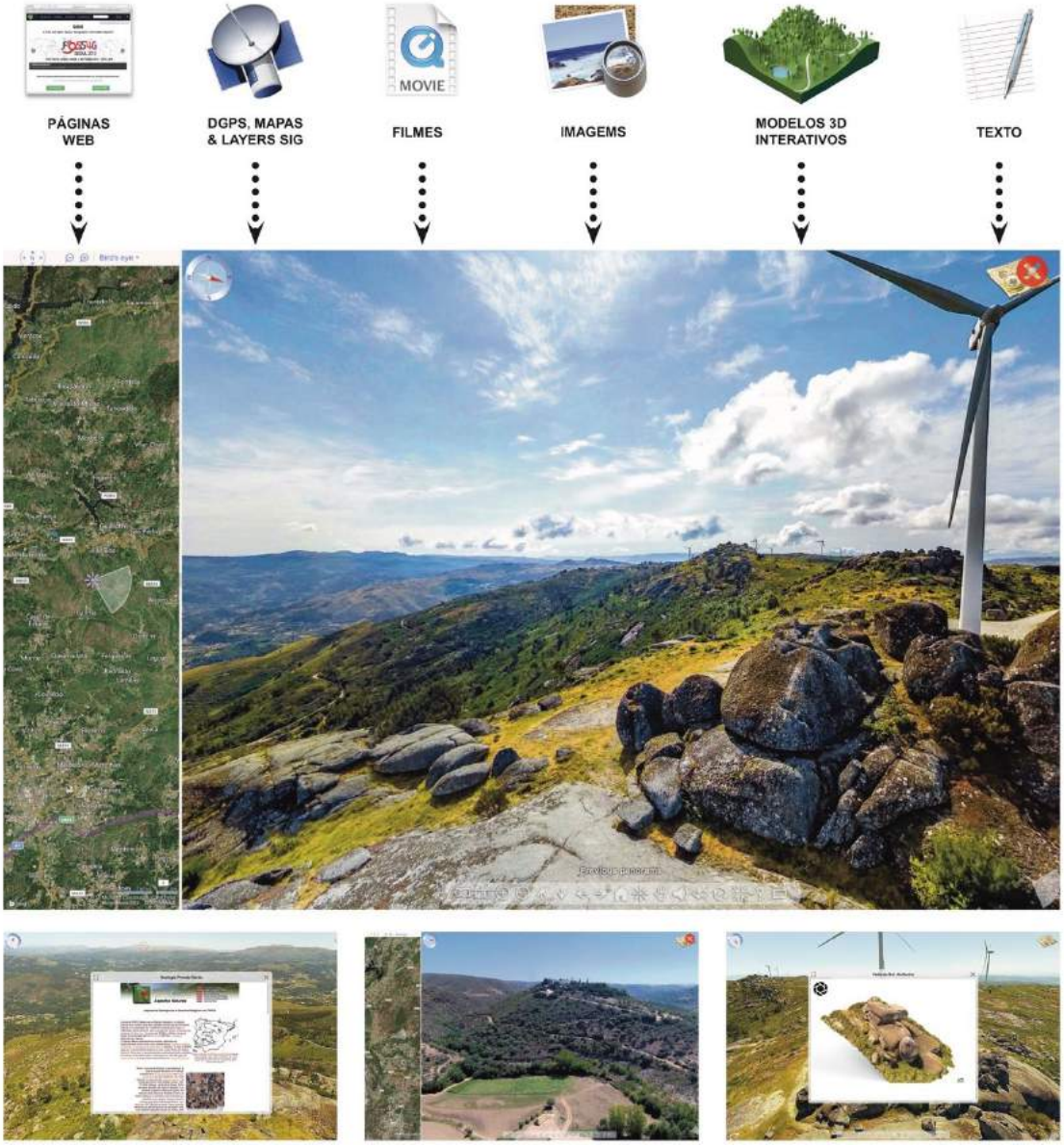
As imagens panorâmicas base obtidas apresentam, na generalidade, uma qualidade excelente. A utilização de VANT's possibilitou gerar um conjunto de imagens panorâmicas em locais de difícil acesso e/ou de uma perspetiva que não é possível ser observável a partir do solo (Fig.03). Um aspeto determinante na qualidade da representação do sítio selecionado é sobre o horário em que é capturada a imagem, levando em consideração que pela manhã, o resultado obtido nas imagens apresenta mais contraste, efeito de silhueta nos montes contraluz, sombras mais dramáticas, cores mais saturadas e contrastantes, céu mais escuro, enquanto que ao meio-dia, por exemplo, obtém-se menos contraste, cores mais equilibradas e monótonas, sombras menos pronunciadas, céu mais claro.

Figura 03. Imagem panorâmica obtida através de VANT, Chacim, 2015.

Foi possível criar imagens panorâmicas de geossítios de interesse produzidas, agregadas à descrição do Patrimônio Geológico através do uso de elementos acessórios como mapas, legendas, textos educativos, sites com acesso web gratuito e

interativos com interfaces 3D, modelagem da Geologia, geomorfologia e contextos associados aos geossítios (Fig.04).

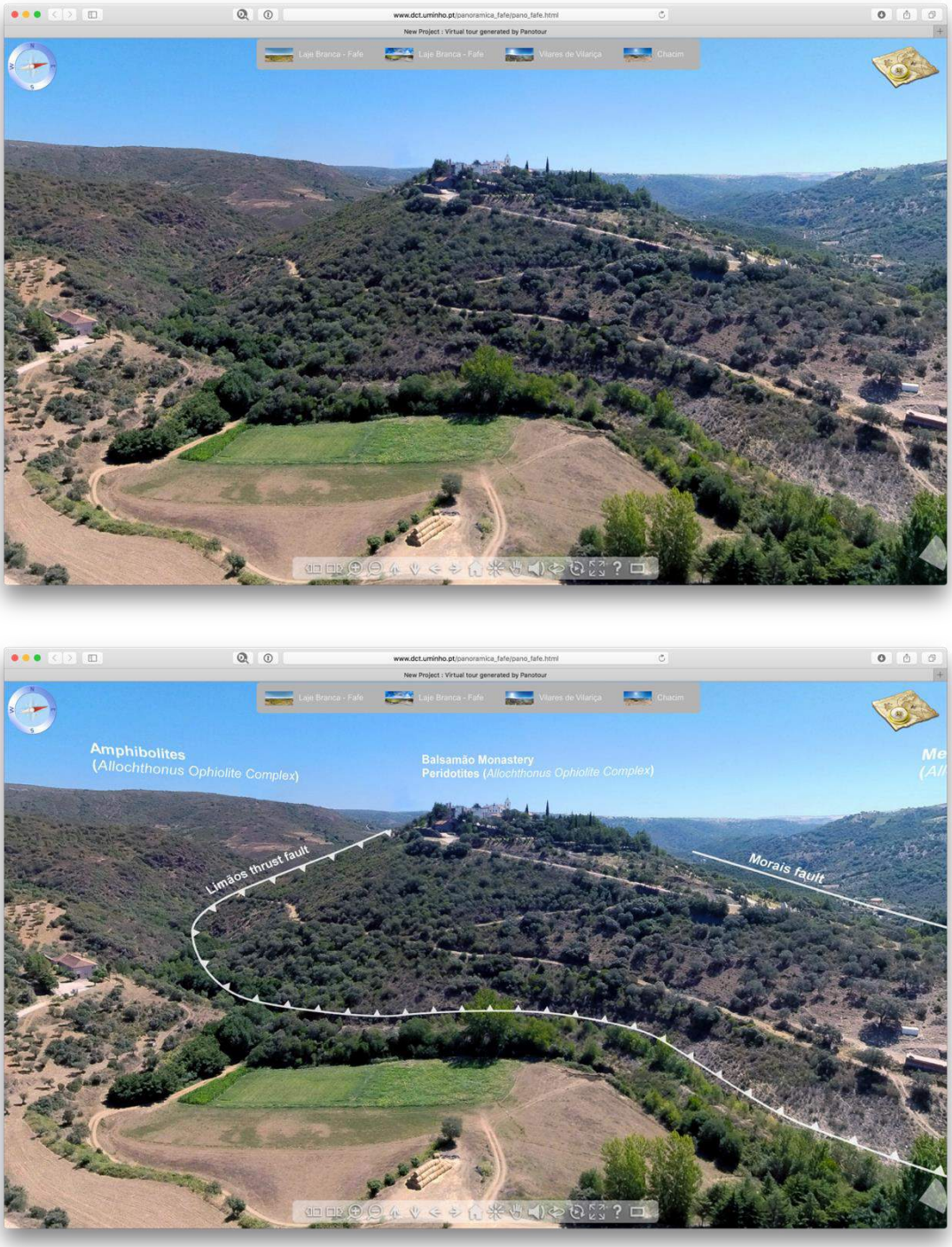
Figura 04. Exemplo de alguns elementos de informação incluídos na panorâmica online e exemplos de capturas de ecrã com a experiência de utilização.



Estes elementos podem constituir uma excelente experiência de realidade aumentada pois em plataformas móveis que possuam sensores de posicionamento (bussola, giroscópio, GPS e acelerómetros) estas panorâmicas movem-se automaticamente dependendo do azimute e do ângulo de inclinação do dispositivo. A informação foi processada de modo integralmente georreferenciado, para que haja uma excelente correspondência entre o que está a ser observado no ecrã e a própria paisagem para a

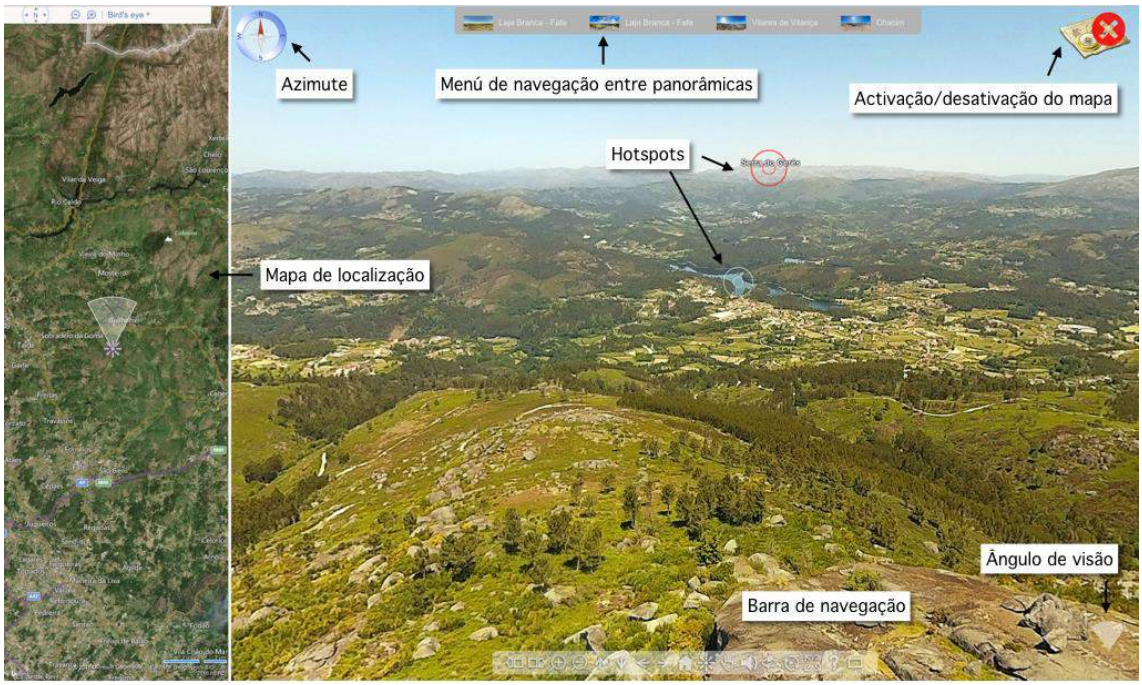
qual o dispositivo está apontado. Todas as camadas com realidade aumentada podem ser ativadas ou desativadas pelo utilizador (Fig.05).

Figura 05. Exemplo de uma panorâmica de Chacim sem elementos de interpretação (topo) e com elementos de interpretação geológica com realidade aumentada (em baixo).



A visualização das imagens panorâmicas, depois de tratadas, corrigidas e processadas sob a forma de uma panorâmica imersiva 360º, obedece um roteiro definido pelo utilizador, em que *hotspots* colocados sobre a imagem permitem o acesso aos diversos elementos de informação e, consequentemente, à interpretação da geodiversidade. Cada *hotspot* permite aceder a (páginas web, mapas, textos, fotografias, tabelas, esquemas, etc.) contextualizadas ao geossítio e podem, ainda, estabelecer a navegação para outras panorâmicas. Podem, também, permitir o acesso a modelos de animados de evolução com que permitam reconstituir a história geológica daquele ponto de interesse (Fig.05).

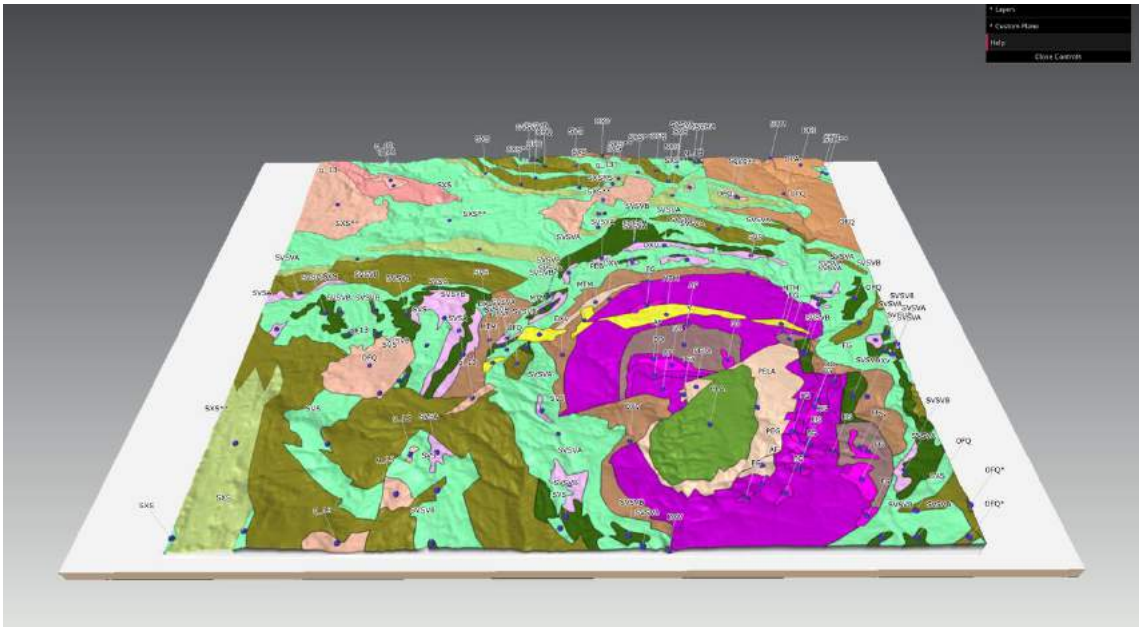
Figura 06. Alguns elementos de interatividade incluídos na panorâmica online.



O acesso a esta base de imagens pode ser efetuado através de links (interfaces html) com informações adicionais (ambas acessíveis através de pontos estratégicos marcados sobre a topologia - *hotspots* a partir de pontos em formato *shapefile*, que permitem acesso a níveis mais profundos de informação, tais como sites web, panorâmicas ou modelos 3D mais detalhados.

A interface de navegação *html* é constituída por navegação 3D baseada nas frameworks *WebCL*, compatíveis com os browsers mais modernos. Esta plataforma foi desenvolvida a partir de código *javascript* com vista à modificação de funcionalidades e de aspetos gráficos (Fig.07).

Figura 07. Exemplo de interface de navegação 3D interativa, baseada nas frameworks WebCL.



Esta forma de representação 3D pode incluir, além da Geologia e Geomorfologia do local selecionado, informações do inventário do Patrimônio Geológicos além de diferentes níveis de detalhamento.

Os pontos de cada formação podem ser clicados, acedendo à tabela de atributos. Esta tabela pode ser integralmente modificada para incluir informação acessível a todos os públicos-alvo, garantido fácil acesso a informação científica de qualidade com recurso a tecnologia eficaz e de baixo custo.

Para dispositivos onde não haja giroscópios ou aceleradores será acautelada uma interface 2D, baseada igualmente em informação SIG, destinada a navegação nos conteúdos para plataformas não compatíveis com *WebCL*.

4. Conclusões

A utilização de VANT's permitiu obter imagens panorâmicas e modelos 3D de grande qualidade. Este tipo de materiais apresenta uma elevada potencialidade na divulgação do património geológico e novas formas de representar toda a informação associada. Foi possível construir visitas virtuais que constituem uma mais valia na disseminação do conhecimento em geociências, em particular tendo em conta a possibilidade de incluir elementos de realidade aumentada sobre as imagens interativas, cujo acesso se pode fazer de modo automático utilizando dispositivos móveis de acesso à internet munidos de sensores posicionais. Estes produtos representam ainda potenciais

ferramentas de inclusão digital a públicos alvo com restrições motoras, restrições espaciais e/ou financeiras para visitas presenciais. Finalmente, estes materiais oferecem, desde a micro ate a macro escala, múltiplas opções de representar os aspetos selecionados (geológicos, geomorfológicos, etc.) para representação/divulgação do património geológico.

Referências Bibliográficas

Cayla, N., Hobléa, F., Reynard, E. (2014). *New Digital Technologies Applied to the Management of Geoheritage.* Geoheritage. Volume 6, Issue 2, 89-90.

Martin, S. (2013). *Valoriser le géopatrimione par la médiation indirecte et la visualisation des objes géomorphologiques*. Université de Lausanne. Tese de doutoramento.

Zuffo, M.K. & Lopes, R.D. (2008). *Ambientes de Realidade Virtual e Realidade Aumentada na Preservação do Patrimônio Histórico*. Anais do Seminário de Computação gráfica: pesquisas e projetos rumo à Educação Patrimonial. São Paulo.

Carlis, J.V, Konstans, J.A. (1999). *Interactive Visualization of Serial Periodic Data*. Proceedings of the IEEE Symposium on Information Visualization, 29-38.

Gershon, N.D., Eick, S.G. (1997). *Information Visualization Applications in the Real World*. IEEE Computer Graphics and Applications,July/August 1997, 66-70.

Kirner, T.G., Martins, V. F. (2000). *Development of an Information Visualization ToolUsing Virtual Reality.* Proceedings of the 15th ACM Symposium on Applied Computing - SAC'2000, Como, Italy, March 2000, 604-607.

Boulos, M. N., Warren, J., Gong, J., Yue, P. (2010). *Web GIS in practice VIII: HTML5 and the canvas element for interactive online mapping.* International Journal of Health Geographics, 9:14.

Loureiro, C.N. (2015). *Avaliação e Valorização do Património Geológico do Concelho de Fafe.* Dissertação de Mestrado. Universidade do Minho, Portugal.

Brilha, J. (2015). *Inventory and quantitative assessment of geosites and geodiversity sites: a review*. Geoheritage 10.1007/s12371-014-0139-3, 1-16.

Autores

Ivaneide Santos
Universidade do Minho e ICT/CCT-UM; UFPE (Brasil)
iva.oliveira.ufpe@hotmail.com

Renato Henriques
Universidade do Minho e ITC/CCT-UM
rhenriques@dct.uminho.pt

Gorki Marino
Universidade do Minho e ICT/CCT-UM; UFPE (Brasil)
marianogorki@gmail.com

Diamantino I. Pereira
Universidade do Minho e ITC/CCT-UM
insuad@dct.uminho.pt

ATUALIZAÇÃO CADASTRAL DIRIGIDA, UTILIZANDO ORTOFOTOS ORIUNDAS DE VANT

Marcos A. Pelegrina
Máicon A. Canal
Rui Pedro Julião
Karoline Kolosinski Obal

Resumo

A atualização cadastral é um processo que carece de dados, desejavelmente, em tempo real no que diz respeito aos seus vários domínios. Neste trabalho, explora-se as ortofotos oriundas de processamento de imagens de VANT como fonte de dados para produção de informação cadastral atualizada. A metodologia inclui comparação temporal entre ortofoto gerada por VANT e ortofoto gerada pela fotogrametria digital. Segue-se a aplicação de técnicas de análise espacial para comparar as edificações extraídas com a informação existente sobre a área edificada reportada no cadastro fiscal da Prefeitura Municipal de Capanema estado do Paraná. Até agora está executado 74% do serviço e os valores de área e número de imóveis é substancialmente diferente. Antes de se iniciar havia 5.973 imóveis com uma área construída de 576.724,62m2 e agora há 5.906 imóveis com uma área de 750.445,75m2. A diferença justifica-se por haver uma enorme quantidade de lotes cadastrados de forma repetida e/ou errada. O presente artigo demonstra assim a possibilidade de gerar cartografia de ocupação do solo e monitorizar possíveis alterações, em situações em que não existe base cadastral atual disponível, mas em que está disponível uma cobertura de imagens de geradas por VANT. Comprova-se assim que o VANT auxilia na gestão cadastral pela facilidade de uso, modernizando gestão cadastral, para além de proporcionar o aumento da arrecadação através do cadastro dirigido

Palavras-chave: Cadastro, VANT, Atualização cadastral, Municípios, Brasil.

1. Introdução

As cidades brasileiras são bastante dinâmicas devido o crescimento urbano das cidades, proveniente dos movimentos migratórios entre cidades e campo e cidade e aumento da natalidade. A gestão cadastral e os mecanismos de fiscalização e controle urbano desta ocupação, gera, ao longo do tempo, um déficit cadastral. Déficit cadastral representa a razão entre a cidade legalizada (todos os imóveis que constam no cadastro) e a cidade real (todos os imóveis existentes, inclusive os clandestinos e irregulares), Pelegrina, 2010.

O déficit cadastral nas cidades brasileiras varia muito dependendo a capacidade administrativa de cada município. Esses fatores, somados, requerem que o município não apenas atualize os dados para resolver o déficit cadastral, mas modernize a gestão do cadastral utilizando de ferramentas de gestão como os VANTs.

Segundo Pelegrina (2010), A atualização cadastral para fins de tributação imobiliária urbana no Brasil, pode ser executada através de dois métodos: atualização massiva (todo o universo cadastral) e atualização dirigida.

A atualização dirigida pode ser realizada de três formas: de um setor específico do município, através de comparação temporal, ou através de informações existentes no próprio município.

Para atualizar uma área específica, é necessário identificar as áreas em que o déficit cadastral é maior e, conseqüentemente, trará um maior incremento de receita. Estas áreas podem ser identificadas através de uma base cartográfica atualizada ou por imagem de satélite de alta resolução, uma ortofoto ou ortofoto gerada por VANTs. Caso não seja possível adquirir esses recursos, os técnicos municipais se valem, geralmente, de sua própria experiência relativamente às áreas mais desatualizadas.

A atualização dirigida por comparação temporal deverá ser feita por meio de um cruzamento topológico entre a base cartográfica existente e uma nova base cartográfica atualizada. Ou ainda, comparar visualmente a base cartográfica atual a uma de imagem de satélite, de alta resolução (ou ortofoto), para verificação das parcelas passíveis de atualização cadastral.

A atualização cadastral por meio de informações existentes no próprio município é a forma mais econômica e eficiente para aumentar a receita sem custos adicionais.

2. Resultados

A metodologia incluiu reprojeção da planimetria da base cartográfica em meio digital do ano de 1995 de SAD/69 anteiror 1996 para SIRGAS 2000. Após conversão toda base foi para preparada para ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica) e consolidado toda informação cadastral, criando um anco de dados geográfico com toda informação gráfica e alfanumérica.

Com o SIG pronto fora realizada comparação temporal entre ortofoto gerada por VANT e base cadastral do município. Segue-se a aplicação de técnicas de análise espacial para comparar as edificações extraídas com a informação existente sobre a área edificada reportada no cadastro fiscal da Prefeitura Municipal de Capanema estado do Paraná.

Até agora está executado 74% do serviço e os valores de área e número de imóveis é substancialmente diferente. Antes de se iniciar havia 5.973 imóveis com uma área

construída de 576.724,62m2 e agora há 5.906 imóveis com uma área de 750.445,75m2. A diferença justifica-se por haver uma enorme quantidade de lotes cadastrados de forma repetida e/ou errada.

Figura 1 - Ortofoto oriunda do levantamento do VANT com Mapa Base do Município de Capanema, com suas edificações.

3. Conclusão

A metodologia utilizada possibilitou gerar uma cartografia de ocupação do solo e monitorizar possíveis alterações, em situações em que não existe base cadastral atual disponível, mas em que está disponível uma cobertura de imagens de geradas por VANT. Comprova-se assim que o VANT auxilia na gestão cadastral pela facilidade de uso, modernizando gestão cadastral, para além de proporcionar o aumento da arrecadação através do cadastro dirigido.

Referências Bibliográficas

PELEGRINA, Marco A. (2009). Diagnóstico para gestão do Imposto Predial e Territorial Urbano. Tese (doutorado) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SANTOS,T. PELEGRINA M., JULIÃO R. P. (2015). Atualização cadastral dirigida, utilizando imagens de satélite de alta resolução espacial. Revista Brasileira de Cartografia. N067/2: (435:444). Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto ISSN: 1808-0936.

Agradecimentos

A empresa CTMGEO e ao Município de Capanema Estado do Paraná.

Autores

Marcos PELEGRINA
CEDETEG – Departamento de Geografia, Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná (Brasil)- Centro Interdisciplinar de Ciências Sociais - Faculdade de Ciências Sociais e Humanas - Universidade Nova de Lisboa (CICS. NOVA. FCSH/UNL), Lisboa.
marcospelegrina@gmail.com

Máicon CANAL
CTMGEO
maiconcanal@gmail.com

Rui Pedro JULIÃO
Centro Interdisciplinar de Ciências Sociais - Faculdade de Ciências Sociais e Humanas - Universidade Nova de Lisboa (CICS. NOVA. FCSH/UNL), Lisboa.
rpj@fcsh.unl.pt

Karoline Kolosinski OBAL
Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná - UNICENTRO (Brasil). Programa de Pós-Graduação em Geografia - PPGG.
karol_kolosiuski@yahoo.com.br

CLASSIFICAÇÃO E ESTRATIFICAÇÃO DE TIPOS DE OCUPAÇÃO DO SOLO SOBRE FOTOGRAFIAS AÉREAS CAPTADAS COM RECURSO A VANT (VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS)

José Aranha
Rui Soares
Levi Pires
Ricardo Bento
João Sousa

Resumo

A produção ou a actualização de cartografia digital de ocupação do solo a grande escala é morosa e dispendiosa e estava dependente da existência de fotografias aéreas referentes à data pretendida ou à encomenda de voos dedicados à tarefa. Actualmente pode ser feita sobre Fotografias Aéreas Captadas com Recurso a VANT (Veículos Aéreos Não Tripulados), sobre áreas específicas e em datas predefinidas.

Se o objectivo for estratificar as várias classes de uso do solo em classes detalhadas de ocupação, o processo, ainda que moroso, é relativamente simples podendo ser feito sobre composições coloridas a cor convencional ou a falsa cor.

No entanto, se o objectivo for estratificar o mesmo tipo de ocupação do solo, concretamente vegetação, mas por classes de densidade ou de vigor vegetativo, é necessário recorrer a imagens na zona do infravermelho e à criação de índices de vegetação. Processando e estratificando esses índices, consegue-se separar o mesmo tipo vegetação em diferentes densidades de massa vegetal.

No caso concreto do trabalho que se apresenta, o objectivo a alcançar foi o de estratificar diferentes castas de vinha em função do vigor vegetativo e da densidade dos bardos. O trabalho foi iniciado em 2013, tendo sido já realizados 3 voos. Com base nestes resultados, temos vindo a desenvolver uma metodologia de classificação e de estratificação de parcelas de vinha. Os resultados obtidos até à data permitem-nos afirmar que a colheita e a vinificação podem ser programadas em função desta estratificação, optimizando tanto o trabalho de campo como o de adega.

Palavras-chave: Agricultura de Precisão; Douro; Viticultura; VANT ; GNSS

1. Introdução

A Agricultura de Precisão (AP) é uma forma de produção de espécies vegetais baseada na utilização de tecnologias de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), de Detecção

Remota (DR) e de Sistemas de Navegação por Satélite (GNSS – usa-se o acrónimo em inglês por ser já do domínio público) que visa a optimização do espaço, do tempo e dos factores de produção (Printer et al., 2003; Zhang & Kovacs, 2012; Mulla, 2013, Graça, 2014). Mais do que cartografar o espaço e as diferentes parcelas, em função do tipo de cultura instalada, a Agricultura de Precisão (AP) visa caracterizar o mesmo tipo de cultura em função do seu estado vegetativo, por forma a optimizar a colheita e o processamento (Aranha et al., 2013).

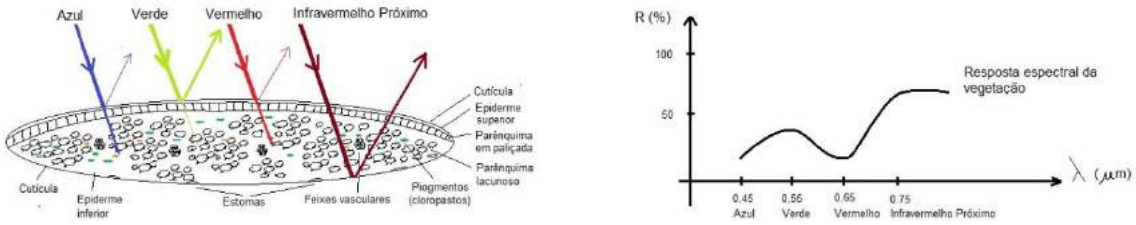
No caso concreto do trabalho que agora se apresenta, a cultura em análise é a da vinha e o objectivo é o de estratificar parcelas com a mesma casta, mas com diferentes estados vegetativos. A produção de vinhos de grande qualidade e em condições muito bem controladas requer um conhecimento pormenorizado e detalhado do terreno, da estrutura das parcelas e do vegetativo de cada casta, por forma a desenhar um plano de gestão cultural, a programar as datas ideais de colheita em cada parcela e a fazer os lotes (Graça e Aranha, 2013, Aranha et al., 2013). Este grau de detalhe requer a utilização conjunta de técnicas de SIG, DR e GNSS, dado o volume de dados e a necessidade em se proceder à análise espacial desses dados, num curto espaço de tempo e com regularidade (Wassenaar et al., 2000; Le Bris, 2012, Mulla, 2013).

Os trabalhos em AP requerem diferentes níveis de abordagem. Numa primeira fase, é necessário proceder à cartografia de uso e de ocupação do solo, com posterior detalhe da base de dados, ao nível da parcela. Numa segunda fase, é necessário estratificar o mesmo tipo de ocupação do solo, concretamente a vegetação, mas por classes de densidade ou de vigor vegetativo, o que obriga a recorrer a imagens na zona do infravermelho e à criação de índices de vegetação. Processando e estratificando esses índices, consegue-se separar o mesmo tipo de vegetação em diferentes densidades de massa vegetal. Se a primeira fase é relativamente simples de operar, podendo-se utilizar processos automáticos ou semi-automáticos de classificação e estratificação de imagens, já a segunda fase requer o desenvolvimento de metodologias específicas de trabalho, uma vez que as diferenças no estado vegetativo conduzem a diferenças em densidade da massa vegetal, que para a mesma espécie vegetal podem ser estratificadas, por algoritmos de cálculo, em diferentes espécies vegetais.

As fotografias aéreas digitais, por poderem ser captadas e gravadas em bandas do espectro electromagnético, principalmente a banda do infravermelho próximo, permitem criar composições coloridas a falsa cor e calcular índices de vegetação, nomeadamente o Índice de Vegetação por Razão Normalizada (em inglês e no original – NDVI = (NIR – R)/(NIR + R), Rouse et al., 1973), imagens onde a distinção do tipo e da

densidade de vegetação é máxima (Printer et al., 2003; Mulla, 2013; Cohen et al., 2013). Este potencial advém do facto do comprimento de onda do infravermelho ser reflectido pela face interna da página inferior da folha (Figura 1) e que permitem conhecer, indirectamente, o interior da folha..

Figura 1 - Corte transversal duma folha e reflexão dos vários comprimentos de onda



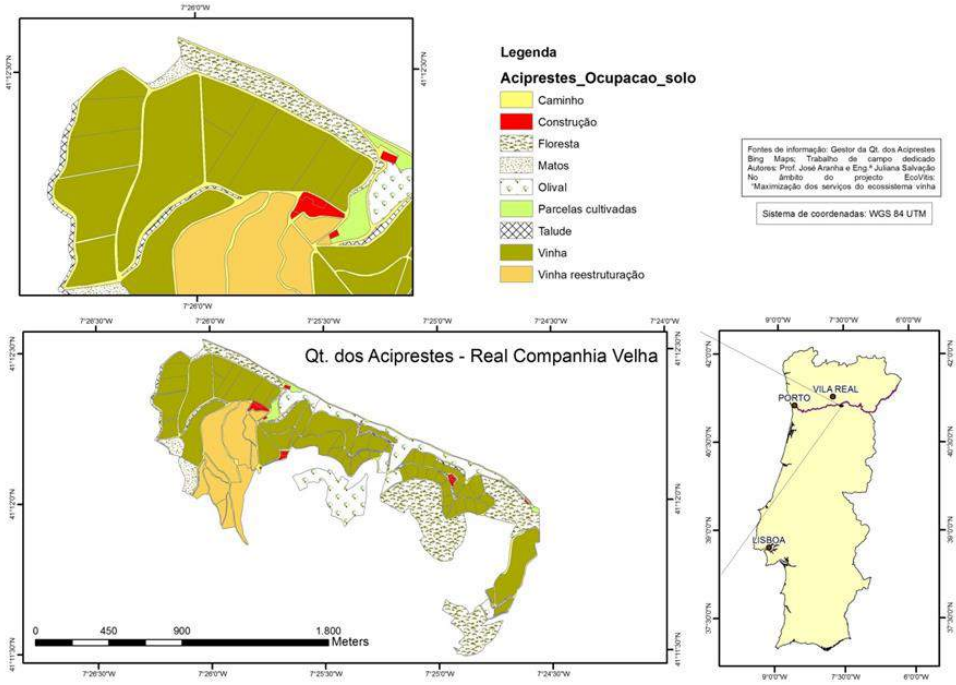
Com base no comportamento espectral da vegetação, das características inerentes a cada tipo de vegetação, pode-se estabelecer uma relação entre os valores calculados para os índices de vegetação e a densidade vegetativa (Johnson, 2003).

De acordo com a escala de fotografia, que depende simultaneamente da distância focal da objectiva e da distância a que as fotografias estão a ser captadas, assim se obterá o campo de visão e o grau de pormenor do objecto fotografado. Tratando-se de fotografias aéreas verticais sobre culturas agrícolas, concretamente a vinha, o objecto fotografado passa a ser o bardo de vinha (conjunto de plantas de videira instaladas na mesma linha) e não apenas a folha. Desta forma, a resposta espectral registada na imagem vai depender: da casta de vinha (variedade da espécie de videira Vitis vinífera), da largura e da altura da parede vegetativa (copa da planta de vinha), da distância ao solo e da densidade de folhas por planta. Isto significa que, não basta conhecer a resposta espectral da folha, sendo necessário conhecer a resposta espectral resultante deste conjunto de variáveis, o que torna o processo complexo, tanto mais que cada casta apresenta diferentes estruturas de parede vegetativa e diferentes respostas relativamente às condições edafo-climáticas e morfológicas do terreno (Graça, 2014).

2. Área de estudo

O estudo piloto está a ser desenvolvido numa propriedade da Real Companhia Velha, a Quinta dos Aciprestes (41º 12’ 00’’N ; 7º 25’ 30’’W) (Figura 2), que se localiza na Região Demarcada do Douro, na margem esquerda do Rio Douro. A altitude varia entre os 66m e os 208m.

Figura 2 - Localização geográfica da área de estudo



Adaptado de Aranha et al., 2013

Em termos de uso e de ocupação do solo, ambas as quintas se caracterizam por serem essencialmente dedicadas à agricultura, como se apresenta no Quadro 1.

Quadro 1 – Área, percentual, atribuída a cada tipo de ocupação do solo na Qt.ª dos Aciprestes

Ocupação do solo	Área (%)
Caminho	8.6
Construções	0.8
Floresta	19.7
Matos	2.2
Olival	12. 9
Parcelas cultivadas	0.8
Talude	1.5
Vinha	39.6
Vinha reestruturação	13.9
Total	100.0

3. Material e Métodos

O estudo piloto está a ser desenvolvido numa propriedade da Real Companhia Velha, a Qt.ª dos Aciprestes, que foi anteriormente cartografada, no âmbito do projecto EcoVitis (EcoVitis, 2014) a uma escala 1/2000 e caracterizada ao nível da variedade da principal cultura agrícola instalada, concretamente da vinha. Por razões comerciais,

apenas se pode referir que estão instaladas 6 castas: Sousão, Syrah, Tinta Amarela, Tinta Roriz, Touriga Franca e Touriga Nacional, em regime de "vinha ao alto". Assim, a base de trabalho consistiu na cartografia anteriormente elaborada e no estudo de 4 castas instaladas na zona NW da propriedade (ver Figura 2).

Nos voos efetuados foram utilizados VANT de asa fixa, usando câmaras não métricas, com zoom fixado na distância focal mínima. Os voos foram realizados, tal como na fotogrametria convencional, em fiadas paralelas, com sobreposição longitudinal de pelo menos 60%, para se obterem pares estereoscópicos. Relativamente ao planeamento dos voos, estes são efetuados recorrendo a software específico, em que o utilizador define a área a cobrir, a direção de voo pretendida, as sobreposições longitudinal e lateral e a resolução espacial (tamanho de pixel no terreno).

Como principais dificuldades na execução destes voos, destacam-se os fortes ventos que normalmente se fazem sentir e a orografia acidentada do terreno, o que dificulta a aterragem, pois é muito difícil encontrar um local indicado a esta operação.

No trabalho apresentado realizaram-se dois voos sobre a área de estudo, um em julho de 2013 e um segundo em maio de 2015, recorrendo, na primeira campanha a um VANT de asa fixa da Sensefly, modelo Swinglet e, na segunda campanha, a outro VANT de asa fixa da mesma empresa, mas de modelo diferente (eBee).

Todas as fotografias, do mesmo voo e para a mesma área de estudo, foram processadas de modo a criar um ortofotomapa. Paralelamente, também se criou um índice de vegetação baseado no formulário de cálculo do NDVI (em inglês e no original – NDVI = (NIR – R)/(NIR + R), Rouse et al., 1973).

Como o sensor desta câmara fotográfica foi modificado de modo a captar o comprimento de onda do infravermelho próximo, em substituição do vermelho, o cálculo do NDVI foi feito por aproximação, substituindo o comprimento de onda do vermelho pelo do azul, como abaixo se apresenta (http 2):

- NDVI = $(IVM\ p - A)/(IVM\ p + A)$
  Sendo:
  - NDVI – Normalised Diference Vegetation Index - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
  - A – Azul
  - IVM p - Infravermelho próximo.

Esta alteração do cálculo do NDVI, obrigou à sua calibração de modo a que as superfícies de água apresentassem o valor mais negativo e as superfícies de solo nu apresentassem um valor muito próximo de zero.

Na fase de processamento da informação, as imagens referentes aos índices de vegetação foram classificadas e estratificadas, de modo a isolar apenas as parcelas de vinha e, dentro destas, a densidade da parede vegetativa.

Para cada casta (Tinta Roriz, Touriga Nacional, Touriga Franca e Tinta Amarela), após estratificação do NDVI, foi criada uma shapefile distinta e criado um projecto SIG de campo.

Posteriormente, os limites destas manchas foram introduzidos receptor GNSS em modo diferencial com precisão centimétrica, que serviu de apoio ao trabalho de campo, para marcação dos limites da estratificação das parcelas. A vindima foi efectuada ao nível da sub-parcela, a vinificação foi feita em separado, em função das diferentes castas (Tinta Roriz, Touriga Nacional, Touriga Franca e Tinta Amarela) e das manchas estratificadas segundo a intensidade dos índices de vegetação.

4. Apresentação e discussão dos resultados

Nas Figuras 3 e 4, apresentam-se várias imagens referentes à área de estudo. A interpretação das cores apresentadas no ortofotomapa a falsa cor deve basear-se no seguinte: várias tonalidades de magenta representam a vegetação, sendo que quanto mais escura for a tonalidade, mais densa e mais saudável é a vegetação. As tonalidades de ciano representam zonas rochosas (escuro) e solo nu (claro). A água está representada em tonalidades de azul, escuro para o rio e claro para os tanques de rega.

Figura 3 - Imagens criadas após processamento das fotografias aéreas

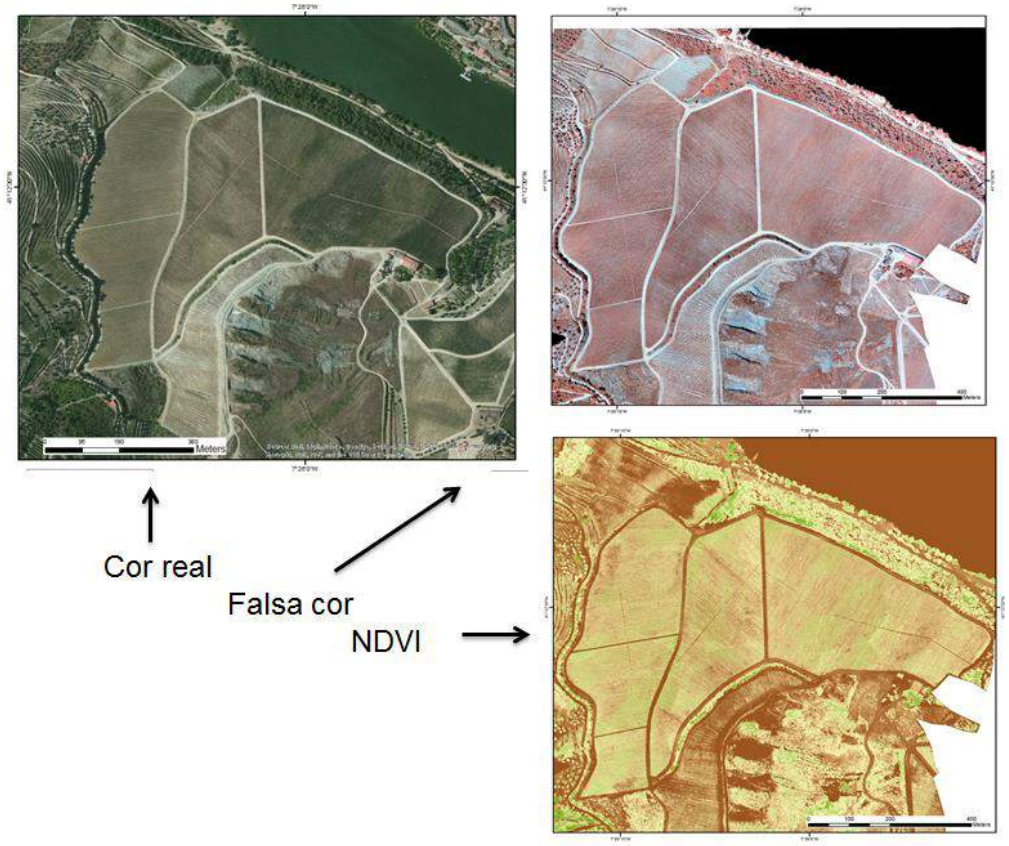


Figura 4 - Ortofotomapas a falsa cor: Esq. – Julho de 2013 e Dt. – Maio de 2015 (As fotografias aéreas foram captadas entre as 14:30 e as 15:00 no ano de 2013 e entre as 11:00 e as 12:00 no ano de 2015)

Após verificação da coerência espacial das imagens das duas datas, passou-se à fase de estratificação dos índices de vegetação. Numa primeira abordagem realçou-se a componente referente à vegetação (Figura 5 – Esq.) e posteriormente isolaram-se os bardos de vinha (Figura 5 – Dt.). Como base nestes dois produtos e com conhecimento anterior relativo às castas e respectiva estrutura vegetativa, estratificou-se cada parcela e cada casta em três níveis de intensidade vegetativa: baixo, médio e elevado, como se apresenta na Figura 6.

Figura 5 - Reclassificação do NDVI com realce da componente referente à vegetação (Esq.) e com estratificação dos bardos de vinha (Dt.)

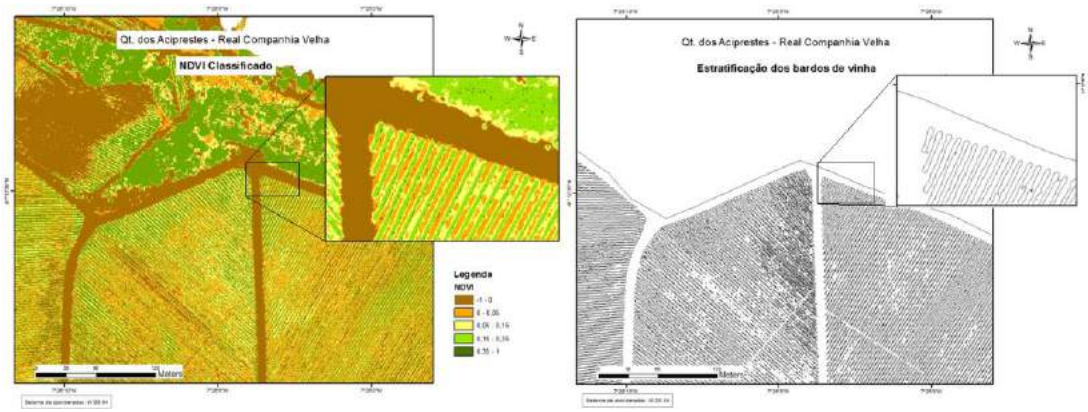
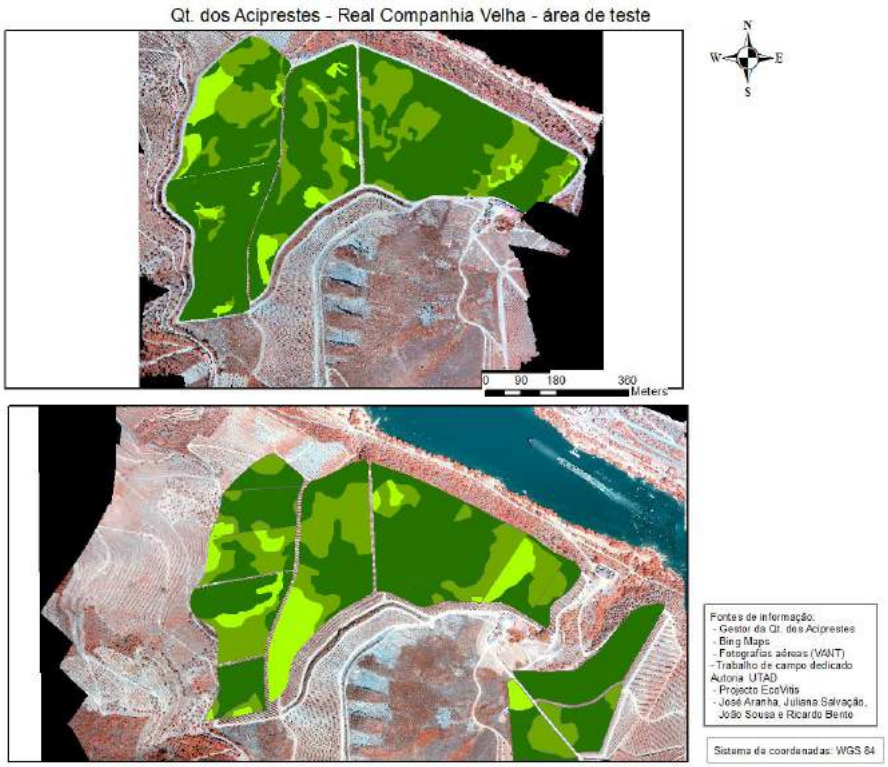


Figura 6 - Classes de intensidade de vegetação por casta (cima – 2013; baixo – 2015)



No terreno, com o apoio do SIG de campo e dos dados recolhidos com um receptor GNSS em modo diferencial, verificou-se que a estratificação do NDVI correspondia às diferenças observadas em termos de estrutura da parede vegetativa e do estado vegetativo das videiras.

5. Conclusões

A utilização conjunta de técnicas SIG-DR-GNSS mostrou-se adequada à cartografia de uso e de ocupação do solo a grande escala e ao processamento de dados com vista à aplicação de técnicas de Agricultura de Precisão.

A confirmação, após trabalho de campo (acompanhamento da vindima), de que os níveis relativos do índice de vegetação NDVI variam tanto em função das castas como do estado vegetativo das videiras mostra que os índices de vegetação têm de ser calibrados para cada Casta. Também se confirmou a estratificação de pequenas manchas distintas dentro de manchas uniformes, o que facilita a localização destas sub-parcelas no terreno, uma vez que nem sempre são facilmente distinguíveis por observação directa da vinha.

A intervenção do classificador e os seus conhecimentos, quer técnicos quer do local e do(s) objecto(s) em estudo é fundamental para o sucesso de qualquer projecto baseado em técnicas de Detecção Remota.

Referências Bibliográficas

Aranha, José, Madeira, Sérgio, Soares, Rui, Viana, Hélder, Henriques, Renato (2013). Caracterização e estratificação de parcelas de vinha na região demarcada do douro com recurso a fotografias aéreas captadas por um veículo aéreo não tripulado. Revista INFO 31, Revista da Ordem dos Engenheiros, Região, Out., Nov., Dez, 2013, 36-41.

David J. Mulla (2013). Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. Biosystems Engineering, Special Issue: Sensing in Agriculture Review, 114 (2013), 358- 371

EcoVitis (2014) (website). Acedido em http://www.ecovitis.utad.pt/.

Graça, Antonio (2014). A utilização de software SIG open-source no apoio ao planeamento da vindima de uma propriedade na Região Demarcada do Douro numa perspetiva de otimização enológica. Dissertação de Mestrado em Enologia. UTAD, Vila Real.

Graça, Antonio & Aranha, José (2013). Application of remote sensing and freely available gis software to estimate and map missing plants in mountain vineyards. 18th International Symposium GiESCO 2013, July 7th to 11th, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

Johnson, Lee F. (2003). Temporal stability of an NDVI-LAI relationship in a Napa Valley vineyard. Australian Journal of Grape and Wine Research 9, 96-101.

Le Bris, Arnaud (2012) - Extraction of vineyards out of aerial ortho-image using texture information. In ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume I-3, 2012. Melbourne, Australia: XXII ISPRS Congress, 25 August – 01 September 2012, 383-388.

Pinter Jr., Paul J., Hatfield, Jerry L., Schepers, James S., Barnes, Edward M., Moran, M. Susan,

Daughtry, Craig S.T. & Upchurch, Dan R. (2003). Remote Sensing for Crop Management. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing Vol. 69, No. 6, June 2003, 647–664.

Rouse, J.W; Hass, R.H; Schell, J.A; Deering, D.W. (1973). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: earth resources technology satellite symposium, 3, 1973, Washington. Proceedings…Washington: NASA, 1973. v.1, 309-317.

Wassenaar, Tom; Jean-Marc Robbez-Masson; Patrick Andrieux; Frédéric Baret (2000).Vineyard spatial structure analysis by per-field aerial photograph processing. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXIII, Part B7. Amsterdam 2000, 1692-1699.

Zhang, Chunhua & Kovacs, John M. (2012) - The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. Precision Agric (2012) 13, 693–712.

Cohen, Shaul, Yafit Cohen, Victor Alchanatis, Ofer Levi (2013) - Combining spectral and spatial information from aerial hyperspectral images for delineating homogenous management zones. Biosystems Engineering Special Issue: Sensing in Agriculture, 114 (2013), 435-443.

[http 1] http://www.sensefly.com/drones/swinglet-cam.html

[http 2] http://www.maxmax.com/ndv_historyi.htm

Autores

José Aranha
CITAB – www.citab.utad.pt
jose.aranha.utad@gmail.com

Rui Soares
Real Companhia Velha - www.realcompanhiavelha.pt
ruisoares@realcompanhiavelha.pt

Levi Pires
Silvimontes - Lugar Da Leira Curta, Ferreiros, Vila Real
silvimontes@sapo.pt

Ricardo Bento
INESC TEC – INESC Technology and Science (formerly INESC Porto)
rbento@utad.pt

João Joaquim Sousa
INESC TEC – INESC Technology and Science (formerly INESC Porto)
jjmsousa@gmail.com

MONITORIZAÇÃO DO DECLÍNIO DO CASTANHEIRO COM RECURSO A AERONAVE NÃO TRIPULADA

Luís M Martins
João P Castro
Ricardo Bento
Joaquim J Sousa

Resumo

A tinta do castanheiro, causada por Phytophthora cinnamomi e o cancro originada por Cryphonectria parasitica são doenças que provocam prejuízos avultados aos produtores. Em 2014 foi detetado mais um importante problema fitossanitário, desta vez com origem num inseto (Dryocosmus kuriphilus) que causou perdas de produção relevantes, sobretudo em Itália e França.

A monitorização do declínio devido aos agentes bióticos ou abióticos (secas prolongas, temperaturas excessivas, praticas culturais inadequadas, entre outros) reveste-se de importância crucial, de modo a identificar os focos mais sensíveis e assim preconizar medidas de controlo mais eficazes.

O recurso à deteção remota e a análise da assinatura espectral dos copados das árvores são técnicas que possibilitam identificar o declínio a custos inferiores às avaliações sistemáticas de campo. O recente desenvolvimento de aeronaves não tripuladas (UAV) veio agilizar o processo de aquisição de imagens permitindo obter informação sobre o território a custos controlados.

Neste trabalho, foi selecionada uma área de estudo na integrada na Denominação de Origem Protegida (DOP) - Castanha da Padrela -, para a monitorização do declínio do castanheiro. A área (483 ha) engloba as freguesias de Padrela e Tazém e São João da Corveira (Concelho de Valpaços).

Em 2014 e 2015 a área de estudo foi fotografada com o UAV eBee, SenseFly e obtiveram-se fotografias aéreas policromadas e de infravermelho próximo. Após ortoretificação das imagens estas foram comparadas com imagens de 2006 obtidas em voos tripulados. Estas séries temporais possibilitaram conhecer a dinâmica dos soutos, tendo por base a percentagem de coberto.

No período de 2006-2014 foram realizadas novas plantações, correspondendo a um aumento de 14% da área de castanheiro (Castanea sativa). Contudo, a área produtiva sofreu um decréscimo que chegou a 56%. Os agentes bióticos foram a principal causa do declínio, o qual foi confirmado pelas observações de campo.

Verificamos existirem vantagens na utilização de UAV para os objetivos propostos. Devido à baixa altura de voo obtêm-se imagens de alta resolução espacial e espectral a custos muito inferiores, comparativamente com os voos tripulados ou imagens de satélite. O UAV cobre áreas razoáveis, considerando este tipo de estudos e tem baixos impactes ambientais.

Palavras-chave*:* Monitorização; declínio do castanheiro; agentes bióticos e abióticos..

1. Introdução

O castanheiro (Castanea sativa Mill.) tem assumido crescente importância económica em Portugal, desde meados da década de 1980, facto também notório na área de produção da "Castanha da Padrela", onde se desenrolou este trabalho. Nesta zona, a castanha Judia é uma das principais fontes de receita das populações locais. Todavia, a intensificação da produção favoreceu o aparecimento de problemas fitossanitários, destacando-se a doença da tinta, causada pelo oomiceta do solo *Phytophthora cinnamomi* Rands, e o cancro pelo fungo *Cryphonectria parasitica* (Murr.) Barr., como as principais causas do declínio. Os sintomas causados por estes ou outros agentes bióticos podem ser monitorizados por deteção remota, devido à alteração da assinatura espectral das árvores afetadas.

No caso de *C. parasitica*, trata-se de um organismo de quarentena da lista A2. Os meios de luta têm sido difíceis de implementar dado o seu custo e os resultados imprevisíveis. Já a utilização de estirpes hipovirulentas (HV) é um método promissor. O tratamento com HV, leva à conversão da forma original virulenta (V) do ascomiceta, na forma HV, através da fusão do citoplasma das hifas das estirpes em confronto (Grente e Sauret, 1969).

A fotografia aérea convencional ou as imagens de satélite podem ser utilizadas na monitorização, mas a sua aquisição tem custos avultados, sobretudo quando as áreas a avaliar são pouco extensas ou há necessidade de fazer reconhecimentos intervalados por curtos períodos de tempo.

Neste estudo é apresentada uma alternativa para monitorizar a sanidade de castanhais, através da realização de voos aerofotogramétricos com o Veículo Aéreo Não Tripulado (UAV) eBee da Sensefly (Sensefly, 2014). Obtiveram-se fotografias aéreas policromadas e de infravermelho próximo (NIR), que foram comparadas com imagens aéreas de 2006. A metodologia usada permite que seja replicada noutras áreas e a monitorização da condição dos povoamentos a custos substancialmente inferiores à avaliação somente por trabalho de campo ou recorrendo a fotografia aérea convencional.

2. Material e Métodos

2.1. Fotografia aérea

A área de estudo (23l ha) localiza-se na freguesia de Padrela e Tazém, no concelho de Valpaços. Para obter as imagens foi utilizado um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), também chamado UAV (do inglês Unmanned Aerial Vehicle) ou Drone (zangão, em inglês). O modelo usado foi o EBee da Sensefly (Figura 1).

Os voos realizou-se em Julho de 2014 e setembro de 2015 à altura de 300 m, ao longo de seis linhas de voo, orientadas no sentido Norte - Sul, sendo a resolução das imagens de 16 cm. Após a cobertura procedeu-se à ortorretificação e georreferenciação das imagens, com base em pontos de controlo do terreno (Figura 2).

2.2. Ocupação pelo castanheiro

Para a fotointerpretação, desenvolveram-se chaves fotográficas referentes a árvores com diferentes condições fisiológicas. As observações e fotografias de campo foram comparadas com as imagens aéreas, indicando-se na Figura 1 alguns exemplos.

Num Sistema de Informação Geográfica (SIG), com as coordenadas de base no datum World Geodetic System de 1984 (WGS 84), foi colocado o polígono retangular da área de estudo e distribuídas 231 parcelas circulares com um raio de 17,84 m. As parcelas foram dispostas numa quadrícula de 100x100 m, correspondendo cada ponto a 1 ha.

Ao SIG adicionaram-se fotografias aéreas ortorretificadas de falsa cor, com a largura do pixel de 1 m, datadas de 2006. Estas fotos foram obtidas para a realização do Inventário Florestal Nacional, pela então Autoridade Florestal Nacional. Em cada parcela, fez-se a análise visual relativa ao Índice de Coberto (IC) pelo castanheiro. Para isso, foi considerada proporção entre a área coberta pelas copas e a superfície da parcela de 1000 m2. O valor representado varia entre 0 e 100. Nas fotos de 2014, fez-se o mesmo procedimento, relativo ao coberto pelo castanheiro nesse ano.

De acordo com a evolução do coberto, foi estabelecido um índice para a Qualidade do Povoamento (QP) que pode variar de 0 a 20. Se IQ<10, significa que a percentagem de coberto pelo castanheiro diminuiu no período em análise (2006 a 2014).

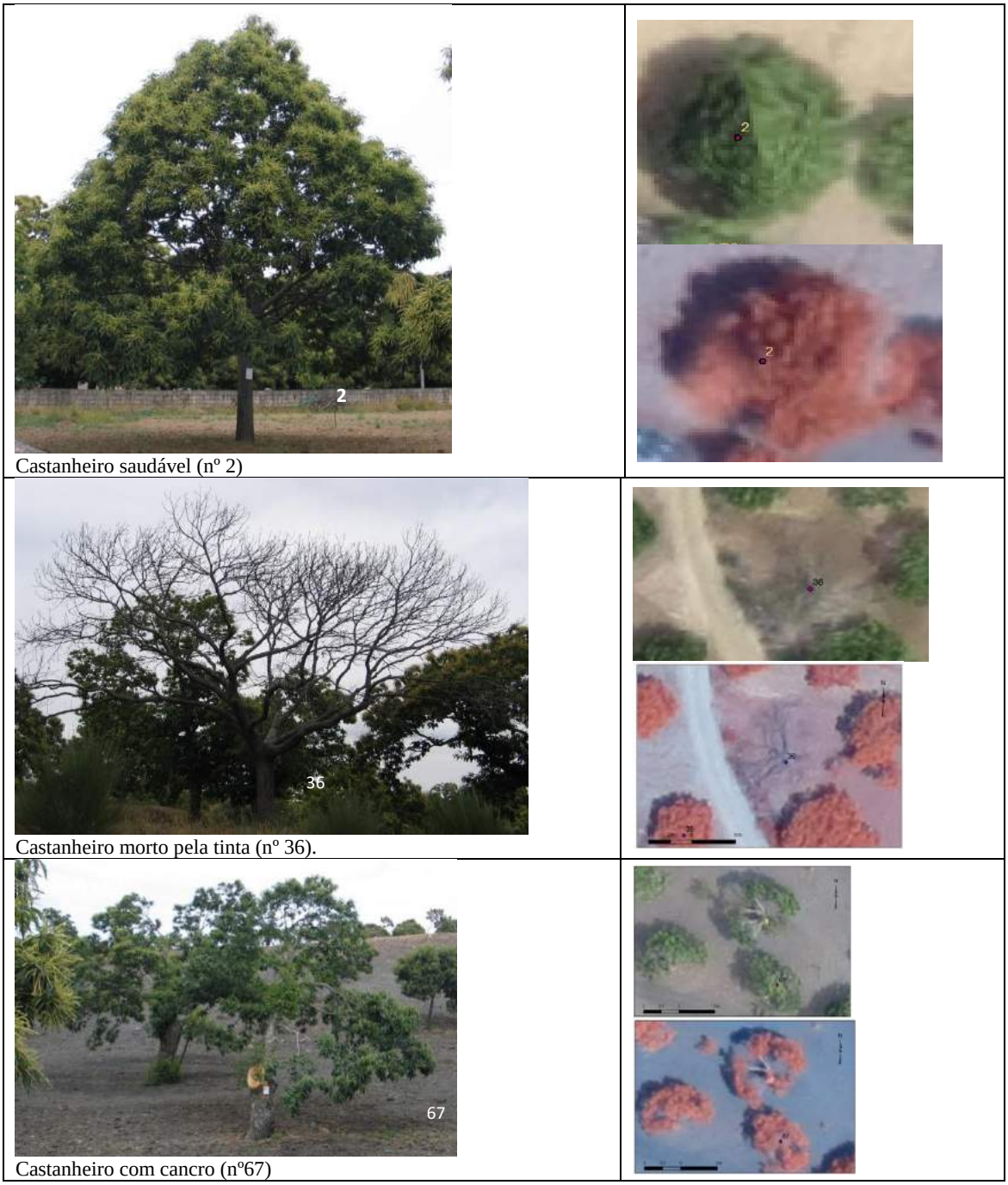
QP = (IC14-IC06+100)*0,1

Onde: QP = Qualidade do Povoamento (0 a 20)

IC14 = índice de coberto pelo castanheiro em 2014 (0 a 100)

IC06 = índice de coberto pelo castanheiro em 2006 (0 a 100)

Figura 1 – castanheiros com diferentes condições fitossanitárias e respetivo registo em fotografia aérea.



Castanheiro saudável (nº 2)

Castanheiro morto pela tinta (nº 36).

Castanheiro com cancro (nº67)

3. Resultados e Discussão

3.1. Índice de coberto e declínio do castanheiro

Pela análise dos resultados, constata-se que as imagens policromadas e de falsa cor podem ser usadas com fiabilidade e a baixo custo, na monitorização da sanidade do castanheiro. A sua utilização comparada com observações de campo possibilitou reconhecer o agravamento do declínio do castanheiro da Padrela de 2006 até 2014.

De acordo com a análise dos dados (Quadro 1) verifica-se que Índice de Coberto (IC) não sofreu diferenças significativas no período de 2006 a 2014 (26,5±3,5 e 26,0±2,8). A evolução de IC mostra que o valor da Qualidade dos Povoamentos (QP), numa escala de 0 a 20 é baixo (10.0±1.9). O Erro de Amostragem (SE%) de QP é reduzido, revelando que a variação de IC é baixa, tendo assim a mesma tendência em toda a área de estudo.

Contrariamente ao que seria desejável, em 56 % da área de estudo, correspondendo a 129 ha, o crescimento do copado foi inferior a 5% ou regrediu. Em algumas parcelas a diminuição do Índice de Coberto (IC) atingiu 65%. O declínio deveu-se à mortalidade ou à diminuição da dimensão das copas devido a agentes bióticos ou abióticos, pois é pouco evidente o corte voluntário pelo agricultor, para conversão por outras culturas.

No local avaliado, o interesse pela cultura é revelado nas novas plantações que contribuíram para um aumento de 11% (26 ha) da área de castanheiro. Contudo, a área de produção em termos globais sofreu uma regressão devido precisamente à diminuição da área do coberto pelas copas (AC%) que passou de 35% em 2006 para 30% em 2014.

Em resultado da diminuição da área relativa das copas a condição global dos soutos piorou em 129 ha, correspondendo a 56% da área de estudo. Houve contudo, povoamentos que melhoraram (21%), devendo-se ao crescimento de árvores saudáveis e ao aumento do IC pelas novas plantações.

Assim, muita da mortalidade observada é dispersa por todos os povoamentos, sendo também compensada por novas plantações nos mesmos soutos.

Quadro 1 - Evolução do índice de coberto e da área com castanheiro de 2006 a 2014.

	2006	**2014**	**2006 a 2014**		**SE** (%)
			(ha)	(%)	
(*IC*) **Índice de Coberto** (1 a 100)	26,5±3,5	26,0±2,8			13,3%; 10,7%
(*AC*) **Área de Coberto** (0.01*IC.T;ha)	61,2±8,1	60,1±6,4			13,3%; 10,7%
(*AC%*) **Área de Coberto** (AC/AT; %)	35%	30%			
(*QP*) **Qualidade dos Povoamentos** (0 a 20)		10.0±1.9			1.9%
Índice de coberto de novas plantações (*IC*)		12,5±3,1			25,1%
Povoamentos que pioraram (ha)			129	56%	
Povoamentos que melhoraram (ha)			48	21%	
Outras culturas (ha)			28	12%	
Novas plantações (ha)			26	11%	
(*AT*) **Área TOTAL de castanheiro** (ha)	**177**(77%)	**203** (88%)			
	TOTAL (T)		**231**	**100%**	

Outras culturas: áreas ardidas, campo de futebol, urbano, pastagens, arbustivas.

Conclusões

No inventário ou monitorização do declínio da floresta há vantagens quando se utiliza a deteção remota. As imagens aéreas são muito versáteis na observação de sintomas nas árvores por poderem usar várias regiões do espectro eletromagnético, que, associado à adequada resolução, possibilitam separar as copas com diferentes níveis de ataque. Na monitorização da sanidade do castanheiro com FAPF, há trabalhos desenvolvidos em Portugal (Abreu et al., 1993; Castro et al., 2010; Martins et al., 2007), Suíça (Bissegger & Heiniger, 1991) e Itália (Ambrosini et al., 1997). Os inventários deverão ter continuidade, para que a identificação das causas do declínio. Isso permite que avaliação do efeito das intervenções, para melhoria dos soutos, possa ser mais objetiva (Silva, 2001; Martins et al., 2001; 2007).

Neste estudo demonstrou-se a viabilidade de utilizar a aeronave *eBee SensFly* na monitorização da sanidade de áreas com castanheiro (*Castanea sativa*). Comparativamente com a fotografia aérea convencional, tem custos operacionais muito baixos, sendo até a qualidade e resolução das imagens superior à de voos nacionais. Para áreas superiores a 1000 ha, pode ser preferível a utilização de metodologias de amostragem com coberturas aéreas parcelares ou então o recurso a aeronaves tripuladas.

O estudo demonstrou que a utilização de séries fotográficas permite a análise objetiva do declínio dos soutos. O índice utilizado (percentagem de coberto de copas) reflete,

de forma adequada a evolução do estado das árvores, pois é independente da condição da luz e da condição momentânea do castanheiro que pode, por exemplo, recuperar de uma sintomatologia de clorose. Os valores de IC comparados com o trabalho de campo permitiram também verificar que o declínio tem múltiplas causas, sendo o cancro uma delas. Assim, a zonagem recorrendo à deteção remota permite inferir sobre um quadro global de declínio, mas os problemas fitossanitários específicos necessitam sempre de ser validados por registos de campo.

A evolução do IC permitiu concluir que apesar de existirem novas plantações estas não compensam o declínio. Neste caso, os povoamentos em regressão devido aos fatores bióticos e abióticos atingem 56% (129 ha). As perdas que nalguns soutos chegam a 65%, refletem-se em perdas económicas.

Em última análises, verificamos que apesar do aumento da área com novos soutos (11%), pela reconversão de solos com matos, pastagens ou outras culturas agrícolas e das novas plantações em povoamentos, para repor a mortalidade do castanheiro, a área de produção em termos globais até sofreu uma regressão, pois a área de coberto pelas copas passou de 35% em 2006 para 30% em 2014.

Considerando que estes dados poderão ter replicação noutros locais, deverá existir uma cuidada reflexão, pois apesar dos esforços e investimentos nesta cultura, verifica-se que está a sofrer uma regressão continuada, cujas causas merecem ser melhor compreendidas, para que as futuras intervenções sejam mais assertivas e eficazes.

Referências Bibliográficas

Abreu, C. G., Marques, C. P., Varejão, E. e Cardoso, A. O. (1993). Aplicação da fotografia policromada de infravermelho na deteção da doença da tinta do castanheiro. Cienc. Biol. Ecol. Syst. 13 (1/2), 20.

Ambrosini, I., Gherardi, L. Viti, M. Maresi, G. Turchetti, T. (1997). Monitoring diseases of chestnut stands by small format aerial photography. GeocartoInternacional 12 (3), 41-46.

Bissegger, M. & Heiniger, U. (1991). Chestnut blight (Cryphonectria parasitica) north of the Swiss alps. Eur. J. For. Path. 21, 250-252.

Castro, J., Azevedo, J. C. & Martins, L. (2010). Temporal analysis of sweet chestnut decline in northeastern Portugal using geostatistical tools. Acta Horticulturae 866, 405-410.

Grente, J. & S. Sauret. (1969). L'hypovirulence exclusive, phénomène original en pathologie végétale. C. R. Hebd. Seances Acad. Sci., Ser D. Sci Nat 268, 2347-2350.

Martins, L. M., Lufinha, M. I., Marques, C. P., Abreu, C. G. (2001). Small format aerial photography to assess chestnut ink disease. For. Snow Landsc. Res., 76 (3), 357-360.

Martins, L.M., Castro, J. P. F., Macedo, W., Marques, C. P., Abreu, C. G. (2007). Assessment of the spread of Chestnut Ink Disease using remote sensing and geostatistical methods. European Journal of Plant Pathology 119 (2), 159-164.

Muge, A. J. S. (1990). Elementos de geoestatística. Lisboa, IST (pub. Interna). 63p.

Sensefly. (2014)(website). Acedido em http://spatialtechnologies.ca/sensefly-ebee.html.

Silva, M. I. L. (2001). Monitorização da doença da tinta do castanheiro com fotografias aéreas de pequeno formato, Rel. Final de Estágio de Eng. Florestal, UTAD, Vila Real. 103p.

Soares, A. (2000). Geoestatística para as ciências da terra e do ambiente. Lisboa,IST. 175p.

Autores

Luís M Martins
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro; Centre for the Research and Technology of Agro-Environmental and Biological Sciences
lmartins@utad.pt

João P Castro
Instituto Politécnico de Bragança, CIMO-ESAB
jpmc@ipb.pt

Ricardo Bento
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro; CSIG, INESC TEC/UTAD - INESC Technology and Science (formerly INESC Porto)
rbento@utad.pt

Joaquim J Sousa
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro; CSIG, INESC TEC/UTAD - INESC Technology and Science (formerly INESC Porto)
jjsousa@utad.pt

VARIAÇÃO DA SOBREPOSIÇÃO LONGITUDINAL E LATERAL ENTRE IMAGENS OBTIDAS POR UAV E UTILIZAÇÃO DE GCP NA MELHORIA DA QUALIDADE DOS DADOS

Marcelo Ribeiro
Rossana Estanqueiro
Carlos Pereira da Silva
José António Tenedório

Resumo

Nos últimos anos tem-se assistido a um crescente reconhecimento da utilidade, usabilidade e importância que os UAV (Unmanned Aerial Vehicles) assumem na aquisição de dados geoespaciais de baixo custo, elevado detalhe e intervalo temporal muito reduzido. Os UAV possuem um enorme potencial na obtenção de produtos como o MDS (Modelo Digital de Superfície), o MDT (Modelo Digital de Terreno), Ortofotomapas ou curvas de nível, dados que suportam posteriormente a criação de nova informação geográfica. No entanto, esta informação apenas pode ser considerada com valor caso respeite os princípios de rigor, qualidade e exactidão posicional exigidos às restantes plataformas de obtenção de dados.

A comunicação centra-se em dois desafios que decorrem dos levantamentos por UAV quanto à qualidade e exactidão posicional para a produção de informação geográfica. É realizada uma análise a algumas das variáveis que influenciam estes resultados e produtos derivados, baseada na utilização de GCP (Ground Control Points) e na variação da sobreposição longitudinal e lateral entre imagens de dois voos distintos realizados em Almada (praia da Fonte da Telha).

Para controlo de qualidade desta informação geográfica, para além de pontos levantados no terreno, foi ainda utilizado o levantamento LiDAR (2011) da DGT (Direção-Geral do Território).

Os resultados revelam a importância dos GCP na melhoria muito significativa da exactidão posicional dos produtos derivados dos voos realizados. Aponta-se, ainda, para uma relação causa-efeito entre a qualidade dos produtos, em particular do ortofotomapa, e a sobreposição longitudinal e lateral com que as imagens aéreas são obtidas. Este facto, evidencia a importância do planeamento do voo bem como dos métodos ideais a utilizar para a aquisição de informação com a qualidade desejada, a partir das fotografias adquiridas por UAV.

Palavras-chave: Dados UAV; Qualidade; Informação Geográfica; *Ground Control Points*; Precisão.

1. Introdução

Os UAV (*Unmanned Aerial Vehicles*), usualmente designados de VANT (Veículos aéreos não Tripulados), ou simplesmente Drones, a partir do momento em que se tornaram acessíveis para fins civis, proporcionaram um tremendo crescimento de novas metodologias de extração de informação geográfica. A maioria destas novas metodologias baseia-se nos conhecimentos e tecnologias anteriormente existentes como é o caso da fotogrametria e do LiDAR (*Light Detection And Ranging*) (Colomina & Molina, 2014).

Esta tecnologia permite-nos uma relação óptima entre o custo e o benefício do levantamento, sendo ainda determinante o tempo reduzido entre o momento do levantamento em campo e a geração do produto final, bem como a possibilidade de redução do intervalo temporal entre levamentos (Colomina & Molina, 2014; Haala, Cramer & Rothermel, 2013).

A utilização do LiDAR tem sido preterida em relação à utilização de câmaras fotográficas convencionais, uma vez que possui um peso superior e consome mais energia, o que diminui a autonomia do VANT e consequentemente a área levantada por cada bateria (Küng et al., 2011; Leberl et al., 2010; Leitão, Moy de Vitry, Scheidegger & Rieckermann, 2015). No entanto, a utilização destas câmaras pressupõe alguns conhecimentos base de fotogrametria e consequentemente do planeamento do voo a executar (Harwin, Lucieer & Osborn, 2015; Ruzgienė, Berteška, Gečyte, Jakubauskienė & Aksamitauskas, 2015).

A variação da sobreposição longitudinal e lateral das fotografias de um levantamento, representa uma variável importante que pode influenciar a qualidade e a precisão dos produtos gerados (Dandois, Olano & Ellis, 2015).

A partir de modelos digitais de terreno com exactidões posicionais aceitáveis, é possível efectuar cálculos de diferenças de volumes passíveis de posterior interpretação. Desta forma, é necessário que os modelos cumpram à priori certos requisitos de precisão posicional.

Assim, tornam-se exequíveis observações com maior detalhe e inferiores intervalos de tempo que podem desempenhar um papel importantíssimo por exemplo no estudo da dinâmica dos sistemas de praia e dunas, distinguindo-se as áreas consideradas estabilizadas das áreas com uma forte dinâmica de alteração (Gonçalves & Henriques, 2015; Perez, Magalhães, Gonçalves, & Bastos, 2010).

2. Objectivos

Com este estudo pretende-se entender de que forma a variação da sobreposição longitudinal e lateral pode influenciar a qualidade da informação gerada, em dois produtos distintos:

a) No ortofotomapa, tentando eliminar o ruído que é usual nos levantamentos efectuados por UAV;
b) No Modelo Digital de Terreno (MDT), procurando a geração de um produto com uma exactidão altimétrica elevada, de forma a poder efectuar comparações entre produtos.

Para cumprir os objectivos, foram utilizados dois voos UAV, bem como Ground Control Points (GCP) também designados de Pontos Fotogramétricos, levantados por GPS RTK e ainda um levantamento LiDAR, propriedade da Direcção Geral do Território (DGT).

3. Dados e Métodos

3.1. Área de Estudo e Informação Geográfica

A área de estudo é a Praia da Fonte da Telha em Almada. Nesta foram executados dois voos UAV, um a Outubro de 2014 (UAV1) e outro em Janeiro de 2016 (UAV2). Foi ainda disponibilizado pela DGT um levantamento LiDAR referente a Novembro/Dezembro de 2011.

No Quadro 1 apresentam-se algumas das principais características dos levantamentos efectuados, entre as quais se destaca a diferença na sobreposição longitudinal/lateral utilizada em ambos os voos. De salientar ainda que para o primeiro levantamento (UAV1) foram executados dois voos: um bloco a Norte e um bloco a Sul. Já o segundo levantamento (UAV2) é constituído por dois voos, executados a diferentes alturas do ponto de descolagem, efetuando-se um a Oeste a cerca de 120 metros de altura e outro a Este a cerca de 140 metros, com duas fiadas sobrepostas entre os dois voos.

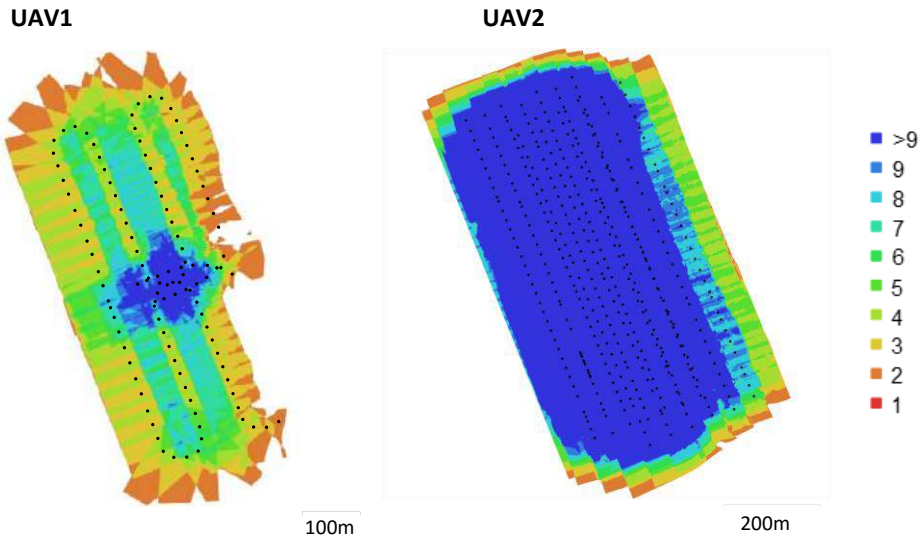
Esta alteração de características no plano de voo deveu-se à tentativa de adaptar o plano à rugosidade do terreno, no qual existe uma alteração topográfica acentuada entre a cota mais alta e o oceano, devido à presença de uma arriba.

Quadro 1 – Características dos voos

Parâmetros	Levantamento	
	UAV1	UAV2
Data do Voo	27/10/2014	15/01/2016
Números de Fotografias	124	432
Altura de voo	89,5 m	124 m
Resolução Espacial	2,8 cm	4,8 cm
Área coberta	0,22km^2	0,44km^2
Sobreposição Longitudinal/Lateral	70%/30%	80%/80%

A sobreposição longitudinal determina a percentagem de área comum entre duas fotografias contíguas na direcção do voo, enquanto a lateral representa a percentagem de sobreposição entre duas fiadas consecutivas. No caso dos levantamentos UAV1 e UAV2, essa diferença de percentagens resulta numa disparidade de fotografias sobrepostas em cada local da área de estudo. Em UAV1 apenas a área de intersecção entre o voo Norte e o voo Sul apresenta uma sobreposição de pelo menos 9 fotografias. Já no levantamento UAV2 a maioria da área de estudo apresenta sobreposições de pelo menos 9 fotografia, resultando numa projecção muito superior de cada objecto nas fotografias (Figura 1).

Figura 1 – Localização e sobreposição de fotografias



3.2. Métodos e Processamento dos Dados

Dos levantamentos efectuados resultaram fotografias RGB, dos quais se rejeitaram as que não possuíam qualidade suficiente, por falta de nitidez, blur ou um ângulo em relação ao solo demasiado oblíquo.

Para o processamento das fotografias, e consequente geração dos produtos, foi utilizado o software *Agisoft Phtotoscan 1.2.2*, processamento esse que pode ser resumido nas principais etapas seguintes:

a) Orientação das fotografias (*Align photos*): procura pontos homólogos entre as fotografias, criando uma primeira nuvem de pontos esparsa, que permite o cálculo das inclinações e das posições relativas das fotografias. Após esta fase poder-se-á colocar os *Ground Control Points*, identificando-os nas fotografias.
b) Elaboração da nuvem de pontos: a partir da calibração das fotografias e da nuvem de pontos criada na etapa anterior, o *software* cria uma nuvem de pontos que pode variar a sua densidade de acordo com os parâmetros selecionados, e que permite posteriormente uma construção de uma malha poligonal representativa da área coberta.
c) Criação do Modelo Digital de Superfície (MDS): a partir da malha poligonal ou da nuvem de pontos, podendo ainda tornar-se no Modelo Digital de Terreno (MDT) caso se filtre os pontos da nuvem de pontos que correspondam a edificado ou vegetação.
d) Criação do ortofotomapa tendo por base o MDS ou a malha poligonal.

Estas etapas foram seguidas para os dois levantamentos executados, apresentando tempos de processamentos distintos, face à diferença de área coberta, números de fotografias e de sobreposição. O aumento destas variáveis leva a um incremento de tempo gasto em processamento (Quadro 2). No entanto, a relação custo-benefício entre despender mais tempo para processamento, que já por si é bastante reduzido, e aumentar a qualidade e o rigor da informação geográfica criada, compensa largamente.

Quadro 2 – Tempos de processamento dos levantamentos

Procedimentos	**Parâmetros/Tempo de processamento**	
	UAV1	**UAV2**
Orientação das fotografias	Highest/9 min.	Highest/ 69 min.
Elaboração da nuvem de pontos	High/8 min	High/34 min.
Construção da malha poligonal	Dense/5 min.	Dense/ 3 min.
Criação do MDE	4 min.	6 min.
Criação do ortofotomapa	25 min.	32 min.
TOTAL	**51 min.**	**144 min.**

3.3. *Ground Control Points* e Pontos de Verificação

Mediante o estudo ou finalidade a que um produto é submetido, pode ser necessário produzir informação geográfica com erros posicionais de centímetros.

O facto de um levantamento apresentar erros planimétricos e altimétricos na ordem dos cinco a dez metros utilizando apenas a calibração e derivação das localizações das fotografias, revela a importância que possuem os Ground Control Points (GCP) neste processo.

Estes, permitem a criação de modelos digitais de elevação que possuam uma exactidão posicional ideal para o estudo da dinâmica dos sistemas de praia e dunas.

Desta forma, foi utilizado um GPS RTK Trimble R6, que apresenta erros na ordem dos 15mm+0,5 ppm de altimetria, para levantar os GCP utilizados bem como recolher seis pontos de verificação altimétrica.

Estes pontos foram distribuídos pela área de estudo (Figura 2), totalizando um conjunto de 17 GCP e 6 Pontos de verificação.

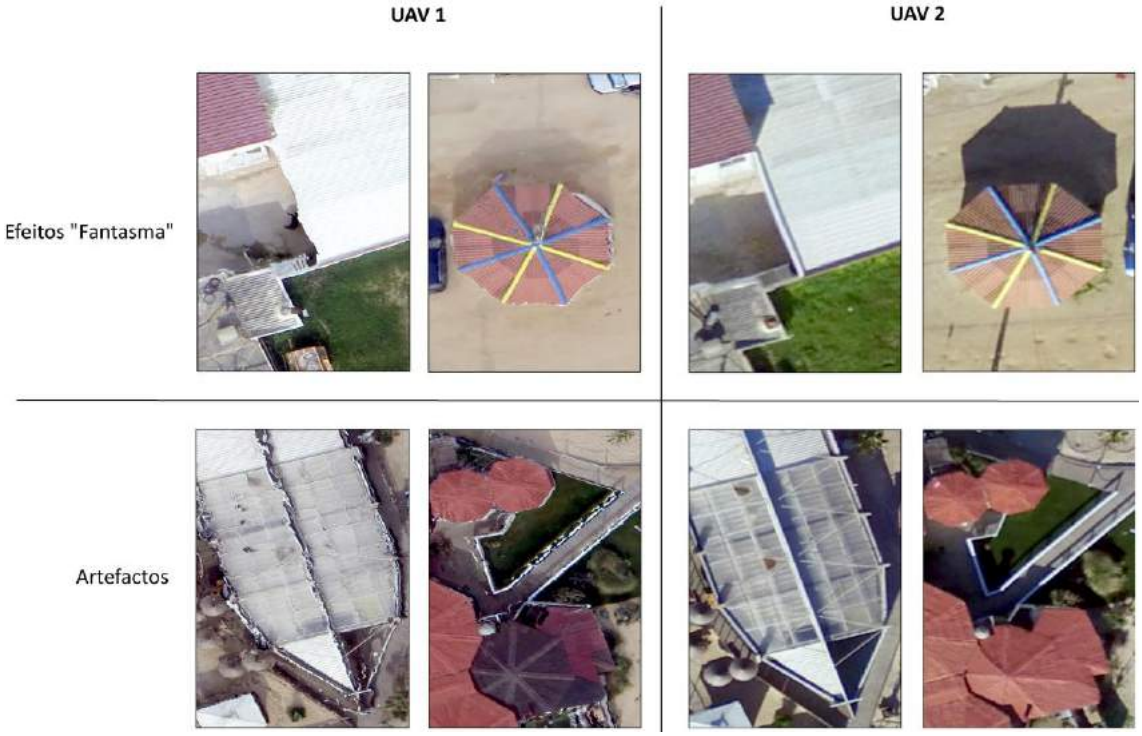
Figura 2 – Localização dos Pontos de apoio e de verificação utilizados

4. Análise de resultados

Os resultados obtidos nos dois levantamentos foram um ortofotomapa, um modelo digital de superfície e um modelo digital de terreno. Devido às diferenças no planeamento de voo bem como dos produtos gerados, surgiu a necessidade de realizar uma comparação visual dos ortofotomapas resultantes bem como uma comparação entre os pontos de verificação adquiridos e os levantamentos executados e cedidos (LiDAR- DGT).

Quanto ao ortofotomapa fica evidenciado a partir das amostras presentes na Figura 3, que o levantamento UAV2 elimina praticamente todos os efeitos "*fantasma*" e os artefactos que costumam surgir no edificado e que estão bastante presentes no levantamento UAV1. Desta forma, demonstra-se que um produto gerado a partir de fotografias de UAV, não é necessariamente sinónimo de erros de distorção dos objectos e de ruido visual excessivo caso os parâmetros de voo sejam "optimizados".

Figura 3 – Comparação de ortofotomapas dos levantamentos de UAV



Com recurso ao software Arcmap, foi calculada a diferença entre a cota dos pontos de verificação e a cota que os distintos MDT apresentaram. Esta diferença permitiu o cálculo de RMSE (Erro médio Quadrático) que representa o desvio médio dos produtos em relação aos pontos de verificação utilizados (Quadro 3).

Quadro 3 – Diferença de altimetria entre os pontos e os Modelos Digitais de Terreno

Pontos de Verificação	Diferença entre os MDT e os Pontos de Verificação			
	Cota do Ponto	UAV1	UAV2	LIDAR
Ponto 1	10,737	0,186	0,0002	-0,237
Ponto 2	9,012	0,102	0,064	-0,347
Ponto 3	12,538	0,056	0,091	-0,055
Ponto 4	9,274	0,059	0,120	-0,101
Ponto 5	12,912	-0,368	0,105	-0,106
Ponto 6	9,551	-0,375	0,091	-0,097
Erro médio Quadrático	**-**	**0,181**	**0,068**	**0,145**

Os resultados demonstram que o levantamento UAV2 é o que mais se aproxima dos pontos de verificação, seguindo-se o LiDAR e o levantamento UAV2. Estes resultados aparentam apontar para uma relação directa entre o aumento de sobreposição e o aumento de qualidade e rigor dos produtos gerados.

5. Considerações

A utilização dos UAV na geração de informação geográfica muito detalhada, apresenta-se como uma solução viável e de baixo custo para os estudos das áreas costeiras.

No entanto, é necessário realizar uma análise cuidadosa à rugosidade do terreno na área de estudo, para que o planeamento de voo seja o mais adequado para o levantamento a executar e que proporcione a criação de produtos rigorosos e com qualidade.

Os GCP possuem uma importância vital no incremento de exactidão posicional aos MDE criados, assim como a sobreposição utilizada demonstra ter uma influência não só no rigor mas também na qualidade visual do ortofotomapa resultante.

Apesar de o último levantamento (UAV2) permitir resultados muito satisfatórios, continua a ser necessária uma maior investigação quanto à sobreposição longitudinal e lateral ideais, uma vez que não é plausível levantar extensas áreas com sobreposições laterais de 80%.

Referências Bibliográficas

Colomina, I., & Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 92, 79–97.

Dandois, J. P., Olano, M. & Ellis, E. C. (2015). Optimal altitude, overlap, and weather conditions for computer vision uav estimates of forest structure. Remote Sensing, 7(10), 13895–13920.

Gonçalves, J. A. & Henriques, R. (2015). UAV photogrammetry for topographic monitoring of coastal areas. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 104, 101–111. http://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.02.009

Haala, N., Cramer, M. & Rothermel, M. (2013). Quality of 3D Point Clouds From Highly Overlapping Uav Imagery. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XL(September), 4–6.

Harwin, S., Lucieer, A. & Osborn, J. (2015). The impact of the calibration method on the accuracy of point clouds derived using unmanned aerial vehicle multi-view stereopsis. Remote Sensing, 7(9), 11933–11953.

Küng, O., Strecha, C., Beyeler, A., Zufferey, J.-C., Floreano, D., Fua, P. & Gervaix, F. (2011). the Accuracy of Automatic Photogrammetric Techniques on Ultra-Light UAV Imagery. ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXVIII-1/(September), 125–130.

Leberl, F., Irschara, A., Pock, T., Meixner, P., Gruber, M., Scholz, S. & Wiechert, A. (2010). Point Clouds: Lidar versus 3D Vision. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 76(10), 1123–1134.

Leitão, J. P., Moy de Vitry, M., Scheidegger, A., & Rieckermann, J. (2015). Assessing the quality of Digital Elevation Models obtained from mini-Unmanned Aerial Vehicles for overland flow modelling in urban areas. Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 12(6), 5629–5670.

Perez, B., Magalhães, A., Gonçalves, J. A., & Bastos, L. (2010). Monitoring of beaches and sand dunes using digital aerial photography with direct georeferencing. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives, 38, 228–232.

Ruzgienė, B., Berteška, T., Gečyte, S., Jakubauskienė, E., & Aksamitauskas, V. Č. (2015). The surface modelling based on UAV Photogrammetry and qualitative estimation. Measurement, 73, 619–627.

Agradecimentos

Centro Interdisciplinar de Ciências Sociais - Faculdade de Ciências Sociais e Humanas - Universidade Nova de Lisboa (CICS.NOVA.FCSH/UNL), UID/SOC/04647/2013, com o apoio financeiro da FCT/MEC através de fundos Nacionais e quando aplicável co-financiado pelo FEDER no Âmbito do acordo de parceria PT2020.

GEODRONE: pelo voo experimental realizado em 2014, que permitiu entender melhor os desafios inerentes à extracção de informação geográfica de elevada resolução espacial.

Direção-Geral do Território (DGT): pela cedência da informação geográfica referente a dados LiDAR de 2011.

Autores

Marcelo Ribeiro
Centro Interdisciplinar de Ciências Sociais CICS.NOVA - Faculdade de Ciências Sociais e Humanas - Universidade Nova de Lisboa (CICS.NOVA.FCSH/UNL) Avenida de Berna, 26 C, 1069-061, Lisboa, Portugal
marceloribeiro.augusto@gmail.com

Rossana Estanqueiro
Centro Interdisciplinar de Ciências Sociais CICS.NOVA - Faculdade de Ciências Sociais e Humanas - Universidade Nova de Lisboa (CICS.NOVA.FCSH/UNL) Avenida de Berna, 26 C, 1069-061, Lisboa, Portugal
rossana.estanqueiro@fcsh.unl.pt

Carlos Pereira da Silva
Centro Interdisciplinar de Ciências Sociais CICS.NOVA - Faculdade de Ciências Sociais e Humanas - Universidade Nova de Lisboa (CICS.NOVA.FCSH/UNL) Avenida de Berna, 26 C, 1069-061, Lisboa, Portugal
cpsilva@fcsh.unl.pt

José António Tenedório
Centro Interdisciplinar de Ciências Sociais CICS.NOVA - Faculdade de Ciências Sociais e Humanas - Universidade Nova de Lisboa (CICS.NOVA.FCSH/UNL) Avenida de Berna, 26 C, 1069-061, Lisboa, Portugal
ja.tenedório@fcsh.unl.pt

INDIVIDUAL TREE CROWN APPROACH TO ESTIMATE ABOVEGROUND BIOMASS USING UAV PHOTOGRAMMETRIC POINT CLOUDS IN *PINUS PINEA* STANDS IN PORTUGAL

Juan Guerra-Hernández
Sonia Pacheco Faias
Alexandra Correia
Alexandre Sarmento
João Silva
Luís Fontes
Margarida Tomé
Eduardo González-Ferreiro
Ramon Diaz-Varela

Abstract

A low-cost methodology based on unmanned aerial vehicle (UAV) imagery for estimating aboveground biomass (wa) at individual tree level was developed and tested in Pinus pinea L. stands. The goal was to calculate wa as one of the main characteristics on ecosystem functioning in P. pinea forests. The results showed that wa may be estimated from high resolution imagery for a cost-effective monitoring of P. pinea stands under different treatments. Remote sensing data acquired from UAV can support modern forest inventories for P. pinea stands as i) auxiliary information to improve the precision and to decrease the cost of inventory estimates, ii) information for forest variable mapping at tree level, and iii) auxiliary information required as single-tree level inputs for growth and cone production models.

1. Introduction

Characterization of forest biomass is necessary to improve the knowledge regarding forest ecosystem processes and to support management decisions for sustainable forest productivity in a global change perspective.

The recent development of airborne high-resolution optical systems and software for image matching, offers options for efficient forest mapping (Bohlin et al., 2012; Lisein et al., 2013). Structure-from-motion (SfM) techniques allow to extract 3D-information of UAV flights, providing 3D Digital Surface Model (DSM) on the basis of feature matches within overlapping images (Fritz et al., 2013; Díaz-Varela et el., 2015). For

forestry applications, a canopy height model (CHM) consisting of top canopy height for each pixel is constructed from the difference between the DSM and digital terrain model (DTM) (Gobakken et al., 2014; Puliti et al., 2015; Guerra-Hernández et al., under revision)

The ongoing research explores the performance of high spatial resolution UAV imagery to estimate individual aboveground biomass (w_a) in a trial established in a *P. pinea* plantation with different irrigation and fertilization treatments. An individual tree crown approach (ITC) was used to map w_a based on a single tree level allometric biomass model.

2. Materials

This study was conducted in the private forest of 'Herdade da Esteveira', close to Alcochete in the center of Portugal (Guerra-Hernandez et al., under revision). We measured *d* (diameter breast height) of every tree with a caliper and *h* (height) and *cw* (crown width) to the nearest decimetre with a Vertex III hypsometer in a subsample of 52 trees (Table 1).

Table 1. Summarised data from the sample of plots

Plot	N stems	Diameter at breast height (cm)			Total height (m)		
		mean	min	max	mean	min	max
1	19	42.69	31.15	53.60	10.41	8.70	12.10
2	16	40.63	30.90	49.35	9.76	7.00	12.00
3	17	42.52	36.40	48.45	9.81	8.20	11.90
Plot	**N stems**	**crown width (m)**			**Field wa (kg)**		
1	19	10.88	8.62	13.66	881.89	383.80	1599.8
2	16	9.95	6.74	12.83	755.43	334.96	1168.21
3	17	10.38	8.71	12.64	805.62	555.1	1133.65

An RGB camera and the fixed-wing UAV SenseFly eBee (Fig. 1a) were used in the airborne campaigns. The flight planning and monitoring software eMotion 2 V. 2.4.2 was used to determine the main flight parameters (office-planning phase) (Fig. 1b). In the SfM image reconstruction process, a set of 190 images were used to generate each orthomosaic and DSM for the trial using the software Pix4D (Fig. 3c). For further details of the procedure used to obtain 3D models in the photogrammetric processing, see the steps outlined in Guerra-Hernandez et al. (under revision).

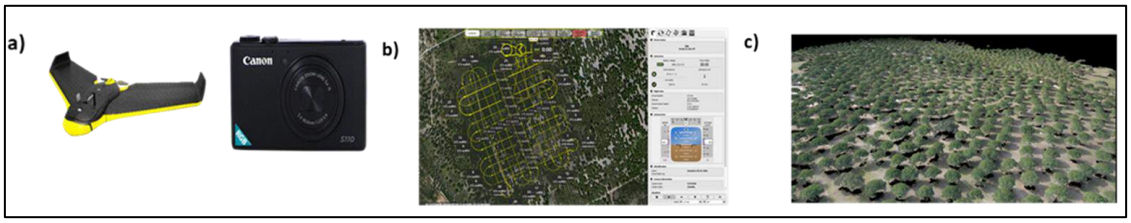


Figure 1 a) Camara and UAV b) Flight design c) Example of DSM from the photogrammetric processing of the UAV imagery

Individual tree crown approaches were conducted with the objective of estimating w_a from UAV imagery. Images were processed to obtain DSM. A CHM was obtained by subtracting the DTM from the DSM and eventually tree position, *h*, and *cw* was retrieved (Guerra-Hernandez et al., under revision) from a modified version of the mixed pixel- and region-based algorithm designed by González-Ferreiro et al. (2013).

3. Methods

First, we predicted *d* by using UAV-derived measurements (h_{UAV} and cw_{UAV}) as independent variables. Second, UAV-derived biomass (w_a_*UAV)* was predicted for the 52 single trees included in the trial subsample by using existing equations (Correia et al., 2010) and the UAV-estimated d and h_{UAV} as predictors. Finally, biomass of single trees was estimated with the existing biomass equations using field measured *d* and *h* (w_a_*Field*). Model evaluation consisted in the comparison of w_a_*UAV* and with w_a_*Field*. It is important to note that it was out of the scope of this study to conduct destructive harvestings so we do not have real tree biomass data from the experimental trial for comparison with the field- and UAV-based estimates.

Finally, a local-scale, individual-tree biomass map was generated at extent of UAV coverage.

4. Results

The linear regression model using UAV-derived biomass through UAV-derived dbh (w_a_*UAV)* explained 77% of the variance associated with field-derived aboveground biomass (w_a_*Field)* for the trial subsample of 52 trees, with a root mean square error (RMSE) of 119.14 kg (Fig 2). Figure 3 shows individual-tree biomass map generated at extent of UAV coverage.

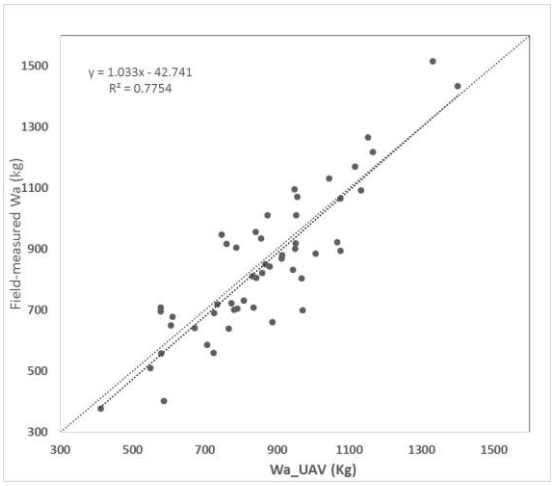


Fig2 UAV Wa biomass predicted through d (*wa_UAV*) vs. field-measured biomass(*wa_Field*)

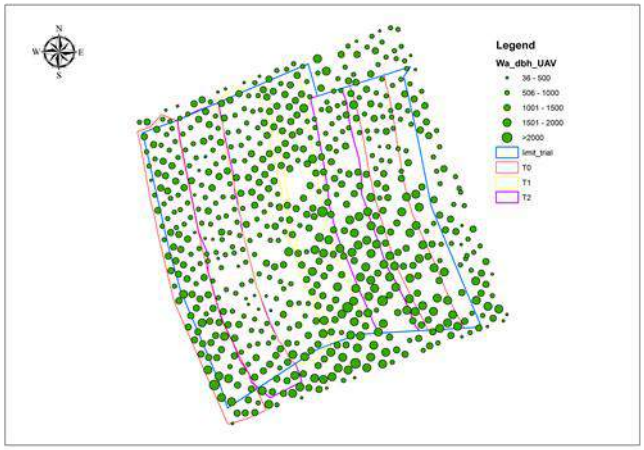


Figure 3. Local-scale biomass map derived with the single tree approach using UAV imagery in the trial

5. Discussion and conclusions

This study shows that *P. pinea* aboveground biomass can be estimated from high resolution UAV imagery at tree level. We concluded that the equation based on diameter derived from UAV field measurements of height and crown diameter has a stable model predicting power. However, these results are preliminary, so that there is the potential to refine the allometric relationship between total aboveground biomass and crown-derived variables either by harvesting more trees or through improvements in the UAV imagery processing. Mapping aboveground biomass using these techniques proved to be a promising tool to monitor, in a cost effective way, the forest carbon stock, forest productivity and ultimately help the decision makers to take sustainable management decisions regarding *P. pinea* forests.

References

Bohlin, J., Wallerman, J. & Fransson, J. E. (2012). Forest variable estimation using photogrammetric matching of digital aerial images in combination with a high-resolution DEM. Scandinavian Journal of Forest Research, 27(7), 692–699.

Correia, A. C., Tome, M., Pacheco, C. A., Faias, S., Dias, A. C., Freire, J., Pereira, J. S. (2010). Biomass allometry and carbon factors for a Mediterranean pine (Pinus pinea L.) in Portugal. Forest Systems, 19, 418–433.

Díaz-Varela, R. A., de la Rosa, R., León, L., Zarco-Tejada, P. J. (2015). High-Resolution Airborne UAV Imagery to Assess Olive Tree Crown Parameters Using 3D Photo Reconstruction: Application in Breeding Trials. Remote Sensing, 7(4), 4213–4232.

Fritz, A., Kattenborn, T., Koch, B. (2013). UAV-based photogrammetric point clouds—Tree stem mapping in open stands in comparison to terrestrial laser scanner point clouds. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci, 40, 141–146.

Guerra-Hernández J., González Ferreiro E., Sarmento A., Silva J., Nunes A., Correia A., Fontes L., Tomé M, Diaz-Varela (2016). Using high resolution UAV imagery to estimate tree variables in Pinus pinea plantation in Portugal. Forest Systems.

Gobakken, T., Bollandsås, O. M., Næsset, E. (2015). Comparing biophysical forest characteristics estimated from photogrammetric matching of aerial images and airborne laser scanning data. Scandinavian Journal of Forest Research, 30(1), 73-86.

González-Ferreiro, E. M., Miranda, D., Barreiro-Fernandez, L., Bujan, S., Garcia-Gutierrez, J., Dieguez-Aranda, U. (2013). Modelling stand biomass fractions in Galician Eucalyptus globulus plantations by use of different LiDAR pulse densities. Forest Systems, 22(3), 510–525.

Lisein, J., Pierrot-Deseilligny, M., Bonnet, S., & Lejeune, P. (2013). A photogrammetric workflow for the creation of a forest canopy height model from small unmanned aerial system imagery. Forests, 4(4), 922–944.

Puliti, S., Ørka, H. O., Gobakken, T., Næsset, E. (2015). Inventory of Small Forest Areas Using an Unmanned Aerial System. Remote Sensing, 7(8), 9632–9654.

Acknowledgements

Thanks to: *i*) the Portuguese Science Foundation (SFRH/BD/52408/2013); Pinea project (PIRSES-GA-2010-269257).

Autores

Juan Guerra Hernández
Forest Research Centre, School of Agriculture, University of Lisbon, Instituto Superior de Agronomía (ISA), Tapada da Ajuda, 1349-017, Lisboa, Portugal
juanguerra@isa.utl.pt

Sonia Faias
Forest Research Centre, School of Agriculture, University of Lisbon, Instituto Superior de Agronomía (ISA), Tapada da Ajuda, 1349-017, Lisboa, Portugal
soniapf@isa.utl.pt…

Alexandra Correia
Forest Research Centre, School of Agriculture, University of Lisbon, Instituto Superior de Agronomía (ISA), Tapada da Ajuda, 1349-017, Lisboa, Portugal
alexandrac@isa.utl.pt

Alexandro Sarmento
Terradrone. INOVISA - Pólo 1 Sala 8 - Tapada da Ajuda, 1349-017,Lisboa (Portugal)
alexandre.sarmento@terradrone.pt

João Silva
Forest Research Centre, School of Agriculture, University of Lisbon, Instituto Superior de Agronomía (ISA), Tapada da Ajuda, 1349-017, Lisboa, Portugal
jepsilva@isa.ulisboa.pt

Luis Fontes
Forest Research Centre, School of Agriculture, University of Lisbon, Instituto Superior de Agronomía (ISA), Tapada da Ajuda, 1349-017, Lisboa, Portugal
Luis.fontes@isa.ulisboa.pt

Margarida Tome
Forest Research Centre, School of Agriculture, University of Lisbon, Instituto Superior de Agronomía (ISA), Tapada da Ajuda, 1349-017, Lisboa, Portugal
magatome@isa.ulisboa.pt

Eduardo Gonzalez Ferreiro
Sustainable Forest Management Unit (UXFS) - Department of Agroforestry Engineering, University of Santiago de Compostela, C/ Benigno Ledo s/n 27002, Lugo, Spain.
Department of Forest Ecosystems and Society, Oregon State University, 321 Richardson Hall, Corvallis, Oregon O-97331, United States.
Laboratory of Applications of Remote Sensing in Ecology (LARSE), USDA Forest Service – Pacific Northwest Research Station, 3200 SW Jefferson Way, Corvallis, Oregon O-97331, United States.
edu.g.ferreiro@gmail.com

Ramon Diaz Varela
Biodiversity and Applied Botany Unit (GI BIOAPLIC 1809). Departament of Botany. University of Santiago de Compostela, Escuela Politécnica Superior, R/Benigno Ledo, Campus Universitario, 27002 Lugo, Spain
ramon.diaz@usc.es

DRONE2MAP FOR ARCGIS: O CONTEXTO DOS DRONES EM AMBIENTES OPERACIONAIS SIG

Edgar Barreira
Rodrigo Silva
António Marques

Resumo

A tecnologia associada ao uso de drones vem trazer aos modelos de negócio uma abordagem disruptiva, que implicará em novas necessidades aos mercados mais tradicionais. A Esri pode ajudar as Organizações a potenciar a tecnologia já existente e associá-la às necessidades do uso de drones. Com o Drone2Map for ArcGIS pretende-se que os drones sejam mais que meros equipamentos para recolha de imagens, incluindo-os numa plataforma tecnológica SIG. Os dados obtidos pelos drones são, com este novo produto da Esri, a ser rapidamente transformados em informação útil para a decisão. A criação de imagens aéreas ortoretificadas, nuvens de pontos e o processamento 3D passa a ser feito em minutos, em vez de dias. A fácil partilha destes produtos de informação na plataforma ArcGIS para fins de análise e visualização permite apoiar os decisores e gestores. Neste artigo aborda-se a vantagem obtida pela utilização do Drone2Map para fins de protecção dos recursos florestais.

Palavras-chave: drone2map ; Esri ; SIG

1. Introdução

Os Veículos Aéreos não tripulados (VANT) são equipamentos sem piloto e podem ser pilotados remotamente ou voar de forma autónoma. Estes veículos aéreos com motor e não-tripulados, utilizam forças aerodinâmicas para sustentação, podem operar de forma autónoma ou ser pilotados remotamente, ser abandonados ou recuperados, podendo também transportar cargas letais ou não letais.

Existem vários tipos de VANT. Alguns podem ser complexos, ligados a satélites e para usos militares, outros para uso comum orientados para a agricultura e gestão florestal.

A utilização de VANT tem vindo a assumir uma importância crescente na aquisição de dados. De uma abordagem exclusivamente militar, a combinação entre o mercado de aeromodelismo e os novos sistemas de navegação electrónica permitiram a redução

de custos, a miniaturização dos equipamentos e o acesso generalizado desta tecnologia ao mercado civil.

De dimensão e peso variável mas reduzidos, os VANT estão equipados com acelerómetros, giroscópios e barómetros, que permitem a estabilização automática e receptores GPS, que fornecem indicações precisas sobre a sua localização.

2. História

Foi no início do século XX que surgiram as primeiras abordagens para transportar e lançar explosivos sobre inimigos. As primeiras experiências prenderam-se com a utilização de balões de ar quente. Será durante a 2ª Guerra Mundial através do exército alemão que surgiram os primeiros veículos não-tripulados, já com alguma fiabilidade.

O conceito de veículo não-tripulado originou, a partir deste momento, uma miríade de novas concepções tácticas que passaram do simples acto de ataque, à possibilidade de se efectuarem acções de reconhecimento e vigilância. Através da evolução tecnológica que se verificou nas últimas décadas, surgiram novos veículos com diferentes possibilidades operacionais.

Os UAV já incorporados com tecnologia que permitia a transmissão de imagens em tempo real, foram utilizados a primeira vez num teatro de operações por Israel, no final da década de setenta. O desfecho destas operações bem como os resultados obtidos foram acima do espectável, o que despertou desde logo o interesse dos EUA nestes novos aparelhos.

Até ao início do século XXI, a tecnologia foi evoluindo e ficando cada vez mais fácil de operar. Além disso, o emprego de meios não-tripulados tem vindo a conquistar uma predominância em cenários de guerra de extrema importância, o que levou a que, desde os ataques terroristas de 2001, o montante despendido pelos EUA exclusivamente neste tipo de tecnologia tenha alcançado investimentos elevados. (Rabaça, 2014)

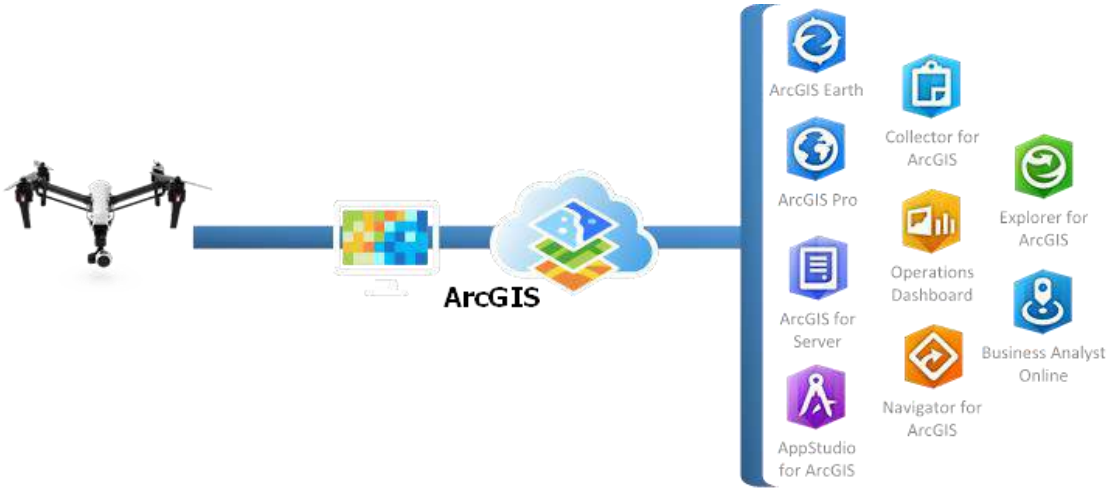
Os UAVs têm também um enorme potencial de aplicação no mundo civil, dado que têm a potencialidade de baixar o custo e o risco das operações de fiscalização e monitorização. Exemplos da sua utilização, são a vigilância costeira e marítima e a monitorização de incêndios e respetiva análise de rescaldos. Outras aplicações são as inspecções de linhas aéreas de alta tensão e a monitorização de barragens e pontes.

Com todo este desenvolvimento tecnológico, o conceito UAV conquistou o seu papel de forma imediata e todos os seus elementos continuam em rápida e continuada evolução.

3. Drone2Map: O Produto

O produto Drone2Map constitui um dos mais recentes desenvolvimentos da Esri, em conjunto com a Pix4d. O desenvolvimento deste produto tem como objectivo fornecer uma solução integrada no contexto da plataforma ArcGIS. Atualmente os produtos ArcGIS alinham-se e são interoperáveis numa efectiva plataforma, que permite a gestão da informação geográfica (figura 1).

Figura 1 – Enquadramento do produto Drone2Map na plataforma ArcGIS.



Com o Drone2Map passa a ser possível explorar imagens e dados LIDAR adquiridos por qualquer UAV. O produto permite diferentes modos de aquisição de imagem:

- Nadir, para efeitos de visualização de imagens ou dados LIDAR
- Imagens oblíquas, para visualização ou inspecções aproximadas de diferentes fachadas de estruturas.

Em função dos UAV e respectivos sensores, os metadados associados aos sensores podem ser alternativamente integrados no Drone2Map, potenciando diferentes resultados finais, quer do ponto de vista da visualização, quer do ponto de vista da qualidade dos produtos finais. Detalham-se, por isso, três modos alternativos de processamento de metadados:

1. O UAV tem metadados precisos com a localização do sensor (x, y, z) e também com a atitude do UAV, através do conhecimento de três ângulos: Omega/Phi/Kappa ou Roll/Pitch/Heading. É

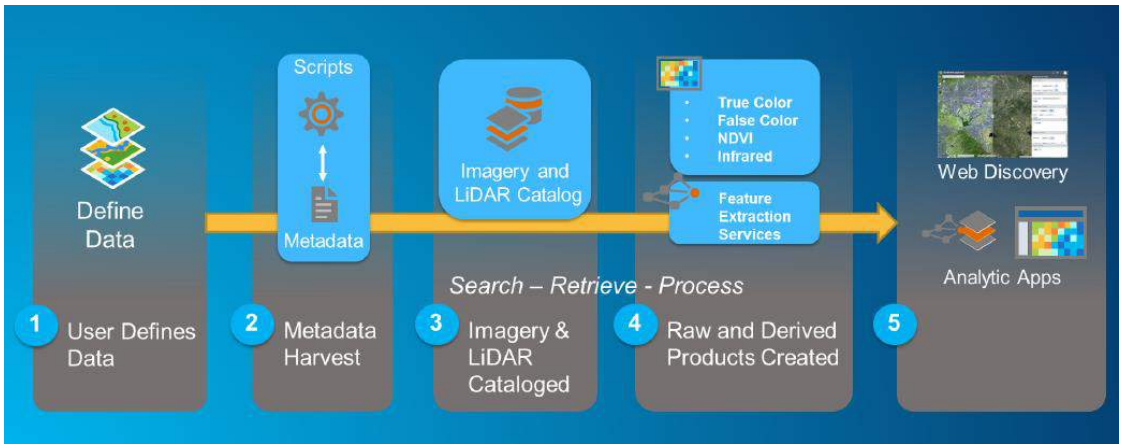
igualmente necessário ter um modelo preciso da câmara utilizada (e.g. distância focal nas câmaras fotográficas).

2. É conhecida a posição do UAV (x,y,z) através dos metadados do GPS instalado, mas sem que seja conhecida informação sobre a atitude do UAV (em alternativa pode ser fornecida uma orientação aproximada).

Com o Drone2Map a Esri não pretende só disponibilizar uma solução para que possa ser visualizada informação obtida dos UAV, mas também processar a informação recolhida em tempo útil, tendo em vista a operação frequente dentro das Organizações. Os dados recolhidos são rapidamente transformados, criando três produtos de informação: Ortofotos, nuvens de pontos, modelos tridimensionais. Esta transformação de dados em produtos de informação ocorre em minutos, não em horas, dentro de áreas limitadas, em função do modo de processamento. Distinguem-se dois modos de processamento: Processamento Rápido e Processamento Completo. O processamento rápido é adequado à necessidade de decisões rápidas e sem necessidade de elevada precisão, podendo demorar em média 15 minutos. O processamento completo é adequado para a obtenção de produtos de informação preciso e com maior necessidade de interoperabilidade com outros produtos de informação de elevada precisão. Este processamento completo pode demorar em média 1:30 hora para a mesma extensão geográfica considerada para o processamento rápido.

Uma vez processadas, as imagens ou nuvens de pontos que forem carregadas para os produtos ArcGIS poderão ser analisadas e segmentadas com os processos habituais (e.g. recolha de amostras de treino para a segmentação de imagens). A figura 2 mostra um fluxo de trabalho possível dentro de uma Organização que use a plataforma ArcGIS.

Figura 2 – Fluxo de trabalho dentro de uma Organização que utilize as imagens para obtenção de informação útil à decisão ou ao trabalho diário dos técnicos SIG.



Hoje os Sistemas de Informação Geográfica deixaram de ser um mercado de nicho para ser de interesse alargado dentro das Organizações, sendo uma importante ferramenta de geodecisão para executivos, gestores de equipas e técnicos SIG (tabela 1):

Tabela 1 – vantagens da solução Drone2Map em diferentes níveis hierárquicos de uma Organização

Executivos	Gestor de Equipas	Técnico SIG
Ativar processos de geodecisão Líder no custo- benefício pela utilização da Inovação Simplificar o uso de aplicações profissionais, transversalmente	Obter imagens aéreas sem dependência externa. Redução do tempo de obtenção das imagens Alavancar os investimentos SIG dentro das Organizações	Utilização de imagens aéreas com maior taxa de atualização Redução do tempo de obtenção das imagens Funções avançadas de fácil utilização

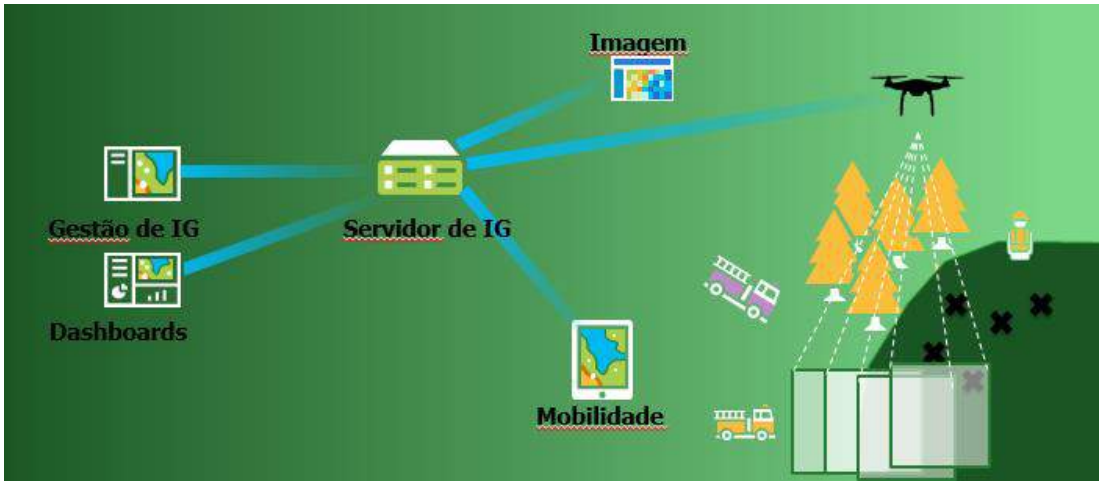
4. O posicionamento nos processos de trabalho

Milhares de hectares são geridos em áreas florestais espalhadas por todo o Mundo, com diferentes fins. Por um lado a manutenção da biodiversidade proporciona a manutenção da floresta e mantém as suas interacções com os diversos ecossistemas e com as medidas ambientais. Por outro lado as florestas são produtos ligados a indústrias de transformação e produção (e.g. produção de pasta de papel a partir da celulose dos eucaliptos), que importam ser defendidas com finalidades económicas. Seguem de seguida dois exemplos relacionados com a utilização de UAVs e dos produtos ArcGIS nestes contextos.

a. Na Proteção da Floresta para fins de transformação em papel

A floresta sustentável, com fins de transformação e produção para as indústrias de produção de pasta de papel, têm sido defendida por sapadores de organização públicas, organizações privadas e associações florestais. A tecnologia ArcGIS serve na fase de prevenção para fins de recolha de informação em soluções de mobilidade (e.g. tablet). Este mesmo contexto tecnológico (figura 3) tem vindo a ser usado na definição das zonas de incêndio florestal (para tornar mais preciso o ataque ao fogo pelas aeronaves e helicópetros) e para o rescaldo destes incêndios. Com o Drone2Map propõe-se uma nova solução tecnológica, onde além do trabalho dos sapadores em terreno, as organizações passam a ter uma solução que permita a rápida recolha da área ardida, para a tomada de decisões por parte de executivos. As primeiras estatísticas de área ardida deixam, assim, de ser de dias, para passarem a ser conhecidas num espaço de poucas horas após o incêndio ter sido controlado ou circunscrito.

Figura 3 – Contexto tecnológico para utilização no rescaldo de incêndios florestais.



5. O futuro do produto

O Drone2Map é uma aplicação que está disponível no Marketplace do ArcGIS Online para que possa ser descarregado e utilizado enquanto aplicação stand-alone. O lançamento da primeira versão estável está prevista para Junho de 2016. No futuro este produto poderá processar outros tipos de informação recolhidas por outro tipo de sensores: temperatura, humidade, pressão atmosférica.

Referências Bibliográficas

Rabaça, T. (2014). "O Uso de Drones na Atual Conflitualidade: Uma Análise ao Nível Estratégico e Tático". Academia Militar.

Benkelman, A. (2015). "Ingesting, Managing, and Using UAV (Drone) Imagery in the ArcGIS Platform" Esri, Version 2 - 17 November 2015

Autores

Edgar Barreira
Esri Portugal
edgar.barreira@esri-portugal.pt

Rodrigo Silva
Esri Portugal
rodrigo.silva@esri-portugal.pt

António Marques
Esri Portugal
antonio.marques@esri-portugal.pt

TESTES UTILIZANDO UNMANNED AERIAL VEHICLES PARA INSPEÇÕES EM REDES DE TRANSMISSÃO ELÉTRICA

João Gomes-Mota
Ricardo Oliveira
Sandra Antunes
Vítor Almeida

Resumo

Os autores estendem a sua experiência na conceção e desenvolvimento de equipamentos para helicópteros dedicados à inspeção de linhas elétricas, a Unmanned Aerial Vehicles [UAV], para alcançar as funcionalidades das soluções atuais e também tirar vantagem de novas possibilidades proporcionadas. O artigo está focado no payload, nos sistemas e funções de inspeção, operação e controlo de missão; o desenho do UAV e o seu controlo em tempo real estão para lá do âmbito deste artigo. Os autores relatam também as questões e dificuldades com que se depararam durante os ensaios de campo e a sua importância quando se planeia um novo processo de inspeção ou a transição da operação do helicóptero.

O artigo começa por uma referência geral às considerações gerais de aeronavegabilidade e as possibilidades de utilização de UAVs para inspeções locais e para operações além da linha de visão. Segue-se uma descrição de UAV como componente de um sistema incluindo a estação de controlo terrestre, vetores, payloads, operadores, funções de inspeção e como a missão e os seus constrangimentos interferem no desenho da solução. Depois, apresenta-se a experiência dos testes realizados com UAV de asa fixa e de asa rotativa, trata-se principalmente de inspeção visual no entanto Light Detection And Ranging [LiDAR] e infravermelho também são abordados.

Na secção final do artigo analisa-se a colocação dos UAV no mercado da inspeção elétrica, como substituto ou complemento aos outros métodos de inspeção; segurança na operação do UAV, equipamento e humanos; ligações sem fios, controlo em tempo real e interfaces de utilizador.

Palavras-chave: Unmanned Aerial Vehicles; linhas elétricas aéreas; inspeção

1. Introdução

O interesse em avaliar as condições dos ativos das redes elétricas utilizando UAV aumentou muito nos últimos anos por esta tecnologia estar disponível e ser de acesso cada vez mais de fácil, em especial para sistemas de pequenas dimensões. De forma geral, os UAV classificam-se em dois tipos, asa fixa e asa rotativa.

Os UAV de asa fixa surgiram a partir de aviões radio-controlados sendo a referência para a evolução dos métodos de controlo remoto e operação. Tornaram-se conhecidos do público pela sua utilização em missões de segurança e de defesa.

Os UAV de asa rotativa surgiram mais tarde mas acabaram por superar em número os UAV de asa fixa. Para tal, foi essencial o desenvolvimento dos multirotores, que são estruturas de três ou mais rotores no mesmo plano horizontal e que conseguem pairar num determinado local ao possuírem hélices que rodam em direções opostas de forma a cancelar o torque global. A configuração de quatro rotores em "X" tornou-se a mais comum, conhecida como *quadcopter*, muito utilizada por amadores para obter imagens aéreas e até em brinquedos para utilização puramente lúdica.

Atualmente, a maioria das utilizações civis para os UAV passa por um piloto em terra enviando continuamente comandos ao UAV que se encontra acima dele e dentro do seu campo de visão. No entanto, estão cada vez mais acessíveis modelos que integram navegação por sistemas de GPS, gravação e envio de dados para estações terrestres que permitem ao piloto ir além do seu campo de visão.

1.1. Regulamentação

A grande difusão dos UAV evidencia a necessidade de regulamentação, primeiro pela segurança mas também para garantir a privacidade, seguros de responsabilidade civil e evitar radio interferências, por exemplo. Em numerosos países, as autoridades nacionais de aviação civil criaram regulamentação interna, enquanto outros continuam expectantes. Organizações como a JARUS que procuram juntar os vários intervenientes para criar uma regulação comum a nível internacional ou mundial à semelhança do que acontece com o ICAO para aeronaves tripuladas.

A definição de que tipos e dimensões de UAV estão autorizados a desempenhar missões específicas como a inspeção de linhas elétricas e em que condições, são necessárias para melhor guiar a investigação e desenvolvimento dos produtos e soluções até às condições finais reais de operação.

1.1. UAV como parte do sistema

Neste artigo descrevem-se as expectativas e experiências dos autores em utilizar um UAV como parte do sistema de inspeção de linhas elétricas [Gomes-Mota, 2015]. Este sistema divide-se em três componentes:

- A componente **aérea,** que inclui o UAV (um ou mais) equipado com sensores para a inspeção, comunicações, processamento e gravação de dados, auto-piloto e controlos.
- A componente **terrestre**, composta por uma ou mais estações de controlo terrestre com pilotos, inspetores de linhas elétricas, mapas, processamento dados, e todo o suporte para o UAV como baterias extra, carregadores, equipamentos para descolagem/aterragem e para manutenção e eventuais reparações. Dependendo da complexidade e dimensão da componente terrestre, num extremo pode ser pouco mais do que uma mochila com um comando remoto e ferramentas básicas e no outro extremo um edifício completo num aeródromo, passando pelo intermédio de uma viatura dedicada.
- A componente **escritório** onde se inserem todas as tarefas pré-inspeção e pós-inspeção como processamento de dados e integração destes nos sistemas internos dos clientes para gestão de ativos, informação geográfica e manutenção.

1.1.1. Componente aérea: vetores, *payloads*, operadores e funções

As inspeções a linhas elétricas aéreas pressupõem quatro elementos chave: vetores, *payloads*, operadores e funções. O *payload* é composto por sensores específicos para as funções de inspeção, capacidade de processamento de dados dos sensores e instruções dos operadores para controlo dos atuadores. A escolha dos sensores é tomada em função do que se pretende inspecionar: termografia (infravermelhos), vídeo ou fotografia para defeitos visuais, ultravioleta para isolamento elétrico ou LiDAR para distâncias de segurança entre os condutores e os obstáculos. Os vetores transportam os sensores ao longo das linhas elétricas a inspecionar, escolhendo-se a via terrestre ou aérea consoante o contexto: terreno; restrições locais, custos, etc. No âmbito deste artigo o vetor é naturalmente aéreo e mais concretamente um UAV único. O conjunto UAV mais *payload* devem ser otimizados em termos de performance, custo, peso e autonomia.

1.1.2. Componente terrestre: preparação, comunicações e operação

Na estação de controlo terrestre avaliam-se as condições de início e fim da missão bem como a forma proceder à inspeção da linha elétrica. Também é necessário assegurar o transporte do UAV, pessoas, equipamentos e ferramentas entre os diferentes pontos

de aquisição. O planeamento da missão atendendo às condições climatéricas e do local também deve ser observado. Devem-se estabelecer os tipos de comunicações, procedimentos de operação e de contingência, minimizando falhas e assegurando ferramentas e peças de substituição. Os UAV de asa rotativa não necessitam de condições específicas para descolar e aterrar ao contrário dos UAV de asa fixa que necessitam de pistas, catapultas, lançamento manual, pára-quedas ou redes. Nos testes realizados pelos autores usaram-se controlos remotos portáteis e veículos ligeiros para movimentação entre pontos. Ao longo dos testes a necessidade de melhoria da estação de controlo terrestre foi cada vez mais evidente, nomeadamente a capacidade de carregar baterias, sistemas de processamento de dados imediato e antenas mais eficientes.

As comunicações rádio são críticas em especial nas operações além do campo de visão do piloto. O alcance das antenas tem de ser balanceado com a transmissão de dados: o desejo dos operadores em obter vídeo em tempo real com maior qualidade implica maior largura de banda e como tal maior frequência nas comunicações logo menor alcance. A necessidade do baixo consumo energético e as restrições de dimensão no UAV são responsáveis por uma diretividade das antenas acima do desejado. Como a estação terrestre não está sujeita às restrições anteriores, é na antena em terra que se deve investir.

1.1.3. Componente escritório: planeamento, interpretação e gestão

O planeamento da missão no escritório inclui a definição de datas e escalonamento de tarefas, tendo em conta previsões climatéricas e condições da rede elétrica. Variáveis como a corrente elétrica nas linhas, épocas de crescimento da vegetação, temperatura e vento tem de ser observadas tendo em conta o tipo de inspeção que se pretende. Uma análise prévia de mapas e da rede elétrica no local deve ser efetuada quer para otimização da inspeção quer por questões de segurança do voo.

Após a inspeção. é necessário analisar à sua trajetória e eficiência do voo, processar, interpretar e guardar os dados obtidos nas bases de dados adequadas.

Para que um sistema de inspeção baseado em UAV tenha sucesso, é essencial conseguir uma junção bem sucedida dos quatro elementos chave de sucesso dentro das três componentes do sistema. Assumindo que um UAV de maiores dimensões pode operar com rajadas de vento mais fortes, as três considerações seguintes devem ser tidas em conta na escolha de um UAV asa rotativa como vetor de inspeção:

- A componente escritório deve ter mapas sazonais e diária de chuvas e vento para as zonas de linhas a inspecionar, planeando assim as operações de acordo com as especificações do UAV. A falha neste processo custará muitas horas de paragem para a componente terrestre e aérea do sistema.
- A escolha de um UAV maior permite aumentar as horas potenciais de operação, pelas suas características de operação sob rajadas de vento mais fortes, no entanto o aumento das dimensões também se reflete na dificuldade de transporte e aumento de custos e complexidade na componente terrestre.
- A alternativa de braços dobráveis atenua as desvantagens anteriores, mas acaba por adicionar complexidade e peso reduzindo a autonomia de voo.

Outros aspetos a ter em conta para o projeto do sistema são a possibilidade do *payload* afetar a maneabilidade do UAV. O sistema tem de ser projetado tendo em conta os requisitos e condicionamentos dos três segmentos. Como fatores externos deve observar-se em especial a regulamentação.

2. Inspeções com UAV asa fixa

O UAV de asa fixa apresenta como principais vantagens a autonomia e suavidade do voo. Sendo uma boa solução para inspeções em linhas aéreas elétricas ponto-a-ponto (subestação-subestação) tipicamente em trajetos longos nas redes de transmissão [Gomes-Mota, 2014], não são no entanto tão adequados para inspeção em linhas com estruturas em árvore típico das redes de distribuição, pois os trajetos são mais curtos e com curvas acentuadas.

A necessidade de preparação de superfícies ou dispositivos de descolagem e aterragem é uma clara desvantagem face aos UAV de asa rotativa, bem como a incapacidade de voo estacionário para algumas funções da inspeção. Como vantagens temos a maior tolerância a falhas mecânicas, fiabilidade e robustez dos controladores e piloto automático devido ao mais longo período de maturação da tecnologia. Assim, UAV de asa fixa são mais apropriados para funções de inspeção em grandes extensões, por exemplo: deteção de ninhos cegonha, LiDAR para gestão vegetação e catenárias.

O UAV de asa fixa pode também ter um papel muito importante em situações de pós tempestade como fortes nevões, vento ou chuva. Em alguns países são autorizados a voar sob condições especiais (antes das aeronaves tripuladas) para percorrer as extensões das redes elétricas detetando postes caídos, árvores caídas em contacto

com condutores e outras falhas catastróficas de forma a estabelecer o funcionamento da rede elétrica o quanto antes.

3. Inspeções com UAV asa rotativa

Os UAV de asa rotativa tornaram-se muito populares ultimamente tanto no meio amador como profissional pela sua capacidade de adquirir imagens que nos dão uma perspetiva como a visão de uma ave e por conseguirem praticamente permanecer imóveis num ponto durante o voo. Estas características fazem destes um vetor de inspeção de linhas elétricas muito atrativo, pois consegue fornecer imagens de várias perspetivas aos inspetores (acima, abaixo ou a nível) dos cabos ou torres a inspecionar. Com os UAV de asa rotativa também é possível uma inspeção mais próxima (distâncias inferiores a 5 metros) comparativamente aos vetores tradicionais como helicóptero ou automóvel. Ver figuras 1 e 2.

Figura 1 – Inspeção visual linha 400 kV

Figura 2 – Vista em detalhe da figura 1

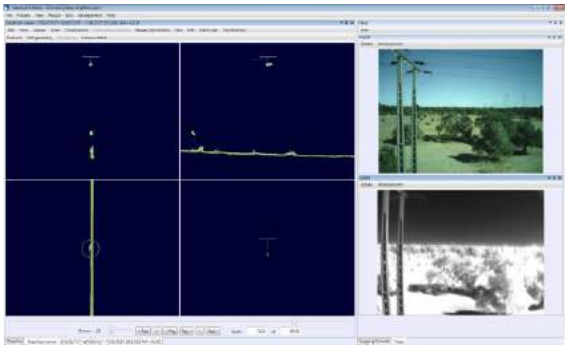
A possibilidade de permanecer praticamente imóvel num ponto durante o voo é muito apreciada pelos inspetores, embora o vento implique que os controladores do UAV estejam constantemente a acelerar e atuar nos rotores, de forma a retornar ao ponto inicial. O vento gera perturbação no processo inspeção, sendo que esta relação sinal-ruído é pior em voo estacionário que num voo com uma trajetória a velocidade constante. Este efeito é reduzido utilizando estabilizadores ativos para os sensores, *gimbals*, mas estes adicionam complexidade e peso ao sistema.

O UAV utilizado nos testes, figura 3, tem um peso máximo à descolagem de 6 kg. Está equipado com LiDAR de visão 360° no plano vertical, câmara de vídeo e de infravermelhos, sistema de posicionamento global e inercial [GPS+INS], eletrónica para operação do *payload*, gravação dos dados, envio dados em tempo real para a estação terrestre e ainda a eletrónica de controlo de voo em tempo real do UAV em separado.

A figura 4 mostra a interface do *software* de visualização de dados da componente escritório: dados LiDAR na janela quadripartida em diferentes perspetivas, vídeo no lado direito superior e infravermelhos no lado direito inferior.

Figura 3 – UAV com *payload*

Figura 4 – Interface *software* de escritório



4. Inspeções em rotina

Esta secção reúne reflexões sobre a experiência de projeto e teste de UAV de asa fixa e rotativa para inspeção de linhas elétricas nos últimos três anos.

4.1. Substituição ou complemento dos vetores tradicionais

A primeira questão é saber se os UAV irão substituir ou complementar os vetores tradicionais de inspeção às redes elétricas. Atualmente o helicóptero é a referência, e os autores consideram que este não será brevemente substituído por UAV, mas sim complementado em locais ou operações onde os helicópteros tenham mais dificuldades ou sejam ineficientes: por exemplo, inspeções a isoladores ou equipamentos junto ao solo. O helicóptero é eficiente na inspeção de longas linhas elétricas e tem a capacidade de integrar múltiplos sensores e equipamentos num só voo permitindo detetar pontos de interesse para posteriores inspeções localizadas e detalhadas por UAV. Se os UAV vierem a substituir os atuais vetores, os UAV de asa fixa serão os maiores candidatos para as redes de transmissão e os de asa rotativa para as redes de distribuição.

4.2. Considerações de segurança

A segurança na operação aérea e a continuidade elétrica da rede são os dois requisitos primários de inspeção; como tal, o projeto do sistema deve ser realizado sempre com a possibilidade de falha em mente. A segurança ativa para prevenção e passiva para

minimizar efeitos em caso de falha devem estar contemplados desde a fase de projeto, criando redundâncias e operações de contingência. As duas principais partes da componente aérea são o UAV e o *payload.* Estas devem ser tão independentes quanto possível em termos de segurança, possuindo alimentações e processamento diferentes além de uma ligação mecânica utilizando, por exemplo, amortecedores. É recomendado que o *payload* esteja dentro do envelope de proteção do UAV e possua encapsulamento próprio, figura 3, mitigando assim danos em caso de pequenos impactos. Quando possível, as partes móveis como as hélices deverão ter proteções precavendo danos para o UAV, pessoas e objetos circundantes. Partes salientes (ex.: antenas), devem ser suficientemente flexíveis para que o sistema não fique preso ao tocar num cabo ou árvore. A estruturado UAV deve usar princípios de segurança semelhante à indústria automóvel, para que, em caso de impacto violento, se deforme, dissipando a energia do impacto e evitado danos no núcleo do UAV e *payload*. As poeiras, humidade, chuva e irradiação solar devem ser também consideradas no projeto. Os pára-quedas disponíveis em UAV necessitam de algumas dezenas de metros para atuar corretamente numa queda, o que os torna pouco eficazes, já que os voos de inspeção raramente se efetuam acima de 25m do solo.

4.3. Operação

A formalização de instruções de operação para inspecionar linhas elétricas com UAV é ainda um trabalho em progresso. Como ponto de partida, grande parte das instruções da operação por helicóptero mantém-se: a aproximação à linha em barlavento, manter o sol nas costas do piloto e iluminando os elementos a inspecionar, identificar locais para aterragem emergência ao longo da linha, manter aérea livre para manobras de evasão e níveis de energia suficiente para retornar à base. O registo de todos os dados de voo é essencial para aprendizagem com a experiência e otimização da operação.

Os autores recomendam dois operadores na componente terrestre para inspeção dentro do campo de visão: um dedicado à pilotagem do sistema e outro aos sensores de inspeção. Os testes demonstram que os operadores tentem a concentrar-se nas suas tarefas imediatas negligenciando a atenção ao contexto.

4.4. Ver e ser visto

Atualmente os UAV operam abaixo do espaço aéreo controlado e admite-se que são o único elemento em voo no local. Com o crescimento do tráfego de UAV, tornam-se

necessários sistemas para dar a conhecer a sua presença e detetar a presença de outros para partilha do espaço aéreo, por exemplo, usando *transponders* como a aviação ligeira. A deteção de objetos não cooperantes é referida na Secção 4.5.

4.4. Condições meteorológicas e ambiente

As condições meteorológicas são importantes no voo de qualquer aeronave, efeitos que se acentuam nos UAV pela sua reduzida massa e inércia. As chuvas e temperaturas extremas reduzem os dias possíveis para operação, mas o vento é o fator dominante e o seu impacto pode ser descrito pela escala de *Beaufort*. A inspeção de linhas elétricas com helicópteros efetua-se até ao nível 4. O nível máximo para operação em geral para UAV é 3, mas dado os riscos inerentes à operação de inspeção de linhas elétricas consideramos o nível Bft2 como mais prudente no estado atual da arte. No quadro 1 encontram-se as estatísticas para os valores diários de velocidade máxima do vento observados de 2010 a 2014 em três locais diferentes de Portugal. Apresentam-se também os meses com percentagens máximas e mínimas em cada caso.

Quadro 1 – % dias com velocidade vento até ao nível da escala de Beaufort

Local	≤ Beaufort 2	≤ Beaufort 3	≤ Beaufort 4
Montanha	44% (Fev 29%, Oct 56%)	86% (Fev 70%, Jul 94%)	99% (Fev 96%, Jul 100%)
Costa, Centro	16% (Jun 3%, Oct 27%)	51% (Jun 39%, Set 70%)	85% (Fev 72%, Set 93%)
Costa, Sul	11% (Feb 7%, Oct 17%)	35% (Jul 24%, Set 57%)	66% (Fev 55%, Set 90%)

A análise destes dados evidencia que os UAV não podem substituir os helicópteros até operarem com segurança e eficiência até ao nível 3, pelo menos, para atingir anualmente o número de dias suficientes para operação de rotina numa extensão relevante do território.

4.5. Controlo de distância em tempo real

Os autores desenvolveram um sistema medição de distâncias em tempo real baseado em LiDAR que deteta todos os corpos no seu campo de varrimento até uma dada distância; os UAV de asa fixa devem observar um cone com vértice no UAV enquanto os UAV de asa rotativa devem observar uma esfera com centro no UAV. O sistema assegura a tripla função: 1) detetar os objetos perigosamente próximos do UAV ou da sua trajetória prevista, desviando-o; 2) assegurar que o UAV não se aproxima demasiado da linha a inspecionar nem se afasta dela e 3) medir as distâncias entre a linha e as árvores e outros objetos para fins de manutenção da vegetação e da rede.

5. Conclusões

Os UAV estão ainda numa fase inicial, com o tempo tenderão a uniformizar-se em termos de *designs* e soluções que provem ser robustas e eficientes. Como tal também estas conclusões são efémeras, mas essa é uma característica própria da inovação.

Os UAV de asa fixa destacam-se para seguimento de condutores em linhas elétricas com a possibilidade de ir além do campo de visão do piloto. Os UAV de asa rotativa, por sua vez, evidenciam-se em inspeções localizadas, tipicamente no campo de visão do piloto e para equipamentos e estruturas verticais como postes, torres ou antenas. Enquanto a evolução da tecnologia em autonomia e controlo automático deverá reduzir a diferença para os UAV de asa fixa, os autores estão convencidos que a operação além do campo de visão e a otimização de *payloads* permitem operações de rotina que podem ser realizadas em segurança, eficientemente e de forma autónoma com UAV de asa fixa.

Referências Bibliográficas

Gomes-Mota, J. & Oliveira, R. & Antunes, S. (2015). Field trials with Unmanned Aerial Vehicles on Transmission Grids. Cigré Conference on Condition Monitoring, Diagnosis and Maintenance 2015. Roménia: Bucareste.

Gomes-Mota, J. & Azevedo, F. & Campos Pinto, L. & Silva, N. P. & Casaca, J. (2014). Sharing the transmission grid with storks and other birds. Proc. CIGRÉ Conference, Study Committee B2. França: Paris.

Agradecimentos

Os autores agradecem a colaboração da Força Aérea Portuguesa e da Rede Elétrica Nacional.

Autores

João Gomes-Mota
Albatroz Engenharia
gomes.mota@albatroz.engineering

Ricardo Oliveira
Albatroz Engenharia
ricardo.oliveira@albatroz.engineering

Sandra Antunes
Albatroz Engenharia e Universidade da Beira Interior
sandra.antunes@albatroz.engineering

Vítor Almeida
Albatroz Engenharia
vitor.almeida@albatroz.engineering

APLICAÇÃO DE UM SISTEMA AÉREO NÃO TRIPULADO (*UAS*) NA DISTRIBUIÇÃO DE MEDICAMENTOS ÀS FARMÁCIAS NA CIDADE DE LISBOA

Luis Neto

Resumo

O presente artigo representa uma investigação desenvolvida no âmbito da logística urbana que procurar uma nova solução de transporte para o problema das movimentações de mercadorias no espaço urbano. Utilizando um sistema que poderá ser aplicado na atividade de distribuição de medicamentos às farmácias e pretende ser alternativo, inovador e complementar ao transporte de medicamentos no meio urbano.

A intervenção na mobilidade urbana exige um processo de observação e compreensão do seu funcionamento, só assim será possível saber onde intervir ou como apresentar soluções de melhoria.

A abordagem ao tema iniciou-se com uma revisão da literatura dos temas que envolvem este sistema complexo – logística urbana, distribuição de medicamentos às farmácias, sistema aéreos não tripulados (UAS) e modelos de negócio.

Como o estudo incide sobre a aplicação um UAS em meio urbano, foi necessário desenvolver e detalhar as questões relacionadas com a logística urbana, seu conceito e complexidade. Dado especial relevância à sua componente principal – transporte de mercadorias.

Para enquadramento do problema, caracteriza-se a atividade de distribuição de medicamentos às farmácias em Portugal, explicando o funcionamento do sector e suas origens – breve apresentação das entidades envolvidas e os constrangimentos da operação de distribuição. Para além disso, faz-se referência às alterações legislativas ocorridas no sector na última década e suas implicações diretas na atividade da distribuição e dispensa de medicamentos à população.

A par das questões anteriormente focadas, também os decréscimos nas margens financeiras associadas aos medicamentos, criaram uma elevada preocupação dos seus atores em procurar soluções urgentes de modo a aliviar as pressões ao nível da cadeia da distribuição.

As farmácias e distribuidores estão confrontados com uma necessidade urgente em encontrar soluções economias e sustentáveis que permitam oferecer um nível elevado de serviço aos seus clientes. Dada a complexidade na organização e planeamento dos meios afetos à distribuição, o tema do custo dos transportes é primordial nas suas agendas.

Assim como proposta de mitigação destes problemas, entendeu-se recorrer a uma tecnologia inovadora e disruptiva que permita melhorar e complementar o processo de distribuição de medicamentos às farmácias em meio urbano.

A metodologia utilizada para este trabalho foi uma recolha exaustiva da bibliografia relacionada com os temas, seguida por uma abordagem exploratória da atividade de distribuição de medicamentos às farmácias – entrevistas, visitas aos locais de depósito e de venda e acompanhamento das operações de entrega. Foram ainda consultadas organizações que desenvolvem e aplicam os sistemas UAS para fins militares e civis e para fins artísticos (filmagens). Por fim, a criação dum modelo de negócio e apresentação de um plano financeiro com os cálculos detalhados do custo de transporte com a aplicação de um UAS na distribuição de medicamentos às farmácias em Lisboa.

O presente artigo pretende ser uma base para futuras investigações para este tipo de soluções - implementação de novas soluções de transporte de mercadorias em meio urbano.

As conclusões permitem inferir que esta solução pode ser utilizada para manter ou melhorar o serviço prestado ao utente, com uma vantagem competitiva em termos de custos operacionais.

Palavras-chave: *logística urbana, distribuição medicamentos, sistema aéreo não tripulado, modelo de negócio*

1. Introdução e enquadramento

O tema dos transportes e da mobilidade engloba fatores fundamentais para a sociedade e para a economia, quando bem endereçados possibilitam uma melhoria na qualidade de vida dos cidadãos. Em termos económicos são um motor de crescimento e de criação de emprego, todavia convém promover a sua sustentabilidade face aos novos desafios que constantemente são colocados às sociedades.

Hoje quase metade dos habitantes do planeta vive nas cidades e estimasse que em 2030, mais de 60% da população mundial irá habitar nas cidades - atualmente 70% da população europeia reside em centros urbanos.

As cidades são a principal fonte do crescimento económico e produtividade global - as cidades europeias geram mais de 80% do PIB da EU, sendo também responsáveis pelo maior consumo de recursos e de emissões de gases de efeito de estufa. Contudo o desenvolvimento urbano é importante para o bem-estar de todos os habitantes e para a sustentabilidade do planeta. (Comissão Europeia COM 913 final, 2013)

A qualidade de vida nos centros urbanos é influenciada por diversas causas e por atividades que lhe são indissociáveis - habitar, trabalhar, circular e lazer (Carta de Atenas, 1933 in (Antunes Ferreira, J., 2013). Assim as trocas de produtos e serviços e a sua adequada organização são indispensáveis para que essas funções possam decorrer em harmonia.

As intervenções, estudos e investigações de planeamento urbano, foram sempre no sentido de alcançar um patamar de bem-estar social para os seus habitantes. Todavia existiu sempre pouca atenção aos problemas originados pelo crescente aumento do

transporte de mercadorias em zonas urbanas – particularmente nas zonas centrais. (LOGURB, 2007) e (Macário, R. et al., 2006)

O presente e o futuro sucesso das cidades dependem da eficiência da organização e da resolução dos problemas chave de transporte de mercadorias. Atualmente existe uma procura incessante na produção de sistemas logísticos urbanos que satisfaçam os requisitos das atividades comerciais e dos consumidores no geral, de uma forma adequada, rentável e sustentável - mantendo uma qualidade do ambiente urbano por forma a atrair clientes, turistas e atividades, e persuadir a população a habitar essas áreas urbanas centrais. (European Commission SWD (2013) 524 final, 2013)

Existe uma opinião generalizada de que os veículos de transporte de mercadorias são prejudiciais à qualidade do meio ambiente e que contribuem claramente para as externalidades negativas - congestionamento, poluição, segurança e ruído. (Taylor, 2005), (LOGURB, 2007), (Allen, J., Thorne, G., Browne, M., 2007) e (Rodrigue, J-P., Dablanc, L., 2013)

Assim, estes dilemas exigem uma reflecção sobre medidas e soluções adequadas à sua resolução, cujo objetivo é garantir que os centros urbanos sejam atraentes e que as suas atividades se desenrolem sem conflituarem, mitigando esses impactes negativos. (Dablanc, L., 2007)

2. Definição do problema

O caso proposto é investigar a atividade do transporte de medicamentos às farmácias, sabendo da impossibilidade que estas têm em deter nos seus stocks todas as referências existentes no mercado, devido a restrições físicas, financeiras e externas. Estas condicionantes comprometem sempre o nível de serviço a prestar ao utente, principalmente se a solução de transporte continuar a ser exclusivamente o recurso ao sistema convencional de transporte.

Aos distribuidores é lhes exigido um planeamento dos meios disponíveis que encontre combinações ótimas entre os requisitos do tipo de entregas (janelas temporárias apertadas, encomendas de pequeno volume e com várias entregas diárias) e os problemas da movimentação em espaço urbano, de modo a não comprometer a eficiência do sistema. Contudo em muitos casos o resultado é adiar a entrega ao cliente (farmácia) e, por conseguinte, "prejudicar" o utente, obrigando-o a esperar (voltar noutro horário ou no dia seguinte) ou ainda a efetuar deslocações a outro(s) ponto(s) de venda de modo a satisfazer as suas necessidades.

Para mitigar esta situação, o sistema (farmácia e distribuidores) deve recorrer a sistemas tecnológicos avançados, por forma a melhorar o desempenho das entregas (e recolhas), obtendo proveito com a venda realizada, não causar insatisfação e assim manter a fidelização do utente.

Com o recurso à utilização de *UAS – Unmanned Aircraft Systems* poderá, com as devidas condicionantes, ser uma alternativa e um complemento no processo de distribuição, nomeadamente na entrega encomendas espontâneas e de pequeno volume. Uma vez que pode garantir maior fiabilidade devido à sua elevada flexibilidade/autonomia e possibilitar uma redução em termos de custos operacionais. (DHL Microdrones, 2014)

Assim, questiona-se: **E porque não a sua aplicação em atividades comerciais como meio de transporte de mercadorias**?

3. Objetivo

O presente artigo apresenta uma pesquisa sobre um sistema alternativo e complementar na distribuição urbana de mercadorias com a introdução de uma inovação tecnológica e disruptiva, aplicando um sistema que opera autonomamente no espaço aéreo.

Neste contexto surge a ideia de investigar um modelo totalmente inovador que, procure não utilizar o mesmo tipo de infraestruturas – rodoviárias, como os sistemas convencionais. Contribuindo para um alívio no congestionamento, ineficiência e desperdício de recursos. Ou seja, capaz de minimizar impactes ambientais, utilizando energias menos poluentes e diminuir consideravelmente os impactos sociais, não expondo o fator humano aos perigos dos acidentes rodoviários.

Como objetivo pretendesse instituir linhas genéricas de um modelo de distribuição com recurso a *UAS* em meio urbano que seja diferenciador na qualidade do serviço prestado, indo ao encontro das necessidades dos utentes e se possível com custos menores de operação – para encomendas de pequeno volume e exista uma necessidade de prestar um serviço em tempo reduzido. Promovendo deste modo uma combinação entre as necessidades de transporte e soluções inovadoras. Contribuindo para uma maior eficiência, adaptabilidade, diversidade e sustentabilidade da mobilidade urbana. (Macário, R. et al., 2006)

4. Metodologia

A metodologia aplicada neste estudo iniciou-se com uma recolha da bibliografia sobre os temas em estudo de modo a obter informações detalhadas sobre os pontos-chave. Seguida por uma abordagem exploratória aos atores do processo de distribuição e venda de medicamentos com entrevistas efetuadas: em farmácias e a um distribuidor. Permitindo uma observação no terreno que permitisse uma caracterização e entendimento das relações e tensões existentes verificando o que é mais relevante.

Mais adiante consultou-se 2 (duas) organizações que desenvolvem, pesquisam e aplicam sistemas *UAS* para obter informações e dados operacionais destes sistemas.

Foi também necessário escolher e definir o tipo de equipamento (veículo e sistema) a parametrizar para a sua utilização no modelo de cálculo dos custos de transporte.

Nessa escolha, alguns aspetos foram tidos em consideração e que condicionam a sua aplicação como: o tipo de operação de voo (descolagem e aterragem vertical) e determinação de zonas de operação no terreno para estas manobras; características geográficas do meio (relevo e acidentes de terreno); decisão de zonas interditas de voo (instalações militares, hospitais, escolas, locais públicos de relevância estratégica politica, administrativa e cultural, etc.) e restrições operacionais relacionadas com as condições meteorológicas (vento, pluviosidade e humidade) uma vez que todas elas podem condicionar a intervenção do transporte. Sempre num campo estritamente conceptual, uma vez que a utilização destes sistemas autónomos nunca foi operada no mundo real neste tipo de atividade comercial, somente foram efetuados testes com protótipos em locais isolados. (DHL Microdrones, 2014)

Por fim a simulação de cenários e a construção dum plano financeiro para a composição de um **modelo de negócio** que promova a introdução deste sistema.

5. Estado da arteA logística urbana

A distribuição de mercadorias num centro urbano é um tema muito atual nas sociedades modernas. O seu interesse e preocupação crescente ocorrem como resultado das alterações societais e tecnológicas que provocam mudanças significativas nos padrões e intensidade dos movimentos de mercadorias nas áreas urbanas e dos serviços que lhe são inerentes (Taylor, 2005), assim como colidem com os restantes utilizadores da cidade ao provocarem uma maior utilização do espaço urbano. (Dablanc, L., 2007)

A génese da distribuição remota ao termo logística, expressão já utilizada pelos gregos (λόγος (logos), discurso, razão, rácio, racionalidade, ou *logistiki* - contabilidade, organização financeira), ou pelos franceses na idade medieval – relacionada com as artes militares, apresentada como a disciplina responsável pela organização e fornecimento de armas, rações e demais mantimentos e sua movimentação. Atualmente é uma parte essencial e presente em todas as empresas. De acordo com a *Council Supply Chain Management Professionals* (CSCMP, 2013), a logística é definida como o processo de planeamento, implementação e controlo de procedimentos para o eficiente e eficaz transporte e armazenamento de mercadorias ou serviços. Poderá ser ainda incluído os serviços e informações relacionadas desde o ponto de origem ao ponto de destino – num sentido mais amplo de abastecimento para o fabrico e a entrega nos locais de distribuição ou consumo, passando pelas ações de classificação, manuseamento, movimentação. (Rodrigue, J-P et al., 2013)

Assim, se todo este processo logístico for efetuado ou envolver uma área urbana, então estamos perante uma atividade denominada de **logística urbana**. Mas convém ainda assim acrescentar um outro aspeto importante ao mencionar os fluxos inversos, referindo-se à recolha de lixos, desperdícios ou devoluções. Não limitados ao perímetro urbano pois deveram ser considerados os fluxos gerados no seu exterior e que têm como propósito abastecer atividades numa área urbana, bem como os que se processam de modo inverso.

Devido à complexidade e diversidade das atividades existentes no centro urbano, resumir o conceito à questão dos transportes de mercadorias é demasiado lacónico. Os fluxos de bens são apenas uma parte das atividades logísticas, como se viu anteriormente em (CSCMP, 2013) ou em (Rodrigue, J-P et al., 2013), há que juntar também os fluxos de informação e os fluxos contratuais (LOGURB, 2007).

Para completar mais o quadro do conceito os autores do projeto (LOGURB, 2007) referem ainda que a **logística urbana** é composta por um conjunto de componentes (agentes, produtos e elementos físicos) que interagem entre eles duma forma contínua.

5.1.1. O transporte urbano de mercadorias

Organizar a logística urbana envolve uma imensa complexidade de medidas e ações que visam a satisfação dos consumidores, e uma busca constante da eficiência do sistema de distribuição, pois é causa determinante do sucesso económico de uma região (ou área urbana em particular). (UN-Habitat, 2013)

Essa busca traduz-se ao nível operacional numa diminuição dos custos de transporte, e que implicará necessariamente uma redução do valor final a ser despendido nos produtos, revertendo por último em ganhos competitivos para os agentes envolvidos.

É expectável que o sector seja sujeito a elevadas pressões e gerador de conflitos com outras atividades que se desenrolam no ambiente urbano. Com o crescimento populacional nos centros urbanos estes factores tendem a agravar-se e essa é uma tendência que se vai acentuar cada vez mais nos anos e décadas vindouras. (OECD, 2006)

O transporte urbano de mercadorias sofre na sua essência de um dilema (Taylor, 2005) entre a necessidade da sua eficiência para colaborar no progressivo desenvolvimento futuro das cidades – tornando-as em locais atrativos para viver, proporcionar todo o tipo de atividades de ordem económica (trabalho, compras, lazer) social e cultural, concorrendo com outras áreas localizadas nas periferias, e o seu contributo negativo para a qualidade ambiental dos espaços urbanos - congestionamento, poluição, segurança e ruido.

Como referido, uma cidade é uma entidade onde as coexistem atividades de produção, distribuição e consumo, utilizando intensamente um bem escasso – o espaço urbano. Estes elementos são factores de geração e atração de movimentos de produtos e serviços, logo os serviços de transporte têm um papel nuclear em todo o processo. O seu desempenho é claramente vital no funcionamento das cidades, já que a distribuição de bens em vários e numerosos locais é fundamental para a vida urbana. (Allen, J., Thorne, G., Browne, M., 2007)

5.2. A atividade da distribuição de medicamentos às farmácias

A atividade da distribuição de medicamentos é fundamental para contribuir na qualidade de vida da população que vive nas cidades, e em simultâneo muito afetada por fatores tão diversos como os elevados padrões de requisitos técnicos, ou as questões de otimização dos meios de transporte e as necessidades dos seus utentes.

A organização da distribuição está assente no modelo tradicional de uma cadeia de abastecimento, onde os seus atores têm papéis bem definidos e muito regulados por legislação própria, que impede que determinadas tarefas sejam efetuadas por quem não seja autorizado para o efeito, evitando com isso algumas promiscuidades menos salutares à dispensa do medicamento. (Pita, J.R., 2010)

O seu padrão de avaliação é medido com indicadores muito próprios e com rigor internacional. Em termos nacionais as regulamentações são efetuadas pelo INFARMED que depende diretamente da tutela do Ministério da Saúde, seguindo orientações e diretivas comunitárias e internacionais da Organização Mundial da Saúde.

Para entender melhor o foco do problema, analisou-se de forma detalhada as questões do problema da distribuição de medicamentos no ambiente urbano, que passam por; dificuldades em conseguir um nível elevado de serviço de fornecimento, devido às condicionantes físicas (espaço de armazenagem das farmácias); a limitação de recursos financeiros das empresas do sector; a complexidade na organização e planeamento dos meios afetos à distribuição, devido às exigências de entrega (fornecer um bem escasso e muito necessitado pela população); as exigências físicas (espaço temporal de entrega, encomendas de baixas quantidades e várias entregas diárias).

Recentemente este sector sofreu fortes alterações legislativas com a abertura ou liberalização do sector, que tem provocado elevadas tensões internas, expressivamente sentidas pelos agentes do mercado (farmácias e distribuidores) e pelos utentes. (Pita Barros, P., Catela Nunes, L., 2011)

5.3. Os sistemas inovadores de transportes

A atividade do transporte é um forte propulsor de qualquer sector económico e por si só um sistema dinâmico em constante evolução. Os avanços tecnológicos nos meios de transporte têm marcado diferentes etapas do progresso da humanidade e são geralmente precedidas de situações de saturação das tecnologias vigentes.

A atual investigação no contexto dos transportes procura a aplicação eficiente das novas formas de utilização dos conhecimentos técnicos e científicos para melhorar os meios existentes e vai para além disso, criando sistemas complexos e sofisticados que sejam comandados e orientados por meios computorizados e com evidência no automatismo, procurando eliminar ou reduzir as falhas e os riscos humanos.

Os sistemas aéreos não tripulados – *Unmanned Aircraft Systems UAS*, são um óbvio exemplo disso, e estão em linha com os objetivos traçados pelas sociedades modernas - a União Europeia sugere ser necessário alcançar uma estratégia inteligente, inclusiva e sustentável nos sistemas de transporte. (Comissão Europeia COM 913 final, 2013)

5.3.1. Conceito

UA (Unmanned Aircraft) designa um aparelho aéreo cuja operação dispensa a utilização dum piloto a bordo. Por outras palavras, tem a capacidade de efetuar percursos no espaço aéreo sem necessitar de um piloto no comando e a bordo. Pode ser totalmente comandado remotamente a partir doutro local ou também ser programado e funcionar de um modo totalmente autónomo. (U.S. Department of Transportation - Federal Aviation Administration, 2013)

5.3.2. Potencial de aplicações e seus benefícios

Estes veículos tornaram-se o novo paradigma para a aviação, com um fortíssimo potencial de utilização, mas é exigido que os mesmos detenham as devidas adaptações para se equipararem aos veículos tripulados.

Aproveitando as preocupações e necessidades de inverter as emissões de CO2, os transportes urbanos enquanto responsáveis por uma grande fatia dessas emissões têm que seguir um novo rumo, alterando o tipo de propulsão e de combustível utilizado para a sua operação, e por outro lado aliviar o espaço urbano para outras atividades em prol do bem-estar social.

É notório que o seu elevado potencial seja perseguido por uma forte componente de riscos associados e como tal alguns obstáculos estão a ser levantados que impedem o seu pleno desenvolvimento. Ultrapassados que sejam essas barreiras, os sistemas têm uma diversidade de aplicações que prometem ser o novo futuro na era dos transportes – sistemas e veículos autónomos. (VOLPE - National Transportation Systems Center, 2013)

5.4. O Modelo de Negócio

Este tema é um dos vocábulos mais utilizados presentemente na era da globalização tecnológica. Contudo muitas são as interpretações e definições que têm sido empregues em redor deste conceito.

É através de modelos de negócio bem alicerçados que as empresas comercializam novas ideias e tecnologias e a sua importância tem tal significado que uma mesma ideia apresentada de diferentes maneiras pode gerar resultados económicos bem distantes. (Magretta, Joan, 2002)

Toda a atividade comercial necessita de ter um suporte onde assenta a sua ideia de negócio, onde explica o que pretendem oferecer ao mercado, e isso inclui entre outras coisas, como apresentar ou anunciar o produto que quer vender ou serviço que vai oferecer, como alcançar os seus clientes, como escolher os seus fornecedores e como tratar da distribuição do produto ou do modo de colocar no mercado o seu serviço.

Muitas destas informações são triviais no mundo dos negócios, mas nem sempre são organizadas com procedimentos adequados e por vezes aquilo que parece óbvio é esquecido ou desconsiderado da sua devida importância.

Assim, procurou-se estabelecer um modelo que seja percetível ao entendimento geral e isso é claramente atingido por um conjunto de autores que são atualmente uma referência de toda a teoria e prática na apresentação de modelos de negócio. Pela simplicidade e clarividência com que apresentam o tema utilizando para o efeito um grafismo onde esquematizam todas as componentes e que ficou conhecido como o "*business model canvas*" (Osterwalder, A. Pigneur, Y., 2010).

A representação evoluiu para um quadro com um visual muito atrativo e que de certa maneira cria *per si* um padrão de apresentação e desenvolvimento de modelos de negócio.

Este grafismo que permite uma perceção (*the big picture*) muito forte e transparente das relações existentes dentro dos nove (9) blocos que se consideram em constante construção, numa lógica dinâmica de permanente atualização e adaptação.

Os nove (9) blocos apresentam a ordem natural de acordo com o decurso construtivo dum negócio. Para além da sua definição e a sua composição, também a forma como se relacionam de modo a cobrirem as 4 principais áreas de uma empresa: Clientes (Relacionamento e Segmentação), Oferta (Prestação de Serviços); Infraestrutura (Meios, Recursos e Parcerias) e Finanças (Aspetos Económico-Financeiros). E ainda são apresentados os seus encadeamentos na atividade que se pretende explorar e as questões-chave que devem ser colocadas. (Osterwalder, A. Pigneur, Y., 2010)

6. Caso de estudo

Para se poder simular através do desenvolvimento de modelos e ferramentas é necessário ter um bom entendimento da realidade, mas esta está fortemente ligada aos processos de tomada de decisão dos agentes envolvidos (que são de difícil entendimento e muitas vezes não identificados), bem como a inexistência de dados

estatísticos (fiáveis e completos) e ainda ausência de uma teoria base de suporte. (Macário, R. et al., 2006)

6.1. Recolha de dados

Para a persecução deste estudo foram efetuadas diligências para obter o máximo de informação possível, sobre o mercado (atividade e local de atuação) em que se pretende implementar o novo sistema.

Foram assim recolhidos dados estatísticos sobre a cidade de Lisboa, relativos à sua população diária, residente e circulante (excluindo os seus visitantes – turistas). Concluiu-se pela análise estamos perante um universo considerável de utentes dos serviços de saúde (particularmente dos serviços prestados pelas farmácias)

Nessa recolha ouve o interesse em verificar os grupos etários e com isso constatou-se que a sua população está a ficar bastante envelhecida. Demonstrando existirem elevadas necessidades acrescidas de cuidados de saúde e prestação de serviços prestados pelas farmácias.

Recolheu-se também dados e indicadores económicos da região de Lisboa, para se perceber a capacidade na aquisição de serviços que possam ter valor acrescentado.

No contexto do estudo, foram reunidos também dados e indicadores do setor farmacêutico para se entender os impactos da aplicação de um novo sistema, quer pelo volume de vendas e suas variações recentes, assim como para perceber se este sector é recetivo a soluções inovadoras – concluindo-se que sim, porque é um dos setores que mais investe em *I &D*.

Para além dos dados reunidos sobre o mercado, foram também alvo de pesquisas as informações junto dos atores do processo de distribuição de medicamentos, com a recolha de dados e informações sobre valores de vendas gerais (dados de Lisboa) e particulares (das farmácias consultadas) de medicamentos – valores mensais e anuais das encomendas programadas e dados sobre encomendas espontâneas, etc. Para além disso foram solicitadas informações sobre custos logísticos relativos ao transporte de medicamentos e dos meios convencionais (veículos)

Relativamente aos sistemas e veículos não tripulados, foram também consultadas algumas marcas existentes no mercado e estabeleceu-se um conjunto de condicionantes operativas - dados sobre vento, pluviosidade e humidade, orografia

(altitudes e sua influência na autonomia), requisitos de descolagem e aterragem - que serviram de auxilio aos cálculos da operação.

6.2. Modo de cálculo dos custos

Estabeleceu-se um paralelismo entre os custos operacionais de um sistema de transporte convencional e de um sistema não tripulado. Que possibilitou uma análise comparativa entre os dois sistemas, servindo estes para a construção de cenários.

6.3. Construção de cenários

Na construção de cenários, tentou-se aproximar um modelo de cálculos que simulasse a encomenda e entrega de pedidos espontâneos de medicamentos, i.e., pedidos de determinados medicamentos que não fazem parte das encomendas programadas por um utente e sua análise de custos.

6.4. Aplicação do modelo de negócio para o *DroneFreight*

Num contexto socioeconómico desfavorável, é notória que existe uma forte aposta na promoção do empreendedorismo quer através da realização novas ideias de negócio.

Muitas empresas novas têm surgido nos últimos anos em Portugal e não só, cuja base é tecnológica, procurando nichos de mercado cujo potencial económico pode ser otimizado mediante a introdução ou recurso a novas tecnologias.

Assim é comum encontrar empresas cuja sua génese seja precisamente uma ideia de negócio assente no desenvolvimento integrado de sistemas tecnológicos, o facto de serem inovadoras envolvem também por isso um elevado risco, no entanto a sua mais valia reside na apresentação de baixos custos operacionais, mas o seu negócio pode ser altamente escalável.

Utilizou-se neste artigo esta representação, para propor um quadro do modelo de negócio duma empresa de aluguer de ***DroneFreight***, realçando os diversos encadeamentos desta atividade de transporte de mercadorias e como deve ser a sua organização no caso de se pretender apresentar este modelo como exemplo de um sistema de transportes.

7. Conclusões e Futuros DesenvolvimentosConclusões

Este artigo pretende estabelecer um quadro de apoio a futuras investigações que envolvam a criação de soluções no âmbito da **logística urbana** para novas formas de transporte de mercadorias.

Na persecução do seu objetivo foi necessário um enquadramento da temática deste sistema complexo **(distribuição de medicamentos às farmácias em meio urbano**) onde se pretende intervir. Fazer assunções sobre o tipo de sistema de transporte (*UAS*) e estudar o mesmo para entender as suas capacidades e o seu potencial. Os veículos convencionais têm obviamente as suas vantagens - serve uma quantidade superior de clientes em cada deslocação e transporta quantidades de produtos muito superiores e executam rotas que devidamente otimizadas que permitem elevadas economias de custos.

Mas quando se observa com profundidade para este tipo de transporte e uma rede deste género, verificamos que existem muitos fatores externos que contribuem negativamente para a sua *performance* e que por vezes são negligenciados ou retirados para que as suas incertezas não afetem os modelos. Referindo-nos ao congestionamento e a sua imprevisibilidade que muitas vezes coloca em causa todos os parâmetros de tempo do modelo.

Quando se pretende intervir numa hipótese de melhoria de qualidade de serviço a prestar, nomeadamente na dispensa de medicamentos não previstos na gestão corrente dos *stocks*, e que geram aquilo que se chama de **encomenda espontâneas**, então a relação do uso do ***DroneFreight***, apresenta uma vantagem competitiva elevadíssima, pois os seus percursos são diretos (exceto quando voam sobre locais com restrições) e não tem conflitos de congestionamento nem outras impedâncias. Permitem servir o cliente num curto espaço de tempo (18 minutos no exemplo estudado) e garantir mesmo que este tempo é cumprido.

O custo deste tipo de operação poderá ser refletido em todos os seus intervenientes, de acordo com uma taxa de serviço de urgência (***TsU***) a cobrar segundo percentagens estabelecidas para cada um. Utilizando os dados obtido nos cálculos auxiliares que determinaram o custo operacional de um ***DroneFreight*** iniciou-se uma série de simulações ou ensaios que colocassem em prática uma aplicação do modelo de negócio.

Assim, pode-se concluir que o objetivo proposto foi cumprido - a integração deste sistema num contexto de transporte de carga em ambiente urbano.

7.2. Principais obstáculos no desenvolvimento do estudo

As informações obtidas sobre sistemas aéreos não tripulados ***UAS*,** foi o ponto mais sensível do trabalho, porque este tipo de sistemas ainda não está a operar na atualidade no que respeita ao transporte de carga. Alguns estudos a decorrer por parte de algumas grandes empresas do sector da logística e distribuição, nomeadamente a *Amazon* e a *DHL*, mas a sua divulgação pública ainda é muito escassa. (DHL Microdrones, 2014), (AMAZON, 2014). Para colmatar esta dificuldade recorreu-se a estimativas.

Por fim no conjunto de cenários e plano financeiro estudados, uma vez mais também foram utilizados valores estimados para aplicar ao modelo e recorreu-se a simulações que procuraram representar situações correntes (reais) nos locais de dispensa dos medicamentos (farmácias).

7.3. Futuros desenvolvimentos

Desenvolver futuras investigações na criação de sistemas integrados entre as diversas aplicações informáticas que estão envolvidas - programas de gestão de *stocks*, modelos de planeamento e modelação de rotas a sistemas de navegação de geo-posicionamento por satélite - *GPS*.

Referências Bibliográficas

Allen, J., Thorne, G., Browne, M. (2007). *BESTUFS - Guia de Boas Práticas no Transporte Urbano de Mercadorias.* Edição em Português.

AMAZON (2014). *Amazon Prime Air.* Acedido em www.amazon.com: http://www.amazon.com/b?node=8037720011

Antunes Ferreira, J. (2013). Slides da cadeira de PRU - Planeamento Regional e Urbano do MPOT - Mestrado de Planeamento e Operações de Transporte, I.S.T.

Comissão Europeia (2013). *Avançar em conjunto para uma mobilidade urbana competitiva e eficiente na utilização de recursos.* Comissão Europeia COM 913 final.

CSCMP (2013). *Council of Supply Chain Management Professionals. Education: Glossary of Terms*. Acedido Março, 2014, eme csmp.org, hptt:/www.csmp.org/resources-research/glossary-terms.

Dablanc, L. (2007). *Goods transport in large European cities: Difficult to organize, difficult to modernize.* Transportation Research Part A, 208-285.

DHL Microdrones (2014). *Microdrones Parcelcopter enters regular service for DHL*. Acedido em www. microdrones.com, http://www.microdrones.com/en/news/detail/microdrones-parcelcopter-enters-regular-service-for-dhl/

European Commission SWD (2013) 524 final. (2013). A call to action on urban logistics.

LOGURB. (2007). *Projecto LogUrb - Optimização de Sistemas Logisticos de Distribuição de Mercadorias em Meio Urbano.* Instituto Superior Técnico. Lisboa: FCT Fundação para a Ciência e a Tecnologia.

Macário, R. et al. (2006). Mobilidade urbana sustentável: e a distribuição de mercadorias? *Pluris - 2º Congresso Luso Brasileiro para o Planeamento, Urbano, Regional, Integrado, Sustentável.* Braga: Universidade do Minho.

Magretta, Joan. (2002). Why Business Models Matter. *Harvard Business Review*.

OECD. (2006). *Competitive Cities in Global Economy.* OECD Territorial Reviews.

Osterwalder, A. Pigneur, Y. (2010). *Business Model Generation: A Handbook for Visionaries, Game Changers, and Challengers.* John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.

Pita Barros, P., Catela Nunes, L. (2011). *10 Anos de Politica do Medicamento em Portugal.* Lisboa.

Pita, J.R. (2010). A farmácia e o medicamento em Portugal nos últimos 25 anos. *CIEDA e CIEJD*.

Rodrigue, J-P. et al. (2013). *The Geography of Transport Systems, Hofstra University, Depart. of Global Studies & Geography.* Acedido em http://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch6en/appl6en/core_relations_city_logistics.html

Rodrigue, J-P., Dablanc, L. (2013). City Logistics, Chapter 6. In C. C. Jean-Paul Rodrigue, *The Geography of Transport Systems* (Third Edition ed.). Routedge, Taylor & Francis Group, an Informal Business. Acedido em https://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch6en/appl6en/ch6a2en.html

Taylor, M. A. (2005). The City Logistics Paradigma for Urban Freight Transport. *2nd State of Australian Cities conference in Brisbane.* Acedido em http://www.griffith.edu.au/__data/assets/pdf_file/0010/81397/infrastructure-18-taylor.pdf

U.S. Department of Transportation - Federal Aviation Administration. (2013). *Integration of Civil Unmanned Aircraft Systems (UAS) in the National Airspace System (NAS) Roadmap.* U.S. Department of Transportation - Federal Aviation Administration.

UN-Habitat, U. N. (2013). *Planning and Design for Sustainable Urban Mobility. Global Report on Human Settlements 2013.* UN-Habitat. Routledge.

VOLPE - National Transportation Systems Center. (2013). *Unmanned Aircraft Systems (UAS) - Service Demand 2015-2035, literature Review & Projections of Future Usage.* U.S. Department of Transportation - Research an Innovative Technology Administration.

Agradecimentos

Dedico este trabalho ao meu filho, Luís Vasco (nascido a 2008), com a certeza que será na sua geração que estes sistemas irão atingir a sua plenitude. Uma palavra apreço aos meus antigos Professores e Colegas do IST, UL, pela colaboração e incentivo nos trabalhos e projetos do Mestrado de Planeamento e Operação de Transportes (2012 / 2015), terminando numa tese de dissertação que servem de base a este artigo.

Autor

Luis Neto
mobile.luisneto@gmail.com