



A Utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados para a realização de Modelos Digitais de Terreno. Caso de Estudo do Alto Hama.

Arnaldo Gonçalves¹; Hugo Pinto²; Jorge Costa²

¹ MAC-PC Projetistas e Consultores, Luanda, Angola

² Drone Data & Systems, Mem Martins, Portugal

(geral@macpclda.com; d2s@d2s.pt)

Palavras-chave: Veículo Aéreo não Tripulado, fotogrametria, modelo digital de terreno

Resumo: A utilização de veículos aéreos não tripulados (VANT) começa a fazer parte integrante da atividade de obtenção de dados de informação geoespacial, quer como complemento aos métodos clássicos ou através da sua substituição, pelo que importa conhecer o rigor e a eficiência que estes equipamentos podem proporcionar. Este trabalho pretende apresentar as vantagens da utilização de sistemas VANT, bem como as suas reais capacidades e limitações. Este trabalho também pretende a tendência relativa ao futuro enquadramento legislativo relativo à utilização destes equipamentos. Apresenta-se ainda um caso de estudo relativo ao levantamento fotogramétrico relativo ao abastecimento de água à vila de Alto Hama, onde se inclui o trabalho de processamento dos dados obtidos utilizando um equipamento VANT.



1. Introdução

Os Veículos Aéreos não tripulados (VANT) referem-se a equipamentos sem piloto a bordo e podem ser divididos em duas categorias: asa fixa ou multirotores. Estes equipamentos podem ser pilotados remotamente a partir de estações de terra ou voar autonomamente (Eroglu e Yilmaz, 2014).

A utilização de VANT tem vindo a assumir uma importância crescente na aquisição de dados. De domínio exclusivamente militar, a combinação entre o mercado de aeromodelismo e os novos sistemas de navegação eletrónica permitiram a redução de custos, a miniaturização dos equipamentos e o acesso generalizado desta tecnologia ao mercado civil. De dimensão e peso reduzidos, os VANT estão equipados com acelerómetros, giroscópios e barómetros, que permitem a estabilização automática e recetores GPS, que reportam a sua localização espacial (Yahyanejad e Rinner, 2015).

2. Vantagens e constrangimentos da utilização de VANT

Os VANT apresentam algumas vantagens relativamente aos sistemas clássicos de aquisição de dados que importa identificar. A portabilidade dos VANT, a facilidade de operação (não exigindo operadores especializados) e o planeamento das missões constituem a vantagem mais significativa do ponto de vista de operação. Os sistemas de controlo de navegação também permitem o controlo dos sensores de modo a obter imagens sequenciais com distância e sobreposição previamente definidas.

Os VANT equipados com câmaras fotográficas proporcionam imagens aéreas de regiões que, de outro modo, estariam inacessíveis (Yahyanejad e Rinner, 2015) e podem ser utilizados em missões interditas aos Veículos Aéreos Tripulados (VAT), seja por restrições de dimensão dos VAT ou em locais que exijam elevadas capacidades de pilotagem ou que coloquem os pilotos em risco (Eroglu e Yilmaz, 2014).

Dependendo do tipo de VANT que se utiliza (asa fixa ou multirotor) a autonomia pode ir dos 30 minutos até aos 180 minutos. Esta aparente reduzida autonomia pode, em algumas situações, chegar a ser superior à autonomia de um VAT. O avanço da tecnologia das baterias, motores e hélices tem permitido aumentar de forma significativa a autonomia dos VANT, podendo equiparar-se ou mesmo ultrapassar a autonomia dos VAT. Se considerarmos que os VANT fazem a totalidade do voo, incluindo descolagem e aterragem, no local do levantamento fotográfico e os VAT têm de se deslocar do local onde estão baseados, fazer o levantamento fotográfico e regressar ao mesmo local para aterragem, a autonomia dos VANT pode chegar a ser superior à de um VAT.

Os principais constrangimentos relativos à utilização de VANT prendem-se com o investimento inicial para a aquisição do equipamento e do sensor, que pode variar entre 5.000 e 60.000 USD (Gonçalves e Henriques, 2015) e pela necessidade de adquirir mais do que um equipamento. Efetivamente, por serem equipamentos que estão sujeitos a aterragens em locais acidentados há necessidade de garantir constantemente a sua integridade pelo que se justifica a aquisição de mais do que um equipamento para permitir uma utilização ininterrupta.

Também importa verificar a razão entre o custo de aquisição do equipamento e a respetiva amortização do investimento, traduzida por quantidade de dados obtidos, área coberta ou quantidade de voos realizados e, sobretudo, comparar esses custos com os custos de posicionamento de satélite para captação de imagens de elevada resolução, obtenção dos dados por varrimento com LIDAR ou aluguer de um VAT para captação das imagens aéreas, podendo este constrangimento ser facilmente transformado numa vantagem.

Outro constrangimento que pode condicionar a utilização de um VANT prende-se com a capacidade de carga que é possível transportar. Os sensores de maior qualidade têm, muitas vezes, dimensões e peso superiores à capacidade de carga que o VANT pode transportar. Adicionalmente, sobretudo devido à portabilidade dos VANT, a sua dimensão torna-o suscetível às condições meteorológicas, sobretudo aos ventos que se fazem sentir nas zonas litorais, principalmente quando este se apresenta com escoamento turbulento. No nosso país, os meses que melhor se adequam à utilização de um VANT coincidem com os meses onde a velocidade do vento é maior, o que pode condicionar a utilização de alguns VANT.

Outro constrangimento prende-se com a altitude de operação. Se, por um lado, a realização de voos a baixa altitude pode aumentar grandemente o número de fiadas que é necessário realizar para levantar uma determinada área, por outro os voos de baixa altitude não serão afetados pela eventual nebulosidade que possa existir no local de operação.



Relativamente aos sistemas GPS, nomeadamente aos recetores que se utilizam para navegação e, posteriormente, para georreferenciação de cada uma das imagens captadas, a sua reduzida precisão exige a realização de dezenas de pontos fotogramétricos (PF) para correção da georreferenciação das imagens, o que aumenta o tempo de recolha dos dados. Este constrangimento pode atualmente ser evitado através da utilização de GPS diferencial, que permite a correção entre o GPS do VANT e o GPS da estação de terra, reduzindo substancialmente o erro associado à posição GPS bem como o número de PF a realizar.

A distância operacional de um VANT está limitada pelas recomendações da Autoridade Nacional de Aviação Civil (ANAC) que, mais tarde ou mais cedo, se traduzirão em legislação. Na realidade, a distância operacional de um VANT está, por enquanto, limitada pela qualidade da transmissão de vídeo e telemetria com que está equipado e que pode chegar aos 20 km, mas a recomendação da ANAC limita a distância operacional dos VANT à linha de vista. Certamente que num futuro próximo existirão sistemas de comunicação e identificação que permitirão aos VANT evitar colisões com outras aeronaves bem como a sua restrição em espaços aéreos segregados (sistemas *sense and avoid*) que aumentarão a distância operacional até à limitação de comunicação com a estação de terra, tornando os VANT mais seguros.

3. Panorama legislativo

Apesar de não existir em Portugal legislação relativa à utilização de VANT, existe legislação que limita a utilização de VANT, nomeadamente se estes irão captar imagens aéreas. Sempre que qualquer entidade pretenda captar imagens ou fotografias aéreas terá obrigatoriamente de pedir autorização em impresso próprio à Autoridade Aeronáutica Nacional (AAN). A ANAC também emitiu a CT190 que estabelece as regras de utilização do espaço aéreo.

Ao nível internacional, já há muito trabalho feito nomeadamente em países como o Canadá, França, África do Sul, Austrália e Estados Unidos da América que são mais ou menos restritivos à utilização de VANT. Recentemente, a Agencia Europeia de Segurança na Aviação (EASA) emitiu uma proposta de regulamentação para a operação de VANT (ANPA 2015-10 de 31-07/2015) em discussão até 25 de Setembro de 2015 e que introduz três categorias de operação em função do risco associado, bem como 33 propostas de regulamentação com o objetivo de enviar o parecer técnico para a Comissão Europeia até final de 2015. A ANPA 2015-10 categoriza os VANT em A0 (até 1kg), A1 (entre 1kg e 4kg) e A2 (entre 4kg e 25kg), e propõe que todos os operadores tenham de fazer uma avaliação de risco relativo às operações com VANT, podendo operados em situações de baixo risco (*open*), médio risco (*specific*) ou risco elevado (*certified*).

4. Caso de estudo do Alto Hama

O levantamento fotogramétrico realizado à vila do Alto Hama, província do Huambo, serviu de base ao projeto de abastecimento de água à vila. A localização da vila do Alto Hama encontra-se representada na figura 1.

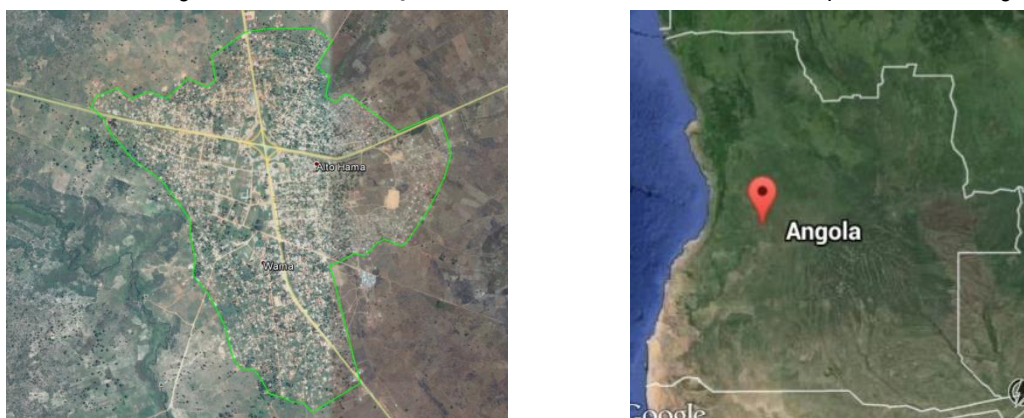


Figura 1 - Localização da vila do Alto Hama. Fonte: Google Maps.

O VANT utilizado para a captação das fotografias aéreas que permitiu realizar o modelo digital de terreno (MDT) foi uma asa voadora d2sX6 adaptada para voo totalmente autónomo, incluindo descolagens e aterragens. Uma vez que a vizinhança da área em estudo era composta por terrenos agrícolas lavrados, zonas habitacionais e floresta de imbondeiros, o que dificultou a escolha dos locais de aterragem, a asa voadora teve de ser especialmente reforçada com materiais

compósitos para permitir aterragens em terreno acidentado. A controladora de voo utilizada foi uma 3DR APM e o sensor de imagem foi uma Canon SX260 de 12 MP com uma distância focal de 4,6288mm. As características da asa voadora encontram-se no quadro 1. Todos os voos foram realizados a 218m de altitude relativos ao ponto de descolagem, o que correspondeu a uma altitude de 1750m acima do nível do mar (AGL). O d2sX6 estava equipado com um LIDAR *range finder* de modo a garantir a precisão das aterragens.

Quadro 1 - Características técnicas do VANT utilizado no levantamento.

Envergadura	1500 mm	Área de levantamento	3 km ²
Peso	2680 g	Distância de mapeamento	5 cm.pixel ⁻¹
Área alar	60 dm ²	Precisão do ortomosaico	0,2 m
Tempo de voo	40 min.	Velocidade de operação	15 m.s ⁻¹

Uma vez que o planeamento da missão previa uma extensão de 35km, aproximando-se demasiado do limite de autonomia do VANT, esta foi dividida em duas missões, cada uma com cerca de 18km. A totalidade da missão, bem como a correspondente posição do sensor em cada imagem recolhida encontram-se representadas na figura 2.

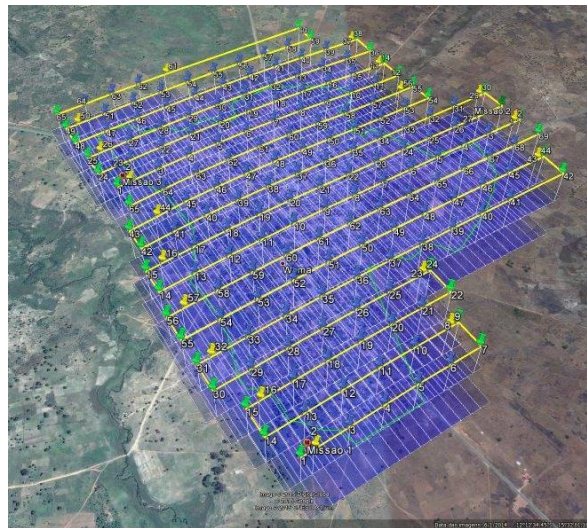


Figura 2 - Missão obtida a partir de software desenvolvido conjuntamente pela MAC-PC e pela D2S. A posição do sensor durante o levantamento pelo VANT está identificada pelos planos a azul.

Após o levantamento fotogramétrico, que correspondeu a 18 fiadas num total de 856 fotografias, foram coordenados 33 PF. O tempo de aquisição dos dados foi de uma manhã e o tempo de processamento foi de cinco dias.

O processamento das imagens recolhidas compreendeu quatro operações principais:

- Montagem do bloco de fotografias;
- Aero-triangulação do bloco por orientação interna, relativa e absoluta;
- Extração de informação vetorial por estereoscopia e geração do MDT;
- Ajuste radiométrico e criação de ortofotomapas.

O grau de precisão pode ser refinado de acordo com as exigências da escala e do tipo de levantamento. Neste contexto, o processo de aero-triangulação oferece mecanismos de cálculo que permitem o ajuste das coordenadas com recurso a um mínimo essencial de pontos de apoio. Ao contrário de outras soluções existentes no mercado, esta solução permite a aquisição de informação vetorial por métodos estereoscópicos muito à semelhança da cartografia tradicional.

O elevado grau de manipulação da informação tridimensional, permite gerir com exatidão o volume de informação necessário para a criação de imagens ortorectificadas livres de deformações geométricas. O ortofotomapa e o MDT de parte do levantamento encontram-se, respetivamente, nas figuras 3 e 4.



Figura 3 - Ortofoto de parte do levantamento fotogramétrico.

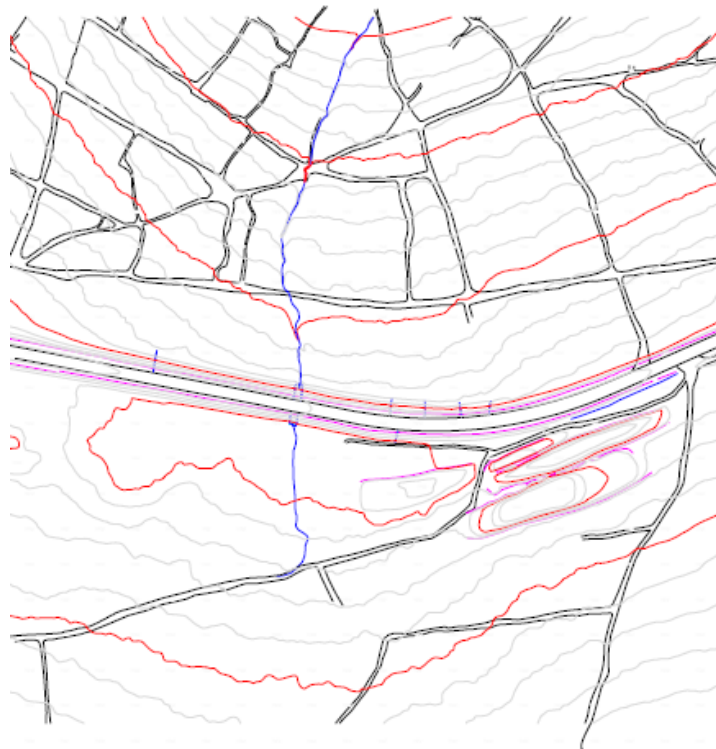


Figura 4 - MDT de parte do levantamento fotogramétrico.



Apesar do cliente solicitar um erro máximo de 0,30m na altimetria, foram coordenados os eixos de todas as ruas e as diferenças encontradas estavam todas abaixo de 0,10m (ver ANEXO).

5. Conclusões

Este artigo pretendeu fazer uma revisão do estado da arte relativo à utilização de VANT para a realização de produtos cartográficos, salientando as vantagens e constrangimentos da utilização deste tipo de veículos relativamente aos sistemas clássicos de topografia e aerofotogrametria, demonstrando que a utilização de VANT pode reduzir significativamente a obtenção de dados de campo sem comprometer a qualidade dos dados e também permite reduzir os custos de aquisição desses dados. Apesar de ainda não existir em Portugal legislação relativa à operação de VANT, não significa que nos encontremos num vazio legal pois a captação de imagens já está regulada, o que condiciona a operação deste tipo de veículos aéreos. Poder-se-á esperar uma legislação restritiva aos utilizadores/pilotos não certificados, bem como a realização de avaliações de risco para todas as operações de aquisição de dados.

O caso de estudo da vila do Alto Hama permitiu, de uma forma expedita e de baixo custo, realizar o levantamento fotogramétrico para produção de MDS e MDT para incluir no projeto de abastecimento de água à vila, demonstrando que a obtenção de imagens por VANT constitui uma alternativa viável comparativamente à aquisição de imagens por satélite ou por VAT.

Referências Bibliográficas

- Eroglu, O.; Yilmaz, G. (2014). A Terrain Referenced UAV Localization Algorithm Using Binary Search Method. *Journal of Intelligent Robot Systems*, 73, 309-323.
- Gonçalves, J.A.; Henriques, R. (2015). UAV photogrammetry for topographic monitoring of coastal áreas. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 104, 101-111.
- Mapa de Angola. (2015). Google Maps. Google. Consultado a 07/08/2015 em <http://www.maps.google.com>.
- Yahyanejad, S.; Rinner, B. (2015). A fast and mobile system for registration of low-altitude visual and thermal aerial images using multiple small-scale UAVs. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 104, 189-202.



ANEXO: ERROS ASSOCIADOS ÀS IMAGENS/COORDENADAS DOS PF

Relatório de Calibração das Fotografias

Project Description: Alto Hama
Coordinate system: WGS84 UTM 33S EPSG CODE: 32733

Number of GCP: 29
Number of Pass Points: 647658
Number of GPS Photos: 840

GPS Sensor Offset:

X: -0,035 m
Y: -0,023 m
Z: 0,229 m

Camera Focal Length: 4,6288 mm
Photo GSD: 0,05 m

Output Sigma: 3 um

GCP	X	Y	Z	Std Err X	Std Err Y	Std Err Z	Mean Err (m)
PF01	558619,537	8648912,475	1514,219	0,015	0,003	0,003	0,014
PF02	558855,717	8649221,136	1525,262	0,006	-0,002	0,006	0,001
PF03	559465,262	8649199,569	1532,959	0,004	0,002	0,000	-0,003
PF04	558955,375	8648978,949	1525,193	0,011	0,010	-0,004	-0,001
PF05	559721,158	8649615,281	1524,419	0,015	-0,002	-0,003	-0,015
PF06	560157,467	8649777,114	1510,255	0,009	0,007	-0,006	-0,001
PF07	559670,621	8648815,508	1531,176	0,007	0,005	0,002	0,004
PF09	560088,198	8649094,402	1514,702	0,005	-0,003	-0,003	0,003
PF10	560259,976	8649541,522	1502,180	0,008	-0,003	0,007	0,003
PF11	559391,534	8648040,878	1521,195	0,006	-0,002	-0,005	0,000
PF12	559912,637	8648274,607	1537,363	0,004	-0,003	-0,002	0,002
PF13	560319,585	8648664,275	1529,602	0,007	-0,001	-0,004	0,006
PF14	560741,631	8648786,658	1530,924	0,002	0,002	0,000	0,001
PF15	560990,889	8648967,869	1525,296	0,010	-0,000	0,002	0,009
PF15A	560870,776	8648537,486	1534,252	0,010	-0,005	-0,007	0,006
PF16	559469,980	8647663,493	1518,661	0,005	-0,002	0,005	-0,001
PF17	559804,103	8647944,575	1536,200	0,005	0,004	0,000	0,003
PF18	560271,740	8648259,905	1539,150	0,003	0,002	-0,002	0,002
PF20	559603,669	8647434,005	1520,626	0,008	0,007	-0,004	-0,000
PF21	559919,214	8647582,882	1534,665	0,008	-0,002	0,007	0,002
PF22	560518,882	8647976,491	1537,831	0,005	-0,002	-0,002	0,004
PF23	560849,137	8648282,936	1531,985	0,002	0,002	0,001	0,000
PF24	559938,704	8647365,460	1534,250	0,006	-0,003	-0,003	-0,003
PF25	560284,596	8647345,170	1542,653	0,005	-0,001	0,004	-0,001
PF26	560543,721	8647607,933	1540,152	0,004	-0,000	-0,001	-0,004
PF28	560190,225	8647080,248	1539,343	0,005	0,000	-0,003	-0,004
PF29A	559872,228	8647090,255	1530,325	0,002	0,001	-0,002	-0,001
PF30	560506,760	8647184,709	1542,905	0,003	-0,002	-0,002	-0,000
PF7A	559084,923	8648515,365	1518,578	0,005	-0,004	0,002	0,000