UTILIZAÇÃO DE DRONES DE PEQUENO PORTE COMO ALTERNATIVA DE BAIXO CUSTO PARA CARACTERIZAÇÃO TOPOGRÁFICA DA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES NO BRASIL

R. O. Borges[1], A. J. Fazan[1], L. T. Sobral[1], R. F. Ribeiro[1], D. S. Lanza[1]

[1]Departamento Nacional de Infraestrutura em Transportes - DNIT, Brasil

RESUMO

Há muitos anos a Fotogrametria é aplicada para a geração de modelos de elevação, seja por meio de sensores aerotransportados ou orbitais. Em projetos pontuais de escala local, os aerolevantamentos tradicionais, bastante onerosos, são inviabilizados em função da grande mobilização de recursos, sem um bom custo-benefício, pelas áreas a serem cobertas. Como solução deste problema, é cada vez mais comum a utilização dos Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT's) para o mapeamento da superfície terrestre, tanto em esfera civil quanto militar. O presente trabalho tem por objetivo avaliar a precisão e acurácia da geração, via aerofotogrametria com drones de baixo custo, de modelos de terreno e mosaico de imagens ortorretificadas comparando com levantamento topográfico por pontos RTK (*Real Time Kinematic*) já realizado no local. O processamento dos dados e fluxo dos processos consistiu na triangulação e medição automática dos pontos de passagem e enlace via correlação de imagens, ajuste do posicionamento dos centros perspectivos das fotografias com base em pontos de controle rastreados com receptor GNSS e métodos RTK e estático rápido, modelagem digital do terreno, ortorretificação das imagens e produção do mosaico final. A partir dos pontos de controle levantados, foi gerado o relatório de processamento e análise de tendência e precisão, de acordo com Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), conforme Decreto-lei 89.817/1984. A partir da análise estatística baseada nos pontos de verificação, foi possível aferir que os modelos são precisos e acurados para a escala de 1:1.000 e curvas de nível a cada metro, com RMS (Erro Médio Quadrático) altimétrico de 7,2cm em um dos levantamentos. Com o MDT final as imagens foram ortorretificadas, e assim eliminadas as descontinuidades e distorções chegando a uma resolução espacial de 3cm. Os pontos de verificação foram novamente utilizados para analisar a qualidade planimétrica das ortoimagens, chegando à conclusão de que as mesmas são precisas e acuradas, atingindo RMS de até 5cm. No geral, os resultados obtidos indicam uma ótima relação custo-benefício, dado o baixo investimento, rápido tempo de processamento, e redução da equipe necessária à sua execução, além dos resultados extremamente consistentes para as áreas de planejamento, monitoramento, execução e manutenção de obras viárias no DNIT. Mesmo com resultados muito promissores, pode-se identificar regiões inconsistentes no MDT (Modelo Digital de Terreno) para a escala e precisão atingida, fato geralmente associado à filtragem de pontos de elevação extraídos em regiões de vegetação densa e interpolação com base em pontos distantes, o que pode ser complementado com pontos GNSS/RTK.

Palavras chave: Geoprocessamento, Fotogrametria, Imagens, VANT, Topografia

ABSTRACT

For many years, Photogrammetry has been applied for the generation of elevation models, either by means of airborne or orbital sensors. In projects of local scale, traditional aerial surveys, which are very expensive, are not feasible due to the large mobilization of resources, without a good cost-benefit, for the areas to be covered. As a solution to this problem, it is increasingly common to use unmanned aerial vehicles (VANTs) for mapping the land surface, both in the civil and military spheres. The present work has the objective of evaluating the precision and accuracy of the generation, through Photogrammetry with low cost drones, of terrain models and orthorectified mosaic comparing with a previous topographic survey based on RTK (Real Time Kinematic) coordinates, previously performed at the site. The data processing flow consisted of triangulation and automatic measurement of the crossing and link points via image correlation, adjustment of the positioning of the perspective centers of the photographs based on control points tracked with GNSS receiver and RTK and fast static methods, digital modeling of the terrain, orthorectification of the images and production of the final mosaic. From the control points collected, the report of processing and analysis of trend and precision was generated, according to Cartographic Accuracy Standards (PEC) defined by Brazilian legislations. From the statistical analysis based on the verification points, it was possible to verify that the models are accurate for the scale of 1: 1,000 and level curves at each meter, with RMS (Root Mean Square) altimetric of 7.2cm in one of the surveys. With the final MDT, the images were orthorectified, eliminating discontinuities and distortions reaching a spatial resolution of 3cm. The check points were again used to analyze the planimetric quality of the orthoimages, arriving at the conclusion that they are precise and accurate, reaching RMS of up to 5cm. In general, the results indicate an excellent cost-benefit ratio, given the low investment, fast processing time, and the reduction of professionals required for this type of work, in addition to the extremely consistent results for the areas of planning, monitoring, execution and maintenance of infrastructure projects at DNIT. Even with very promising results, inconsistent regions can be identified in the DTM (Digital Terrain Model) for the scale and accuracy reached, a fact generally associated to the filtration of elevation points extracted in regions of dense vegetation and interpolation based on distant points.

Keywords: Geoprocessing, Photogrammetry, Images, UAV, Topography

1- INTRODUÇÃO

A partir da necessidade do entendimento da ocupação e utilização dos espaços, tanto naturais como antropizados, vários métodos surgiram visando a caracterização da superfície terrestre. A evolução destes métodos acompanha o desenvolvimento das tecnologias dos equipamentos de coleta e processos de produção de dados. Há muitos anos a Fotogrametria é aplicada para a geração de modelos de elevação, seja por meio de sensores aerotransportados ou orbitais. Atualmente, com os avanços tecnológicos, é possível mapear grandes áreas sem necessidade de mobilização de muitos profissionais, reduzir tempo de aquisição, e facilitar a obtenção de informações em regiões de difícil acesso (Lucieer et al., 2012). No entanto, em projetos pontuais de escala local, os aerolevantamentos tradicionais, bastante onerosos, são inviabilizados em função da grande mobilização de recursos, sem um bom custo-benefício, pelas áreas a serem cobertas.

Como solução deste problema, é cada vez mais comum a utilização dos RPAS (em inglês, Sistema Aéreo Remotamente Pilotado) ou VANT's (Veículos Aéreos Não Tripulados) para o mapeamento da superfície terrestre, tanto em esfera civil quanto militar. Com as tecnologias atuais é possível atingir resoluções de poucos centímetros e precisões compatíveis com aerolevantamentos convencionais fotogramétricos ou de LIDAR (Ferreira A.M.R., 2014).

Conhecidos também como Drones, se dividem em 2 conformações principais: multirrotores e de asa fixa. Geralmente, os de asa fixa apresentam maior autonomia de voo, por conta da sustentação da plataforma conferida pelas asas e por necessitarem de menor energia para se manter no ar, enquanto os multirrotores decolam verticalmente e possuem maior facilidade em sobrevoar áreas mais restritas espacialmente.

No que se refere ao planejamento e execução de obras de engenharia, vislumbram-se diversas aplicações: atualmente o DNIT utiliza experimentalmente drones multirrotores de baixo custo para a geração de informações desde a fase inicial de avaliação da viabilidade até o monitoramento de execução da obra e de sua área de influência. A utilização desta tecnologia no DNIT vem de encontro aos processos e estudos para implantação e manutenção da infraestrutura de transportes no Brasil, onde já foram efetuadas aquisições de dados para a geração de MDT e ortoimagens em obras de rodovias como a BR-010/TO e a BR-080/DF. Em todos estes locais foram gerados produtos com coletas simultâneas de pontos de controle de campo, para ajuste e verificação de qualidade, a partir de levantamentos geodésicos com receptores GNSS de dupla frequência.

O presente trabalho tem por objetivo avaliar a geração, via aerofotogrametria com drones de baixo custo, de modelos de terreno e mosaico de imagens ortorretificadas. Produtos estes insumos para o planejamento e execução de obras de infraestrutura de transportes no Brasil.

2- ÁREA DE ESTUDO

A primeira área de estudo corresponde ao trecho da BR-010/TO, juntamente com o acesso à cidade de Rio Sono, localizada no estado do Tocantins.

Este levantamento compreendeu, na BR-010/TO, da intersecção da entrada da cidade até a ponte sobre o Rio Perdida, e a área entre a intersecção e a pista asfaltada dentro da cidade de Rio Sono, totalizando 55,5 hectares mapeados.

Fig. 1 – Área do levantamento na BR-010/TO.

A outra área de estudo corresponde ao trecho da BR-080/DF, de aproximadamente 2km, onde foi levantada uma intersecção, visando a geração de projeto de readequação viária. O total deste levantamento totalizou, aproximadamente, 60 hectares mapeados.

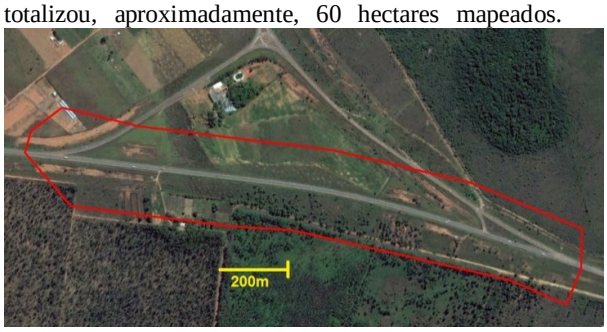

Fig. 2 – Área do levantamento na BR-080/DF.

3- MATERIAIS E MÉTODOS

Os equipamentos utilizados para aquisição das imagens nestes trabalhos foram: DJI Phantom 3 Advanced, para o levantamento da BR-01/TO; e DJI Phantom 4 PRO, para a área da BR-080/DF. Ambos os equipamentos multirrotores leves e de pequenas dimensões e peso aproximado de 1,5 kg, de boa portabilidade.

O sensor óptico embarcado no DJI Phantom 3 Advanced, corresponde ao SONY EXMOR 1/2,3” de 12 megapixels, FOV de 94°, distância focal nominal de 20mm (equivalente a 35mm) f/2,8. Já para o DJI

Phantom 4 PRO, 1” CMOS de 20 megapixels, distância focal nominal de 24mm f/2,8-11.

Fig. 3 – Equipamento e placas cerâmicas utilizadas para marcação de feições fotoidentificáveis.

Para a coleta dos pontos de controle necessários ao ajuste e verificação dos produtos resultantes do aerolevantamento, foram utilizados métodos de posicionamento GNSS relativo estático rápido e RTK no modo semicinemático (*stop-and-go*) (Monico, 2008). Os equipamentos utilizados na coleta dos dados GNSS, tanto na BR-010/TO quanto na BR-080/DF, foram dois pares de receptores geodésicos de dupla frequência, da marca NavCom e modelo Starfire 3040 (BR-010/TO) e o Spectra Precision SP60 (BR-080/DF).

Para as etapas de planejamento e realização (controle) do voo e posterior processamento dos dados, foram utilizados, respectivamente, os seguintes aplicativos:

Drone Deploy: Aplicativo para planejamento de voo e aquisição das imagens. Permite a parametrização do plano de voo em função da resolução desejada para as imagens originais: sobreposição das imagens, linhas de voo e resolução resultante. Possui um módulo de controle do voo em formato de aplicativo, compatível com o dispositivo de controle do RPAS, no caso, um Tablet conectado ao rádio controlador do RPAS.

Agisoft Photoscan: Programa para processamento fotogramétrico das imagens obtidas no aerolevantamento. Integra os dados obtidos de pontos de controle e de imagens para gerar modelos ajustados de terreno, superfície e o ortomosaico.

Topcon Tools: Programa de pós-processamento e ajuste de dados GNSS.

ArcGIS Desktop: Software versátil para integração e processamento de dados geográficos.

GeoPEC: Desenvolvido na Universidade Federal de Viçosa para aferição da qualidade posicional de produtos cartográficos, de acordo com legislação em vigor.

Os pontos de controle e ajuste levantados foram previamente sinalizados no terreno através de placas de cerâmica de 40x40 cm (fig.3), com uma boa distribuição nas áreas levantadas, estes pontos serviram de complementação a outros pontos fotoidentificáveis, como as próprias sinalizações horizontais nos trechos levantados.

O planejamento dos voos foi efetuado no aplicativo *Drone Deploy*, onde o cálculo dos parâmetros de voo se baseia nas informações do sensor e na resolução espacial final pretendida. Adotou-se, nestes trabalhos, uma resolução espacial de 3cm com sobreposições de imageamentos longitudinais e laterais na ordem de 80% e 60%, respectivamente.

Já para o processamento dos dados o fluxo dos processos consistiu na triangulação e medição automática dos pontos de passagem e enlace via correlação automática de imagens, ajuste do posicionamento dos centros perspectivos das fotografias com base nas coordenadas dos pontos de controle, modelagem digital do terreno, ortorretificação das imagens e produção do mosaico final. A geração do MDT no *Agisoft Photoscan* foi realizada através da edição, incluindo classificação semiautomática para eliminação de vegetação, edificações e ruídos da nuvem de pontos produzida através de correlação de automática de imagens. A nuvem de pontos resultante foi interpolada para uma grade regular, obtendo-se como produto final o arquivo matricial do MDT com resolução espacial de 6cm.

Com o MDT final as imagens foram ortorretificadas e as linhas entre as fotos adjacentes (linhas de corte) editadas, para corrigir erros de correlação entre as imagens originais, e eliminar descontinuidades e distorções.

O relatório de processamento e análise de precisão e acurácia, foi realizado de acordo com Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), conforme Decreto-lei 89.817/1984.

Na BR-010/TO esta análise foi feita com 2 grupos de dados: os 10 pontos de verificação levantados na dada do projeto para controle planialtimétrico e, além destes, utilizou-se 6629 pontos RTK anteriormente levantados para confecção de uma peça topográfica do encabeçamento da ponte do Rio Perdida. Estes pontos foram utilizados neste estudo para aferição da qualidade altimétrica do MDT gerado a partir dos dados coletados pelo drone.

Já para a BR-080/DF, foram utilizados 12 pontos de apoio HV para ajuste e 3 pontos para verificação e análise de precisão e acurácia dos produtos resultantes do aerolevantamento com o drone. Ambas as análises foram executadas utilizando-se o aplicativo GeoPEC.

4- RESULTADOS

Na análise efetuada para a BR-010/TO, a partir da análise estatística baseada nos 10 pontos de verificação, foi possível aferir que o MDT produzido é

preciso e acurado, alcançando a “Classe A” do PEC para a escala de 1:1.000 e curvas de nível a cada metro, com RMS altimétrico de 7,2 cm e planimétrico de 5 cm. A Tabela 1 apresenta as discrepâncias obtidas nos pontos de verificação utilizados.

TABELA 1 – DISCREPÂNCIAS OBSERVADAS NOS PONTOS DE VERIFICAÇÃO: BR-010/TO

ID	di(E)	di(N)	di(ABS)	di(H)
D1	-0,0274	-0,0179	0,0327	-0,1304
D11	-0,048	0,0182	0,0513	0,0444
D14	-0,0303	0,0255	0,0396	-0,0747
D19	-0,0223	-0,0029	0,0225	-0,0186
D21	-0,0049	0,0432	0,0435	0,0418
D25	-0,0705	0,0143	0,0719	0,1186
D4	-0,0098	0,0536	0,0545	0,0156
D8	0,0487	0,0116	0,0501	-0,054
DB	-0,0281	0,0195	0,0342	-0,0162
DD	0,0458	0,0371	0,0589	0,0584

Já a análise com os 6629 pontos do levantamento topográfico do encabeçamento da ponte do Rio Perdida, indicou um erro global altimétrico maior do que o calculado nos 10 pontos de verificação, 65 cm, o que indica um PEC final “Classe A” para uma escala de 1:5000, com curvas de nível de 2 metros. A distribuição destas discrepâncias pode ser observada na figura 4.

Já no trecho da BR-080/DF, a partir da análise estatística baseada nos 3 pontos de verificação, foi possível aferir que o MDT produzido é preciso e acurado, alcançando também a “Classe A” do PEC para a escala de 1:1.000 e curvas de nível a cada metro, com RMS altimétrico de 4,3 cm e planimétrico de 6,48 cm. A Tabela 2 apresenta as discrepâncias obtidas nos pontos de verificação utilizados.

Os resultados alcançados para a BR-080/DF evidenciam a tecnologia mais avançada do DJI Phantom 4 Pro, dotado de sensor com 20 megapixels, em relação às suas versões anteriores.

TABELA 2 – DISCREPÂNCIAS OBSERVADAS NOS PONTOS DE VERIFICAÇÃO: BR-080/DF.

ID	di(E)	di(N)	di(ABS)	di(H)
P_08	-0,0319	-0,045	0,0552	0,0366
P_10	-0,0719	0,0118	0,0729	-0,0054
P_15	-0,0089	0,0012	0,009	-0,0492

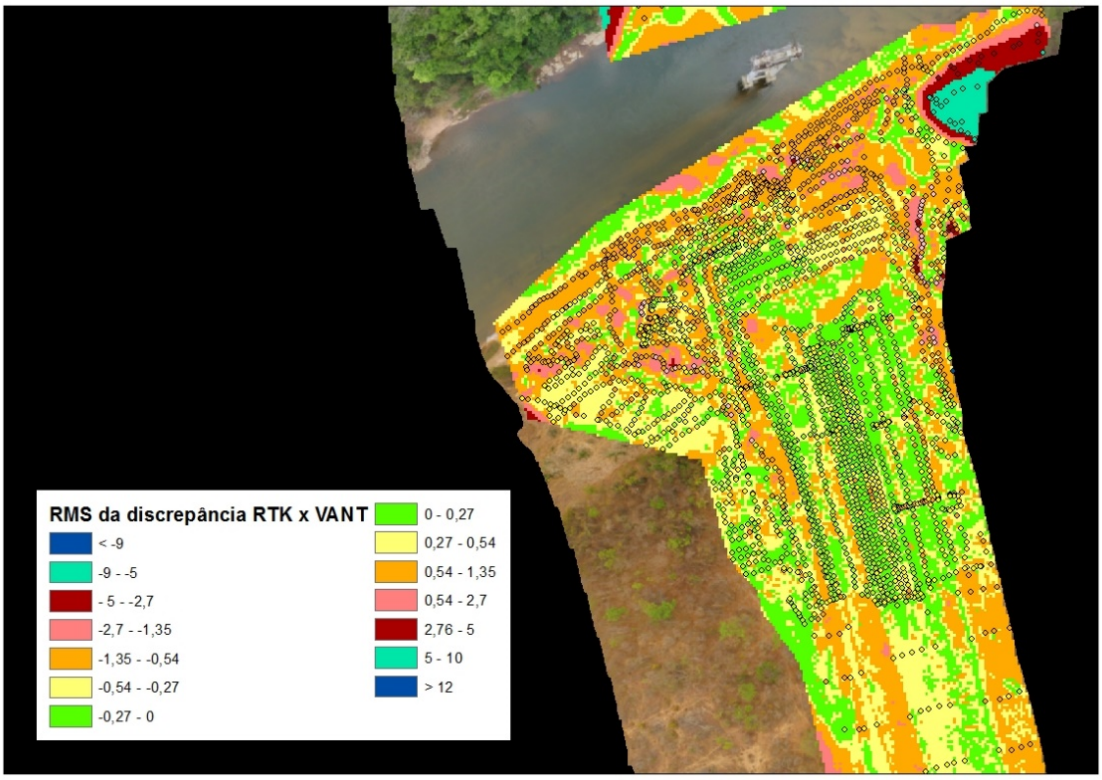

Fig. 4 – Discrepâncias entre os pontos RTK e o MDT do VANT, BR-010/TO.

5- CONCLUSÃO

A partir das análises e processamentos efetuados, em geral estes resultados preliminares obtidos, nos indicam uma ótima relação custo-benefício para o mapeamento de pequenas áreas, realizado a partir de dados coletados a partir de drones. Principalmente no que se refere ao baixo investimento, rápido tempo de processamento (a depender da área levantada), com redução da equipe necessária à sua execução, em comparação a um aerolevantamento tradicional, além dos resultados consistentes obtidos visando o planejamento, monitoramento, execução e manutenção de obras viárias no DNIT.

Mesmo com estes resultados promissores, pode-se identificar regiões inconsistentes no MDT para a escala e precisão atingida, fato geralmente associado à filtragem de pontos de elevação extraídos em regiões de vegetação densa e interpolação com base em pontos distantes. Uma das possíveis formas de eliminar tais inconsistências é a complementação mais abrangente destas áreas, com pontos obtidos através de uma malha mais densa de levantamentos GNSS/RTK, melhorando a qualidade final destes produtos resultantes do levantamento aerofotogramétrico com drones.

Os resultados obtidos no levantamento da BR-080/DF, onde foram utilizados equipamentos mais modernos e uma boa distribuição de pontos de controle (fator este fundamental na amarração do modelo a um sistema de referência), corroboram com as expectativas de que é esperada uma evolução exponencial deste mercado em virtude da rápida atualização de sensores e aeronaves.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao DNIT, à Dynatest Engenharia e Terra Sense, que disponibilizaram apoio logístico, técnico e todos os recursos necessários para realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ferreira, A. M. R. Avaliação de câmara de pequeno formato transportada por veículo aéreo não tripulado – VANT, para uso em aerolevantamentos. Dissertação de Mestrado. UnB, 2014.

Lucieer, A.; Robinson, S.; Turner, D.; Steve, Ha.; Kelcey, J. 2012. Using a Micro-UAV for ultra-high resolution multi-sensor observations of Antarctic moss beds. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXIX-B1, 2012.

Monico, J. F. G. Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações. São Paulo: Editora UNESP, 2ª ed., 2008. 480p.

Santos, A. P. et al 2016. Avaliação da Acurácia Posicional em Dados Espaciais Utilizando Técnicas de Estatística Espacial: Proposta de Método e Exemplo Utilizando a Norma Brasileira. Bol. Ciênc. Geod., sec. Artigos, Curitiba, v. 22, no4, p.630-650, out - dez, 2016