

Mapeamento Topográfico, com utilização de Veículo Aéreo não Tripulado (VANT) e Topografia Convencional.

(Topographic mapping, using unmanned aerial vehicle (UAV) and Conventional Topography)

Ricardo Canal Coelho¹; Rafael Leandro da Silva²; Roberto Savério Souza Costa³

¹Graduação – Centro Universitário UNIFAFIBE – Bebedouro SP
ricardo_ccoelho@hotmail.com

²Centro Universitário UNIFAFIBE – Bebedouro SP
rafael@geo-top.com.br

³Docente - Centro Universitário UNIFAFIBE – Bebedouro SP
roberto_saverio@yahoo.com.br

Abstract. *Topographic data are fundamental tools for assessing land use and occupation, and they can identify, delimit and predict the best location for future investments in the agricultural and industrial area, bringing positive returns to society. The use of the UAV for topographic data acquisition has steadily increased due to its agility and ease of handling. In this way, the present work had the objective of comparing the Digital Terrain Model (DTM), performed by unmanned aerial vehicle (UAV) and the conventional topography method (Total Station). Eight control points were surveyed, and it was verified that differences in orthometric height varied between 5.7 and 11.7 cm. This difference was not significant by the Tukey test (5%).*

Keywords. *topographic survey; orthometric height; total station; digital terrain model (DTM).*

Resumo. *Os dados topográficos são ferramentas fundamentais para avaliação do uso e ocupação do solo, podendo identificar, delimitar e prever o melhor local para futuros investimentos na área agrícola e industrial, trazendo retornos positivos para a sociedade. O emprego do VANT para aquisição de dados topográficos tem crescido constantemente, devido à agilidade e facilidade de manuseio. Desta forma o presente trabalho teve como objetivo a comparação do Modelo Digital de terreno (MDT), realizado por Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) e por meio da topografia convencional (Estação Total). Foi realizado o levantamento de oito pontos de controle e verificou-se que as diferenças de altitude ortométricas variaram entre 5,7 e 11,7 cm, não sendo uma significativa pelo teste de Tukey (5%).*

Palavras-chave. *levantamento topográfico; altitude ortométrica; estação total; modelo digital de terreno (MDT).*

1. Introdução

O mapeamento é um importante subsídio para inúmeras atividades, sendo constituído de dados que permitem a identificação e análise dos fenômenos que ocorrem na superfície do solo. Os produtos cartográficos do mapeamento são de extrema importância para a organização e entendimento de atividades como: planejamento, locação de uso dos solos, projetos de infraestrutura, cadastro urbano e rural, avaliação ambiental, entre outros (SOUZA, 2015). A forma mais comum para se realizar um mapeamento é por meio da topografia convencional, com o levantamento de medições angulares e lineares, realizadas na superfície terrestre, para cálculo de volumes, áreas, coordenadas, etc. Porém para se obter resultados fideis é necessário um bom conhecimento sobre instrumentação, métodos de cálculo e técnicas de medição, (KAHMEN; FAIG, 1988).

Segundo Brinker (1995), a realização do levantamento topográfico convencional pode ser dividida em etapas, sendo a etapa inicial a tomada de decisão do método de levantamento a ser aplicado, posteriormente a escolha de equipamentos e pontos que serão levantados e realização de cálculos e processamento para determinação da precisão do levantamento. Além disso o levantamento topográfico pode ser dividido em levantamento planimétrico e altimétrico, onde o objetivo do planimétrico é obter apenas as coordenadas bidimensionais, de eixos X e Y dos pontos de interesse da área de trabalho. Já o levantamento altimétrico, tem o objetivo de determinar a altimetria (coordenada Z) dos pontos coletados, que representa o desnível de um plano de referência.

Nas últimas décadas com o avanço tecnológico vem crescendo o uso constantemente de veículos aéreos não tripulados (VANT), apresentando vantagens técnicas e econômicas em relação aos levantamentos convencionais (FERREIRA et al., 2013). Segundo Eisenbeiss (2006), o termo VANT refere-se a qualquer veículo aéreo não tripulado, tendo como premissa que o controlador da aeronave esteja em uma base no solo. Para o uso do VANT em levantamento topográfico o equipamento deve possuir sensores digitais nas faixas espectrais da luz visível e infravermelho, esta última sendo especialmente útil para o mapeamento da vegetação e de áreas impermeabilizadas. Mais recentemente, sensores multi e hiperespectrais, laser scanner e radares de abertura sintética, utilizados em aeronaves, estão sendo embarcados em VANT (WANG et al., 2009).

Além do desenvolvimento e aprimoramento das plataformas e dos sensores, há também inovações e experimentação de procedimentos e técnicas de processamento digital das imagens

e dos dados obtidos pelos sensores, buscando maior agilidade e qualidade na obtenção dos dados (MUKHERJEE et al., 2009).

Os produtos fornecidos por meio do levantamento aéreo com VANT são os modelos digitais de terreno (MDT) e as ortofotos, sendo que, o MDT consiste em uma representação plana da topografia com células de igual tamanho representando valores de elevação do terreno. As principais vantagens do MDT gerado pelo VANT são: elevada resolução espacial com modelagem em três dimensões (3D) mais detalhada e um maior entendimento das relações que ocorrem na paisagem (ISIOYE; JOBIN, 2012).

Conforme exposto acima, os dados da literatura relatam as inúmeras vantagens da utilização dos VANTs para levantamentos topográficos. Portanto o presente trabalho teve como objetivo a elaboração do (MDT), através do levantamento realizado por VANT e do levantamento topográfico convencional, assim como a análise da altimetria, tanto como qualidade dos dados gerados por eles e sua aplicabilidade.

3. Material e Métodos

O estudo foi realizado em uma área no distrito de Tapinas, município de Itápolis-SP, sendo escolhida uma parte plana da propriedade rural, com curvas de nível suaves, facilitando o levantamento e análise dos métodos aplicados. A figura 1 demonstra a imagem de satélite da área de estudo em questão com suas delimitações.

FIGURA 1 - Visualização da área de estudo



Fonte: Google Earth 7.1.8.3036 (64-bit), com adaptação própria. (2017)

3.1 Levantamento de dados por meio do VANT

O levantamento de campo foi realizado com o VANT modelo E384, marca EVENT, que possui autonomia de voo de 50 minutos a 1 hora. O equipamento possui a capacidade de aquisição de imagens fotográficas georreferenciadas com auxílio de um computador e antena de telemetria, para o controle do levantamento no solo em tempo real. Em solo foi realizada a programação de rota que o VANT iria percorrer, sendo ele lançado manualmente e após atingir uma altura de 50 metros foi acionado o modo automático, entrando na missão planejada (software Mission Planer). Para auxiliar o georreferenciamento das imagens geradas pelo VANT, foram utilizados 8 pontos de controle e 3 pontos de verificação no terreno, sendo estes locados com o GPS Geodésico Trimble Hiper SR L1/L2, georreferenciados na projeção UTM zona 22 SUL, Datum SIRGAS 2000. Os pontos de controle implantados na área de estudo são foto identificáveis, ou seja, são alvos, com detalhes no terreno visíveis nas imagens aéreas capturadas, referenciados para fazer o ajustamento e análise entre o as coordenadas do terreno com o sistema de coordenadas da imagem. Este ajustamento das coordenadas foi realizado por meio do software GlobalMapper , que após o processamento das imagens, possibilitou obter uma melhor acurácia dos produtos finais gerados nas fotos capturadas pelo VANT.

3.1.1 Sensor de Imagem e GPS acoplados ao VANT

Foi utilizada uma câmera fotográfica com resolução máxima de 28 Mega Pixels (MP) e capacidade de coleta de cenas no espectro da luz visível, ligada ao sistema de posicionamento (GPS) acoplado ao VANT, possibilitando a aquisição das fotos georreferenciadas. A altura de voo foi de 150 metros em relação ao solo, sendo a câmera posicionada na face inferior do VANT. Também foi utilizado um receptor GPS portátil com frequência de 10 Hz, que coletou a coordenada central de cada ponto da foto, sendo os dados armazenados na estação de controle no solo para a geração das imagens em formato mosaico. Por meio destas imagens foi gerado um arquivo de texto organizado em linhas e colunas, sendo fundamental para a realização da imagem em formato mosaico e posteriormente a geração do modelo de terreno. O sistema de coordenadas utilizado pelo VANT foi o datum oficial brasileiro denominado de SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas 2000).

3.1.2 Tratamento dos dados do VANT

Os dados do levantamento aéreo, realizado com o VANT, foram tratados utilizando softwares específicos como o Global Mapper versão 16.0, AgiSoft Photoscan versão 0.8.3 e o AutoCAD Civil versão 2016. Foram utilizadas 154 imagens para a geração do mosaico georreferenciado, recobrando a área de interesse de 484.000,00 m², onde foi utilizada uma sobreposição de imagens de 80% na longitudinal e 70% lateral, possibilitando a elaboração do modelo tridimensional por meio de estereoscopia digital. A calibração da câmera e orientação das imagens foram feitas na mesma etapa por meio de algoritmos automáticos de reconhecimento de padrões espectrais no software Mission Planer. Com o auxílio dos pontos de controle, locados com GPS, foi gerada a grade triangular e a ortofoto com o auxílio de algoritmos de geração de mosaicos no software Global Mapper. O MDT resultante e a ortofoto foram exportados em formatos compatíveis com o AutoCAD Civil 2016 onde foram geradas as curvas de nível do terreno.

3.2 Levantamento convencional por meio de Estação Total (Topografia)

Para o levantamento topográfico convencional foi utilizada a estação total de marca Nikon, modelo 652 dtm, com precisão angular de 2" (segundos) e precisão linear de 3 mm. Para a demarcação dos pontos foi utilizado um bastão com um prisma refletor para captação dos dados topográficos como: distância, altitude, ângulo e coordenadas de cada ponto coletado no local. Devido à extensão da área a ser levantada, foi necessário realizar mudanças da estação total, sendo realizadas três mudanças no total. Os pontos demarcados com a estação total foram georreferenciado pelo método de posicionamento por ponto preciso (PPP) por meio do GPS Geodésico GNSS L1/L2 da marca Topcon, utilizando datum Brasileiro Sirgas 2000 (IBGE). Os dados depois de ajustados, foram importados para o Autocad Civil versão 2016 em formato de bloco de notas e gerado a modelagem de triangulação do terreno. Neste modelo de triangulação foram geradas as curvas de nível automaticamente via software utilizando os dados de altitude levantados em campo, obtendo-se assim o modelo digital de terreno a partir do levantamento topográfico convencional.

3.3 Metodologia de comparação Vant x Estação total

Os tratamentos foram constituídos por 2 levantamentos com diferentes equipamentos (VANT e Estação Total) e 8 repetições (pontos de controle). Os pontos de controle foram implantados na área através da materialização de marcos, e levantados para que fosse possível a comparação altimétrica. Todos os pontos de controle coletados foram comuns para os dois

métodos de levantamento, ou seja, cada ponto de controle foi levantado tanto por VANT quanto Estação Total. Após a análise do modelo digital do terreno de cada método e sua precisão, foram comparados a altitude dos pontos de controle, por meio da análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey (significância de 5 %). Foram determinadas também as vantagens de cada método e sua aplicabilidade na área da engenharia civil.

4. Resultados e Discussão

O levantamento realizado por topografia tradicional, georreferenciado pelo método de posicionamento por ponto preciso (PPP) originou um modelo digital de terreno, tendo como base os dados altimetria dos pontos de controle, conforme apresentados na tabela 1 abaixo.

TABELA 1 – Pontos de controle georreferenciados

PONTO	UTM NORTE (m)	UTM ESTE (m)	ALTITUDE GEOMETRICA (m)
P1	7630314.104	723561.327	499.331
P2	7629984.894	723556.396	505.286
P3	7629655.686	723551.487	506.145
P4	7629728.506	723322.681	495.925
P5	7629805.869	723079.584	482.240
P6	7629842.589	722964.127	481.762
P7	7630448.225	723149.287	485.891
P8	7630218.087	723184.056	489.517

Fonte: Autoria própria (2017)

Com relação a acurácia dos dados apresentados na tabela 1, pode-se inferir que a tolerância máxima teórica do erro angular, calculada no software TopoGraph98, foi de 43,6" e o levantamento apresentou o erro máximo 22,3". Já o erro relativo teórico estipulado foi de 1:10000 e no projeto foi alcançado 1:51583, portanto, o erro de fechamento da poligonal foi inferior as tolerâncias. A acurácia posicional final do projeto foi de 7 mm em X, 9 mm em Y e 6 mm em Z, demonstrando que os dados da tabela 1 estão acurados e são confiáveis para fins de comparação com os dados do levantamento com o VANT.

Nota-se na tabela 1 que os dados de altitude gerados após o ajustamento de coordenadas georreferenciadas, referem-se a uma altitude geométrica, que possui como referencial o elipsóide e não a geóide. Já a altitude utilizada em cartas topográficas e projetos de urbanísticos é a altitude ortométrica, que possui como referencial o nível do mar (geóide).

Segundo Ayhan (1993) na maioria dos trabalhos de posicionamento, levantamento topográficos e geodésicos em obras de engenharia, é imprescindível a determinação da altitude ortométrica, pois é a altitude ortométrica que leva em consideração as variações da superfície terrestre. Portanto para a comparação de dados de altimetria entre topografia convencional com estação total e GPS ou VANT, faz-se necessário a transformação das altitudes geométrica em altitudes ortométricas.

Souza (2006) descreve que para converter a altitude geométrica, obtida através de receptores GNSS, em altitude ortométrica, ou vice-versa, é necessário utilizar o valor da altura geoidal, fornecida por um modelo de ondulação geoidal via software. Desta forma foi determinada a ondulação de geoide da área de estudo por meio do software MAPGEO 2015, disponível no sítio do IBGE. Os dados da ondulação geoidal de cada ponto e o resultado final da transformação de altitude geométrica em ortométrica encontram-se na tabela 2 abaixo.

TABELA 2 - Ajustamento de altimetria de Geométrica para Ortométrica

PONTO	ALTITUDE GEOMÉTRICA (m)	ONDULAÇÃO GEOIDAL (m)	ALTITUDE ORTOMÉTRICA (m)
P1	499.331	-5,65	504,981
P2	505.286	-5,65	510,936
P3	506.145	-5,65	511,795
P4	495.925	-5,65	501,575
P5	482.240	-5,65	487,89
P6	481.762	-5,65	487,412
P7	485.891	-5,65	491,541
P8	489.517	-5,65	495,167

Fonte: Autoria própria (2017)

O levantamento com o VANT foi realizado com o objetivo de se obter o ortomosaico para geração do MDT, assim como obter os dados de altitude ortométrica dos pontos de controle, para comparação com os dados da estação total. Após a aerotriangulação foi gerado o ortomosaico através das 154 imagens capturadas pelo VANT, em formato TIFF, conforme verificado na figura 2.

FIGURA 2 - Ortomosaico de fotos capturadas por Vant



Fonte: Aatoria própria (2017)

Com base nas imagens capturadas pelo VANT, foi obtida a malha triangular com os dados de altimetria de todos os pontos coletados, assim como a altimetria dos pontos de controle. Com todos estes dados foi gerado pelo software Global Mapper o (MDT) e dados de altitude geométricas dos pontos de controle.

As tabelas 3 e 4 representam os dados de altimetria dos pontos de controle gerados pelos MDT, por meio dos levantamentos realizado com VANT e Estação Total, assim como a análise estatística comparativa entre os dois levantamentos. Na tabela 3 é possível observar que os pontos de controle 1, 2 e 4 apresentaram diferença de altitude ortométrica menor que 10 cm, já os pontos 3, 5, 6, 7 e 8 apresentaram diferença entre 10 e 11 cm. Estas diferenças apresentam pouca significância para mapeamento topográfico de grandes áreas, corroborando com os resultados obtidos na análise estatística na tabela 4, que demonstrou não haver diferença significativa quando se utiliza o VANT ou a Estação Total. Toda tecnologia possui seus pontos positivos e negativos e principalmente suas limitações, sendo que o mais importante é conhecer suas características e aplicações de acordo com as necessidades do projeto.

TABELA 3 - Resumo comparativo de altimetria dos pontos de controle

Ponto de controle	Altimetria do VANT (m)	Altimetria Estação total (m)	Acurácia (m)
01	504,903	504,981	0,078
02	510,879	510,936	0,057
03	511,689	511,795	0,106
04	501,658	501,575	0,083
05	487,773	487,89	0,117
06	487,522	487,412	0,110
07	491,648	491,541	0,107
08	495,268	495,167	0,101

Fonte: Autoria própria (2017)

TABELA 4 - Médias dos Levantamentos de Altimetria dos pontos de controle realizados com VANT e Estação Total

Método	Altimetria (m)
VANT	498,917
Estação Total	498,912
Diferença significativa	0,005

Fonte: Autoria própria (2017)

Segundo a empresa Droneng (2017) em experimentos comparativos entre VANT e Topografia Convencional, verificaram que a precisão das coordenadas encontradas foi de 1,7 cm no eixo X; 5,1 cm no eixo Y, e 8,2 cm no eixo Z. Os autores do estudo relataram que para os dados de altimetria esperavam uma acurácia entre 6 a 9 cm, valores estes que corroboram com o resultado obtido neste artigo.

Se tivermos como base um projeto de rede coletora de esgoto, por exemplo, Tsutiya (1999) destaca que a declividade mínima (dm) para que o sistema seja funcional é de 0,45% da distância horizontal entre os pontos de maior e menor altitude e Pinto (2000) cita que a precisão a ser obtida na determinação da altitude de cada ponto, de modo que se garanta essa declividade mínima será: $[\frac{(dm/4)^2}{2}]^{1/2}$. Considerando os pontos de controle P03 e P04 como os pontos de maior e menor altitude e supondo a construção de uma tubulação de esgoto entre estes pontos, que apresentam distância horizontal de 616,380m, a declividade mínima para não haver retorno do esgoto seria de 2,773 m.

Aplicando-se a fórmula descrita por Pinto (2000) obtém-se que a precisão de altitude para garantir essa declividade mínima seria de 49 cm nos pontos. Correlacionando este valor com os valores da tabela 3 verifica-se que as diferenças estão muito abaixo de 49 cm, estando entre 10,6 e 11 cm, logo o levantamento com VANT ou Estação Total seria indiferente em um projeto de dimensionamento de redes de esgoto para a área estudada.

Silva et al. (2015) relatam que a topografia tradicional por meio do uso da estação total e até mesmo tecnologia GNSS é a técnica mais empregadas atualmente para levantamentos de alta precisão. Entretanto nos últimos anos tecnologias de sensoriamento remoto vêm ganhando espaço, uma vez que proporcionam resultados mais rápidos e precisos, como o VANT que é capaz de gerar Modelo Digital de Terreno de alta acurácia. Assim como os autores relataram acima, no presente experimento verificou-se que a diferença entre os dois métodos foi de poucos centímetros, podendo afirmar que o levantamento com VANT possui alta acurácia. Neste caso, o uso do VANT proporcionaria outras vantagens também, tais como: otimização de tempo no levantamento de áreas extensas, maior quantidade de dados gerados, o que proporciona um melhor detalhamento do terreno, dados exclusivos como a realidade virtual do terreno, custo menor devido à necessidade de um número menor de colaboradores em campo e da rapidez da coleta dos dados, gerando uma redução de equipe e gastos de logística com os funcionários.

5. Conclusão

A partir dos resultados obtidos neste trabalho é possível concluir que o Modelo Digital de terreno realizado pelo VANT apresentou precisão entre 5,7 e 11,7cm em comparação com o levantamento realizado por meio da topografia convencional. Desta forma, o MDT gerado pelo VANT pode ser classificado como um produto com precisão e confiabilidade compatível com as tecnologias de topografia convencionais para levantamento altimétricos que exigem diferenças centimétricas.

6. Referências

AYHAN, M. E. Geoid determination in Turkey (TG-91). *Bulletin Géodésique*. Springer-Verlag. Berlin. v. 67, n. 1, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 13133/1994: Versão Corrigida 1996: Execução de levantamento topográfico*. Rio de Janeiro, 1996.

BRINKER, R. C. Surveying field notes, data collectors. In: BRINKER, R. C.; MENNICK, R. ed. *The surveying handbook*. 2 ed. New York: Chapman & Hall, 1995.

DRONENG. *Case técnico: topografia x fotogrametria*. Presidente Prudente, 2017. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/0B64h_BNFmTbnVTY0WW5LQzBSVke/view?usp=sharing>. Acesso em: 10 out. 2017.

EISENBEISS, H.; ZHAND, L. Comparison of DSMs generated from mini UAV imagery and terrestrial laserscanner in a cultural heritage application. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Dresden, Germany, v. 36, part 5, 2006.

FERREIRA, A. M. R.; ROIG, H. L.; MAROTTA, G. S.; MENEZES, P. H. B. J. Utilização de aeronaves remotamente pilotadas para extração de mosaico georreferenciado multiespectral e modelo digital de elevação de altíssima resolução espacial. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16. (SBSR), 2013, Foz do Iguaçu. *Anais...* São José dos Campos, 2013.

INTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Serviço online para pós-processamento de dados GNSS (IBGE-PPP)*. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <<https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/ppp/default.shtm>>. Acesso em: 5 set. 2017.

ISIOYE, A. O.; JOBIN, P. An Assessment of Digital Elevation Models (DEMs) From Different Spatial Data Sources. *Asian Journal of Engineering, Sciences & Technology*, v. 2, n. 1, 2012.

KAHMEN, H.; FAÍG, W. *Surveyng*. New York. Editora de Gruyter, 1988.

MUKHERJEE, A.; VELEZ, R. M; ROYSAM, B. Interest points for hyperspectral image data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 47, n.3, 2009.

PINTO, J. R. M. *Potenciabilidade do uso do GPS em obras de engenharia*. 2000. 177p. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” – UNESP, Presidente Prudente, 2000.

SILVA, C. A.; DUARTE, C.R.; SOUTO, M.V.S.; SANTOS, A.L.S.; AMARO, V.E.; BICHO, C.P. Avaliação da acurácia no cálculo de volume de pilhas de rejeito utilizando VANT, GNSS e LiDAR. *Boletim de Ciências Geodésicas*, v. 22, p. 73-94, 2015.

SOUZA, G. *Análise da viabilidade do uso de vant para mapeamentos topográficos e de cobertura e uso da terra*. 94 p. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Cartográfica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

SOUZA, D. *Avaliação de distorções da rede altimétrica fundamental no sul/sudeste do Brasil usando o geóide e gps*. 137 p. 2006. Dissertação (Mestrado em Geofísica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

TSUTIYA, M. T; ALEM SOBRINHO, P. *Coleta e transporte de esgoto sanitário*. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999.

WANG, W.Q.; PENG, Q.; CAI, J. Waveform-diversity-based millimeter-wave UAV SAR Remote Sensing. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 46, n. 3, 2009.