

AVALIAÇÃO DE FOTOGRAMETRIA COM VANT DE BAIXO CUSTO MUNHOZ, Lucas Emanuel Arresuelo¹; MORAES, Diego Pires²;

³Orientador: Prof. Me. MAGDALENA, Rafael Augusto Valentim da Cruz

Universidade São Francisco

Lucas2014munhoz@hotmail.com

diego.pires@mail.usf.edu.br

¹ Aluno do Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista

² Aluno do Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista

³ Professor Mestre Orientador, Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista

Resumo. Os crescentes avanços da tecnológicos beneficiam diversas áreas, incluindo a topografia. Tendo em vista os modos de obtenção de dados topográficos atuais de um determinado local, este presente estudo utilizou de um VANT (veículo aéreo não tripulado) de baixo custo (tendo relação aos demais VANTs capacitados para esse trabalho) atrelado ao GNSS (*Global Navigation Satellite System*) para realização de levantamentos fotogramétricos de um terreno. Este estudo avaliou os dados obtidos entre diferentes modos de voos e a importância de pontos de apoio (ponto com coordenadas do terreno) gerados com auxílio de um receptor GNSS e com auxílio de *softwares* para processamento das imagens obtidas.

Palavras-chave: Topografia, GNSS, Levantamento fotogramétrico.

Introdução

Os assuntos tratados nesse presente estudo têm como objetivo avaliar as possibilidades do uso de VANT (veículo aéreo não tripulado) de baixo custo em relação aos demais VANTs capacitados a essa função, como ferramenta para a obtenção de imagens e dados geodésicos de grandes áreas para gerar conteúdos de fotogrametria. Os experimentos aqui apresentados tendem exemplificar desde os métodos de obtenção das imagens, a utilização de ponto de apoio gerados por receptores GNSS e posteriormente o processamento das imagens, chegando até a avaliação dos resultados.

Topografia, Altimetria e fotogrametria

Após o surgimento de uma sociedade mais organizada, o ser humano passou a sentir a necessidade de marcar e separar seus domínios e territórios, desta forma se deu início a história

da topografia no mundo. Na época, demarcavam-se as áreas para separar as atividades, tais como; terras para moradia, terras para atividades agrícolas e pecuárias.

De acordo com Coelho Junior, Rolim Neto e Andrade (2014) acredita-se que os primeiros instrumentos topográficos já eram utilizados antes do ano de 3200 a.C. pelos povos do antigo império egípcio. Naquele período, os instrumentos criados eram rústicos, brutos e imprecisos. Mas, tendo comparação com os equipamentos atuais, os egípcios alcançaram dados espantosos. A pirâmide de Quéops, construídas pelos egípcios, pode ser utilizada como exemplo pois ela segue 230,25 metros, 230,45 metros, 230,39 metros e 230,35 metros, que são respectivamente as medidas de sua base, errando poucos centímetros entre elas. Diante das próximas gerações, os instrumentos juntos aos métodos evoluíram muito, tanto tecnicamente e eletronicamente. Desta forma melhorando a operação na obtenção de dados e assim conseguindo controlar os erros para dados com maior precisão. Mais adiante se originou com os gregos a palavra *Topos Graphen*, que na tradução para língua portuguesa se dá por topografia, que tem como significado “descrição de um lugar ou região”. Atualmente existem várias definições a respeito do seu significado. Em geral, pode-se entender que a topografia se tornou uma ciência que estuda e passa a descrever partes da superfície terrestre.

Outro segmento da topografia diz respeito a relevos, mas para compreender o relevo existem algumas definições da altimetria, segundo alguns autores, pode se dizer que:

A altimetria é um ramo da Topografia que estuda, de um modo geral, as distâncias verticais, entre elas, diferença de nível, cotas e altitudes, formadoras do relevo de um determinado local. Pode-se dizer que o produto do levantamento topográfico altimétrico é uma planta/carta/mapa tridimensional. Pois se considerou o relevo, enquanto na Planimetria o produto final é uma representação bidimensional (Coelho Junior *et al.*, 2014, p. 94)

Para que o relevo possa ser compreendido ele precisa ser analisado de alguma forma, a topografia usa como ferramenta para essa análise a altimetria, que são pontos cotados com suas coordenadas cartesianas para representar planimetricamente (x, y) e planialtimetricamente (x,y,z). Para a coordenada (z) chegar ao seu valor é necessário que se conheça cotas, altitude e diferença de nível que são distancias verticais. E assim podendo representar curvas de nível, perfis, seção transversal, modelagem numérica do terreno, entre outras.

E assim, compreendendo pontos referenciados planialtimétricos pode se utilizar da fotogrametria como meio de obtenção de dados geodésicos tendo como ferramenta um VANT.

“Etimologicamente, a palavra fotogrametria (cujos radicais vêm do grego: photon [luz], graphos [escrita] e metron [medições]) significa medições executadas através de fotografias.”

(COELHO; BRITO, 2007 p. 11). Conforme descrito, entende-se que a ferramenta de captura das imagens, no caso o VANT, necessita ser georreferenciado, por tanto, obter imagens e dados planialtimétricos ao mesmo tempo. Nesse sentido conforme Trindade (2021) a fotogrametria digital atua com software e hardware de alta tecnologia com sensores para processamento de imagens gerada a partir de *drones*.

Conhecer o VANT

Segundo SENAR (2018) o *drone* é um termo que vem sendo utilizado popularmente para se referir a um tipo de aeronave, tecnicamente “veículo aéreo não tripulado” (VANT) ou aeronave remotamente pilotada (RPA, sigla derivada do inglês). No Brasil são esses os termos técnicos aceitos pelos órgãos legisladores.

Existem vários tipos de VANTs disponíveis no mercado, para as mais diversas atividades e finalidades. Os mais populares no Brasil para o ramo da topografia e construção civil são os quadricópteros (composto por 4 motores e 8 hélices) e os de asa fixa (VANTS com asas similares aos de avião).

Drones quadricópteros possuem uma maior usabilidade, sendo mais fácil a pilotagem. O seu modo de decolagem e pouso são fáceis de se realizar. Mas no seguimento de mapeamento tem alguns pontos negativos, como; um menor tempo de voo, velocidade menor e uma menor cobertura de área por voo realizado, uma vez que a sua bateria não suporta muito tempo de voo.

Os VANTs de asa fixa podem se destacar como pontos positivos; maiores áreas cobertas, pois sua bateria possui uma maior autonomia. Possibilita um voo mais rápido devido a sua aerodinâmica. Mas por outro lado, sua pilotagem, decolagem e pouso são mais difíceis e demandam uma área maior para serem executadas. Desta forma, diferente dos quadricópteros, não podem ser manuseados por qualquer pessoa ante nenhum preparo.

Veículos aéreos não tripulados (VANTs), não são classificados como uso recreativo, pois existem inúmeros riscos no momento de sua operação, seja ela qual for. Sendo assim, é necessário seguir as legislações existentes no país. O Brasil possui quatro órgãos regulamentadores que regulamentam o uso do drone, sendo eles: Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel), Agência Nacional de Aviação Civil (Anac), Departamento de Controle do Espaço Aéreo (Decea), Ministério da Defesa (MD). Esses órgãos regulamentadores são responsáveis por realizar desde a homologação dos VANTs (cadastro do equipamento e seu operador) até licenças de voo para o uso do espaço aéreo Brasileiro.

Os operadores de VANT, em que os equipamentos possuam acima de 250g são

obrigados a se regulamentar nos devidos órgãos. Porém, drones menores de 250g, que são classificados como “mini”, não são necessárias nenhuma regulamentação, desde que os operadores não realizam voos acima de 120 metros de altura, do contrário, o operador cometerá um ato classificado como operação “maliciosa” que poderá acarretar responsabilidades e punições no âmbito penal.

Materiais e métodos

Para a realização de um levantamento de fotogrametria com imageamento por VANT, é necessário ter o conhecimento de algumas etapas, que será abordada mais adiante neste projeto.

Conhecer o local do experimento

O experimento realizado fica as margens da rodovia Benevenuto Moretto (SP-095), bairro do Arraial, na cidade de Tuiuti, São Paulo. Como primeiro passo para realizar o projeto foi necessário conhecer a área a ser levantada através do programa do Google Earth Pro.

Figura 1: Imagem do Google Earth Pro



Fonte: Editada por autores

Características gerais do VANT utilizado

O *drone* Mavic Mini 2, é um VANT compacto e leve (249g) produzido pela empresa chinesa DJI, que atualmente é uma das líderes no segmento de tecnologia em *drones*, possuindo inúmeros modelos de VANT para as mais diversas finalidades, como exemplo a DJI é uma empresa consolidada no mercado Brasileiro no setor da agropecuária.

O Mini 2, atualmente é isento de regulamentação no Brasil, isso se aplica por seu baixo peso (249g), o que o torna sujeito a menos regulamentações de voo, por esse motivo ele é um *drone* muito popular no mercado Brasileiro.

Ele possui uma câmera muito potente para o seu tamanho, contando com 12 megapixels, mas para o ramo da fotogrametria o que se conta muito é o sensor da câmera; 1/2,3 polegadas, índice que serve para a máxima resolução possível, no caso 4000 x 3000 pixels. Uma das tecnologias da gigante Chinesa DJI é o OcuSync, tecnologia que permite os *drones* chegar a grandes distancias, no caso do “Mini 2” é possível chegar na casa dos 10 km de distância em relação ao receptor. Para que uma grande distância possa ser alcançada, as aeronaves são equipadas com sistemas de posicionamento como Glonass e o sistema Galileo.

O Mini 2 possui autonomia de bateria de até 31 minutos em condições sem ventos. Mas é possível adquirir mais baterias, como exemplo a gigante DJI proporciona aos seus clientes “combos” de equipamentos com até 3 baterias.

O VANT DJI Mini 2 tem valores na versão FlyMore (opção com mais baterias) em torno de R\$ 4.200,00 até R\$ 4.500,00.

Figura 2: drone dji mavic mini 2



Fonte: Dji, 2023.

Sistema de posicionamento

Para o experimento realizado utilizou-se um equipamento receptor GNSS, para obter dados reais de posicionamento por coordenada. Segundo Monico (2008) posicionar um objeto nada mais é do que lhe atribuir coordenadas.

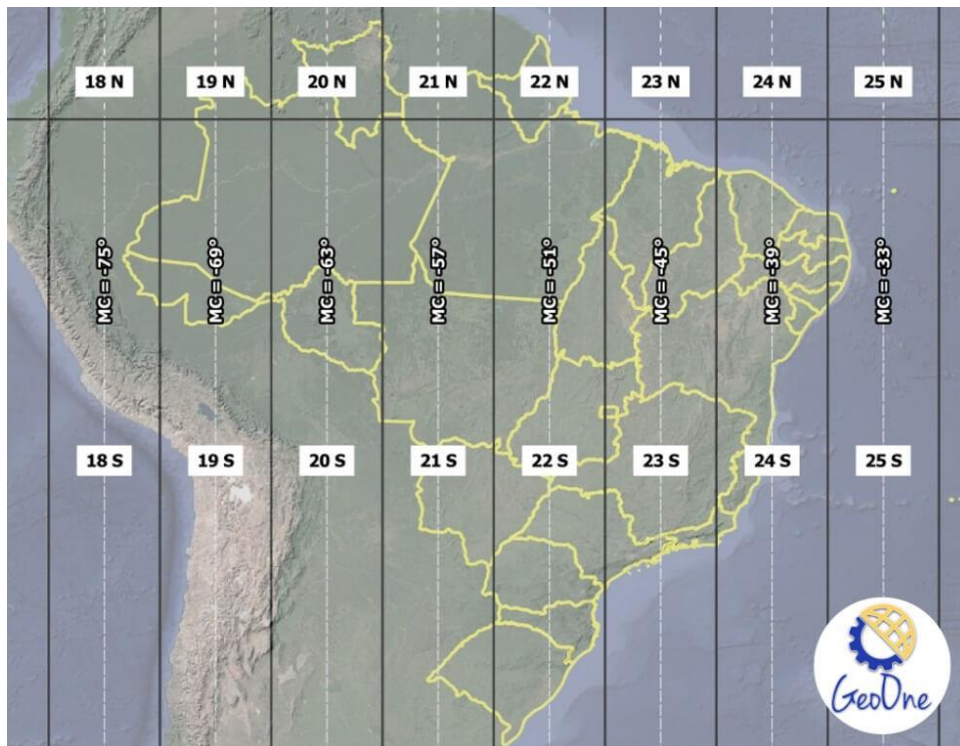
O sistema GLONASS (Sistema de Navegação Global por Satélite), foi desenvolvido pela Rússia, popularmente conhecido no Brasil como GNSS. É uma rede satélites para determinar a localização correta de um ponto em qualquer lugar do planeta.

Sobre o sistema de posicionamento utilizado, podemos dizer que:

Similar ao GPS, o GLONASS foi concebido para proporcionar posicionamento 3-D e velocidade, bem como informações de tempo, sob quaisquer condições climáticas, em nível local, regional e global. (MONICO, 2008. p.34)

É importante ressaltar o sistema de referência geodésico adotado para este presente projeto, que se utilizou o SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico das Américas) / UTM zone 23 S, demonstrado na figura 3. O sistema citado acima, permite maior precisão no mapeamento.

Figura 3: Fusos e hemisférios do sistema de projeção UTM do Brasil.



Fonte: GeoOne, 2023.

Pontos de apoio

Os pontos de apoio nada mais são do que uma maneira de poder afirmar uma localização com bastante precisão, de modo que pode amarrar o local com as imagens obtidas pelo VANT, ou seja, deslocamento da imagem em relação ao terreno.

No terreno a ser levantada com o *drone* foi realizado alguns procedimentos antes da realização do voo. Diante da imagem, nota se um marco já levantado anteriormente por Marque (2023), utilizando um equipamento receptor GNSS. Esse marco é um ponto materializado na área do terreno que possui coordenadas geográficas precisas, como exemplo as coordenadas desse ponto na figura 4 vinculada ao SIRGAS 2000/ UTM zone 23S, são: Easting (m) – 329798.083000 e Northing (m) – 7473101.778000.

Figura 4: Marco 0289.



Fonte: dos Autores.

Após os serem coletados os dados dos marcos, é preciso realizar algum de marcação em solo de modo que quando o *drone* realizar a fotografia seja possível identificar a localização do marco. No projeto executado adotou-se três marcos já existentes, realizou se algumas linhas feitas com cal para uma identificação posteriormente. Outras formas de figuras também são aceitas, quem decide isso é o responsável pelo processamento, que cabe a ele identificar os pontos de controle durante o processamento das imagens.

Figura 5: marcação em cal



Fonte: dos autores.

Figura 6: marcação em cal vista com o VANT



Fonte: dos autores.

Planejamento para execução em campo

Para que se possa obter um excelente resultado de fotogrametria de imagens obtidas por VANT e de modo que não exija um retrabalho em campo, é de tamanho significativo um bom planejamento e uma boa execução do trabalho realizado em campo, pois existem inúmeros fatores que podem afetar consideravelmente a qualidade de um levantamento.

Inicialmente é necessário que se conheça o local do terreno, e o equipamento a ser utilizado. O VANT influenciara nos demais passos do planejamento, pois cada equipamento

tem sua especificidade, que sendo analisadas sugestionara o quanto poderá render em voos realizados, como exemplo, segue alguns parâmetros:

- Escolha do dia e horário para a realização dos voos, é de tamanho significativo consultar informações meteorológicas para evitar ventos forte e chuvas.
- Inspeção da área para o levantamento, por motivos de definições de decolagem da aeronave e definições dos pontos de controle.
- Capacidade de cobertura do equipamento (km^2/voo) até o esgotamento da sua bateria.

Execução do voo

A execução do voo com *drone* para obtenção do imageamento foi realizado por um software de forma autônoma, utilizando uma versão para smartphones. O software é uma ferramenta que permite desde o planejamento até a execução do voo, permitindo voos automatizados.

O software Drone Harmony Mobile (DHM) permite ao operador criar planos de voo detalhados, delimitando o polígono da área a ser levantada para obter as informações para o levantamento.

Existem alguns métodos de voos possíveis para se executar com o Drone Harmony, mas o mais importante a ser ressaltado é que jamais se deve realizar levantamento de forma manual, pois o VANT sobrevoara um percurso que não é uniforme e desta maneira poderá gerar distorção nos dados e possíveis “buracos” nos modelos digitais a serem gerados, que nada mais são que imagens não sobrepostas.

Para o experimento realizado utilizou-se dois modos de voos a fim de comparar qual melhor se destaca nesse projeto. As maneiras de voos adotadas foram; Voo dupla-grelha e Voo cima-baixo:

- Voo dupla-grelha: método em que o VANT voe cruzando as linhas da trajetória, formando voos cruzados ou em grelhas. Ideal para quando o objetivo é gerar modelos 3D do terreno.

- Voo cima-baixo: modo de voo em que o VANT sobrevoa em linha reta do ponto inicial até o ponto final da área delimitada pelo operador. Adequado para quando o interesse é gerar imagens ortomosaicas (imagem 2D).

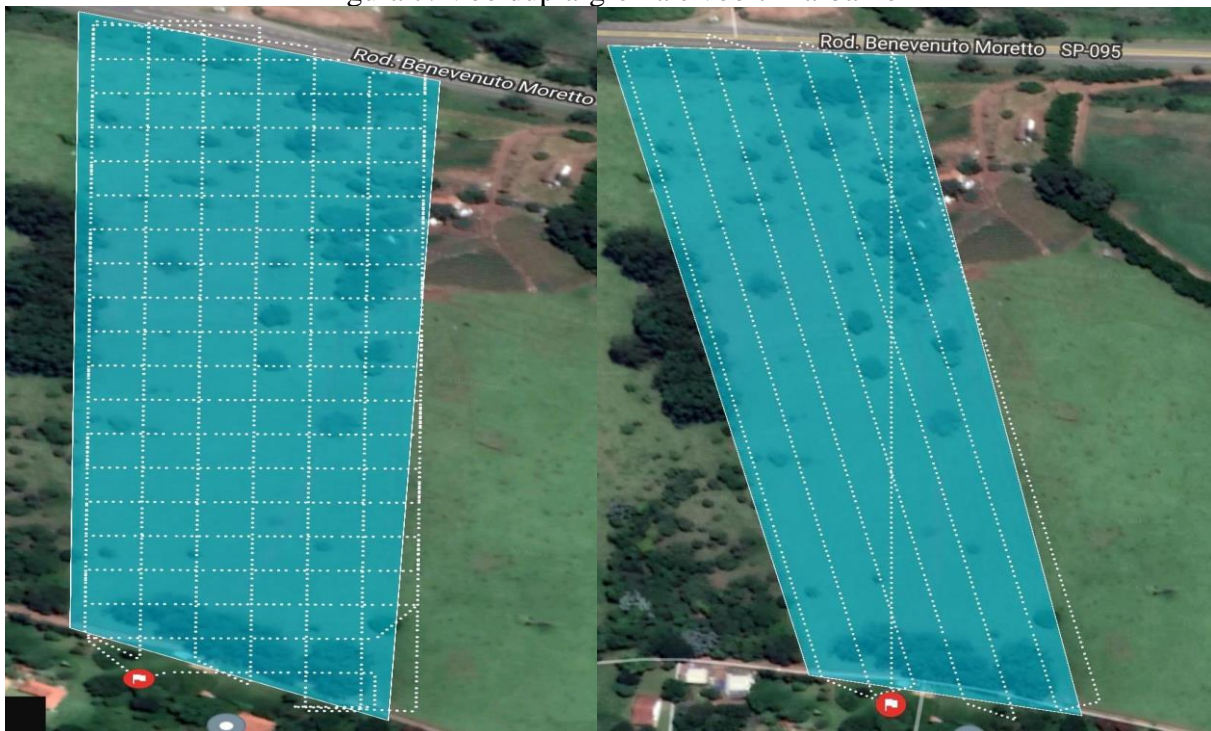
O software Drone Harmony possibilita ao operador executar alguns outros métodos de voos e cada modo tem uma finalidade específica, sendo as possibilidades de aerolevanteamento de terreno, edifícios, estruturas e até mesmo torres de telecomunicações.

O voo específico para edifícios possibilita como exemplo o operador obter fotografias do edifício completo e desta maneira gerar modelos 3D da estrutura, podendo analisar posteriormente fachadas, coberturas e entre outras possibilidades.

Dados inseridos no Drone Harmony Mobile

Após o operador delimitar a área de interesse dentro do aplicativo são necessárias inserir algumas informações para que o voo seja executado. Para a realização deste projeto, foram realizados dois experimentos, ou seja, dois voos. Para efeito comparativo as informações de entradas foram as mesmas, o que mudou foi o modo de voo como já foi citado acima.

Figura 7: Voo dupla-grelha e voo cima-baixo



Fonte: dos Autores

Antes de dar início ao voo é necessário conhecer algumas informações que estão contidas na Tabela 1, que são:

- Cobertura longitudinal e lateral: durante o processamento das imagens obtidas pelo VANT, é necessário que uma imagem se "amarre" a outra, para que isso ocorra se utiliza da sobreposição das imagens. Deste modo permitindo a união das informações contidas e das imagens.
- WayPoints: Quantidades de fotografia que será necessária para a área definida ser fotografada por inteiro.
- GSD planeado: é a distância da amostra do solo. No caso do experimento, cada pixel observado ao dar um zoom máximo na imagem que foi gerada, o pixel possui cerca de 3,63 cm. Exemplo na figura 8.

Figura 8: Visualização dos pixels.



Fonte: dos Autores.

Tabela 1: Informações de cada modo de voo.

Modo de Voo	Dupla-Grelha	Cima-baixo
Altura (metros)	100	100
Bateria utilizadas	2	1
Cob. Longitudinal (%)	85	85
Cob. Lateral (%)	85	85
Distância sobrevoada (metros)	5961	3328
Tempo (minutos)	24	10
Velocidade (metros/segundo)	4,0	4,0
WayPoints	358	138
GSD Planeado	3.63 cm / px	3.63 cm / px

Fonte: dos Autores.

Após definidas as informações de entrada para realizar o voo e o VANT estar conectado ao software, basta dar início a missão, que de forma autônoma o Drone Harmony Mobile realiza o levantamento.

Processamento das imagens obtidas

Após a obtenção das imagens com o VANT é necessário processá-las para poder obter algum tipo de conteúdo afim de se estudar a área levantada. Desta forma, para este projeto realizado, utilizou-se um software específico para a área de estudo, o Metashape, que foi desenvolvido pela empresa Agisoft. O software é uma ferramenta fundamental, pois ele irá processar as imagens obtidas com o VANT.

Após a inserção das imagens ao *software* é necessário realizar um tratamento nas imagens e alinhamento para que se possa realizar posteriormente a sobreposição das imagens. Posteriormente deve se alinhar as fotos marcadas em cal aos pontos de controle previamente inseridos. Feito esses passos o programa está apto a gerar os processamentos escolhidos.

Resultados e Discussões

Observou-se durante o experimento realizado, a imensa facilidade em campo, no contexto prático de gerar o levantamento com o VANT, sem a procedência de nenhuma intercorrência. Desta maneira pode-se destacar como ponto positivo um enorme ganho em relação ao pouco tempo necessário para realizar o levantamento em campo.

Aos modos de voos utilizados, se destaca o voo dupla-grelha. O voo possibilita melhor resultados em quesitos de qualidade de modelagem 3D. gerando imagens mais agradáveis, com maiores resoluções. Isso se deve, pois, as quantias de fotografia são maiores em relação ao outro método de voo.

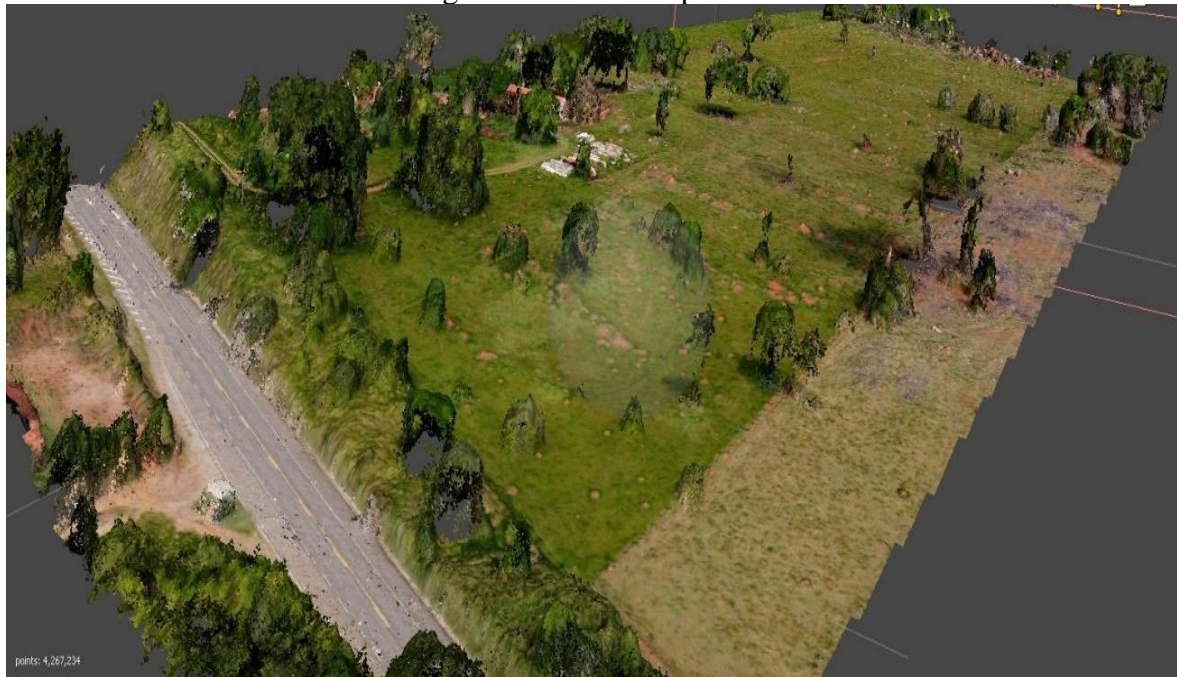
Já o voo cima-baixo se mostrou eficiente quando o objetivo é apenas obtenção de dados georreferenciados. O voo é mais rápido, menor tempo em processamento em *software* e garante uma enorme quantidades de pontos.

A partir do processamento das imagens obtidas com o VANT, pode-se converter as sequências de imagens captadas durante o voo no que se denomina nuvem de pontos. Da mesma forma que com a estação total pode-se levantar alguns pontos para definir o terreno, com o VANT é possível gerar milhões de pontos. Como exemplo a figura 9 possui cerca de 4.250.000

pontos, isso é possível pois cada pixel gerado engloba pontos de referência como coordenada e elevação do terreno. A principal parte do processamento é gerar a nuvem de pontos, pois com ela é possível obter o MDE (modelo digital de elevação), MDT (modelo digital de terreno) e o ortomosaico.

A área de interesse que foi listada na figura 1 deste projeto, constatou-se após os levantamentos com o VANT, que ela está próxima de 48 mil m².

Figura 9: Nuvem de pontos



Fonte: dos Autores.

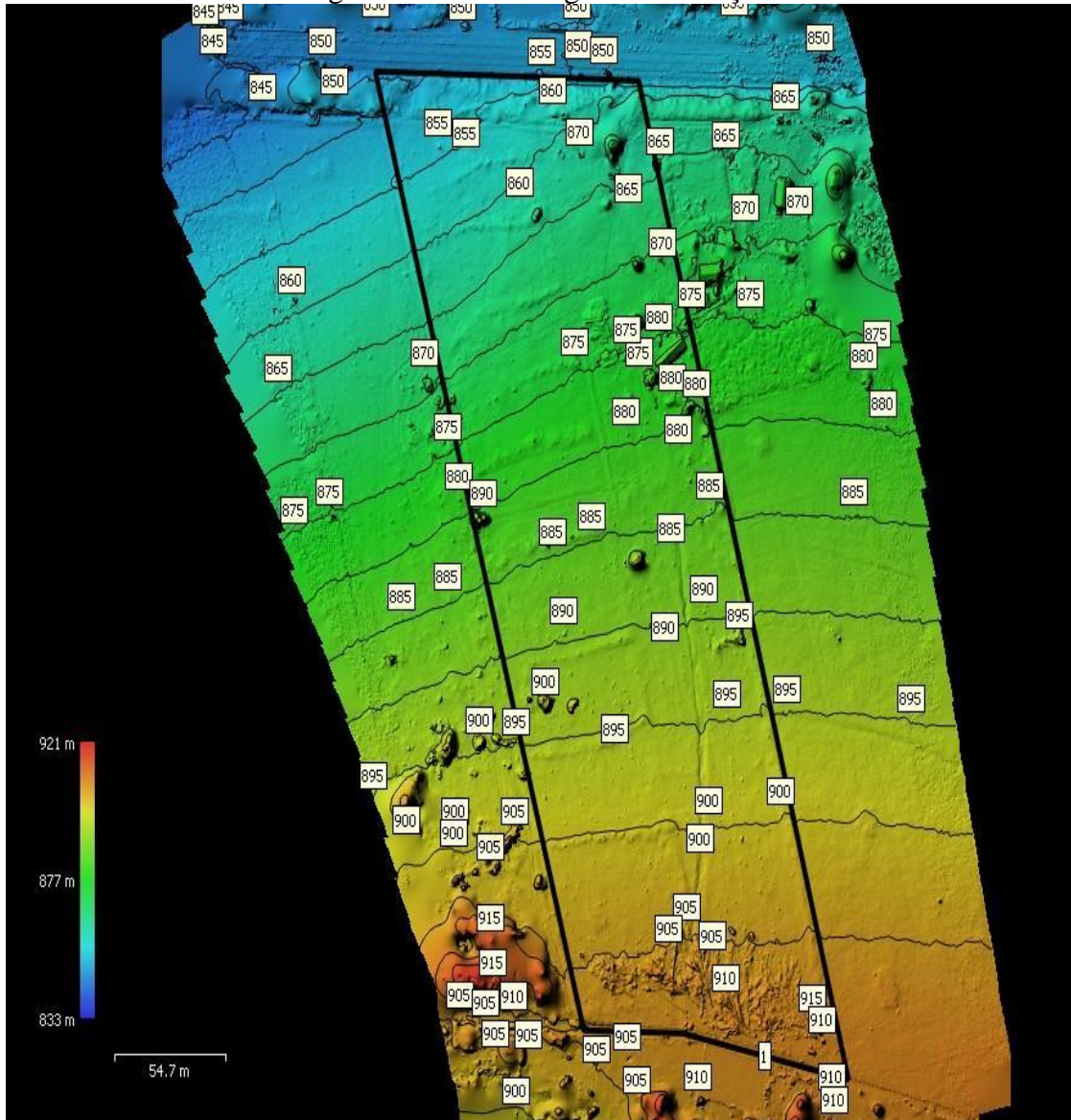
Figura 10: Modelo digital de terreno.



Fonte: dos Autores.

Após a densificação das nuvens de pontos é possível gerar o modelo digital de superfície (MDS), que é um modo que expressa apenas dados da superfície do terreno e mostra dados de altitude do relevo, gerando também as curvas de nível do terreno. No caso da figura 10 temos a variação de cores e os contornos como formas de demonstrar o relevo.

Figura 11: Modelo digital de elevação.



Fonte: dos Autores.

Outro resultado não menos importante que é possibilitado utilizando o software de processamento, são as ortoimagens ou ortofoto. As ortofografias nada mais são que as amarrações entre fotografias geradas pelo VANT, de forma que centenas de fotografias se tornem apenas uma única imagem.

A figura 12 é uma ortofotografia contendo aproximadamente 360 fotografias capturadas, dessa forma uma ortofoto georreferenciada possibilita medições de grandes áreas e ângulos, pois ela carrega uma grande quantidade de informações.

Figura 12: Ortofotografia.



Fonte: dos Autores.

Uma tabela é fornecida pelo software Metashape Agisoft após o processamento das imagens. A tabela diz respeito aos erros em que o VANT faz a georreferencia em relação aos pontos coletados através do receptor GNSS.

É possível notar que os erros de projeção mostrados na tabela 2 são pequenos, não chegando na casa de metros inteiros.

Tabela 2: Projeção dos erros dos pontos de controle em relação as imagens do VANT.

Count	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
3	41.5742	5.56196	5.46887	41.9446	42.2996

Fonte: Metashape Agisoft.

Considerações finais

O grande objetivo deste estudo foi avaliar o trabalho de fotogrametria com VANT, nesse sentido realizou-se um voo de dois modos diferentes em uma determinada área já citada ao decorrer do estudo, com finalidade de levantar informações suficiente para que a avaliação fosse realizada com êxito.

Diante de um VANT de baixo custo, de caráter inicial e sem nenhum equipamento adicionado ao mesmo. Não foi possível obter uma boa precisão posicional, desta maneira se fez necessário o uso do receptor GNSS como ferramenta para gerar pontos de controle. Sendo assim, o estudo demonstrou o impacto dos pontos de apoio.

Em relação as quantidades de pontos georreferenciados obtidos através do VANT com auxílio do GNSS, notou-se que com esse método é possível gerar milhões de pontos, formando uma nuvem de pontos.

Pode-se concluir que o VANT de baixo custo tem suas limitações em relações a coberturas de enormes áreas e a dependência para garantir uma boa acurácia.

Sugere-se para um futuro estudo a utilização de um equipamento PPK acoplado ao *drone*, com intenção na inutilização de pontos de apoio.

Referências bibliográficas

AGISOFT Metashape. 2019. Rússia: Agisoft LLC, 2010. 3D computer graphics software. Disponível em: www.agisoft.com. Acesso em: 1 nov. 2023.

BRITO, Jorge Luís Nunes e SILVA; FILHO, Luiz Carlos Teixeira Coelho. **Fotogrametria digital**. Rio de Janeiro: EduERJ, 2007. Disponível em: http://www.efoto.eng.uerj.br/images/Documentos/fotogrametria_digital_revisado.pdf. Acesso em: 31 out. 2023.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL (Brasil). SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL. **Agricultura de precisão: Drones**. 249. ed. Brasília: SENAR, 2018. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/assets/arquivos/249-DRONES.pdf>. Acesso em: 31 out. 2023.

DJI. **Manual Dji Mavic Mini 2**. [2023?]. Disponível em: <<https://www.dji.com/br>>. Acesso em: 20 set. 2023

DRONE Harmony : Infrastructure digitalization. 2023. Suíça : Drone Harmony AG, 2016. Software automatizado de inspeção de drones . Disponível em: <https://droneharmony.com/about/>. Acesso em: 5 nov. 2023.

FRANÇA, Leandro. **Qual SRC usar em meu projeto do QGIS?** Disponível em: <<https://geoone.com.br/qual-src-devo-utilizar-em-meu-mapa/>>. Acesso em: 17 nov. 2023.

JUNIOR, José Machado Coelho; NETO, Fernando Cartaxo Rolim; ANDRADE, Júlio da Silva C. O. **Topografia geral**. Recife: EDUFRPE, 2014. Disponível em: https://repository.ufrpe.br/bitstream/123456789/2418/1/livro_topografiaGeral.pdf. Acesso em: 31 out. 2023.

MONICO, João Francisco Galera. **Posicionamento pelo GNSS**. São Paulo: Unesp, 2008.