

LEVANTAMENTOS TOPOGRÁFICOS UTILIZANDO DRONES E GNSS

Diogo José da Silva Souza – diogojos50@gmail.com

Jorge Tadeu de Campos – jorge-campos91@hotmail.com

Juan Morais – juan220296@hotmail.com

Karen Martella – karenmartella96@gmail.com

Prof. Dr. Sergio Vicente Denser Pamboukian (Orientador) – sergio.pamboukian@mackenzie.br

RESUMO

Este artigo tem como objetivo mostrar como as novas tecnologias, em específico os drones e o GNSS, podem ser utilizados para realizar um levantamento topográfico, e comparar o processo com o método tradicional de levantamento. E demonstrar que, tanto os métodos tradicionais quanto os novos apresentam seus pontos positivos e negativos que cabem ao escopo do projeto revelar, dentro das suas possibilidades, o que se encaixa melhor em sua busca, seja em custo de equipamento, mão de obra, tempo utilizado para realizar o levantamento, precisão obtida pelo equipamento, produtos gerados, entre outros. E a princípio, a presente pesquisa apresenta as normas para utilização dos drones, pois para realização de um levantamento topográfico com drones é necessário o conhecimento das normas vigentes para seu uso. Estas normas são disponibilizadas pelos órgãos reguladores ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil), o DECEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo) e a ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicação). Após a verificação destas normas, a metodologia utilizada foi a pesquisa e comparação de dados sobre os métodos convencionais e das novas tecnologias, priorizando como tema central a demonstração de um levantamento planialtimétrico através do mapeamento aéreo com drones, além do uso de software para a obtenção de determinados produtos gerados que foram mostrados em detalhes. Analisou-se também outros casos que fizeram a comparação entre o uso de métodos convencionais com o uso de estação total e das novas tecnologias com o uso de drones.

Palavras-chave: Levantamentos topográficos. Drones e GNSS. Métodos tradicionais de levantamento topográfico.

TOPOGRAPHIC SURVEYS USING DRONES AND GNSS

ABSTRACT

This article aims to show how new technologies, specifically drones and GNSS, can be used to perform a topographic survey, and compare the process with the traditional survey method. This research aimed to demonstrate that both traditional and new methods present their positive and negative points that fall within the scope of the project to reveal, within their possibilities, what fits best in their search, whether in cost of equipment, labor work, time used to carry out the survey, precision obtained by the equipment, products generated, among others. And in principle, this

research presents the rules for the use of drones, because to perform a topographic survey with drones it is necessary to know the current rules for their use. These standards are made available by Organs regulatory bodies ANAC (National Civil Aviation Agency), DECEA (Airspace Control Department) and ANATEL (National Telecommunications Agency). After verifying these standards, the methodology was the research and comparison of data on conventional methods and new technologies, prioritizing as a central theme the demonstration of a planialtimetric survey through aerial mapping with drones, in addition to the use of software to obtain certain generated products that have been shown in detail. It was also analyzed other cases that made the comparison between the use of conventional methods with the use of total station and the new technologies with the use of drones.

Keywords: Topographic surveys. Drones and GNSS. Traditional methods of survey.

1 INTRODUÇÃO

Devido à evolução da humanidade, várias tecnologias vêm sofrendo aperfeiçoamento ou sendo completamente substituídas. No caso da engenharia, dificilmente um método será completamente substituído, portanto acaba sofrendo aperfeiçoamentos.

O mundo que conhecemos está evoluindo gradualmente em todas as áreas, e o homem sempre passou pela necessidade de encontrar novos lugares para se alojar, revelando então que o ser humano precisa constantemente se modernizar. Uma das muitas áreas que a engenharia engloba é a topografia, que apresenta tecnologias e seus instrumentos como Estação Total, GNSS e RTK, teodolito, nível, etc.

Os levantamentos planialtimétricos são necessários para a realização de qualquer projeto de construção civil; é preciso dispor da visualização de acidentes geográficos e de outras características do relevo, evidenciando superfícies íngremes e planas.

Neste artigo, é realizado um breve comparativo entre os métodos tradicionais e os métodos com novas tecnologias para levantamentos planialtimétricos, revelando os pontos positivos e negativos que cada método pode apresentar, seja em seu custo, tempo necessário para o levantamento, precisão obtida, produtos gerados, custo de equipamentos, entre outros.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Nesta seção são abordados trabalhos realizados por outros autores, que apresentam questões relacionadas ao trabalho, os quais são usados como referência para este trabalho.

2.1 INTRODUÇÃO

Em todo projeto, recomenda-se analisar todas as possibilidades de execução das atividades e dos equipamentos possíveis de serem utilizados, além de considerar o custo da execução, o tempo empregado, a disponibilidade do material e a facilidade para elaboração do levantamento, isto é possível averiguar no escopo do projeto para tomar uma decisão mais assertiva de qual é o melhor método a ser utilizado. No âmbito da topografia, o uso de drone para investigação de dados apresenta custo inicial baixo e com rapidez de resposta quando comparado a outros levantamentos topográficos considerados convencionais, como no caso mais comum, a utilização do equipamento denominado estação total, que por sua vez coleta dados mais precisos que o drone.

Segundo Pereira (2017), o drone vem sendo explorado desde a segunda guerra mundial, projetado inicialmente pela Alemanha como um míssil guiado, sofrendo ao longo dos anos várias mudanças e melhorias, fazendo com que seja usado de maneira mais ampla, fornecendo novas utilidades, aos quais serão apresentadas em diversos projetos de pesquisa.

Certas questões abordadas ao longo do tempo são quais métodos devem ser utilizados, já que existe uma quantidade razoável de métodos para funções muito semelhantes, como unir de maneira eficaz o drone com a topografia e de que forma seu emprego alteraria o modo como os levantamentos são feitos.

Carvalho (2018) postula que o tempo de um levantamento planialtimétrico efetuado com um drone é três vezes menor que o utilizado com métodos convencionais, em, por exemplo, uma área de 5,71 hectares. Entretanto, sua precisão e acurácia de captação de imagens são inferiores às executadas nos demais métodos, e seu custo é 2,5 vezes inferior à Estação Total, porém com uma margem de erro maior ao valor real dos pontos georreferenciados.

Já Alberto (2015) apresenta de uma maneira mais simples as características dos drones, fazendo um comparativo entre as vantagens e desvantagens de seu uso. Essa pesquisa nos mostra os usos que o drone tem no meio topográfico como: cartografia, gestão na parte agrícola, serviços florestais, controle nas fronteiras, controle de obras e seus impactos, planejamento urbano, entre outros.

2.2 LEVANTAMENTOS PLANIALTIMÉTRICOS UTILIZANDO A TOPOGRAFIA TRADICIONAL

Na topografia tradicional existem métodos que podem ser utilizadas em um levantamento topográfico por meio de alguns instrumentos, como as descritas no trabalho de Veiga (2007) que são

a poligonação, interseção a vante, irradiação e a Estação Total (instrumento utilizado no método tradicional de levantamento). Alguns desses instrumentos serão abordados neste tópico.

A Estação Total é um aparelho eletrônico que permite realizar leituras de distâncias e ângulos a partir do deslocamento de um feixe de luz, que atinge um prisma e é refletido de volta ao aparelho, tendo este um computador interno que armazena todas as informações geradas no campo, segundo Silva et al. (2009).

Na utilização de estações totais, as coordenadas obtidas são referenciais a um plano topográfico com local estabelecido na altitude ortométrica do ponto de origem do levantamento, ou por intermédio de uma altitude estipulada pelo operador (BUSNELLO e CONTE, 2015).

A altitude ortométrica ou Geoidal basicamente consiste em achar o valor da elevação de um determinado ponto na superfície terrestre, tendo como referência o geoide, enquanto a altitude geométrica ou Elipsoidal é a altitude retirada por meio do receptor GNSS, que também localiza o valor da elevação, porém tem como referência, o elipsoide.

No trabalho realizado por Jeronymo et al. (2015), foi concluído que a estação se mostra um método eficaz para trechos de pequeno a médio porte e possui uma grande autonomia energética no campo, contudo um ponto negativo apontado pelo autor é que a Estação Total tende a ser um equipamento difícil de ser utilizado, dependendo do número de visadas e obstáculos a serem levantados.

Já para Fortunato (2018) com utilização da estação total, é possível produzir levantamentos planialtimétricos com precisão milimétrica, executar materializações em campos e outros diversos trabalhos de engenharia. Ainda em seu estudo, em relação ao uso do sistema GNSS RTK, Fortunato (2018) menciona que o RTK possui uma precisão centimétrica e faz a comparação da precisão do levantamento feito por Estação Total, entretanto, ele cita que a produtividade do RTK se destaca, pois é possível coletar mais pontos em curto espaço de tempo e não necessita de mudanças de estação, como ocorre com a Estação Total quando ocorre falta de visibilidade. Complementando a sua pesquisa, Fortunato (2018) acrescenta que em sua observação com o sistema GNSS estático, ou seja, quando não se utiliza o RTK, a sua precisão também é milimétrica, assim como o uso do equipamento Estação Total, embora este caso tenha uma produtividade ainda mais baixas, ressaltando que o aparelho em modo estático necessita permanecer horas rastreando informações de apenas um ponto.

As técnicas utilizadas na topografia tradicional têm o propósito de determinar de forma precisa as informações de um terreno específico normalmente em céu aberto, mas também podem ser utilizadas em áreas cobertas ou em subsolos como evidenciado por Veiga (2007): “os métodos empregados nas determinações topográficas no subsolo pouco diferem dos métodos tradicionais, porém com as implicações de um trabalho realizado dentro de uma mina ou galeria”. No trabalho ele

descreve uma dessas implicações como o fato de que alguns dos pontos levantados podem ser do teto da mina ou galeria.

2.3 LEVANTAMENTOS PLANIALTIMÉTRICOS UTILIZANDO NOVAS TECNOLOGIAS

Ao se comparar as novas tecnologias com os métodos mais tradicionais, podemos citar outros trabalhos que tiveram o mesmo propósito, como é o caso do trabalho Jeronymo et al. (2015) que comparou o levantamento realizado com a Estação Total, o escâner a laser e a fotogrametria terrestre. Além de outros trabalhos que serão abordados no decorrer desta subseção, juntamente com informações mais detalhadas dessas novas tecnologias.

Como já citado anteriormente, Jeronymo et al. (2015) com seu estudo concluiu que em comparação a Estação Total, os métodos de escâner a laser e a fotogrametria terrestre são métodos recomendados para áreas de grande porte, caso essas áreas sejam, majoritariamente, planas e com poucos obstáculos, por exemplo, árvores.

Para a realização de levantamentos de grandes áreas com obstáculos, destacam-se tanto a utilização de drones, com ou sem pontos de controle GNSS (*Global Navigation Satellite System*), quanto dos drones RTK (*Real Time Kinematic*), que também podem ser utilizados com ou sem os pontos de controle GNSS.

O método de levantamento GNSS/RTK utiliza sistema geodésico de coordenadas para determinação de um ponto na superfície da Terra. Sendo que a sigla GNSS se refere ao sistema de cobertura de satélites utilizada pelo equipamento, sistema esse que utiliza vários outros sistemas, tais como, GPS, GLONASS (*Global Navigational Satellite System*), GALILEO e BEIDOU, citados como os principais. Já a tecnologia RTK permite ao operador saber sua posição em tempo real com precisão centimétrica, e com pós-processamento e correções, essa precisão pode ser milimétrica (EXTERCKOETTER, 2019).

Ainda sobre o RTK, leva-se em consideração o posicionamento referente às coordenadas resultantes do processamento de dados ao modelo geométrico da Terra, ou seja, o modelo elipsoidal, com esse plano de referência as coordenadas são geodésicas ao sistema cartesiano ortogonal tridimensional, com origem no centro de gravidade de massa da Terra (BUSNELLO e CONTE, 2015).

O RTK utiliza uma base em solo que se conecta diretamente com satélites e também com o drone (lembrando que isto é considerado apenas no caso em que o RTK é acoplado no drone). Essa base possui coordenadas geográficas muito precisas, por estar fixa em um ponto no solo. Então, as coordenadas dessa base são utilizadas para corrigir o posicionamento do drone constantemente, em

tempo real. Com essa posição adicional da base, é possível calcular muito mais precisamente as coordenadas de posicionamento da aeronave (DELAMURA, 2016).

Os drones ou RPA (Aeronave Remotamente Pilotada) segundo a ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil) vêm sendo utilizados como objetos de estudo, principalmente na área da topografia como no caso do estudo de Sopchaki et al. (2018) que procura analisar a diferença da utilização do RPA com RTK e o RPA sem RTK, ou RPA-SPS (*Standard Positioning Service*), e concluiu que, com a utilização de softwares especializados, é possível obter resultados em escala 1:50.000 ou até melhores, que apresentam erros numa faixa de 0,06% a 1,69%, isso sem a utilização dos pontos de apoio.

A utilização dos drones para a topografia trouxe algumas mudanças, que são, segundo a Droneng (2019), a diminuição das equipes em campo e dos custos em equipamentos, além da facilidade na operação e maior velocidade de aquisição de dados em campos, tornando assim uma vantagem em relação ao método tradicional com o uso do equipamento de estação total.

Em outra comparação mais recente entre a topografia convencional e a topografia com drones, apresentado pela empresa Droneng (2020), durante a realização de uma coleta de dados no campo, obtiveram a conclusão de que há três motivos principais para a utilização de drones durante o estudo em uma área de 31.000 m².

O primeiro motivo apontado pela Droneng (2020) é a produtividade, pois há uma grande diferença no tempo de execução. Com a utilização da topografia convencional, o tempo gasto em campo foi de 8 horas e 15 minutos, o processamento durou 30 minutos e mais 2 horas para gerar os produtos, gerando um resultado de 628 pontos. Com a topografia com drones, o tempo em campo foi de 30 minutos, o tempo de voo durou 15 minutos e o processamento teve a duração de 5 horas e 9 minutos, gerando um resultado com mais de 1 milhão de pontos. E ressaltam que se o estudo tivesse sido feito em uma área maior, a comparação dos números apresentaria uma maior discrepância e exemplificam como se tivesse sido feito em uma área 10 vezes maior, apenas comparando o tempo de campo base. Na topografia convencional o tempo gasto em campo resultaria em 82 horas e 15 minutos, enquanto a utilização de drones, o tempo gasto para o levantamento na mesma área seria em torno de 6 horas.

O Segundo motivo apontado pela Droneng (2020) é o nível de detalhamento do terreno, pois é obtida uma nuvem de milhares de pontos, sendo assim a representação é mais fiel ao terreno, trazendo maior qualidade ao seu produto final.

E o terceiro motivo é o cálculo de volume mais preciso, pois devido ao detalhamento do terreno maior, o modelo apresentado da superfície do terreno é mais denso, sendo possível coletar nuances no terreno, enquanto a topografia convencional o detalhamento é de uma forma mais espaçada.

Outra conclusão semelhante adquirida após o estudo feito por Fortunato (2018) relata que o drone proporciona vantagens maiores com relação a produtividade e número de pontos, além de cálculo de volume de pilha de minério, barragens, cavas e outros serviços relacionados à terraplanagem. Em contrapartida, o drone não substitui equipamentos convencionais em determinadas etapas de uma obra, em muitos casos, ambos se complementam para a geração de um produto final desejado.

De acordo com Pamboukian (2019) as novas tecnologias podem substituir, em partes, alguns tipos de levantamentos realizados por equipamentos tradicionais com qualidade superior, com mais rapidez e acurácia aceitáveis e após a sua comparação entre o uso das novas tecnologias e os equipamentos tradicionais, complementa sua conclusão que é essencial para os futuros engenheiros o conhecimento destas novas tecnologias devido a constante mudança do mercado de trabalho e que está sempre em desenvolvimento e conseqüentemente traz melhoria ao projeto, tanto na qualidade, quanto a redução do custo e do tempo necessário para o levantamento de um terreno, além de um retorno rápido após o investimento inicial com os gastos em equipamentos e treinamentos.

No estudo realizado por Silva (2019) em relação ao uso do GNSS, é proposto pelo autor realizar o processamento de dados com diferentes intervalos de tempo, pois ele relata que em seu estudo foi necessário fazer ajustes de dados e teve problemas com interferência de sinal. E ressalta que seria interessante um estudo do que pode causar interferência no sinal dos equipamentos, e procurar fazer levantamentos em locais onde os equipamentos funcionem sem obstrução de sinal, pois dependendo do local, o levantamento com o GNSS é insuficiente, assim como apresentado em seu estudo.

Para Bergens e Teixeira (2018), “com a chegada dos drones [...] ainda se especula sobre o seu uso para realização de projetos de engenharia que exigem certo grau de exatidão, a exemplo dos projetos de terraplanagem que necessitam das informações do relevo do terreno”. Em contrapartida, a empresa Droneng (2016) relata que “por conta dessa grande popularização, naturalmente a tecnologia acaba sendo banalizada [...]. Isso ocorre porque diversas pessoas se lançam no mercado mirando a oportunidade e se esquecendo da qualidade dos produtos gerados”. Portanto é necessário se fazer um estudo com o equipamento para determinar seu benefício e precisão em relação aos outros equipamentos já existentes.

Em relação aos erros, é preciso distinguir os termos acurácia e precisão, pois para Neto (2019), a acurácia é o grau de proximidade de uma estimativa com seu parâmetro, conhecido como valor verdadeiro, e a precisão é o grau de consistência da grandeza medida com sua média. Explicando melhor esses termos, a precisão é a dispersão das observações em relação à média de todas as observações e a acurácia além de englobar o conceito de precisão, considera as tendências das observações. Segundo Neto (2019) uma das formas de mensurar a acurácia de observação é utilizando

uma grandeza com qualidade superior e considerá-la como referência, como a utilização de pontos de apoio, que servem como referência em solo para o processamento das imagens aéreas.

Ainda segundo Bergens e Teixeira (2018), a “Estação total e o receptor GNSS são exemplos de equipamentos topográficos capazes de realizar o levantamento planialtimétrico”. Com relação ao resultado, é obtida a planta planialtimétrica que “tem o objetivo de fornecer o maior número possível de informações da superfície representada para fins de estudo, planejamento e viabilização de projetos” (BRANDALIZE, 2018 apud BERGENS; TEIXEIRA, 2018).

Os levantamentos feitos com a ajuda da técnica RTK “possui grandes vantagens, pois possui uma grande precisão e é de grande produtividade, principalmente quando comparada com as técnicas convencionais de topografia. Suas maiores limitações estão em ambientes com muita obstrução (vegetação e edifício)” (RIBAS, 2017). E para o método “são utilizados dois receptores, no qual um deles é estacionário e é chamado de “estação base” [...], o outro é o “rover”, e fica junto ao usuário executando a coleta de dados. A estação base fica constantemente calculando correções em relação às coordenadas [...]” (SANTIAGO e CINTRA, 2018).

Segundo a Droneng (2020) existem pontos positivos e negativos tanto na topografia convencional quanto na topografia realizada com drones. Dentre as vantagens apontadas no estudo sobre a topografia com drones é a possibilidade de sua realização de forma remota, sem precisar sair do local e percorrer o terreno para capturar as informações, porém em alguns casos o projeto exige uma acurácia milimétrica que não pode ser atingida com os drones, como por exemplo projetos industriais, por esse motivo elas são metodologias complementares, pois é possível o uso de ambas para aumentar a precisão e rapidez ao projeto.

Uma desvantagem apontada no estudo da Droneng (2020) é que não é possível realizar a locação do terreno apenas com os drones, pois a locação é um tipo de projeto em que já se possui as coordenadas dos pontos e através destas coordenadas você materializa estes pontos no terreno. Essa é uma vantagem da topografia tradicional em relação à topografia com drones, além da sua precisão milimétrica, ela possibilita fazer esta locação, porém apresenta desvantagens por depender de mais tempo em levantamento de informações no campo, possui um custo mais elevado e há limitação de acesso a alguns lugares.

Com a topografia com drones, as vantagens estão justamente em contrapartida com a convencional, pois como demonstraram, o uso de drones permite maior velocidade na aquisição de dados em campo, facilidade na operação, diminuição dos custos dos equipamentos, projetos em regiões inacessíveis e de grande risco e diminuição do número de pessoas em campos, porém as suas desvantagens apresentadas são a precisão centimétrica e a impossibilidade de gerar modelos digitais em áreas de mata densa. Portanto, fica visível que elas se complementam, cabe ao engenheiro decidir

e avaliar o projeto com base nas exigências do escopo qual delas ele irá utilizar, em muitos casos é possível utilizar as duas em um mesmo projeto.

3 METODOLOGIA

Para a realização de um levantamento planialtimétrico com a utilização de drones e GNSS, é preciso entender as etapas necessárias, as quais são abordadas nesta seção.

3.1 REGULAMENTAÇÃO DA AERONAVE E PILOTO

A primeira etapa para a realização do levantamento é a regulamentação da aeronave e do profissional que irá utilizá-la, ou seja, o piloto. Para isso é necessário que o profissional conheça e entenda todos os órgãos governamentais e as normas desenvolvidas por eles para a utilização dos drones.

No Brasil a utilização de drones é controlada por quatro órgãos principais: a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) e o Ministério da Defesa (MD).

A ANATEL é responsável pela homologação da aeronave e do controle remoto, através dessa agência o profissional deve obter um certificado de homologação. O certificado garante o bom funcionamento do sistema de comunicação da aeronave com o controle, sem que haja a interferência de outras frequências como as de rádios ou outros aparelhos. Após a obtenção deste certificado é necessário cadastrar o equipamento na ANAC.

O cadastro da aeronave no sistema da ANAC pode ser realizado pelo site da agência, no Sistema de Aeronaves Não Tripuladas (SISANT), como descrito pela ANAC (2020) esse cadastro é obrigatório para aeronaves não tripuladas de uso recreativo nomeadas de aeromodelos, ou não recreativo que são nomeadas de RPA (Aeronaves Remotamente Pilotadas). Para o cadastro são necessários os documentos pessoais do profissional e o número do Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica (CNPJ) da empresa, quando for o caso, além de informações da aeronave como nome, modelo, número de série, fabricante e foto para identificação, a foto deve apresentar as características já informadas, como também o número de inscrição no sistema definido pelo próprio profissional durante o cadastro que deve ser colado na aeronave de forma a estar sempre visível.

Após a realização do cadastro a ANAC fornece ao profissional uma certidão com as características da RPA, essa certidão deve ser sempre mantida junto com a aeronave em todas as utilizações. Essa certidão é exigida na próxima etapa, que é a solicitação de utilização do espaço aéreo no DECEA.

O DECEA é o órgão responsável pela liberação da utilização do espaço aéreo no local do levantamento. Através do cadastro no site do DECEA na área da Solicitação de Acesso de Aeronaves Remotamente Pilotadas (SARPAS) é obtida a liberação da utilização da aeronave no dia e local do levantamento. Segundo o DECEA (2020), o cadastro requer documentos pessoais do piloto, ou da empresa que utilizará a aeronave junto ao certificado de cadastro no SISANT. Após o cadastro ser confirmado e liberado pelo DECEA o profissional pode solicitar a utilização do espaço aéreo para a realização do levantamento, o DECEA (2020) informa que o certificado de liberação que deve ser apresentado se solicitado durante o levantamento, leva de 45 minutos a 18 dias para ser fornecido, logo deve ser solicitado considerando esse período.

Os cadastros na ANATEL, na ANAC e no DECEA só são permitidos para pessoas maiores de 18 anos que declaram nos cadastros ter conhecimento das normas de utilização, que estão disponíveis para consulta nos sites dos órgãos. Normas como a que determina que a aeronave não deve ter um peso de decolagem maior que 25kg. Como exemplo a norma que determina que a aeronave não deve ultrapassar durante o voo a linha de visada visual (BVOLS - *Beyond Visual ine-Of-Sight*) ou a 400 pés (120 metros) do solo. E no caso de levantamentos em áreas populosas a norma determina que é proibido o voo a menos de 30 metros de pessoas não anuentes, ou seja, pessoas que não emitiram permissão para a serem relacionadas no levantamento.

3.2 PLANO DE VOO

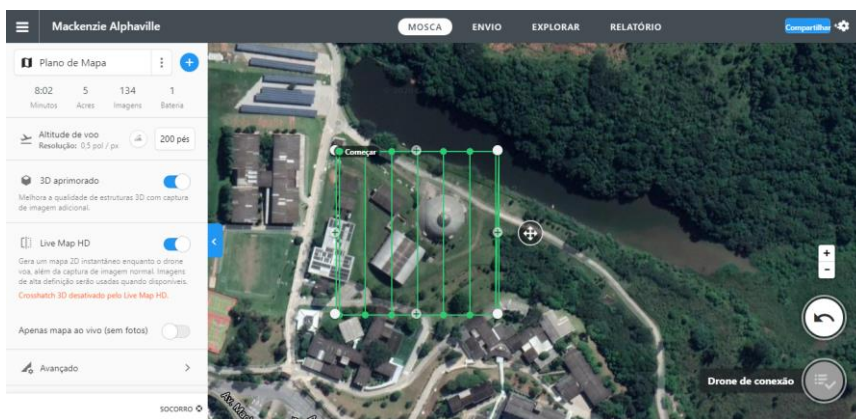
Após a regulamentação da aeronave, do piloto e a liberação da utilização do espaço aéreo, a próxima etapa é a realização do plano de voo. Para a realização dessa etapa, muitas empresas como a PIX4D e a DroneDeploy desenvolveram programas que auxiliam o profissional a desenvolver um plano de voo que atenda ao projeto. Neste trabalho para adquirir mais informações desta etapa foi utilizado o software desenvolvido pela DroneDeploy (2020), pela facilidade de acesso tanto ao software quanto aos tutoriais que estão disponíveis para utilização no site da empresa. Para a utilização do software o local de levantamento foi o campus da Universidade Presbiteriana Mackenzie em Alphaville.

Analisando a interface do software DroneDeploy é possível entender os elementos considerados para a realização do plano de voo de um levantamento com RPAS. Deve ser considerado o local do levantamento e a área a ser levantada, a partir disso deve ser considerada a altura do voo que influencia na quantidade de fotos captadas pelo drone, que por sua vez influencia no percurso realizado durante o voo, na duração do voo e quantas baterias o drone utilizará no levantamento.

Na Figura 1 é possível observar esses elementos. Com a definição do local é possível determinar onde será realizado o levantamento e o software já fornece, na cor verde, uma sugestão

de percurso bem como o ponto de início, ambos podem ser alterados pelo usuário. No lado esquerdo da Figura 1 estão presentes as configurações do voo. Ao determinar a altura do voo considerando a rota já estabelecida, o software calcula e fornece ao usuário as outras informações: a duração prevista do voo, qual o tamanho da área sobrevoada, quantas imagens serão capturadas e quantas baterias serão gastas. O software permite nessa configuração determinar se será gerado um modelo 3D e se o usuário deseja a geração de um mapa 2D de forma instantânea pelo software após o voo.

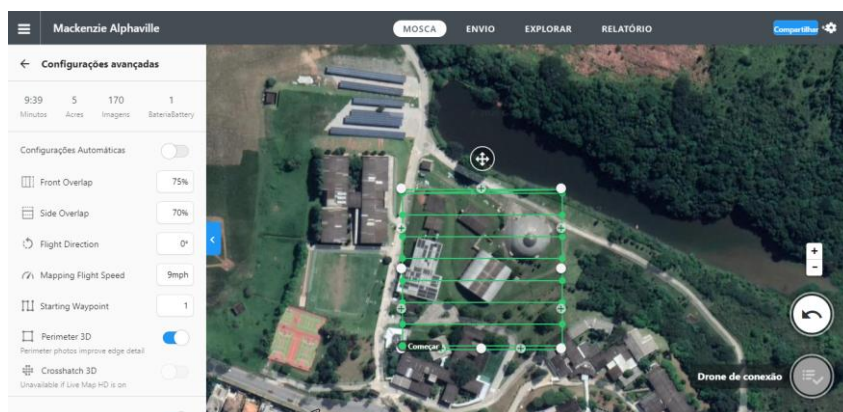
Figura 1 – Plano de voo



Fonte: Elaborada pelos autores

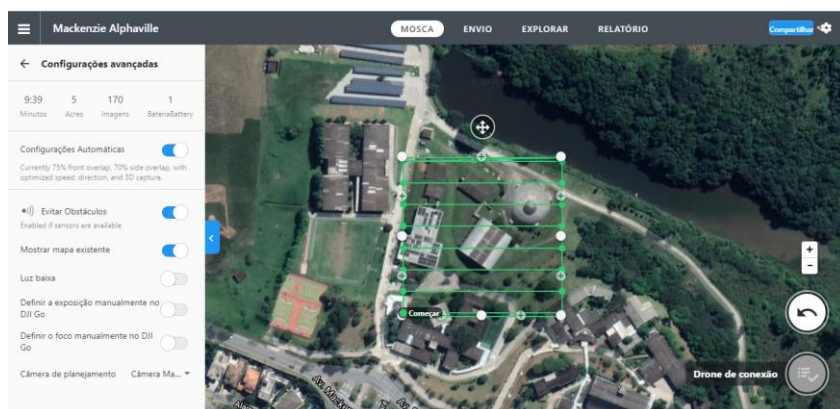
Na Figura 2 estão presentes algumas configurações que o software utiliza automaticamente, mas que podem ser modificadas pelo usuário. Nessas configurações estão os parâmetros de sobreposição, que determinam a porcentagem de que uma foto vai ser tirada por cima da outra quando apresentarem o mesmo ponto. É essa sobreposição que torna a localização dos pontos mais precisa durante o processamento das imagens. Também é possível alterar o ângulo em que o drone vai sobrevoar a área, a velocidade do voo, o ponto de início do percurso e a função “Perimeter 3D” que serve para melhorar a captura das imagens para a formação do modelo 3D.

Figura 2 – Configurações Avançadas



Fonte: Elaborada pelos autores

Figura 3 – Configurações Avançadas



Fonte: Elaborada pelos autores

Na Figura 3 pode-se observar as outras configurações avançadas que também podem ser alteradas pelo usuário. É possível determinar se o drone deve evitar obstáculos no percurso, dependendo da área a ser levantada e a altura de voo podem ser prédios ou árvores, o usuário define a utilização ou não da luz baixa e também determina se a exposição e o foco serão ou não alterados manualmente pelo DJI Go. Este é um software desenvolvido pela DJI (2020) para que seja possível controlar a câmera do drone manualmente, como também a captura das imagens, a exposição à luz na captura das imagens e o foco. Quanto a câmera o software permite que o usuário determine a câmera que vai ser utilizada no levantamento, ou quando for o caso o drone já que alguns drones já vem com câmeras específicas que não necessitam de alteração.

Após realizar todas as alterações no software com base no projeto do levantamento, o plano de voo está pronto para ser utilizado. O software DroneDeploy permite ao usuário realizar uma simulação do voo para que ele confira se realmente é o que ele necessita com tudo para o processamento e geração de produtos a partir dessa simulação é necessária a versão paga do software.

3.3 MARCAÇÃO DE PONTOS DE CONTROLE E LEVANTAMENTO GNSS

Em um levantamento topográfico com o uso de drone é necessário a coleta de pontos de apoio, sendo eles os pontos de controle e de verificação. Esses pontos de apoio são utilizados como referência em solo para o processamento das imagens aéreas.

Os pontos de apoio são objetos, alvos, detalhes no terreno que irão aparecer nas imagens aéreas, cuja aplicação é auxiliar na relação entre o sistema de coordenadas da imagem com o sistema de coordenadas do terreno. São pontos de referência no solo que são utilizados no processamento das imagens aumentando assim a qualidade dos produtos gerados.

Esses pontos segundo o trabalho realizado pela Droneng (2015) podem ser divididos em pontos de controle ou pontos de verificação. A função dos pontos de controle é corrigir os parâmetros

que são obtidos pelo GNSS conectado ao drone durante a captura das imagens. Segundo a Droneng (2015) a utilização desses pontos melhora a precisão do levantamento de metros para uma precisão de centímetros.

Os pontos de controle são geralmente coletados através de um levantamento estático com o GNSS, nesse tipo de levantamento são utilizados dois receptores um é nomeado Base, localizado em um ponto já conhecido, e o outro é chamado de Rover que é posicionado no ponto a ser levantado, o levantamento é realizado pela comunicação entre os dois receptores, e deles com os satélites, determinando as com precisão a localização do ponto levantado.

Os pontos de verificação são coletados de forma semelhante aos pontos de controle. A sua função é garantir qualidade posicional dos produtos cartográficos gerados. Para atestar a qualidade dos produtos gerados através do mapeamento aéreo é preciso utilizar os pontos de verificação em solo.

A verificação é feita através da coleta de um ponto no terreno utilizando um receptor geodésico. Após a coleta, no processamento, é preciso identificar este ponto na imagem, assim os pontos de verificação ajudam a calcular a discrepância entre estes dois pontos (terreno e imagem). Essa discrepância é conhecida como Erro Médio Quadrático (RMS), responsável pela qualidade posicional dos seus produtos.

3.4 VOOS

Após conclusão das marcações dos pontos de controle e levantamento das coordenadas de cada um desses pontos com o rover GNSS, inicia-se a etapa de realização do voo. A duração do voo como visto anteriormente já pode ser determinada no plano de voo com a utilização de softwares como o DroneDeploy.

O tempo de cada voo deve conter o intervalo de tempo gasto para a decolagem e pouso da aeronave. Deve-se trabalhar com uma ampla margem de segurança para o tempo de voo, de modo a permitir que o piloto enfrente possíveis intempéries do clima sem colocar em risco a aeronave e o patrimônio de terceiros presentes na localidade mapeada.

3.5 PROCESSAMENTO DE IMAGENS

Como resultado do voo tem-se as imagens capturadas, com a quantidade também determinada com a realização do plano de voo. Para que essas imagens sejam processadas e transformadas em produtos que tornam possível o estudo da área levantada, são utilizados softwares específicos como o Metashape que é desenvolvido pela Agisoft. Este software foi utilizado neste trabalho para executar

simulações de voo através das imagens fornecidas pelo Laboratório de Geotecnologias da Universidade Presbiteriana Mackenzie, que foram capturadas em um levantamento já realizado no sítio da universidade na região do Cabuçu em Guarulhos.

Para a utilização desse software é importante que o usuário tenha um domínio mínimo da língua inglesa, visto que os tutoriais disponíveis pela Agisoft estão escritos neste idioma. Outra questão importante são as características do computador onde o software é instalado, além de ser necessário um bom processador, espaço de armazenamento disponível tanto para o software quanto para suportar o armazenamento de todas as etapas do processamento, e memória RAM, necessária para que o software tenha um bom desempenho.

Ao utilizar o software as imagens são processadas e com a realização de procedimentos descritos nos tutoriais do software é possível a geração de produtos como: o modelo 3D, o Modelo Digital de Superfície (MDS), o Modelo Digital do Terreno (MDT), Curvas de níveis e o Mosaico de Ortofotos.

O modelo 3D é o resultado do processamento das imagens captadas pelo drone, ele é a representação da área.

O MDS é uma representação em 2D da altura através de cores de todos os elementos da área, desde o próprio relevo até a altura da vegetação e dos edifícios presentes na região.

A partir do MDS realizando um processo de filtragem obtém-se o MDT que é uma representação 2D do relevo da área. Como já dito anteriormente, para sua geração é realizada uma filtragem no MDS onde são retirados todos os elementos que não são o terreno do local levantado, logo o resultado é o mapa do relevo da área. Obtido o MDT podemos obter as curvas de nível, que são determinação do desenho do relevo com as suas cotas de acordo com as alturas demonstradas por cores no MDT.

O Mosaico de Ortofotos pode ser gerado após o processamento das imagens no modelo 3D. O mosaico é uma foto desenvolvida e gerada pelo software ao georreferenciar todas as imagens, ou seja, é uma foto formada pela junção de todas as fotos georreferenciadas individualmente, tornando a foto, segundo a Droneng (2019), mais precisa que as fotos levantadas por satélites.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A proposta deste trabalho consistiu em mostrar como as novas tecnologias (drones e GNSS) podem ser utilizadas para realizar um levantamento topográfico e comparar o processo com o método tradicional de levantamento (estação total).

Na seção anterior foram detalhados os procedimentos necessários para utilização de um drone no desenvolvimento de levantamentos planialtimétricos, analisando todas de etapas do levantamento:

Regulamentação da aeronave e piloto, Solicitação de acesso ao espaço aéreo, Plano de voo, Marcação de Pontos de Controle e levantamento GNSS, Voos, Pós-processamento das imagens e Geração de produtos.

Utilizando-se de simulações de voo nos softwares DroneDeploy e Agisoft Metashape de processamento de imagens, obteve-se o modelo 3D completo da área escolhida, o Modelo Digital de Superfície (MDS), o Modelo Digital de Terreno (MDT), as curvas de nível e o mosaico de ortofotos.

A simulação de voo realizada no software Agisoft Metashape a cada etapa gerou um produto. A partir da etapa de formação de nuvem de pontos e da etapa de formação da textura é possível gerar o modelo 3D. O resultado da conclusão desta etapa, ou seja, a textura de cada item presente no modelo, bem como a pigmentação deles baseada nas fotografias podem ser observados na Figura 4.

Figura 4 – Modelo 3D

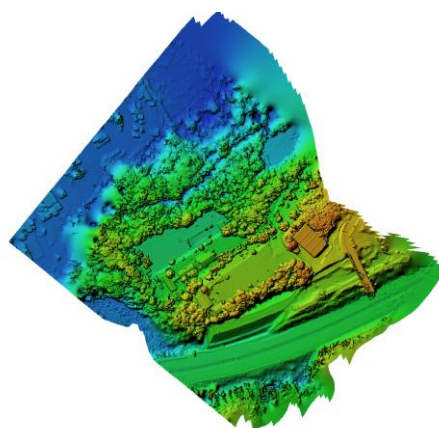


Fonte: Elaborada pelos autores

Após a conclusão do modelo 3D que é base de todos os outros produtos, a próxima etapa é a geração do *Digital Elevation Model* (DEM), para a obtenção dos produtos: mosaico de ortofotos, Modelo Digital de Superfície (MDS), MDT e as curvas de nível.

A partir do MDS é possível observar a altitude de todo o relevo juntamente com as alturas de cada elemento presente no levantamento, como os edifícios e a vegetação, através de uma escala de cores, dados importantes para um levantamento. O MDS pode ser observado na Figura 5, a escala presente na figura XX, determinada para o desenvolvimento do MDS vai de 740 até 815 metros.

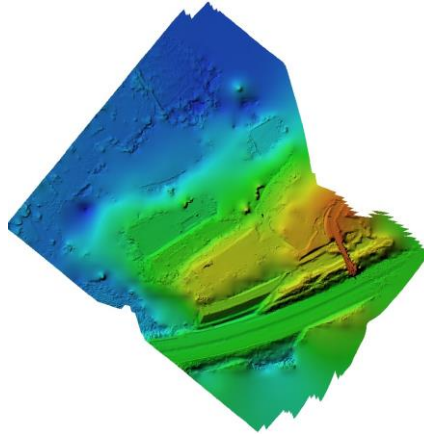
Figura 5 – MDS



Fonte: Elaborada pelos autores

Para que o próximo produto, o MDT, seja gerado, são retirados os elementos que não estão no mesmo nível do terreno, presentes no MDS, tais como edificações e a vegetação, como mostra a Figura 6.

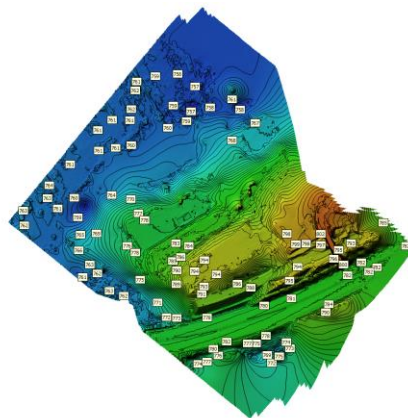
Figura 6 – MDT



Fonte: Elaboradas pelos autores

Após o processamento do MDT, a partir dele é possível gerar as curvas de nível do terreno, sendo possível assim analisar melhor suas características, exemplificada na Figura 7 onde além das curvas estão definidas suas cotas.

Figura 7 – Curvas de nível



Fonte: Elaboradas pelos autores

Por fim é gerado o Mosaico de Ortofotos, no qual é possível visualizar o resultado da junção de todas as fotos captadas pelo drone durante o levantamento em uma única foto georreferenciada, conforme na Figura 8.

Figura 8 – Mosaico de Ortofotos



Fonte: Elaborada pelos autores

Os levantamentos planialtimétricos com o uso de drones possuem vantagens e desvantagens em relação aos levantamentos tradicionais (estação total). Os drones por serem autônomos e não tripulados podem ser usados em regiões de risco, e necessitam apenas de um piloto regulamentado. Assim, o levantamento com drone apresenta um melhor desempenho, uma vez que apresenta maior rapidez para executar o levantamento e apresenta também uma quantidade de pontos coletados maior, principalmente os drones RTK. Oferecendo assim, baixo custo de investimento e de operação.

Avaliando-se a praticidade de cada método, a metodologia com a estação total é mais trabalhosa uma vez que sua utilização exige no mínimo dois profissionais, o que torna o levantamento mais demorado. Além disso, a estação total é um equipamento pesado e precisa ser reposicionada para coleta de todos os pontos necessários, enquanto com o drone isso é feito de forma remota, cada pixel da imagem torna-se um ponto com coordenada conhecida no terreno.

Com a fotografia, as medições são muito mais rápidas e dinâmicas, pois são obtidas imagens georreferenciadas que permitam o tratamento do MDS, para obtenção de MDT e posteriormente obtenção das Curvas de Níveis e Mosaico de Ortofotos, conforme resultados das simulações realizadas. Assim, os resultados possuem melhor qualidade, gerando dados com mais níveis de detalhes e com um maior ritmo de produtividade. Entretanto, os levantamentos tradicionais com Estação Total apresentam uma acurácia milimétrica, enquanto os levantamentos com drones apresentam uma acurácia centimétrica.

Os drones também apresentam a desvantagem de voar em baixas altitudes e em condições climáticas favoráveis. A etapa de regulamentação junto aos órgãos reguladores e fiscalizadores também é considerada uma desvantagem pela burocratização. Além de existir restrições de áreas onde o uso de drones é permitido, estabelecidas pelas normas brasileiras já apresentadas.

Avaliando-se a velocidade de levantamento, o levantamento com drone apresenta o melhor desempenho em relação à estação total. Um drone com receptor RTK gasta, em média, menos de

duas horas para realizar um levantamento e apresenta uma quantidade de pontos coletados maior do que coletado com estação total, entretanto o processamento de imagens através dos softwares é mais demorado.

O processamento de imagens das simulações de voo realizadas no software Metashape obteve etapas com duração em média de uma hora, entretanto algumas etapas demandam mais tempo, chegando a duas horas e meia de duração. Já um levantamento em campo com estação total necessita de uma média de três a quatro horas, mas seu processamento de imagens necessita de menos de uma hora.

Em um levantamento com drones, devido à quantidade de pontos serem maiores, os produtos gerados terão alta definição e qualidade de resolução. Um drone possui câmeras de alta resolução, com a qual analisa-se a resolução do pixel e a distância focal, apresentando mais detalhes em relação à superfície do terreno.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Toda tecnologia possui pontos positivos, negativos e suas limitações, assim, as novas tecnologias não vêm para substituir os métodos antigos, mas sim para otimizar o desempenho geral. Este projeto analisou os diferentes métodos de levantamento, verificando padrões de produtividade e precisão, tempo de execução, disponibilidade de pessoal, custo financeiro, todos de forma comparativa. Verificando a quantidade de dados, o levantamento topográfico utilizando drones apresenta um melhor detalhamento do terreno, mas sua precisão é centimétrica, enquanto com a Estação Total é milimétrica.

Os métodos tradicionais e os com novas tecnologias para a execução de levantamentos planialtimétricos diferem-se ao considerar diversos fatores: tempo necessário para o levantamento, precisão obtida, produtos gerados, custo de equipamentos, entre outros.

Os levantamentos topográficos com o uso de drones apresentam diminuição dos custos dos equipamentos, diminuição de equipes em campo, maior velocidade de aquisição de dados em campo e facilidade na operação como vantagens em relação aos levantamentos tradicionais com o uso de Estação Total.

Portanto, um levantamento planialtimétrico com drones não substitui os equipamentos convencionais, cada método possui utilidades e aplicações eficazes que não se substituem e, em muitos casos, os métodos se complementam para gerar o produto final desejado.

A metodologia deste trabalho, como dito anteriormente, consistiu na realização de simulações de voos através de softwares de processamento de imagens, recomenda-se para trabalhos futuros que sejam realizadas todas as etapas de um levantamento planialtimétrico com o uso de drones em

conjunto com utilização da tecnologia RTK e sem esse recurso, de forma completa e prática. Além disso, recomenda-se que na mesma área escolhida para realizar um levantamento com drones, seja também realizado o levantamento em campo com a utilização dos equipamentos tradicionais, principalmente com a estação total, para resultados mais precisos para o estudo comparativo dos dois métodos.

1. REFERÊNCIAS

ALBERTO, Carlos **TECNOLOGÍA DRONE EN LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS**. 2015. Dissertação (Bacharelado em Engenharia Civil) - Escuela de ingenieros militares, Bogotá, Colômbia. 2015. Disponível em:
https://www.academia.edu/19589719/TECNOLOG% C3% 8DA_ DRONE_ EN_ LEVANTAMIENT OS_ TOPOGR% C3% 81FICOS?auto=download. Acesso em: 27 jun. 2020.

BRASIL. ANAC. (org.). **SISANT**. 2019. Disponível em:
<https://sistemas.anac.gov.br/SISANT/Operador/Cadastrar>. Acesso em: 12 out. 2020.

BRASIL. DECEA. (org.). **SARPAS**. Disponível em:
<https://servicos.decea.gov.br/sarpas/?i=cadastro>. Acesso em: 12 out. 2020.

BERGENS, David dos Santos. TEIXEIRA, Niel Nascimento. **Avaliação do levantamento planialtimétrico com drone em projetos de terraplenagem**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 03, Ed. 10, Vol. 09, pp. 15-27 outubro de 2018. ISSN:2448-0959. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/tecnologia/terraplenagem>. Acesso em: 27 jun. 2020.

BUSNELLO, Fábio José; CONTE, Paulo Ricardo. **LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO PLANIALTIMÉTRICO COM DIFERENTES MÉTODOS DE LEVANTAMENTO DE DADOS A CAMPO**. *Revista Tecnológica / ISSN 2358-9221*, [S.l.], v. 3, n. 2, p. 196-205, sep. 2015. ISSN 2358-9221. Disponível em: <https://uceff.edu.br/revista/index.php/revista/article/view/89>. Acesso em: 11 jun. 2020

CARVALHO, Henrique. **Análise comparativa de levantamentos planialtimétricos: topografia convencional, GPS e drone**. 2018. Dissertação (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiás, 2018.

DELAMURA, Deyse. Artigo: **Entenda sobre a integração de drones com GPS E RTK**. 2016. Disponível em: <http://mundogeo.com/blog/2016/07/28/artigo-entenda-sobre-aintegracao-de-drones-com-gps-e-rtk/>. Acesso em: 29 jun. 2020.

DJI. **DJI GO**. Disponível em: https://www.dji.com/br/goapp?site=brandsite&from=insite_search. Acesso em: 25 out. 2020.

DRONENG. **Topografia com drones: mitos e verdades**. 2016. Disponível em: <http://blog.Droneng.com.br/topografia-com-drones-mitos-e-verdades/>. Acesso em: 12 jun. 2020.

DRONENG. **Topografia: história e atuações**. 2019. Disponível em: <https://blog.droneng.com.br/topografia-historia-e-atuacoes/> . Acesso em: 24 out. 2020

DRONENG. **3 motivos para utilizar drones na Topografia**. 2020. Disponível em: <https://blog.droneng.com.br/3-motivos-para-utilizar-drones-na-topografia/>. Acesso em: 25 out. 2020.

DRONENG. **Pontos de controle: quando utilizar no mapeamento aéreo com Drone?**. 2015. Disponível em: <https://blog.droneng.com.br/pontos-de-controle-quando-utilizar/>. Acesso em: 23 out. 2020.

DRONEDEPLOY. **DroneDeploy**. Disponível em: <https://www.dronedeploy.com/app2>. Acesso em: 20 out. 2020.

EXTERCKOETTER, Adriano Turazi. **ANÁLISE DA VOLUMETRIA OBTIDA POR DADOS GNSS/RTK E DRONE**. 2019. 61 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Agrimensura, Universidade do Extremo Sul Catarinense, CriciÚma, 2019. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/handle/1/7621>. Acesso em: 12 jun. 2020.

FORTUNATO, José C. MUNDOGEO (Brasil). **Artigo: Comparação entre topografia com Drones x topografia tradicional**. 2018. Disponível em: <https://mundogeo.com/2018/06/26/artigo-comparacao-entre-topografia-com-drones-x-topografia-tradicional/>. Acesso em: 21 out. 2020.

JERONYMO, Andre Colares et al. **Comparação de métodos de levantamento topográfico, utilizando escâner a laser, estação total e fotogrametria terrestre**. 2015. 69 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/4813>. Acesso em: 28 jun. 2020.

NETO, Manoel S. **Acurácia e Precisão no Mapeamento Aéreo com Drones**. 2019. Disponível em: <https://blog.Droneng.com.br/acuracia-e-precisao/>. Acesso em: 21 out. 2020.

PAMBOUKIAN, S.V.D.; **Topografia com Drones e GNSS**. Mostra Docentes de Ciência, Tecnologia e Inovação da Escola de Engenharia, Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2019. Disponível em: https://www.mackenzie.br/fileadmin/ARQUIVOS/Public/1-mackenzie/universidade/laboratorios/labgeo/2019/Trabalhos/TOPOGRAFIA_COM_DRONES_E_GNSS.pdf . Acesso em: 02 nov. 2020.

PEREIRA, Daniela Silva (ed.). **Drones - A história por traz desta nova era tecnológica**. 2017. Disponível em: <https://www.aerodronebrasil.com/2017/09/27/drones-historia-por-traz-desta-nova-era-tecnologica/>. Acesso em: 26 jun. 2020.

RIBAS, Wanderley k. **Levantamento RTK**. 2017. Disponível em: <https://www.esteio.com.br/downloads/2017/LevantamentoRTK.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2020.

SANTIAGO; CINTRA. **Como funciona o sistema RTK (Real Time Kinematic)?**. 2018. Disponível em: <https://www.santiagoecintra.com.br/blog/geo-tecnologias/como-funciona-o-sistema-rtk-real-time-kinematic-y>. Acesso em: 14 ju. 2020.

SILVA, Arlan Tavares da; ROLIM NETO, Fernando Cartaxo; FRANÇA, Manoel Vieira de; BOTELHO, Fernando José de Lima; COELHO JUNIOR, José Machado. **Levantamento Topográfico com GPS Geodésico e Estação Total da Propriedade EMBRAPA Caprinos em Sobral-CE**. Sobral: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2009. 3 p. Disponível em: Sil.pdf. Acesso em: 11 jun. 2020.

SILVA, S.V; **Análise dos recursos disponíveis em equipamentos topográficos de última geração e sua contribuição para o desenvolvimento de projetos de engenharia**. Projeto PIBIC – Escola de Engenharia, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2019. Disponível em:

<https://www.mackenzie.br/universidade/laboratorio/ee/labgeo/trabalhos-desenvolvidos/trabalhos-2017/analise-dos-recursos-disponiveis-em-equipamentos-topograficos-de-ultima-geracao/>. . Acesso em: 13 nov. 2020.

SOPCHAKI, Carlos Henrique et al. VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE DE ORTOMOSAICOS PRODUZIDOS A PARTIR DE IMAGENS OBTIDAS COM AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA SEM O USO DE PONTOS DE APOIO. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, [S.l.], v. 43, p. 200-214, mar. 2018. ISSN 2177-2738. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/56564>>. Acesso em: 14 june 2020. doi:<http://dx.doi.org/10.5380/raega.v43i0.56564>.

VEIGA, Prof. Dr. Luis Augusto Koenig. **NOÇÕES DE TOPOGRAFIA SUBTERRÂNEA**: notas de aula. [curitiba]: Universidade Federal do Paraná, 2007. 57 p. Disponível em: https://labtopope.webnode.com/_files/200000328-78aa679a3a/APOSTILA_Nocoos_Topografia_Subterranea_%20Prof_Luis_Veiga_UFPR_2007.pdf . Acesso em: 12 jun. 2020.