

DRONES NA ENGENHARIA CIVIL: UMA APLICAÇÃO NA INSPEÇÃO E MONITORAMENTO DE OBRA DE TERRAPLENAGEM

“DRONES IN CIVIL ENGINEERING: AN APPLICATION IN INSPECTION AND MONITORING OF EARTHMOVING WORKS”

Bruno de Oliveira Aymorés

Liércio Feital Motta Júnior

RESUMO

O drone, ou Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), tem sido cada vez mais utilizado dentro da Engenharia Civil. Mesmo que se constitua de uma tecnologia bastante relevante, ainda não é de uso pleno dentro do setor. Isto posto, é imperativo a difusão desta tecnologia que está em constante crescimento, e se mostra como um importante aliado para a obtenção de dados de forma prática, segura e em tempo real. Este trabalho tem por finalidade apresentar alguns dos produtos possíveis de se obter por meio do uso de drones dentro de um empreendimento de Terraplenagem, com uma análise de aplicação em caso real. Para tanto inicialmente foi realizada uma revisão bibliográfica sobre um breve histórico sobre os VANTs, suas principais características, a perspectiva dentro do setor da Engenharia Civil no Brasil, as principais legislações sobre o seu uso dentro do País e algumas de suas principais aplicações no mapeamento. No estudo de caso fez-se o uso de dois modelos de drones para a inspeção, monitoramento, e posterior geração de Ortomosaico, Modelo Digital de Superfície e Modelo Digital de Elevação com vistas a se verificar a declividade de dois platôs executados dentro de uma obra de Terraplenagem.

Palavras-chave: Drone. VANT. Monitoramento.

¹ Rede de Ensino Doctum – Unidade Juiz de Fora, MG – brunoaymores@gmail.com – graduando em Engenharia Civil.

² Rede de Ensino Doctum – Unidade Juiz de Fora, MG – prof.liercio.junior@doctum.edu.br – orientador.

ABSTRACT

The drone, or Unmanned Aerial Vehicle (UAV), has been increasingly used within Civil Engineering. Even though it is a very relevant technology, it is not yet fully used within the sector. That said it is imperative to disseminate this technology, which is constantly growing, and is proving to be an important ally for obtaining data in a practical, safe and real-time way. This work aims to present some of the products possible to obtain through the use of drones within an Earthmoving project, with an application in a real case. To this end, a bibliographical review was initially carried out on a brief history of UAVs, their main characteristics, the perspective within the Civil Engineering sector in Brazil, the main legislation in the country and some of their main applications in mapping. In the case study, two drone models were used for inspection, monitoring, and subsequent generation of Orthomosaic, Digital Surface Model and Digital Elevation Model with a view to verifying the slope of two plateaus created within an Earthmoving project.

Keywords: Drone. UAV. Monitoring.

¹ Rede de Ensino Doctum – Unidade Juiz de Fora, MG – brunoaymores@gmail.com – graduando em Engenharia Civil.

² Rede de Ensino Doctum – Unidade Juiz de Fora, MG – prof.liercio.junior@doctum.edu.br – orientador.

1 – Introdução

A tecnologia dos drones (Veículo Aéreo Não Tripulado – VANT) é amplamente utilizada em diversas áreas, e na engenharia civil não é uma exceção. O progresso tecnológico é vital para, entre outros aspectos, a otimização do tempo, na qualidade do produto final e na segurança dos serviços ofertados ao Mercado.

Ainda que em uso relativamente recente nas obras de Engenharia, os VANTs se apresentam como um artifício essencial para o controle e monitoramento de obras, munindo os engenheiros e equipes de construção de uma base de dados confiável, precisa e, a depender do caso, praticamente simultâneos. Sabe-se que a construção civil em alguns aspectos se mostra atrasada; porém, gradativamente as empresas brasileiras estão inserindo em seus canteiros inovações tecnológicas que proporcionam inúmeros benefícios a obra e ao cliente (ALENCAR, 2015).

Os VANTs possuem alto grau de automatismo, são controlados à distância, e podem realizar uma infinidade de tarefas. Esses, por sua vez, vêm sendo largamente utilizados nos empreendimentos de Engenharia devido a sua capacidade de gerar produtos precisos e em um curto prazo. As principais desvantagens no uso destes equipamentos estão no fato de que se requer do operador um treinamento especializado por parte da tecnologia, e da necessidade de se obter um equipamento computacional com capacidade de processamento elevada a fim de se obter qualidade e rapidez na geração dos produtos. Deve-se levar em conta, também, os fatores climáticos, já que os VANTs precisam operar dentro de certos parâmetros para seu correto funcionamento.

Os drones são inovações já bastante presentes na construção civil. Peter Drucker (2003) define que a inovação é a capacidade de se atribuir contornos claros aos recursos existentes nas empresas com o fim de se gerar riqueza. Diante deste aspecto, este artigo tem por objetivo explorar alguns dos produtos gerados no planejamento e acompanhamento dos serviços em Engenharia, particularmente em uma obra de Terraplenagem.

Serão apresentados dados técnicos, imagens e alguns dos produtos gerados pelo uso dos VANTs, com o relato de caso contextualizando a obtenção de alguns destes produtos.

Para se alcançar tal objetivo serão cumpridas as seguintes etapas:

- Revisão bibliográfica sobre os drones, suas principais características e, através da análise de um caso real, mostrar como são alguns dos principais produtos por eles gerados;
- Apresentação análise dos resultados obtidos;

As análises presentes neste artigo servirão, sobretudo, para detalhar alguns dos cenários de aplicação desta tecnologia inovadora, bem como desmistificar o seu uso. Há melhorias com a segurança obtidas pela sua tecnologia e redundância de componentes destes equipamentos, que realizam a coletas de dado mais rápido e, em muitos cenários, sem que haja a necessidade de intervenção direta em campo. A rapidez com a coleta de dados e a geração de produtos tornam os drones fatores diferenciais na análise e tomada de decisão por parte dos responsáveis técnicos (MARIANO *et al.*, 2022).

A metodologia aplicada na primeira parte deste trabalho consistiu fundamentalmente em uma pesquisa de caráter bibliográfico. Para tanto, foram feitas visitas à biblioteca do Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA), e da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Também foram realizadas buscas, via *internet*, de documentação específica nos sites do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) e da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). Foram realizadas também pesquisas no Google Acadêmico e na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD), fazendo-se o uso dos seguintes termos: “veículo aéreo não tripulado”, “aerofotogrametria com o uso de drones”, “Monitoramento volumétrico com drones”, “Aerofotogrametria” e “*Aerofotogametry basics applied on civil engineering*”.

A metodologia aplicada na segunda parte deste trabalho, na obtenção dos dados e, por conseguinte, na elaboração dos produtos pretendidos, segue a seguinte sequência:

- Visitas técnicas à obra;
- Planejamento do voo: cálculos manuais e uso do *software Drone Harmony®*;
- Notificação dos voos no *site* do DECEA;
- Execução do voo e coleta de dados: *softwares* nativos dos drones e uso do *Drone Harmony®*.
- Tratamento dos dados obtidos: *softwares Agisoft Metashape®* e *ArcGIS®*.

2 – O uso dos drones na geração de produtos em Engenharia

2.1 – Perspectiva do setor de Engenharia Civil no Brasil

Existem diversos métodos de construção e produtos em Engenharia, de modo que essa se mostra como um dos setores mais expressivos para grande parte dos países, principalmente para os que estão em desenvolvimento, como é o caso do Brasil. Ela apresenta um papel vital quanto à modificação e adequação do ambiente. Contudo, acaba por gerar impactos negativos sobre o meio ambiente em razão das diversas formas de poluição ambiental, pelo elevado consumo de recursos naturais e

pela geração de resíduos (ROHAN; FRANÇA, 2013).

A construção civil é uma área em constante desenvolvimento devido à atual demanda por construções, relevando sua importância por ser essencial à população, à ampliação das cidades e à economia do país (VERAS, 2018).

Diante da análise do cenário atual é possível inferir que a construção civil e o desenvolvimento econômico são ligados diretamente. De acordo com Teixeira (2005), a indústria da construção requer desenvolvimentos capazes de elevar o crescimento econômico local. Isto é causado em particular pela magnitude do valor adicionado total das atividades, o efeito multiplicador da renda e sua interdependência estrutural.

A construção civil é um dos setores mais expressivos da economia brasileira. (NUNES *et al.*, 2020). Logo, é vital que se busque melhorias contínuas nos processos, bem como tecnologias emergentes que levem a uma maior produtividade e qualidade nos serviços ofertados. Na construção civil, tida por muitos como um setor tradicionalista e conservador, é notório o fato de que, em virtude do aumento de concorrência e como resultado da própria globalização – com consequente importação de novas tecnologias e métodos construtivos e de controle – é inevitável que o foco seja em uma maior produtividade, qualidade nos produtos gerados e, é claro, redução de gastos.

Assim, é possível notar que algumas tecnologias, antes raras – principalmente em virtude tanto da disponibilidade quanto do elevado custo de aquisição, manutenção e treinamento –, têm se tornado cada vez mais frequentes, mostrando-se como ferramentas poderosas nas mãos dos engenheiros tanto a nível de planejamento quanto de controle.

2.2 – Um breve histórico acerca do desenvolvimento dos VANTs

Os drones são poderosas ferramentas que, inicialmente concebidas para uso militar, e posteriormente como *hobby*, têm diversas aplicações profissionais na Engenharia, servindo de auxílio desde a fase de planejamento até as fases finais do empreendimento – tais como inspeções, verificações de qualidade e parâmetros, entre outros.

A ideia principal por de trás da concepção dos drones era prover os militares de uma ferramenta detonante, guiada remotamente e à distância. Inicialmente, por delimitações de ordem tecnológica, além de apresentar problemas quanto à precisão, tinha alcance e manobrabilidade limitadas, tornando-se alvos fáceis para interceptação da força inimiga. O objetivo primário era atingir o alvo com a exposição mínima do controlador à força inimiga (NUNES, 2021).

Embora os VANTs pareçam ser uma ideia recente, suas concepções iniciais

vêm sendo lapidadas desde o início de 1898, quando Nicolai Testa apresentou na *Electrical Exposition no Madison Square Garden* uma espécie primitiva de foguete, controlado remotamente por rádio, cujo objetivo era ser usado como bomba-guia na guerra Hispano-americana. Aprimorando essa ideia, em meados de 1922, George de Bothezat trabalhou no conceito do quadricóptero, um veículo dotado de quatro rotores, cujos motores funcionavam em sentidos opostos dois-a-dois, e que deveriam prover tanto a sustentação quanto a manobrabilidade em voo (NASCIMENTO, DENADAI, 2021).

Este conceito, embora brilhante, permaneceu somente no papel tendo em vista as limitações tecnológicas da época. Alguns anos mais tarde, pouco após o fim da Segunda Guerra Mundial, intensificou-se a pesquisa dos VANTs, mas agora voltados à aplicação militar. Nestes casos, os drones eram aeronaves caça/bombardeiro adaptados para controle por rádio frequência, objetivando tanto estudos de aerodinâmica e sistemas aviônicos e de armas, bem como usados como alvos de adestramento (ITARC, 2022).

2.3 – Características dos VANTs

No Brasil o uso dos VANTs tinham como principal foco o seu uso militar, servindo como mecanismo de apoio ao treinamento em Segurança e Defesa (DECEA, 2020).

Popularmente os VANTS constituem-se em equipamentos controlados à distância, via radiofrequência, tanto dentro do alcance visual do piloto quanto além do alcance visual do mesmo (ANAC, 2017). Na figura 1 encontram-se alguns dos principais tipos de drone para uso civil.

Figura 1: Exemplos de drones



Fonte: Malta, R.S. (2023)

Os drones são separados primariamente quanto ao seu Peso Máximo de Decolagem (PMD), bem como regulamentados de acordo com o tipo voo a ser executado - voos recreativos e não recreativos (ANAC, 2017).

Aos drones é permitido a realização de pousos e decolagens aleatórios, bem como devem ser obedecidos os parâmetros básicos de voo – notificação do voo junto ao DECEA, altura a ser voada, distância de aeroportos e edificações, entre outros (DECEA, 2020). A responsabilidade pela correta operação do equipamento são do piloto em comando, devendo ele obedecer a todos os parâmetros de operação e segurança (ANAC,2017).

No tocante ao seu funcionamento, um drone tem sua arquitetura projetada de modo tal que lhe permita um voo remoto, não tripulado. Os VANTs possuem uma gama de sensores, todos regidos por um computador central; este, por sua vez, transmite informações em simultâneo ao operador em comando via radiofrequência (ULRICH, NOBRE, 2019).

Em termos gerais os sensores primários de um drone constituem-se do Controle de Solo (GSC), e possuem Sistema de Navegação por Satélite (GNSS), de modo que sua navegação e posicionamento são precisamente calculados. Utilizam também tecnologia de estabilização giroscópica e diversos acelerômetros que promovem a estabilidade tanto do drone em si quanto das câmeras que o mesmo venha a portar (ESPAÇODODRONE, 2020).

Quanto às suas principais características físicas, pode-se listar (MUNARETTO, 2015):

- 1) Aeronave: é o drone em si;
- 2) Bateria: garante seu funcionamento e sua autonomia, que varia convencionalmente entre os 10 minutos a 45 minutos de voo;
- 3) Motores: responsáveis pelo voo, manobrabilidade e estabilização.
- 4) Gimbal: mecanismo de estabilização, normalmente com no mínimo 3 eixos, que garante estabilidade das imagens, tanto das fotos quando dos vídeos.
- 5) Câmera: Realiza a captura das fotos, de modo que alguns equipamentos possuem a opção de intercambialidade de câmeras e lentes;
- 6) Interface do usuário: programa pelo qual o piloto em comando define os parâmetros de voo, bem como realiza o voo em si. Alguns modelos tem controles-rádio próprios, enquanto outros mais simples permitem o uso de aplicativos geridos via telefone celular.

2.4 – Regulamentos dos drones no Brasil

O uso dos VANTs no Brasil é regido pela ANAC, e segue diversos parâmetros de aplicação segundo alguns critérios como: restrições de tamanho, limites de peso, limites de área de atuação e operação, altura de voo, entre outros.

O cadastro de VANTs junto à ANAC é realizado para todos os drones com PMD maior ou igual a 0,250 KG. Já para os drones com PMD acima de 25 Kg se faz obrigatório o registro especial, uma espécie de habilitação para o piloto em comando. Não existe a obrigatoriedade de registro para VANTs com PMD menores que 0,250kg (ANAC, 2017).

O uso do espaço aéreo, bem como suas devidas limitações, é de responsabilidade do DECEA, este por sua vez subordinado à Força Aérea Brasileira (FAB). Todos os voos de drones, sendo recreativos ou não, devem obrigatoriamente ser notificados ao DECEA via *site* (DECEA, 2020).

Os drones devem, assim, ser registrados em três órgãos: na Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), por se tratarem de equipamentos que utilizam de rádiofrequência (ANATEL, 2020), na ANAC, por se tratarem de equipamentos que utilizam o espaço aéreo controlado (ANAC, 2017), e no DECEA, na medida em que é obrigatório notificar todo e qualquer voo realizado.

Cada VANT tem um código de matrícula próprio, semelhante ao número de placa dos veículos automotores. O registro na ANATEL e no DECEA são vitalícios, enquanto que na ANAC o cadastro é individual para cada drone, e tem validade de 12 meses.

2.5 – Os VANTs e algumas de suas aplicações

Embora os VANTs de uso comercial sejam um evento recente, o mercado vêm se expandindo, com a fotografia aérea – tanto de acompanhamento como aerofotogrametria - e a agricultura – medições de áreas e aferição da qualidade de plantações - detendo a maior fatia. Mesmo no Brasil, ainda que com o uso ainda não tão disseminado, o mercado de uso de drones está em plena expansão. (PECHARROMAN, VEIGA; 2017).

Algumas pesquisas mostram que a demanda de produtos gerados pelos VANTs cresceu exponencialmente entre 2017 e 2018 (DOS SANTOS, FARINA, 2022). Essa crescente decorre, sobretudo, da necessidade de obtenção de dados em simultâneo à obra, e da consequente geração de produtos em tempo real, dispondo os gestores assim de poderosas ferramentas de análise e decisão. Em boa parte dos casos, pela natureza de operação dos VANTs, não se faz necessário a presença de

trabalhadores *in loco*, aumentando assim também a segurança.

2.5.1 – Inspeções e monitoramento

As inspeções em estruturas, usualmente, são análises visuais de proximidade. Logo, tradicionalmente se faz uso de equipes *in loco*, bem como também a possibilidade de se fazer usos de equipamentos específicos – tais como, por exemplo, plataformas elevatórias (MORGENTHAU; HALLERMANN, 2014).

Essas vistorias são de suma importância na identificação de riscos e no aumento a segurança da obra. Os VANTs, assim, contribuem efetivamente para o aumento da segurança nas obras (ULRICH, NOBRE, 2019) já que em muitos casos dispensam a presença destas mesmas equipes.

Como grande vantagem dos VANTs pode-se citar a identificação de possíveis anomalias, não interferindo muitas vezes no andamento dos serviços. Todo o monitoramento é feito em simultâneo, dispensando muitas vezes o deslocamento das equipes até os locais, e as informações podem ser geradas em tempo real. Com o uso dos drones a realização de inspeções se torna mais fácil e prática (TONDELO, BARTH, 2019).

Na figura 02 mostra-se uma foto usada para inspeção de espalhamento de argila por caminhão basculante, bem como é possível ver uma Escavadeira Hidráulica ao fundo, na área de empréstimo, assim com um Rolo Compactador Pata compactando uma camada de argila.

Figura 2: Inspeção de obra de Terraplanagem



Fonte: O Autor (2021)

2.5.2 - Quantitativos

Obras de movimentação de terra requerem periodicamente a medição dos materiais. Nesses casos, esse tipo de verificação normalmente é feita pelas equipes de topografia. O uso dos drones pode, por sua vez, em muitos casos substituir estas mesmas equipes. Como os dados são georreferenciados, pode-se estabelecer parâmetros automatizados e contínuos, e o resultados destes dados pode ser gerado praticamente em simultâneo (EXTERCKOETTER, 2019).

Dentre as vantagens, Melo (2016) mostra que os VANTs são uma ferramenta competitiva em termos de baixo custo e curto prazo em relação aos métodos tradicionais. Como principais limitações pode-se citar a autonomia de voo e a necessidade de que o clima favoreça a execução dos voos, bem como a necessidade de treinamento e a necessidade de se ter um poder computacional de processamento grande.

Na figura 03 mostra-se uma foto aérea que compõe o conjunto usado para acompanhar a área de empréstimo de material e o quantitativo de argila usada na base dos platôs, bem como acompanhar o andamento dos serviços para fins de acompanhamento e composição de medição.

Figura 03: Quantitativo de material.



2.5.3 - Aerofotogrametria

Segundo Santos (2021), a fotogrametria se define como a ciência e a tecnologia de obter informações seguras acerca de objetos físicos e do meio, através de processos de registro, medição e interpretação das imagens fotográficas.

A aerofotogrametria utiliza imagens sobrepostas lateral e verticalmente, e o objetivo principal é reconstruir automaticamente o espaço tridimensional (espaço objeto), a partir de imagens bidimensionais (espaço imagem), com a maior precisão possível (RODRIGUES, 2020).

O Mapeamento por aerofotogrametria é feito através de método de Triangulação Fotogramétrica ou Aerotriangulação, e a confecção da carta ou mapa utiliza métodos de restituição fotogramétrica (SANTOS, 2021). Ainda segundo Santos (2021), a geodésia e a cartografia, em conjunto com a aerofotogrametria são essenciais na elaboração de mapas juntamente com outras ciências, de modo que as imagens são o apoio para os pontos de mapeamento na superfície terrestre.

Na figura 04 mostra-se um exemplo de uso da Aerofotogrametria.

Figura 04: Ortomosaico (imagem em escala reduzida)



Fonte: O Autor (2021)

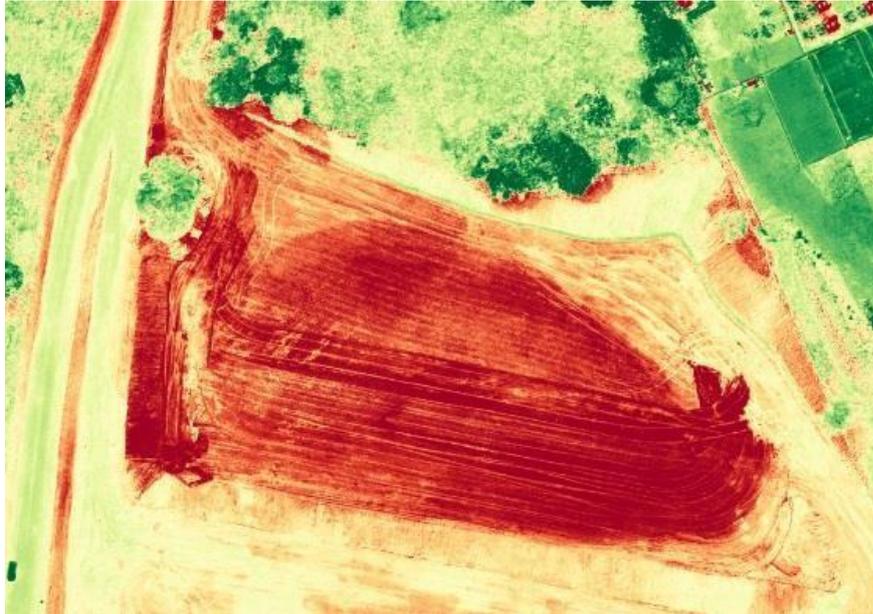
2.5.4 – Captação de imagens por infravermelho

As imagens gerados por infravermelho, por sua especificidade, requerem uma câmera especial que capte imagens neste espectro. Logo, é um produto com o custo mais elevado, tendo em vista que a maioria dos drones de uso comercial não vêm equipados com esse tipo de equipamento. Isto, por sua vez, gera a necessidade de se obter uma câmera à parte.

Pode-se, através dessas imagens, determinar falhas de vazamento de ar, qualidade do pavimento, teor de umidade no solo, entre outros (MORGENTHAU, HALLERMANN, 2014).

A figura 05 mostra um ortomosaico gerado por meio de uma câmera em infravermelho, usada neste caso para verificar a umidade das camadas superiores do platô. Nela é possível também ver as marcas dos pneus deixadas por uma Motoniveladora.

Figura 05: Ortomosaico em infravermelho



Fonte: O Autor (2021)

2.5.5 – Modelo Digital de Superfície (MDS) e Modelo Digital de Elevação (MDE)

Existe uma gama de definições que abarcam as representações da superfície terrestre, de modo que alguns destes conceitos buscam diferenciar os tipos de informações contidas na representação da superfície em questão. Dentre essas definições pode-se citar duas em particular: o Modelo Digital de Superfície (MDS) e o Modelo Digital de Elevação (MDE).

De acordo com Cruz *et al* (2011), o Modelo Digital de Superfície (MDS) representa a superfície do terreno e quaisquer objetos acima dele, tais como árvores, prédio, veículos ou quaisquer objetos, de modo que o topo destes é representado como parte integrante do próprio terreno.

Já o Modelo Digital de Elevação (MDE), segundo Gripp Jr. (2009), é a representação digital da superfície levando-se em conta sua morfologia contínua, ou seja, busca mostrar a superfície sem coberturas vegetais, edificações ou quaisquer obstáculos.

3 – Estudo de caso

O empreendimento utilizado para a obtenção dos dados pelos drones foi realizada na cidade Juiz de Fora MG, entre Junho de 2021 e Setembro de 2021. Localiza-se na Estrada do Caracol, em Benfica, na Zona Norte da cidade. O objetivo dos serviços era construir dois platôs, e uma estrada de acesso aos mesmos. Para tanto foi acertado que a Obra deveria atender a uma série de critérios.

Primeiramente, os platôs deveriam ser amplos e com estrada de acesso larga e facilitada. Os platôs seriam destinados ao beneficiamento de agredado siderúrgico (escória), e o acesso deveria permitir o trânsito de caminhões basculante, e mesmo outros equipamentos pesados.

O outro critério adotado é de que estes mesmos platôs deveriam ter a declividade máxima de 5,0%, com vistas a não permitir que o escoamento de água por decorrência das chuvas provocasse degradação do pavimento de argila, bem como a escória armazenada não escoasse junto ao fluxo de água.

Os serviços de Terraplenagem deram início em Junho de 2021. Inicialmente foi realizada a limpeza do terreno, onde buscou-se a retirada da camada superficial do solo, composta primordialmente de matéria orgânica (uso de tratores de esteira, escavadeiras hidráulicas e caminhões basculante. Findada a limpeza se iniciou a retirada de materiais de 1ª e 2ª categorias (escavadeiras hidráulicas, pás mecânicas e caminhões basculante) e, por fim, deu-se o reaterro com Argila e a execução do reforço de subleito, subbase e base do pavimento (uso de escavadeiras hidráulicas, pás mecânicas, motoniveladoras, rolo pata e rolo liso, caminhão pipa e caminhões basculante).

O uso dos drones se deu tanto no acompanhamento das etapas da obra em si quanto na obtenção dos dados específicos, estes destinados à elaboração dos produtos requeridos. Sequencialmente, os drones foram usados da seguinte forma: no acompanhamento visual do andamento da obra (fins de inspeção e monitoramento), cubagem de materiais (fins de acompanhamento e composição das medições), geração do Ortomosaico (objetivo de mostrar ao contratante o aspecto final dos platôs, em uma foto de altíssima resolução), geração do Modelo Digital de Superfície (MDS), do Modelo Digital de Elevação (MDE) e, por fim, a aferição da Declividade dos platôs.

4 – Resultados e discussões

4.1. Softwares utilizados

Foi feito o uso de basicamente cinco *softwares* na obtenção dos dados em obra e no posterior tratamento dos dados. Na primeira etapa, que corresponde ao planejamento, acompanhamento e monitoramento dos voos, o programa utilizado foi o *Drone Harmony®*, um *software* suíço que oferece a possibilidade de planejamentos e acompanhamentos das missões em tempo real. Possui uma versão gratuita básica, com recursos bastante limitados. Já a versão paga possibilita os mais variados tipos de missões, como por exemplo voos de análise de terreno, inspeções em edificações e redes elétricas e mapeamentos complexos.

A notificação dos voos, por sua vez, foi feita no *site* do DECEA. No Brasil todo e qualquer voo com VANT deve ser obrigatoriamente notificado ao Órgão, cabendo ao operador do drone obedecer todas as legislações vigentes e eventuais restrições que possam existir no espaço aéreo. É importante também que se tenha essa notificação em mãos, juntamente à documentação obrigatória, quando da execução dos voos. Caso haja fiscalização a posse da notificação pode evitar uma condução às autoridades competentes para maiores esclarecimentos.

Por fim, com os dados já coletados, parte-se para a etapa de processamento dos mesmos. Para tanto foram utilizados dois *softwares*: o *Agisoft Metashape®* e o *ArcGIS®*. O *Agisoft Metashape®* é um *software* pago, utilizado principalmente na Aerofotogrametria e para fazer o tratamento fino dos dados, a fim de se obter o Ortomosaico e o Modelo Digital de Superfície. Posteriormente estes dados já tratados são transmitidos ao *ArcGIS®*, que é um *software* gratuito de mapeamento e análise, onde serão gerados o Modelo Digital de Elevação e a análise da Declividade dos platôs.

4.2. Drones utilizados

Os drones utilizados foram de dois modelos, o primeiro mais simples e o segundo mais complexo, bem como também uma câmera de infravermelho acoplada ao segundo modelo.

O modelo mais simples, representado na figura 06, é da fabricante chinesa DJI, uma das líderes mundiais do setor. O modelo é o DJI Mavic Air 2, muito pequeno e de fácil utilização, porém com limitações quanto aos tipos de sensores, bem como a necessidade de se operar em condições climáticas mais favoráveis. Este modelo, lançado no início de 2020, pesa 570g com a bateria, tem autonomia aproximada de 30

min de voo, câmera nativa com resolução de 48 Mp, gravando videos em até 4k de resolução.

Figura 06: DJI Mavic Air 2



Fonte: O Autor (2021)

O modelo mais complexo, representado na figura 07, é o Autel EVO II, da fabricante francesa *Autel Robotics*. É um modelo de uso profissional, mais robusto, coberto com uma câmera mais potente (possui intercambialidade de câmeras já nativas) e também com uma gama maior de sensores. Este modelo, lançado no final de 2020, pesa 1.150g tem autonomia aproximada de 45 min de voo, e tem uma câmera nativa com resolução de 48 Mp, gravando videos em até 8k de resolução. Apresenta também uma ótima resistência ao vento devido ao seu sistema de controle de estabilidade.

Figura 07: Autel EVO II



Fonte: O Autor (2021)

Além de suas configurações este modelo foi escolhido pela sua relação peso-

potência, permitindo um voo estabilizado com o acoplamento de câmeras externas que, neste caso, foi a americana *Micasense RedEdge-MX*, representada na figura 08. Trata-se de uma câmera multispectral usada para a captação de dados em 5 bandas do espectro eletromagnético, inclusive no infravermelho. O Autel EVO II tem intercambialidade de câmeras, e possui inclusive uma câmera nativa multispectral.

Figura 08: Câmera Multiespectral Micasense RedEdge-MX



Fonte: IATEC Plant Solutions (2022)

4.3. Planejamento dos voos

Todos os voos destinados às captações dos dados seguem uma sequência predeterminada visando a padronização na operação dos drones, bem como servir de *checklist* e evitar que algum passo importante seja esquecido.

Em primeiro lugar faz-se o estudo das condições meteorológicas: busca de tempestades solares na região e no dia e horários onde será realizada a missão (influenciam diretamente no sinal GNSS e, assim, na precisão e no funcionamento dos equipamentos), presença de camadas de nuvens (base de nuvem muito baixa pode impedir a realização dos voos, bem como atrapalhar a captação dos dados por conta da falta ou variação de luminosidade), previsão da intensidade de ventos de altitude (ventos influenciam tanto na estabilidade dos drones quanto na precisão das medições) e umidade relativa do ar (a depender do tipo de foto a umidade pode atrapalhar alguns tipos de sensores).

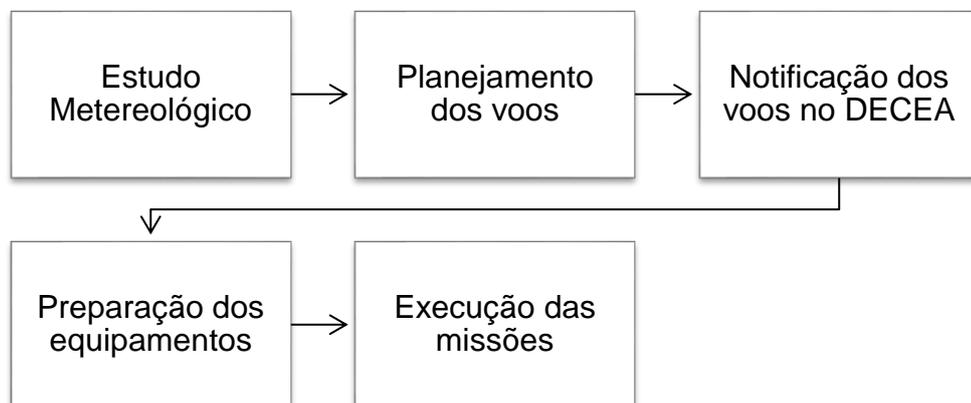
De posse dos dados meteorológicos, parte-se para o planejamento dos voos: determina-se a quantidade de voos necessários à aquisição dos dados, definição do tipo de voo (deve ser escolhido mediante o produto que se deseja obter), velocidade de deslocamento do drone (deve-se levar em conta, além da autonomia do equipamento, uma velocidade que não causará distorção quando da aquisição das imagens, bem como propiciará um bom uso de bateria), definição da altura (escolhe-se as alturas levando em conta, além da existência de obstáculos no trajeto, a resolução final do produto – quanto mais alto menor a resolução final – bem como a

velocidade do vento nessa altura), bem como verifica-se a existência restrições no espaço aéreo.

Por fim, parte-se para a notificação dos voos no site do DECEA: todo voo deve ser devidamente notificado ao órgão (o DECEA apenas recebe a notificação, não tem autonomia para autorizar ou não a realização do voo), informando qual o equipamento utilizado, qual o tipo de voo, onde será realizado o voo, em que horário e em qual altura. O operador do drone é o responsável por manter todos os parâmetros de voo, bem como a manutenção das normas de segurança e as normas de operação previstas pelos órgãos reguladores.

O quadro 01 apresenta a sequência utilizada no planejamento dos voos e na execução da coleta de dados em campo.

Quadro 01: Planejamento dos voos



Fonte: O Autor (2023)

4.4. Produtos gerados

Para se chegar à aferição da declividade dos platôs procurou-se obter os seguintes produtos: Ortomosaico com alta resolução, Modelo Digital de Superfície, Modelo Digital de Elevação e, por fim, a Declividade dos Platôs.

Já realizados os voos e, por conseguinte, obtidos os dados, foi dado seguimento à parte mais trabalhosa: o tratamento dos dados e a geração dos produtos requeridos.

Em um primeiro momento o drone foi utilizado primordialmente para o acompanhamento do andamento das etapas da obra. Por isso optou-se pelo uso do modelo mais simples, o DJI Mavic Air 2.

A figura 09 apresenta uma foto de inspeção e monitoramento, esta da etapa de

execução de base em argila. Nela pode-se notar um caminhão basculante carregado de Argila, bem como uma motoniveladora realizando o espalhamento de material, e também, um rolo compactador pata fazendo a compactação da camada de base.

Figura 09: Acompanhamento de obra

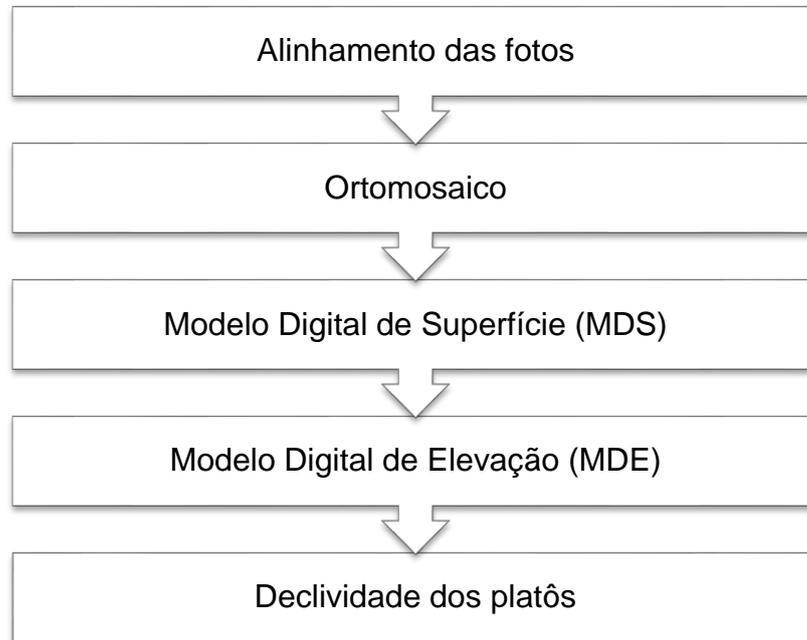


Fonte: O Autor (2021)

Em um segundo momento todas as fotos, essas tiradas como Autel EVO II e a câmera multispectral, são baixadas para a *workstation* e, após verificação e tratamento, são carregadas no *Metashape Agisoft®* e posteriormente no *ArcGIS®*. São feitas então as configurações iniciais, e dá-se seguimento ao fluxo de trabalho, que consiste no alinhamento das fotos (todas as fotos são georrefenciadas), na lapidação deste alinhamento, na geração do Ortomosaico e do Modelo Digital de Superfície. Após faz-se o uso do *ArcGIS®* para geração do Modelo Digital de Elevação e , por fim, faz-se a análise da declividade dos platôs.

O quadro 02 apresenta este fluxo de trabalho de forma resumida e sequencial.

Quadro 02: Fluxo de trabalho



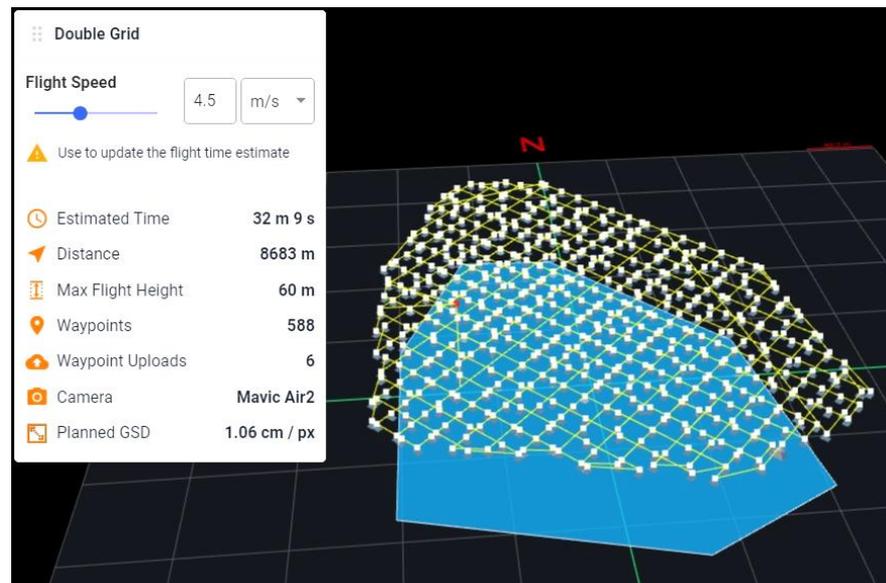
Fonte: O Autor (2023)

O primeiro passo é o alinhamento das fotos por parte do software, tendo em vista que cada uma é georreferenciada: fornecem a latitude, longitude, altitude, altura do drone, distância do drone para o solo, entre outros, nos respectivos horários nos quais as mesmas foram obtidas. A partir daí foram feitas uma série de lapidações e, por fim, foi obtido o primeiro produto: o ortomosaico.

Ele nada mais é senão um tipo de mapeamento composto pela sobreposição lateral e horizontal das fotos para a obtenção de uma foto em altíssima resolução. Com vistas a uma maior precisão na aferição da declividade, escolheu-se dois planos de voo em grade. Nesse tipo de missão, o drone realiza a captura das imagens todas em uma direção e, posteriormente, prossegue a captura em uma direção perpendicular à direção inicial, formando uma espécie de grade.

A figura 10 mostra um exemplo de um dos planos de voo utilizados na captação dos dados. Esse plano foi elaborado utilizando o *Drone Harmony*®. Na imagem o trecho hachurado em azul é a área a ser mapeada, a linha amarela é o trajeto que o drone efetivamente voará e, nela, pode-se notar diversos pontos brancos. Estes pontos são os pontos onde o drone captará as imagens. Além disso, pode-se notar um quadro resumo da parte superior esquerda, onde constam todos os parâmetros a serem seguidos nesse voo.

Figura 10: Plano de voo em grade



Fonte: O Autor (2021)

A sobreposição escolhida foi de 90% lateral e 85% horizontal, em um total de de 1216 fotos, nas alturas de 60m e 40m, captadas com o drone voando a uma velocidade média de 4,5m/s, o que gerou um ortomosaico com uma resolução de 1,06cm por pixel. O ortomosaico em questão está representado na figura 11, em escala reduzida, onde ve-se a obra por completo, contemplando os dois platôs, os taludes que os limitam, e parte da estrada de acesso na parte esquerda da imagem.

Figura 11: Ortomosaico (em escala reduzida)

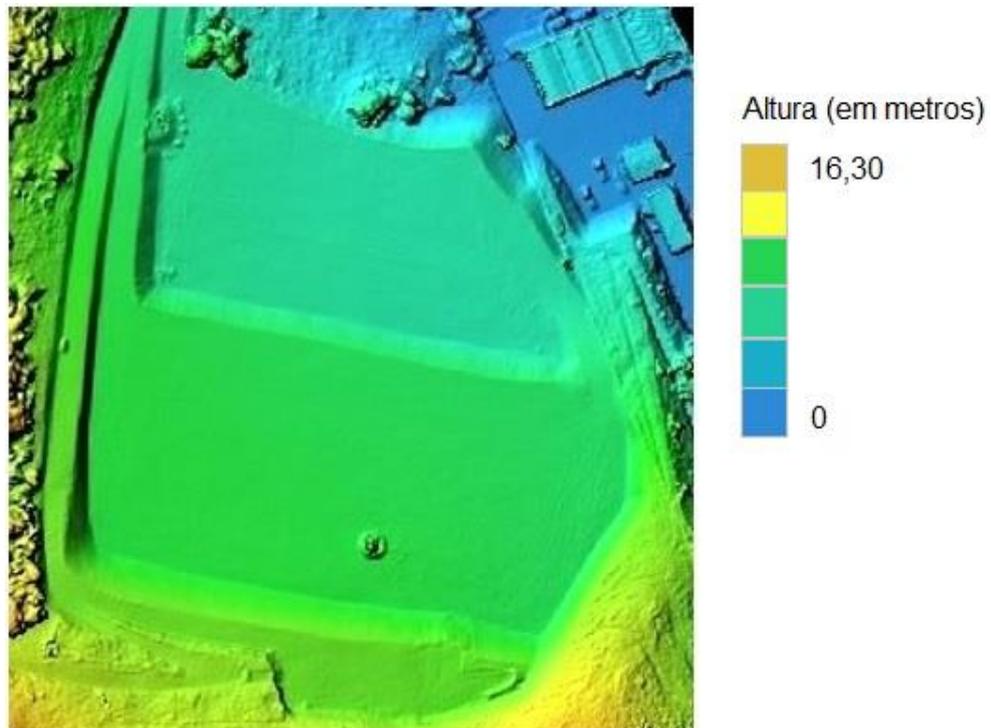


Fonte: O Autor (2021)

O próximo produto gerado foi o Modelo Digital de Superfície (MDS). Como supracitado, as fotos carregam, entre outros dados, a distância do drone para a superfície. Além disso, por se tratar de uma câmera multiespectral, o *software* consegue diferenciar o que é vegetação do que é solo com muita precisão. Para o MDS, são consideradas as altimetrias de todos os objetos acima do solo além é claro do próprio solo, como casas e árvores.

Neste MDS, representado da figura 12, pode-se notar a gradação de cores. Elas funcionam com base em altimetria: quanto mais próximas do espectro azul menor a altimetria e, em contrapartida, quanto mais próximas do vermelho maior a altimetria. Pode-se notar também a representação gráfica tanto da camada vegetal, na parte superior e esquerda da imagem, como também de edificações na parte superior direita da imagem.

Figura 12: Modelo Digital de Superfície (MDS)

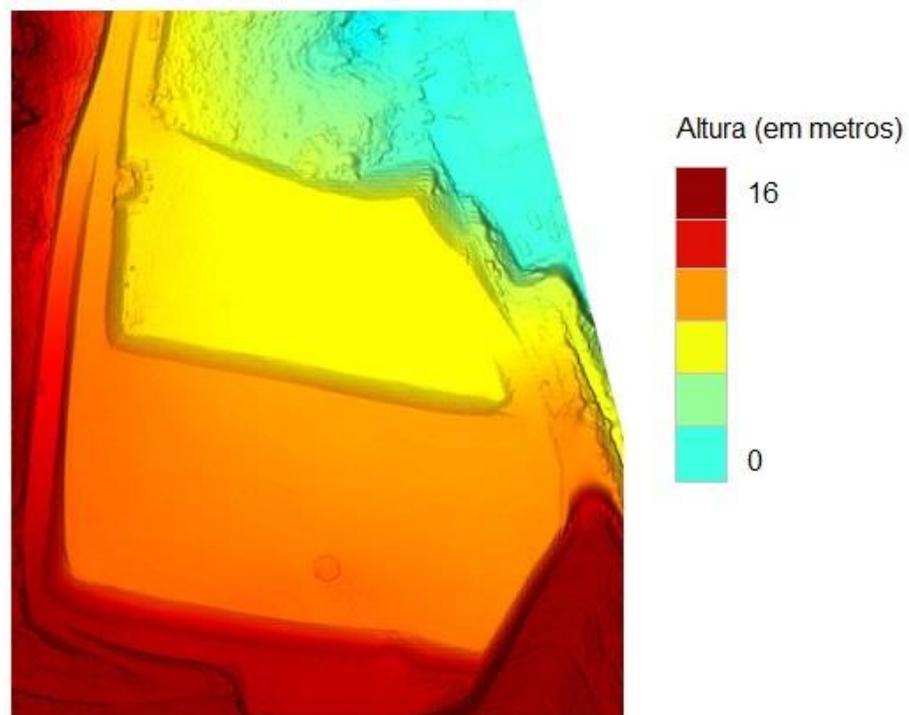


Fonte: O Autor (2021)

Após o MDS, os dados foram transmitidos ao *ArcGIS®*, e calibrou-se o *software* para realizar mais um ajuste fino a fim de se obter o chamado Modelo Digital de Elevação (MDE), que leva em conta única e exclusivamente a altimetria do solo. Ou seja, o *software* remove todas as árvores, casas, ou superfícies que estejam acima deste solo.

O MDE está representado na figura 13. Analogamente ao MDS, neste MDE pode-se notar a gradação de cores. Elas funcionam do mesmo modo: quanto mais próximas do espectro azul menor a altimetria e, em contrapartida, quanto mais próximas do vermelho maior a altimetria. Neste tipo de produto representa-se tão somente a morfologia do solo.

Figura 13: Modelo Digital de Elevação (MDE)

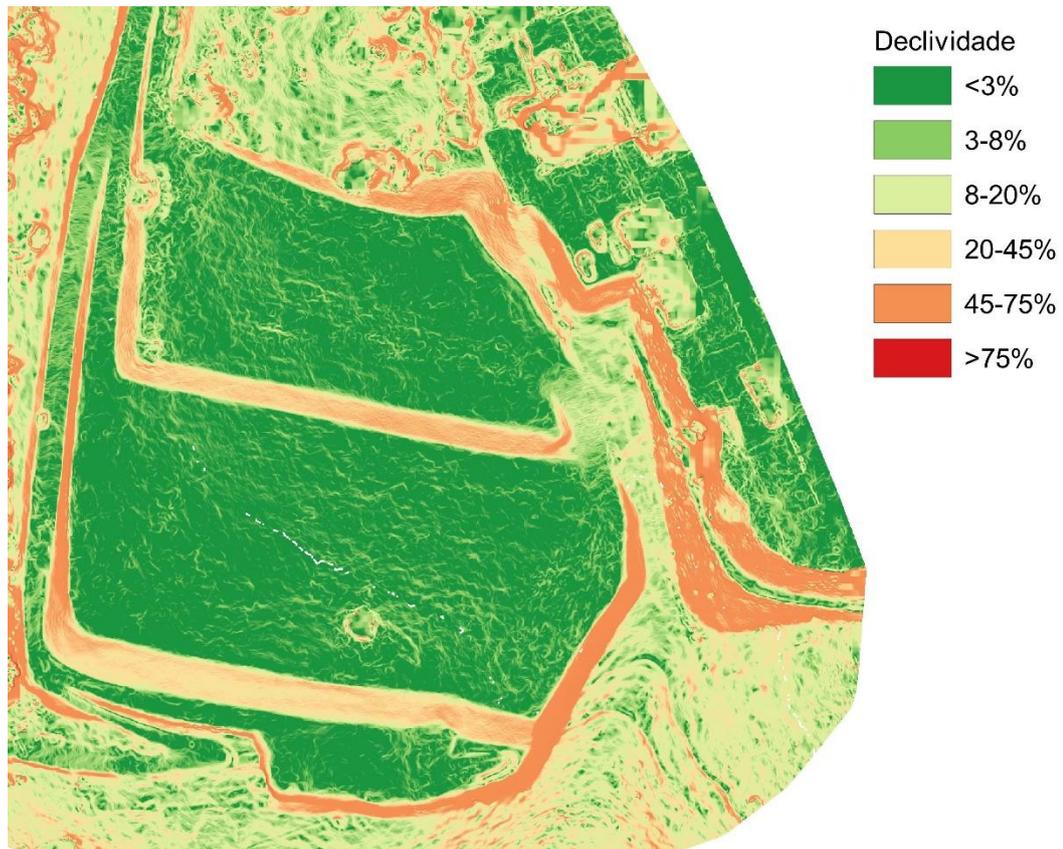


Fonte: O Autor (2021)

Por fim, passou-se para o processamento do último produto: a declividade. Para tanto, utilizou-se o *software* ArcGIS®. De posse do MDS, fez-se as configurações finas no *software* e estabeleceu-se os parâmetros para a geração da declividade dos platôs. Para isso determinou-se uma gradação da declividade em porcentagem, ou seja, quanto menor o valor menor a declividade, conforme mostrado na figura 14.

Pode-se notar que tanto o platô superior quanto o platô inferior ficaram com uma declividade menor ou igual a 3%, uma margem de folga de 2% para a declividade máxima requerida de 5%. Pode-se ver também que os pontos de maior declividade são os taludes que margeiam estes mesmo platôs.

Figura 14: Declividade dos platôs



Fonte: O Autor (2021)

5 – Considerações Finais

A utilização de VANTs na engenharia civil é um fato que se mostra como uma ferramenta de inovação alinhada com a crescente evolução tecnológica das últimas décadas.

Como mostrado, foi alcançada uma declividade menor ou igual a 3,0% nos platôs, dados obtidos de forma prática, rápida e segura. Como principais desvantagens pode-se observar tanto o custo de aquisição dos drones como dos *softwares* de processamento de dados e de um grande poder de processamento para o tratamento dos dados, bem como a necessidade de treinamento específico requerido tanto dos operadores quanto por parte de quem irá gerar os produtos.

Conclui-se, assim, que os drones se mostram como poderosas ferramentas para a obtenção de dados de forma prática e segura. Em muitas etapas do levantamento de dados fez-se necessária a presença somente do operador dos VANTS na obra. Outro aspecto relevante é o alto grau de automação e redundância dos equipamentos, o que eleva a segurança tanto para o piloto do drone quanto para terceiros. Além disso, por meio das mesmas imagens pode-se obter uma gama de produtos, o que se mostra como um auxílio precioso no acompanhamento dos serviços de engenharia e agregando valor ao produto final.

Faz-se necessário, porém, mais pesquisas a fim de se obter o uso pleno desta tecnologia da Engenharia Civil. É necessário, assim, que haja continuidade nos investimentos nesta área, com estudos para que se desenvolva a melhora da tecnologia, sua viabilidade e, eventualmente, a sua implementação plena.

6 – Referências Bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). *Regulamento Brasileiro da aviação Civil Especial (RBAC-E nº94)*. Brasília, DF: 2017. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-e-94> Acesso em: 26 de dezembro de 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES (ANATEL). *Saiba como funciona o processo de homologação de drones*. Brasil, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/anatel/pt-br/assuntos/noticias/saiba-como-funciona-o-processo-de-homologacao>. Acesso em: 27 de dezembro de 2022.

ALENCAR, F. 2015. *Entenda a diferença entre Drone e VANT e suas aplicações práticas*, 2015. Disponível em: <https://www.techtodo.com.br/noticias/noticia/2015/05/entenda-diferenca-entre-drone-e-vant-e-suas-aplicacoes-praticas.html>!. Acesso em: 05 de janeiro de 2023.

CRUZ, C. B. M.; Barros, R. S.; Cardoso, F. V.; Reis, F. B.; Rosário, L. S.; Barbosa, S. S.; Rabaco, L. M. L.; Lourenço, J. S. Q. *Avaliação da exatidão planialtimétrica dos modelos digitais de superfície (MDS) e do terreno (MDT) obtidos através do LIDAR*. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba: INPE 2011. p. 5463, 2011.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO (DECEA). *Aeronaves não tripuladas e o acesso ao espaço aéreo brasileiro (ICA 100-40)*. Brasil, 2020. Disponível em : <https://publicacoes.decea.gov.br/?i=publicacao&id=5250> Acesso em: 26 de dezembro de 2022.

DOS SANTOS, G. A.; FARINA, R. M.. *Mapeamento Geográfico por Drone*. Recima21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218, v. 3, n. 9, p. e391901-e391901, 2022.

DRUCKER, P. F. *Inovação e espírito empreendedor: prática e princípios*. São Paulo: Pioneira Thompson, 2003

ESPAÇODODRONE. *Como drone funciona? Descubra tudo agora!* Disponível em: <https://espacododrone.com.br/como-drone-funciona/> Acesso em: 11 de outubro de 2020.

EXTERCKOETTER, Adriano Turazi. *Análise da volumetria obtida por dados GNSS/RTK e drone*. 2019.

GRIPP JR, Joel. *Ortorretificação de imagens de alta resolução para aplicação no cadastro técnico rural e mapeamento de área de preservação permanente e reservas legais*. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa. 2009

ITARC. *História dos drones: como surgiram? Para que servem?* 04 de março de 2018. Disponível em: <https://itarc.org/historia-dos-drones/> Acesso em: 09 de outubro de 2022.

MALTA, R. S. V. *Os Tipos de Drone e a Relação com o mapeamento*. Disponível em: <https://institutominere.com.br/blog/os-tipos-de-drone-e-a-relacao-com-o-mapeamento>. Acesso em: 04 de junho de 2023.

MARIANO, C. A. S. *et al. Uso de tecnologias convencionais e avançadas para levantamentos topográficos na construção civil*. 2022.

MELO, R. R. S. *Diretrizes para inspeção de segurança em canteiros de obras por meio de imageamento com veículo aéreo não tripulado (VANT)*. UFB – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2016.

Micasense RedEdge-MX Multispectral 5-Bandas. IATEC Plant Solutions. Disponível em <https://www.iatecps.com/product-page/micasense-rededge-mx-multispectral-5-bandas-vers%C3%A3o-nova>. Acesso em 15 de janeiro de 2022.

MORGENTHAU, G., HALLERMANN, N. *Quality Assessment of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Based Visual Inspection of Structures*. Institute of Structural Engineering, Bauhaus-Universität Weimar, Weimar, Germany, 2014.

NASCIMENTO, A. J.; DENADAI, M. S. *Drone, a História desta Tecnologia*. Tekhne e Logos, v. 12, n. 2, p. 38-59, 2021.

NUNES, J. M. *et al. O setor da Construção Civil no Brasil e a atual crise econômica*. Research, Society and Development, v. 9, n. 9, p. e393997274-e393997274, 2020. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/ojs/index.php/BRJD/article/download/9615/8088>. Acesso em 13 de abril de 2023.

NUNES, Ana Paula. *A utilização de Drones armados e o Direito Internacional Humanitário*. Revista Jurídica Luso-Brasileira, Ano, v. 7, p. 147-180, 2021.

PECHARROMAN, J., VEIGA, R. *Estudo sobre a indústria brasileira e europeia de veículos aéreos não tripulados*. Diálogos Setoriais União Europeia – Brasil, Brasil, 2017.

RODRIGUES, D. A. *Topografia por drone*. DroneShow – Apresentação em PowerPoint, 207 slides, Setembro 2020.

ROHAN, U.; FRANÇA, S. L. B. *Análise das tendências da indústria da construção civil frente à sustentabilidade nos negócios*. In: Anais do IX Congresso Nacional de Excelência em Gestão (CNEG), Rio de Janeiro, 2013.

SANTOS, A. J. *Levantamento e gestão de propriedade por fotogrametria: aplicação prática em prédios no concelho de Vila do Conde*. 2021. Dissertação de Mestrado. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/2230>. Acesso em: 15 de maio de 2023.

TEIXEIRA, Luciene Pires; DE CARVALHO, Fátima Marília Andrade. *A construção civil como instrumento do desenvolvimento da economia brasileira*. Revista Paranaense

de Desenvolvimento, n. 109, p. 9-26, 2005.

TONDELO, P. G.; BARTH, F. *Análise das manifestações patológicas em fachadas por meio de inspeção com VANT*. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, v.10, p. e019009-e019009, 2019.

ULRICH, P. H.; NOBRE, J. C. *Análise do Estado da Arte em Segurança Cibernética com Drones*. Revista Eletrônica de Iniciação Científica em Computação, v. 17, n. 1, 2019.

VERAS, Rafael Henrique. *A importância da construção civil na economia brasileira*. 2018. Disponível em:
<https://repositorio.uema.br/bitstream/123456789/969/1/A%20IMPORT%C3%82NCIA%20DA%20CONSTRU%C3%87%C3%83O%20CIVIL%20NA%20ECONOMIA%20BRASILEIRA.pdf>. Acesso em: 05 de fevereiro de 2023.