

**FAMIG – FACULDADE MINAS GERAIS
LUIZ FELIPE CHAVES REIS**

**UTILIZAÇÃO DE RPAS (DRONES) COMO FERRAMENTA NA ENGENHARIA
CIVIL – AEROFOTOGRAMETRIA**

**Belo Horizonte
2024**

LUIZ FELIPE CHAVES REIS

**UTILIZAÇÃO DE RPAS (DRONES) COMO FERRAMENTA NA ENGENHARIA
CIVIL – AEROFOTOGRAMETRIA**

Projeto de Pesquisa apresentado ao Prof.^o
Diego de Jesus Queiroz Rosa como requisito
parcial para aprovação na Disciplina de
Trabalho de Conclusão de Curso.

Belo Horizonte

2024

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por abençoar meus caminhos;

Aos meus pais pelo amor e paciência, por compreenderem minha ausência em alguns momentos;

A minha esposa, por estar ao meu lado sempre;

Aos professores por todos os ensinamentos que foram essenciais na realização deste trabalho, tão importante para minha formação.

RESUMO

Nos últimos anos, o emprego de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAs) para aerofotogrametria digital tem se expandido de forma expressiva, principalmente se tratando no campo da engenharia. Com essa tecnologia, gerou-se a possibilidade, de uma forma mais eficaz, com redução de custos, mais ágeis e com dados de alta qualidade, a coleta de dados e informações essenciais para diversos campos de trabalhos e projetos. Dentre as principais aplicações das imagens aéreas capturadas por RPAs na engenharia, destaca-se a obtenção de dados planialtimétricos, uma técnica amplamente utilizada em topografia para obter informações detalhadas de áreas específicas da superfície terrestre. Este estudo tem como objetivo apresentar um pouco da história do uso desses equipamentos, apresentar as regras e legislações para o uso, bem como avaliar a viabilidade do uso de RPAs em levantamentos planialtimétricos e na produção cartográfica de superfícies de terrenos. Para isso foi apresentado um estudo de caso com fotografias aéreas, juntamente com os *softwares* específicos para o processamento e criação dos produtos, tais como, Modelo Digital de Superfície (MDS), Modelo Digital de Terreno (MDT), ortofoto e curvas de nível. Os resultados demonstraram que o uso de RPAs aliado à fotogrametria é viável para levantamentos topográficos planialtimétricos, apresentando erros pequenos e garantindo maior confiabilidade nos produtos gerados.

Palavras-chave: Aeronaves Remotamente Pilotadas; Aerofotogrametria; Planialtimétrico.

ABSTRACT

In recent years, the use of Remotely Piloted Aircraft (RPAs) for digital aerial photogrammetry has expanded significantly, particularly in the field of engineering. This technology has enabled the efficient, cost-effective, and faster collection of high-quality data and essential information across various fields and projects. Among the primary applications of aerial images captured by RPAs in engineering is the acquisition of planialtimetric data, a technique widely used in topography to obtain detailed information on specific areas of the Earth's surface. This study aims to provide an overview of the history of using these devices, present the rules and regulations for their operation, and evaluate the feasibility of using RPAs for planialtimetric surveys and cartographic production of terrain surfaces. A case study is presented, including aerial photographs processed with specific software to create products such as a Digital Surface Model (DSM), Digital Terrain Model (DTM), orthophotos, and contour lines. Results demonstrated that RPAs, when combined with photogrammetry, are viable for planialtimetric topographic surveys, presenting minimal errors and ensuring greater reliability in the generated products.

Keywords: *Remotely Piloted Aircraft; Aerial Photogrammetry; Planialtimetric*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução da Fotogrametria	14
Figura 2 - Equipamento RPA utilizado para obtenção dos dados	19
Figura 3 – Detalhe do módulo RTK acoplado ao RPA	19
Figura 4 – Fluxograma do processo executivo	20
Figura 5 - Área de Estudo (Voo) – Município de Pedra do Indaiá	21
Figura 6 - Tipos de sobreposição de imagens: Sobreposição longitudinal (Esquerda) e lateral (Direita).....	22
Figura 7 - Delimitação da área de voo com uso do <i>software DJI Pilot 2</i>	23
Figura 8 – Delimitação dos pontos de controle artificiais	24
Figura 9 – Exemplo de ponto de controle artificial utilizado	25
Figura 10 - Exemplo de ponto de controle artificial utilizado	25
Figura 11 –Receptor GNSS RTK modelo CHC i50	26
Figura 12 – Instalação da “Base” para processamento dos dados de campo.....	27
Figura 13 – Detalhe do piquete da base	27
Figura 14 – Leitura do ponto topográfico (PC) com receptor RTK	28
Figura 15 – Delimitação Voo 01	29
Figura 16 – Delimitação Voo 02	29
Figura 17 – Detalhe do voo autônomo (Voo 01).....	30
Figura 18 – Detalhe do voo autônomo (Voo 02).....	30
Figura 19 – Retorno do RPA ao ponto de decolagem (<i>Returning to home</i>).....	31
Figura 20 - Processamento Base CHC Geomatics Office 2.....	32
Figura 21 – Ferramenta <i>Base Shift</i>	32
Figura 22 – Nuvem de pontos espaçada.....	35
Figura 23 – Importação das Referências (Pontos de Controle).....	35
Figura 24 – Pontos de Controle junto à nuvem de pontos	36
Figura 25 - Centralização dos pontos de controle	36
Figura 26 - Nuvem de pontos densa	37
Figura 27 – Detalhe da Nuvem de pontos densa	37
Figura 28 – Ortomosaico	38
Figura 29 – Vista detalhada do Ortomosaico	39
Figura 30 – Filtragem do terreno	40

Figura 31 – Detalhe das Curvas de Nível.....	40
Figura 32 - Coordenadas de uma das imagens adquiridas no RPA.....	41
Figura 33 - Localizações da câmera e estimativas de erros.	42
Figura 34 - Localizações de Pontos de Controle de Terra e estimativas de erro.	43
Figura 35 - Localizações da câmera e sobreposição de imagens.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados do planejamento aéreo	23
Tabela 2 - Coordenadas Corrigidas em UTM (<i>DATUM</i> Sirgas 2000 – Z. 23S).	33
Tabela 3 - Erro médio de localização da câmera	43
Tabela 4 - Erro quadrático médio dos pontos de controle	44

LISTA DE SIGLAS

ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil

CAVE - Certificado de Autorização de Voo Experimental

EUA – Estados Unidos da América

GNSS - *Global Navigation Satellite System* (Sistema Global de Navegação por Satélite)

IS - Instrução Suplementar

MDS - Modelo Digital de Superfície

MDT - Modelo Digital de Terreno

RBAC-E - Regulamento de Aviação Civil Especial

RPA - *Remotely-Piloted Aircraft* (Aeronave Remotamente Pilotada)

VANT - Veículos Aéreos Não Tripulados

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. Legislação Drones	12
2. REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1. Fotogrametria	13
2.1.1. Histórico.....	13
2.1.2. Conceito	14
3. METODOLOGIA	16
3.1. Topografia – Métodos convencionais x Drone	16
3.2. Pesquisa	17
3.2.1. Objetivos.....	17
3.2.2. Tratamento de Dados	17
3.2.3. Procedimentos Utilizados na Coleta dos Dados	18
3.3. Materiais e Métodos	18
3.3.1. Equipamentos utilizados	18
3.3.2. Etapas do Processo.....	19
3.3.2.1. Planejamento do Voo.....	21
3.3.2.1.1. Delimitação da Área de Estudo	21
3.3.2.1.2. Delimitação das Características do Voo	21
3.3.2.1.3. Delimitação dos Pontos de Controle.....	23
3.3.2.2. Trabalho de Campo	26
3.3.2.2.1. Levantamento Topográfico	26
3.3.2.2.2. Marcação e Levantamento dos Pontos de Controle	28
3.3.2.2.3. Execução do Voo.....	28
3.3.2.3. Processamento e Obtenção de Produtos	31
3.3.2.3.1. Processamento dos Pontos Topográficos	31
3.3.2.3.2. Processamento das Imagens Geradas em Software.....	33

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1. Coordenadas Geográficas	41
4.2. Análise de Qualidade da Ortofoto	44
4.3. Comparativos entre topografia tradicional e topografia com drones ..	45
4.3.1. Estação total	45
4.3.2. Sistema GNSS RTK	45
4.3.3. Topografia com uso de Drones.....	46
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	47
5.1. Estudo de Caso	47
5.2. Comparativos entre métodos	47
5.3. Desafios para o Uso de Drones na Engenharia Civil.....	48
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50

1. INTRODUÇÃO

Segundo Neto *et al* (2023), os drones, aplicados à aerofotogrametria, possuem em seu corpo, câmeras embutidas, com a finalidade de obter imagens aéreas, que, juntamente com outras variáveis, são capazes de gerar dados topográficos com mais detalhes e agilidade, comparados aos levantamentos convencionais, como por exemplo com uso de Estação total.

Juntamente aos diversos avanços tecnológicos que se desenvolvem ao redor do mundo, novas técnicas surgem a fim de aproveitar ao máximo sua utilização, (JACOBY, 2022).

O uso de ferramentas computacionais no ramo da topografia hoje segue a tendência de popularização, aumentando cada vez mais a precisão e conseqüentemente a confiabilidade dos dados (DE DEUS, 2017).

Segundo Silva *et al* (2022), o primeiro registro de uso de drones citado na literatura, foi no ano de 1917, onde o engenheiro inglês *Archibald Low* (1888-1956), demonstrou a possibilidade de controlar uma aeronave guiada via rádio. Entretanto, a Força Aérea Britânica perdeu interesse nessa tecnologia devido aos diversos problemas encontrados nas primeiras experimentações. No ano de 1960, os Estados Unidos da América (EUA), fizeram uso de drones controlados via rádio em missões de reconhecimento militar, captando imagens aéreas. Ainda segundo Silva *et al* (2022), nos dias atuais, o uso de drones estão se popularizando bastante, com diversos modelos, diferentes preços e tipos de usos, podendo eles serem aplicados em atividades de recreação até a execução de missões de reconhecimento civil e militar controladas por GNSS.

Uma das grandes vantagens do uso de drones é o seu baixo custo de aquisição, manutenção e operação, quando comparado aos métodos tradicionais, como voos aerofotogramétricos realizados com aeronaves tripuladas (SILVA *et al*, 2022).

1.1. Legislação Drones

Apesar dos drones para uso civil ocorrem de maneira maciça há mais de uma década, principalmente equipamentos de pequeno porte, as legislações para uso comercial a nível mundial são relativamente recente (SILVA *et al*, 2022).

No Brasil, a Instrução Suplementar (IS) 21-002, publicada em outubro de 2012, foi a primeira legislação apresentada pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), onde se estabeleceu orientações para a emissão de Certificado de Autorização de Voo Experimental (CAVE), baseado no Regulamento Brasileiro de Aviação Civil nº 21 (RBAC) para veículos não tripulados (VANT). Nessa época, a nomenclatura para esse tipo de aeronave ainda era VANT, e apenas voos experimentais com propósito de pesquisa e desenvolvimentos, treinamento de tripulações e/ou pesquisa de mercado, eram autorizados, ou seja, o uso comercial de drones era vedado no Brasil (SILVA *et al*, 2022).

Em maio do ano de 2017, foi publicado o Regulamento de Aviação Civil Especial (RBAC-E nº 94/2017), pela ANAC. Esse regulamento define Aeronave Remotamente Pilotada (*Remotely-Piloted Aircraft – RPA*), como sendo o termo oficial para uso não recreativo. A legislação brasileira atual que regulamenta a operação comercial de RPA é a RBAC–E nº 94. Seu principal objetivo é viabilizar as operações desses dispositivos, garantindo a segurança das pessoas envolvidas. Além disso, a definição dessas regras busca fomentar o desenvolvimento sustentável e seguro do setor.

No Brasil, embora o termo drone não esteja presente na legislação, ele é frequentemente utilizado em publicações de orientação da própria ANAC. Antes da publicação da legislação, outro termo bastante comum era "Veículo Aéreo Não Tripulado" (VANT). No entanto, a ANAC atualmente considera que essa expressão se refere a aeronaves que operam de maneira totalmente autônoma, sem qualquer intervenção de um piloto, o que é proibido no país. Neste livro, os termos "RPA" e "drone" são usados de forma intercambiável para se referir ao dispositivo que carrega o sensor de imageamento, sem distinção entre eles.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Fotogrametria

2.1.1. Histórico

De acordo com Lima (2018), os primeiros estudos que levaram o surgimento da fotogrametria é datada por volta de 350 a.C. Onde Aristóteles pesquisava o método da projeção de imagens por meio óptico. Inspirados nesses estudos, o matemático Albrecht Drer, no ano de 1525, criou dois dispositivos capazes de realizar desenhos de perspectivas e estereoscópicos, onde o conceito desse último foi empregado pela primeira vez em 1726 por Kepler, em elaborações de cartas topográficas.

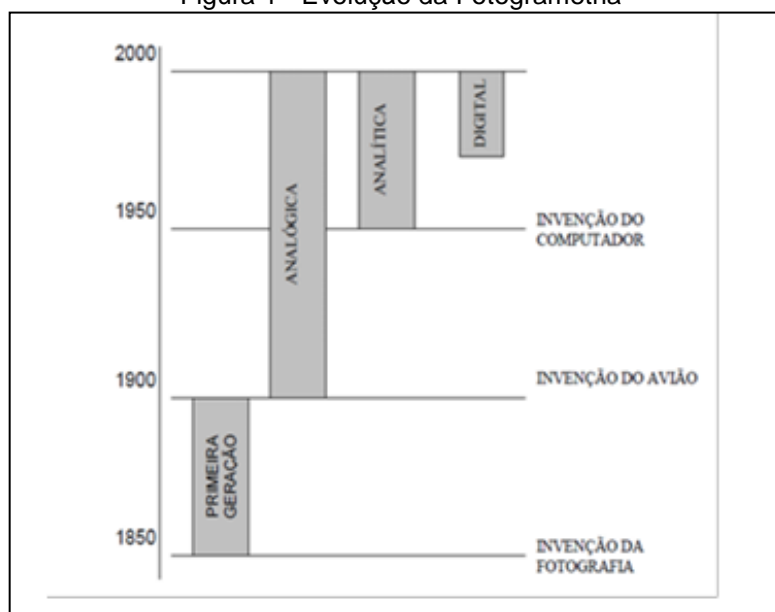
E 1849 o francês Aimé Laussedat, utilizou pela primeira vez fotografias aéreas para análise da superfície terrestre, através de uma câmera embarcada em um balão. Este utilizou as fotografias obtidas para elaboração de mapas topográficos, bem como para analisar os problemas da cidade, (LIMA, 2018).

Ainda conforme Lima (2018), somente após o advento do avião e com a difusão dos estudos da fotogrametria que foi possível, pela primeira vez, a utilização de fotografias aéreas para a realização de mapeamentos. Essa técnica tornou-se bastante difundida durante a primeira guerra mundial para fins de reconhecimentos de campo para os ataques aéreos.

Lima (2018), em seu trabalho, divide a história da fotogrametria, em três etapas básicas de desenvolvimento; a fotogrametria analógica, a fotogrametria analítica e a fotogrametria digital. Foi a partir dessa última etapa que a produção e precisão de produtos cartográficos foram melhoradas e que os custos para obtenção de dados foram diminuídos.

A figura a seguir (Figura 01), apresenta um resumo dos estágios de evolução da fotogrametria ao longo do tempo, desde a invenção da fotografia até a invenção do computador.

Figura 1 - Evolução da Fotogrametria



Fonte: Lima (2018)

De acordo com Coelho e Brito (2007), a fotogrametria digital surgiu como uma inovação ao empregar imagens digitais capturadas por câmeras, sendo processadas por computadores capazes de realizar esse tipo de procedimento. A partir desse processamento, era possível obter dados relevantes para diversas aplicações.

Atualmente, com a rápida disseminação de novas tecnologias e a redução dos seus custos, a aquisição de dados fotogramétricos por meio de imagens digitais se tornou amplamente acessível. Essa técnica, antes restrita principalmente ao uso militar, agora é amplamente utilizada por civis para diversas finalidades, como o mapeamento de áreas específicas da superfície terrestre.

2.1.2. Conceito

Segundo a Sociedade Americana de Fotogrametria (*American Society of Photogrammetry*), citada por Lima (2018), o termo fotogrametria pode ser definido como a ciência e a técnica de obter informações precisas sobre objetos físicos e o ambiente através do registro, medição e interpretação de imagens fotográficas ou outros tipos de dados de sensores remotos.

“(...) arte, ciência e tecnologia para obtenção de dados confiáveis sobre físicos e o meio ambiente por meio de processos de gravação, medição e interpretação de imagens fotográficas e de padrões de imagens de energia eletromagnética radiante e outras fontes”.

A fotogrametria pode ser subdividida em várias categorias, incluindo fotogrametria aérea ou aerofotogrametria, fotogrametria terrestre, fotogrametria espacial e fotogrametria a curta distância. Dentre essas, destaca-se a aerofotogrametria, que, segundo Silva e Costa (2010), é considerada mais econômica e segura em comparação com o levantamento topográfico convencional. Além disso, a aerofotogrametria oferece uma precisão e acurácia muitas vezes superior aos métodos tradicionais.

3. METODOLOGIA

3.1. Topografia – Métodos convencionais x Drone

Segundo Coelho (2017), em seu trabalho acadêmico a realização de um levantamento topográfico convencional pode ser estruturada em etapas distintas. A primeira etapa consiste na tomada de decisão quanto ao método de levantamento mais adequado ao objetivo do projeto. Em seguida, procede-se à seleção dos equipamentos e à definição dos pontos a serem levantados. Posteriormente, realiza-se o processamento e os cálculos necessários para determinar a precisão do levantamento realizado.

Ainda segundo Coelho (2017) o levantamento topográfico, por sua vez, pode ser classificado em dois tipos principais: planimétrico e altimétrico. O levantamento planimétrico tem como objetivo obter as coordenadas bidimensionais (eixos X e Y) dos pontos de interesse na área de trabalho, descrevendo sua localização no plano horizontal. Por outro lado, o levantamento altimétrico busca determinar a altimetria (coordenada Z) dos pontos coletados, representando as variações de elevação em relação a um plano de referência estabelecido.

Na topografia convencional, a aquisição dos pontos topográficos exige a presença do profissional diretamente no local, realizando medições precisas de cada ponto de interesse. Esse processo caracteriza-se como uma forma de aquisição direta das informações.

Por outro lado, na topografia realizada com drones, a coleta de dados ocorre de maneira indireta. Nesse método, o profissional precisa apenas identificar e coletar um número reduzido de pontos estratégicos, denominados Pontos de Controle, que servirão como referência para o processamento dos dados obtidos pelas imagens capturadas pelo drone. Isso torna o processo mais ágil e menos dependente de deslocamentos extensivos no terreno.

3.2. Pesquisa

O procedimento metodológico adotado neste trabalho pode ser classificado de acordo com os objetivos esperados, o tratamento dos dados coletados em campo e os métodos aplicados na coleta dos dados.

3.2.1. Objetivos

Em relação aos objetivos determinados pela pesquisa, este trabalho pode ser caracterizado como exploratório. De acordo com Lima (2018), a pesquisa exploratória tem como finalidade "desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, visando à formulação de problemas mais precisos ou hipóteses que possam ser pesquisadas em estudos futuros". Esse tipo de pesquisa costuma envolver levantamento bibliográfico e documental, estudos de caso ou coleta de dados em campo.

3.2.2. Tratamento de Dados

No que se refere ao tratamento de dados adotado neste trabalho, ele é apresentado tanto de forma quantitativa quanto qualitativa. Conforme Creswell (2007), essa abordagem pode ser definida como uma pesquisa mista, uma vez que envolve a necessidade de coleta e análise de múltiplos tipos de dados, utilizando diferentes métodos de avaliação. Creswell (2007) acrescenta que o método misto surgiu da necessidade de desenvolver projetos que pudessem compreender de maneira mais completa os dados complexos provenientes de diferentes fontes e abordagens analíticas.

Os dados quantitativos tratados neste trabalho incluem, por exemplo, o uso de processamentos estatísticos, como desvio padrão, erro médio quadrático, entre outros. Em relação aos dados qualitativos, destaca-se a interpretação desses dados e dos produtos gerados ao longo do estudo.

3.2.3. Procedimentos Utilizados na Coleta dos Dados

No que diz respeito aos procedimentos utilizados na coleta de dados, esta pesquisa é caracterizada como um levantamento. Segundo Lima (2018), esse método envolve a obtenção de um volume significativo de dados sobre o problema em questão, com o objetivo de realizar uma análise detalhada e, a partir dela, alcançar conclusões fundamentadas sobre o tema estudado.

3.3. Materiais e Métodos

3.3.1. Equipamentos utilizados

Para a realização do mapeamento aéreo foi utilizado um RPA quadricóptero da marca DJI do modelo *Mavic 3 Enterprise Multispectral*, equipado com um sensor de 20 megapixels e com sistema de posicionamento global (GPS) do tipo Glonass, equipado com módulo RTK. Possui uma autonomia de voo máximo de 45 minutos, sendo uma autonomia segura de voo médio de 25 minutos.

A escolha do equipamento se deu devido à disponibilidade do equipamento para a realização da pesquisa. O equipamento utilizado, juntamente com seu rádio controle encontra-se ilustrado na figura a seguir.

Figura 2 - Equipamento RPA utilizado para obtenção dos dados



Fonte: O Autor, 2024.

Figura 3 – Detalhe do módulo RTK acoplado ao RPA

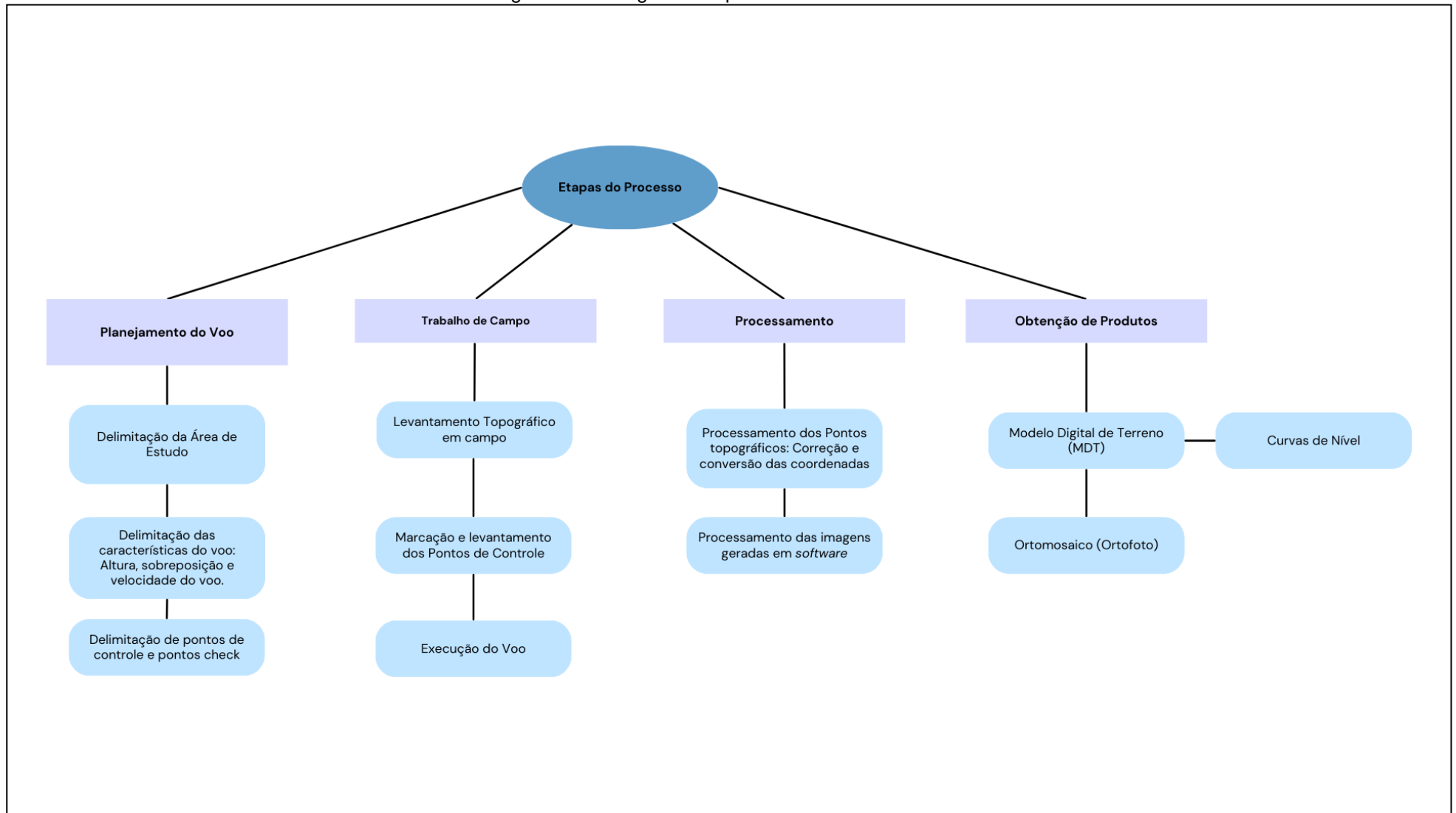


Fonte: O Autor, 2024.

3.3.2. Etapas do Processo

O fluxograma apresentado na figura a seguir ilustra as etapas de processamento empregadas na execução deste projeto, abrangendo desde o planejamento do voo até o processamento das imagens e a obtenção dos dados que serão utilizados e analisados.

Figura 4 – Fluxograma do processo executivo



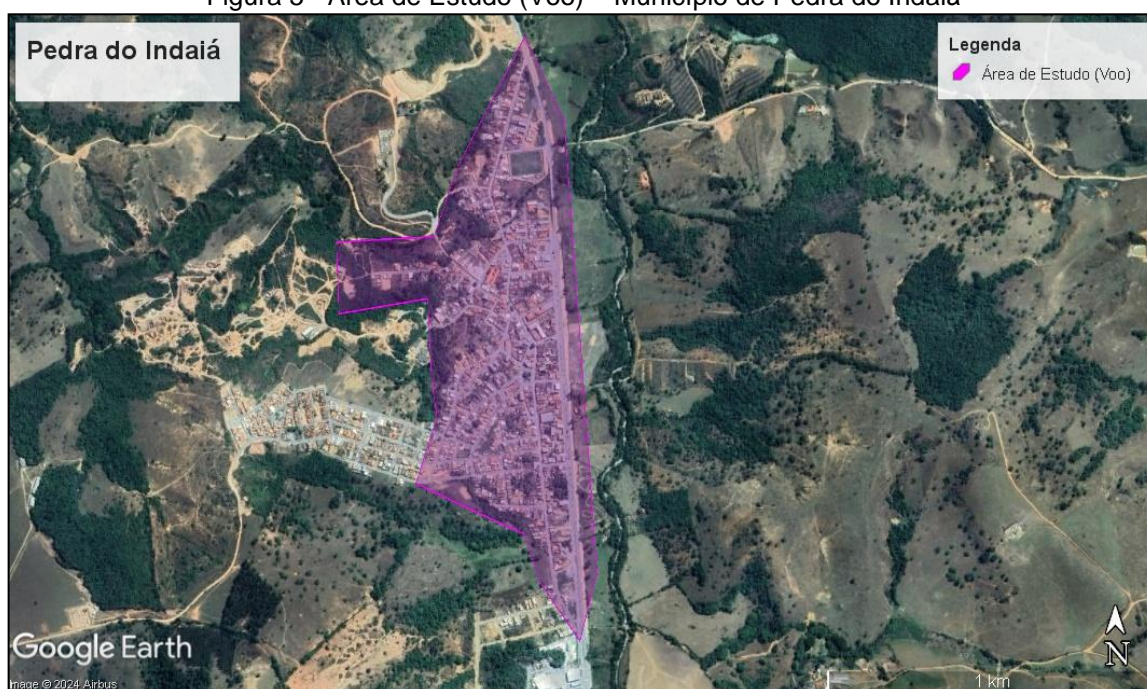
Fonte: O Autor, 2024.

3.3.2.1. Planejamento do Voo

3.3.2.1.1. Delimitação da Área de Estudo

A área experimental para o desenvolvimento do estudo está localizada no município de Pedra do Indaiá/MG, está a aproximadamente a 161 km da capital, Belo Horizonte/MG. A figura a seguir ilustra a localização do município.

Figura 5 - Área de Estudo (Voo) – Município de Pedra do Indaiá



Fonte: O Autor (2024), adaptado *Google Earth*.

3.3.2.1.2. Delimitação das Características do Voo

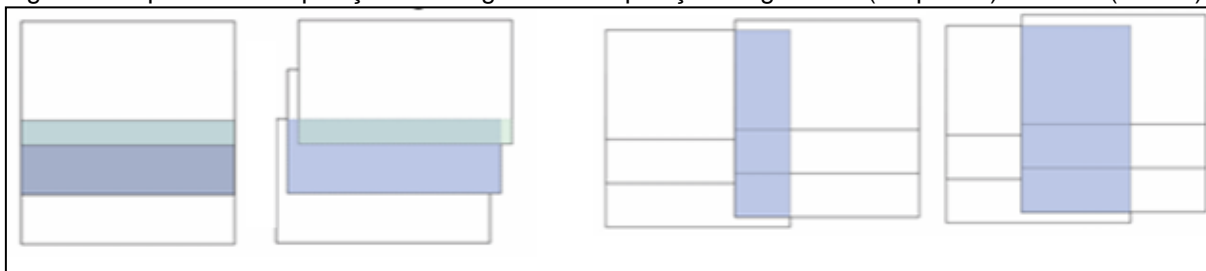
No planejamento de voo, que envolve a definição da área a ser percorrida pelo RPA e registrada por aerofotografias, foi empregado o *software DJI Pilot 2*, contido no próprio controle do RPA. Esse *software* automatiza o processo de captura das imagens aéreas, garantindo ainda a sobreposição das fotos tiradas de toda a área mapeada.

A sobreposição das imagens é um dos procedimentos mais cruciais nesta fase, pois proporciona maior confiabilidade aos dados dos produtos gerados. Segundo Lima (2018), a sobreposição de fotografias aéreas refere-se a um conjunto de imagens

capturadas de um mesmo ponto ou área da região em análise, utilizando duas ou mais perspectivas diferentes. Essa sobreposição visa simular o processo de estereoscopia que ocorre nos seres humanos, onde o cérebro combina imagens ligeiramente diferentes recebidas pelos olhos. Esse mecanismo é fundamental, segundo Lima (2018), para que os indivíduos adquiram informações como percepção de profundidade, medição de distâncias e identificação de reflexos em metais e pedras preciosas. Portanto, a estereoscopia resultante da sobreposição de imagens aéreas possibilita a medição de distâncias, profundidades e alturas de objetos no terreno.

A sobreposição pode ser classificada em duas categorias: longitudinal e lateral, as quais são representadas e diferenciadas na figura a seguir.

Figura 6 - Tipos de sobreposição de imagens: Sobreposição longitudinal (Esquerda) e lateral (Direita).



Fonte: Lima (2018).

Foi realizada uma sobreposição de imagens que garantisse boa qualidade aos produtos gerados, evitando, ao mesmo tempo, um excesso de fotografias que poderia desacelerar o processamento. Assim, adotou-se o valor de 80% para a sobreposição longitudinal e 75% para a sobreposição lateral.

Além disso, por meio do *software DJI Pilot 2*, é possível determinar outros parâmetros de voo, entre os quais se destacam a altura do RPA em relação ao solo e a velocidade durante a captura das fotos. Esses fatores impactam tanto no número de fotografias quanto na qualidade e na quantidade de pixels, influenciando a resolução espacial e podendo causar deformações no produto final. A tabela a seguir apresenta os parâmetros utilizados no planejamento de voo.

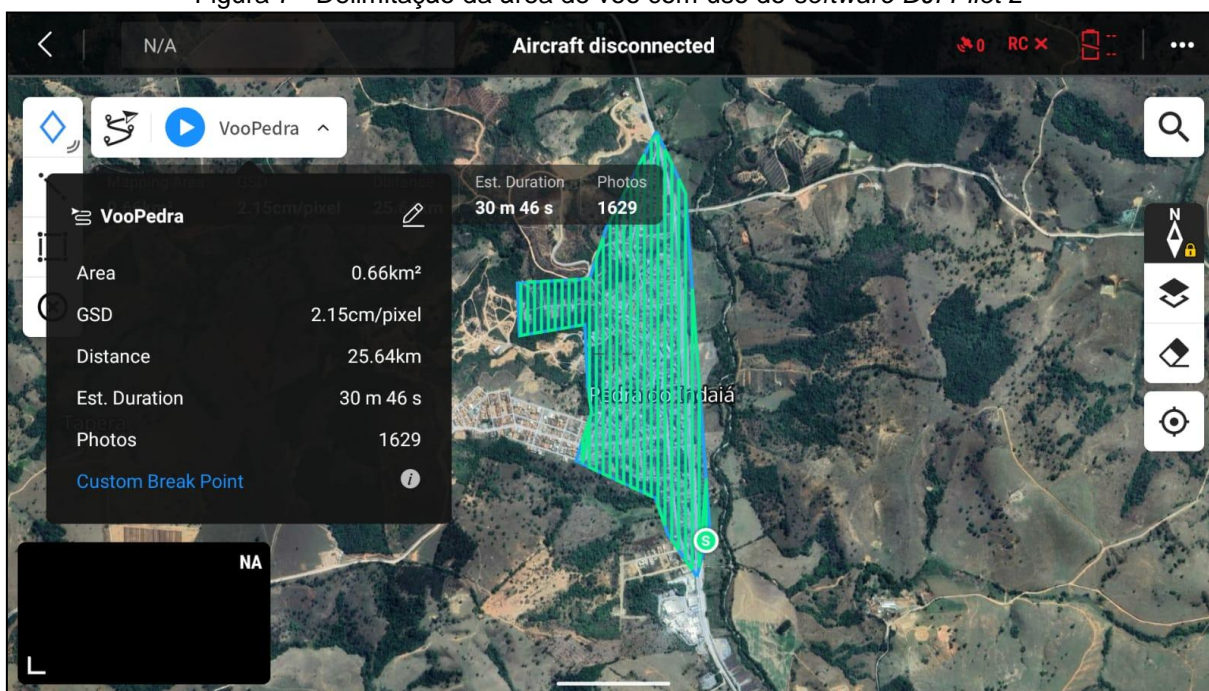
Tabela 1 - Dados do planejamento aéreo

Dados	Valores
Área	0,66 km ²
Velocidade Voo	15 m/s
Altura Voo	80 m
Tempo Voo	30 min e 46 s
Resolução das Fotos	2,15 cm/pix
Quantidade de Fotos	1629

Fonte: O Autor (2024).

Cabe ressaltar que a tabela acima apresenta dados estimados do planejamento do voo, realizado pelo *software*, fatores como ventos podem interferir no voo.

A Figura abaixo ilustra a interface do *software DJI Pilot 2*, mostrando a delimitação da área em estudo, e dados da tabela acima.

Figura 7 - Delimitação da área de voo com uso do *software DJI Pilot 2*

Fonte: O Autor (2024), adaptado *software DJI Pilot 2*

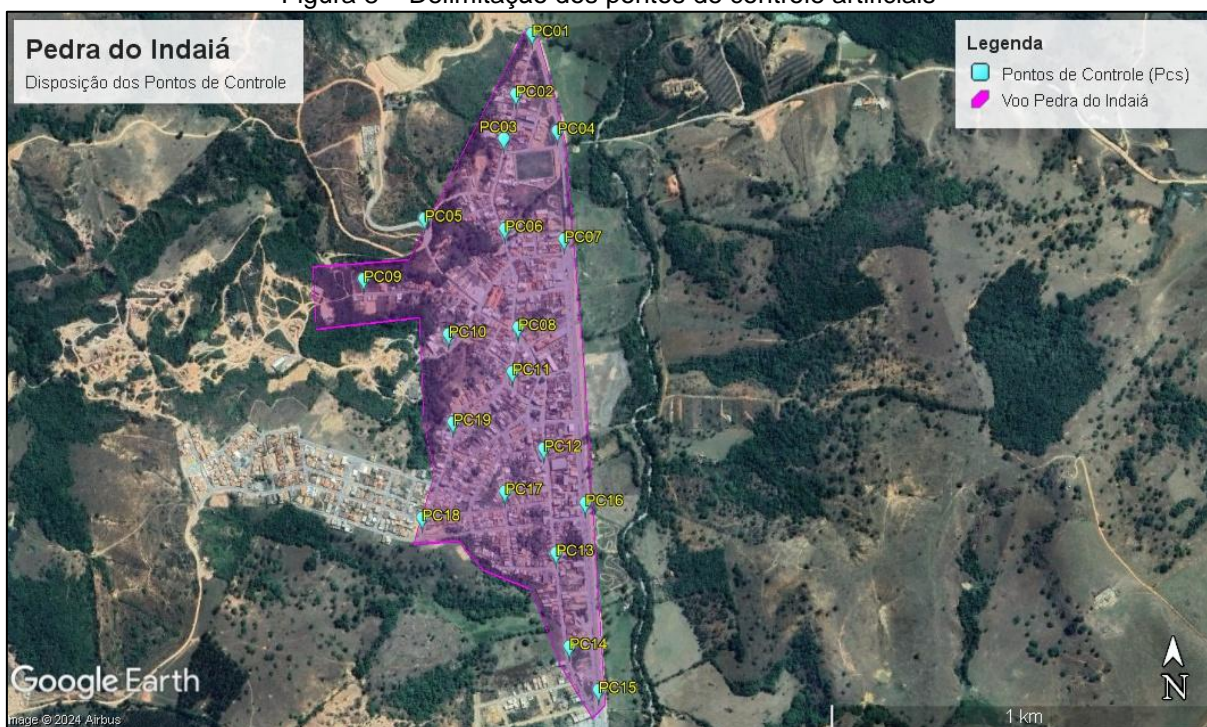
3.3.2.1.3. Delimitação dos Pontos de Controle

Os pontos de controle são áreas específicas no terreno com coordenadas conhecidas (X, Y, Z), utilizadas posteriormente no processamento das imagens capturadas por RPA. Essas coordenadas serviram para alinhar as coordenadas

registradas nas fotografias aéreas com aquelas obtidas via GPS geodésico. Segundo Lima (2018), esse processo melhora a precisão por meio da técnica de fototriangulação.

Alguns pontos dentro da área de estudo foram selecionados aleatoriamente para a instalação dos alvos artificiais. Esses pontos foram escolhidos de modo a garantir que o RPA pudesse identificar os alvos nas imagens, além de possibilitar o uso do equipamento GPS para a obtenção de coordenadas precisas. A Figura a seguir mostram os locais onde os alvos artificiais foram distribuídos no terreno de estudo.

Figura 8 – Delimitação dos pontos de controle artificiais



Fonte: O Autor (2024), adaptado Google Earth.

Para a marcação dos pontos de apoio na área de estudo, foram utilizados alvos, que podem ser classificados como artificiais. Esses pontos são criados com o propósito de serem facilmente identificáveis nas fotografias aéreas da área em estudo. Eles podem apresentar diferentes formas e tamanhos, desde que seu centro seja claramente visível nas imagens, permitindo sua utilização como referência para o posicionamento dos pontos de apoio no processamento e na determinação das coordenadas precisas em campo. A figura abaixo representa o alvo artificial utilizado no estudo.

Figura 9 – Exemplo de ponto de controle artificial utilizado



Fonte: O Autor (2024).

Figura 10 - Exemplo de ponto de controle artificial utilizado



Fonte: O Autor (2024).

3.3.2.2. Trabalho de Campo

3.3.2.2.1. Levantamento Topográfico

O levantamento dos pontos de controle para obtenção das coordenadas foi realizado utilizando um GPS geodésico da marca CHC, modelo i50, operando em modo RTK. A figura abaixo apresenta o modelo mencionado.

Figura 11 –Receptor GNSS RTK modelo CHC i50



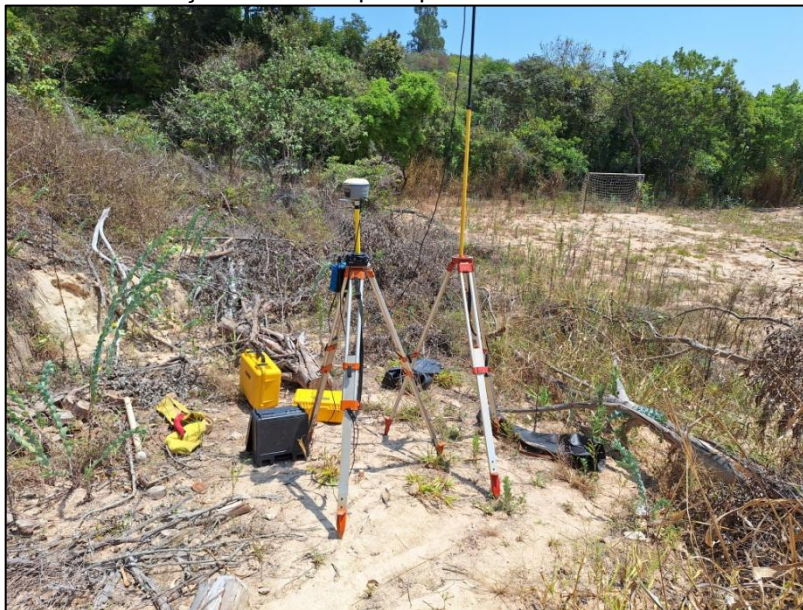
Fonte: Adaptado da internet

O conceito de posicionamento RTK (*Real Time Kinematic*) baseia-se na transmissão em tempo real de dados de correção dos sinais de satélites, a partir de um ou mais receptores instalados nos vértices de referência para os receptores que estão percorrendo os vértices de interesse.

Dessa forma, o RTK permite o acesso em tempo real a coordenadas precisas dos vértices levantados.

As figuras a seguir, representam a base instalada do sistema GNSS RTK do i50. Ela é importante para a leitura em tempo real dos pontos coletados em campo.

Figura 12 – Instalação da “Base” para processamento dos dados de campo



Fonte: O Autor (2024).

Figura 13 – Detalhe do piquete da base



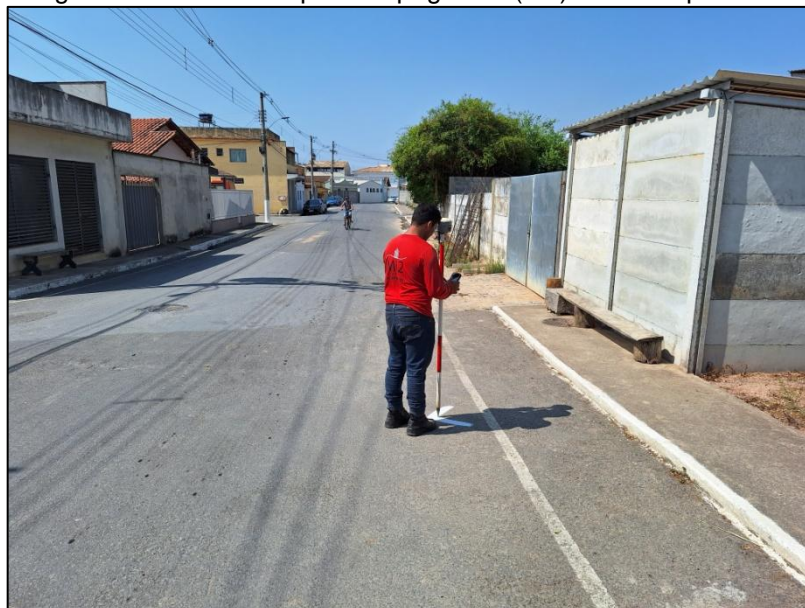
Fonte: O Autor (2024).

É importante ressaltar que as coordenadas obtidas neste processo foram corrigidas com base nos dados gerados pelo marco RBMC BH fornecido pelo site do IBGE através da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo de GNSS (RBMC). Essas correções são essenciais para garantir maior precisão aos dados adquiridos. Todos os processos de correção e conversão foram realizados utilizando o *software CHC Geomatics Office 2*.

3.3.2.2.2. Marcação e Levantamento dos Pontos de Controle

Conforme mencionado no item 3.2.2.1.3, os pontos de controle (PC) foram desenhados em solo, e posteriormente levantados com o equipamento geodésico GNSS RTK. A imagem abaixo representa o levantamento dos pontos topográficos.

Figura 14 – Leitura do ponto topográfico (PC) com receptor RTK



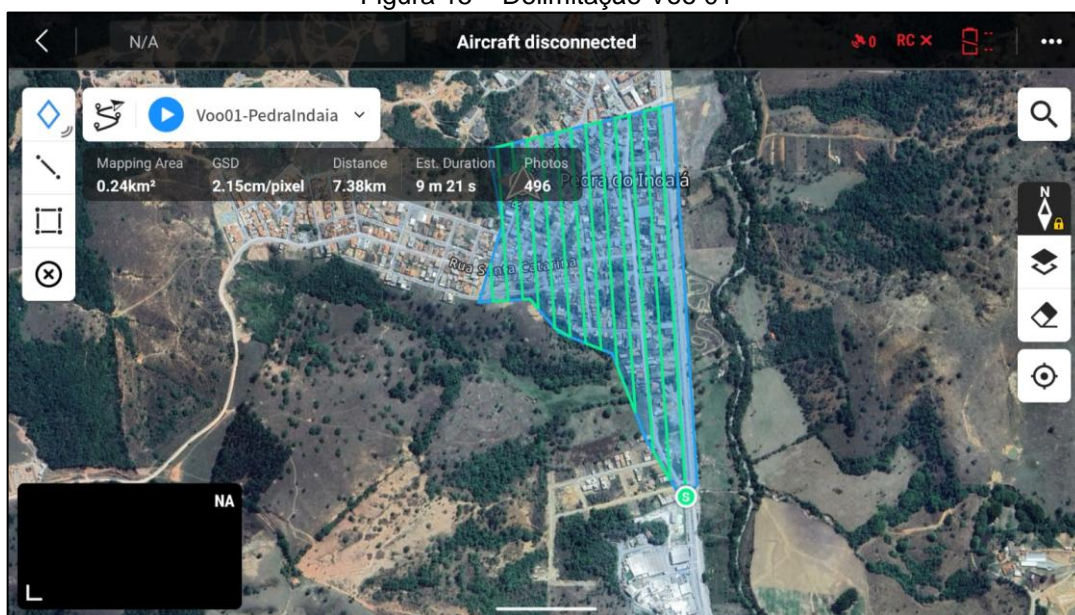
Fonte: O Autor (2024), Mi2 Engenharia.

3.3.2.2.3. Execução do Voo

Esta fase do levantamento aerofotogramétrico consiste na execução do plano de voo previamente elaborado. As imagens capturadas em campo foram utilizadas no processamento, permitindo assim a obtenção dos dados planialtimétricos desejados.

Conforme mencionado no item 3.2.2.1.2 o voo foi realizado através do *software DJI Pilot 2*, para tal, pensando em uma otimização de bateria, para o voo do estudo, o mesmo fora dividido em duas partes, sendo realizado dois voos, sendo eles com as mesmas características, conforme imagens abaixo.

Figura 15 – Delimitação Voo 01



Fonte: O Autor (2024), adaptado software DJI Pilot 2.

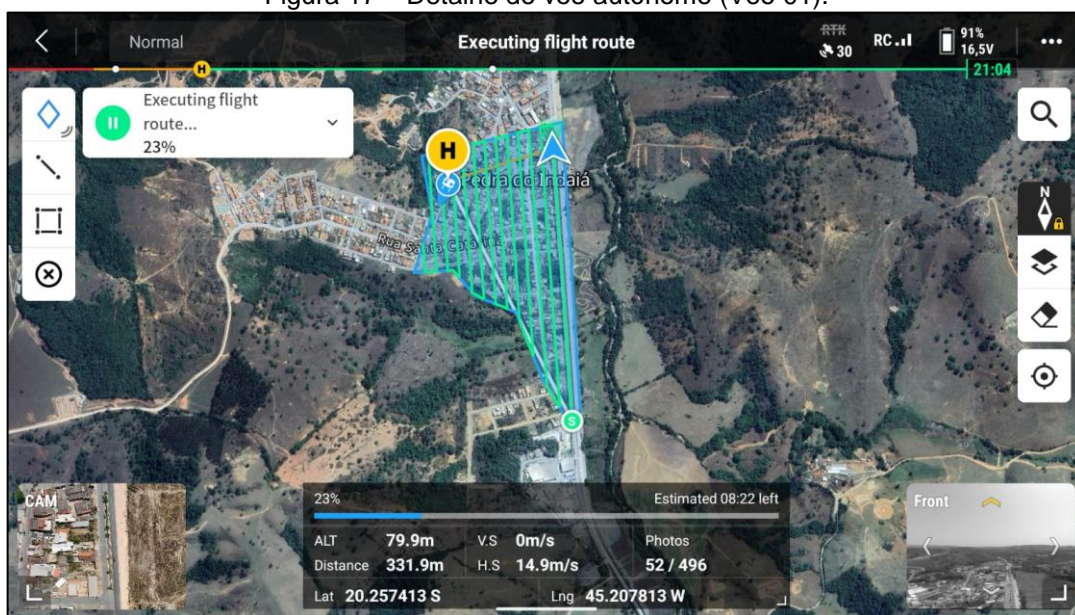
Figura 16 – Delimitação Voo 02



Fonte: O Autor (2024), adaptado software DJI Pilot 2.

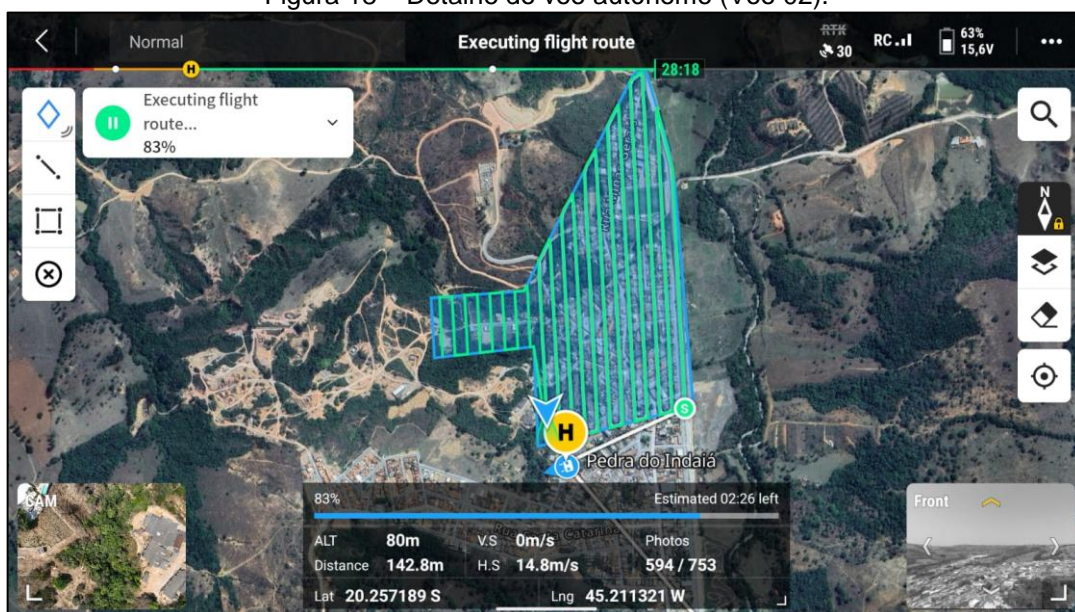
Inicialmente, foram realizadas a montagem das hélices, a checagem e a calibração do RPA. Em seguida, foi feita a decolagem e a varredura das áreas mencionadas anteriormente, processo que ocorre de forma autônoma com o uso do *software* DJI *Pilot 2*. As imagens a seguir representam o voo autônomo do RPA. Nelas podem ser vistas a velocidade de cruzeiro do RPA, a altitude em relação ao solo, e a rota.

Figura 17 – Detalhe do voo autônomo (Voo 01).



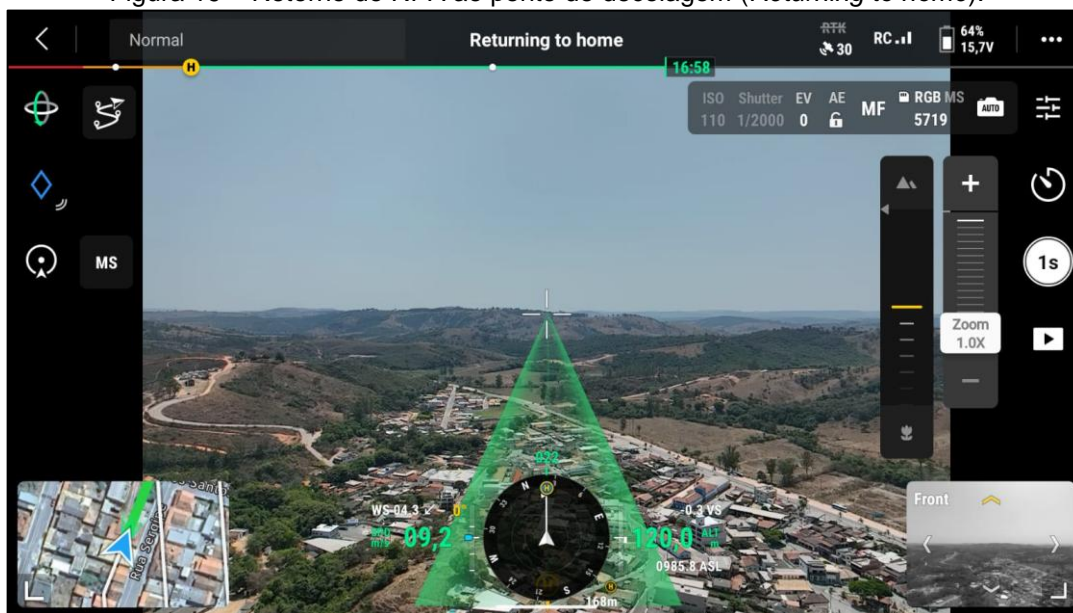
Fonte: O Autor (2024), adaptado software DJI Pilot 2.

Figura 18 – Detalhe do voo autônomo (Voo 02).



Fonte: O Autor (2024), adaptado software DJI Pilot 2.

Após o término do voo autônomo, ocorrido em 25 de setembro de 2024, e aquisição das imagens aéreas, o RPA o próprio equipamento retorna ao seu ponto de decolagem, conforme imagem abaixo.

Figura 19 – Retorno do RPA ao ponto de decolagem (*Returning to home*).

Fonte: O Autor (2024), adaptado software DJI Pilot 2.

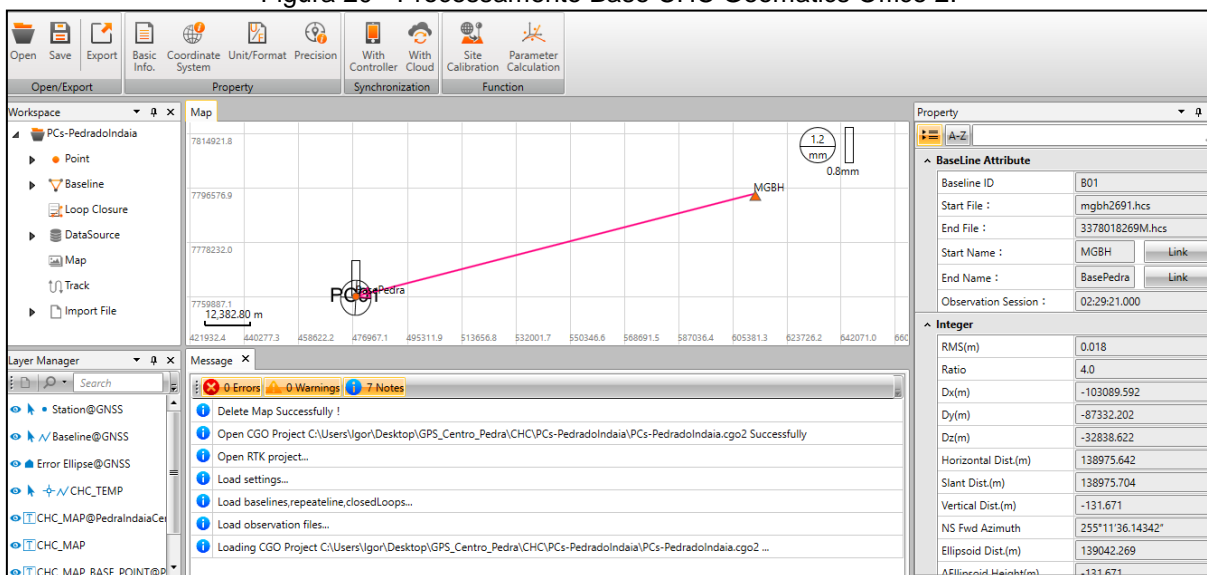
Para o pouso, a fim de evitar acidentes, foi retirado do modo autônomo e realizado o pouso de forma manual. Por fim, após a execução dos dois voos (Voo 01 e Voo 02), foi coletado um total de 1.237 imagens.

3.3.2.3. Processamento e Obtenção de Produtos

3.3.2.3.1. Processamento dos Pontos Topográficos

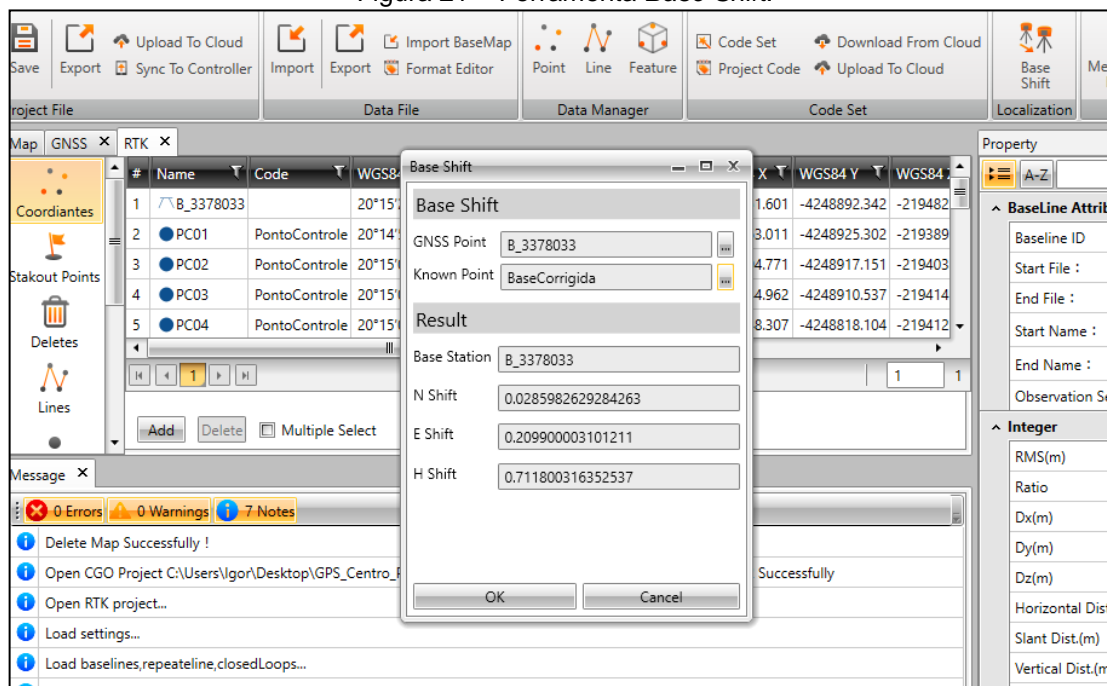
Na Figura abaixo, obtida através do software CHC Geomatics Office 2, é possível visualizar a correção das coordenadas da base do projeto.

Figura 20 - Processamento Base CHC Geomatics Office 2.



Fonte. O Autor (2024).

A partir da correção da base do projeto com a base da estação do IBGE (RBMC BH), é possível realizar a correção dos pontos coletados com o GNSS RTK através da ferramenta “*Base Shift*”, onde a mesma corrigirá todos os pontos coletados pelo receptor GNSS RTK.

Figura 21 – Ferramenta *Base Shift*.

Fonte. O Autor (2024).

Vale ressaltar a correção da altimetria dos pontos processados. Essa altimetria foi corrigida através do “*hgeoHNOR2020*”, que é um modelo criado pelo Instituto

Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para a conversão de altitudes geométricas (obtidas por GNSS) das estações SAT-RN em altitudes normais. Essa conversão utiliza os resultados do Reajustamento da Rede Altimétrica com Números Geopotenciais, onde os valores de ambos os tipos de altitude (geométricas no SIRGAS2000 e normais no REALT-2018) são conhecidos.

A tabela a seguir apresenta as coordenadas corrigidas e convertidas para o sistema UTM pelo *software* mencionado, além das altitudes normais dos pontos que foram utilizadas na etapa seguinte de processamento das fotografias aéreas obtidas pelo RPA.

Tabela 2 - Coordenadas Corrigidas em UTM (*DATUM* Sirgas 2000 – Z. 23S).

Nome	N (UTM m)	E (UTM m)	Altitude Normal (m)
PC01	7760916,849	478188,7025	821,548
PC02	7760761,821	478146,2343	821,341
PC03	7760646,38	478115,7068	821,5237
PC04	7760665,729	478254,0743	822,1324
PC05	7760440,171	477910,0678	843,364
PC06	7760414,098	478117,8395	822,3933
PC07	7760387,121	478273,2121	821,9155
PC08	7760159,006	478153,2861	823,9113
PC09	7760285,237	477752,5256	847,8831
PC10	7760141,155	477972,6705	829,3815
PC11	7760044,179	478137,7175	831,4849
PC12	7759847,339	478220,6795	827,5767
PC13	7759580,303	478252,2709	826,4432
PC14	7759337,934	478286,5848	825,2429
PC15	7759223,139	478363,9722	825,9033
PC16	7759704,201	478328,6115	824,995
PC17	7759735,101	478119,1589	847,707
PC18	7759668,63	477903,9551	883,0318
PC19	7759914,939	477984,271	858,7284

Fonte: O Autor (2024).

3.3.2.3.2. Processamento das Imagens Geradas em Software

Assim que as aerofotografias da área selecionada foram adquiridas, seguindo todos os procedimentos previamente mencionados, as imagens foram processadas com o *software Agisoft Metashape Professional*. Este programa foi utilizado para a criação e análise de diversos produtos cartográficos gerados nesta pesquisa, entre os quais

se destacam: o Modelo Digital de Terreno (MDT), o Modelo Digital de Superfície (MDS), as curvas de nível, o ortomosaico, além da nuvem de pontos, tanto a espaçada quanto a densa.

Antes de iniciar o processamento, foi feita uma verificação das imagens obtidas para identificar possíveis falhas e avaliar sua qualidade. Ao final dessa etapa, constatou-se que não havia distorções ou outras imperfeições nas fotografias.

Após a conclusão desta primeira fase de análise, deu-se início ao processamento das fotografias, que foram primeiramente importadas para o *software Agisoft Metashape*. O processo ocorre de acordo com as seguintes etapas:

- **1ª Etapa:** Calibração automática da câmera, inserção das coordenadas corrigidas dos pontos de controle e conversão das coordenadas longitudinais e latitudinais das fotografias para o sistema UTM (*Sirgas 2000 – UTM Zona 23S*), realizada pelo próprio *Agisoft Metashape*.
- **2ª Etapa:** Alinhamento das fotografias, durante o qual foi gerada uma nuvem de pontos espaçada (*Tie Points*). Essa etapa atua como um pré-processamento da nuvem de pontos densa, identificando os pontos mais comuns entre as aerofotografias conforme figura abaixo.

Figura 22 – Nuvem de pontos espaçada



Fonte: O Autor (2024), adaptado software Agisoft Metashape.

Obs.: Após o alinhamento (nuvem de pontos espaçada) das imagens, foram inseridos os pontos processados do levantamento de campo. As imagens abaixo mostra a importação desses pontos, denominadas referências, bem como a localização da mesma, junto à nuvem de pontos criada.

Figura 23 – Importação das Referências (Pontos de Controle)

Importar CSV

Sistema de Coordenadas
SIRGAS 2000 / UTM zone 23S (EPSG::31983)

Rotation angles: Yaw, Pitch, Roll

Ignore labels Threshold (m): 0.1

Delimitador
 Tabulação
 Ponto e vírgula
 Vírgula
 Espaço
 Outro:
 Combine consecutive delimiters

Colunas
Rótulo: 1 Precisão Rotation Precisão
Easting: 3 8 Yaw: 5 9
Northing: 2 8 Pitch: 6 9
Altitude: 4 8 Roll: 7 9
 Enabled flag: 10

Iniciar a importação na linha: 1 Items: All

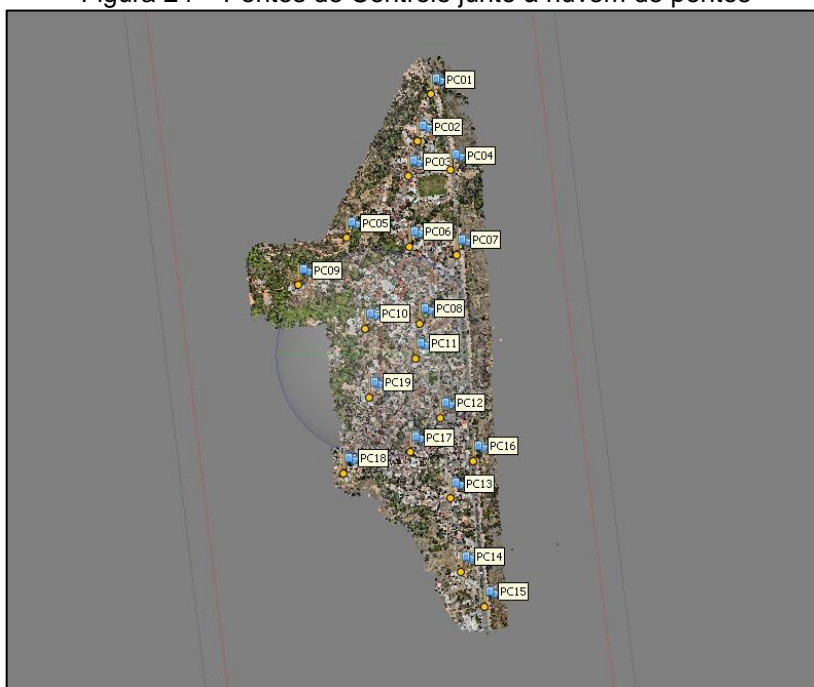
First 20 lines preview:

	Rótulo	Northing	Easting	Altitude	Yaw	Pitch
1	PC01	7760916.849	478188.7025	821.548		
2	PC02	7760761.821	478146.2343	821.341		
3	PC03	7760646.38	478115.7068	821.5237		
4	PC04	7760665.729	478254.0743	822.1324		
5	PC05	7760440.171	477910.0678	843.364		
6	PC06	7760414.098	478117.8395	822.3933		

OK Cancel

Fonte: O Autor (2024), adaptado software Agisoft Metashape.

Figura 24 – Pontos de Controle junto à nuvem de pontos



Fonte: O Autor (2024), adaptado software Agisoft Metashape.

- **3ª Etapa:** As coordenadas dos pontos de controle (indicadas pela bandeira verde) são ajustadas para que fiquem centralizadas no alvo artificial, conforme ilustrado na figura abaixo.

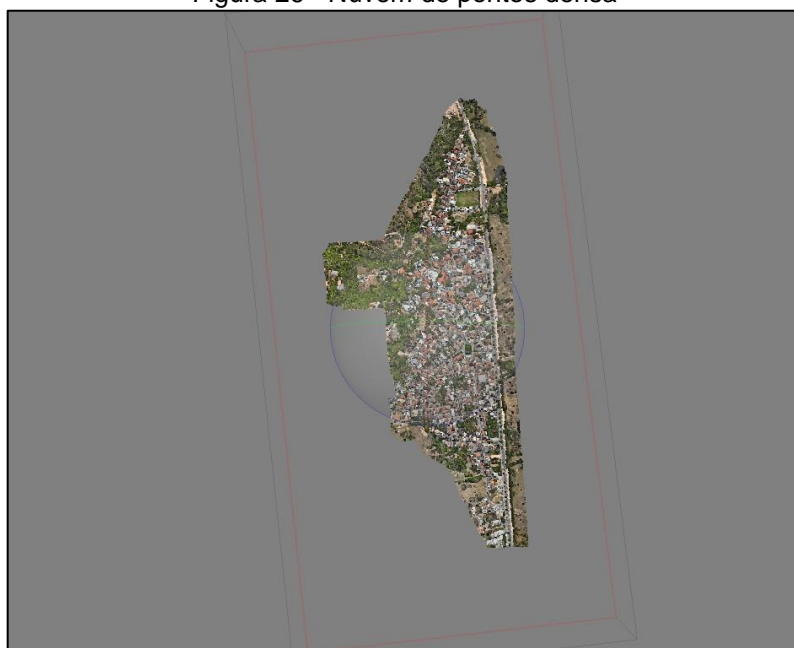
Figura 25 - Centralização dos pontos de controle



Fonte: O Autor (2024), adaptado software Agisoft Metashape.

- **4ª Etapa:** É gerada uma nuvem densa de pontos (*Dense Cloud*), que permite uma representação mais detalhada do terreno, conforme mostrado na figura abaixo. Nesta fase do processo, também são realizados os ajustes de superfície das coordenadas dos pontos de controle.

Figura 26 - Nuvem de pontos densa



Fonte: O Autor (2024), adaptado software Agisoft Metashape.

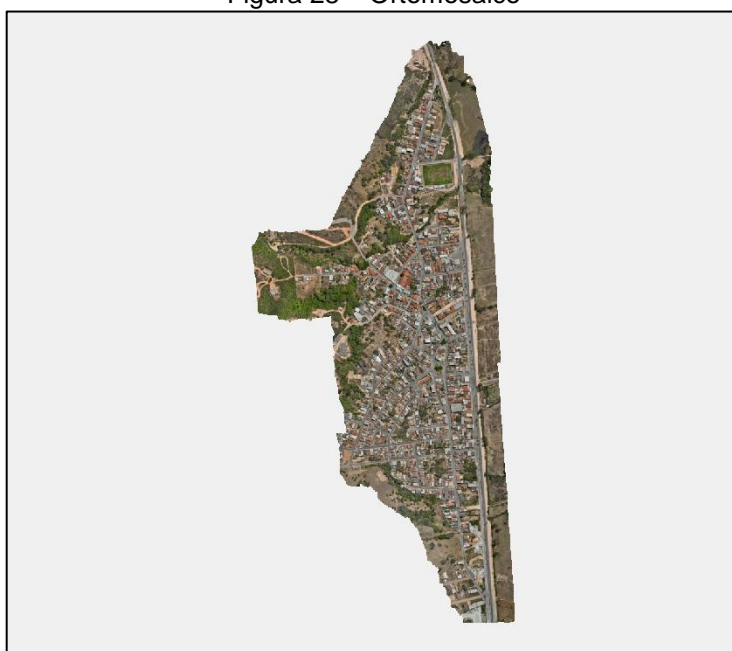
Figura 27 – Detalhe da Nuvem de pontos densa



Fonte: O Autor (2024), adaptado software Agisoft Metashape.

- **Etapa 5:** Criação do modelo ou malha do terreno, que consiste em uma Rede de Triângulos Irregulares (TIN). Essa fase é crucial para a elaboração do modelo digital do terreno, pois os vértices dos triângulos correspondem aos pontos que compõem a superfície da área estudada.
- **Etapa 6:** Aplicação da texturização no terreno, aprimorando a qualidade visual da representação.
- **Etapa 7:** Desenvolvimento do Modelo Digital de Superfície (MDS), que, de acordo com Lima. (2018), é uma representação da superfície terrestre que inclui todas as elevações visíveis, como edificações e vegetação, incluindo árvores e arbustos.
- **Etapa 8:** O ortomosaico é gerado, conforme apresentado na figura abaixo, também conhecido como mosaico de ortofotos. Segundo Sato (1996), trata-se de uma projeção ortogonal da superfície analisada, obtida após a correção das distorções causadas pela projeção cônica da fotografia original. Essas correções garantem que os objetos presentes na superfície terrestre sejam exibidos em suas posições reais.

Figura 28 – Ortomosaico



Fonte: O Autor (2024), adaptado software Agisoft Metashape.

Figura 29 – Vista detalhada do Ortomosaico



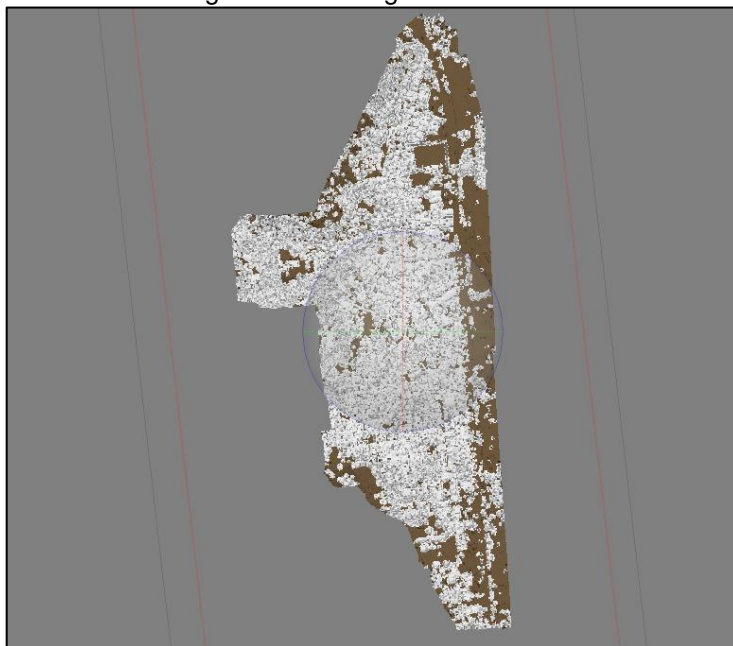
Fonte: O Autor (2024), adaptado software *Agisoft Metashape*.

- **Etapa 9:** Geração do Modelo Digital do Terreno (MDT), conforme definido por Lima (2018) como uma representação matemática da superfície do terreno. Diferentemente do MDS, o MDT retrata a superfície terrestre sem incluir quaisquer objetos sobrepostos ao terreno.

Esse modelo não é gerado automaticamente pelo *Agisoft Metashape*, sendo necessária a realização de uma filtragem do terreno, na qual todos os objetos, como vegetação, automóveis e edificações são removidos, permanecendo apenas o terreno da área analisada. O MDT desempenhou um papel fundamental, pois foi a partir dele que se obtiveram as curvas de nível da região estudada. A seleção dos objetos a serem filtrados é feita com base em parâmetros definidos pelo próprio *software*, que podem ser ajustados pelo usuário caso a filtragem não seja eficiente.

Abaixo, a figura ilustra a filtragem aplicada para a criação do MDT, onde as áreas em branco representam os elementos filtrados, enquanto a porção em tonalidade marrom corresponde ao terreno real.

Figura 30 – Filtragem do terreno



Fonte: O Autor (2024), adaptado software Agisoft Metashape.

- **Etapa 10:** Por fim, com base na filtragem realizada na etapa mencionada anteriormente, foi possível gerar as curvas de nível, conforme apresentado em detalhe na figura abaixo, a qual pode ser fornecida diretamente pelo *software*.

Figura 31 – Detalhe das Curvas de Nível



Fonte: O Autor (2024), adaptado software Agisoft Metashape.

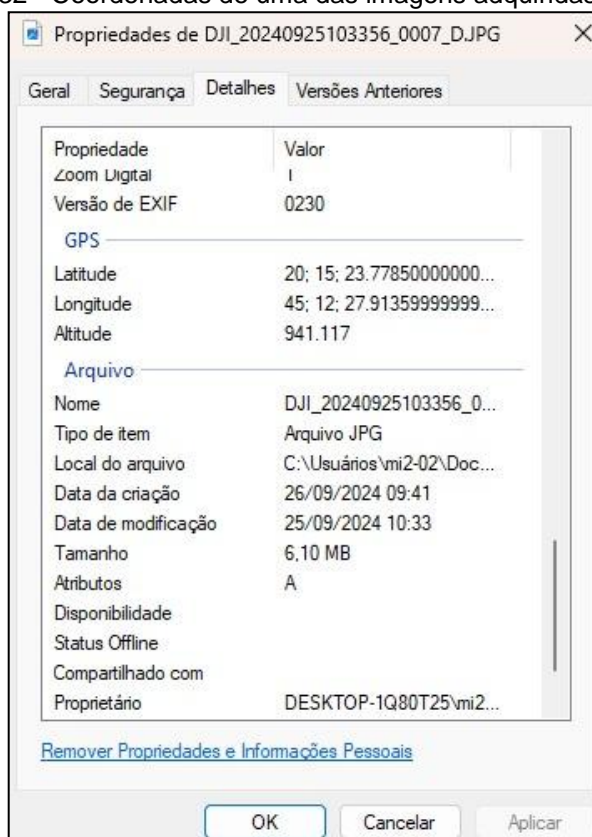
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Coordenadas Geográficas

Após o processamento das 1.237 imagens obtidas no levantamento (Voo), o *software Agisoft Metashape* gera um relatório contendo informações importantes, essenciais para a verificação da qualidade e precisão dos produtos gerados do capítulo anterior.

Um dos dados fornecidos no relatório foi a estimativa total de erro relacionada ao GPS embarcado no RPA. Esse erro é verificado e identificado pelo *software* com base nas coordenadas de cada imagem coletada pelo equipamento, sem as correções realizadas pelos pontos de controle. A figura a seguir ilustra as propriedades de uma das imagens capturadas pelo RPA, confirmando a presença das coordenadas nas imagens aéreas e garantindo, assim, o georreferenciamento dos dados.

Figura 32 - Coordenadas de uma das imagens adquiridas no RPA

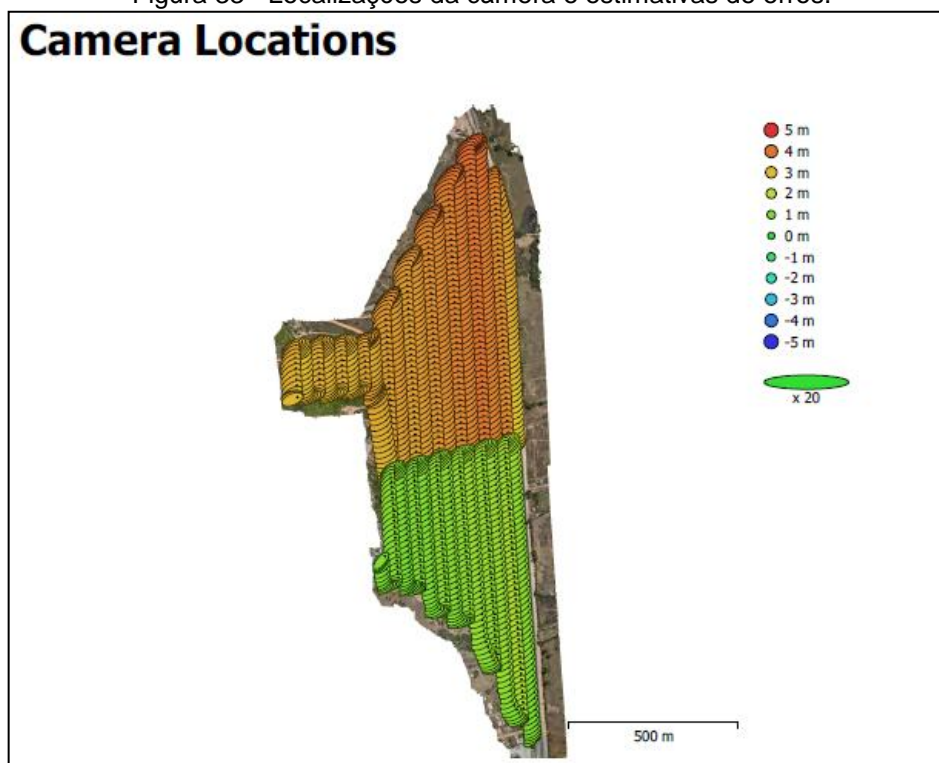


Fonte: O Autor (2024).

A seguir, a partir do relatório gerado pelo *Agisoft Metashape*, a figura representa de forma esquemática os erros relativos aos deslocamentos de cada ponto ou imagem analisada pelo RPA sobre o terreno.

A figura a seguir apresenta de forma esquemática os erros relativos aos deslocamentos de cada ponto ou imagem analisada pelo RPA sobre o terreno. Nela, a cor da região indica o erro de altitude, enquanto o perímetro representa a distorção do ponto real no plano XY.

Figura 33 - Localizações da câmera e estimativas de erros.



Fonte: O Autor (2024), adaptado software *Agisoft Metashape*.

A estimativa total dos erros médios de posição em metros das imagens, é apresentada de forma mais detalhada na tabela abaixo e fornecida pelo *software* por meio do relatório, refere-se aos eixos X, Y e Z. É possível observar a precisão do GPS do RPA, uma vez que os erros indicados são considerados baixos.

Tabela 3 - Erro médio de localização da câmera

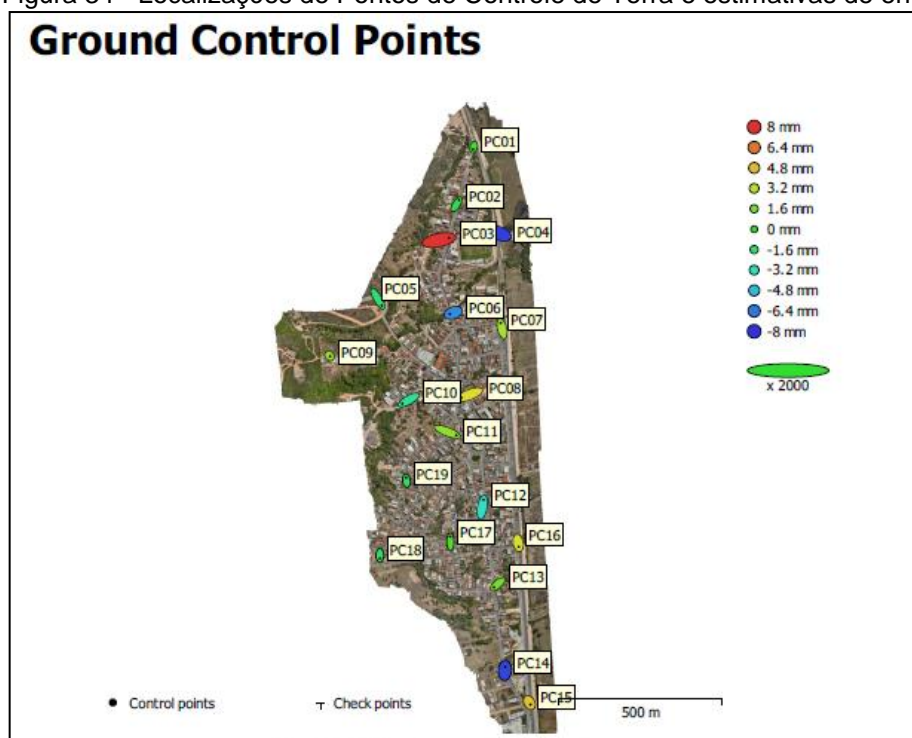
X erro (m)	Y erro (m)	Z erro (m)	XY erro (m)	Total erro (m)
1,4012	0,990182	2,91278	1,71575	3.38054

Fonte: O Autor (2024), adaptado software Agisoft Metashape.

Esses erros apresentados, por mais baixos que foram, não são recomendáveis para um levantamento topográfico. Assim, para garantir maior acurácia nos produtos gerados, foi a utilização de pontos de controle.

Assim, após a inserção dos pontos de controle no processamento, observou-se uma redução significativa na média total dos erros apresentados pelos eixos X, Y e Z, com os erros dos pontos sendo da ordem centimétrica. Nesse contexto, a figura abaixo representa a localização e estimativa de erros de cada ponto de controle utilizado, enquanto a tabela apresenta o erro médio quadrático total em relação aos 19 pontos de controle verificados no terreno.

Figura 34 - Localizações de Pontos de Controle de Terra e estimativas de erro.



Fonte: O Autor (2024), adaptado software Agisoft Metashape.

Tabela 4 - Erro quadrático médio dos pontos de controle

Núm.	X erro (cm)	Y erro (cm)	Z erro (cm)	XY erro (cm)	Total erro (cm)	Imagem (pix)
19	1,354	1,18906	0,405244	1,80199	1,847	0,723

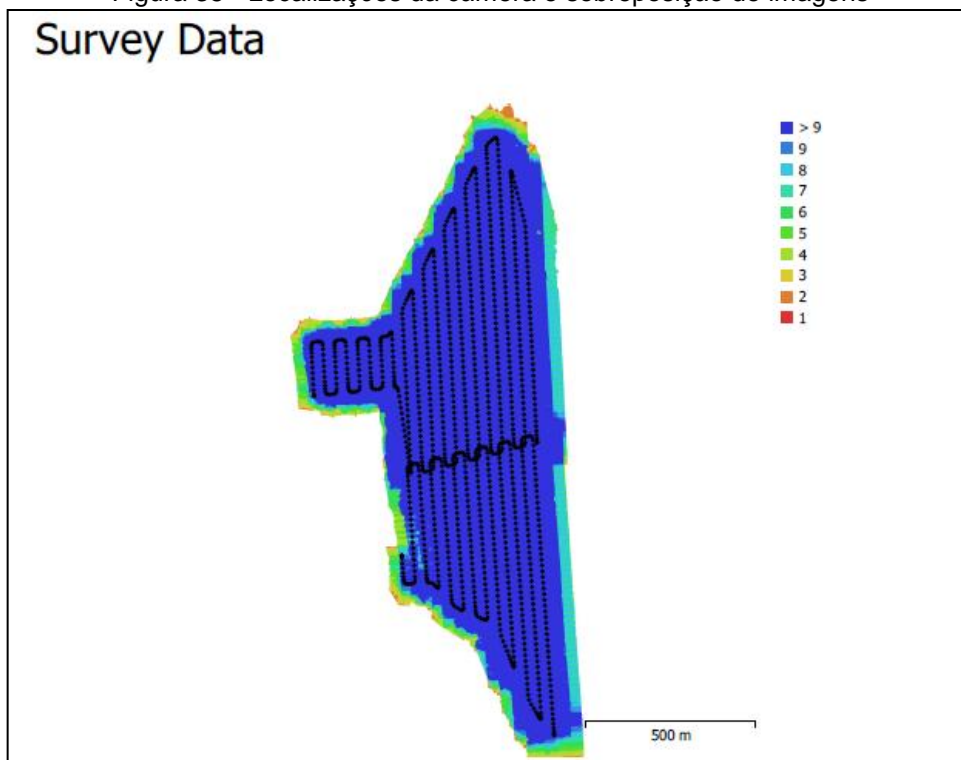
Fonte: O Autor (2024), adaptado software Agisoft Metashape.

Destaca-se, portanto, que a utilização de pontos de controle no levantamento é imprescindível, pois reduz drasticamente os erros médios em cada eixo, conferindo maior confiabilidade ao produto final.

4.2. Análise de Qualidade da Ortofoto

A ortofoto, citada na *Etapa 8*, do capítulo anterior, apresentou uma resolução espacial de 2,92 cm/pix, demonstrando um excelente nível de qualidade, especialmente nas áreas centrais da imagem, onde a sobreposição estabelecida no plano de voo foi maior, atingindo mais de 9 imagens por ponto analisado pelo RPA, como evidenciado pela cor azul escuro na figura abaixo.

Figura 35 - Localizações da câmera e sobreposição de imagens



Fonte: O Autor (2024), adaptado software Agisoft Metashape.

4.3. Comparativos entre topografia tradicional e topografia com drones

Fortunato (2027) destaca que a evolução das tecnologias voltadas para a obtenção de dados topográficos segue em ritmo acelerado, especialmente com o avanço dos drones. Contudo, esse cenário traz questionamentos frequentes para gestores e profissionais da engenharia: é realmente viável utilizar drones em levantamentos? Quais são as diferenças entre os dados gerados por drones e os obtidos com outros equipamentos tradicionais? Essas dúvidas tornam-se cruciais no processo de tomada de decisão dentro das empresas.

Embora equipamentos mais sofisticados continuem surgindo, Fortunato (2018) ressalta que nem sempre eles se substituem entre si. A escolha da melhor tecnologia depende de uma análise criteriosa das necessidades específicas de cada projeto, considerando fatores como custo, qualidade e produtividade para alcançar os resultados esperados.

4.3.1. Estação total

Segundo Fortunado (2018), A Estação Total é um equipamento que combina componentes eletrônicos e mecânicos para realizar medições precisas de ângulos e distâncias. Esses dados são utilizados para calcular coordenadas tridimensionais (X, Y e Z) a partir de referências conhecidas, como pontos topográficos ou estações geodésicas.

Com o uso da Estação Total, é possível realizar levantamentos planialtimétricos com alta precisão, chegando a valores milimétricos, além de executar materializações em campo e uma ampla gama de serviços de engenharia. A evolução tecnológica trouxe recursos avançados, como as estações com medição sem prisma, que permitem coletar dados em locais inacessíveis aos prismas convencionais.

4.3.2. Sistema GNSS RTK

O Sistema GNSS RTK, conforme mencionado no item metodologia do presente trabalho, também chamado de GPS RTK, é uma tecnologia composta por

equipamentos eletrônicos projetados para coletar dados geoespaciais transmitidos por satélites. Essa configuração permite obter coordenadas com alta precisão, seja em modo estático (com pós-processamento dos dados) ou em tempo real, no modo RTK (*Real Time Kinematic*).

Nos levantamentos planialtimétricos, a qualidade dos dados obtidos varia conforme o equipamento utilizado. O sistema RTK (*Real Time Kinematic*) oferece precisão centimétrica, enquanto a Estação Total atinge precisão milimétrica. Apesar dessa diferença em precisão, o RTK apresenta vantagens significativas em produtividade, pois permite coletar um maior número de pontos em menos tempo (Fortunado, 2018).

4.3.3. Topografia com uso de Drones

Os drones, quando utilizados em aerofotogrametria, são equipados com câmeras integradas que capturam imagens aéreas detalhadas. Essas imagens, combinadas com outras variáveis, permitem a geração de dados topográficos de forma mais ágil e detalhada em comparação aos métodos tradicionais, como Estação Total ou GNSS RTK.

Além da rapidez, o uso de drones oferece a vantagem de fornecer as próprias imagens capturadas, que podem ser utilizadas em análises e visualizações adicionais. Enquanto levantamentos topográficos convencionais podem levar dias para serem concluídos, os drones são capazes de realizar o mesmo trabalho em questão de minutos, otimizando significativamente o tempo e os recursos envolvidos.

Como mencionado anteriormente, a topografia realizada com drones atinge precisão centimétrica, equiparando-se ao sistema GNSS RTK. Essa característica reforça a confiabilidade dos dados gerados, tornando os drones uma alternativa eficaz e precisa para levantamentos topográficos, especialmente em projetos que demandam agilidade e detalhamento.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho explorou algumas possibilidades de uso de drones na engenharia civil. A utilização de drones apresenta vantagens significativas, como a redução de custos financeiros, economia de tempo, diminuição da necessidade de mão de obra e aumento da segurança na execução de atividades. Esses benefícios tendem a se expandir e aprimorar à medida que o uso de drones se torna mais comum no setor e que *softwares* sejam desenvolvidos para aproveitar ao máximo as possibilidades que essa ferramenta oferece em tarefas especializadas.

Assim, o valor do uso de drones como uma ferramenta inovadora nas áreas da engenharia civil reside em ampliar sua aplicação no mercado, acompanhando os avanços das tecnologias de *hardware* e *software*. É crucial avaliar como esse conjunto de características agrega valor à sua utilização e identificar os benefícios que podem ser obtidos com seu uso e aplicação. A integração dos drones com tecnologias emergentes pode trazer melhorias significativas em termos de eficiência, precisão e redução de custos.

5.1. Estudo de Caso

Em relação ao estudo de caso, foram gerados produtos como Modelo Digital de Superfície (MDS), Modelo Digital de Terreno (MDT), Ortomosaico e Curvas de Nível, todos com alta qualidade em termos de precisão e resolução das imagens.

Importante ressaltar que com a metodologia aplicada, foram obtidos produtos com precisão nos produtos gerados. O erro médio foi de apenas 1,847 centímetros, isso garante que o estudo fotogramétrico digital é uma ferramenta viável para a obtenção de dados planialtimétricos de uma área em estudo.

5.2. Comparativos entre métodos

Conforme observado nos exemplos, a escolha do recurso tecnológico mais adequado para levantamentos planialtimétricos envolve a análise de diversos fatores. Questões físicas, condições climáticas, extensão da área, nível de detalhe

necessário, qualidade dos dados, produtividade, entre outros, podem influenciar diretamente na decisão.

É essencial que o profissional responsável tenha um entendimento aprofundado de cada um desses aspectos para avaliar a melhor alternativa de equipamento ou método. Essa análise cuidadosa garantirá que as medições sejam realizadas de forma eficiente, precisa e alinhada às necessidades específicas do projeto.

Em levantamentos de grandes áreas, o uso de drones oferece vantagens significativas, destacando-se pela alta produtividade e pela capacidade de coletar uma grande quantidade de pontos em um curto período. Essa eficiência faz dos drones uma solução atraente para atender às demandas de produtividade e detalhamento em levantamentos planialtimétricos.

Por outro lado, é importante considerar o impacto no custo do projeto. Embora o drone seja altamente eficiente, ele não substitui completamente os equipamentos tradicionais, como Estação Total ou GNSS RTK, em todas as etapas de uma obra. Cada tecnologia tem seu papel específico, e, frequentemente, os dados obtidos por drones e métodos convencionais são combinados para garantir um resultado final completo e de alta qualidade.

5.3. Desafios para o Uso de Drones na Engenharia Civil

Os drones têm se consolidado como ferramentas indispensáveis para a realização de estudos técnicos na área da Engenharia. Entre as principais vantagens proporcionadas pelo seu uso destacam-se a otimização do tempo e a alta precisão na geração de produtos, como Modelos Digitais de Terreno (MDT) e Modelos Digitais de Superfície (MDS). Essas tecnologias permitem um detalhamento aprimorado na elaboração de curvas de nível, conferindo a robustez necessária para projetos executivos, como os de estradas, por exemplo.

Contudo, o uso de drones ainda enfrenta desafios significativos, especialmente no que diz respeito às normas e regulamentações vigentes. Atualmente, apenas empresas devidamente registradas no Ministério da Defesa estão autorizadas a

realizar atividades de aerofotogrametria, o que pode representar um obstáculo para determinados profissionais na execução desse tipo de trabalho.

Outro desafio associado ao uso de drones na Engenharia diz respeito à interpretação dos dados obtidos. A demanda por mão de obra qualificada, capaz de realizar análises precisas e interpretações adequadas, é fundamental para assegurar a confiabilidade dos produtos gerados. A ausência de profissionais especializados pode comprometer a qualidade e a utilidade das informações fornecidas por essas tecnologias.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. **Regulamento de Aviação Civil Especial (RBAC-E n° 94/2017)**. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-e-94>. Acesso em 26 de agosto de 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6024 - **Numeração progressiva das seções de um documento – Procedimento**. Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6028 - **Resumos – Procedimento**. Rio de Janeiro, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10520 - **Informação e documentação: apresentação de citações em documentos**. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023 - **Informação e documentação - Referências - Elaboração – Apresentação**. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14724 - **Informação e documentação – Trabalhos acadêmicos – Apresentação**. Rio de Janeiro, 2ª ed., 2005.

COELHO *et al.* **Mapeamento Topográfico, com utilização de Veículo Aéreo não Tripulado (VANT) e Topografia Convencional**. Disponível em: <https://unifafibe.com.br/revistasonline/arquivos/engenhariaciviletecnologia/sumario/52/14052018175347.pdf>. Acesso em 26 de novembro de 2024.

COELHO, Luiz; BRITO, J. N. **Fotogrametria Digital**. Rio de Janeiro: Eduerj, 2007. 196 p.

CRESWELL, John. W. **Projeto de Pesquisa**. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/696271/mod_resource/content/1/Creswell.pdf. Acesso em 23 de setembro de 2024.

DE DEUS, Bell Rodrigo Brito da Silva. **Mapeamento 3D com drone para suporte ao BIM aplicado a arquitetura**. Dissertação (Mestrado) – Centro Tecnológico, Programa de Pós Graduação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

FORTUNADO, José Carlos. **Artigo: comparação entre topografia com Drones x topografia tradicional**. Disponível em: <https://mundogeo.com/2018/06/26/artigo-comparacao-entre-topografia-com-drones-x-topografia-tradicional/>. Acesso em 27 de novembro de 2024.

JACOBY, Guilherme. **A Utilização De Drones Como Ferramenta De Inovação No Planejamento E Controle De Obras Na Construção Civil**. Disponível em: <http://www.repositorio.poli.ufrj.br/monografias/projpoli10037622.pdf>. Acesso em 26 de agosto de 2024.

LIMA, PEDRO DAVID RODRIGUES. **Aerofotogrametria por meio de vants: análise da viabilidade no levantamento planialtimétrico**. Disponível em: https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/6058/1/PedroDRL_MONO.pdf. Acesso em 09 de setembro de 2024.

NETO *et al*, **Mapeamento De Superfícies Topográficas Com Uso De Drones E Técnicas De Aerofotogrametria**. Disponível em: <https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/3157/2297>. Acesso em 26 de agosto de 2024.

SATO, Simone Sayuri. **Aplicação e análise da ortofoto digital na definição de limites de propriedades imobiliárias - estudo de caso: imóveis da Universidade Federal de Santa Catarina**. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/111910>. Acesso em 30 de setembro de 2024.

SILVA, D. C. da; COSTA, G. C. **Aerofotogrametria em Projetos de Estradas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIA GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO**, 3., 2010, Recife. p. 1-12

SILVA *et al.* **Fotogrametria Com Imagens Adquiridas Com Drones**. Disponível em: <https://livros.unb.br/index.php/portal/catalog/view/202/363/1929>. Acesso em 26 de agosto de 2024.