

ADRIEL ALMEIDA SANTOS VIANA

**CURVAS DE NÍVEL COM USO DE GCP APARTIR DE DADOS OBTIDOS POR  
DRONE**

**SÃO CRISTÓVÃO**

**MARÇO-2025**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE – UFS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS APLICADAS – CCAA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA – DEA**

**CURVAS DE NÍVEL COM USO DE GCP APARTIR DE DADOS OBTIDOS POR  
DRONE**

**Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Departamento de Engenharia Agrônômica –  
Universidade Federal de Sergipe, como requisito  
parcial para obtenção do título de Engenheiro  
Agrônomo.**

**APROVADO em:** \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**ORIENTADO: ADRIEL ALMEIDA SANTOS VIANA**

---

**Prof. Dr. RYCHARDSON ROCHA DE ARAÚJO**  
**(Orientador)**

---

**Prof. Dr. MÁRIO JORGE**  
**CAMPOS DOS SANTOS**  
**(Banca examinadora)**

---

**Msc. WENDEL DE MELO**  
**MASSARANDUBA**  
**(Banca examinadora)**

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho, primeiramente, à minha família, que sempre esteve ao meu lado, oferecendo apoio, amor e incentivo em cada etapa desta jornada. Sem vocês, esta conquista não seria possível.

Aos meus professores e orientadores, cuja orientação e dedicação foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho e para meu crescimento acadêmico e profissional.

A minha tia Marlete Viana pelos incentivos e crescimento pessoal.

Aos amigos e colegas de curso, pelo companheirismo, pelas trocas de conhecimento e pelo apoio nos momentos desafiadores.

E, por fim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para que este momento se tornasse realidade.

## **AGRADECIMENTOS**

A realização deste trabalho não teria sido possível sem o apoio e a colaboração de diversas pessoas, às quais expresso minha profunda gratidão.

Primeiramente, agradeço a Deus por me conceder força e perseverança ao longo desta caminhada.

À minha família, pelo incentivo incondicional, pelo apoio nos momentos difíceis e por sempre acreditarem no meu potencial. Sem vocês, este sonho não seria possível.

A minha tia Marlete Viana pelo incentivo e todo apoio dado.

Aos meus orientadores Prof. Rychardson Rocha e Msc. Anna Beatriz e professores Cida, Camila, Ronaldo, Ratinho, Cícero Renê, Aline que compartilharam seus conhecimentos, orientaram-me com paciência e dedicação, e foram fundamentais para a construção deste trabalho.

À instituição de ensino e aos profissionais que, direta ou indiretamente, contribuíram para minha formação, proporcionando um ambiente de aprendizado e crescimento.

A todos que, de alguma forma, participaram dessa conquista, meu sincero muito obrigado!

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>9</b>
2.1 Drone .....	9
2.2 Legislação de ARP.....	9
2.3 GNSS .....	10
2.4 Ground Control Points (GCP) .....	11
2.5 Topografia com drone .....	12
2.6 Conversão de altitude elipsoidal para altitude geoidal .....	13
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>14</b>
3.1 Área Amostral .....	14
3.2 Equipamentos e Softwares utilizados .....	16
3.2.1 Aeronave Remotamente Pilotada.....	16
3.2.2 GNSS Emlid Reach RS2 .....	17
3.2.3 Argisoft Metashape versão experimental por 30 dias .....	17
3.2.4 QGIS .....	18
3.2.5 Map Pilot Pro .....	18
3.3 Obtenção dos dados .....	19
3.3.1 Demarcação dos GCP's .....	19
3.3.2 Planejamento e execução do voo .....	21
3.3.3 Processamento das imagens .....	22
3.4 Análises estatística .....	32
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>33</b>
4.1 Análise estatística descritiva das altimetrias das imagens .....	33
4.2 Análise estatística descritiva dos GCP's .....	34
4.3 Comparativo da utilização de GCP no mapeamento .....	35
4.3 Comparativo dos modelos digitais de terreno .....	36
4.4 Comparativo das curvas de nível .....	38
4.6 Ortomosaico .....	41
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>43</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>47</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização do Sítio Bom Jesus Povoado Olhos D'água.....	15
Figura 2. ARP AIR 2S da DJI utilizado no mapeamento .....	20
Figura 3. Software Argisoft metashape .....	21
Figura 4. Aplicativo Map Pilot Pro .....	32
Figura 5. Distribuição dos GCP na área a ser mapeada.....	20
Figura 6. Procedimento de coleta dos GCP.....	21
Figura 7. Parâmetros do alinhamento das imagens .....	23
Figura 8. Conversão do sistema de referência de coordenadas .....	23
Figura 9. Importação dos GCP's ao Software.....	24
Figura 10. Ajustes dos marcadores para o centro das marcações.....	25
Figura 11. Otimização do alinhamento das câmeras.....	25
Figura 12. Configuração para a construção da nuvem densa.....	26
Figura 13. Classificação dos pontos em solo.....	26
Figura 14. Classificação dos elementos na área.....	27
Figura 15. Seleção de todas as classificações dos elementos.....	27
Figura 16. Classificação dos elementos baseado em cores.....	28
Figura 17. Seleção das configurações do Build Mesh.....	28
Figura 18. : Build Mesh.....	29
Figura 19. Suavização do relevo.....	29
Figura 20. Parâmetro de suavização Smooth Mesh.....	30
Figura 21. Build Dem (MDT).....	30
Figura 22. Fluxograma das etapas de processamento e voo da ARP.....	31
Figura 23. Modelos digitais de terreno sem GCP e com os GCP.....	33
Figura 24. Comparação das curvas de nível geradas apartir do MDT com e sem a inserção dos GCP.....	35
Figura 25. Mapa da propriedade realizado através do levantamento topográfico com a ARP.....	39
Figura 26. Solicitação de autorização do voo com drone para a área do estudo altimétrico (SARPAS DECEA).....	44

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Informações técnicas da ARP DJI AIR 2S .....	16
Tabela 2. Informações técnicas do GNSS Emild Reach RS2.....	17
Tabela 3. Coordenadas dos Ground Control Points obtidas com o GNSS Emlid Reach RS2..	21
Tabela 4. Informações do plano de voo.....	22
Tabela 5. Análise estatística das imagens com e sem correções das elevações geoidais.....	33
Tabela 6. Erros de altimetria das imagens corrigidos e sem correções.....	34
Tabela 7. Análise estatística dos GCP's corrigidos e não corrigidos.....	35
Tabela 8. Erros médios de localização da câmera obtidos pós-processamento.....	35

## RESUMO

Os levantamentos altimétricos com drones revolucionaram a cartografia e a topografia, oferecendo maior agilidade e detalhamento na obtenção de dados geoespaciais. A precisão dessas medições está diretamente relacionada à qualidade dos produtos gerados, como ortomosaicos, modelos digitais de elevação e curvas de nível, fundamentais para aplicações em engenharia, meio ambiente e agricultura de precisão. A utilização de pontos de controle no processamento das imagens aprimora significativamente a exatidão dos resultados, minimizando erros de posicionamento e aumentando a confiabilidade na representação do relevo. Neste estudo, comparou-se a precisão de levantamentos altimétricos utilizando dois métodos de processamento: um com correção por pontos de controle (GCP – Ground Control Points) e outro sem essa correção. Os resultados apontaram uma melhoria significativa na precisão altimétrica, tornando os dados mais confiáveis para aplicações técnicas. Isso ressalta a relevância de estratégias específicas na obtenção de levantamentos topográficos de alta precisão com drones, destacando um fator essencial para a redução de erros.

**Palavras-chave:** Altimetria, drone, curvas de nível, GNSS, Ground Control Points.

## 1 INTRODUÇÃO

A topografia com drone tem se tornado uma ferramenta essencial para levantamentos altimétricos de alta precisão, proporcionando agilidade e eficiência na coleta de dados geoespaciais. A utilização de veículos aéreos remotamente pilotados (ARP) permite a captura de imagens aéreas detalhadas, que, quando processadas com softwares fotogramétricos, geram modelos tridimensionais do terreno. Na altimetria, um dos principais desafios é garantir a precisão das informações de elevação. Para isso, é fundamental corrigir os dados altimétricos obtidos pelo drone, que geralmente estão referenciados a um sistema elipsoidal. O elipsoide adotado pelo Brasil como sistema de referência de coordenadas é o GRS80. Para converter altitudes elipsoidais em altitudes normais, mais adequadas para aplicações topográficas, são necessários modelos geoidais específicos, como o hgeoHNOR2020 do IBGE. Isso ocorre porque o elipsoide é um modelo matemático que representa o geóide (formato da Terra), não permitindo a mensuração física direta da diferença de altitude. No entanto, ao realizar essa conversão, é possível obter uma referência baseada no nível médio dos mares.

Além disso, a utilização de pontos de controle no solo (Ground Control Points – GCP), coletados com receptores GNSS de alta precisão, é indispensável para melhorar a acurácia do levantamento. Esses pontos são posicionados estrategicamente na área mapeada e servem como referência para corrigir possíveis erros na posição e na elevação do modelo gerado.

A integração entre drones, GNSS e softwares especializados permite a criação de modelos digitais de terreno (MDT) com curvas de nível detalhadas, essenciais para projetos de engenharia, geologia, planejamento urbano e diversas outras aplicações que demandam informações topográficas confiáveis.

No entanto, é importante ressaltar que o avanço tecnológico dos drones não implica na eliminação ou diminuição da importância dos métodos tradicionais de topografia e da avaliação em campo realizada pelos engenheiros. A tecnologia dos drones serve como uma ferramenta complementar, permitindo a obtenção de dados que podem não ser perceptíveis a olho nu, além de possibilitar a visualização de áreas que representam riscos à segurança humana (Araújo et al., 2017). Além disso, os drones oferecem uma maior agilidade, entorno de 50% a mais em relação aos métodos tradicionais, e 60% a menos em relação aos custos com mão de obra e equipamentos de topografia nos levantamentos topográficos (Schmidt et al., 2023), contribuindo para uma tomada de decisão mais rápida e precisa em diversas aplicações.

Nesse trabalho comparou-se as curvas de nível geradas a partir da utilização da metodologia de aerofotogrametria com drone para fins topográficos, utilizando as metodologias

sem a utilização dos GCP e com utilização dos GCP georreferenciados, buscando identificar os erros de precisão no levantamento altimétrico.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Drone**

De acordo com Jorge (2014), um drone é um veículo aéreo não tripulado (VANT) equipado com um sistema de controle de voo. Ele pode ser operado remotamente por meio de radiofrequência, infravermelho ou seguir missões previamente programadas com coordenadas GNSS (Global Navigation Satellite System).

O drone surgiu como uma tecnologia capaz de operar sem a necessidade de um piloto a bordo. Ele pode assumir diversas formas, como carros, aviões e barcos, sendo controlado por rádio, programação ou conexões físicas, como cabos e fios. O primeiro drone, um modelo voador, foi utilizado em um conflito armado em 22 de agosto de 1849, em Veneza, pelos austríacos. Esses dispositivos eram balões guiados por cabos e equipados com armamentos (Alfaro, 2015).

O desenvolvimento dos drones teve início em meados do século XIX, com foco principal no uso militar. Com o tempo, os estudos avançaram, e sua primeira participação ocorreu na Segunda Guerra Mundial (Prudkin, 2019). Após o conflito, os americanos criaram o modelo Aquila, que, apesar de ter autonomia para mais de 20 horas de voo, exigia uma equipe de 30 operadores em solo e conseguia permanecer no ar por apenas alguns minutos. O vnt, na forma como o conhecemos hoje, foi desenvolvido pelo engenheiro israelense Abraham (Abe) Karem (Rezende, 2018).

De acordo com Cerbaro(2016) os drones surgiram com o propósito militar e aos poucos foram sendo liberados para atividades civis. Os drones deixaram de ser exclusivamente utilizados em conflitos e passaram a ter diversas finalidades como: mapeamento, identificação de áreas de riscos, evitar que pessoas arrisquem suas vidas em locais de perigo, na agricultura, pecuária. Já para Medeiros Neto(2016) os drones estão fazendo parte do nosso dia a dia e cada vez mais vão estar em desenvolvimento e estudos para obter mais autonomia e tecnologias que ampliem seu potencial.

### **2.2 Legislação de ARP**

Para operar um drone (ARP) na agricultura e em outras áreas correlatas, é essencial conhecer e obedecer às normas que regulamentam o uso do espaço aéreo. O Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) é o órgão responsável por estabelecer diretrizes e

regulamentações, enquanto a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) supervisiona as certificações e a classificação das aeronaves remotamente pilotadas. Já a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) controla as frequências de rádio utilizadas para a comunicação entre o equipamento e seu operador.

Os pilotos devem atender a todas as exigências legais, incluindo o cadastro da aeronave no sistema da ANAC, a obtenção de licença para operações profissionais com drones acima de 250g e a contratação do seguro obrigatório para cobrir possíveis danos a terceiros, conforme estabelecido no Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial (RBAC-E nº 94).

Além disso, é indispensável solicitar autorização de voo por meio do SARPAS DECEA, detalhando informações como localização da atividade, altitude prevista, natureza do trabalho e horários de início e término. Operações em áreas urbanas ou próximas a aeroportos requerem atenção redobrada, podendo demandar permissões adicionais e o cumprimento de restrições específicas para garantir a segurança do espaço aéreo e das pessoas no solo.

Listagem de algumas regras estabelecidas pela RBAC-E nº94 que devem ser seguidas para segurança do operador de drones e terceiros:

**Distância de Pessoas:** Manter uma distância mínima de 30 metros horizontais de pessoas não envolvidas na operação. Esse limite pode ser dispensado se houver uma barreira mecânica que proteja as pessoas em caso de acidente.

**Altura Máxima de Voo:** O limite padrão é de 400 pés (aproximadamente 120 metros) acima do nível do solo. Voos acima desse limite requerem autorização específica

**Linha de Visada Visual (VLOS):** O operador deve manter o drone dentro do campo de visão durante todo o voo. Operações além da linha de visada (BVLOS) exigem aprovação prévia e avaliação de risco operacional.

**Proximidade de Aeródromos:** É proibido operar drones a menos de 5 km de aeródromos sem coordenação e autorização prévia.

**Idade Mínima:** O operador deve ter, no mínimo, 18 anos.

**Seguro com Cobertura de Danos a Terceiros:** Obrigatório para operações não recreativas, visando cobrir possíveis danos causados a terceiros durante a operação.

**Avaliação de Risco Operacional:** O operador é responsável por realizar uma avaliação de risco antes de cada voo, garantindo a segurança da operação.

### **2.3 GNSS**

O GNSS (Global Navigation Satellite System) é um sistema de localização geográfica que opera por meio de satélites e engloba diferentes constelações que oferecem cobertura

global. Entre os principais sistemas que compõem o GNSS, estão o GPS (Estados Unidos), GLONASS (Rússia), Galileo (União Europeia), BeiDou (China) e sistemas regionais como o QZSS (Japão) e o IRNSS/NavIC (Índia). A integração dessas constelações permite uma maior disponibilidade de sinais, melhorando a precisão, a confiabilidade e a robustez da navegação em diversas condições e locais ao redor do mundo. A precisão desse sistema em tempo real pode ser centimétrica e quando pós-processada chegar aos milímetros (Exterckoeetter, 2019).

Esse localizador geográfico possui muitas utilidades para a topografia como um todo. Além de ser um bom localizador, é bastante utilizado para mapeamentos, georreferenciamento, pontos de referências, delimitação de áreas, CAR (Cadastro Ambiental Rural), altimetria, elevação, planimetria em geral. Para a coleta de dados altimétricos, são empregados diferentes métodos de posicionamento, como o Posicionamento Absoluto, que utiliza um único receptor GNSS sem necessidade de uma base de referência, porém com menor precisão; o Posicionamento Relativo ou Diferencial (DGPS), que corrige os sinais GNSS em tempo real ou pós-processamento, melhorando a precisão dos dados; e o Posicionamento RTK (Real Time Kinematic), que permite a obtenção de coordenadas com precisão centimétrica ao utilizar uma estação de referência que transmite correções ao receptor em tempo real. Além disso, o método PPK (Post Processed Kinematic), semelhante ao RTK, realiza a correção dos dados após a coleta, garantindo alta acurácia mesmo em locais com dificuldades de sinal. No entanto, de acordo com Ribas (2017), o GNSS possui algumas limitações de sinalização em especial quando utilizado em áreas fechadas como por exemplo matas densas, coberturas.

No estudo realizado por Cervi et al. (2013) sobre a análise de declividade utilizando o GNSS como referência, observou-se que os dados obtidos por essa tecnologia revelaram uma representação mais detalhada e diversificada do relevo em comparação com o modelo SRTM(Shuttle Radar Topography Mission). Com base nesses resultados, os autores concluíram que o uso de equipamentos, Softwares ou satélites com baixa precisão altimétrica pode ser inviável para determinados projetos que exigem alta exatidão, especialmente em aplicações como sistematização de áreas, projetos de irrigação e drenagem, onde a precisão topográfica é fundamental.

#### **2.4 Ground Control Points (GCP)**

Para a topografia com drone é indispensável a utilização dos Ground Control Points em solo. Esses pontos de controle, popularmente conhecido, servem para corrigir as imagens de drones que geralmente não possuem o GNSS embarcado e por isso possuem erros, tanto de elevação como também de posicionamento, métricos (Fortunato, 2018). Portanto, esses pontos

quando processados darão uma maior precisão nos levantamentos com drone (Jesus e Oliveira, 2018). Existem diversas formas e métodos de como realizar um GCP. Uma forma de execução simples é: escolher uma área livre de vegetação ou com baixa gramínea e desenhar um 'X' com alguma cor que se destaque da vegetação ou construção na área desejada. Realizado isso, coletar no centro dessa figura 'X' um ponto com o GNSS. Esse método possibilitará visualização do ponto e ajudará na maior precisão dos levantamentos topográficos.

No estudo conduzido por Oliveira e Brito (2019) sobre a acurácia posicional de dados gerados por drones, foi possível comprovar, por meio de análises estatísticas e métodos matemáticos, que as maiores discrepâncias ocorreram em áreas sem pontos de controle. No entanto, quando esses pontos foram inseridos para o ajuste das coordenadas e elevação, o erro quadrático médio reduziu significativamente. Assim, conclui-se que quanto maior o número de pontos de controle utilizados no processamento das imagens e quanto melhor sua distribuição na área mapeada, mais precisas serão as análises de acurácia posicional.

Já no estudo realizado por Zanetti e Juliette (2017), que avaliou três métodos de mapeamento com drones utilizando 5, 10 e 15 pontos de controle, tanto de forma agrupada quanto distribuída proporcionalmente, foram obtidos resultados relevantes sobre a importância desses pontos no mapeamento. Apesar do teste com 15 GCP apresentar a maior quantidade de referências, verificou-se que a ortomosaico gerado teve menor qualidade quando os pontos estavam agrupados, em comparação com a distribuição uniforme pela área de estudo. Além disso, ao utilizar apenas 5 pontos de controle, observou-se maiores discrepâncias nas regiões sem pontos de referência. Portanto, conclui-se que um maior número de pontos de controle, distribuídos de forma proporcional e estrategicamente planejada, resulta em produtos cartográficos de maior qualidade e precisão.

Estudos sobre topografia com drones não especificam uma quantidade exata de Ground Control Points (GCPs) para levantamentos topográficos. No entanto, alguns autores e topógrafos adotam a proporção de um GCP a cada cinco hectares. Essa quantidade pode variar conforme as características do terreno, sendo necessário um número maior em áreas com relevo irregular ou imperfeições acentuadas. A distribuição e densidade dos pontos devem ser ajustadas de acordo com as particularidades da região mapeada e os objetivos do levantamento.

## **2.5 Topografia com drone**

A aerofotogrametria com drones para levantamentos altimétricos consiste na captura de imagens de uma área previamente estabelecida, utilizando ajustes específicos no equipamento para garantir maior precisão. Essas imagens são processadas por softwares que aplicam

algoritmos matemáticos e integração de dados para extrair informações como elevação, distâncias, volumes e localização geográfica (Coelho e Brito, 2007).

Para obter resultados precisos na altimetria com ARP, é essencial que o equipamento possua um sistema RTK embarcado ou utilize pontos de controle no solo. Quando utiliza-se os GCP, estes devem ser posicionados estrategicamente e distribuídos de maneira uniforme, garantindo um alinhamento e ajuste mais eficiente das imagens no processamento. Dessa forma, é possível alcançar precisão na escala de centímetros (Fortunato, 2018).

Alguns cuidados são fundamentais para garantir a qualidade dos resultados na altimetria com drones. Áreas com vegetação densa podem comprometer a acurácia dos levantamentos, pois a copa das árvores impede a visualização direta do solo (Jesus e Oliveira, 2018). Além disso, é necessário manter uma sobreposição mínima de 75% nas imagens, tanto longitudinal quanto lateralmente, para garantir um modelo preciso. Outro ponto crucial é evitar a geração de curvas de nível a partir do Modelo de Elevação de Superfície (MDS), pois este inclui elementos além do solo, como árvores e edificações. A classificação das estruturas presentes nas imagens deve ser realizada com rigor, excluindo quaisquer objetos que não representem o terreno, uma vez que o objetivo final da altimetria com drones é a obtenção de um Modelo Digital de Terreno (MDT) preciso (Jesus e Oliveira, 2018).

Estudos realizados por Jesus e Oliveira (2018) demonstram que os levantamentos altimétricos com drones apresentam alta compatibilidade com métodos tradicionais, como os realizados com GNSS e Estação Total. A principal discrepância nos resultados ocorreu na geração de curvas de nível em áreas de vegetação densa, evidenciando a importância de escolher metodologias adequadas para cada tipo de terreno.

## **2.6 Conversão de altitude elipsoidal para altitude geoidal**

A conversão de altitude elipsoidal para altitude geoidal é o processo de transformar uma altitude medida em relação a um elipsoide de referência, como o GRS80, que é utilizado como Datum para o SIRGAS 2000, o sistema de referência de coordenadas oficial do Brasil.

O elipsoide é um modelo matemático criado com o propósito de se assemelhar ao formato da Terra (geoide). No entanto, por se tratar de um modelo matemático, ele não pode ser mensurado fisicamente.

Para auxiliar na conversão da altitude elipsoidal para a altitude geoidal, o IBGE disponibiliza um aplicativo online denominado hgeoHNOR2020 (IBGE, 2023). Antes da criação desse aplicativo, o modelo utilizado para a conversão era o MAPGEO2015, que serviu como base para o desenvolvimento do hgeoHNOR2020.

De acordo com o IBGE, o hgeoHNOR2020 utiliza cálculo mediante colocação por Mínimos Quadrados (CMQ), a partir dos resíduos das alturas geoidais, extraídas do MAPGEO 2015. Esse modelo possui uma precisão de 7 cm na determinação da altimetria. Já o MAPGEO2015 apresenta uma precisão de 30 cm em relação ao nível médio dos mares.

Para que esses dados de precisão possam ser disponibilizados e checados, o IBGE possui uma rede altimétrica de alta precisão (RAAP), o qual utiliza-se dos Datum de referências dos marégrafos instalados em Imbituba (SC) e Santana (AP). Dessa forma, é possível ter como base o nível médio dos mares os quais serão utilizados para a conversão elipsoidal para geoidal. Além do RAAP no Brasil existe o sistema geodésico brasileiro (SGB) de responsabilidade do IBGE em checar, manter e tornar pública.

Para a correção da altitude elipsoidal para a altitude geoidal, o aplicativo online hgeoHNOR2020, disponibilizado pelo IBGE, fornece a seguinte equação:

$$H^n = h(\textit{elipsoidal}) - N(\textit{fator de conversão})$$

Essa equação deve ser utilizada para obter a elevação em relação ao nível médio dos mares. O fator de conversão (N) é determinado a partir das coordenadas do levantamento, inseridas ao sistema.

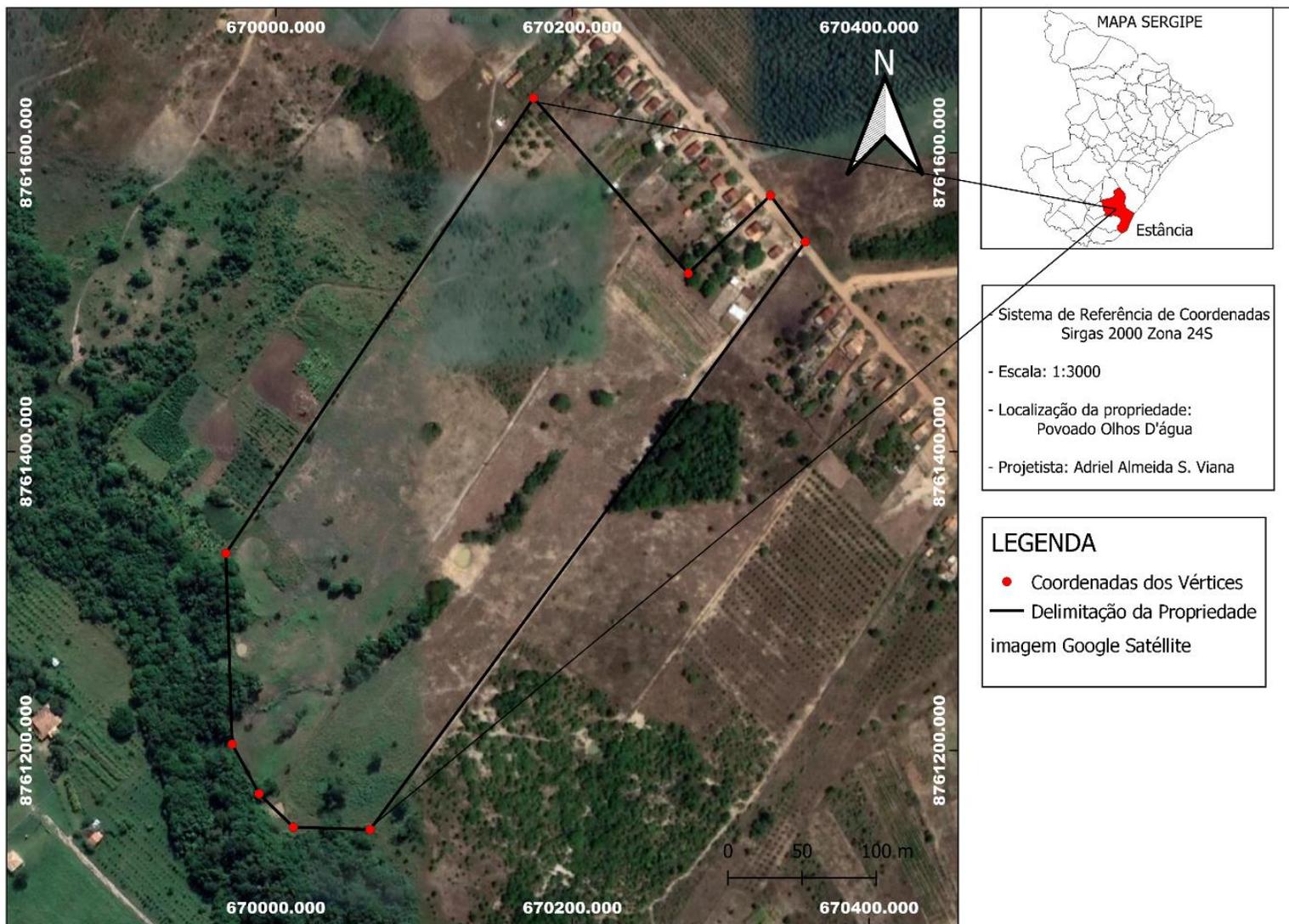
No contexto do IBGE, a altura normal corresponde à altitude geoidal. Para projetos que exigem alta precisão altimétrica, como curvas de nível, a correção dos dados de elevação é essencial em todos os equipamentos tanto topográficos como geodésicos.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Área Amostral**

O trabalho foi desenvolvido na propriedade Sítio Bom Jesus com área aproximada de 8.81 ha, localizada no município de Estância/SE, Povoado Olhos D'água com coordenadas - 11°11' 56,2175'' Latitude e -37° 26' 23,6993'' Longitude (Figura1).

Figura 1. Mapa de localização do Sítio Bom Jesus Povoado Olhos D'água



Fonte: Autor, 2025.

## 3.2 Equipamentos e Softwares utilizados

### 3.2.1 Aeronave Remotamente Pilotada

A aeronave utilizada no mapeamento foi do fabricante DJI, modelo AIR 2S (Figura 2). A DJI é uma empresa chinesa, pioneira em tecnologia aérea, imagem e soluções educacionais. Ela tem se destacado na fabricação de drones para diversos seguimentos como engenharia, agricultura, mapeamentos, pulverizações etc.

Figura 2: ARP AIR 2S da DJI utilizado no mapeamento



Fonte: Autor, 2025.

Características do equipamento de acordo com o fabricante DJI (Tabela 1).

Tabela 1: Informações técnicas da ARP AIR 2S

PESO DE DECOLAGEM	595 GRAMAS
TEMPO MÁXIMO DE VOO S/VENTO	31 minutos
RESISTÊNCIA MÁXIMA AO VENTO	10,7m/s
GNSS	GPS, GLONASS, GALILEU
SENSOR	CMOS de 1" Píxeis efetivos: 20 MP
TAMANHO DA IMAGEM	20 MP; 5472×3648 (3:2); 5472×3078 (16:9)
BÚSSOLA	BÚSSOLA UNITÁRIA

Fonte: Site DJI.

### 3.2.2 GNSS Emlid Reach RS2

Características do equipamento GNSS Emlid Reach RS2 utilizado para demarcação das coordenadas e elevação dos Ground Control Points em solo (Tabela 2)

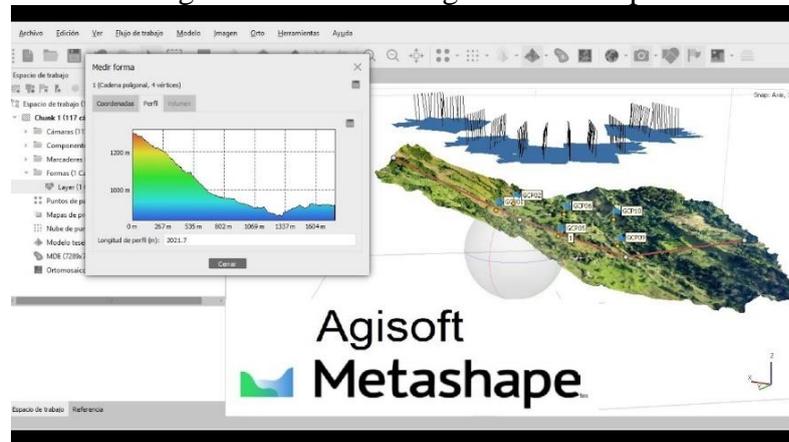
Tabela 2: Informações técnicas do GNSS Emlid Reach RS2	
RECEPTOR	MULTI-FREQUÊNCIAS
GNSS	Sinal rastreado GPS/QZSS L1 C/A, L2C GLONASS L1OF, L2OF BeiDou B1I, B2I Galileo E1-B/C, E5b
CANAIS	184
POSICIONAMENTO	ESTÁTICO H: 4 mm + 0.5 ppm V: 8 mm + 1 ppm
	PPK H: 5 mm + 0.5 ppm V: 10 mm + 1 ppm
	RTK H: 7 mm + 1 ppm V: 14 mm + 1 ppm
	Tempo de convergência ~5 s normalmente
PRECISÕES CENTIMÉTRICAS	Distâncias de 60km no modo RTK e 100km no modo PPK

Fonte: Site Emlid Reach RS2.

### 3.2.3 Argisoft Metashape versão experimental por 30 dias

O Argisoft Metashape é um software de fotogrametria que processa imagens capturadas por drones e outras câmeras para gerar modelos 3D, ortomosaicos e nuvens de pontos. Nele utiliza-se técnicas de visão computacional e inteligência artificial para reconstruir superfícies detalhadas a partir de fotografias sobrepostas (figura 3).

Figura 3: Software Argisoft metashape



Fonte: Google imagens

### 3.2.4 QGIS

É um software de Sistema de Informação Geográfica (SIG) open-source que permite visualizar, editar, analisar e mapear dados geoespaciais. Ele é amplamente usado em áreas como cartografia, topografia, geoprocessamento e planejamento urbano. Esse software foi utilizado nesse trabalho na elaboração e confecção dos mapas e modelos de elevação representativos, pelo motivo de ter sido desenvolvido sob a licença GNU General Public License (GPL). Isso significa que ele pode ser usado, modificado e distribuído gratuitamente, sem a necessidade de pagar por licenças.

### 3.2.5 Map Pilot Pro

O Map Pilot Pro foi o software utilizado na pré-configuração do plano de voo e mapeamento da área de estudo. Esse aplicativo fez a conectividade com a aeronave e nele foi possível definir qual rota a ARP deve seguir, altura de voo, sobreposição das imagens, velocidade do mapeamento, tempo médio de duração do mapeamento, quantidade de imagens registradas e tamanho (gigabytes) necessários para o armazenamento da imagens (Figura 4).

Figura 4: Aplicativo Map Pilot Pro



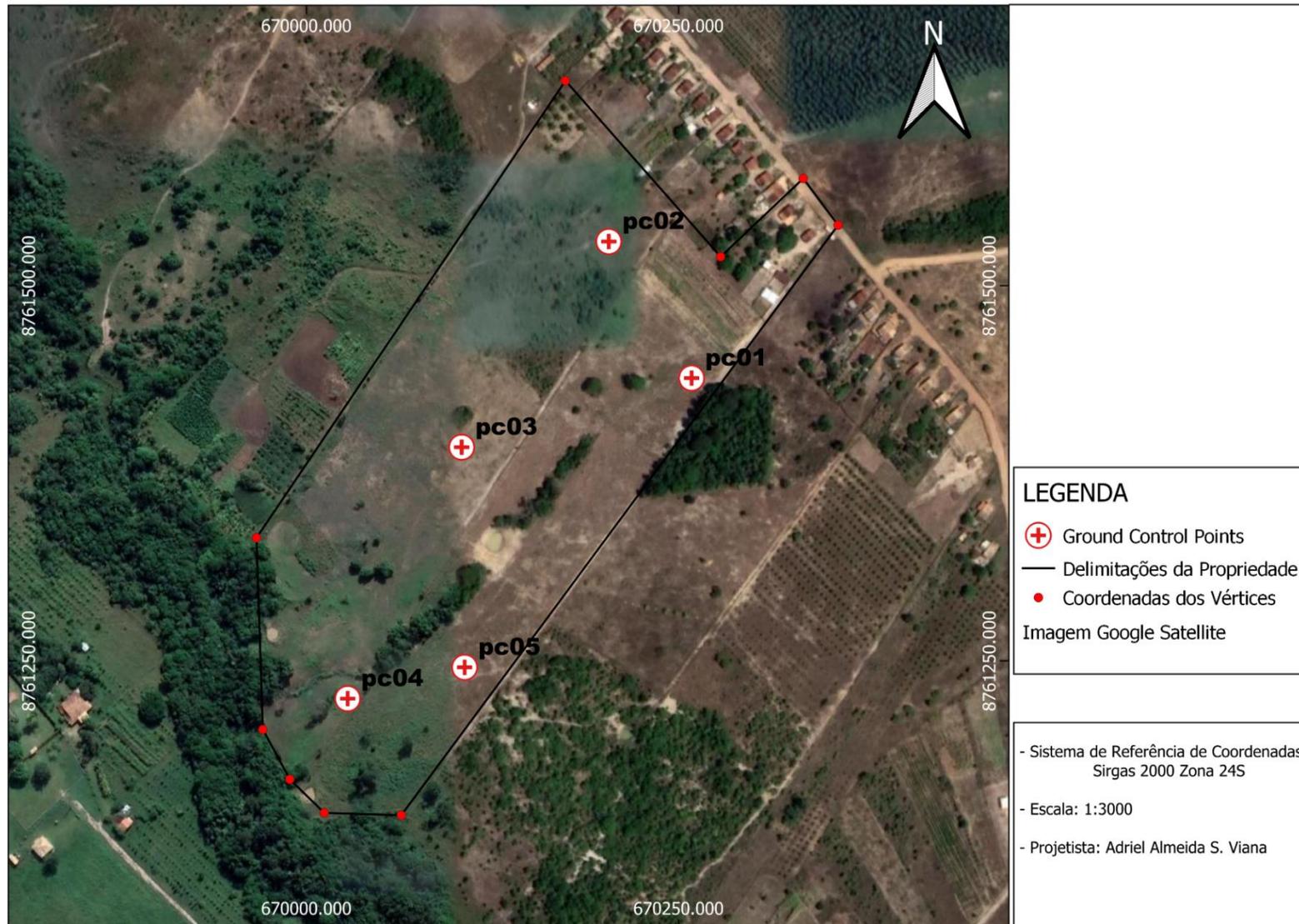
Fonte : Google Imagem

### **3.3 Obtenção dos dados**

#### **3.3.1 Demarcação dos GCP's**

Foi definido uma distribuição uniforme dos locais de coleta e marcação dos GCP, posicionando-os estrategicamente para otimizar a visualização e aumentar a precisão e a acurácia das imagens captadas pelo drone. (Figura 5).

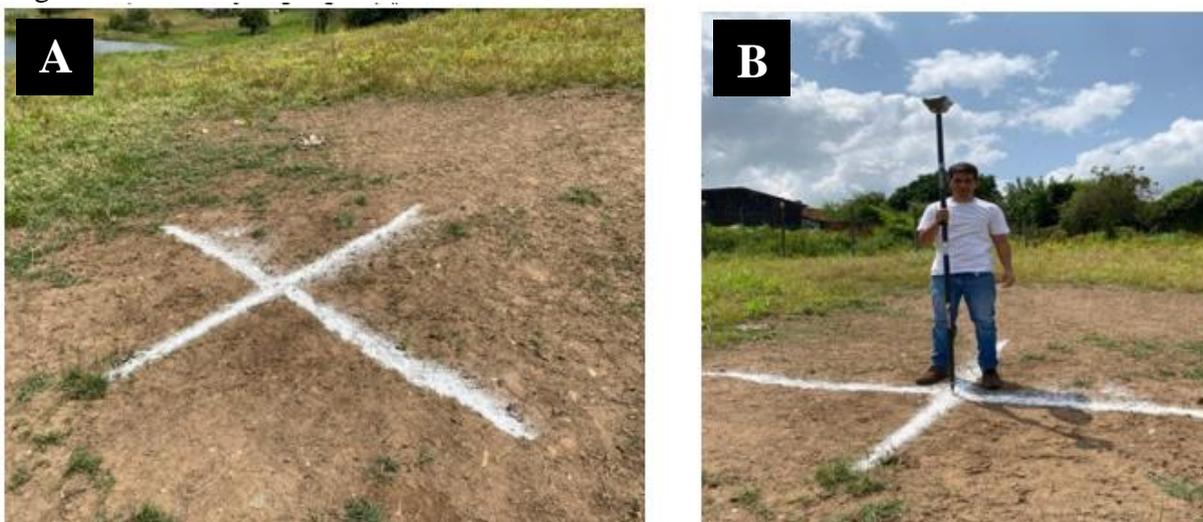
Figura 5. Distribuição dos GCP na área a ser mapeada



Fonte: Autor, 2025.

Para a materialização dos GCP foi utilizado cal (cor branca), em formato de ‘X’ com dimensões aproximadas de 1,5 x 1,5 metros para melhor visualização nas imagens (Figuras 6A e 6B).

Figura 6. Procedimento de coleta dos GCP



Fonte: Autor, 2025. Legenda: A) Marcação com cal; B) Coleta dos GCP com o GNSS Emlid RS2

Após a marcação dos Ground Control Points na área de estudo, utilizou-se o GNSS Emlid Reach no modo RTK para coletar as posições geográficas e altimétricas de cada GCP, que permitiu a obtenção de coordenadas com precisão centimétrica ao utilizar uma estação de referência que transmite correções ao receptor em tempo real. Ao todo foram coletados 5 GCP's, pois a área apresentava poucos obstáculos e baixa irregularidades no terreno. Para as correções das elevações obtidas pelo GNSS Emlid Reach RS2 de Elipsoidais para Normais foi utilizado o aplicativo online do IBGE hgeoHNOR2020 (IBGE, 2023) (Tabela 3).

Tabela 3. Coordenadas dos Ground Control Points obtidas com o GNSS Emlid Reach RS2

Pontos	Latitude (UTM)	Longitude (UTM)	Altitude (m) s/correção	Altitude (m) corrigida
Pc01	670258.644	8761438.339	59.922	70.052
Pc02	670203.010	8761529.333	60.546	70.676
Pc03	670104.201	8761392.287	49.83	59.960
Pc04	670027.607	8761224.764	37.442	47.572
Pc05	670106.201	8761245.616	45,458	55.588

Fonte: Autor, 2025.

### 3.3.2 Planejamento e execução do voo

O planejamento do voo ocorreu da seguinte forma (Tabela 4):

Tabela 4: Informações do plano de voo

DESCRIÇÃO	VALORES
ALTURA DO VOO	100m
VELOCIDADE DA AERONAVE	9m/s
SOBREPOSIÇÃO DAS IMAGENS	75% LATERAL E 75% LONGITUDINAL
HORÁRIO DO VOO	9H ÀS 10H
TEMPO DE VOO	14,58 MINUTOS
QUANTIDADE DE IMAGENS	183
ÁREA	14,57 HECTARES

Fonte: Autor, 2025.

A altura do voo de 100m adotada para esse mapeamento, foi uma altura que não ultrapassou o limite imposto pelo Sarpas Decea que é de 120m. Além disso, essa altura estabelecida ajustada com a sobreposição de 75% tanto lateral como longitudinal e com a capacidade do sensor CMOS de 1'' pixels efetivos: 20MP da ARP AIR 2S e tamanho da imagem de 20MP possibilitará resultados satisfatórios em relação aos produtos gerados de acordo com levantamentos já realizados por autores como (Lopes et al., 2024), (Teixeira et al., 2024) e ( Apud pedreira, 2017).

O horário do voo é fundamental para a qualidade dos produtos gerados, pois a câmera do drone capta imagem e cores que são refletidas pela luz. Logo, foi fundamental que houvesse uma boa luminosidade do sol e pouco sombreamento. Como na área de interesse não havia árvores altas e construções, o horário das 9h para início do voo possibilitou imagens claras e com pouco sombreamento (Santos, 2024)

No mapeamento de áreas com ARP é importante que estabeleça uma área maior do que a área desejada (Teixeira et al., 2024), para que não corra o risco de ter que retornar a realizar o voo por não ter capturado imagens suficientes para cobrir toda área de interesse. Como a área da propriedade possui aproximadamente 8,81ha achou por segurança aumentar a área, margem (offset ou buffer) mapeando uma área de 14,57 hectares.

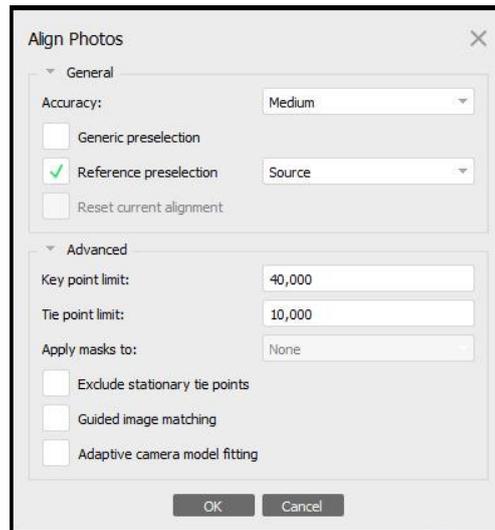
### 3.3.3 Processamento das imagens

As imagens foram processadas no Argisoft Metashape versão experimental por 30 dias e algumas etapas foram seguidas para obtenção dos modelos digitais de elevação, curvas de nível e ortomosaico.

1º Etapa: Essa etapa constitui na inserção da pasta de arquivo das 183 imagens ao software (Add Folder).

2º Etapa: Essa fase tem a função de alinhar as imagens. Foi selecionado a acurácia média e adotado o limites de chave de pontos em 40 e para o limite de pontos de amarração em 10 (figura 7).

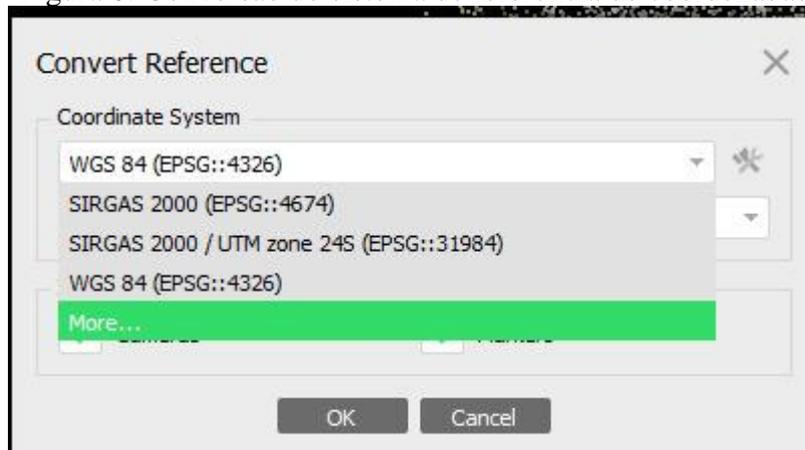
Figura 7: Parâmetros do alinhamento



Fonte: Autor, 2025.

3º Etapa: Em seguida foi necessário converter o sistema de referência de coordenadas que encontra-se em WGS 84 para o do projeto que foi: SIRGAS 2000 / UTM zona 24S (figura 8).

Figura 8: Conversão do sistema de referência de coordenadas



Fonte: Autor, 2025.

4º Etapa: Posteriormente foram inseridas as coordenadas e elevações corrigidas dos GCP's (figura 9).

Figura 9: Importação dos GCP's ao Software

Import CSV

Coordinate System: SIRGAS 2000 / UTM zone 24S (EPSG::31984)

Rotation angles: Yaw, Pitch, Roll

Ignore labels      Threshold (m): 0.1

Delimiter:  Tab,  Semicolon,  Comma,  Space,  Other:

Combine consecutive delimiters

Columns:

Label:	1	Accuracy	<input checked="" type="checkbox"/> Rotation	<input type="checkbox"/> Accuracy	
Easting:	2	8	Yaw:	5	9
Northing:	3	8	Pitch:	6	9
Altitude:	4	8	Roll:	7	9
			Enabled flag:	10	

Start import at row: 2      Items: All

First 20 lines preview:

	Label	Easting	Northing	Altitude	Yaw	Pitch
1	PONTOS	LATITUDE	LONGITUDE	ELEVAÇÃO		
2	pc01	670258.644	8761438.339	70.052		
3	pc02	670203.01	8761529.333	70.676		
4	pc03	670104.201	8761392.287	59.96		
5	pc04	670027.607	8761224.764	47.572		
6	pc05	670106.201	8761245.616	55.588		
7	...					

OK      Cancel

Fonte: Autor, 2025.

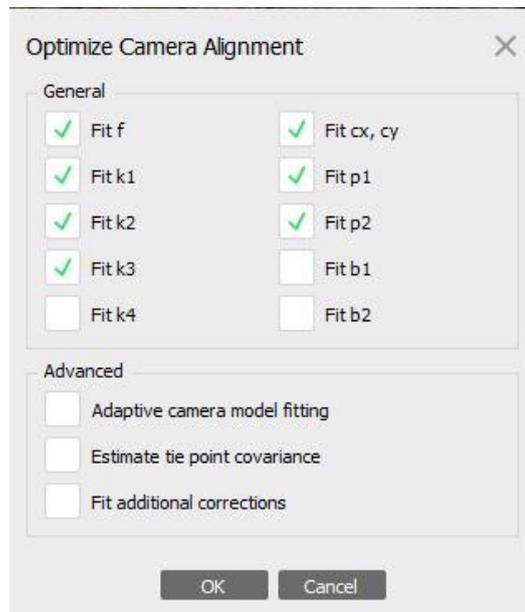
5° Etapa: Aqui foi realizado a filtragem das imagens por marcadores. Esses marcadores foram ajustados manualmente para o centro das marcações dos GCP's em solo (figura 10). Isso foi fundamental para corrigir e ajustar os deslocamentos das imagens e das elevações. Para que aparecesse mais imagens para ajustar e mudanças na acurácia de posicionamento e elevação teve que otimizar o alinhamento da câmera (figura 11).

Figura 10: Ajustes dos marcadores para o centro das marcações



Fonte: Autor, 2025.

Figura 11: Otimização do alinhamento das câmeras

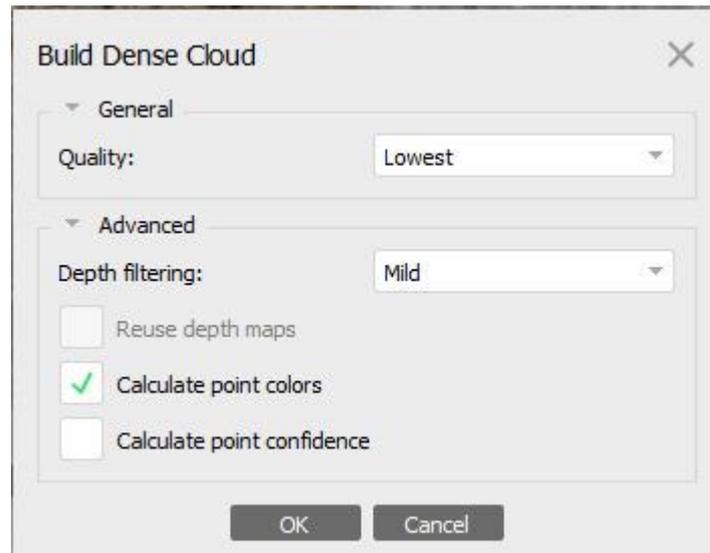


Fonte: Autor, 2025.

6º Etapa: Nesse ponto, posterior as otimizações de todas as câmeras foi realizado o Build Dense Cloud ( construção da nuvem densa) escolhendo a qualidade do processamento mais baixo (lowest) (figura 12).

. Essa qualidade foi escolhida, pois o objetivo principal desse levantamento foi a geração das curvas de nível e não da qualidade gerada no ortomosaico em etapas posteriores a essa.

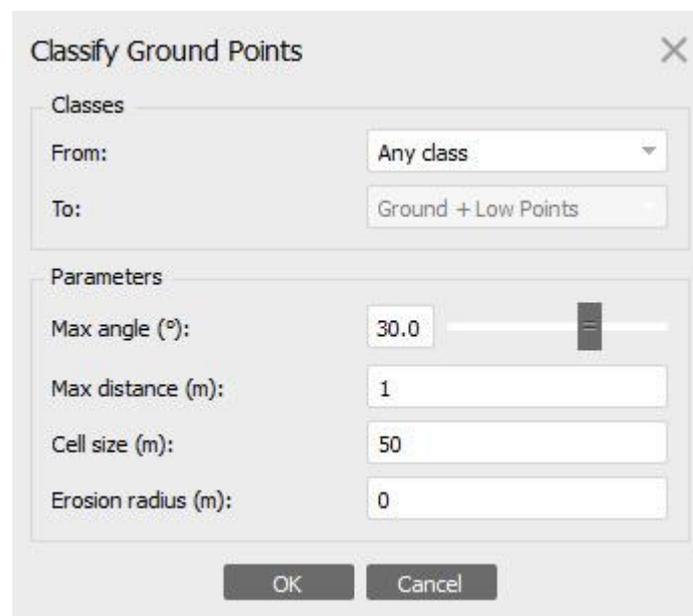
Figura 12: Configuração para a construção da nuvem densa



Fonte: Autor, 2025.

7º Etapa: Nesse momento, após a geração do Dense Cloud, foi realizado a classificação dos Ground points com os seguintes parâmetros demonstrados (figura 13).

Figura 13: Classificação dos pontos em solo

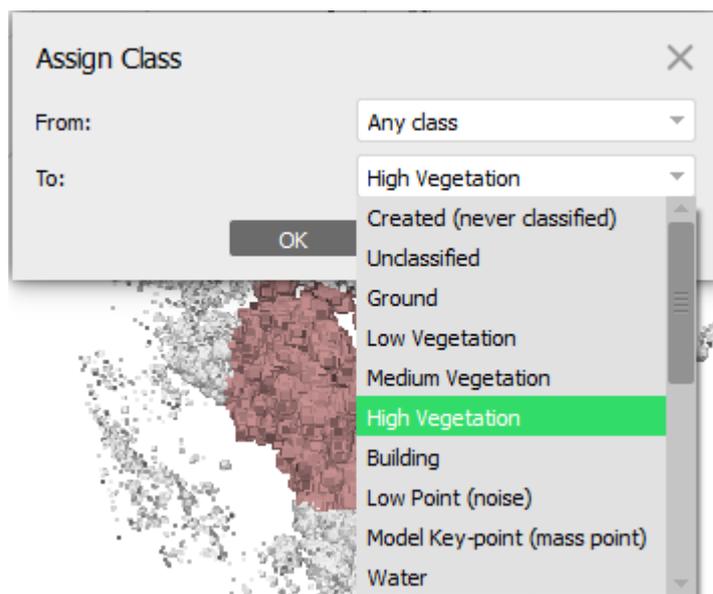


Fonte: Autor, 2025.

8º Etapa: Nesse avanço ocorreu a filtragem e classificação dos elementos presentes na área. Essa classificação ocorreu de forma manual e foi separado os elementos de acordo com

a listagem disponibilizada pelo software (figura 14). Na área mapeada possuía vegetação densa, com árvores altas e algumas construções, no entanto a maior parte da área que realmente desejou rerealizar a altimetria do relevo, possuía baixa vegetação (gramíneas).

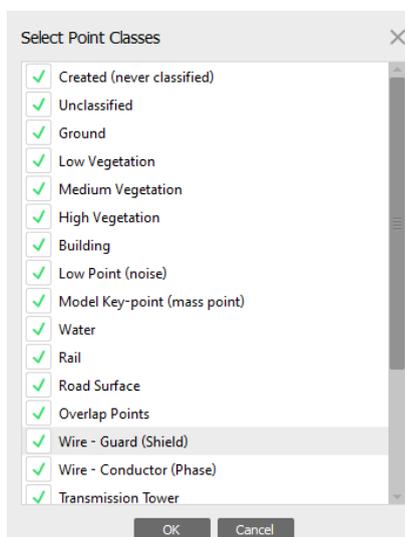
Figura 14: Classificação dos elementos na área



Fonte: Autor, 2025.

9º Etapa: Nessa fase de processamento, selecionou todas as listagens dadas no software quanto a classificação (figura 15).

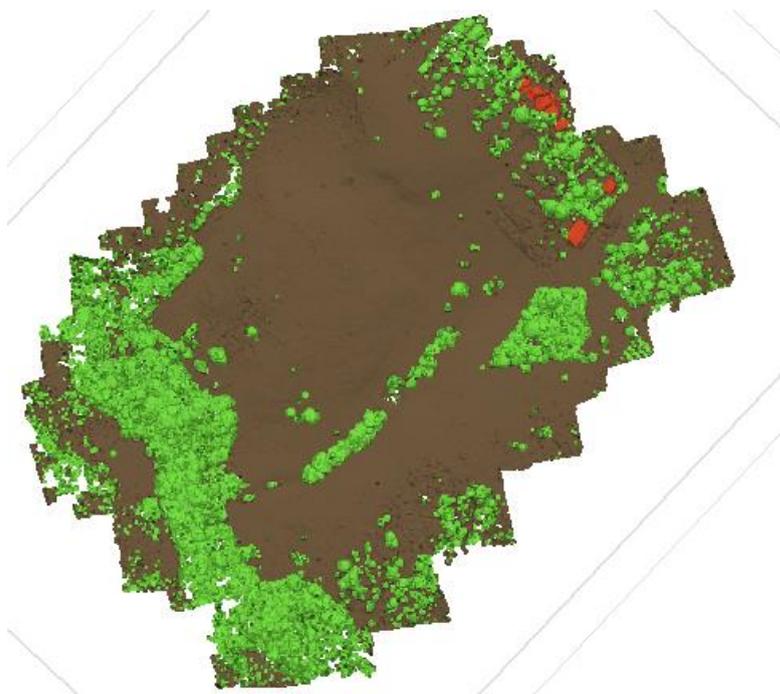
Figura 15: Seleção de todas as classificações dos elementos



Fonte: Autor, 2025.

10° Etapa: Realizado a classificação de todos os elementos, o software gerou diferentes cores para diferenciar solo, representado pela coloração marrom, vegetação pela cor verde e construções pela cor vermelha (figura 16).

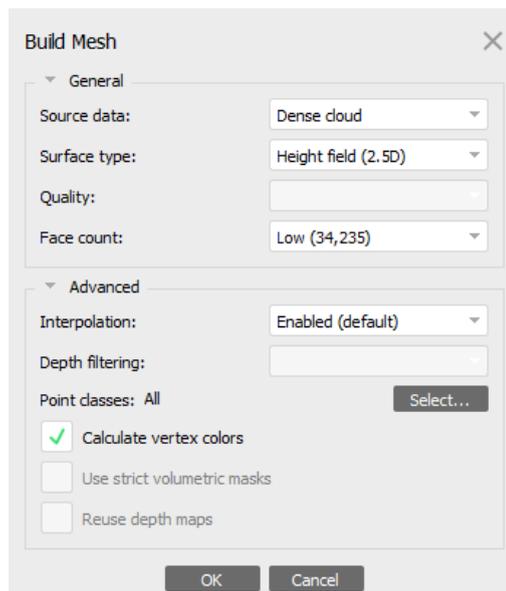
Figura 16: Classificação dos elementos baseado em cores



Fonte: Autor, 2025.

11° Etapa: Posterior a etapa das classificações, gerou o Build Mesh com essas configurações selecionadas (figura 17).

Figura 17: Seleção das configurações do Build Mesh



Fonte: Autor, 2025.

Ainda nessa etapa, a construção do Mesh gerou uma modelagem 3D sem muita qualidade, pois os parâmetros utilizados como planejamento de voo, angulação de câmeras e qualidade do processamento não foram ajustados para esse tipo de produto (figura 18).

Figura 18: Build Mesh



Fonte: Autor, 2025.

Etapa 12: Nesse trecho foi necessário suavizar o relevo, de forma manual, com o objetivo de torná-lo com menos imperfeições possíveis. Esse procedimento foi fundamental para converter o modelo digital de superfície (MDS) em um modelo digital de terreno (MDT) que leva em consideração apenas a elevação do terreno (figura 19).

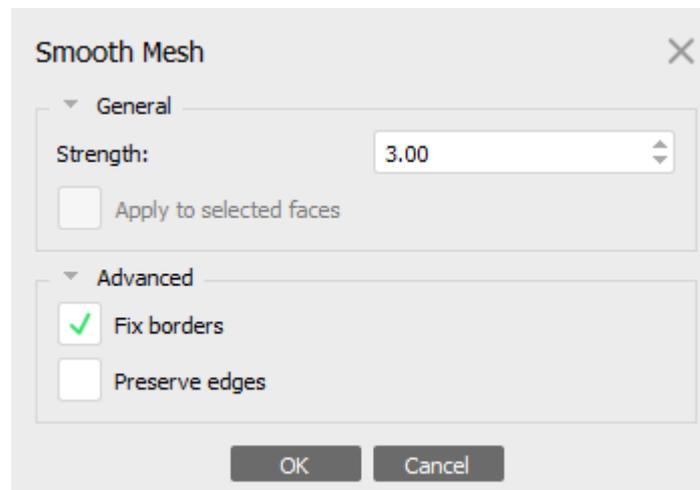
Figura 19: Suavização do relevo



Fonte: Autor, 2025.

Etapa 13: Realizado o procedimento de suavizar o relevo, utilizou-se um parâmetro de suavização denominado de Smooth Mesh. Esse procedimento não ultrapassou o valor (3) (figura 20). Isso foi realizado para reduzir ainda mais as imperfeições do relevo.

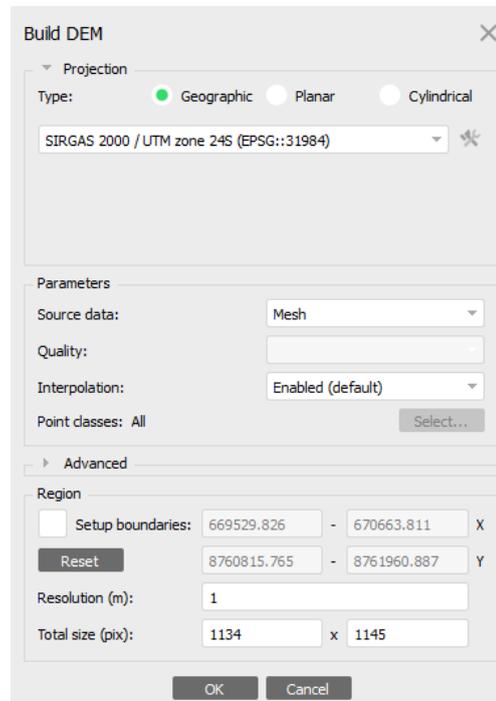
Figura 20: Parâmetro de suavização Smooth Mesh



Fonte: Autor, 2025.

Etapa 14: Nesse processo foi gerado o Build Dem, ou seja, a construção do modelo digital de terreno (MDT) e alguns parâmetros foram ajustados como: a resolução adotada foi 1 (um) e Source data tem como referência o Mesh (figura 21).

Figura 21: Build Dem (MDT)



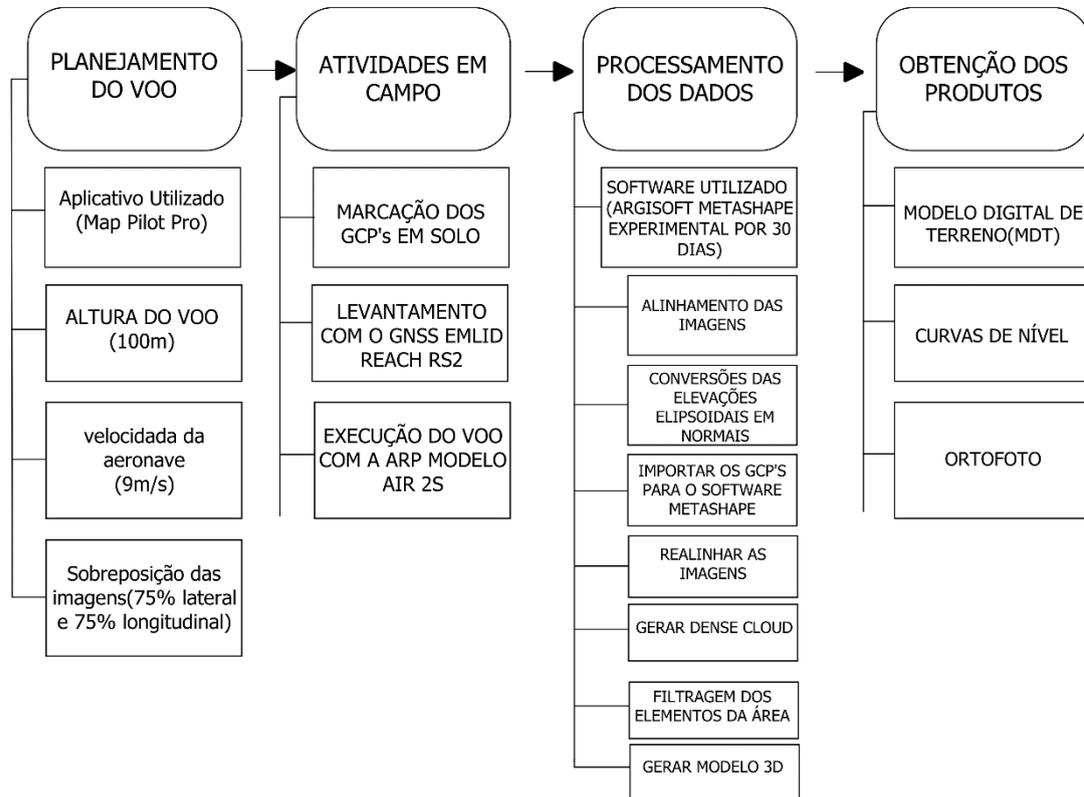
Fonte: Autor, 2025.

Etapa 15: Nessa etapa foi gerado os contornos (curvas de nível) apartir do modelo digital de terreno

Etapa 16: Por fim obteve o ortomosaico.

O fluxograma apresentado na (Figura 22) esclarece as etapas de processamento utilizados, abrangendo inicialmente desde o planejamento de voo até a obtenção do produto final e dos dados que serão analisados.

Figura 22. Fluxograma das etapas de processamento e voo da ARP



Fonte: Autor, 2025.

### 3.4 Análises estatística

Para interpretar os dados de altitude ( $Z$ ) das imagens capturadas pela ARP, recorreu-se à estatística descritiva no software Excel. Foram examinados a média, mediana, erro padrão, moda, desvio padrão e variações de elevação. As avaliações estatísticas realizadas buscaram comparar as elevações geoidais antes e após a correção, além de investigar os erros altimétricos das imagens, a fim de compreender os fatores que influenciaram as oscilações de altitude, tanto nos modelos digitais de terreno quanto nas curvas de nível geradas pelo processamento das imagens.

Além disso, foi conduzida uma análise estatística descritiva dos GCP's, com o propósito de confrontar os dados brutos de elevação (elipsoidais) obtidos no levantamento, com as altitudes corrigidas (geoidais) pelo aplicativo do IBGE hgeoHNOR2020.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Análise estatística descritiva das altimetrias das imagens

Durante o processamento das imagens, foram obtidas as informações referentes a cada registro capturado pela ARP. A partir desses dados, realizou-se uma análise estatística descritiva comparativa entre as elevações corrigidas para o modelo geoidal e as não corrigidas, apresentando os seguintes resultados (Tabela 5).

Tabela 5: Análise estatística das imagens com e sem correções das elevações geoidais.

Z/Altitude com correções		Z/Altitude sem correções	
Média	126,0525	Média	115,9225
Erro padrão	0,66986	Erro padrão	0,66986
Mediana	125,57	Mediana	115,44
Modo	116,17	Modo	106,04
Desvio padrão	9,061695	Desvio padrão	9,061695
Variância da amostra	82,11431	Variância da amostra	82,11431
Curtose	-1,26761	Curtose	-1,26761
Assimetria	0,210236	Assimetria	0,210236
Intervalo	30,9	Intervalo	30,9
Mínimo	112,37	Mínimo	102,24
Máximo	143,27	Máximo	133,14
Soma	23067,61	Soma	21213,82
Contagem	183	Contagem	183
Nível de confiança(95,0%)	1,32169	Nível de confiança(95,0%)	1,32169

Fonte: Autor, 2025.

Os resultados indicam que a correção geoidal, resultou em um aumento uniforme nas altitudes, mantendo as características estatísticas da distribuição (dispersão, assimetria e curtose). Essa correção é essencial para garantir a precisão dos dados altimétricos, pois a altitude (bruta) sem ajustes, não representa corretamente a elevação (Z) das imagens em relação ao nível médio dos mares (IBGE).

Também foi possível obter estatísticas descritivas dos erros de altimetria (Z) de cada imagem (Tabela 6).

Tabela 6: Erros de altimetria das imagens corrigidos e não corrigidas

(Z) ERRO COM CORREÇÕES		(Z) ERRO SEM CORREÇÕES	
Média	17,76632	Média	-1,3E-07
Erro padrão	0,551901	Erro padrão	0,060508
Mediana	17,22123	Mediana	-0,00793
Modo	#N/D	Modo	#N/D
Desvio padrão	7,465973	Desvio padrão	0,818537
Variância da amostra	55,74075	Variância da amostra	0,670003
Curtose	-0,81024	Curtose	0,130848
Assimetria	0,23456	Assimetria	0,091139
Intervalo	31,51303	Intervalo	4,409809
Mínimo	4,503268	Mínimo	-2,09055
Máximo	36,0163	Máximo	2,319255
Soma	3251,237	Soma	-2,3E-05
Contagem	183	Contagem	183
Nível de confiança(95,0%)	1,088946	Nível de confiança(95,0%)	0,119387

Fonte: Autor, 2025.

Após a correção, o erro médio passou para 17,77 metros, indicando que as altitudes corrigidas apresentam uma diferença significativa em relação ao modelo geoidal utilizado como referência.

Sem Correções: A média do erro é praticamente zero (-1,3E-07), sugerindo que, sem as correções, os erros se anulam ou são próximos de zero na média.

Após a correção, os erros aumentaram significativamente, variando entre 4,50 e 36,02 metros, reforçando a maior dispersão já observada no desvio padrão e variância.

O erro padrão é menor nas imagens sem correção, indicando que as variações individuais dos erros são pequenas.

O nível de confiança é muito menor para os erros não corrigidos, indicando uma menor incerteza.

#### 4.2 Análise estatística descritiva dos GCP's

Na comparação dos GCP's com as correções e sem as correções no aplicativo do IBGE foram obtidas essas informações estatísticas: (Tabela 7).

Tabela 7: Análise estatística dos GCP's corrigidos e não corrigidos.

ALTITUDE COM CORREÇÃO		ALTITUDE SEM CORREÇÃO	
Média	60,7696	Média	50,6396
Erro padrão	4,3930672	Erro padrão	4,3930672
Mediana	59,96	Mediana	49,83
Modo	#N/D	Modo	#N/D
Desvio padrão	9,8231969	Desvio padrão	9,8231969
Variância da amostra	96,495197	Variância da amostra	96,495197
Curtose	-1,540972	Curtose	-1,540972
Assimetria	-0,292924	Assimetria	-0,292924
Intervalo	23,104	Intervalo	23,104
Mínimo	47,572	Mínimo	37,442
Máximo	70,676	Máximo	60,546
Soma	303,848	Soma	253,198
Contagem	5	Contagem	5
Nível de confiança(95,0%)	12,19711	Nível de confiança(95,0%)	12,19711

Fonte: Autor, 2025.

A correção aumentou a altitude média dos GCP's em 10,13 metros, mantendo a dispersão, distribuição e variabilidade dos dados inalteradas.

O erro padrão, desvio padrão e variância permaneceram os mesmos, sugerindo que a correção apenas deslocou os valores sem alterar sua precisão.

A distribuição dos dados também não mudou (assimetria e curtose inalteradas), confirmando que o processo de correção foi uniforme.

O intervalo de confiança permaneceu alto ( $\pm 12,20$  m), indicando que a incerteza nos valores das altitudes dos GCP's ainda é significativa.

A correção das altitudes dos GCP's resultou em um aumento tanto na altitude máxima quanto na mínima, sem alterar o intervalo de variação. Essa diferença indica a importância de ajustes nos dados para melhorar a precisão topográfica, garantindo medições mais confiáveis para aplicações geodésicas e cartográficas.

### 4.3 Comparativo da utilização de GCP no mapeamento

Após o processamento foi gerado um relatório contendo informações detalhadas sobre os parâmetros alcançados sem a inserção dos GCP como também a utilização dos GCP nos ajustes da altimetria (Tabela 8).

Tabela 8: Erros médios de localização da câmera obtidos pós-processamento.

Processamento	Longitude(m)	Latitude (m)	Elevação (m)	Total do erro (m)
Sem GCP	4.45325	6.75009	19.3392	20.9619
Com GCP	0.228182	0.161961	0.29636	0.407588

Fonte: Autor, 2025.

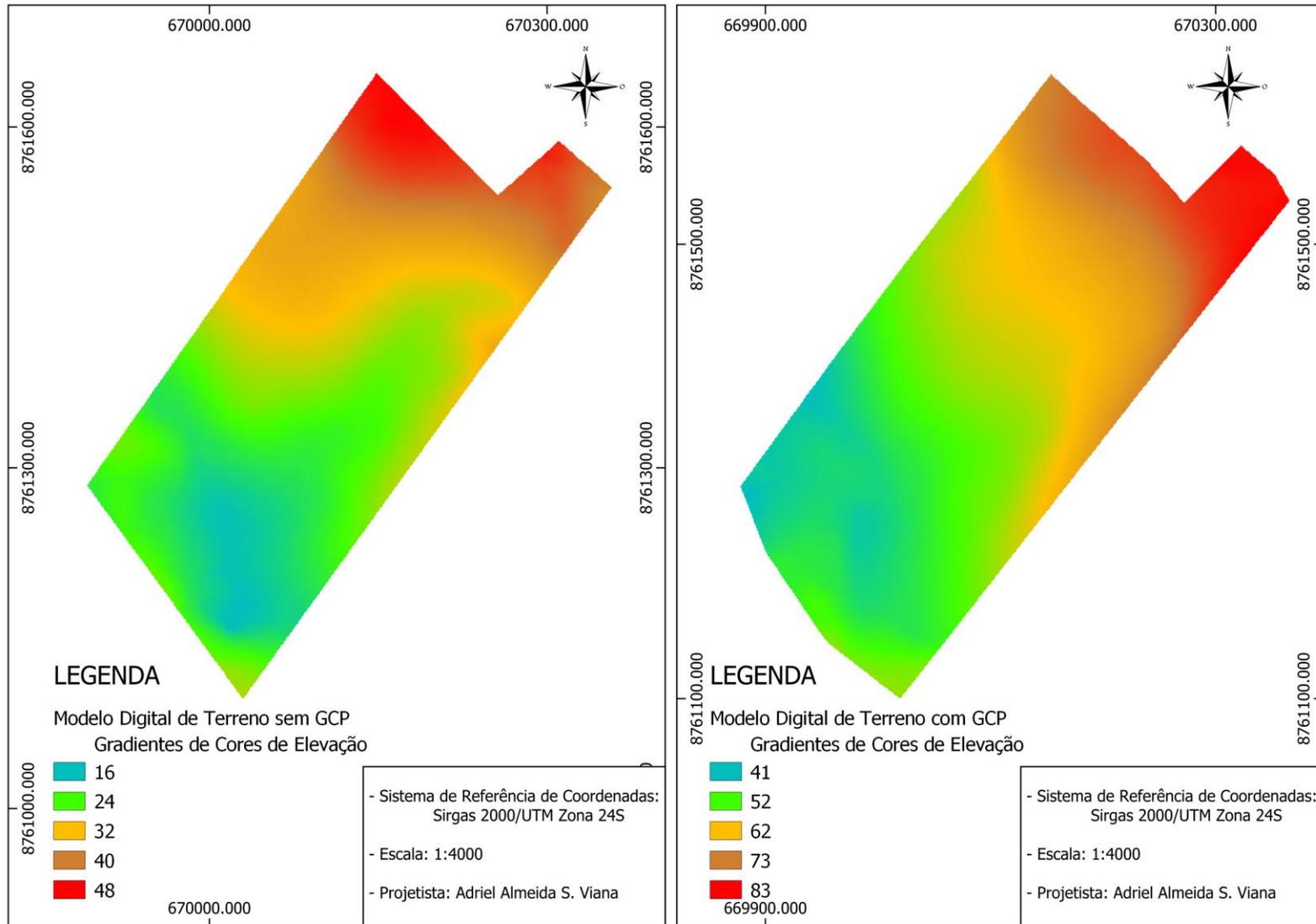
De acordo com o estudo conduzido por Silva (2019) sobre levantamentos altimétricos realizados com ARP, verificou-se que os erros nas imagens, no posicionamento e na elevação foram significativamente reduzidos com o uso dos GCP. Os resultados obtidos apresentaram semelhanças com esse processamento no que se refere à redução dos erros, demonstrando a eficácia dessa metodologia.

Neste trabalho, o erro altimétrico (Z) sem a utilização dos GCP foi de 19,3392 m. Já no estudo de Silva (2019), essa discrepância foi ainda maior, atingindo 35,69 m. Vale ressaltar que as metodologias foram diferentes em relação a área mapeada, altura do voo, sobreposição de imagens, velocidade do drone e equipamentos. No entanto, com a adição dos *Ground Control Points* para ajustes, o erro altimétrico neste estudo caiu de 19,3392 m para 0,29636 m. De forma semelhante, no trabalho de Silva (2019), com a utilização de seis pontos de controle, a altimetria foi corrigida, reduzindo o erro de 35,69 m para uma média de 0,4701 cm.

### **4.3 Comparativo dos modelos digitais de terreno**

Já no software de processamento, como sendo um dos passos para obtenção das curvas de nível, gerou um modelo de elevação de terreno, o qual foi possível de acordo com as cotas e gradientes de cores notar as diferenças de altimetria quando não utilizou os GCP e quando os utilizou (Figura 23).

Figura 23. Modelos digitais de terreno sem GCP e com os GCP



Fonte: Autor, 2025.

A não introdução dos GCP no processamento resultou em uma nuvem densa (Dense Cloud) com 1.555.374 pontos, enquanto sua utilização aumentou esse número para 6.317.180. Esse crescimento significativo indica uma melhoria na reconstrução tridimensional da cena, pois os GCP corrigem distorções e erros na georreferenciação, proporcionando uma modelagem mais precisa e detalhada do terreno. Assim, sua inserção não apenas aprimora a acurácia posicional, mas também a qualidade e densidade da nuvem de pontos.

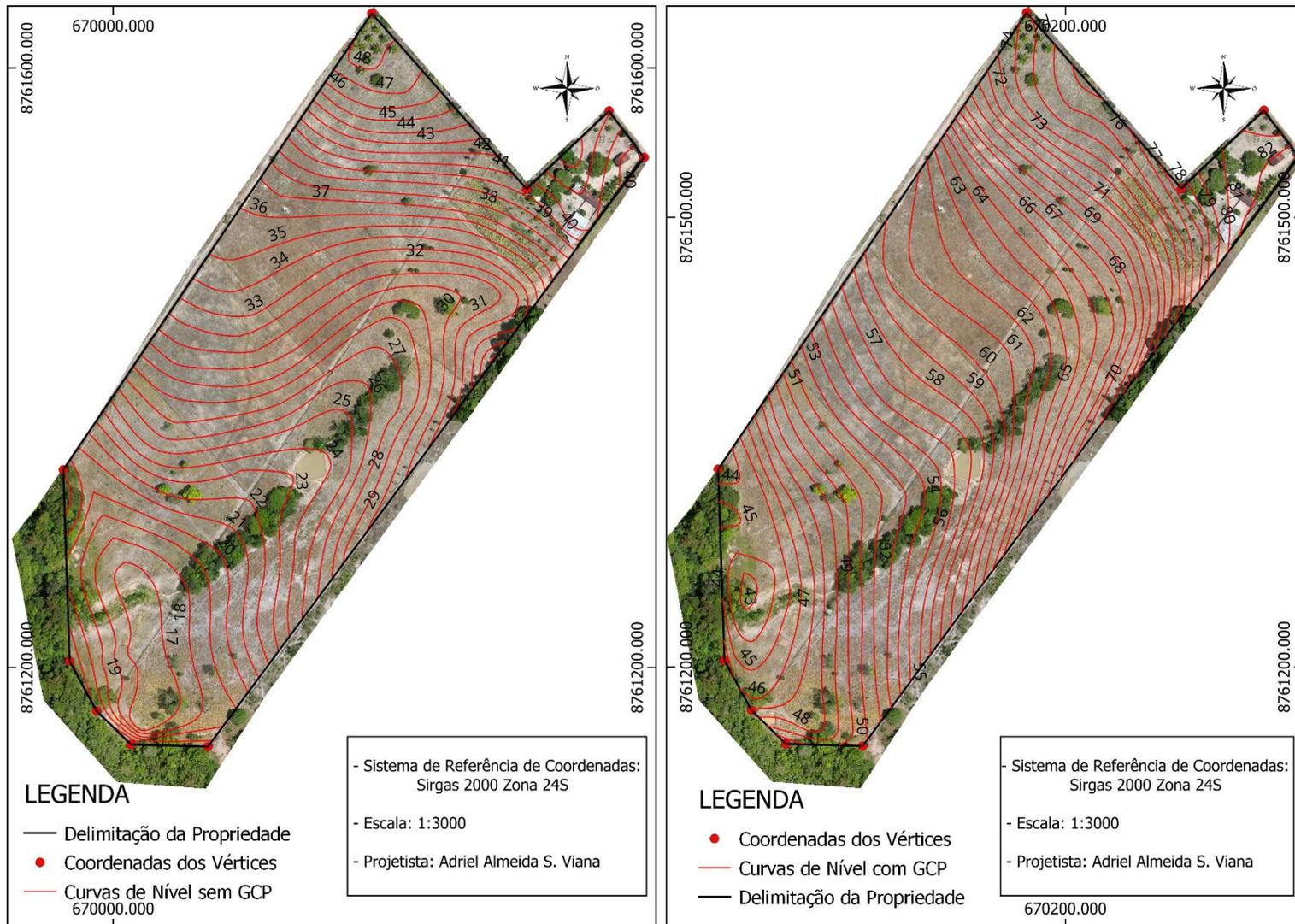
Os gradientes de cores na topografia, denominados hipsometria, representam variações de elevação e relevo do terreno (Francischett e Biz, 2020). Em mapas topográficos e modelos digitais de elevação, diferentes cores são utilizadas para indicar distintas altitudes. Nos modelos de elevação do terreno gerados a partir do processamento de imagens, esses gradientes de cores são aplicados para facilitar a interpretação.

Cada cor corresponde a uma faixa de elevação. Tons mais escuros, como verde e azul, representam áreas de menor altitude. Cores intermediárias, como amarelo e laranja, indicam regiões de altitude moderada. Já os tons mais claros, como o vermelho, sinalizam as áreas mais elevadas do relevo.

#### **4.4 Comparativo das curvas de nível**

Realizado os modelos digitais de elevação sem e com correções gerou-se as curvas de nível com o objetivo de comparar o formato e cotas altimétricas do relevo em questão entre essas duas metodologias utilizadas. As curvas de nível estão espessadas a cada um (1) metro de equidistância uma entre e outra e podemos notar a nítida diferença de clareza e detalhamento que cada uma disponibiliza (Figura 24)

Figura 24. Comparação das curvas de nível geradas a partir do MDT com e sem a inserção dos GCP



Fonte: Autor, 2025.

A partir da análise do modelo de elevação de terreno e curvas de nível, sem correções dos GCP em solo, podemos perceber que os produtos sem correção, obtiveram cotas altimétricas bem abaixo do que o relevo realmente representa. A cota mais baixa desse relevo, nas curvas de nível, está indicando que possui uma elevação mínima de 17m e a sua cota mais elevada está indicando uma cota altimétrica de 48m. As curvas de nível geradas a partir deste modelo totalizaram 73 feições lineares, apresentando irregularidades com trechos abruptos, espaçamento inconsistente e com contornos menos definidos, sugerindo um terreno com variações altimétricas mais bruscas e menos precisas. As variações altimétricas parecem exageradas em alguns pontos com curvas de nível muito próximas em área de declive, o que pode indicar imprecisão na representação do relevo. Os detalhes do terreno são menos definidos e um pouco distorcidos, com ausência de representação de feições menores ou a representação incorreta de suas formas e tamanhos. O relevo apresenta menos detalhes e maior tendência à simplificação.

Para os produtos corrigidos com os GCP's obtive cotas altimétricas mais próximas com a elevação real do terreno. Na cota baixa do modelo a elevação está indicando 43m e a sua maior cota de elevação do modelo está indicando uma cota altimétrica de 82m. As curvas de nível geradas a partir deste modelo totalizaram 80 feições lineares. As curvas de nível estão mais densas, especialmente em áreas de variação altimétrica acentuada, sugerindo uma maior precisão na identificação de desníveis e detalhes topográficos. O desenho das curvas de nível são suaves, contínuas e uniformemente espaçadas indicando um terreno com declives consistentes, demonstram variações altimétricas graduais e realistas, os detalhes do terreno, como pequenas elevações e depressões, são representados de forma clara e precisa. Este modelo é mais detalhado, com evidência de microformas, o que é crucial para análises ambientais, projetos de engenharia agrônômica e planejamento urbano.

Os resultados obtidos no processamento das imagens da ARP confirma a importância da utilização dos Ground Control Points como uma ferramenta indispensável para mapeamentos com drone sem GNSS embarcado (Fortunato,2018). Para esse mapeamento foi possível notar as reduções dos erros de uma escala métrica para centimétrica.

Portanto, tanto neste estudo quanto no de Silva (2019), observa-se que a variação das cotas altimétricas foi consideravelmente maior nos voos realizados sem correções por pontos de controle, evidenciando a importância dessa técnica para garantir maior precisão nos levantamentos aerofotogramétricos.

Um aspecto essencial na altimetria é a conversão das altitudes elipsoidais para normais. Essa correção deve ser aplicada tanto às altitudes registradas pelo drone quanto às obtidas pelo

GNSS nos GCP. Conforme mencionado anteriormente, essas correções são realizadas por meio do aplicativo hgeoHNOR2020, disponibilizado pelo IBGE.

No estudo de Silva (2019), no entanto, não há menção à aplicação dessas correções, tanto para os dados do drone quanto para os do GNSS. Embora tenham sido observadas reduções nos erros altimétricos nesse estudo, a ausência desse ajuste compromete a fidelidade da altimetria, resultando em uma representação menos precisa dos desníveis e das curvas de nível do terreno.

#### **4.6 Ortomosaico**

Durante o processamento, foi possível gerar um ortomosaico georreferenciado e corrigido geometricamente, criado a partir da sobreposição das 183 imagens capturadas durante o mapeamento da área. Esse processo envolve técnicas de fotogrametria digital para eliminar distorções causadas pelo relevo e pela perspectiva da câmera. Logo, representa um grande diferencial na topografia, permitindo análises detalhadas, otimização dos processos topográficos e citado por muitos autores como um produto principal em mapeamentos com ARP's (Colomina; Molina, 2014; Ruggiero 2015) (Figura 25).

Figura 25. Mapa da propriedade realizado através do levantamento topográfico com a ARP



Fonte: Autor, 2025.

## **5 CONCLUSÕES**

Os resultados demonstraram que a utilização dos Ground Control Points aumenta significativamente a precisão do modelo, com redução de erros de metros para centímetros. O modelo com GCP apresentou curvas de nível mais suaves, detalhadas e consistentes com o relevo real, enquanto o modelo sem GCP apresentou curvas de nível irregulares e com espaçamento inconsistente.

## REFERÊNCIAS

- AGISOFT. *Agisoft Metashape*. Versão 1.8.0, 2014. Disponível em: <https://agisoft.com.br/>. Acesso em: 15 mar. 2025.
- ALBIERO et al. *Agriculture 4.0: a terminological introduction*. Revista Ciência Agronômica, v. 51, n. spe, e20207737, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20200083>. Acesso em: 15 mar. 2025.
- ALFARO, R. A. F. *Os veículos aéreos não tripulados na PSP: visão estruturante e aplicabilidade operacional*, 2015. Disponível em: <http://comun.rcaap.pt>. Acesso em: out. 2023.
- ARAÚJO, I. C. et al. *Estudo de uso de drones para monitoramento de barragens*. 2017. Monografia (Graduação) – UNIPAM, Centro Universitário de Patos de Minas, Patos de Minas, MG.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR 13133: execução de levantamento topográfico*. Rio de Janeiro, 1994. 35 p.
- BIELSKI, C. et al. Novel approach for ranking DEMs: Copernicus DEM melhora One Arc Second Open Global Topography. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 62, p. 1-22, 2024. Art. 4503922. DOI: <https://doi.org/10.1109/TGRS.2024.3368015>.
- BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL – ANAC. *Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial (RBAC-E) nº 94: requisitos gerais para aeronaves não tripuladas*. Brasília, 2017. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/>. Acesso em: 15 mar. 2025.
- BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL – ANAC. *SISANT*, 2019. Disponível em: <https://sistemas.anac.gov.br/SISANT/Operador/Cadastrar>. Acesso em: 12 out. 2020.
- BRASIL. *Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984 – Normas Técnicas da Cartografia Nacional*. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, 1984.
- BRASIL. DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO – DECEA. *SARPAS*. Disponível em: <https://servicos.decea.gov.br/saARPs/?i=cadastro>. Acesso em: 12 out. 2020.
- CERVI, W. R. et al. *Avaliação da declividade oriunda de dados SRTM utilizando GNSS RTK como referência*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. Anais eletrônicos... Foz do Iguaçu: Complexo Rafain Expocenter, 2013. p. 764-770. Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/rep/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.29.00.38.06>. Acesso em: 14 set. 2017.
- COELHO, L.; BRITO, J. N. *Fotogrametria digital*. Rio de Janeiro: Eduerj, 2007. 196 p.
- COLOMINA, I.; MOLINA, P. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: a review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 92, p. 79-97, 2014.

DA SILVA NASCIMENTO, A. J.; DENADAI, M. S. Drone, a história desta tecnologia. *Tekhne e Logos*, v. 12, n. 2, p. 48-56, 2021.

DJI. *DJI Air 2S – The All-In-One Drone Solution*. Disponível em: <https://www.dji.com/air-2s>. Acesso em: 2 abr.2024.

EMLID. *Emlid RS2*. Disponível em: <https://emlid.com/rs2/>. Acesso em: 2 abr. 2024.

EXTERCKOETTER, A. T. *Análise da volumetria obtida por dados GNSS/RTK e drone*. 2019. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2019. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/handle/1/7621>. Acesso em: 12 jun. 2020.

FORTUNATO, J. C. *O uso de drones como ferramenta de mapeamento para estudos de rodovias – case do edital de concessão da Rodovia de Integração do Sul, Brasil*. [S. l.: s. n.], 2018. Disponível em: <https://droneshowla.com/artigo-topografia-com-drones-x-tradicional-em-levantamentos-planialtimetricos/>. Acesso em: 2 jul. 2019.

FRANCISCHETT, M. N.; BIZ, A. C. O mapa hipsométrico no estudo dos continentes. *Revista Signos Geográficos*, v. 2, p. 1-25, 2020.

HOLLER, W. A. et al. *Câmeras modificadas e multiespectrais embarcadas em drones: enfoque para estudos da vegetação* [recurso eletrônico]. Colombo: Embrapa Florestas, 2022. PDF (29 p.). (Documentos / Embrapa Florestas, ISSN 1980-3958; 371).

IBGE. COORDENAÇÃO DE GEODÉSIA. *Modelo HgeoHNOR2020 para conversão de altitudes geométricas em altitudes normais*. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>.

IBGE. *Modelo de Ondulação Geoidal*. Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo\\_geoidal.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo_geoidal.shtm). Acesso em: 6 mar. 2018.

JESUS, H. P.; OLIVEIRA, H. C. *Análise comparativa de levantamentos altimétricos: topografia convencional, GPS e drone*. Goiás, 2018. 15 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade de Goiás. Disponível em: <https://files.cercomp.ufg.br/pdf>. Acesso em: 12 set. 2022.

JORGE, L. A. de C. et al. *Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão*. Embrapa Instrumentação – Capítulo em livro científico (ALICE), 2014. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/>. Acesso em: 9 ago. 2020.

LOPES, M. A. et al. *Estudo da sobreposição de imagens em projetos de fotogrametria aplicado ao mapeamento urbano*. 2024.

LUCHETTI, A. *Utilização de drones na agricultura: impactos no setor sucroalcooleiro*. Ciências Aeronáuticas – Unisul Virtual, 2019. Disponível em: <https://www.riuni.unisul.br/browse?type=keyword&value=Drones>. Acesso em: 13 ago. 2020.

MEDEIROS NETO, M. P. de. *Veículos aéreos não tripulados e sistema de entrega: estudo, desenvolvimento e testes*. 2016. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio

Grande do Norte, Brasil. Disponível em:

<https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/21459>. Acesso em: 13 ago. 2020.

MILESKI, A. M. Uma história de alta tecnologia. *Revista Tecnologia e Defesa*, ano 20, n. 92, p. 42-61, 2007.

OLIVEIRA, D.; BRITO, J. Avaliação da acurácia posicional de dados gerados por aeronave remotamente pilotada. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 71, p. 934-959, 2019. DOI: <https://doi.org/10.14393/rbcv71n4-50086>.

PEDREIRA, W. J. P. *Avaliação da acurácia altimétrica de mapeamento cartográfico topográfico usando VANT*. Cruz das Almas, 2017.

PRUDKIN, G. et al. *Drones e ciência: teoria e aplicações metodológicas – volume I*. 2019. Disponível em: <http://tede.bc.uepb.edu.br>. Acesso em: 9 ago. 2020.

REZENDE, R. M. C. de. *Drones: regulamentações e os impactos na segurança pública*. Ciências Aeronáuticas – Unisul Virtual, 2018. Disponível em: <https://www.riuni.unisul.br>. Acesso em: 9 ago. 2020.

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

RUGGIERO, F. et al. A multilayer control for multirotor UAVs equipped with a servo robot arm. In: *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 2015. Proceedings... IEEE, 2015. p. 4014-4020.

SANTOS, L. M. A. dos et al. *Análise do processamento de imagem por drone em cobertura plana com diferentes níveis*. 2024.

SCHMIDT, P.; SCHMIDT, G. O uso de drones na logística. *Revista Gestão, Sustentabilidade e Negócios*, v. 1, n. 1, 2023.

SILVA NETO, M. *Pontos de controle: quando usar no mapeamento aéreo com drone?* Disponível em: <https://www.esteio.com.br/downloads/2017/LevantamentoRTK.pdf>. Acesso em: 5 nov. 2017.

SILVA, L. de A. *Levantamentos altimétricos realizados por meio aerofotogramétrico: um estudo multicaso*. 2019. 52 f. Monografia (Graduação em Ciências e Tecnologia) – Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros, 2019.

TEIXEIRA, N. N. et al. *Análise do desempenho de mapeamento planialtimétrico topográfico executado com aeronave remotamente pilotada (RPA) para fins de caracterização de zonas de praia*. *Contribuciones a las Ciencias Sociales*, [s. l.], v. 17, n. 1, p. 3750–3782, 2024. DOI: <https://doi.org/10.55905/revconv.17n.1-223>. Disponível em: <https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/view/3776>. Acesso em: 31 mar. 2025.

ZANETTI, JULIETTE. *Influência do número e distribuição de pontos de controle em ortofotos geradas a partir de um levantamento por VANT*. 2017. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017.

## ANEXOS

Anexo I: solicitação ao Sarpas Decea para utilização do espaço aéreo com as devidas especificações para realização do voo com drone (figura 26).

Figura 26. Solicitação de autorização do voo com drone para a área do estudo altimétrico (SARPAS DECEA)

02/04/2024 20:53 SARPAS INC

### Detalhes do Voo

Análise Automática - Aprovado

#### DELIBERAÇÃO DA ANÁLISE

Deliberado em 02/04/2024, 02:40:28

Área solicitada foi aprovada. Fique atento às normas vigentes e às regras de uso do espaço aéreo.

<b>Protocolo</b> DF63D990	<b>Status</b> Análise Automática - Aprovado	<b>Altura</b> 100 m
<b>Data Solicitação</b> 01/04/2024, 16:30:39	<b>Área</b> <a href="#">Ver área solicitada</a>	<b>Download</b> KML
<b>Perfil da operação</b> <a href="#">Padrão (Nova ICA)</a>	<b>Tipo de voo</b> VLOS	

#### JANELA DA OPERAÇÃO

<b>Data da Operação</b> 02/04/2024	<b>Horário da Operação</b> 09:00:00 às 12:00:00
---------------------------------------	--

#### COMUNICAÇÃO

<b>OPERAÇÃO</b>	<b>OBSERVAÇÕES</b>
<b>Nome da Operação</b> Sítio bom Jesus	



#### AERONAVES

SISANT  
PP-202202399

#### ENVOLVIDOS

Papel	Nome	Código
	ADRIEL ALMEIDA	
Responsável	SANTOS VIANA - 012.259....	
	ADRIEL ALMEIDA	
Solicitante	SANTOS VIANA - 012.259....	BZOMUD

<https://sarpas.decea.mil.br/visualizar-voo?ent035e5-2689-86e6-ab9e-02420a189a11>

1/2

Fonte: Autor, 2025.