



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

FELIPE AUGUSTO FERREIRA DAS CHAGAS

**APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE AEROFOTOGRAMETRIA E VETORIZAÇÃO NO
PLANEJAMENTO DE ÁREAS DE EXPANSÃO URBANA. ESTUDO DE CASO:
NOVOS BAIRROS NO MUNICÍPIO DE OIAPOQUE/AP**

**MACAPÁ-AP
2026**

FELIPE AUGUSTO FERREIRA DAS CHAGAS

**APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE AEROFOTOGRAMETRIA E VETORIZAÇÃO NO
PLANEJAMENTO DE ÁREAS DE EXPANSÃO URBANA. ESTUDO DE CASO:
NOVOS BAIRROS NO MUNICÍPIO DE OIAPOQUE/AP**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao curso de Engenharia Civil para obtenção de
grau de bacharel pela Universidade Federal do
Amapá.

Orientador: Prof. Me. Adenilson Costa de
Oliveira

Coorientador: Eng. Esp. Cley Jackson Feitoza

**MACAPÁ-AP
2026**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central/UNIFAP-Macapá-AP
Elaborado por Cristina Fernandes – CRB-2 / 1569

Chagas, Felipe Augusto Ferreira das.
C433a Aplicação de técnicas de aerofotogrametria e vetorização no planejamento de áreas de expansão urbana: Estudo de caso: Novos bairros no município de Oiapoque/AP / Felipe Augusto Ferreira das Chagas. - Macapá, 2026.
1 recurso eletrônico.
118 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Amapá, Coordenação do Curso de Engenharia Civil, Macapá, 2026.
Orientador: Prof. Me. Adenilson Costa de Oliveira.
Coorientador: Eng. Esp. Cley Jackson Feitoza.

Modo de acesso: World Wide Web.
Formato de arquivo: Portable Document Format (PDF).

1. Geoprocessamento. 2. SIG. 3. Aerofotogrametria. I. Oliveira, Adenilson Costa de, orientador. II. Feitoza, Cley Jackson, coorientador. III. Universidade Federal do Amapá. IV. Título.

CDD 23. ed. – 621.3678

CHAGAS, Felipe Augusto Ferreira das. **Aplicação de técnicas de aerofotogrametria e vetorização no planejamento de áreas de expansão urbana: Estudo de caso:** Novos bairros no município de Oiapoque/AP. Orientador: Prof. Me. Adenilson Costa de Oliveira. Coorientador: Eng. Esp. Cley Jackson Feitoza. 2026. 118 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Engenharia Civil. Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2026.

FELIPE AUGUSTO FERREIRA DAS CHAGAS

**APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE AEROFOTOGRAMETRIA E VETORIZAÇÃO NO
PLANEJAMENTO DE ÁREAS DE EXPANSÃO URBANA. ESTUDO DE CASO:
NOVOS BAIRROS NO MUNICÍPIO DE OIAPOQUE/AP**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao curso de Engenharia Civil para obtenção de
grau de bacharel pela da Universidade Federal
do Amapá.

Orientador: Prof. Me. Adenilson Costa de
Oliveira

Coorientador: Eng. Esp. Cley Jackson Feitoza

Data de aprovação: 05 de março de 2026.

BANCA EXAMINADORA:

Documento assinado digitalmente
 **ADENILSON COSTA DE OLIVEIRA**
Data: 07/04/2026 08:58:56-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Adenilson Costa de Oliveira
Orientador - UNIFAP

Documento assinado digitalmente
 **CLEY JACKSON FEITOZA**
Data: 06/04/2026 22:02:19-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Eng. Esp. Cley Jackson Feitoza
Coorientador - IFAP

Documento assinado digitalmente
 **ALAN CAVALCANTI DA CUNHA**
Data: 07/04/2026 09:41:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Alan Cavalcanti da Cunha
Examinador Interno - UNIFAP

Documento assinado digitalmente
 **LUIS HENRIQUE RAMBO**
Data: 06/04/2026 20:11:39-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Luis Henrique Rambo
Examinador Interno - UNIFAP

**MACAPÁ-AP
2026**

Ao meu saudoso avô, João Batista Bezerra (in memoriam), que nutria o sonho de ver seus netos formados. O homem cujas ações e palavras de incentivo foram o alicerce para que este sonho se tornasse realidade. Hoje realizo seu desejo, honrando a confiança que sempre depositou em mim e em meu futuro.

AGRADECIMENTOS

Desde a tenra idade, sou conhecido por ter extrema dificuldade em lembrar de pessoas ou fatos que ocorrem ao meu redor. Sendo assim, sinto que posso cometer alguma injustiça ao não citar todos que, de alguma forma, ajudaram-me a alcançar esta conquista. No entanto, aceito o desafio e, como sempre, farei o meu melhor.

Agradeço, em primeiro lugar, aos meus pais, Odeise Ferreira e Carlos Augusto, por me concederem a vida e por serem, há 26 anos, os meus maiores exemplos. Obrigado por compreenderem (ou tentarem compreender) minha ausência enquanto eu estava mergulhado em cálculos, nuvens de pontos e vetores. Sem o apoio incondicional de vocês, esta conquista não seria possível. Vocês deram início à minha trajetória acadêmica em 2004 e, desde então, permitiram-me vislumbrar as mais magníficas partes da tapeçaria do conhecimento humano. No entanto, ao recordar o passado, é evidente que as lições mais valiosas foram aquelas ensinadas por vocês. Eu os amo infinitamente.

À minha querida e muito mais que amada irmã, Pâmela Ferreira, que esteve na torcida e vibrou a cada etapa vencida e cada obstáculo superado. Nossas conversas podem não ter sido as mais lógicas, mas as boas risadas sempre valeram a pena e confortavam a alma. Às minhas avós, Luzinete Batista e Raimunda Ferreira, por cuidarem de mim com todo o amor que tinham. Às minhas tias Margareth e Gracilene, ao meu tio Adailton Roberto, e às minhas primas Sarah, Janaína e Karolyne: a vida com certeza vale a pena ser vivida ao lado de vocês.

Aos meus amigos de curso e da vida: Higor, Karine, Danton, Maria, Pedro, Vescovi, Vitor, Lauro e Henrique Remor (este último, com uma alegria contagiante e uma admirável vontade de viver ao máximo). Vocês tornaram essa árdua jornada suportável durante as incontáveis viagens em ônibus lotados, nas disciplinas que não faziam sentido à primeira vista, na minha mudança de cidade e nas viagens quilométricas para terminar a graduação. Obrigado pelos conselhos sobre o que priorizar e pela ajuda na escrita deste trabalho com suas ideias e revisões. Cada RU compartilhado, cada aula no sábado à noite, cada congresso científico, cada conversa sobre o universo de Tolkien, cada momento ocioso regado a muito *Heavy Metal* e, principalmente, cada incentivo de vocês, foi um ponto crucial na composição desta obra. *Mes amis*, muito obrigado por tudo.

Aos colegas Gustavo, Ramon, Déborah, Galvão, Halphi, Jaddy, Max, Guilherme e Khamus. Agradeço por cada trabalho em que fui orientado por vocês, pelas piadas internas sobre cálculos infinitos, pelos momentos ociosos, pelas viagens de trabalho e por tornarem os dias e noites de estudo bem menos pesadas.

Ao meu orientador alvinegro, Prof. Adenilson Costa, que teve a paciência de mestre para guiar não só este trabalho, mas todo o meu período de estágio supervisionado. As disciplinas mais interessantes aprendi em suas aulas, que foram de grande valia para o desenvolvimento da minha visão profissional. Ao meu coorientador e colega de curso, Engº Cley Jackson, pela parceria técnica e por me ajudar a estruturar parte deste trabalho. Valeu por acreditarem que

esse projeto ia voar!

Aos meus professores da UNIFAP, que me deram as ferramentas para construir o profissional que estou me tornando. Agradeço em especial aos professores Helyelson Moura e Luis Henrique Rambo, grandes amigos e companheiros de congressos e eventos científicos, sou imensamente grato pelos artigos que publicamos e defendemos juntos. Ao professor e grande amigo Vitor Assis pela parceria “raiz” nas disciplinas e monitorias de estruturas; essas oportunidades de desenvolver minha capacidade docente moldaram a forma como enxergo o ensino acadêmico e pessoal. As conversas e ensinamentos bem humorados durante as aulas com certeza foram de grande proveito nessa jornada. Ao professor Marcelo Siqueira, pelas conversas científicas, piadas sobre cálculos infinitesimais, ensinamentos sobre $\text{\LaTeX}$ e por me ceder sua sala para estudar durante a pandemia de SARS-CoV-2. À professora Solange Cromianski, por incentivar meu interesse científico e por todo o conhecimento criado em conjunto. Ao professor Fernando Grings (O Matemático), que me ensinou grande parte do conteúdo de cálculo diferencial e integral, cálculo vetorial, geometria analítica e álgebra linear, permitindo que eu continuasse no jogo e eliminando a ideia de desistência que passou pela minha mente no início da graduação. Mestres, sou infinitamente grato.

À Universidade Federal do Amapá (UNIFAP) e ao projeto TEDPLAN, por fornecerem os meios necessários para a realização desta pesquisa com excelência.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste sonho e para a conclusão deste ciclo acadêmico, deixo aqui o meu muito obrigado.

“Tô na área, se derrubar é pênalti.” (Urameshi, Yusuke. 1996)

*“Sem dúvidas, o avião é uma máquina – mas
que instrumento de análise! Esse instrumento
nos permitiu descobrir a verdadeira fisionomia
da terra.”*

— Antoine de Saint-Exupéry, *Terra dos
Homens*.

RESUMO

Este estudo apresenta uma análise multitemporal e espacial da expansão urbana na área de extensão de cinco bairros no município de Oiapoque/AP, uma região caracterizada por significativas vulnerabilidades socioambientais. O objetivo central consistiu em analisar a dinâmica do crescimento urbano desordenado e quantificar os impactos antropogênicos diretos utilizando a aerofotogrametria digital e ferramentas de geoprocessamento como suportes primordiais ao planejamento territorial. O método estruturou-se no processamento de imagens capturadas por Aeronave Remotamente Pilotada (ARP) através do software Agisoft Metashape®, o qual gerou uma nuvem densa de pontos, ortomosaicos e Modelos Digitais de Terreno e Superfície (MDT e MDS). O processamento demandou criteriosa intervenção humana para a detecção e filtragem de outliers, garantindo a integridade altimétrica dos modelos. Posteriormente, as feições de uso do solo identificadas em um ortomosaico principal foram vetorizadas no software QGIS® para extrair quantitativos do avanço da mancha urbana. Os dados obtidos indicaram a supressão de 80,3% da vegetação nativa na área alterada, 662 novas unidades habitacionais de forma não planejada e 341 novas residências em processo de construção. Também foi verificado que os cortes e aterros irregulares alteraram o microrelevo e a drenagem natural, afetando a mobilidade urbana e a segurança da infraestrutura local. Conclui-se que o uso integrado de ARP e SIG é uma ferramenta que pode superar a escassez de dados geográficos oficiais em municípios isolados, fornecendo bases cartográficas com resoluções superiores a imagens de satélite convencionais. Estas geotecnologias mostraram-se elementos de grande valia para fundamentar intervenções de engenharia civil, mitigar riscos ambientais e orientar políticas públicas focadas na universalização da infraestrutura básica.

Palavras-chave: geoprocessamento; SIG; Agisoft Metashape; QGIS; aerofotogrametria; Oiapoque.

ABSTRACT

This study presents a multitemporal and spatial analysis of urban expansion across the extension areas of five neighborhoods in the municipality of Oiapoque, Amapá, a region characterized by significant socio-environmental vulnerabilities. The primary objective was to analyze the dynamics of unplanned urban growth and quantify direct anthropogenic impacts, utilizing digital photogrammetry and geoprocessing tools as essential supports for territorial planning. The methodology was based on the processing of imagery captured by Remotely Piloted Aircraft (RPA) using Agisoft Metashape© software, which generated a dense point cloud, orthomosaics, and Digital Terrain and Surface Models (DTM and DSM). The processing stage required meticulous human intervention for outlier detection and filtering, ensuring the altimetric integrity of the models. Subsequently, land-use features identified in a main orthomosaic were vectorized in QGIS© software to extract quantitative data regarding the advancement of the urban footprint. The results indicated a suppression of 80.3% of native vegetation within the altered area, along with 662 unplanned housing units and 341 new residences currently under construction. It was also verified that irregular cut-and-fill operations altered the micro-relief and natural drainage, adversely affecting urban mobility and the safety of local infrastructure. This study concludes that the integrated use of RPAs and GIS is a tool capable of overcoming the scarcity of official geographic data in isolated municipalities, providing cartographic bases with resolutions superior to conventional satellite imagery. These geotechnologies proved to be invaluable elements for informing civil engineering interventions, mitigating environmental risks, and guiding public policies focused on the universalization of basic infrastructure.

Keywords: geoprocessing; GIS; Agisoft Metashape; QGIS; aerophotogrammetry; Oiapoque.

LISTA DE FIGURAS

1	Mapa de localização do município de Oiapoque (AP).	15
2	Área territorial de Oiapoque.	16
3	População de Oiapoque em 2022.	16
4	Urbanização em Oiapoque em 2022.	17
5	Localização da área de estudo.	18
6	Área de estudo ao longo do tempo.	19
7	Aumento populacional em Oiapoque.	20
8	Mapa dos bairros Santa Tereza (contorno vermelho) e Bom Jardim Lara (contorno verde) obtido por meio de imagens de satélite.	22
9	Imagens históricas dos bairros de Santa Tereza e Bom Jardim Lara.	23
10	Mapas com ortofotocartas comparativas da região em Jaboatão dos Guararapes entre os anos de 1974 e 2016.	24
11	Mapa comparativo da classificação do solo realizada na região Jaboatão dos Guararapes entre os anos de 1974 e 2016.	25
12	Taxas de ocupação do solo em 1974 (esquerda) e 2016 (direita).	25
13	Mapas de ocupação territorial de uma encosta no bairro Nova Descoberta (Recife - PE).	26
14	Softwares utilizados para processamento, análise e interpretação de fotos e dados espaciais.	28
15	Área de estudo.	29
16	Fluxograma das etapas de processamento fotogramétrico no Agisoft Metashape®.	30
17	Salvamento do projeto fotogramétrico.	32
18	Importação de imagens obtidas por ARP.	32
19	Conversão das coordenadas de voo.	33
20	Definição dos parâmetros de projeto.	34
21	Obtenção dos parâmetros de processamento por meio do Google Earth Pro®.	35
22	Verificação da qualidade das imagens.	35
23	Inserção de máscaras no processamento.	36
24	Alinhamento de fotos.	37
25	Resultado do alinhamento de fotos.	38
26	Sistemas de coordenadas de imagens.	39
27	Otimização de câmeras.	40
28	Etapas de remoção gradual de pontos.	42
29	Geração do relatório de avaliação do projeto.	43
30	DEM gerado no relatório de processamento.	44
31	Deteção de outliers presentes no modelo digital.	45

LISTA DE FIGURAS

	10
32 DEM gerada após remoção de outliers.	45
33 Geração da nuvem densa de pontos.	46
34 Classificação dos pontos do terreno.	46
35 Resultados da classificação de pontos do terreno.	48
36 Diferença entre MDS e MDT.	49
37 Geração do modelo digital de superfície da área de estudo.	49
38 Modelo digital de superfície da área de estudo.	50
39 Geração do modelo digital de terreno da área de estudo.	50
40 Modelo digital de terreno da área de estudo.	51
41 Geração do modelo digital de elevação da área de estudo.	52
42 DEM da área de estudo gerado a partir do MDT.	52
43 Geração de curvas de nível.	53
44 DEM da área de estudo gerada a partir do MDS.	54
45 Geração de ortomosaico a partir do MDS.	55
46 Ortomosaico verdadeiro.	56
47 Processamento das imagens referentes a toda a área de estudo (Com outlier visível).	57
48 Ortomosaico verdadeiro de toda a área de estudo.	57
49 Fluxograma das etapas de vetorização no QGIS®.	58
50 Iniciando no QGIS®.	59
51 Ortomosaico total importado para o ambiente QGIS®.	60
52 Verificação do SRC do ortomosaico.	60
53 Verificação do SRC do projeto.	61
54 Criação de arquivo shapefile.	62
55 Delimitação de polígono durante vetorização.	63
56 Edição da simbologia e estilo de classes.	64
57 Nuvem densa de pontos (<i>dense cloud</i>).	66
58 DEM obtido a partir do MDT com curvas de nível a cada 3 metros.	67
59 DEM obtido a partir do MDS com curvas de nível a cada 3 metros.	68
60 Vista em perspectiva do MDS da área de estudo.	69
61 Medição do GSD de um pixel do ortomosaico dentro do QGIS®.	69
62 Ortomosaico gerado no Agisoft Metashape®.	70
63 Mapa de classificação do solo da área de estudo.	71
64 Mapeamento dos usos do solo em Ferreira Gomes (2013).	72
65 Resultados da vetorização no QGIS®.	73
66 Pontos de alagamento.	75
67 Ponto de alagamento P01.	76
68 Ponto de alagamento P02.	76
69 Ponto de alagamento P03.	77

70	Ponto de alagamento P04.	77
71	Ponto de alagamento P05.	78
72	Ponto de alagamento P06.	78
73	Ponto de alagamento P06 - Lateral montante durante estiagem.	79
74	Ponto de alagamento P06 - Lateral jusante durante estiagem.	79
75	Ponto de alagamento P07.	80
76	Ponto de alagamento P07.	80

LISTA DE TABELAS

1	Coordenadas geográficas dos vértices da área de estudo.	29
2	Classes de vetorização.	63
3	Áreas obtidas no processo vetorização no QGIS©.	64

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
APP	Área de Preservação Permanente
ARP	Aeronave Remotamente Pilotada
DEM	Digital Model Elevation
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
GSD	Ground Sample Distance
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MDS	Modelo Digital de Superfície
MDT	Modelo Digital de Terreno
PMJG	Prefeitura Municipal de Jaboatão dos Guararapes
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SRC	Sistema de Referência de Coordenadas
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
UNIFAP	Universidade Federal do Amapá
UTM	Universal Transversa de Mercator
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado
WGS	World Geodetic System

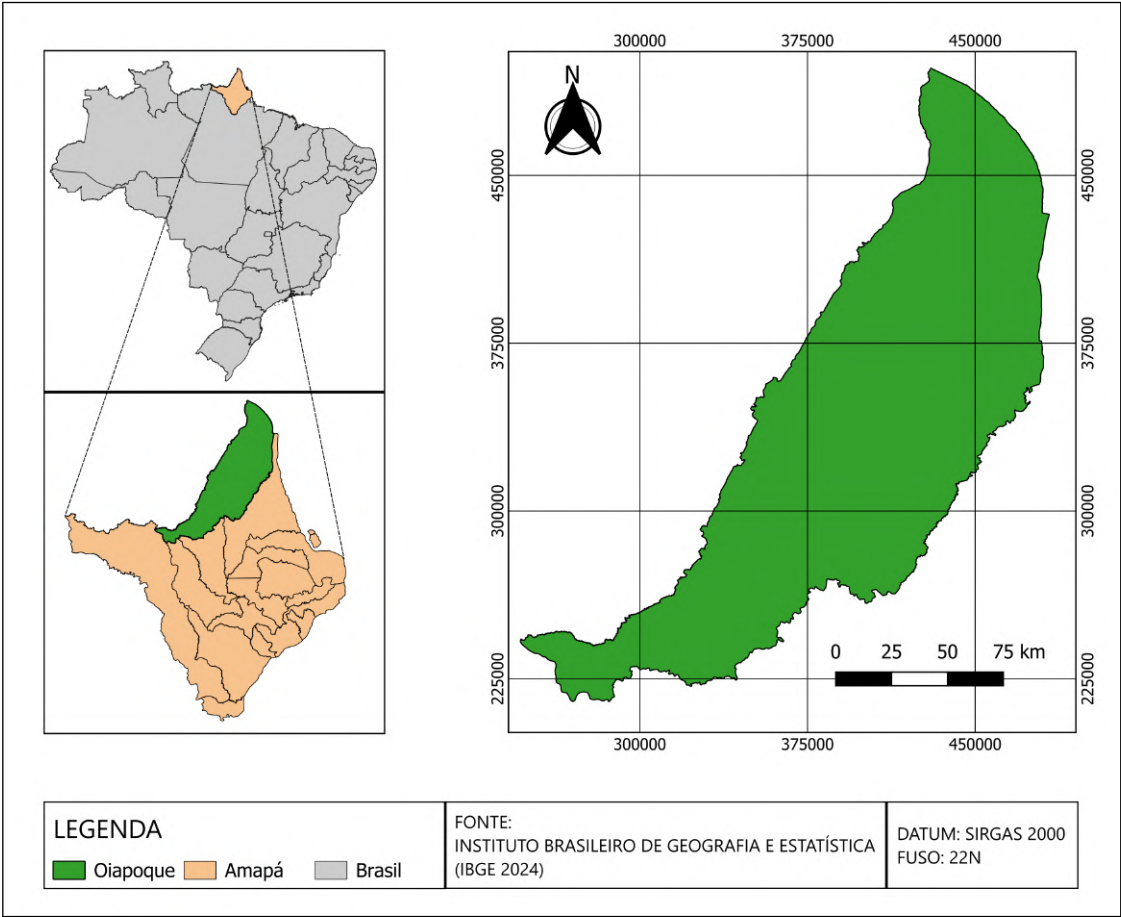
SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Justificativa	18
1.2	Objetivos	21
1.2.1	Objetivo Geral	21
1.2.2	Objetivos Específicos	21
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
3	METODOLOGIA	28
3.1	Caracterização da área de estudo	28
3.2	Processamento fotogramétrico	29
3.3	Vetorização em ambiente SIG	58
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	65
4.1	Produtos Aerofotogramétricos	65
4.1.1	Nuvem de Pontos	65
4.1.2	Modelo Digital de Terreno	66
4.1.3	Modelo Digital de Superfície	67
4.1.4	Ortomosaico	69
4.2	Vetorização	71
5	CONCLUSÕES	81
	REFERÊNCIAS	85
A	Relatório de processamento de voo - Área 01	72
B	Relatório de processamento de voo - Área 02 com identificação de outliers	78
C	Relatório de processamento de voo - Área 02 com remoção de outliers	84
D	Relatório de processamento de voo - Área 03	90
E	Relatório de processamento de voo - Área Total	96
F	QR Code para produtos gerados	104

1 INTRODUÇÃO

O município de Oiapoque constitui uma unidade administrativa estratégica do estado do Amapá, situado no extremo norte do Brasil, à margem direita do rio homônimo (Figura 1). Como sentinela da fronteira setentrional do país, a localidade estabelece o limite terrestre entre o Brasil e a Guiana Francesa, defrontando-se com o município de Saint Georges. Esta condição confere a região uma posição singular na geopolítica brasileira, uma vez que representa a principal conexão física entre o Mercosul e a União Europeia, consolidada pela infraestrutura da Ponte Binacional sobre o Rio Oiapoque. No âmbito estadual, o município consolida-se como um polo de influência socioeconômica, cuja relevância tem sido acompanhada por um processo de expansão urbana acelerado e, por vezes, assistemático.

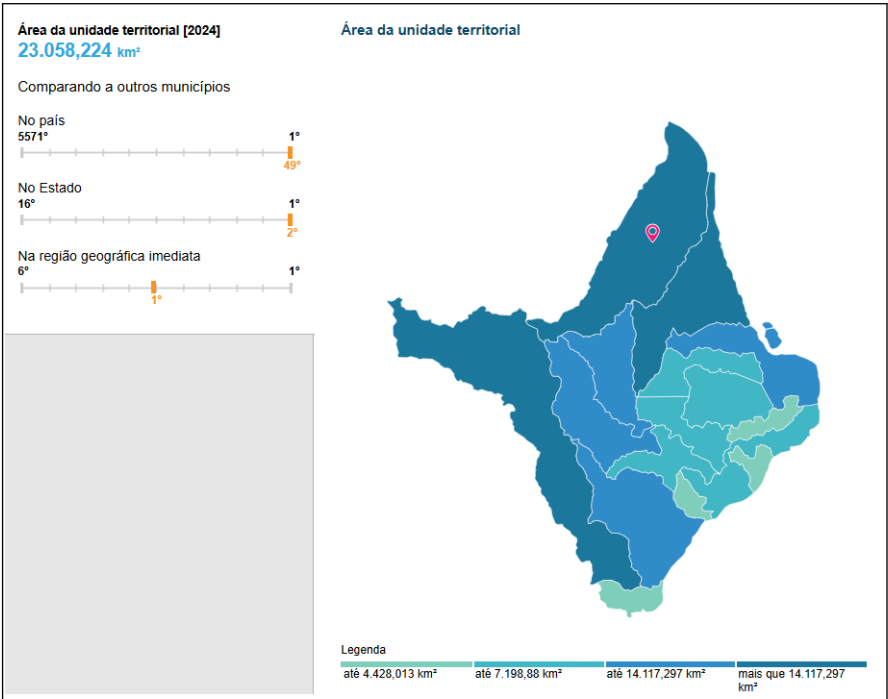
Figura 1: Mapa de localização do município de Oiapoque (AP).



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

De acordo com os dados do último censo demográfico realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2022 e atualizados em 2024, o município de Oiapoque possui uma extensão territorial de aproximadamente 23.058,244 km², ocupando a 49ª posição entre os municípios brasileiros em extensão territorial (Figura 2).

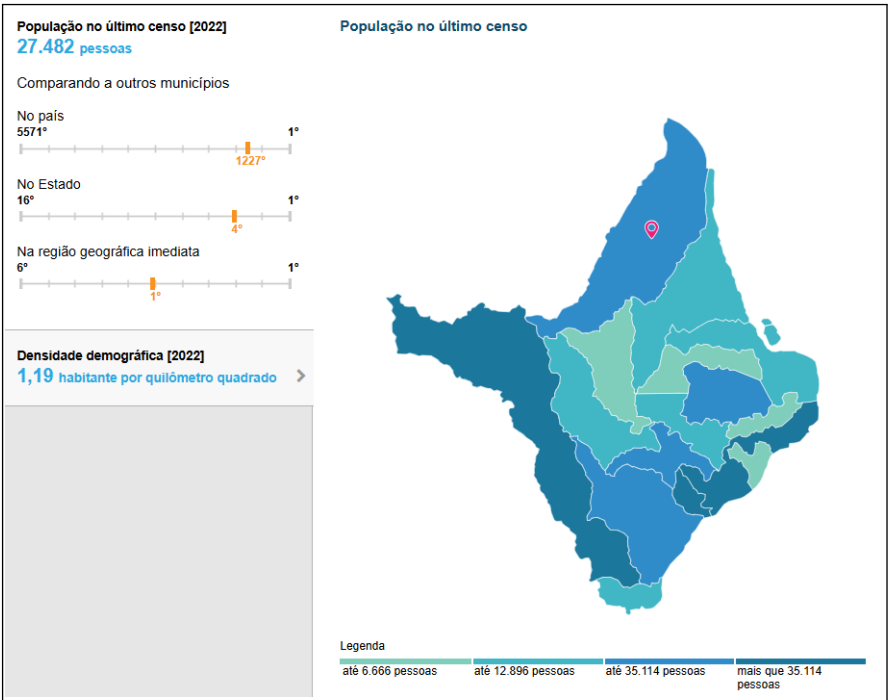
Figura 2: Área territorial de Oiapoque.



Fonte: IBGE (2026).

De acordo com os dados oficiais do Censo Demográfico de 2022, a região abrigava uma população de 27.482 habitantes. Quando analisada em relação à sua vasta extensão territorial, essa população resulta em uma densidade demográfica de apenas 1,19 habitantes km² (Figura 3).

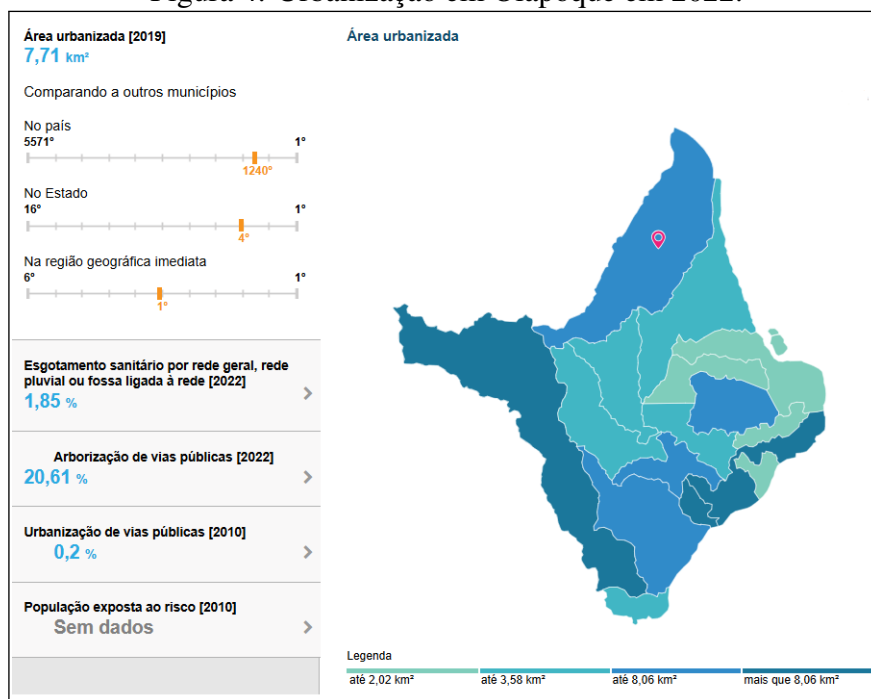
Figura 3: População de Oiapoque em 2022.



Fonte: IBGE (2026).

Este indicador médio oculta uma realidade espacial complexa: a população não se distribui de forma homogênea, concentrando-se majoritariamente na sede municipal e em distritos específicos, o que gera pressões pontuais sobre o solo urbano e resulta em um cenário sociodemográfico marcado por profundos contrastes e carências estruturais. Apesar de sua importância geopolítica, os índices oficiais do IBGE apontam que apenas 1,85% dos domicílios presentes nos 7,71 km² de área urbanizada contam com esgotamento sanitário adequado, evidenciando um déficit histórico em saneamento e infraestrutura de água tratada que não acompanhou o ritmo de crescimento da cidade. Também é mostrado que a taxa de arborização e urbanização de vias públicas eram de 20,61% e 0,2%, respectivamente, ambas estando consideravelmente abaixo da média nacional dos municípios brasileiros (Figura 4).

Figura 4: Urbanização em Oiapoque em 2022.



Fonte: IBGE (2026).

Historicamente, a dinâmica social de Oiapoque é moldada pela transvizinhança, onde o comércio transfronteiriço e a circulação de pessoas entre o Brasil e a Guiana Francesa definem o ritmo da economia local, fortemente dependente do setor de serviços e do extrativismo (OLIVEIRA, 2011). Socioeconomicamente, essa configuração gera uma cidade de contrastes: ao mesmo tempo que atrai migrantes em busca de oportunidades no comércio de ouro e bens de consumo, padece com um déficit histórico em saneamento básico e habitação planejada (TOSTES, 2023, *Ebook*). Essa vulnerabilidade política e social acaba por relegar o planejamento urbano a um plano secundário diante das urgências cotidianas da fronteira, criando um ambiente de ocupações espontâneas que se consolidam à margem da fiscalização (NONATO JÚNIOR, 2019). Com a iminência da exploração de petróleo na Bacia da Foz do Amazonas, o município é inserido em um novo patamar de pressão territorial e especulação imobiliária. A

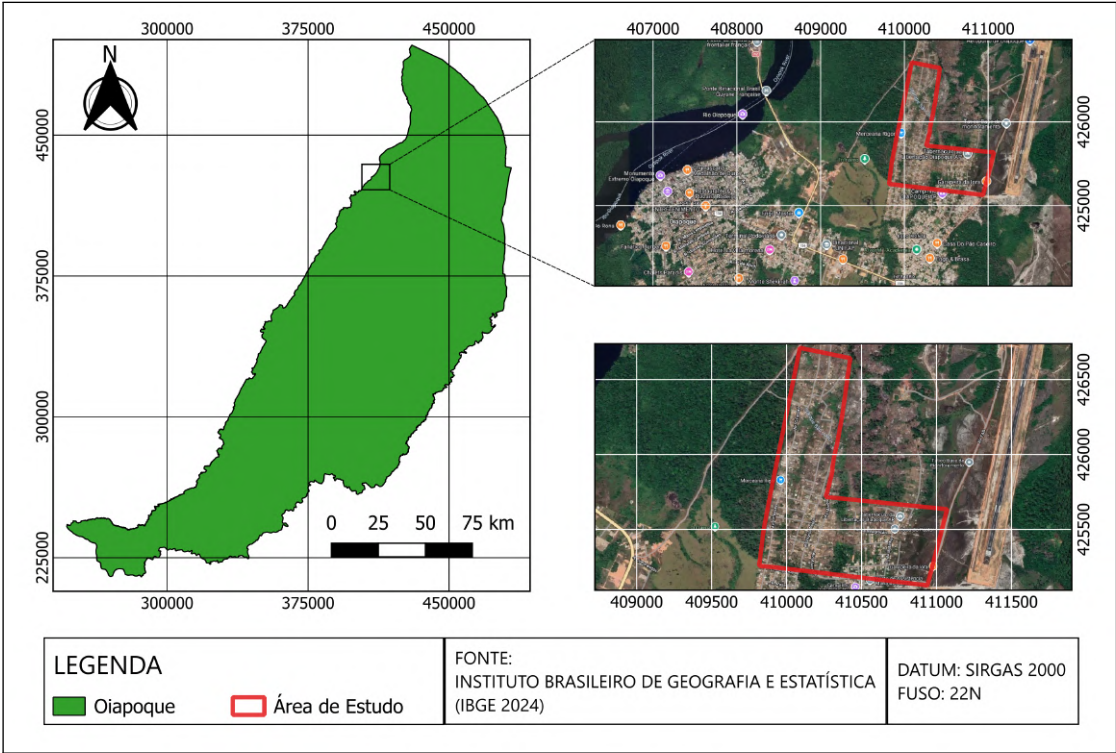
expectativa por esse novo ciclo econômico tende a acelerar o fluxo migratório de moradores de diversos estados e países vizinhos, bem como a formação de assentamentos espontâneos, conforme observado na extensão do bairro Infraero, desafiando ainda mais a limitada capacidade dos serviços públicos existentes (TAVARES, 2026).

O aumento na pressão demográfica impulsionado pela atratividade econômica da zona de fronteira e exploração de recursos regionais fomenta o surgimento de assentamentos que sobrecarregam a infraestrutura urbana instalada. Nesse contexto de rápidas transformações e infraestrutura urbana insuficiente, o levantamento e monitoramento contínuo de dados espaciais tornam-se um procedimento imprescindível para gestão municipal, fornecendo os subsídios necessários para um planejamento urbano que busque mitigar os impactos socioambientais e ordenar a ocupação do solo de forma otimizada e sustentável.

1.1 Justificativa

Com o intuito de compreender melhor o cenário de expansão urbana municipal, foi selecionada uma área estratégica do município como objeto de estudo (Figura 5), que compreende os bairros Aeroporto, Areia Branca, Belo Monte, Infraero e Nova Conquista, todos provenientes de processos de ocupação irregular que iniciaram a partir de 2018.

Figura 5: Localização da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A região escolhida (Figura 6) apresenta características relevantes para a análise espacial e ambiental, pois abriga um conjunto de fatores como: Ocupação urbana, presença de áreas

de vegetação remanescente e solos com forte propensão a saturação, sobretudo em períodos sazonais de alta pluviosidade compreendidos entre os meses de dezembro e junho, conforme dados consultados nas estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

Figura 6: Área de estudo ao longo do tempo.



(a) nov/2018.



(b) nov/2021.

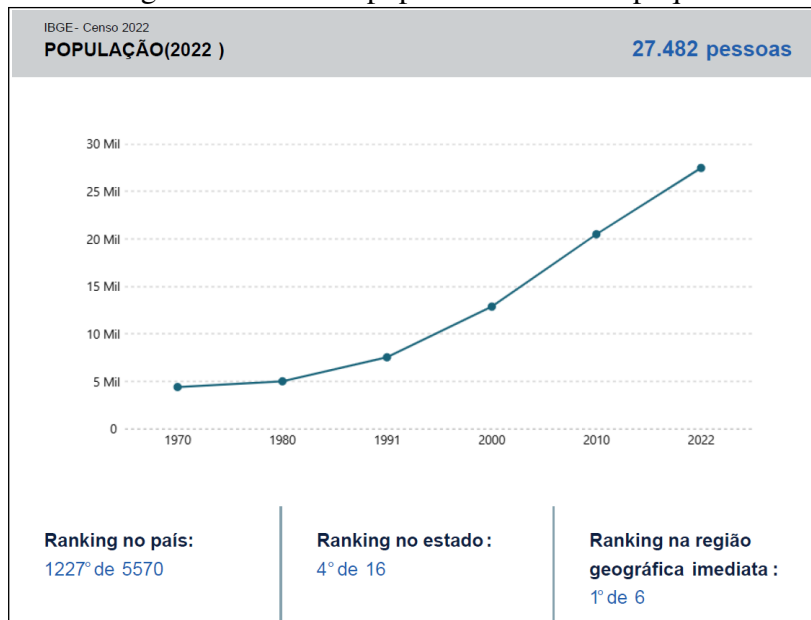


(c) set/2024.

Fonte: Google Earth Pro© 2026, adaptado pelo autor.

As imagens históricas exibidas na Figura 6 corroboram o crescimento urbano registrado pelo IBGE no último Censo Demográfico, conforme ilustrado na Figura 7.

Figura 7: Aumento populacional em Oiapoque.



Fonte: IBGE (2026).

A expansão urbana recente nos novos bairros do município de Oiapoque/AP ocorre de forma predominantemente desordenada e está associada a impactos socioambientais mensuráveis, tais como supressão significativa da vegetação nativa e alterações no microrrelevo e na drenagem natural, que podem ser identificados, quantificados e espacializados por meio da aerofotogrametria com Aeronave Remotamente Pilotada (ARP) integrada a técnicas de geoprocessamento.

A relevância deste estudo fundamenta-se na necessidade de avaliar, com adequada precisão, a dinâmica de ocupação em áreas de crescimento urbano acelerado e não planejado. Diante dessa conjuntura, a utilização conjunta da aerofotogrametria digital e de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) torna-se uma abordagem técnica apropriada, pois permite a geração de produtos cartográficos de alta resolução, como ortomosaicos e Modelos Digitais de Superfície (MDS), garantindo a acurácia necessária para identificar padrões de uso do solo e avaliar os impactos antrópicos. Esta abordagem técnica proporciona subsídios científicos que superam lacunas de dados oficiais, permitindo a elaboração de estratégias de planejamento urbano que sejam, de fato, condizentes com as condicionantes físicas e ambientais da localidade. Ao garantir a convergência de informações georreferenciadas, o estudo propicia uma base de dados fidedigna para o ordenamento sustentável do território.

Esta pesquisa vincula-se ao Projeto TedPLAN, uma iniciativa de cooperação técnica e científica entre a Universidade Federal do Amapá (UNIFAP) e a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA). O projeto atua como um catalisador para a universalização do saneamento básico no estado, fornecendo suporte técnico especializado aos municípios para a elaboração de seus

Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB). No contexto de Oiapoque/AP, este estudo contribui diretamente para o eixo de drenagem e manejo de águas pluviais, utilizando a aerofotogrametria de alta resolução para suprir a carência de bases cartográficas oficiais e subsidiar diagnósticos precisos sobre a dinâmica de ocupação do solo e seus impactos na infraestrutura urbana.

1.2 Objetivos

A presente investigação propõe-se a diagnosticar a dinâmica de crescimento urbano desordenado através da integração sistemática entre aerofotogrametria digital e SIG. O foco central reside na geração de produtos cartográficos com alta acurácia de modo a viabilizar a quantificação da supressão vegetal e o monitoramento da expansão de assentamentos informais. Por meio do processamento digital de imagens e da análise multitemporal, buscou-se identificar locais de risco ambiental e alterações morfológicas críticas no terreno, fundamentais para a compreensão do impacto antrópico na região. Em última análise, o trabalho visa consolidar uma base de dados técnica e atualizada que sirva de suporte ao planejamento territorial e à gestão pública. Dessa forma, os objetivos convergem para a criação de informações confiáveis para o ordenamento sustentável em áreas de crescimento irregular, estabelecendo-se como uma abordagem técnica robusta e verossímil, apta para balizar as tomadas de decisão na esfera municipal.

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar a dinâmica de expansão urbana e os impactos antrópicos em áreas de vulnerabilidade socioambiental no município de Oiapoque utilizando levantamento aerofotogramétrico e ferramentas de geoprocessamento para subsidiar tomadas de decisão durante o planejamento territorial municipal.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Processar fotografias capturadas por ARP utilizando o software Agisoft Metashape© e gerar produtos cartográficos como ortomosaico, nuvem densa de pontos e Modelos Digitais de Superfície (MDS) e Terreno (MDT);
- Identificar e vetorizar padrões de uso e ocupação do solo utilizando o software QGIS©, com foco na detecção de assentamentos informais e supressão de vegetação nativa; e
- Avaliar a evolução temporal da mancha urbana e os riscos ambientais associados decorrentes do crescimento desordenado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A aplicação de geotecnologias na análise do uso e ocupação do solo consolidou-se como uma vertente metodológica relevante no planejamento territorial e à gestão ambiental. Em contextos de expansão urbana acelerada — particularmente em zonas de vulnerabilidade, como as adjacências de corpos hídricos ou áreas suscetíveis a inundações — a integração entre aerofotogrametria, imagens de satélite e sistemas de informações geográficas viabiliza o monitoramento rigoroso das transformações na paisagem. Essa convergência tecnológica não apenas amplia a precisão diagnóstica, como também permite a documentação histórica fidedigna dos impactos antrópicos sobre o meio físico (PESSOA NETO; BARBOSA; FAUSTINO, 2019).

Em um estudo desenvolvido por Nascimento e Rabelo (2024) sobre a redução das áreas verdes e expansão urbana no município de Tefé, localizado no estado do Amazonas (AM), foi documentado a diminuição contínua de áreas verdes entre 2004 e 2022 nos bairros Santa Tereza e Bom Jardim Lara por meio de imagens de satélite obtidas pelo Google Earth Pro© e geoprocessamento com o software QGIS© (Versão 3.22.13) (Figura 8).

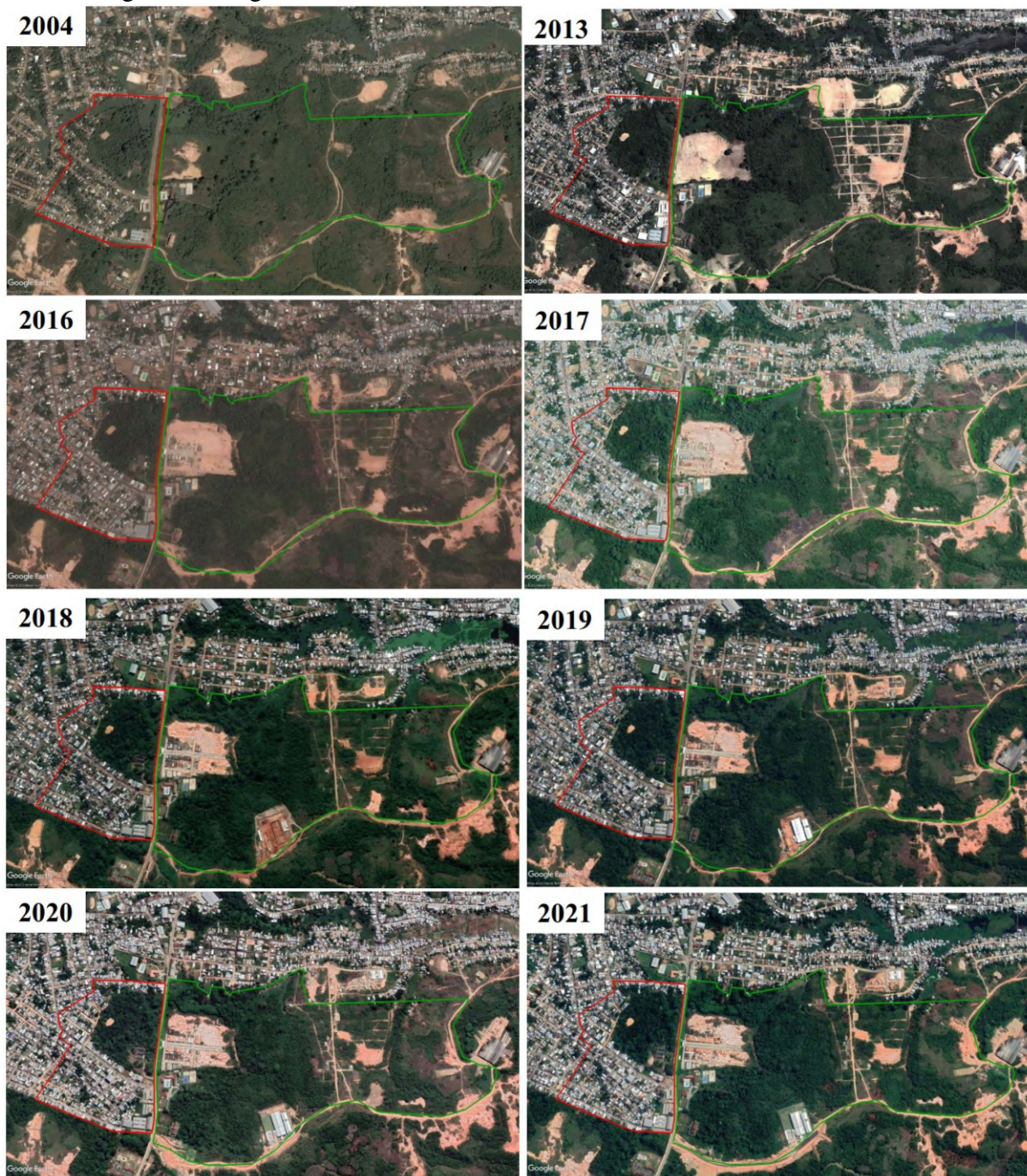
Figura 8: Mapa dos bairros Santa Tereza (contorno vermelho) e Bom Jardim Lara (contorno verde) obtido por meio de imagens de satélite.



Fonte: Nascimento e Rabelo (2024).

Os autores observaram que o crescimento da malha urbana reduziu a vegetação remanescente, evidenciando o impacto da urbanização sobre a cobertura vegetal e a qualidade ambiental urbana, conforme exibido na comparação temporal da Figura 9.

Figura 9: Imagens históricas dos bairros de Santa Tereza e Bom Jardim Lara.



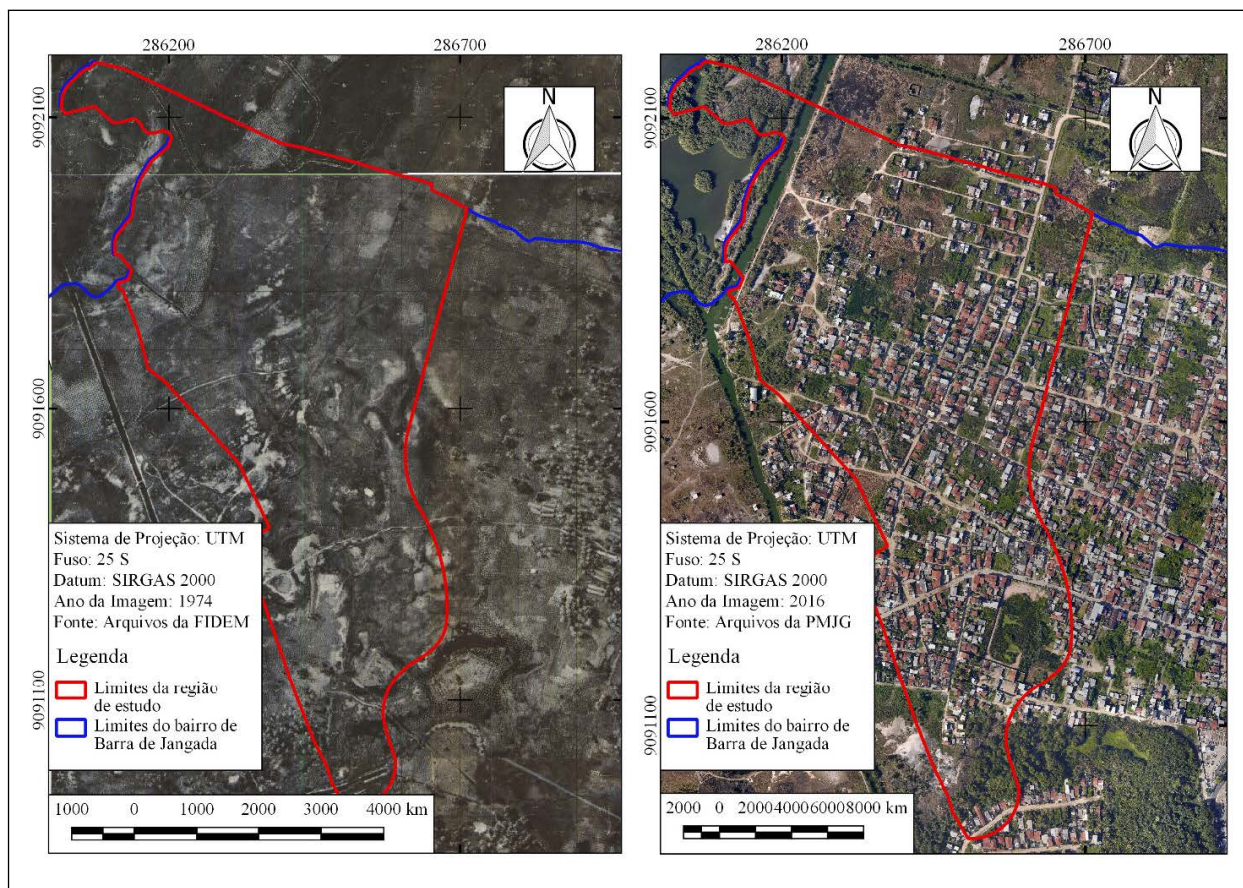
Fonte: Nascimento e Rabelo (2024).

Os autores observaram que a supressão de áreas verdes não apenas altera a paisagem, mas intensifica fenômenos como o desconforto térmico, afetando diretamente o microclima e o bem-estar da população. O emprego de geotecnologias e sensoriamento remoto revelou-se indispensável para a obtenção de resultados fidedignos que reproduzam a realidade física da área estudada. Além disso, essas ferramentas minimizaram a subjetividade das análises em campo, garantindo uma abordagem técnica apropriada.

Outro estudo sobre a mesma temática foi desenvolvido por PESSOA NETO, Barbosa e

Faustino (2019) na região ao redor da Lagoa Olho d'Água, localizada no município de Jaboatão dos Guararapes do estado de Pernambuco (PE). Através de uma análise multitemporal da cobertura do solo entre 1974 e 2016, os pesquisadores puderam avaliar a dinâmica de ocupação do entorno da lagoa utilizando produtos de aerofotogrametria e geoprocessamento (Figura 10).

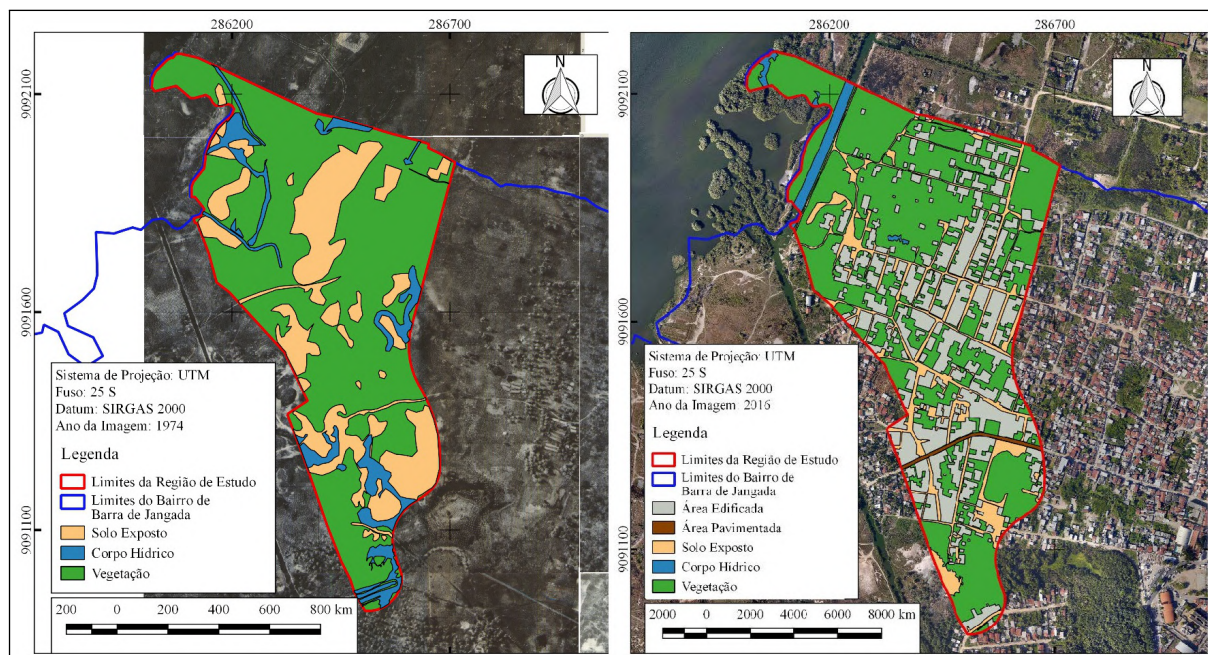
Figura 10: Mapas com ortofotocartas comparativas da região em Jaboatão dos Guararapes entre os anos de 1974 e 2016.



Fonte: PESSOA NETO, Barbosa e Faustino (2019).

A região de estudo possui 41,28 ha de área e é uma Zona de Conservação de Corpos d'água (ZCA) definida na Lei de Uso, Ocupação e Parcelamento do Solo do Município (Lei Nº 972/2013). Os mapas comparativos foram elaborados utilizando ortofotocartas cedidas pela Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco (CONDEPE/FINDEM) e pela Prefeitura Municipal de Jaboatão dos Guararapes (PMJG) para os anos de 1974 e 2016, respectivamente. O processamento e a análise espacial dos produtos aerofotogramétricos foram executados no ambiente SIG do software QGIS© (Versão 2.18.22). A base de dados foi estruturada sob o Sistema de Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), referenciada ao Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000) — o DATUM oficial da cartografia brasileira —, especificamente no fuso 25S, garantindo a fidedignidade posicional e a interoperabilidade dos dados geoespaciais.

Figura 11: Mapa comparativo da classificação do solo realizada na região Jaboatão dos Guararapes entre os anos de 1974 e 2016.



Fonte: PESSOA NETO, Barbosa e Faustino (2019).

A partir do mapeamento da região utilizando um software de SIG (Figura 11) foi possível extrair valores quantitativos sobre o uso e ocupação do solo, obtendo assim um panorama sobre as transformações ocorridas no período de estudo, principalmente no tange as ações antrópicas (Figura 12).

Figura 12: Taxas de ocupação do solo em 1974 (esquerda) e 2016 (direita).

Uso	Área (ha)	Taxa Percentual (%)
Área Edificada	0,000	0,000
Área Pavimentada	0,000	0,000
Corpo Hídrico	3,526	8,542
Solo Exposto	10,289	24,924
Vegetação	27,466	66,534
Total	41,281	100,000

Uso	Área (ha)	Taxa Percentual (%)
Área Edificada	14,011	33,941
Área Pavimentada	0,239	0,579
Corpo Hídrico	0,858	2,078
Solo Exposto	5,436	13,168
Vegetação	20,737	50,234
Total	41,281	100,000

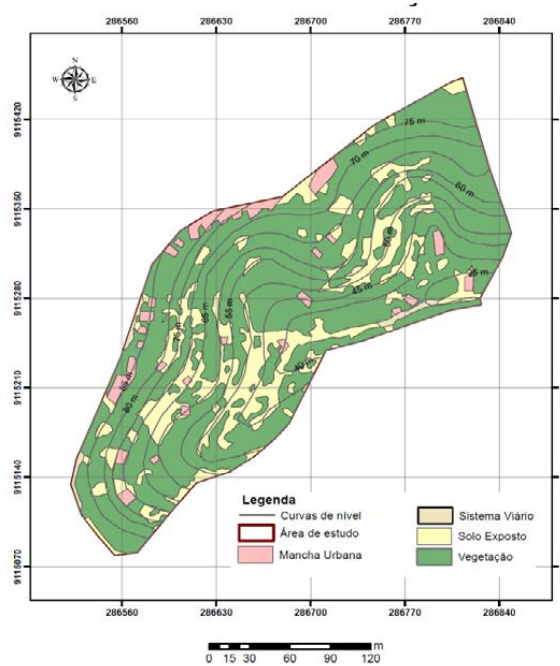
Fonte: PESSOA NETO, Barbosa e Faustino (2019).

A análise multitemporal abrangendo quatro décadas revelou uma expansão de 34,52% nas áreas urbanizadas, partindo de um cenário de ocupação nula para a configuração atual. Esse crescimento ocorreu de forma concomitante à supressão de 16,3% da cobertura vegetal nativa, que apresentou um declínio de 66,53% para 50,53% em relação à área total estudada.

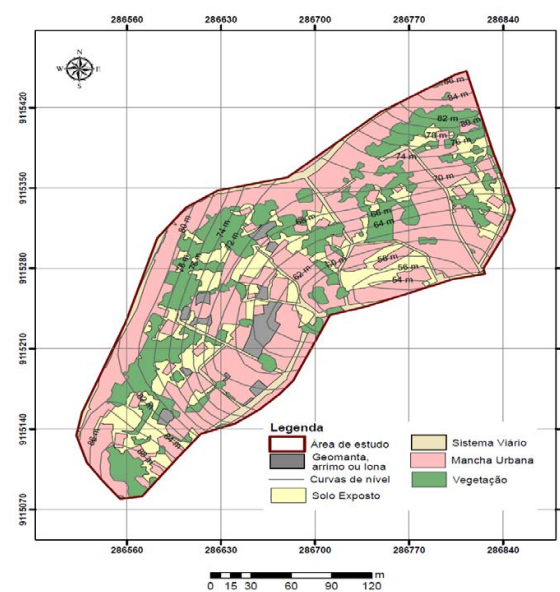
Analogamente, Silva et al. (2023) conduziram uma análise temporal das ocupações desordenadas no bairro Nova Descoberta, em Recife (PE), visando diagnosticar a evolução dos assentamentos informais e a suscetibilidade a riscos ambientais entre 1975 e 2018. Mediante

o emprego de geotecnologias, incluindo o processamento de registros aerofotogramétricos, ortomosaicos e técnicas de vetorização no ambiente SIG, os autores quantificaram uma expansão exponencial de 1.119% na mancha urbana. Esse crescimento acelerado ocorreu de maneira concomitante à supressão de 68,54% da cobertura vegetal nativa, evidenciando um severo processo de degradação ambiental e alteração na dinâmica morfológica da área estudada (Figura 13).

Figura 13: Mapas de ocupação territorial de uma encosta no bairro Nova Descoberta (Recife - PE).



(a) 1975.



(b) 2018.

Fonte: Silva et al. (2023).

São diversos os casos que citam a utilização das geotecnologias para aferir mudanças de uso e ocupação do solo, sendo de grande importância para estudos em contextos de ocupação recente ou expansão periférica. Este trabalho serve como paralelo direto à área de estudo: em contextos amazônicos, a expansão desordenada normalmente implica em degradação ambiental e perda de áreas verdes, fatores estes que agravam problemas como drenagem insuficiente, alagamentos, erosão do solo, deslizamentos de maciços, entre outros fenômenos.

Nesse panorama, a obtenção de dados espaciais com elevado nível de detalhamento torna-se um diferencial crítico para a gestão de cidades que apresentam dinâmicas de crescimento não planejadas. Enquanto imagens de satélite convencionais oferecem uma visão macro das alterações territoriais, o emprego de levantamentos aerofotogramétricos por ARPs permite uma análise em escala micro, capaz de identificar com precisão centimétrica a densidade de edificações, a impermeabilização do solo e a pressão sobre áreas de preservação permanente (APPs). Essa capacidade de detalhamento é fundamental para a elaboração de diagnósticos técnicos, uma vez que possibilita a distinção clara entre tipologias de ocupação e a infraestrutura existente, fornecendo uma base cartográfica fidedigna que substitui levantamentos defasados e com baixa resolução, ao mesmo tempo que subsidia intervenções de engenharia mais eficazes e adaptadas à realidade física do terreno.

3 METODOLOGIA

O procedimento de análise das expansões urbanas evidenciadas consistiu essencialmente na utilização conjunta de aerofotogrametria digital e vetorização de dados espaciais, além de fotografias convencionais. Essas ferramentas possibilitaram a geração de ortomosaicos de alta resolução, modelos digitais de superfície, modelos digitais de terreno, nuvem densa de pontos (Dense Cloud), feições geométricas, mapas explicativos, entre outros produtos utilizados para a identificação de padrões de ocupação, relevo e impactos antropogênicos com elevado rigor técnico. O fluxo de trabalho contou com o processamento de imagens de drone utilizando o Agisoft Metashape© (Versão 1.8.0 trial) e a análise multiespacial no QGIS© (Versão 3.44.3 - Solothurn) (Figura 14). Ambos foram ferramentas utilizadas para realizar a organização do projeto, integração das informações provenientes dos voos da ARP e construção dos produtos cartográficos derivados.

Figura 14: Softwares utilizados para processamento, análise e interpretação de fotos e dados espaciais.



Fonte: AGISOFT (2021) e QGIS (2025).

A integração entre dados aerofotogramétricos e ferramentas de geoprocessamento garantiu a convergência de informações e forneceu uma abordagem técnica robusta, essencial para compreender as dinâmicas físicas, sociais e ambientais da localidade, além de fornecer subsídios técnicos que podem ser utilizados para elaboração de estratégias de planejamento urbano condizentes com as vulnerabilidades ambientais locais. A escolha da abordagem metodológica deste trabalho fundamenta-se na necessidade de superar as limitações dos levantamentos cartográficos convencionais frente à dinâmica acelerada de ocupação do solo.

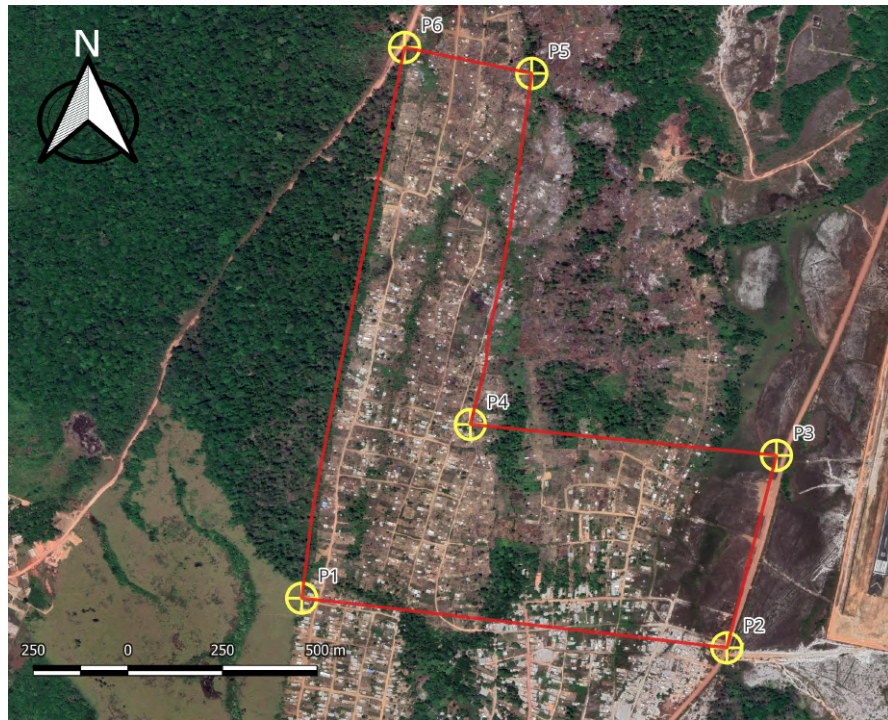
A coleta e o processamento de dados geoespaciais deste estudo foram realizados sob o escopo metodológico do projeto TEDPLAN/UNIFAP. A utilização de ARPs em conjunto com softwares de processamento fotogramétrico (Agisoft Metashape©) e de geoprocessamento (QGIS©) alinha-se às diretrizes do projeto de modernizar a gestão territorial nos municípios amapaenses. Ao aplicar essas ferramentas na área de expansão de Oiapoque, a pesquisa gera produtos cartográficos, integrando-se aos esforços do TedPLAN para fundamentar intervenções de engenharia civil e políticas de saneamento básico em regiões caracterizadas por isolamento geográfico e acelerado crescimento desordenado.

3.1 Caracterização da área de estudo

A região objeto deste estudo compreende o perímetro urbano do município de Oiapoque, localizado no extremo norte do estado do Amapá, na fronteira com a Guiana Francesa,

delimitado pelos pontos P1 a P6, que compreendem os limites físicos dos voos realizados para obtenção das fotografias utilizadas neste trabalho (Figura 15). Geograficamente, a região está inserida no fuso 22 Norte da projeção UTM, adotando-se como referencial geodésico o SIRGAS 2000, conforme os padrões da cartografia oficial brasileira. Possui área total estimada em $940.864,40 \text{ m}^2$ e aproximadamente $5.232,15 \text{ m}$ de perímetro.

Figura 15: Área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

As coordenadas dos pontos delimitadores são exibidas na Tabela 1.

Tabela 1: Coordenadas geográficas dos vértices da área de estudo.

Vértice	Este (m)	Norte (m)
P1	409817,180745	425257,364594
P2	410939,933565	425126,484363
P3	411070,980973	425634,469127
P4	410262,316525	425716,426463
P5	410424,866611	426643,146530
P6	410088,615602	426711,655942

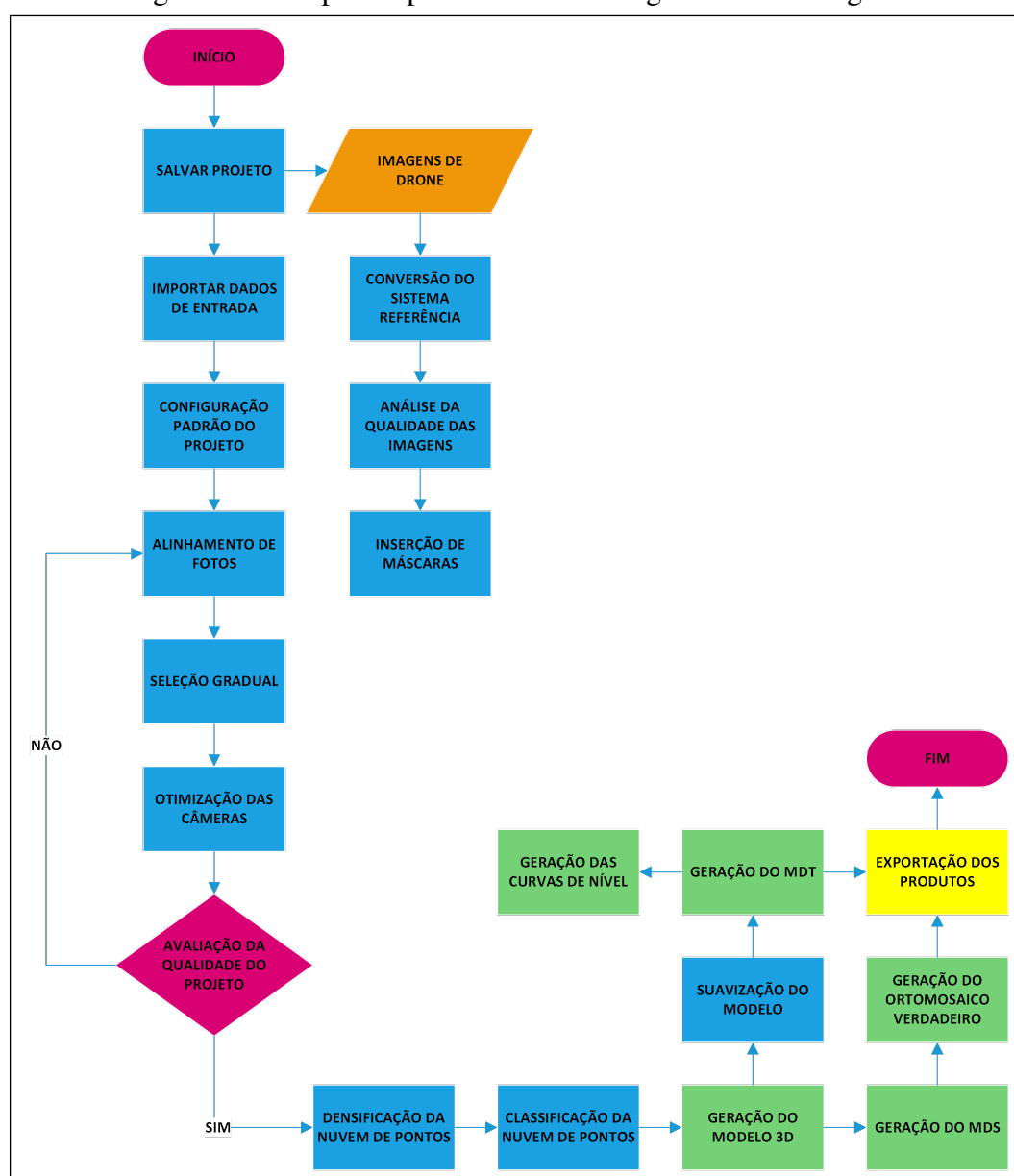
Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

3.2 Processamento fotogramétrico

As imagens utilizadas neste trabalhos foram cedidas em julho de 2025 pelo projeto Ted-PLAN, coordenado por Cunha et al. (2026), após uma campanha de três voos sobre a região

de estudo. O projeto visa capacitar os municípios no estado do Amapá com menos de 50.000 mil habitantes para a elaboração de Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB). Para exemplificar as etapas executadas durante processamento fotogramétrico realizado, foram selecionadas apenas as imagens do 2º voo para serem exibidas neste capítulo e, posteriormente, foi exibido o resultado conjunto do processamento dos três voos que compõem a área de estudo. A partir desta etapa, procedeu-se à execução sistemática do fluxo de trabalho detalhado na Figura 16, abrangendo desde a criação do arquivo até a geração dos produtos de maior interesse (Ortomosaicos, MDT e MDS). O rigor nas fases descritas garantiu a integridade dos dados e a fidelidade dos produtos cartográficos gerados.

Figura 16: Fluxograma das etapas de processamento fotogramétrico no Agisoft Metashape©.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

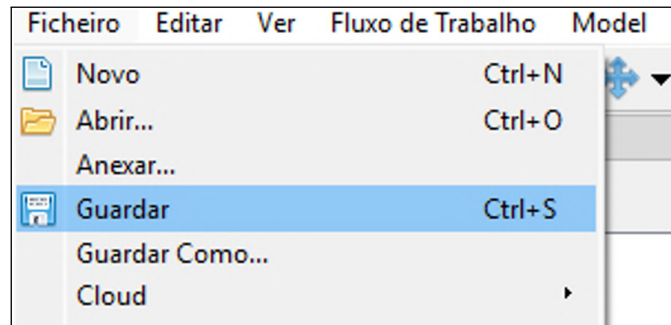
Todo o fluxo de trabalho no Agisoft Metashape© pode ser sintetizado de acordo com o

seguinte encadeamento sequencial:

1. Adição das imagens ao projeto: Começamos importando as imagens capturadas pelo drone para o Agisoft Metashape©. Essas imagens servirão como base de dados para todos os produtos que serão gerados.
2. Ajuste do sistema de coordenadas: É fundamental definir o sistema de coordenadas correto para o projeto. Isso garante que todas as medições sejam consistentes e alinhadas com a realidade geográfica.
3. Configuração do projeto: Nesta etapa são definidos os parâmetros de precisão e acurácia que serão utilizados durante o processamento.
4. Alinhamento das imagens: Nesta etapa, o Agisoft Metashape© busca pontos em comum nas imagens e as combina em pontos de ligação. O objetivo é criar uma nuvem de pontos que represente a superfície do terreno.
5. Densificação da nuvem de pontos: O software calcula a posição tridimensional de cada ponto na nuvem. Isso resulta em uma nuvem densa que representa toda a área sobrevoada. Durante esta etapa é verificado a presença de valores atípicos que destoam do modelo (*Outliers*).
6. Avaliação do projeto: Neste momento que é verificado a qualidade e consistência dos dados processados. Se o resultado até aqui for satisfatório o fluxo de trabalho é continuado. Em caso contrário, é realizada a reavaliação dos dados processados.
7. Geração do modelo 3D e Ortomosaico: Com base na nuvem de pontos densa, o software cria o modelo 3D. Além disso, é gerado o ortomosaico, que é uma imagem ortogonal corrigida em escala.
8. Curvas de nível e demais produtos: A partir do MDT são geradas as curvas de nível, elemento chave para compreender o relevo da área estudada. A partir do MDS, podemos gerar modelos texturizados para melhor visualização da área de estudo. Também pode ser realizada a reconstrução tridimensional da área com qualidade similar ao campo, porém, demanda mais processamento computacional.

O processo tem início com a abertura e o salvamento do arquivo do projeto, etapa fundamental para assegurar a organização do ambiente de trabalho e permitir o registro progressivo das camadas, parâmetros e ajustes do sistema de coordenadas (Figura 17).

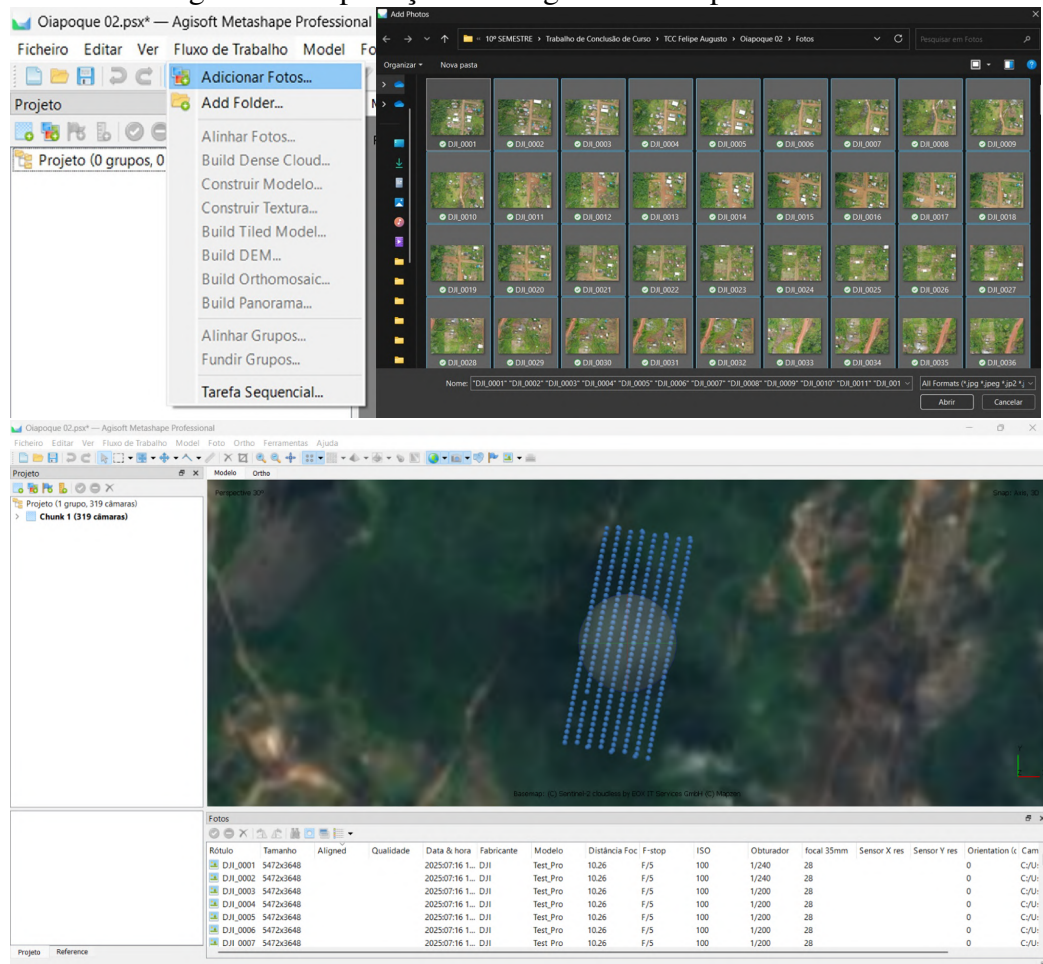
Figura 17: Salvamento do projeto fotogramétrico.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Em seguida, realizou-se a seleção e importação das imagens capturadas pela ARP, que passam a compor o banco de dados utilizado no processamento fotogramétrico (Figura 18).

Figura 18: Importação de imagens obtidas por ARP.

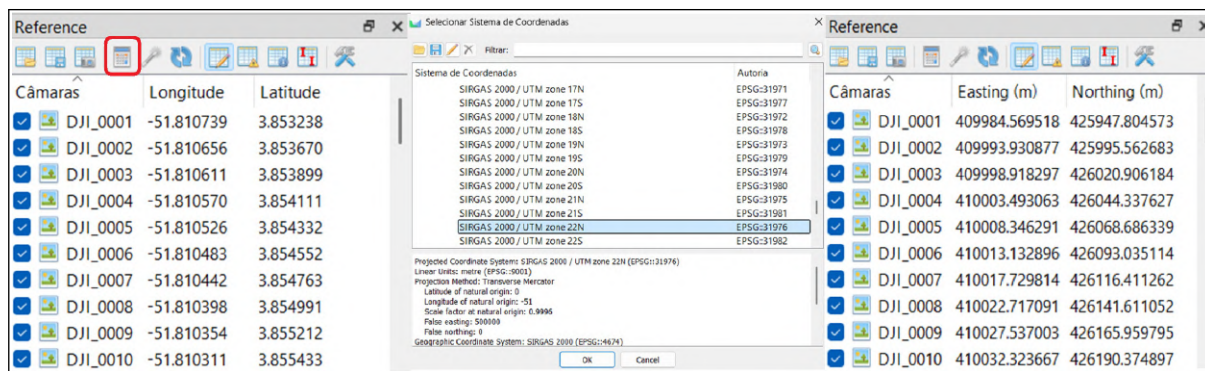


Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Feito isso foi realizada a conversão das coordenadas presentes no log de voo. Após a leitura das informações brutas, foi identificado que o DATUM utilizado no voo apresentava coordenadas projetadas não compatíveis com o padrão cartográfico nacional, estando configu-

rado em World Geodetic System 1984 (WGS 84). Foi então realizada a correção para SIRGAS 2000 com fuso 22N para precisão posicional e padronização entre todas as camadas geográficas (Figura 19).

Figura 19: Conversão das coordenadas de voo.



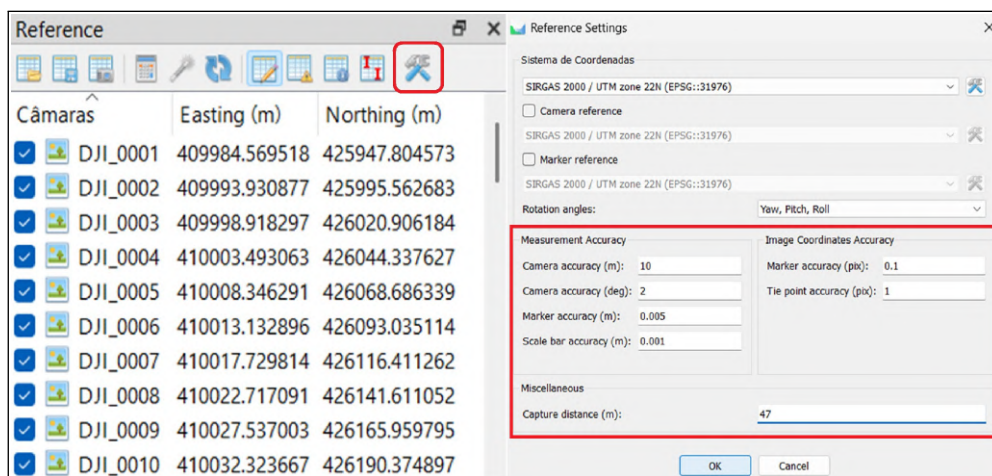
Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Após a compatibilização das coordenadas foram estabelecidos os parâmetros de precisão para prosseguir com o processamento. Os principais campos a serem preenchidos desta etapa são:

- Camera accuracy (m): Valor médio da precisão do GPS embarcado no Drone (O drone utilizado nos voos foi o DJI Mavic 2 Pro).
- Camera accuracy (deg): Valor médio da precisão do sistema inercial embarcado.
- Marker accuracy (m): Valor médio do erro nas coordenadas dos pontos de apoio.
- Marker accuracy (pix): Usar 0,1 ou 0,5 (O separador decimal do software é um ponto simples).
- Tie point accuracy (pix): Usar 1.
- Capture distance (m): Altitude média do Terreno (obtida através da média altimétrica dos pontos de apoio ou através do Google Earth®).

Os valores utilizados em cada campo são exibidos na Figura 20.

Figura 20: Definição dos parâmetros de projeto.

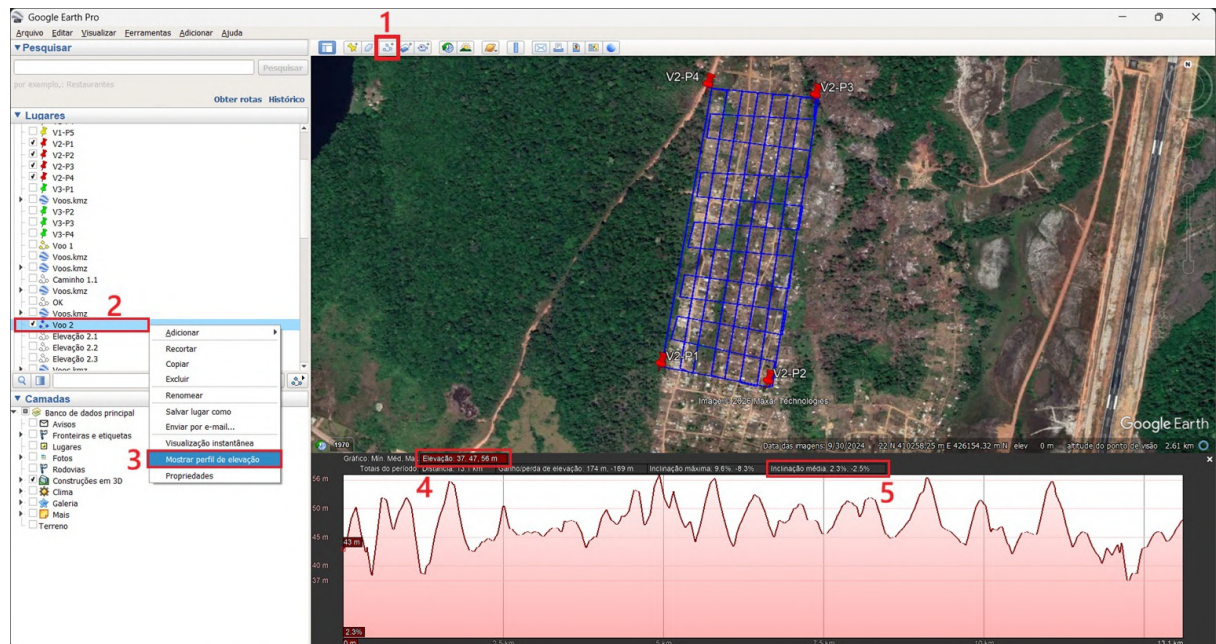


Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Como não houve a obtenção de pontos de apoio durante o voo da ARP, a altitude média do terreno foi determinada através no Google Earth Pro© (Figura 21). O procedimento seguindo foi:

1. Traçar um caminho arbitrário ao longo da área de voo e identificá-lo (Voos);
2. Selecionar o caminho criado na aba de Lugares;
3. Exibir o perfil de elevação do caminho traçado;
4. Utilizar o valor médio da elevação obtido. Neste perfil, o valor obtido é 47 m. Em razão da ausência de pontos de apoio, deve-se analisar de forma iterativa se este valor é adequado para o processamento e ir adaptando conforme se obtém melhores resultados. Para este estudo, o valor obtido na primeira tentativa foi adequado;
5. Os valores de inclinação média devem ser armazenados para as próximas etapas.

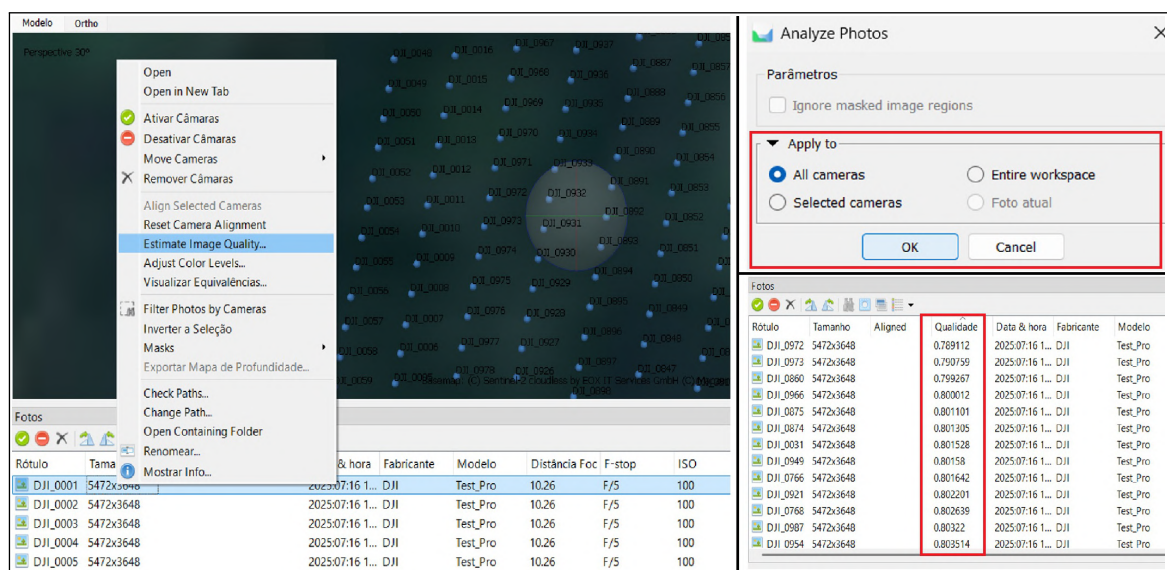
Figura 21: Obtenção dos parâmetros de processamento por meio do Google Earth Pro®.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

O próximo passo é avaliar a qualidade das imagens que foram importadas para o processamento (Figura 22). Aqui verifica-se a qualidade geral e eliminam-se as que apresentarem valores inferiores a 0,65 para manter a fidelidade dos dados em um nível coerente com o que foi capturado pela ARP. Para todos os fins do presente trabalho, convém informar que termo “cameras” apresentado no software pode ser entendido como sinônimo de imagens, exceto onde for indicado.

Figura 22: Verificação da qualidade das imagens.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

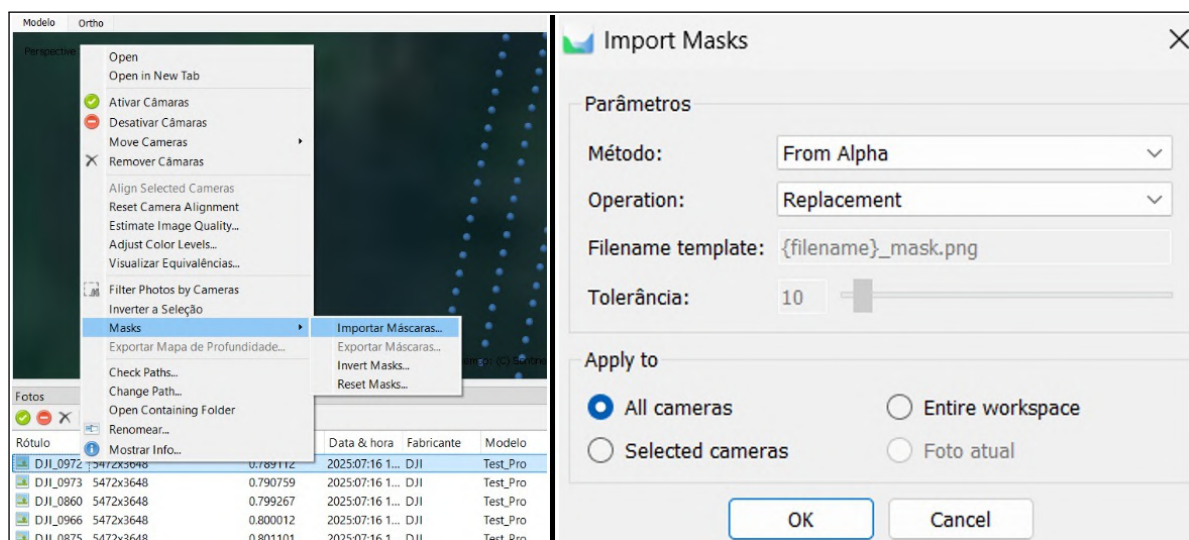
Como o menor valor qualitativo foi de 0,79, o processamento prosseguiu para a próxima

etapa, que consistiu na inserção de máscaras para isolar as áreas homogêneas (vegetação, solo, etc) da imagem e otimizar o tempo de processamento. O software avalia as imagens e cria as máscaras nas chamadas “áreas de confusão”, que durante o processamento são ignoradas na criação de pontos homólogos para não confundir o programa e gerar reconstruções incorretas. As máscaras são essenciais em três momentos:

- Na etapa de alinhamento, onde restringem as áreas de confusão.
- Na identificação de áreas homogêneas.
- Na densificação da nuvem de pontos, onde o software usa essas máscaras para melhorar o Mapa de Profundidade.

Seguindo as orientações do manual do usuário Agisoft LLC (2024), no campo de [Método] foi selecionada a opção [From Alpha] (A Banda Alfa está presente em todas as imagens, mas não vemos). Em [Operation] foi selecionada a opção [Replacement]. Essas configurações são necessárias para que o software gere as máscaras necessárias, insira essas informações na Banda Alfa e substitua qualquer máscara que já exista nas imagens.

Figura 23: Inserção de máscaras no processamento.

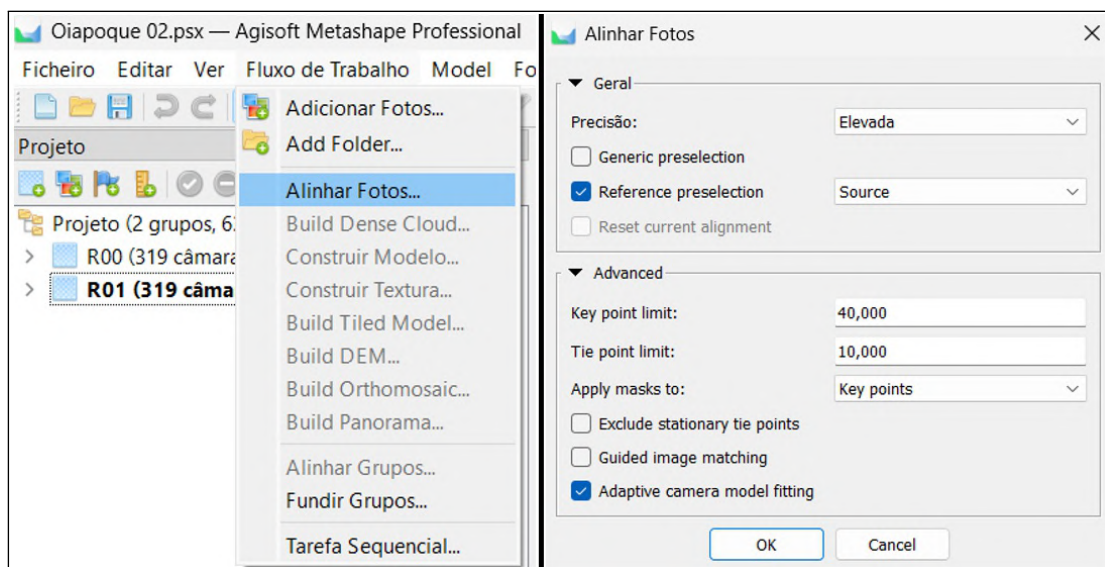


Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Após aplicar as configurações em todas as cameras (Figura 23), encerrou-se a etapa de inserção dos inputs necessários para iniciar o processamento computacional mais pesado.

O próximo passo foi executar o alinhamento das imagens, etapa onde o programa realiza o processo de aerotriangulação, detecção dos pontos homólogos (pontos semelhantes ou tie points) de cada imagem e detecção de pontos homólogos entre as imagens com sobreposição em comum (Figura 24).

Figura 24: Alinhamento de fotos.



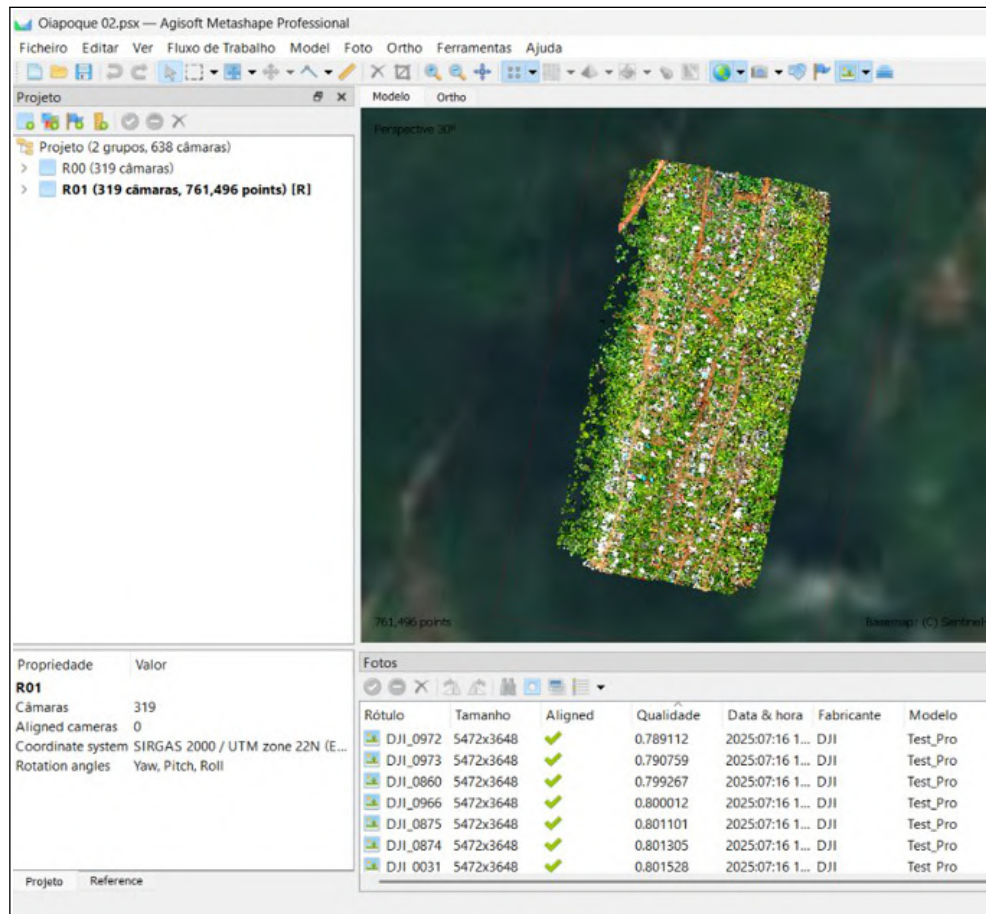
Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Este alinhamento é utilizado como base dos produtos cartográficos gerados, portanto, precisa de elevados níveis de precisão e acurácia. De modo a garantir o nível de confiabilidade necessário para prosseguir com o processamento de dados, é necessário configurar os campos de alinhamento com os seguintes parâmetros:

- A [**Precisão**] está relacionada com a busca dos pontos homólogos, pixel a pixel entre as imagens com sobreposição em comum. Neste exemplo ela foi configurada como [**Elevada**].
- A Pré-seleção de pares tem relação com o Log de voo. Quando se tem informações do Log de voo, utiliza-se [**Reference**]. Se não houver informações, utiliza-se [**Generic**].
- O parâmetro [**Key points**] é configurado conforme valor previsto no manual do Agisoft Metashape© de 40.000 (quarenta mil).
- O parâmetro [**Tie points**] (pontos homólogos) é a materialização das coordenadas do terreno. Esses pontos são utilizados pelo software para fazer a mosaicagem das ortofotos. É configurado conforme manual do Agisoft Metashape© de 10.000 (dez mil).
- No item [**Apply masks to**] clique na opção [**Key points**] para utilizar as máscaras que foram criadas nas imagens.
- O campo [**Adaptive câmera model fitting**] é mantido selecionado para utilizar as características do sensor com o intuito de melhorar os resultados do processamento.

O resultado obtido foi uma nuvem de 761.496 pontos.

Figura 25: Resultado do alinhamento de fotos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

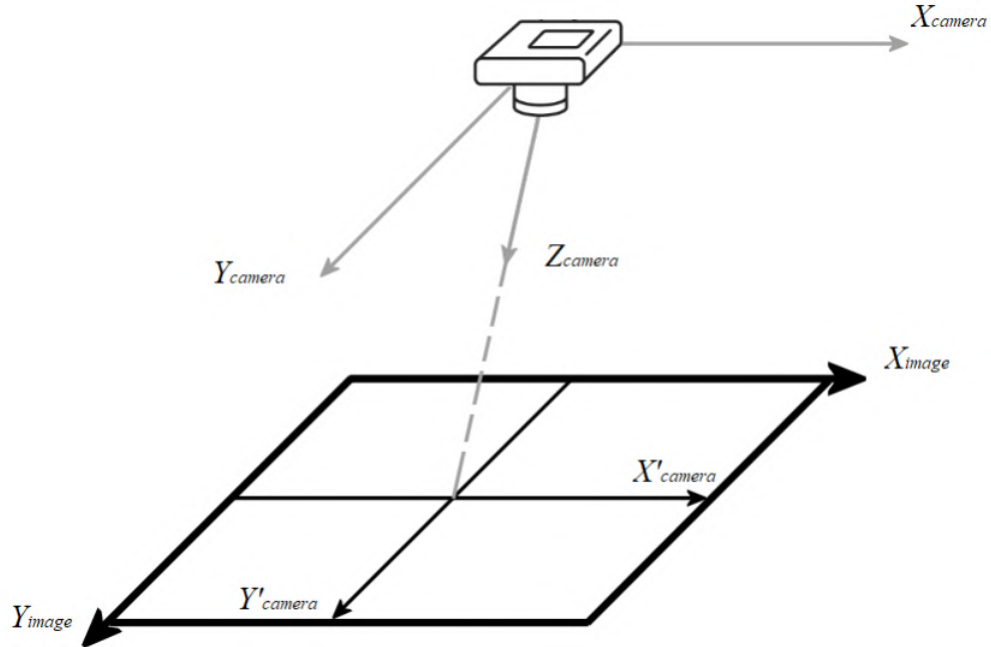
Para garantir que o alinhamento tenha ocorrido com sucesso, foi verificado se havia fotos não alinhadas através do campo **Aligned**, no qual foi observado que todas as imagens foram corretamente alinhadas. Desalinhamentos de fotos podem ser ocasionados devido a áreas homogêneas (água, eucalipto, floresta, lavoura) que foram sobrevoadas com uma baixa altitude, gerando sobreposição insuficiente entre imagens e perdendo registros.

Em seguida, procedeu-se com a otimização das imagens capturadas, momento em que foi determinado os valores de calibração da câmera no ajustamento das coordenadas. Para isso, o Agisoft Metashape© suporta diversos modelos paramétricos de distorção de lente e todos os modelos assumem uma câmera de projeção central.

Um modelo matemático de uma câmera define a projeção perspectiva que mapeia as coordenadas tridimensionais do sistema de referência local da câmera (X_{camera} , Y_{camera} , Z_{camera}) para o plano bidimensional (X_{image} , Y_{image}) da imagem. Esse processo de transformação é determinado pelos parâmetros intrínsecos — como a distância focal e o ponto principal — e extrínsecos que estabelecem a relação geométrica entre o objeto no espaço e sua representação digital no quadro de pixels. O sistema local de coordenadas da câmera tem origem no centro de projeção. O eixo Z_{camera} aponta para a direção de visualização, o eixo X_{camera} aponta para a

direita e o eixo Y_{camera} é perpendicular a X_{camera} (Figura 26).

Figura 26: Sistemas de coordenadas de imagens.



Fonte: Agisoft LLC (2024).

O sistema de coordenadas da imagem tem origem no meio do pixel superior esquerdo com coordenadas (0.5, 0.5). O eixo X_{image} no sistema de coordenadas da imagem aponta para a direita, o eixo Y_{image} é ortogonal a X_{image} . As coordenadas da imagem são medidas em pixels. As seguintes definições são empregadas nas equações utilizadas para realizar a conversão das coordenadas geográficas brutas para o ambiente digital:

- $X_{camera}, Y_{camera}, Z_{camera}$: Coordenadas do ponto no sistema de coordenadas da câmera local.
- X_{image}, Y_{image} : Eixos do sistema de coordenadas da imagem.
- X'_{camera}, Y'_{camera} : Coordenadas do ponto projetado no sistema de coordenadas da imagem, em pixels.
- f : Distância focal, em pixels.
- c_x, c_y : Deslocamento do ponto principal, em pixels.
- k_1, k_2, k_3, k_4 : Coeficientes de distorção radial (adimensional).
- p_1, p_2 : Coeficientes de distorção tangencial (adimensional).
- b_1, b_2 : Coeficientes de afinidade e não ortogonalidade (assimetria), em pixels.

- w, h : Largura e altura da imagem, em pixels.

Para o voo ortogonal realizado na área de estudo, as seguintes transformações de coordenadas foram executadas dentro do software:

$$x = \frac{X_{camera}}{Z_{camera}} \quad (1)$$

$$y = \frac{Y_{camera}}{Z_{camera}} \quad (2)$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (3)$$

$$x' = x(1 + k_1r^2 + k_2r^4 + k_3r^6 + k_4r^8) + (p_1(r^2 + 2x^2) + 2p_2xy) \quad (4)$$

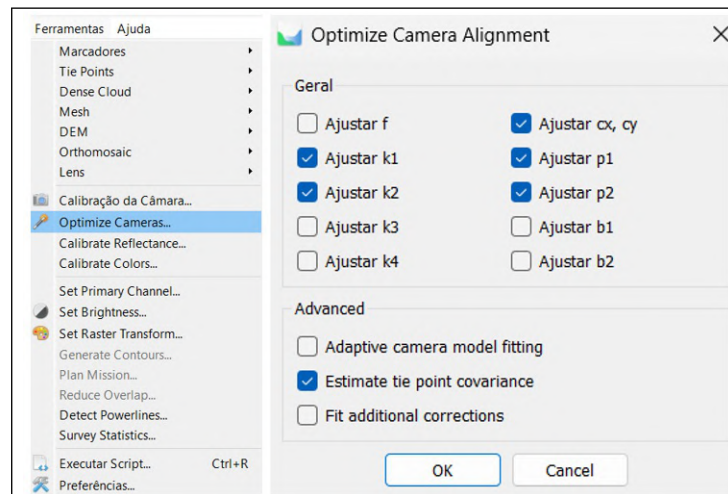
$$y' = y(1 + k_1r^2 + k_2r^4 + k_3r^6 + k_4r^8) + (p_1(r^2 + 2y^2) + 2p_2xy) \quad (5)$$

$$X'_{camera} = \frac{w}{2} + c_x + x'f + x'b_1 + y'b_2 \quad (6)$$

$$Y'_{camera} = \frac{w}{2} + c_y + y'f \quad (7)$$

A calibração fotogramétrica das câmeras foi realizada automaticamente pelo software. No entanto, a depender do tipo de voo que será realizado, isto é, de acordo com o produto aerofotogramétrico que se deseja obter, os parâmetros de calibração das câmeras podem ser definidos previamente de forma manual (Figura 27).

Figura 27: Otimização de câmeras.



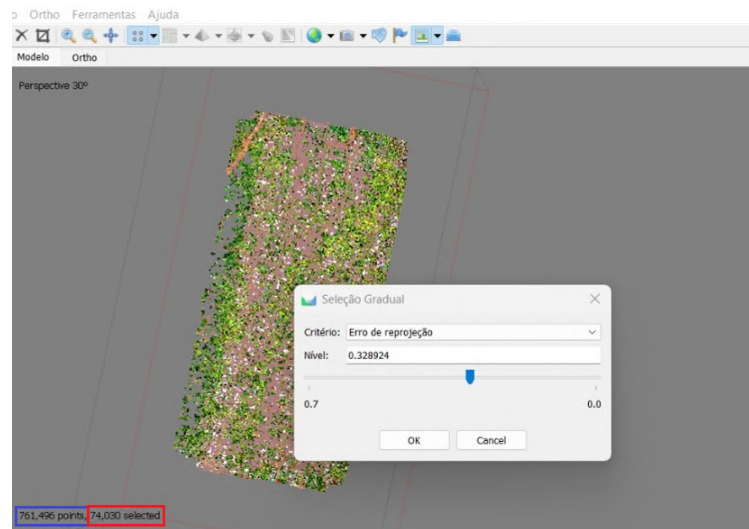
Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

O campo [**Estimate tie point covariance**] também foi selecionado pois auxilia no processo de análise qualitativa dos produtos gerados. A próxima etapa foi iniciar o processo de seleção gradual dos tie points produzidos no alinhamento das fotos. O intuito da filtragem é eliminar a alta quantidade de ruídos que podem interferir na representação geométrica das imagens. Na aba [**Model**] foi selecionada a opção [**Seleção Gradual**]. Os critérios e valores utilizados nesta seleção foram:

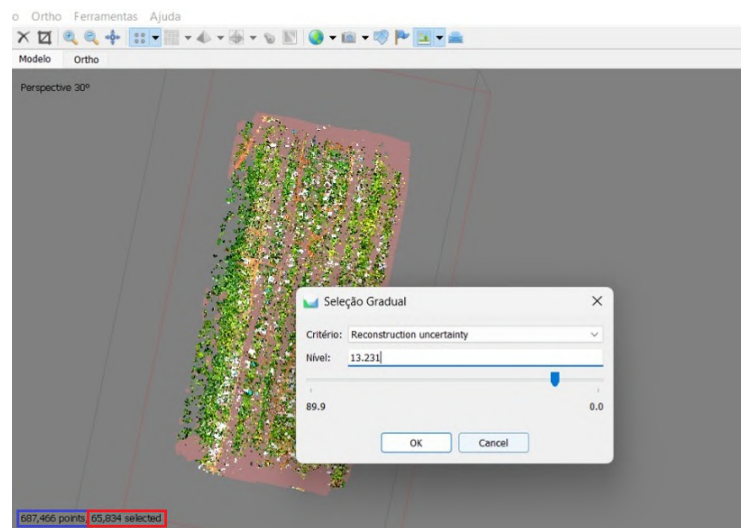
- Erro de reprojeção: Parâmetro que mede a diferença entre a posição detectada de um ponto na imagem e sua posição estimada por um modelo de calibração. Foi adotado como critério que 10% dos pontos existentes possuíssem erros desta natureza;
- Reconstrução incerta: Remover estes pontos pode ser útil na construção da nuvem de pontos, principalmente nas regiões de sobreposição de imagens. Foi utilizado critério de 10%;
- Precisão da projeção: Este critério permite filtrar pontos cujas projeções foram relativamente deficientes. Foi utilizado o valor 15 como critério de seleção, conforme recomendação do manual do Agisoft Metashape©.

A sequência de seleções e filtragem é realizada de forma manual sob e pode ser verificada na Figura 28.

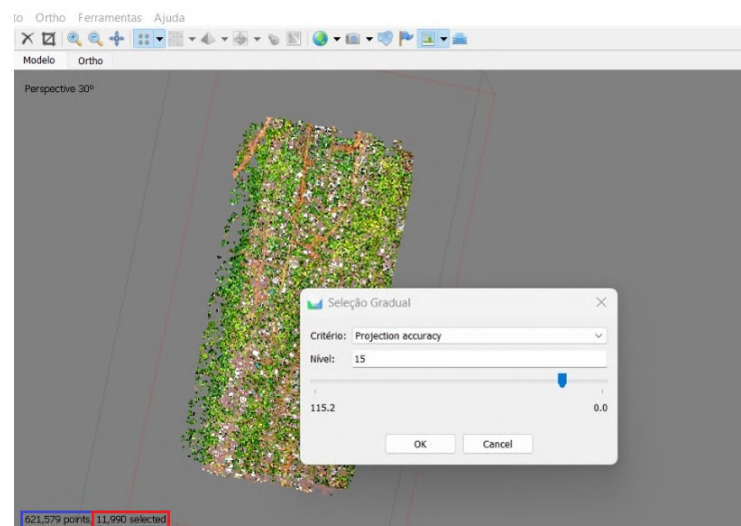
Figura 28: Etapas de remoção gradual de pontos.



(a) Seleção e remoção de pontos com erros de reprojeção.



(b) Seleção e remoção de pontos de reconstrução incerta.



(c) Seleção e remoção de pontos de baixa acurácia.

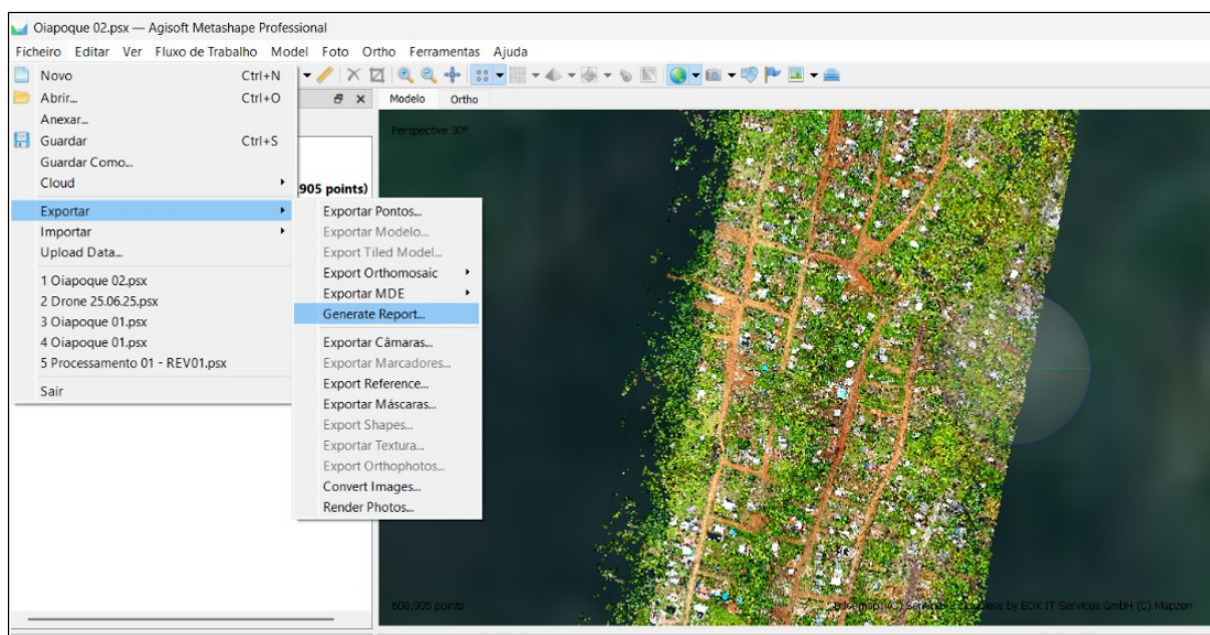
Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A próxima etapa foi a avaliação da qualidade do projeto com o intuito de verificar os parâmetros básicos, resultados do processamento e analisar a precisão obtida até esta etapa (Figura 29). O relatório fornecido pelo Agisoft Metashape© contém:

- Esboço do ortomosaico;
- Dados de pesquisa, incluindo a área de cobertura, altitude de voo, Ground Sample Distance (GSD), informações gerais da câmera e estatísticas de sobreposição;
- Resultados da calibração da câmera (Figuras e uma ilustração para cada sensor envolvido no projeto);
- Estimativas de erros de posicionamento e orientação da câmera;
- Estimativas de erros nos pontos de controle e verificação em solo;
- Barras de escala que representam as distâncias estimadas e os erros de medição;
- Esboço de modelo digital de elevação com informações de resolução e densidade de pontos; e
- Parâmetros de processamento utilizados em cada etapa do projeto.

Cada voo realizado contou com um relatório de avaliação de qualidade. Os relatórios completos de todos os processamentos para os demais voos executados pelo projeto TED-PLAN estão nos apêndices deste documento.

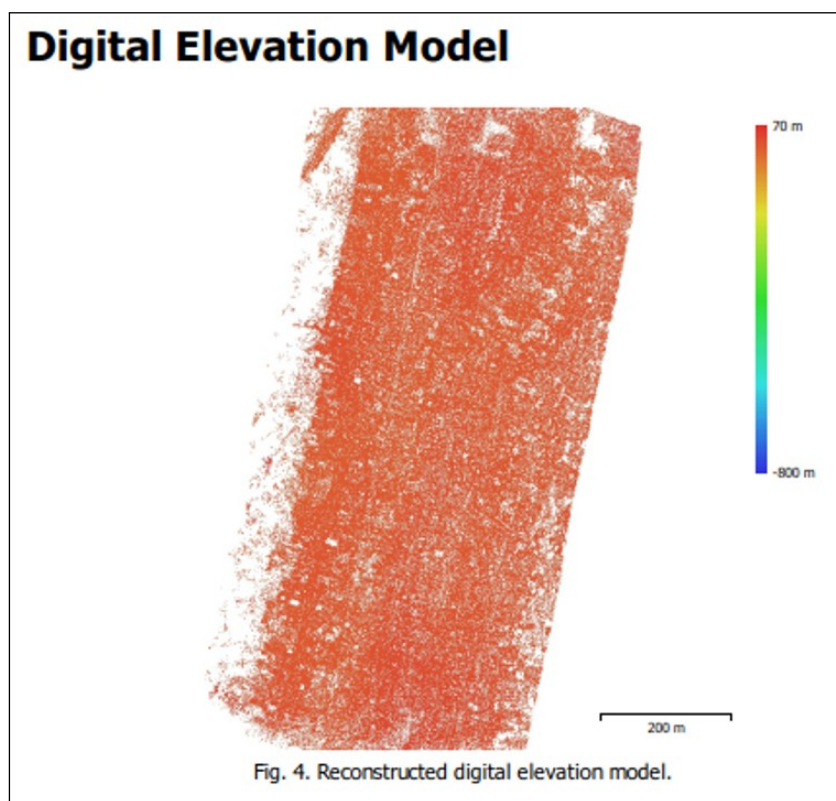
Figura 29: Geração do relatório de avaliação do projeto.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Durante análise do relatório referente ao 2º voo, foi observado uma representação anômala no Modelo Digital de Elevação (Do inglês, *Digital Elevation Model* ou DEM) mostrado na página 5 do APÊNDICE B (Figura 30).

Figura 30: DEM gerado no relatório de processamento.

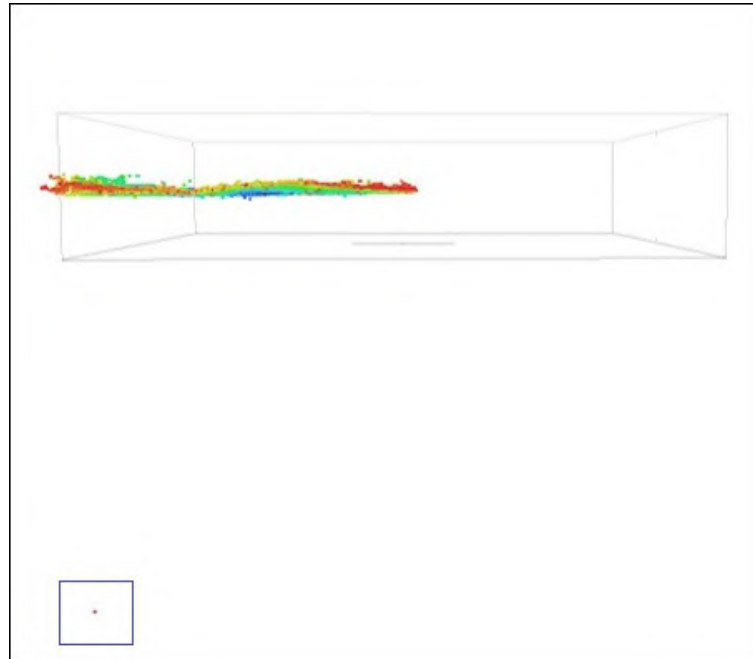


Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A faixa de valores exibida na barra de escala variou de -800 m a 70 m em relação ao local de início do voo revelou-se inconsistente com a morfologia acidentada observada *in loco*. Tal discrepância indicou a presença de ruídos e outliers que comprometiam a integridade geométrica do modelo digital (Pontos de baixa confiabilidade geométrica que alteram a planialtimetria do modelo). Em campo foi evidenciado que o relevo é acidentado em alguns locais, porém, não o suficiente para justificar a amplitude desses valores. Tudo indicou que haviam pontos destoantes que estavam afetando o modelo gerado.

Para mitigar essas distorções, executou-se uma filtragem criteriosa por meio da visualização [Dense Cloud Confidence], habilitada pela opção [Estimate tie point covariance] criada na Figura 27, permitindo assim isolar e remover o único ponto espúrio de baixa confiabilidade que afetava a acurácia vertical do processamento e, por consequência, alterando o range de elevações para os limites superior e inferior de 48 m e 9 m, respectivamente (Figura 31).

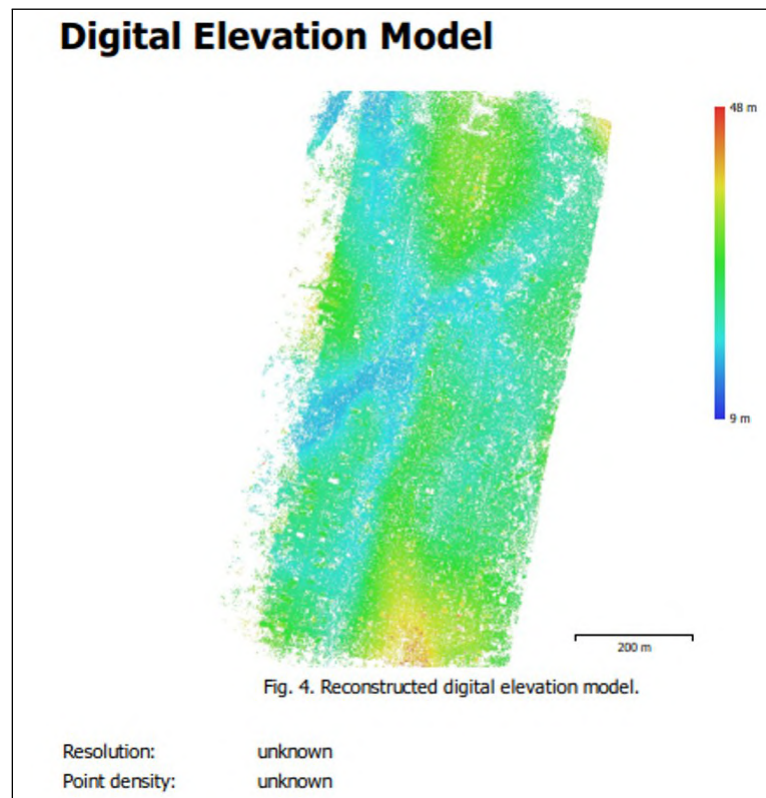
Figura 31: Detecção de outliers presentes no modelo digital.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Com a remoção dos pontos de interferência, o modelo passou a reproduzir com maior verossimilhança as variações altimétricas do terreno (Figura 32).

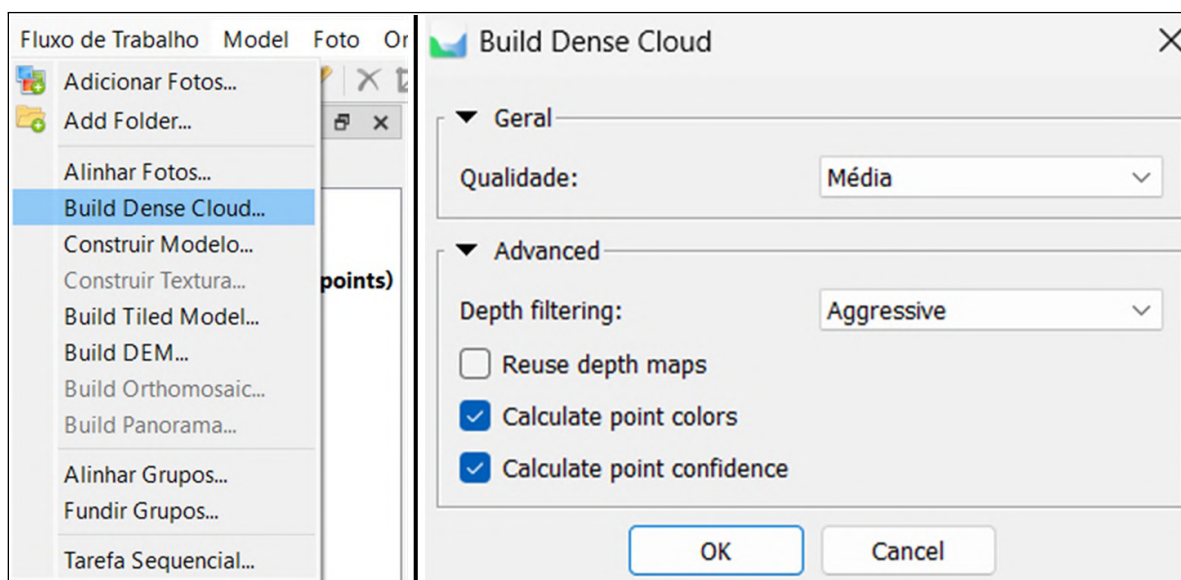
Figura 32: DEM gerada após remoção de outliers.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Com os dados, avançou-se para a etapa de densificação da nuvem de pontos (Figura 33), passo indispensável para gerar os produtos altimétricos. No campo [Depth filtering] foi utilizada a opção [Agressivo] para que o software pudesse processar as zonas com vegetação com maior precisão.

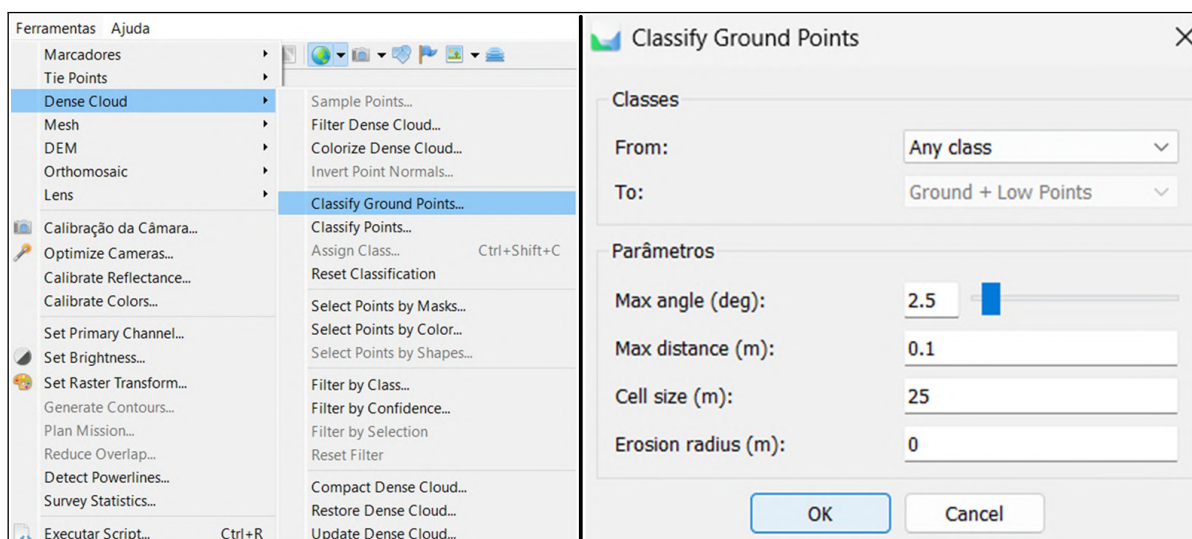
Figura 33: Geração da nuvem densa de pontos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Em seguida, realizou-se a classificação da nuvem densa (Figura 34), distinguindo automaticamente o terreno e elevações naturais ou artificiais. Este procedimento é necessário pois irá definir quais regiões serão utilizadas para produzir o MDS e o MDT.

Figura 34: Classificação dos pontos do terreno.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

O procedimento de classificação automática consiste em duas etapas. Na primeira etapa,

a nuvem de pontos é dividida em células de um determinado tamanho. Em cada célula, o ponto mais baixo é detectado. A triangulação desses pontos fornece a primeira aproximação do modelo de terreno.

Na segunda etapa, um novo ponto é adicionado à classe de terreno (Ground), desde que satisfaça duas condições: ele esteja a uma certa distância do modelo de terreno e que o ângulo entre o modelo de terreno e a linha que conecta esse novo ponto a um ponto da classe de terreno seja menor que um determinado ângulo. A segunda etapa é repetida enquanto ainda houver pontos a serem verificados.

Os parâmetros necessários para iniciar a classificação dos pontos são:

- Max angle (deg): Define a limitação para um ângulo entre o modelo de terreno e a linha que conecta o ponto em análise a um ponto de uma classe de solo. Para terrenos quase planos, recomenda-se usar o valor padrão de 15 graus para o parâmetro. É razoável definir um valor maior se o terreno contiver declives acentuados;
- Max distance (m): Define a limitação para uma distância entre o ponto em análise e o modelo do terreno;
- Cell size (m): Determina o tamanho das células em que a nuvem de pontos será dividida como etapa preparatória no procedimento de classificação de pontos de solo. O tamanho da célula deve ser indicado em relação ao tamanho da maior área dentro da cena que não contém nenhum ponto de solo, por exemplo, um edifício ou uma região com vegetação; e
- Erosion radius (m): Determina o espaçamento (em metros) a partir de pontos não classificados para criar uma área adicional ao redor do objeto. É útil na classificação de casas e árvores para excluir os “tocos” restantes na construção do MDT.

O resultado obtido é exibido na Figura 35, em que o terreno é apresentado como regiões de cor marrom, enquanto os demais pontos elevados são representados pelas regiões de cor branca. É possível realizar a sobreposição das fotos sobre o modelo de pontos classificados para averiguar a qualidade da seleção realizada pelo software. Na Figura 35 é feita a verificação entre modelo e realidade com resultados adequados para prosseguir para as próximas etapas.

Figura 35: Resultados da classificação de pontos do terreno.



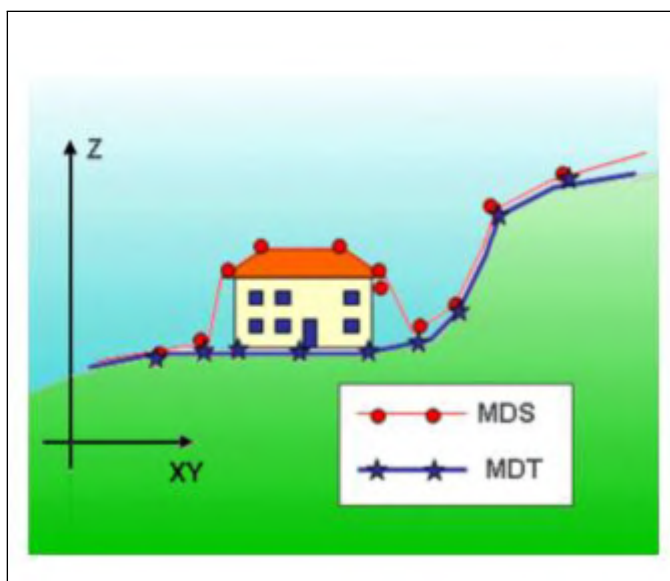
Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A partir deste momento foi possível gerar os seguintes produtos:

- O MDT (Modelo Digital de Terreno), que é uma representação matemática e computacional da superfície da Terra contendo apenas as altitudes do solo nu (terreno), ignorando todos os objetos acima do nível do solo com vegetação densa, edificações, carros, entre outros. Este modelo digital é indispensável na elaboração de estudos sobre relevo, declividade, pavimentação, drenagem, cálculos de volumes (corte e aterro), cálculos hidrográficos e outras atividades em que sejam necessárias as informações das cotas do terreno; e
- O MDS (Modelo Digital de Superfície), que é um modelo digital que representa a elevação da superfície da Terra, incluindo todos os objetos e estruturas existentes sobre o solo, como casas, prédios, vegetação, entre outros. Este modelo é necessário, por exemplo, nos serviços realizados em áreas urbanas, onde objetos como construções, vegetações, calçamentos precisam ser localizados para identificação e prevenção de interferências.

A diferença pode ser exemplificada através da Figura 36:

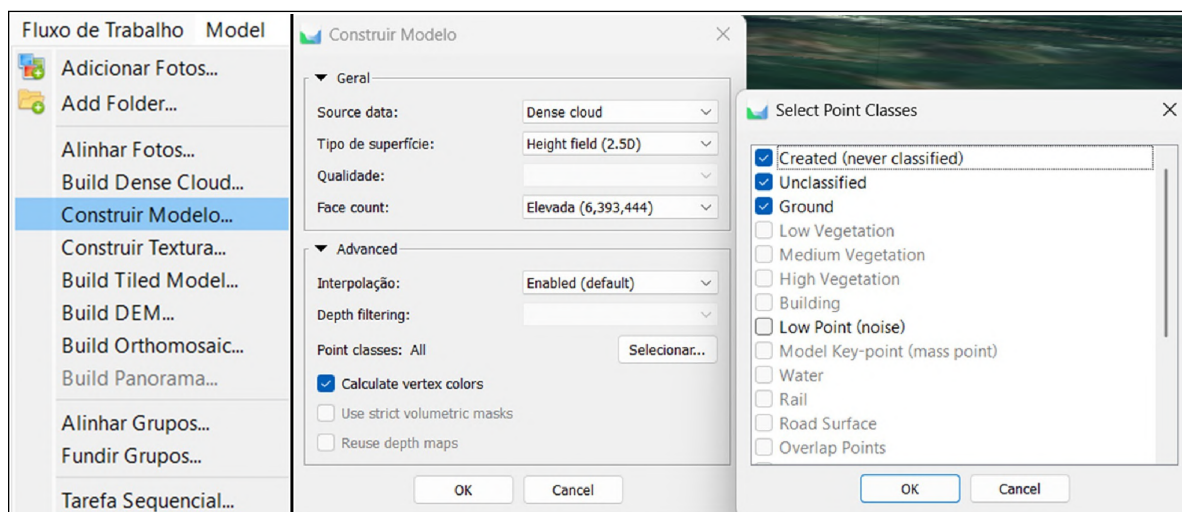
Figura 36: Diferença entre MDS e MDT.



Fonte: DronEng (2016).

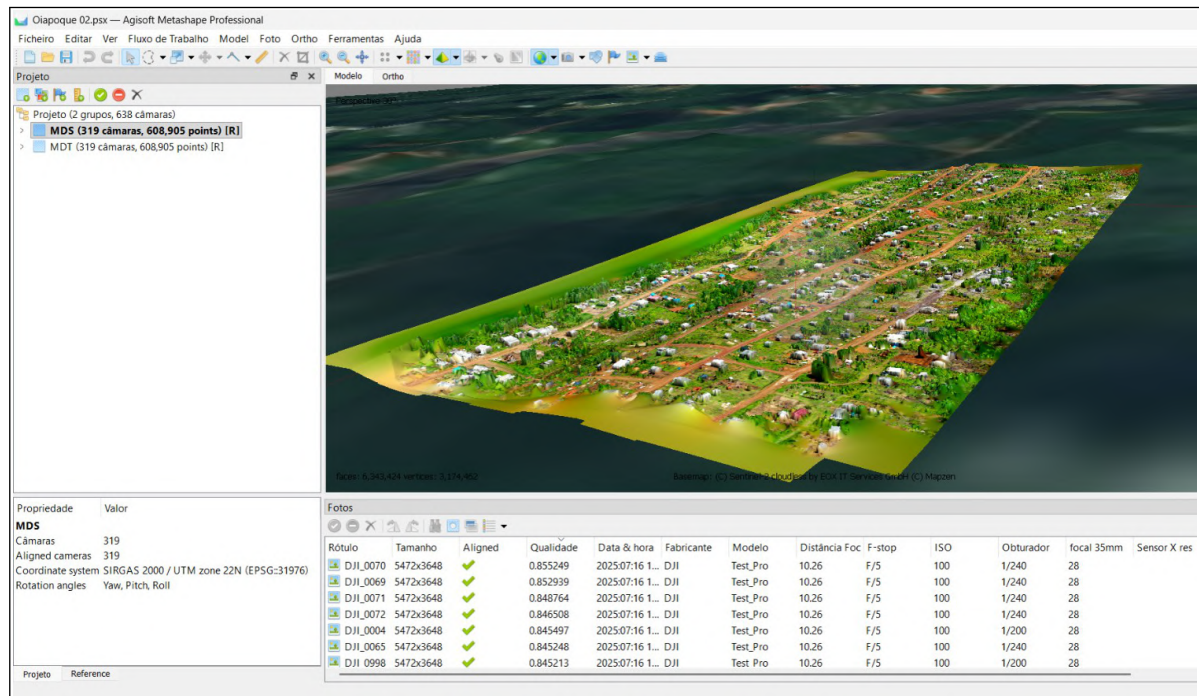
Para a construção do MDS foram utilizadas as opções **[Dense Cloud]** como base de dados, **[Height field (2.5D)]** para o tipo de superfície e opção **[Elevada]** na contagem de faces. O tipo de interpolação realizada é a padrão do software. Em **[Point classes]** são selecionados os campos que indicam todos os pontos necessários para compor o modelo digital: **[Created (never classified)]**, **[Unclassified]**, **[Ground]**. Os pontos da classe **[Low Points (noise)]** não são selecionados pois representam ruídos no modelo (Figura 37). É possível observar que as bordas da região de estudo apresentam distorções na representação geométrica do produto (Figura 38). Estas incoerências se devem pelo fato de que, no limite no levantamento, não existe quantidade suficiente de fotografias para realizar o processo de triangulação e interpolação de dados, gerando assim dados pouco confiáveis nas margens.

Figura 37: Geração do modelo digital de superfície da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

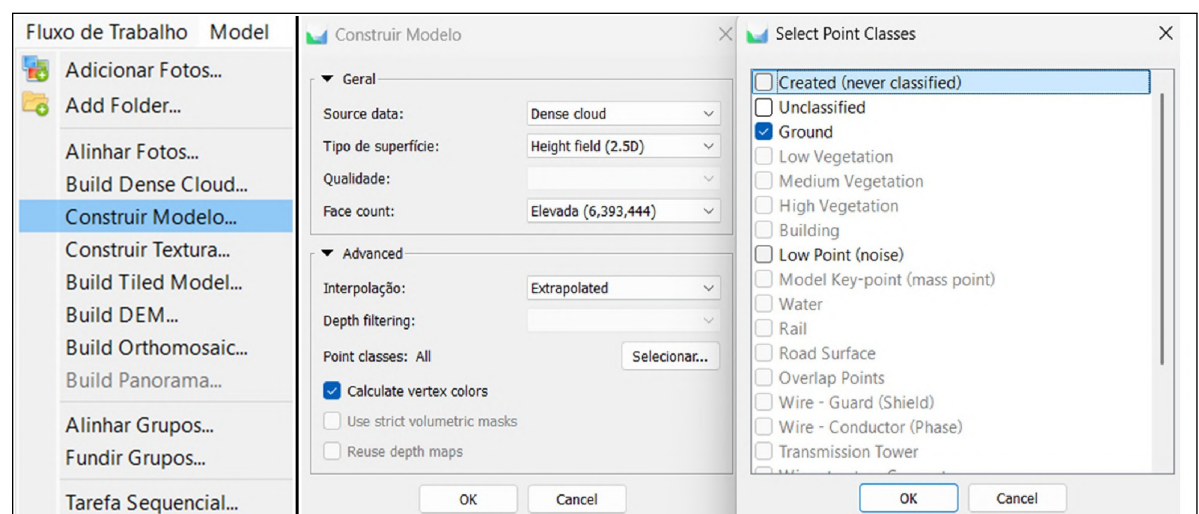
Figura 38: Modelo digital de superfície da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

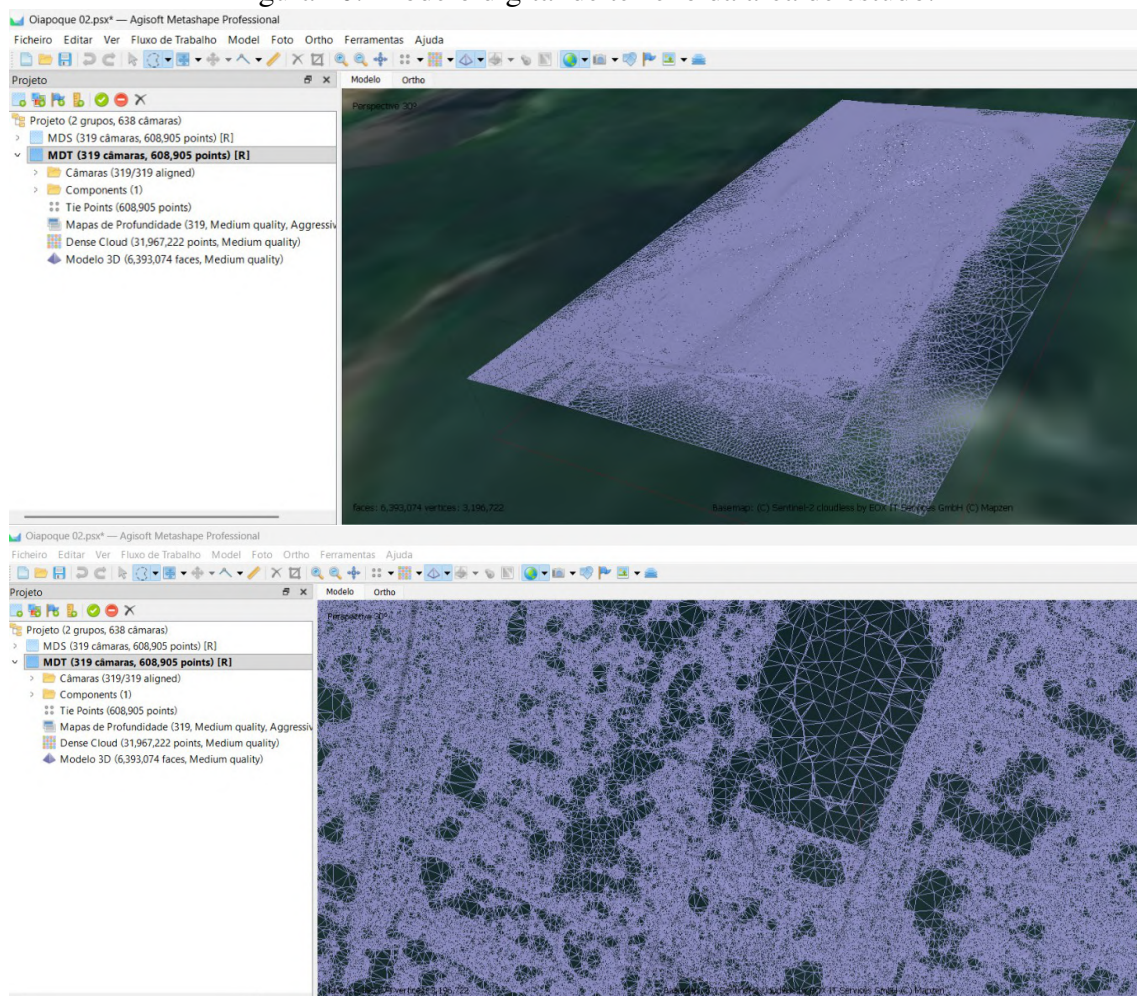
O procedimento utilizado para gerar o MDT é similar ao exibido na Figura 37. No entanto, a interpolação utilizada neste modelo é do tipo **[Extrapolated]** para que as conexões realizadas entre os pontos ao nível do solo sejam corretamente ajustadas. Como estamos interessados no relevo em si, a única classe que deve ser selecionada é a opção **[Ground]**.

Figura 39: Geração do modelo digital de terreno da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Figura 40: Modelo digital de terreno da área de estudo.



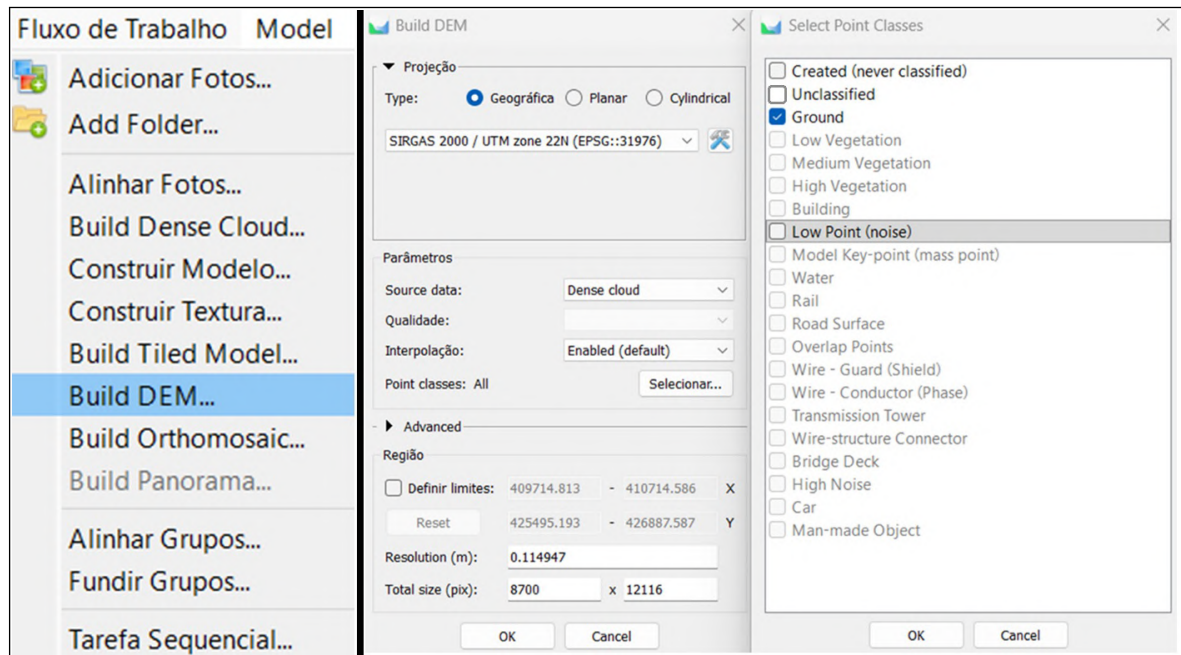
Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Novamente é possível observar a deficiência de dados nas bordas da região modelada, onde os triângulos se tornam maiores e mais espaçados, enquanto a região central possui boa representação de suas características geométricas.

A etapa subsequente consistiu na geração do DEM, derivado do MDT. Este produto é essencialmente uma grade matricial na qual a cor de cada pixel é um atributo visual da informação altimétrica real de campo, isto é, uma representação raster onde cada pixel armazena o valor numérico da cota altimétrica do terreno e o conjunto de pixels é apresentado na forma de uma escala colorimétrica. No ambiente do Agisoft Metashape®, o DEM é renderizado por meio de uma rampa de cores que reproduz a realidade física do terreno e permite a interpretação visual e quantitativa das variações topográficas da área levantada.

Também é necessário criar um DEM para o MDS pois o mesmo será utilizada na geração do ortomosaico de imagens.

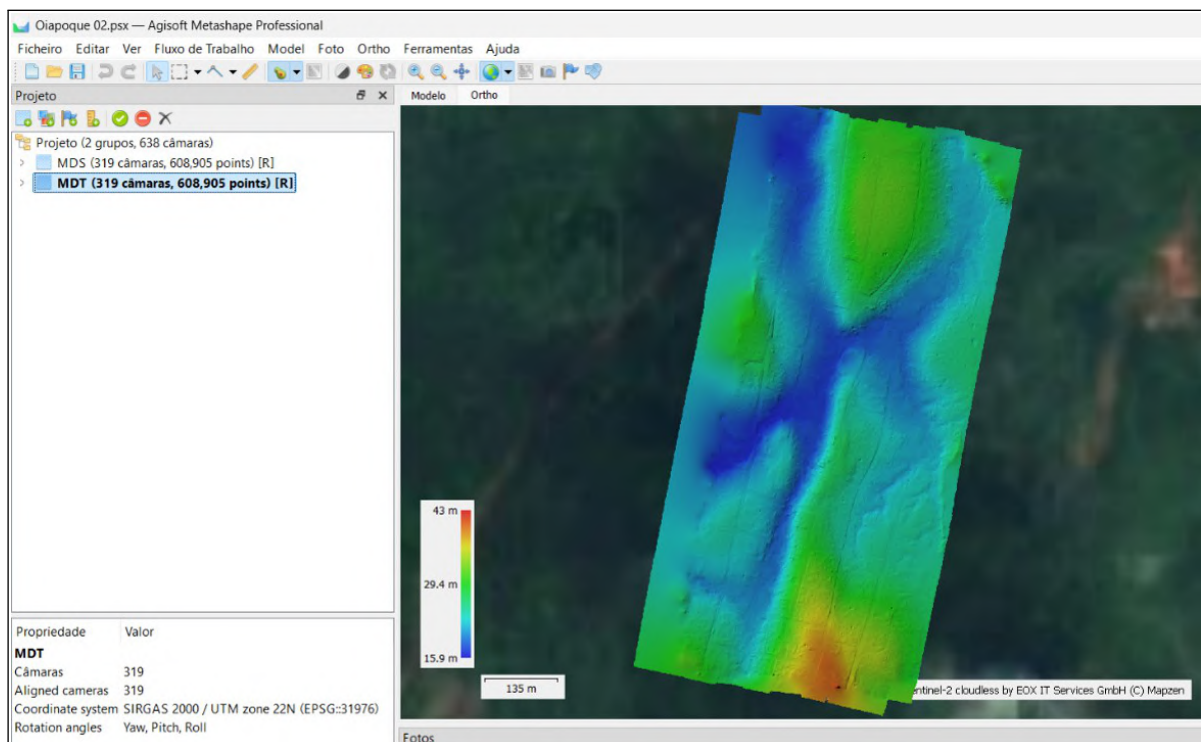
Figura 41: Geração do modelo digital de elevação da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Como queremos que o DEM seja a representação apenas do terreno, em [Source data] é selecionada a opção [Mesh] e em [Point Classes] selecionamos a opção [Ground]. Os [Low points (noise)] são descartados. A interpolação a ser utilizada é a padrão do software.

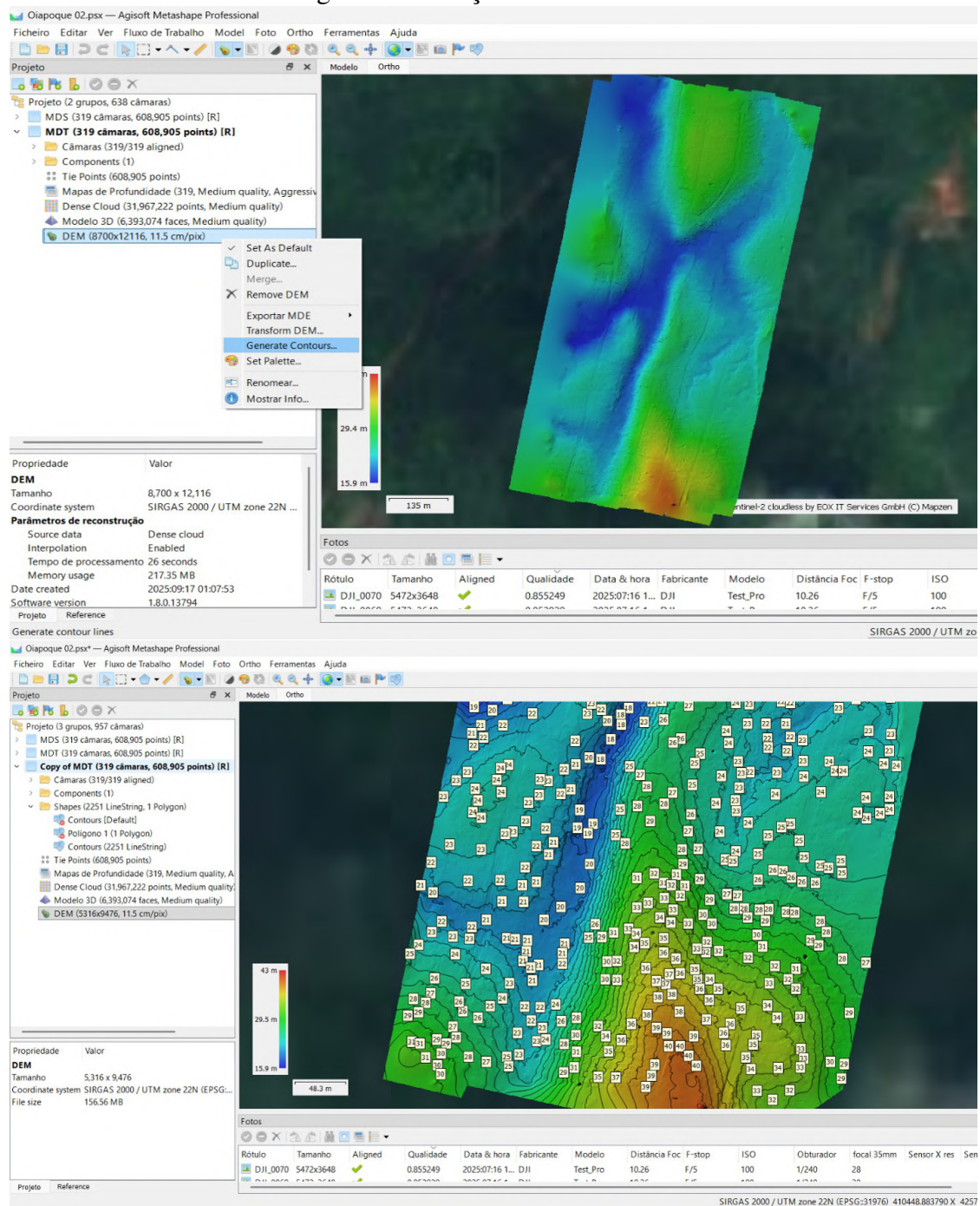
Figura 42: DEM da área de estudo gerado a partir do MDT.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A análise hipsométrica da Figura 42 revela gradientes altimétricos distintos, onde as tonalidades em azul delimitam as cotas mais baixas localizadas nas porções superiores e centrais da malha matricial. Tais regiões caracterizam-se como zonas de convergência de fluxo, indicando a provável presença de corpos d'água, como igarapés e áreas de acumulação de águas pluviais. Em contrapartida, as matizes tendendo ao vermelho identificam regiões de maior elevação. Para a quantificação precisa desses desníveis e a compreensão da dinâmica do relevo, procedeu-se à geração das curvas de nível (Figura 43).

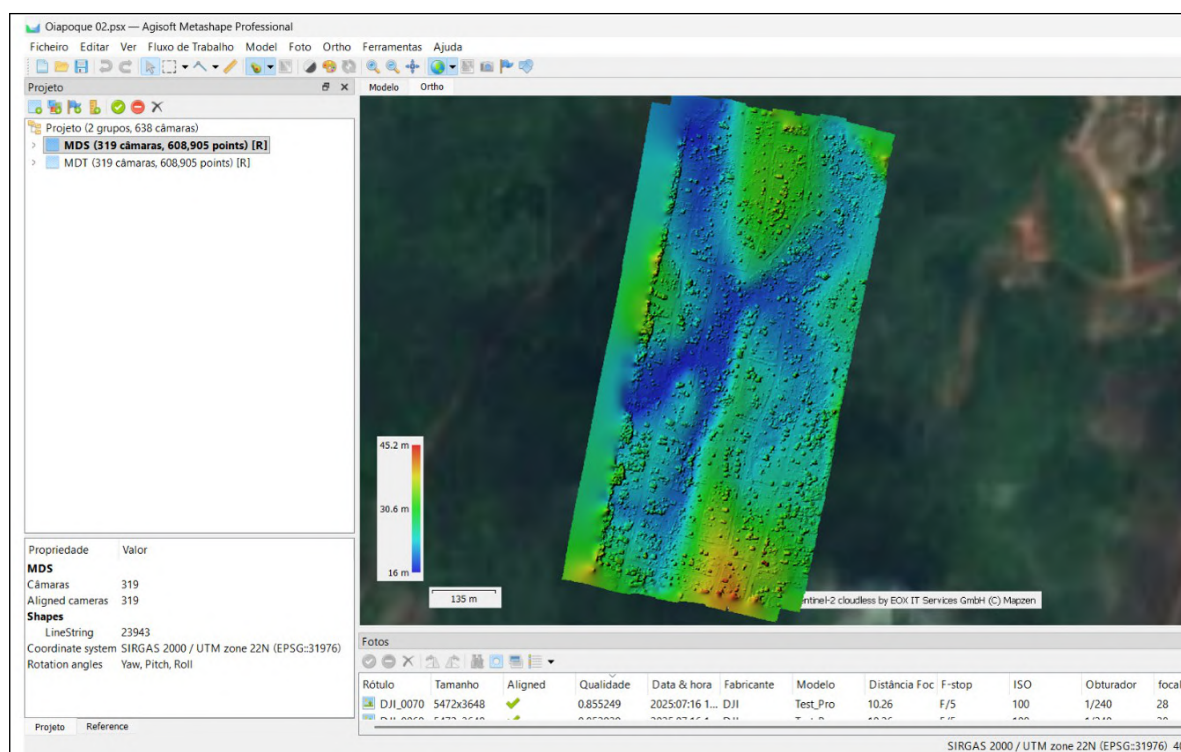
Figura 43: Geração de curvas de nível.



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Para o DEM gerado a partir do MDS, é preciso que seja realizada a representação de todas as superfícies do modelo. Portanto em **[Source data]** é selecionada a opção **[Dense cloud]** e em **[Point Classes]** selecionamos todas as opções com exceção dos **[Low points (noise)]**. A interpolação a ser utilizada é a padrão do software.

Figura 44: DEM da área de estudo gerada a partir do MDS.

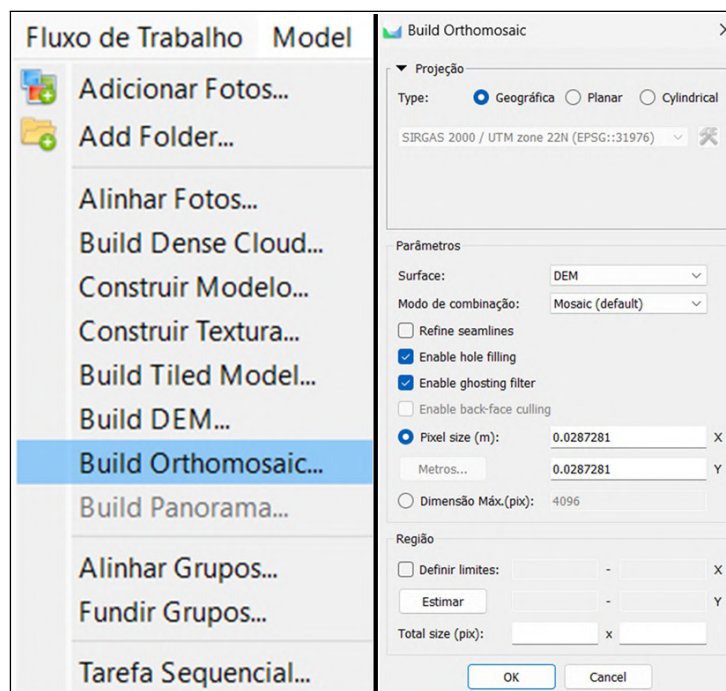


Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A última etapa do processamento aerofotogramétrico consistiu na elaboração do ortomosaico, que é um produto cartográfico gerado a partir da junção das diversas fotografias aéreas que foram corrigidas geometricamente para eliminar distorções causadas pela perspectiva da câmara e pelo relevo do terreno. Ao contrário de uma fotografia aérea comum, onde a escala varia conforme a distância do objeto ao centro da lente, o ortomosaico passa por um processo de ortorretificação em que cada ponto da imagem é projetado ortogonalmente sobre um plano, resultando numa imagem com escala uniforme em toda a sua extensão.

Devido à correção geométrica, um ortomosaico possui as mesmas propriedades de um mapa. Isto permite que o mesmo seja utilizado para medições diretas de distâncias, áreas e ângulos com elevada precisão. A riqueza de detalhes das fotografias aéreas e a precisão geométrica deste produto cartográfico fez com que o mesmo fosse amplamente utilizado no processo de vetorização descrito no capítulo 3.3 em que foi realizado a quantificação das áreas de intervenção antrópica.

Figura 45: Geração de ortomosaico a partir do MDS.



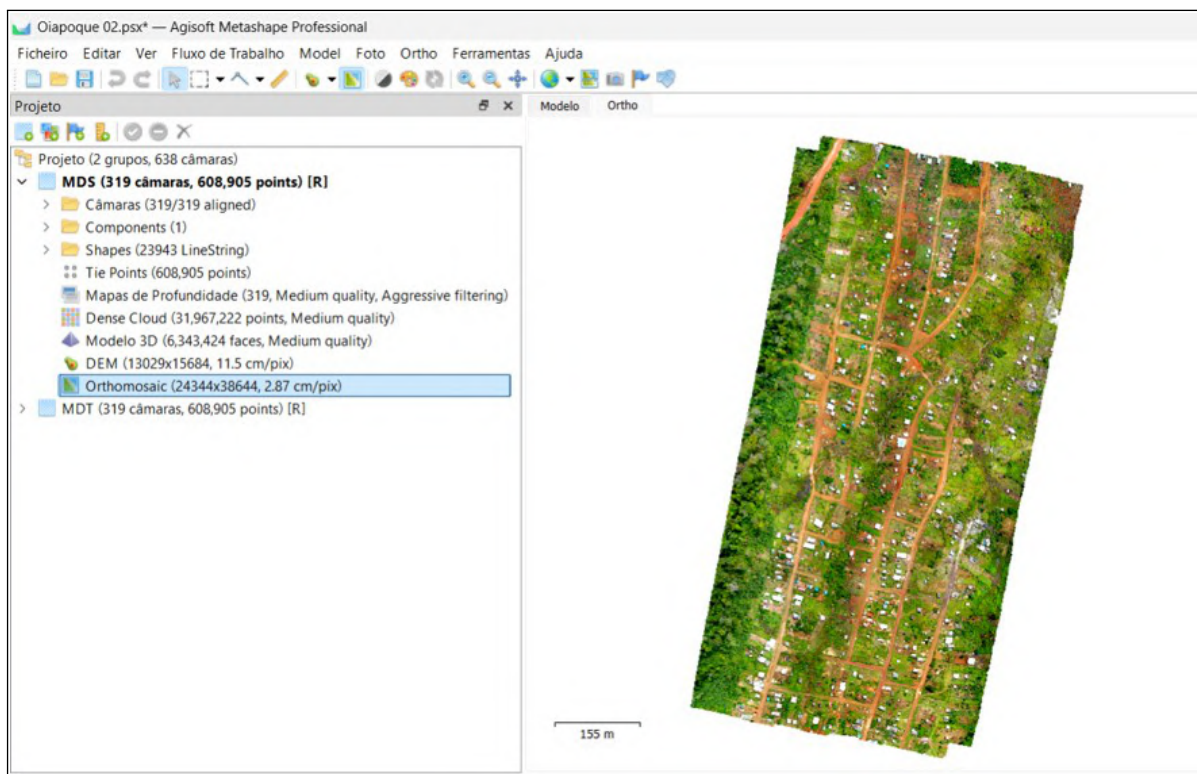
Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Os parâmetros utilizados na geração deste produto foram:

- Surface: Superfície base para gerar o modelo. O ortomosaico verdadeiro é gerado a partir do DEM proveniente do MDS;
- Modo de combinação: É o algoritmo de combinação das imagens. Neste caso é selecionada a opção Mosaic pois será feita a mosaicação das fotografias;
- Enable hole filling: Durante o processamento fotogramétrico, é comum que algumas áreas não possuam dados suficientes para a reconstrução (devido a oclusões, sombras densas em igarapés ou falhas na sobreposição das imagens). Isso gera "buracos" ou vazios na malha matricial. Ao habilitar esta opção, o software utiliza algoritmos de interpolação espacial para estimar os valores de elevação nessas áreas vazias com base nos pontos vizinhos conhecidos;
- Enable ghosting filter: O efeito "fantasma" ocorre quando objetos se movem durante a captura das fotos (como carros, pedestres ou a copa das árvores balançando com o vento) ou quando há imprecisões geométricas na projeção das imagens sobre o relevo. Como o ortomosaico é uma composição de múltiplas fotos sobrepostas, o mesmo objeto pode aparecer em posições ligeiramente diferentes em cada imagem, gerando uma sobreposição borrada ou duplicada (o "fantasma");
- Pixel size (m): É o tamanho do pixel no mundo real, isto é, a representação digital da

informação física. Quanto menor o valor, mais preciso torna-se o ortomosaico gerado. Nesse caso, utiliza-se o valor apresentado pelo software.

Figura 46: Ortomosaico verdadeiro.

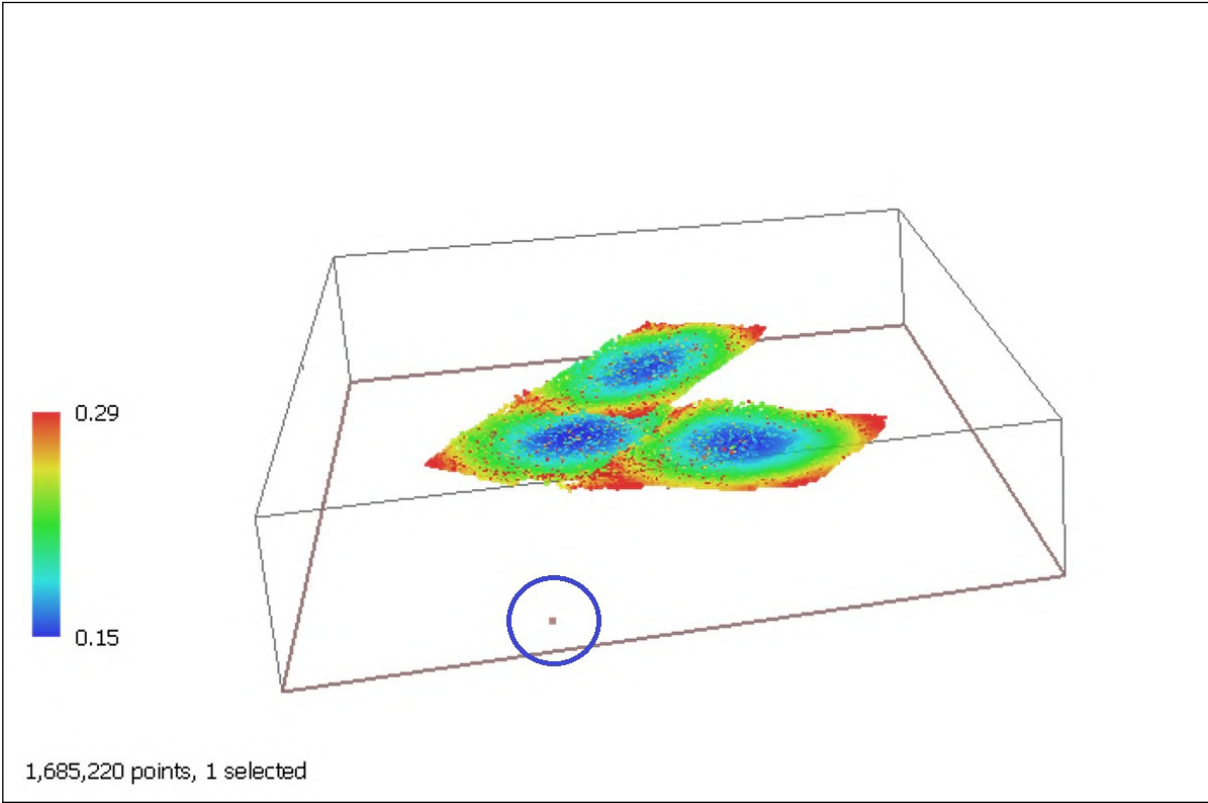


Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Dessa maneira, finalizou-se o processamento fotogramétrico referente ao 2º plano de voo. Com o objetivo de consolidar as informações geoespaciais de toda a extensão delimitada pelos vértices P1 a P6 (Figura 15), o protocolo metodológico detalhado no fluxograma da Figura 16 foi aplicado integralmente ao conjunto de imagens obtidas nos voos 01, 02 e 03. Essa integração dos blocos fotogramétricos permitiu a geração de produtos cartográficos contínuos para a área de estudo, garantindo a fidedignidade métrica necessária para a etapa de vetorização.

Durante o reprocessamento integral do bloco fotogramétrico, identificou-se novamente a persistência de outliers capazes de induzir distorções nos produtos gerados (Figura 47). A recorrência de tais inconsistências evidencia que o erro não foi um evento isolado do processamento anterior, mas sim um ruído inerente à base de dados bruta. Dessa forma, a limpeza sistemática desses pontos espúrios tornou-se uma etapa imperativa para assegurar que as fases subsequentes mantivessem a acurácia necessária, garantindo o rigor geométrico e geográfico dos produtos cartográficos finais.

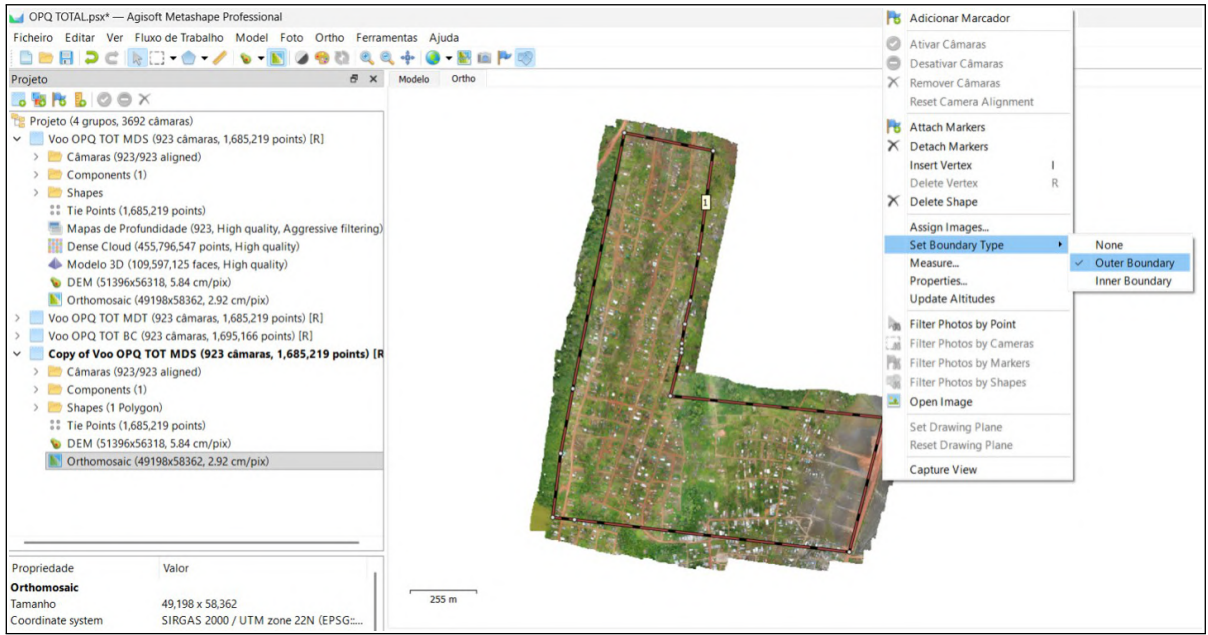
Figura 47: Processamento das imagens referentes a toda a área de estudo (Com outlier visível).



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

O ortomosaico final é exibido na Figura 48.

Figura 48: Ortomosaico verdadeiro de toda a área de estudo.



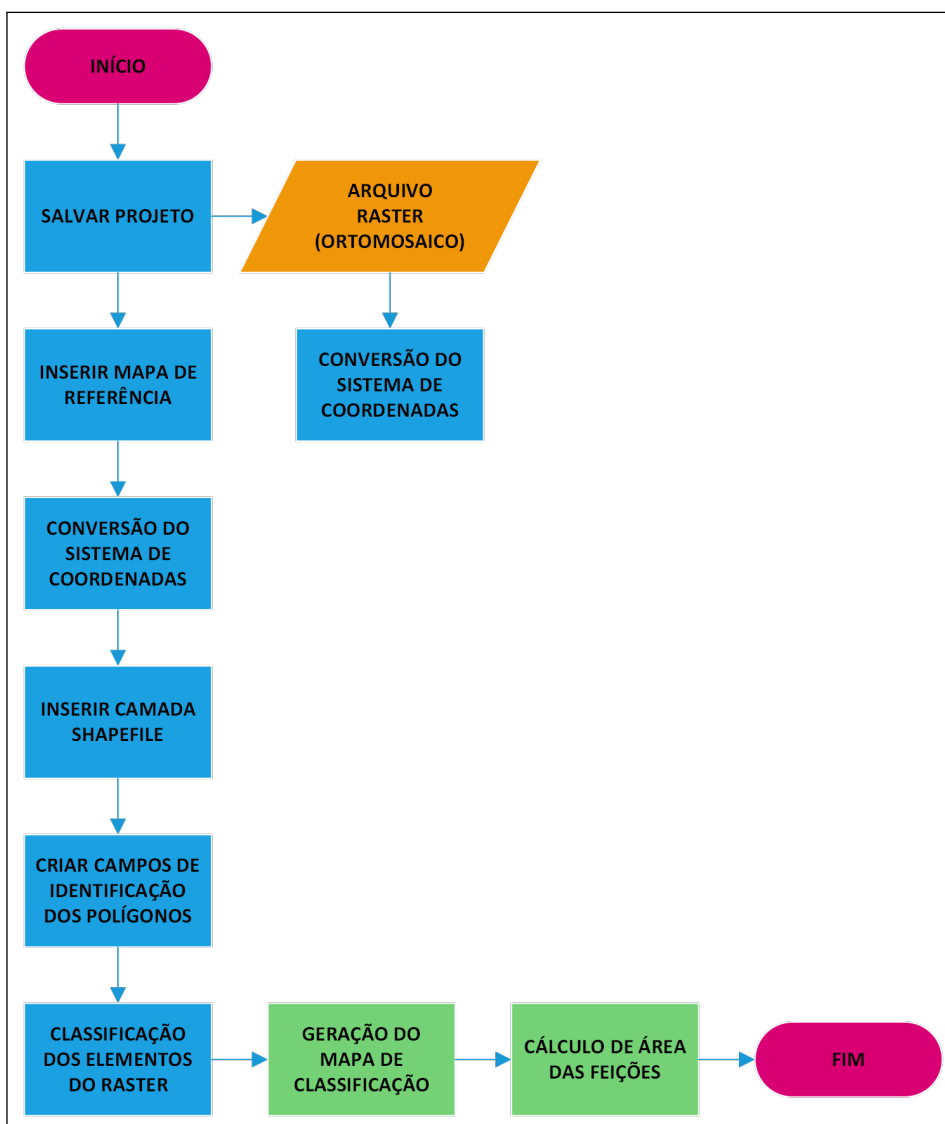
Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Visando mitigar distorções geométricas e inconsistências radiométricas inerentes às bordas dos produtos aerofotogramétricos, procedeu-se à delimitação de uma área de interesse para a etapa de classificação dos usos da terra. A definição deste polígono de corte assegurou a utilização exclusiva de dados com elevada acurácia posicional e fidedignidade visual, fundamentais para a correta compartimentação das classes de uso do solo. As coordenadas geográficas dos vértices que delimitam esta poligonal de estudo estão detalhadas na Tabela 1.

3.3 Vetorização em ambiente SIG

O processo de vetorização, no contexto da Geomática e dos Sistemas de Informações Geográficas, é o procedimento de conversão de dados raster (compostos por matrizes de pixels, como o ortomosaico verdadeiro criado na seção 3.2) em dados vetoriais (pontos, linhas e polígonos).

Figura 49: Fluxograma das etapas de vetorização no QGIS®.

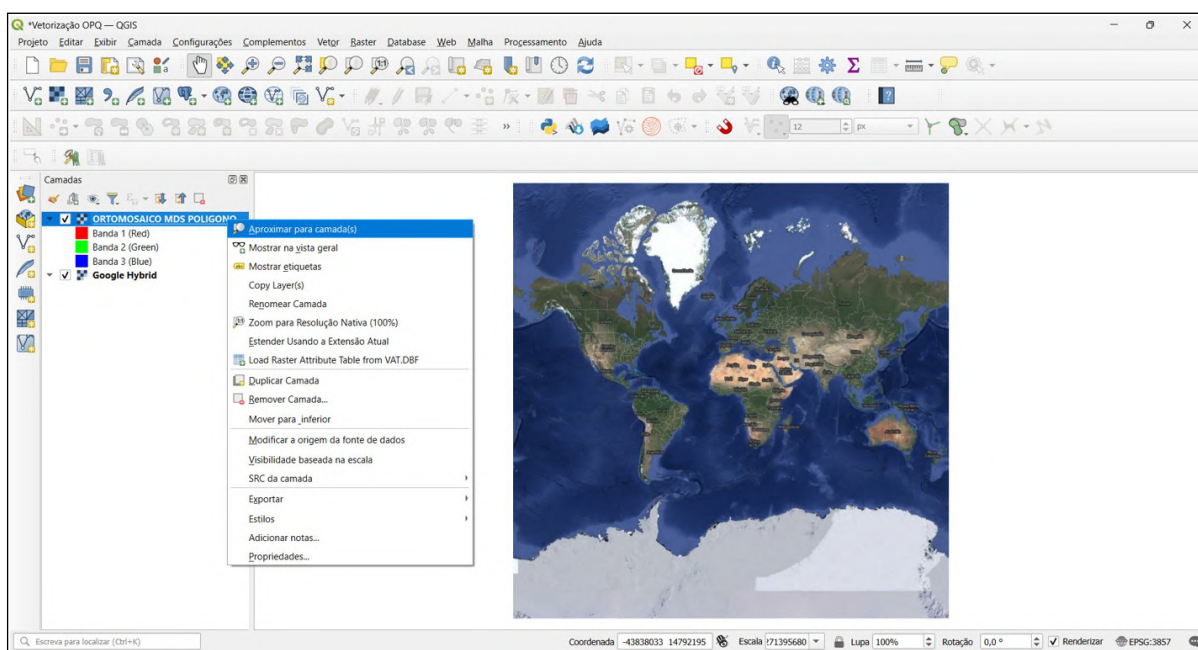


Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Este processo é o que permite transformar a imagem visual em informações quantificáveis. O fluxograma exibido na Figura 49 apresentar as etapas que foram seguidas para obter as informações sobre a região de estudo. Antes de iniciar a vetorização o arquivo raster (ortomosaico) deve estar devidamente ortorretificado e georreferenciado, garantindo que cada pixel corresponda a uma coordenada real no terreno. Verificada a qualidade do ortomosaico, a primeira etapa do processo de vetorização consistiu em:

1. Abrir o software QGIS©;
2. Salvar um arquivo;
3. Inserir um mapa de fundo a partir do complemento *QuickMapServices*; e
4. Importar o ortomosaico.

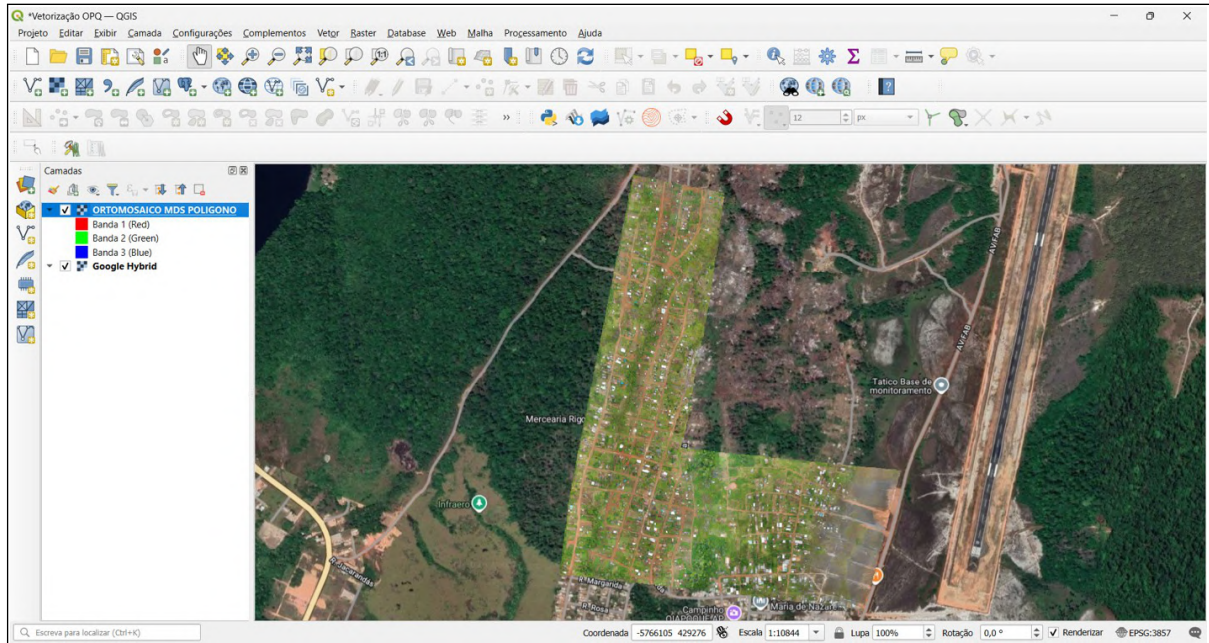
Figura 50: Iniciando no QGIS©.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Em seguida foi realizada uma etapa de conferência geoespacial que consistiu na sobreposição do ortomosaico ao mapa auxiliar de referência, permitindo atestar a fidelidade da localização da área de estudo. Nela foi verificada que há uma boa correlação entre o ortomosaico do estudo, refletindo com precisão as características do local. Este procedimento de inspeção visual é necessário para confirmar a convergência entre as coordenadas do arquivo raster e a superfície terrestre (Figura 51).

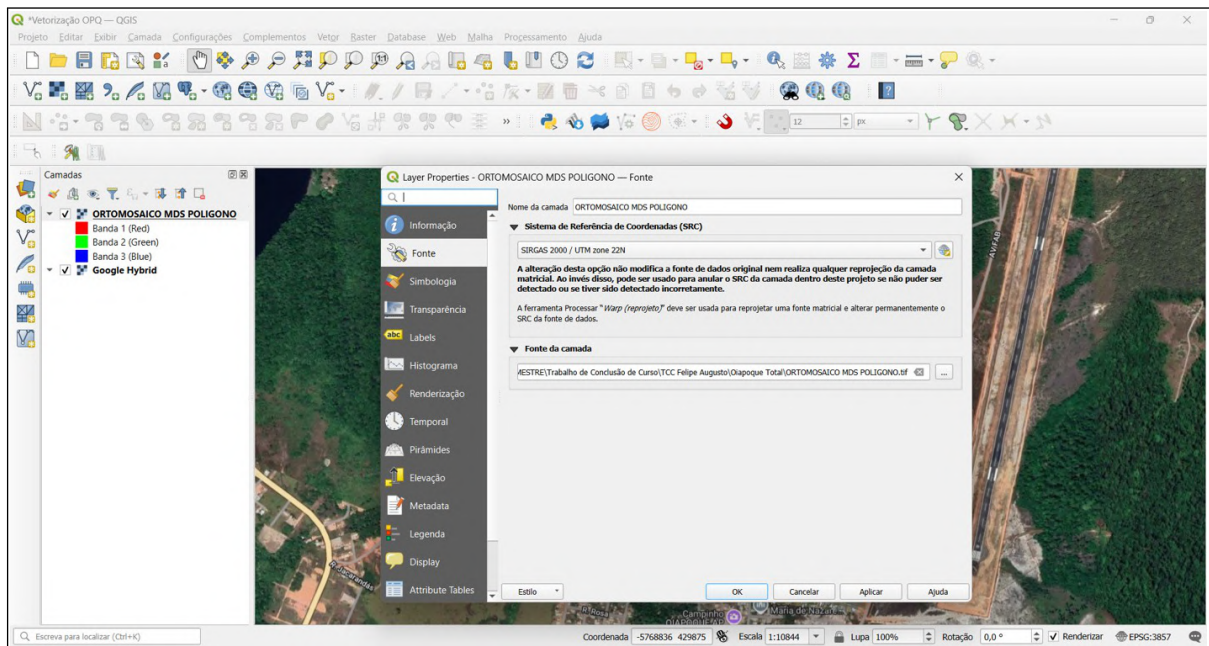
Figura 51: Ortomosaico total importado para o ambiente QGIS©.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Para garantir que o processamento seja geograficamente preciso, é necessário verificar o Sistema de Referências de Coordenadas (SRC) do ortomosaico de modo a garantir que o processamento seja realizado de acordo com o datum da região — SIRGAS 2000 na projeção 22N — (Figura 52).

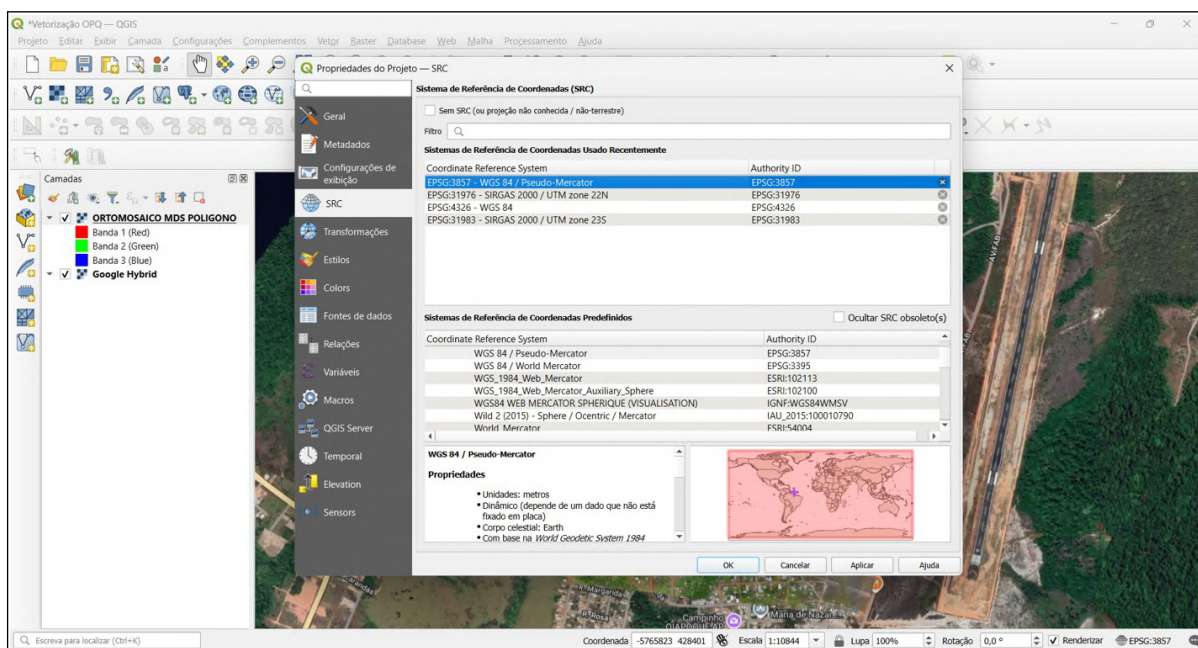
Figura 52: Verificação do SRC do ortomosaico.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Para manter a padronização do SRC, o mesmo procedimento foi realizado para o projeto como um todo (Figura 53).

Figura 53: Verificação do SRC do projeto.

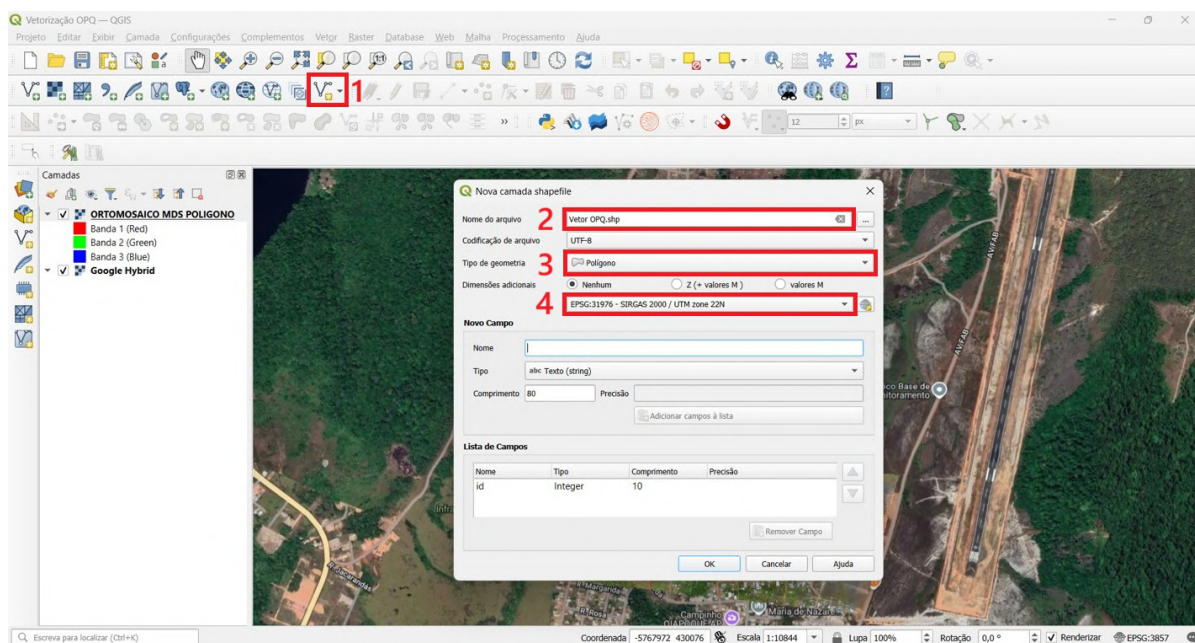


Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

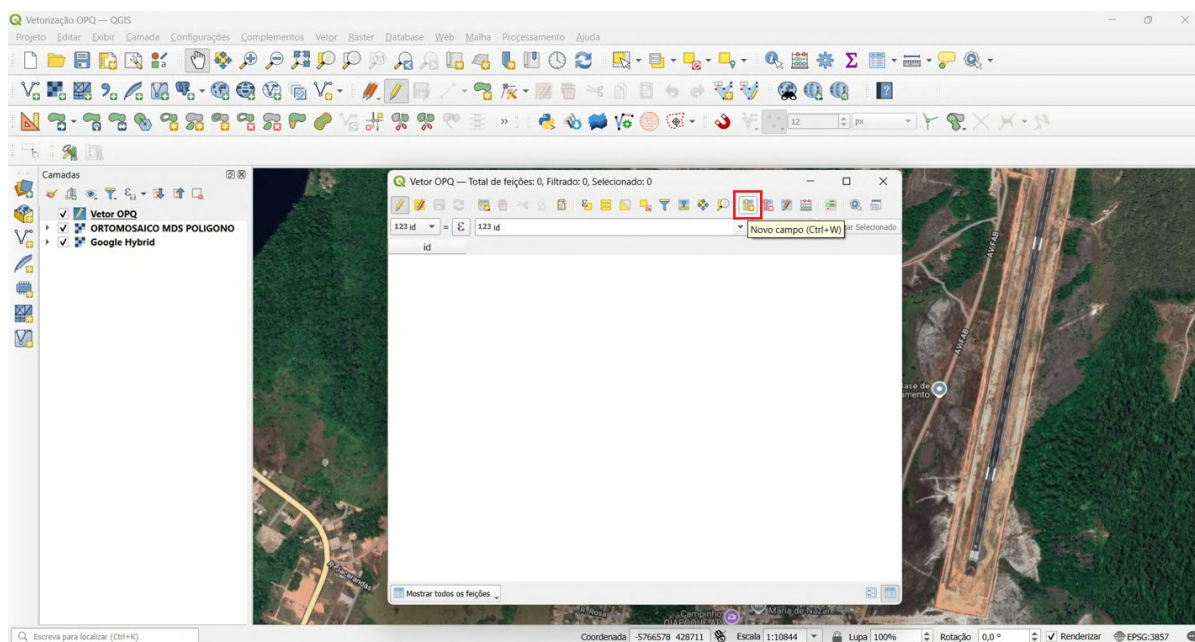
Nota-se que o projeto apresentava um SRC diferente do ortomosaico (WGS 84), sendo necessário alterá-lo para SIRGAS 2000 na zona 22N no intuito de trabalhar sobre o mesmo datum e evitar incoerências geográficas durante este processamento. Feito isso, criou-se uma camada no formato shapefile (SHP) para ser o repositório de informações que seriam obtidas do arquivo raster. Este formato de armazenamento de dados geoespaciais foi selecionado por sua ampla interoperabilidade e capacidade de vincular feições geométricas a tabelas de atributos alfanuméricos, permitindo a gestão integrada da informação geográfica. A criação desta camada necessitou de um protocolo de organização, onde cada classe de uso e ocupação da terra — como mancha urbana, vegetação nativa, solo exposto e corpos d’água — foi isolada em uma feição específica do tipo polígono. Para criar a camada, foi executado o seguinte procedimento:

1. Criar uma nova camada shapefile;
2. Nomear a camada;
3. Escolher o tipo de geometria (Foi utilizada o tipo Polígono pois é necessário delimitar áreas); e
4. Definir o SRC da camada (Usou-se o mesmo do projeto e do ortomosaico).

Figura 54: Criação de arquivo shapefile.



(a) Gerando camada SHP.

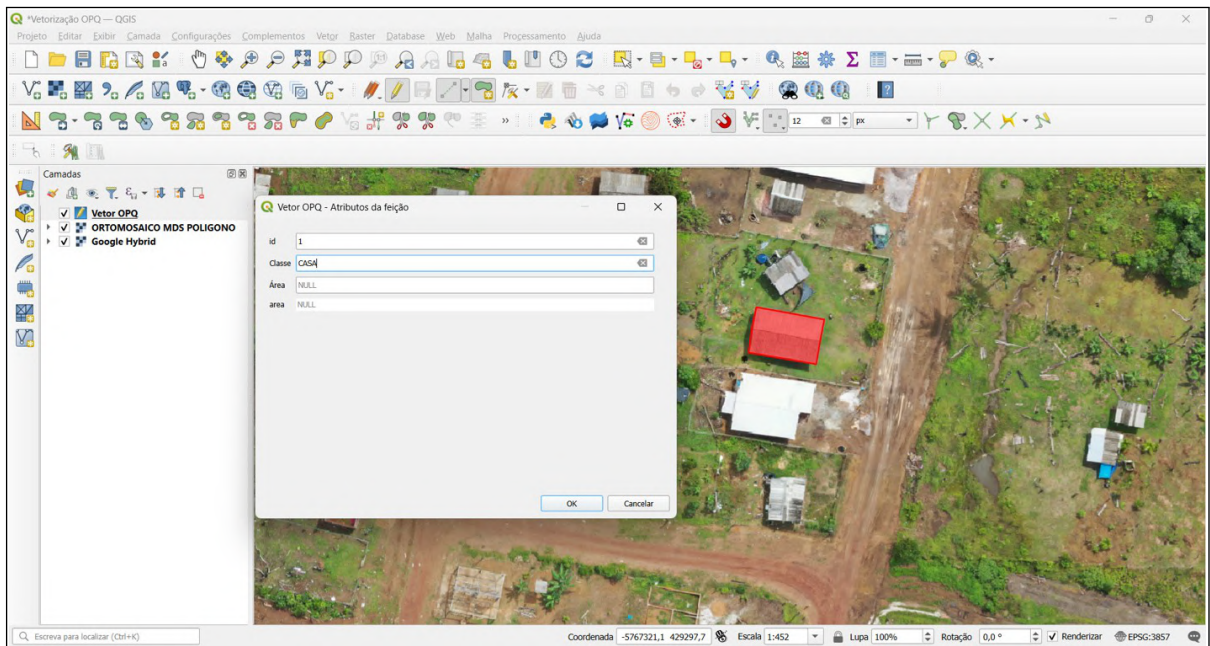


(b) Criando campos para classificação do solo através da Tabela de Atributos da camada SHP.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Com os inputs preparados, é iniciado o processo de fotointerpretação e identificação de alvos. Esta é a etapa analítica em que foram desenhadas as feições sobre a imagem, delimitando as diferentes áreas de interesse com base na textura, cor, forma e contexto (Figura 55).

Figura 55: Delimitação de polígono durante vetorização.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Para cada feição vetorial foi associado um identificador único [ID] e uma respectiva classe na tabela de atributos, visando a estruturação de um banco de dados geográfico capaz de fornecer métricas quantitativas e geométricas, conforme exibido na Figura 56. Essa organização permitiu a extração automatizada de dados como a contagem de unidades habitacionais e o cálculo de parâmetros geométricos, especificamente área ocupada por cada feição. O procedimento de identificação e classificação de feições poligonais foi realizado de forma mista: Edificações habitacionais foram, em grande parte, selecionadas de maneira semi-automática com o complemento *Polygon by clicking in map image* e, para todas as demais classes, a seleção foi manual devido precisão de identificação de áreas complexas de transição urbana e vegetação, permitindo discernir nuances que algoritmos automáticos podem ignorar. As classes criadas e utilizadas durante o procedimento de vetorização estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2: Classes de vetorização.

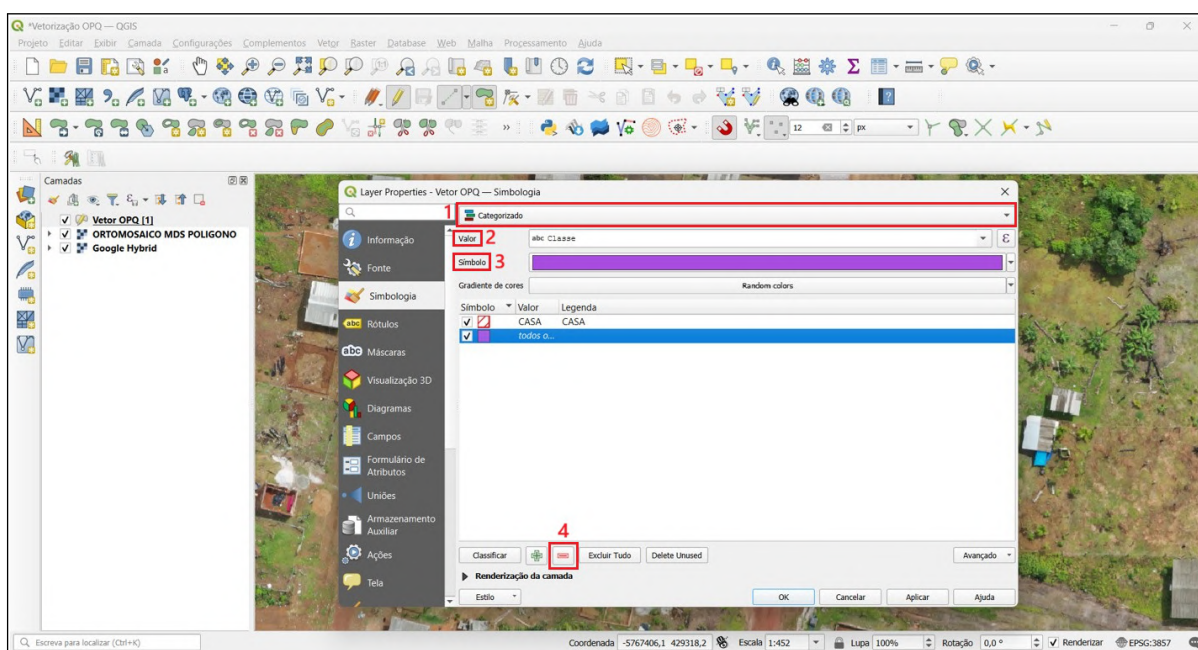
ID	CLASSE
1	CASA
2	CONSTRUÇÃO
3	SOLO EXPOSTO
4	ESTRADA DE SOLO
5	VEGETAÇÃO
6	VEGETAÇÃO RASTEIRA
7	CORPO HÍDRICO

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Para melhor identificar visualmente as feições poligonais, realizou-se uma edição do estilo das classes criadas seguindo o procedimento a seguir:

1. Na aba [**Simbologia**], escolheu-se o estilo de símbolo como [**Categorizado**].
2. Na aba de [**Valor**], foi escolhido o campo [**Classe**] para categorizar cada classe.
3. Em [**Símbolo**], foi selecionado o símbolo conforme fosse visualmente adequado.
4. Exclui-se o campo “**todos os demais**” pois não seria útil na vetorização.

Figura 56: Edição da simbologia e estilo de classes.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

As simbologias de todas as classes listadas na Tabela 2 foram ajustadas e o processo de fotoidentificação foi executado em todo o ortomosaico. Ao fim do processo de vetorização foram extraídas da Tabela de Atributos as informações geométricas referentes às áreas das feições criadas. Os valores são exibidos na Tabela 3.

Tabela 3: Áreas obtidas no processo vetorização no QGIS®.

ID	CLASSE	ÁREA (m ²)	ÁREA (%)
1	CASA	47.683,44	5,07
2	CONSTRUÇÃO	21.114,50	2,24
3	SOLO EXPOSTO	186.933,53	19,91
4	ESTRADA DE SOLO	102.034,72	10,84
5	VEGETAÇÃO	172.909,10	18,38
6	VEGETAÇÃO RASTEIRA	396.953,13	42,19
7	CORPO D'ÁGUA	12.595,90	1,34

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados desta pesquisa consolidam-se em duas vertentes complementares: a técnica aerofotogramétrica e a análise vetorial. Conforme os preceitos de Inguaggiato, Olivatto e Stanganini (2022), essa transição do dado matricial para o vetorial foi o que possibilitou diagnosticar, com rigor estatístico, a magnitude da expansão urbana e os impactos sobre a cobertura vegetal nativa na área de estudo, conforme evidenciado nas próximas seções.

4.1 Produtos Aerofotogramétricos

Na primeira etapa, o processamento no software Agisoft Metashape© gerou produtos cartográficos de altíssima fidelidade, destacando-se a obtenção de um GSD de 2,92 cm/px, o que conferiu ao ortomosaico e aos modelos digitais (MDT e MDS) uma acurácia centimétrica essencial para a identificação de feições sutis no terreno de Oiapoque.

4.1.1 Nuvem de Pontos

A etapa primordial do processamento fotogramétrico resultou na geração de uma Nuvem de Pontos Densa, composta por 455.796.547 (Quatrocentos e cinquenta e cinco milhões, setecentos e noventa e seis mil, quinhentos e quarenta e sete) pontos tridimensionais georreferenciados. Cada ponto desta nuvem armazena informações espaciais (X , Y , Z) e colorimétricas (RGB), reconstruindo a geometria da área urbana de região de estudo com alta densidade amostral. A qualidade foi o fator que permitiu uma reconstrução detalhada das bordas de telhados, infraestruturas de drenagem e da estrutura vertical da vegetação. A importância da nuvem de pontos reside no fato de ela ser o dado tridimensional bruto mais rico do levantamento. É neste estágio que a filtragem e a classificação de pontos ocorrem, permitindo distinção entre as feições de terreno (solo) e objetos (casas, árvores, postes, etc). Sem uma nuvem de pontos densa e livre de ruídos, a geração do MDT e, conseqüentemente, das curvas de nível, perderia fidedignidade. Conforme defendido por Pires (2021), a nuvem de pontos é o insumo que permite a visualização da volumetria urbana, sendo crucial para identificar ocupações em áreas de risco onde a percepção apenas plana (2D) seria insuficiente. Além disso, a nuvem de pontos densa serviu como base para a validação da acurácia do projeto. Através dela, foi possível realizar o preenchimento de lacunas (hole filling) e a filtragem de outliers, assegurando que os produtos cartográficos finais apresentassem continuidade e rigor geométrico. Segundo a abordagem de Silva et al. (2023) e Nascimento e Rabelo (2024), ter uma nuvem de pontos com alta densidade é o que viabiliza o diagnóstico preciso de áreas críticas, como as margens dos igarapés, onde a complexidade do relevo e da vegetação exige um detalhamento que sensores remotos convencionais não conseguem atingir.

Figura 57: Nuvem densa de pontos (*dense cloud*).



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

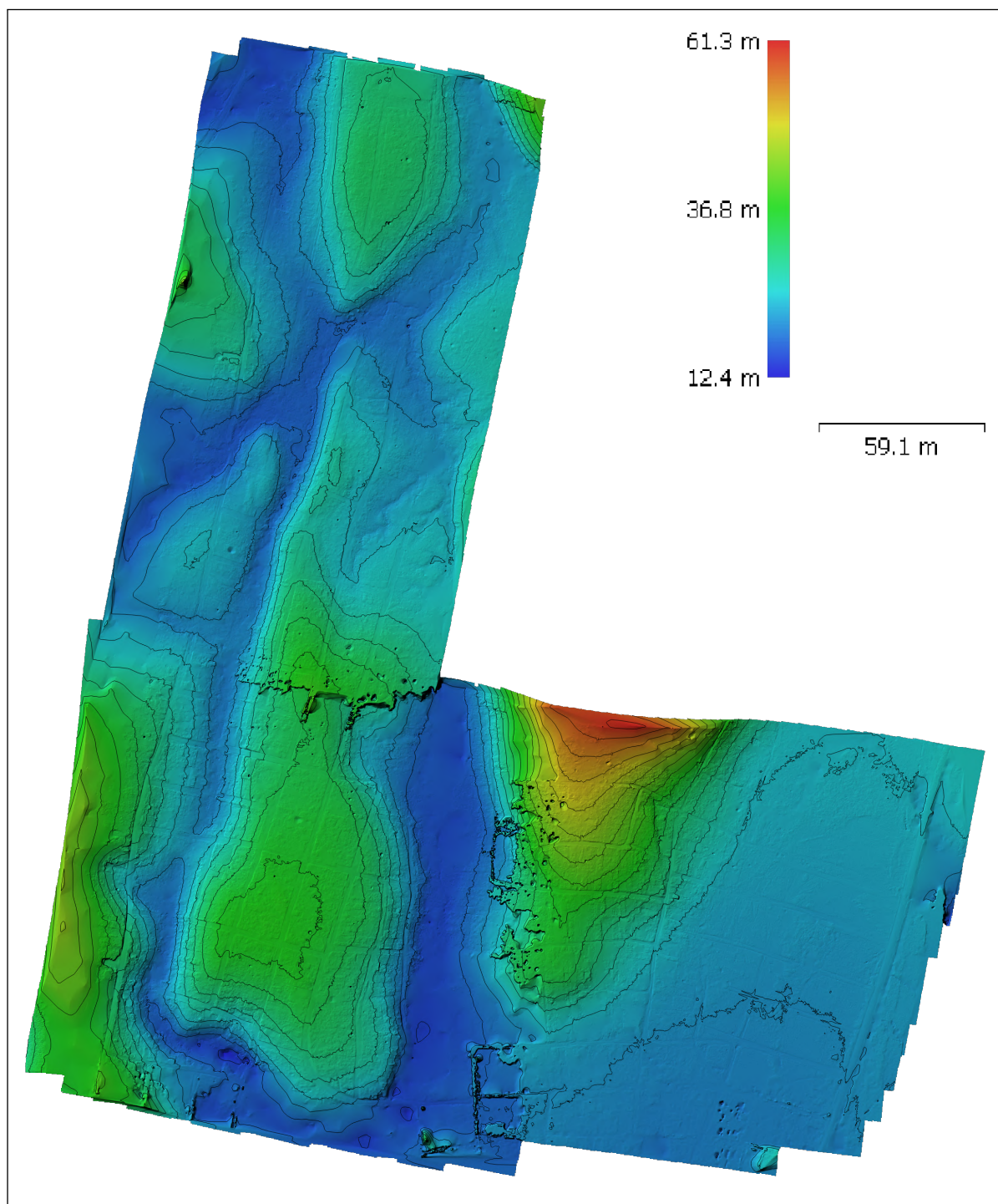
4.1.2 Modelo Digital de Terreno

A produção do MDT constituiu uma das etapas mais críticas do processamento, resultando na representação altimétrica do solo nu (*bare earth*). Diferente do MDS, este produto foi obtido após a classificação rigorosa da nuvem de pontos, onde algoritmos de filtragem removeram sistematicamente os elementos espúrios e as feições acima do solo, como a vegetação densa e as edificações urbanas, resultando em um modelo que apresenta a morfologia do relevo de Oiapoque com a precisão centimétrica.

A relevância do MDT para este estudo consistiu no fato de servir como a base verossímil para a extração das curvas de nível, as quais permitiram quantificar a declividade do terreno com um nível de detalhamento impossível de obter através de modelos globais de elevação, como o Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), por exemplo. Essa representação precisa é vital para identificar as zonas de talvegue e os canais de drenagem natural (igarapés), que são as áreas mais suscetíveis a inundações e processos erosivos durante eventos pluviométricos intensos, conforme discutido por Silva et al. (2023).

Além disso, o MDT fundamenta a análise do suporte físico para a expansão urbana. Ao revelar as variações de cota do terreno subjacente à mancha urbana, o modelo permite diagnosticar se o crescimento da cidade está ocorrendo de forma ordenada ou se avança sobre terrenos com restrições geotécnicas. Segundo a metodologia de Pires et al. (2015) e Nascimento e Rabelo (2024), o MDT é o insumo primário para o zoneamento ambiental, pois é a partir da altimetria do terreno que se delimitam as APPs. Assim, o MDT consolidou-se como um produto estratégico, transformando dados brutos em inteligência geográfica.

Figura 58: DEM obtido a partir do MDT com curvas de nível a cada 3 metros.



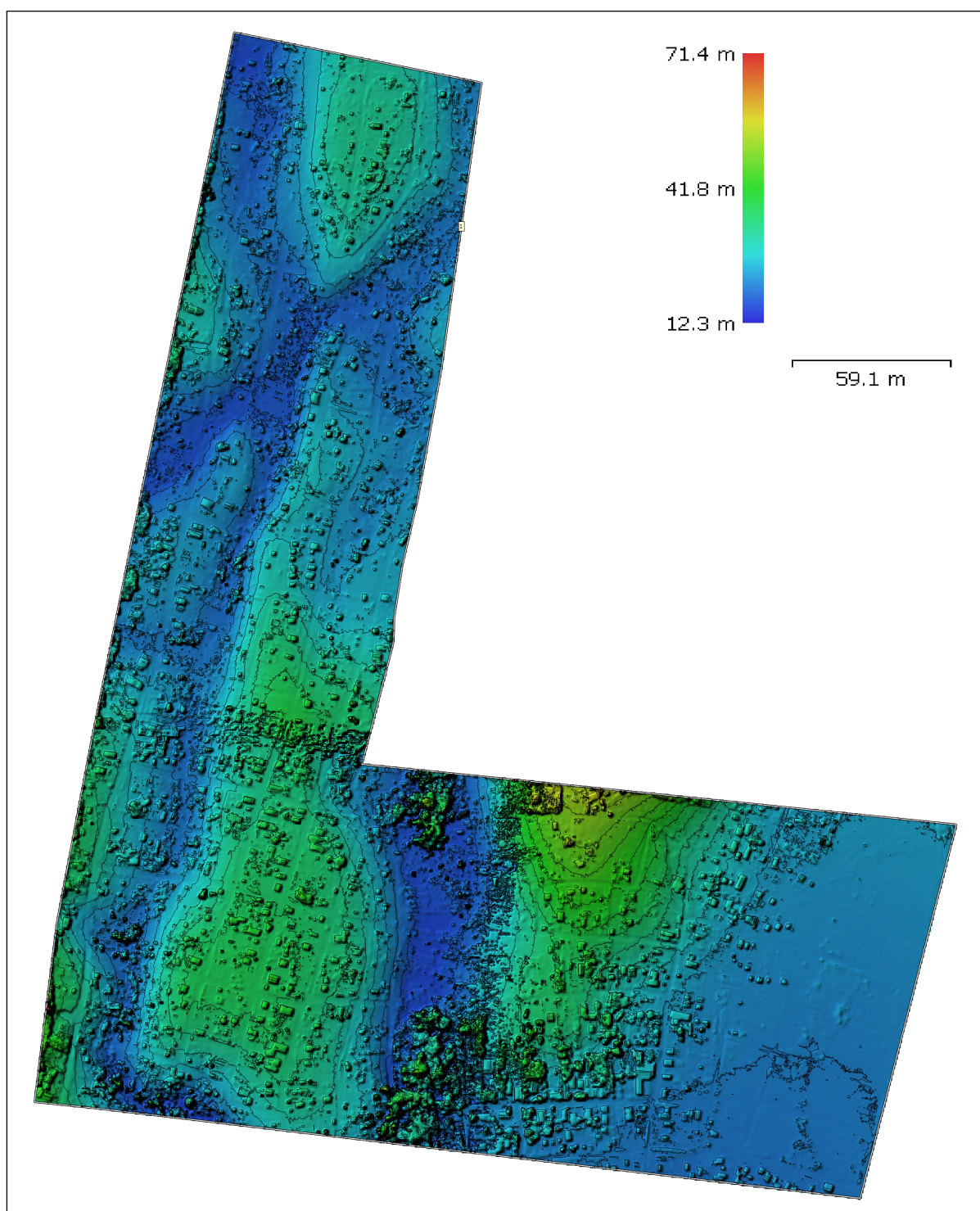
Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

4.1.3 Modelo Digital de Superfície

A geração do MDS representou a consolidação dos dados altimétricos brutos obtidos através da reconstrução fotogramétrica. Diferente do MDT, o MDS preservou as elevações de todos os elementos dispostos sobre o solo, incluindo a malha de edificações, a vegetação arbórea e as infraestruturas urbanas, garantindo uma representação fidedigna do relevo e das

estruturas antrópicas. Além disso, o MDS serviu como insumo para a identificação de áreas de sombra e oclusões, permitindo validar a qualidade do processamento realizado no Agisoft Metashape©. A precisão centimétrica do modelo assegura que as análises de risco de inundação sejam realizadas com base nas amplitudes reais das cotas altimétricas.

Figura 59: DEM obtido a partir do MDS com curvas de nível a cada 3 metros.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Figura 60: Vista em perspectiva do MDS da área de estudo.

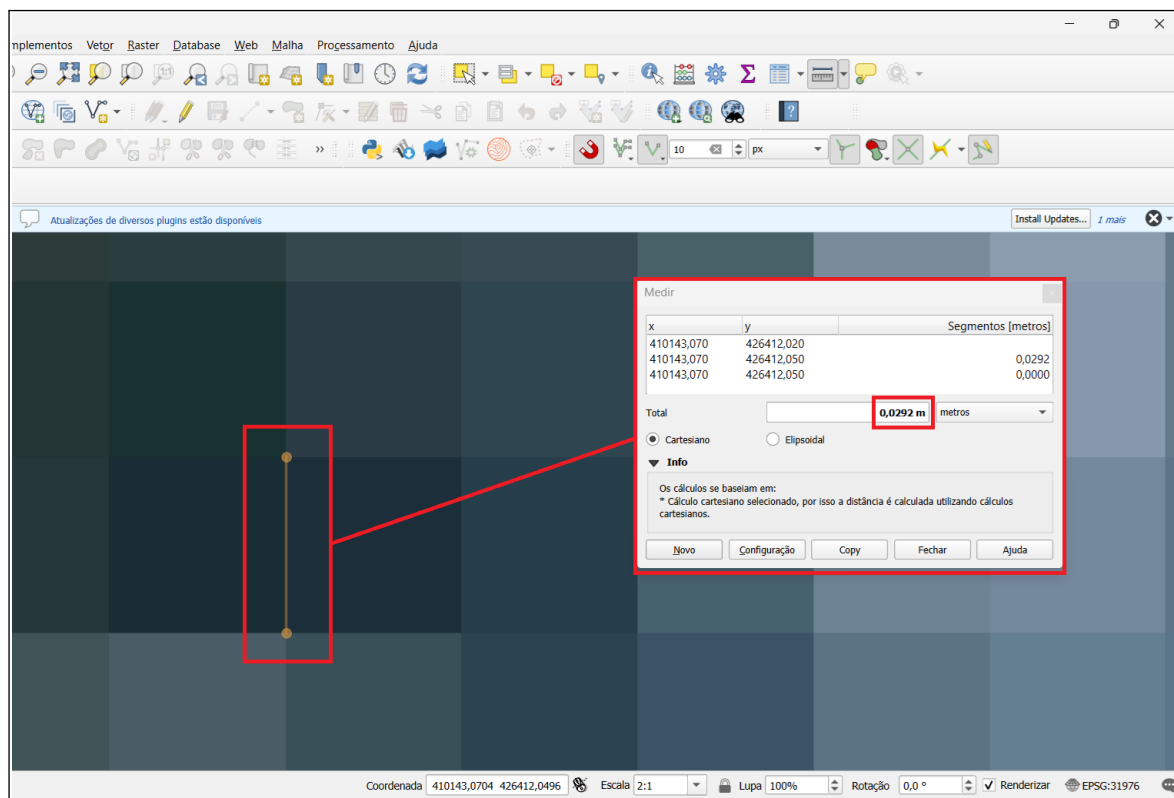


Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

4.1.4 Ortomosaico

A elaboração do ortomosaico resultou em uma representação contínua e ortorretificada de extrema fidelidade visual e métrica da área de estudo. O principal indicador de qualidade deste produto foi a obtenção de uma resolução espacial, expressa pelo GSD, com valor 2,92 cm/px. Este valor representa um patamar de detalhamento técnico superior aos obtidos por imagens de satélite Landsat, por exemplo, cuja resolução espacial é de 30 m/px.

Figura 61: Medição do GSD de um pixel do ortomosaico dentro do QGIS©.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Com este nível de detalhamento, foi possível discernir com precisão os limites de propriedades, tipologias de telhados e, primordialmente, a zona de transição entre a mancha urbana e a vegetação nativa, conforme preconizado por Pires et al. (2015) sobre a importância do mapeamento como suporte ao planejamento. Em escalas de resolução mais baixas (GSD maior), feições como pequenos cursos d'água (igarapés) ou áreas de solo exposto em início de ocupação poderiam ser confundidas, comprometendo a fidedignidade dos dados quantitativos.

Figura 62: Ortomosaico gerado no Agisoft Metashape®.

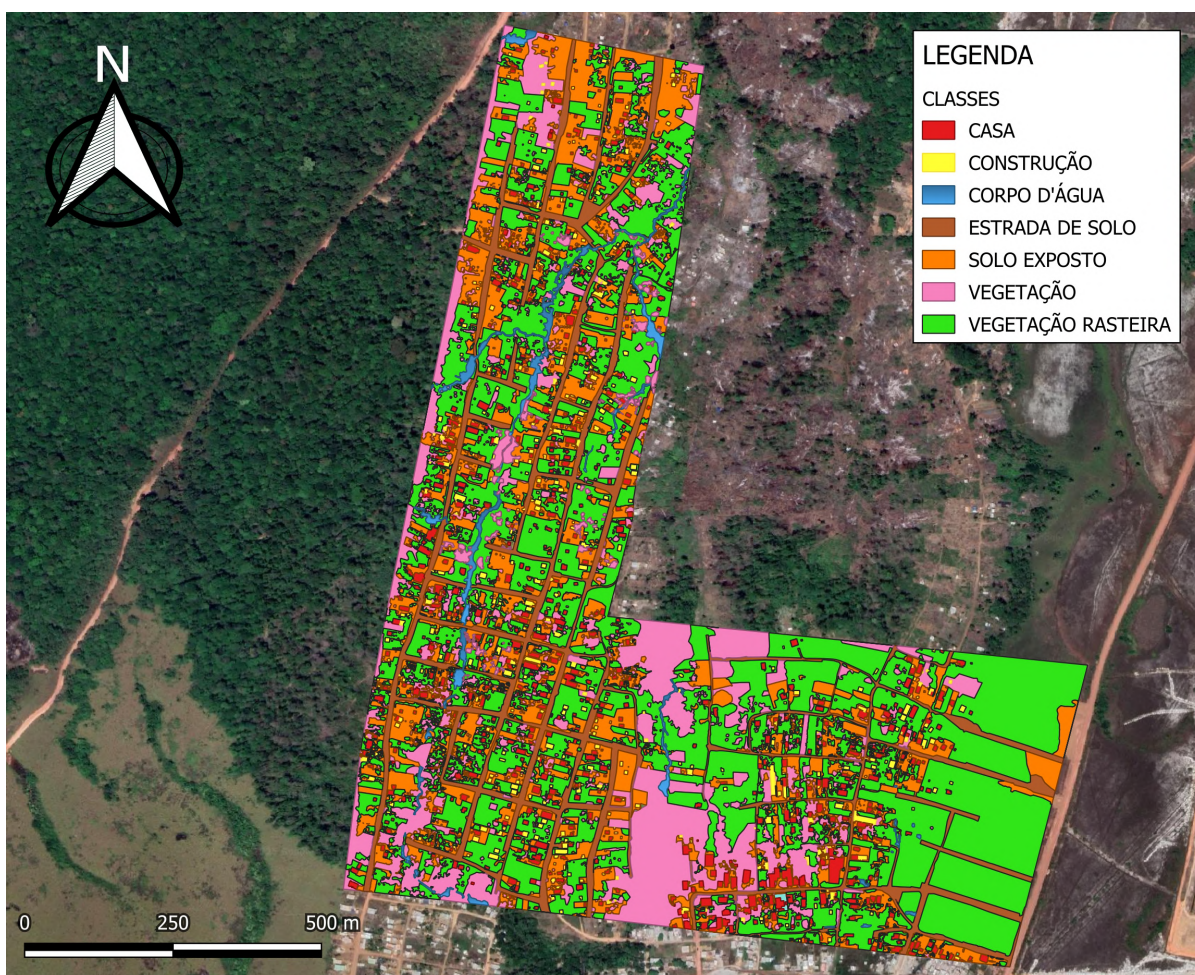


Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

4.2 Vetorização

Na segunda etapa, a vetorização manual realizada no ambiente QGIS© converteu o detalhamento visual de alta resolução do ortomosaico verdadeiro em dados analíticos, permitindo a compartimentação precisa das classes de uso do solo e a extração de métricas quantitativas de áreas e perímetro. Conforme os postulados de Pires et al. (2015) e Silva et al. (2023), essa transição do produto matricial para o dado vetorial discreto é o que possibilita diagnosticar, com rigor estatístico, a magnitude da expansão urbana e os impactos sobre a cobertura vegetal nativa na área de estudo. O mapa gerado a partir do processo de fotoidentificação humana é exibido na Figura 63.

Figura 63: Mapa de classificação do solo da área de estudo.



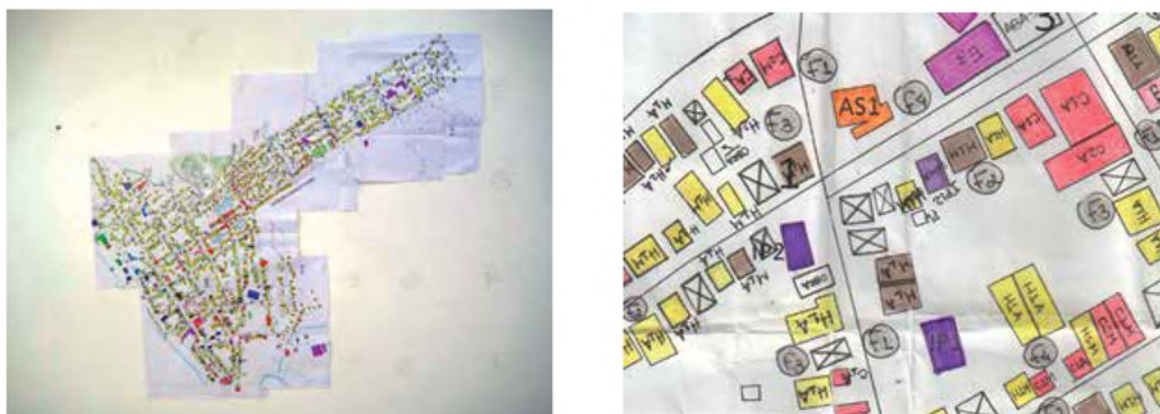
Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A construção desse banco de dados geográficos através da vetorização digital proporcionada por ferramentas SIG e aerofotogramétricas fornece um panorama mais preciso em relação aos métodos convencionais de mapeamento de usos do solo. Em comparação, podemos citar com exemplo os mapeamentos executados durante os estudos realizados no Plano Diretor Participativo do Município de Ferreira Gomes, de 2013, em que os aspectos físicos de campo eram

obtidos em duas etapas:

1. **Coleta das informações em campo:** Realizada com anotações nas pranchas A3 a lápis ou caneta em uma cor, utilizando os códigos da legenda e da tabela, marcações dos códigos das condições físico-naturais existentes na área urbana, indicações de novas edificações e vazios urbanos de propriedade pública ou privada, cadastramento de pontos georreferenciados quando necessário, registro fotográfico de todas as faces das quadras ou de outros aspectos das áreas importantes para o planejamento;
2. **Transferência e classificação nos mapas:** Transferência diária de todos os dados coletados para a base principal utilizando cores definidas na legenda e para o formato digital e organização das imagens. Este procedimento permitiu a checagem das informações no dia posterior, quando necessário.

Figura 64: Mapeamento dos usos do solo em Ferreira Gomes (2013).



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Em relação o processo adotado pela prefeitura de Ferreira Gomes, a vetorização no ambiente SIG destaca-se frente aos seguintes pontos:

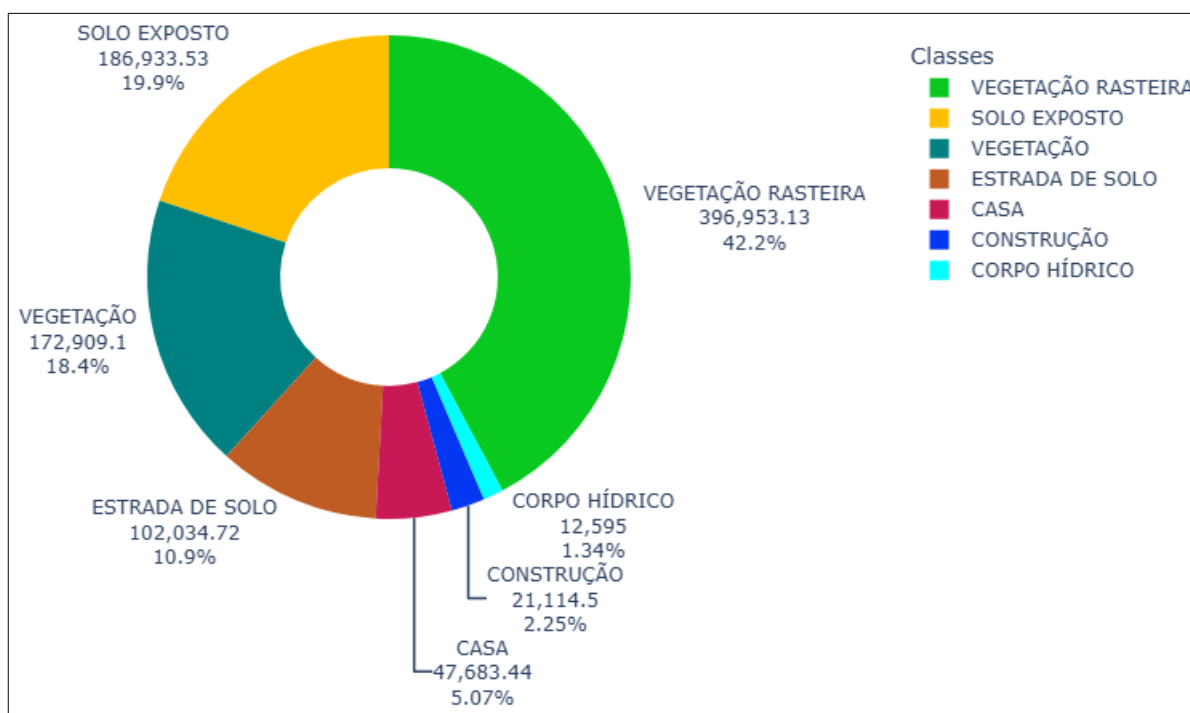
- **Sistematização para Tabelas de Atributos:** A metodologia do Plano Direto Participativo (2013) descreve a criação de uma legenda de códigos para o mapeamento do uso do solo. Na vetorização, esses códigos (como NEL, PAV, ARB) deixam de ser simples anotações em papel e tornam-se colunas na Tabela de Atributos do QGIS©. Cada polígono desenhado recebe esses dados alfanuméricos, permitindo que o sistema diferencie automaticamente uma área residencial de uma comercial ou identifique a presença de pavimentação, por exemplo.
- **Integração de Infraestrutura e Saneamento:** O plano aborda a verificação da infraestrutura urbana (abastecimento de água, esgoto, drenagem e coleta de lixo). Na vetorização, esses dados permitem a criação de camadas temáticas específicas. Por exemplo: Ao vetorizar a malha viária, pode-se atribuir se aquela linha (rua) possui ou não rede de drenagem

ou iluminação pública. Isso transforma o mapa vetorial em uma ferramenta de análise de déficit de infraestrutura, indo além do simples desenho geométrico.

- **Agilidade de informação:** Ao realizar a digitalização do mundo físico, o processo de busca e análise das informações geográficas adquire uma celeridade que supera métodos manuais tradicionais. Os dados físicos obtidos em campo são a “matéria-prima” da inteligência geográfica. Enquanto o texto foca na coleta física e na organização lógica das informações, a vetorização é o processo técnico que materializa esses dados em um ambiente digital. Sem a estrutura de legendas e o rigor do georreferenciamento a vetorização seria apenas um desenho artístico auxiliado por computador, carecendo do valor técnico e analítico necessário para análises geográficas e tomadas de decisão mais ágeis.

Os resultados quantitativos percentuais proveniente da classificação de usos do solo por meio do processo de fotoidentificação realizados neste trabalho, em termos de área, são mostrados no gráfico da Figura 65.

Figura 65: Resultados da vetorização no QGIS©.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

É possível ver que há predominância de Vegetação Rasteira, ocupando 42,2% da área total analisada. Em sequência, as classes Solo Exposto (19,9%) e Vegetação (18,4%) representam porções significativas, indicando uma cobertura majoritariamente natural em detrimento de áreas urbanizadas. As intervenções antrópicas, somando Estrada de Solo, Casa e Construção totalizam menos de 20%, enquanto Corpos Hídricos é a menor classe identificada, com apenas 1,34%. Esses dados estatísticos, expressos em área e porcentagem, fornecem um panorama

quantitativo preciso sobre a composição da superfície mapeada no estudo. Entretanto, ao considerar o ambiente exibido na Figura 6a, Vegetação Rasteira e Solo Exposto passam a integrar a contagem dos processos de intervenção antrópica, isto porque até novembro de 2018 a região era composta majoritariamente por vegetação frondosa. Sob essa ótica, em termos de regiões diretamente modificadas por meio de atividades humanas, 80,3% da superfície original foi alterada, totalizando 755.000 m² de área modificada.

Em termos de unidades habitacionais, foram identificadas 662 novas residências com área superior a 20 m². Paralelamente, 341 novas construções com área superior a 20 m² foram identificadas durante o processo de vetorização. Essa expansão, marcada pela abertura de novos lotes e pela implantação irregular de vias, promoveu uma alteração expressiva no padrão de uso e ocupação do solo. Observou-se também um aumento perceptível das superfícies impermeáveis, caracterizadas principalmente por solo exposto compactado, edificações e estruturas de infraestrutura básica. Esse processo, embora progressivo, avança de forma não planejada e sem padronização construtiva, indicando fragilidade no ordenamento territorial e ausência de diretrizes urbanísticas consolidadas. Como consequência, há uma redução da capacidade de infiltração do solo, fator que potencializa o escoamento superficial e, conseqüentemente, a suscetibilidade a eventos erosivos.

Além disso, as mudanças no micro relevo, detectadas por meio da análise conjunta da nuvem de pontos densificada, dos modelos de elevação e vetorização sugerem intervenções antrópicas recentes, como cortes e aterros não regularizados. Essas alterações, embora pontuais, interferem significativamente na dinâmica hídrica local, criando pontos de instabilidade e áreas vulneráveis a processos de alagamento. Outro aspecto relevante decorre da análise temporal das imagens, que evidencia avanço da ocupação sobre zonas ambientalmente mais sensíveis, especialmente áreas de baixa declividade que funcionavam como zonas naturais de escoamento e infiltração, onde o relevo atua como um receptor de águas pluviais. A ocupação dessas regiões tende a comprometer de forma severa a drenagem natural, aumentar a recorrência de alagamentos durante períodos de maior precipitação e inviabilizar o tráfego em épocas de chuva. A combinação dos destes fenômenos culmina na transformação de vias públicas em barreiras intransponíveis para a população em períodos de chuva, podendo resultar no isolamento de comunidades, na interrupção do tráfego de automóveis e em riscos biológicos severos. A interrupção da passagem humana não é apenas um transtorno logístico, compromete a segurança de pedestres que se veem obrigados a transitar em meio a águas possivelmente contaminadas ou em vias onde a profundidade impede a visualização de depressões no leito das ruas.

Durante inspeção em campo, foram verificados 7 pontos notáveis em que a problemática da ocupação humana em áreas de baixa declividade se mostra evidente (Figura 66). Em seguida, foi realizada a sobreposição desses pontos em relação ao DEM, gerado a partir do MDT, e aos cursos d'água identificados no processo de vetorização.

Figura 66: Pontos de alagamento.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Durante a execução das fotografias *in situ*, notou-se que o ponto P01 ainda apresentava determinado acúmulo de água oriundo de precipitação, sendo explicado pelo fato de estar localizado em uma região de elevação inferior aos demais. No ponto P02 foi verificado a presença de uma ponte de madeira como forma de travessia sem obstruir o curso d'água existente. No ponto P03 é possível verificar o processo erosivo do corpo hídrico que cruza a via, bem como tábuas de madeira utilizadas para a passagem de transeuntes durante momentos de cheia. De forma análoga ao ponto P02, os pontos P04 e P05 possuem elementos de madeira que servem como objetos de travessia durante épocas elevados níveis d'água. Os pontos P06 e P07 não apresentavam cursos de água ativos, porém, foram observados processos erosivos nas laterais das vias e aterros recentes nas regiões mais baixas, indicando que durante momentos de chuva as águas pluviais se acumulam na calha do talvegue, resultando na obstrução dos caminhos. As informações podem ser extraídas a partir das Figuras 67 a 76 que foram obtidas em campo utilizando um smartphone.

Figura 67: Ponto de alagamento P01.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Figura 68: Ponto de alagamento P02.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Figura 69: Ponto de alagamento P03.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Figura 70: Ponto de alagamento P04.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Figura 71: Ponto de alagamento P05.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Figura 72: Ponto de alagamento P06.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Figura 73: Ponto de alagamento P06 - Lateral montante durante estiagem.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Figura 74: Ponto de alagamento P06 - Lateral jusante durante estiagem.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Figura 75: Ponto de alagamento P07.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Figura 76: Ponto de alagamento P07.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

5 CONCLUSÕES

O presente trabalho evidenciou a eficácia da aplicação integrada de técnicas de aerofotogrametria, vetorização e SIG para o planejamento territorial, com foco no município de Oiapoque, no estado do Amapá. A expansão urbana em direção a áreas periféricas ilustra um cenário complexo de transformações espaciais aceleradas. A análise multitemporal e espacial realizada permitiu diagnosticar, com elevado rigor técnico, a dinâmica dessa ocupação, superando a escassez de dados oficiais atualizados e fornecendo uma base cartográfica verossímil para a gestão do território.

Observa-se que a problemática social inerente aos assentamentos informais está diretamente atrelada à degradação ambiental, impactando severamente na qualidade de vida das populações locais. O crescimento desordenado impulsiona o desmatamento acelerado e a supressão da cobertura vegetal nativa, que, na área modificada do caso estudado, atingiu aproximadamente 80,3% da superfície original. Associado a isso, as mudanças de relevo provocadas por cortes e aterros irregulares eliminam as zonas naturais de infiltração e escoamento hídrico. Como consequência, as áreas de baixa declividade tornam-se suscetíveis a alagamentos crônicos, transformando vias públicas em barreiras intransponíveis durante períodos chuvosos e expondo a população a graves riscos biológicos e logísticos.

Diante dessa conjuntura de vulnerabilidade socioambiental, a aerofotogrametria e os sistemas SIG emergem como ferramentas de grande valia para a detecção e o monitoramento de áreas críticas. Ao permitir a geração de produtos cartográficos de alta resolução, como ortomosaicos e modelos digitais de superfície, essas geotecnologias garantem a precisão necessária para identificar padrões de uso do solo, delimitar zonas de risco e avaliar os impactos antropogênicos de forma otimizada. Dessa forma, o diagnóstico preciso de áreas vulneráveis viabiliza o ordenamento sustentável do território, mitigando os efeitos nocivos do crescimento irregular.

No que tange o desenvolvimento do projeto, a metodologia adotada demonstrou ser robusta e adequada para fornecer as informações geográficas acuradas do local. A transição dos dados matriciais brutos para informações vetoriais quantificáveis possibilitou não apenas a representação gráfica, mas a criação de evidências científicas sólidas sobre a expansão da mancha urbana em detrimento das áreas de vegetação. O rigor métrico obtido nos levantamentos assegurou a confiabilidade indispensável para subsidiar propostas de intervenção na engenharia civil e na gestão estratégica municipal.

Constata-se que o projeto alcançou com êxito os seus propósitos, conforme detalhado na verificação dos objetivos gerais e específicos a seguir:

- **Objetivo Geral alcançado:** Analisou-se a dinâmica de expansão urbana e os impactos antrópicos em áreas de vulnerabilidade no município de Oiapoque, gerando subsídios consolidados para o planejamento territorial.

- **Objetivos Específicos alcançados:**

- 1) As fotografias capturadas por aeronave remotamente pilotada foram devidamente processadas, gerando produtos de alta fidelidade como a nuvem densa de pontos, o ortomosaico e os modelos digitais de superfície e terreno;
- 2) Padrões de uso e ocupação do solo foram identificados e vetorizados no software QGIS, quantificando de maneira minuciosa a supressão vegetal e a presença de assentamentos informais; e
- 3) A evolução temporal da mancha urbana foi avaliada em profundidade, correlacionando o avanço desordenado aos riscos ambientais e geomorfológicos associados à localidade.

Apesar da alta capacidade computacional dos softwares utilizados na aerofotogrametria, o trabalho evidenciou a necessidade imperativa da intervenção humana para garantir o rigor geométrico dos produtos. A presença de um analista qualificado é indispensável para acompanhar o processo, filtrar informações obtusas e tratar ruídos inerentes à base de dados bruta. A detecção e remoção manual de outliers na nuvem de pontos, por exemplo, demonstrou ser essencial para evitar distorções nos modelos digitais de elevação, assegurando que anomalias processuais não comprometessem as análises altimétricas e hidrológicas subsequentes.

Este trabalho conecta-se intrinsecamente com a necessidade da população em ter garantidos os serviços mínimos de infraestrutura urbana. O mapeamento vetorial detalhado traduz o déficit habitacional e a carência sanitária em bancos de dados alfanuméricos, os quais são fundamentais para o planejamento de redes de drenagem, saneamento básico e iluminação pública. Ao evidenciar as áreas carentes de planejamento, o estudo reforça o papel da engenharia civil e do poder público na promoção do bem-estar social e na garantia do direito a uma infraestrutura estruturada e segura.

Entre os pontos de melhoria que podem ser implementados em levantamentos futuros semelhantes, destaca-se o aprimoramento na capacidade de filtragem altimétrica em áreas de vegetação extremamente densa, onde o sensor passivo da câmera RGB possui limitações para penetrar o dossel e mapear o terreno natural subjacente. A integração da coleta com pontos de controle terrestre (GCPs e Check Points) aferidos por receptores GNSS RTK/PPK de dupla frequência poderia elevar ainda mais a acurácia e precisão posicional absoluta do bloco fotogramétrico. Ademais, a automação de certas etapas de vetorização geométrica, possivelmente por meio de algoritmos de aprendizado de máquina, otimizaria o tempo de processamento em áreas de grande extensão.

Para trabalhos futuros, sugere-se a aplicação destes modelos digitais de alta resolução na elaboração de simulações hidrológicas bidimensionais e tridimensionais, visando prever com exatidão as manchas de inundação e dimensionar sistemas de micro e macrodrenagem eficientes para a bacia local. Recomenda-se, igualmente, a implementação de um monitoramento

temporal contínuo utilizando VANTs (Veículos aéreos não tripulados), que possa ser permanentemente integrado ao Plano Diretor Municipal, facilitando a fiscalização de áreas de proteção permanente e o controle preventivo e ostensivo do uso do solo.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb)**. Brasília, DF, 2026. Acesso em: 20 jan. 2026. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/>.

AGISOFT. **Agisoft Metashape Professional Edition - Trial Version**. [S.l.], 2021. Versão 1.8.0 - Trial. Acessado em: 15/08/2025. Disponível em: <https://www.agisoft.com/>.

AGISOFT LLC. **Agisoft Metashape User Manual - Professional Edition, Version 2.1**. [S.l.], 2024.

CUNHA, A. C. et al. **Produto C: Atividades Iniciais – Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) de Oiapoque**. Projeto TEDPLAN/UNIFAP/FUNASA, 2025. Macapá-AP, 2026. Acesso em: 12 fev. 2026. Disponível em: <https://saneamento.unifap.br/>.

DRONENG. **MDT e MDS: Você sabe a diferença?**. 2016. Disponível em: <https://blog.droneng.com.br/mdt-e-mds/>.

EXUPÉRY, A. d. S. *Terra dos homens*. Rio de Janeiro, 1968.

FEITOZA, C. J. **Aplicação do método aerofotogramétrico em levantamentos planimétricos e projetos de Engenharia Civil: estudo de caso IFAP-Campus Santana**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em engenharia civil). Universidade Federal do Amapá, p. 60, 2024.

FERREIRA GOMES. Lei municipal Nº 972, de 16 de novembro de 2013. **Plano Diretor Participativo do município de Ferreira Gomes, Estado do Amapá**. Ferreira Gomes, 2013. Disponível em: <https://ferreiragomesenergia.com.br/wp-content/uploads/sites/3/2018/04/2013.06.03-Plano-Diretor-Ferreira-Gomes.pdf>.

GOOGLE LLC. **Google Earth Pro** ©. Mountain View, CA: [s.n.], 2026. Acesso em: 03 set. 2025. Disponível em: <https://www.google.com.br/earth/download/gep/agree.html>.

GOVERNO DO ESTADO DO AMAPÁ. **Dados Geográficos**. 2026. Disponível em: <https://ageamapa.portal.ap.gov.br/conteudo/por-que-o-amapa/dados-geograficos>.

INGUAGGIATO, F. F.; OLIVATTO, T. F.; STANGANINI, F. N. **Uso de aeronave remotamente pilotada como ferramenta para análise e gestão territorial: Um estudo para regularização fundiária urbana**. *EngUrb em Debate*, v. 3, n. 1, p. 8–24, 2022. Disponível em: <https://www.engurbdebate.ufscar.br/index.php/engurbdebate/article/view/39>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades e estados do Brasil**. Rio de Janeiro, 2026. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>.

JABOATÃO DOS GUARARAPES. Lei municipal Nº 972, de 16 de novembro de 2013. **Lei de Uso, Ocupação e Parcelamento do Solo do município de Jaboaão dos Guararapes**. Jaboaão dos Guararapes, 2013. Disponível em: https://jaboatao.pe.transparenciamunicipal.online/uploads/5228/2/atos-oficiais/2022/projetos-de-lei/1743689615_projeto-de-lei-executivo-0062022compressed.pdf.

MOREIRA, P. et al. **Variação microclimática de sítios urbanos com diferentes níveis de cobertura vegetal como subsídio à formação de Ilha de Calor.** *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 13, n. 07, p. 3254–3274, 2020.

NASCIMENTO, B. L. d. do; RABELO, F. D. B. **Redução das áreas verdes e expansão urbana no município de Tefé-AM: Alterações nos bairros Santa Tereza e Bom Jardim Lara.** *Geographia Opportuno Tempore*, v. 10, n. 1, 2024.

NONATO JÚNIOR, R. **Fronteira do Oiapoque: experiências do campo de pesquisa na interface Brasil-França.** In: TOURNEAU, F.-M. L.; CANTO, O. do (Ed.). *Amazônias brasileiras, Situações locais e evoluções, vol. 1 Sínteses dos casos de estudo*. NUMA/UFPa, 2019. Disponível em: <https://shs.hal.science/halshs-02354795>.

OLIVEIRA, B. S. **Dinâmicas sociais na fronteira entre o Estado do Amapá e a Guiana Francesa: um estudo sobre Oiapoque, Vila Vitória do Oiapoque e Cayenne.** Universidade Federal do Amapá (UNIFAP), 2011.

PENA, B. P. L.; CUNHA, A. C. da; CUNHA, H. F. A. **Fatores de segregação urbana na Amazônia Oriental: Mobilidade, ambiente, infraestrutura e educação.** *Revista Políticas Públicas & Cidades*, v. 14, n. 10, p. e2865–e2865, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.23900/2359-1552v14n10-9-2025>.

PESSOA NETO, A. G.; BARBOSA, I. M. B. R.; FAUSTINO, R. **Geoprocessamento aplicado ao uso e ocupação do solo da zona de conservação de corpos d'água no município do Jaboatão dos Guararapes-PE.** *Mix sustentável*, v. 5, n. 2, p. 99–107, 2019.

PIRES, V. A. d. N. **Usabilidade de RPA para identificação de telhados com a finalidade de captação de água da chuva.** Trabalho de conclusão de curso (Graduação em engenharia cartográfica e agrimensura). Universidade Federal de Pernambuco, p. 63, 2021.

PIRES, V. R. d. O. et al. **Mapeamento do uso e ocupação da terra como subsídio para o planejamento ambiental.** *Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais*, v. 12, n. 1, p. 899–908, 2015. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/view/4345>.

QGIS. **Geographic Information System:** Qgis development team. [S.l.], 2025. Acessado em: 16/10/2025. Disponível em: <http://www.qgis.org>.

SILVA, M. L. E. da et al. **Riscos ambientais associados à urbanização: análise temporal de ocupações desordenadas em uma encosta do município do Recife.** *Revista Principia*, v. 60, n. 2, p. 354–369, jun. 2023. ISSN 2447-9187.

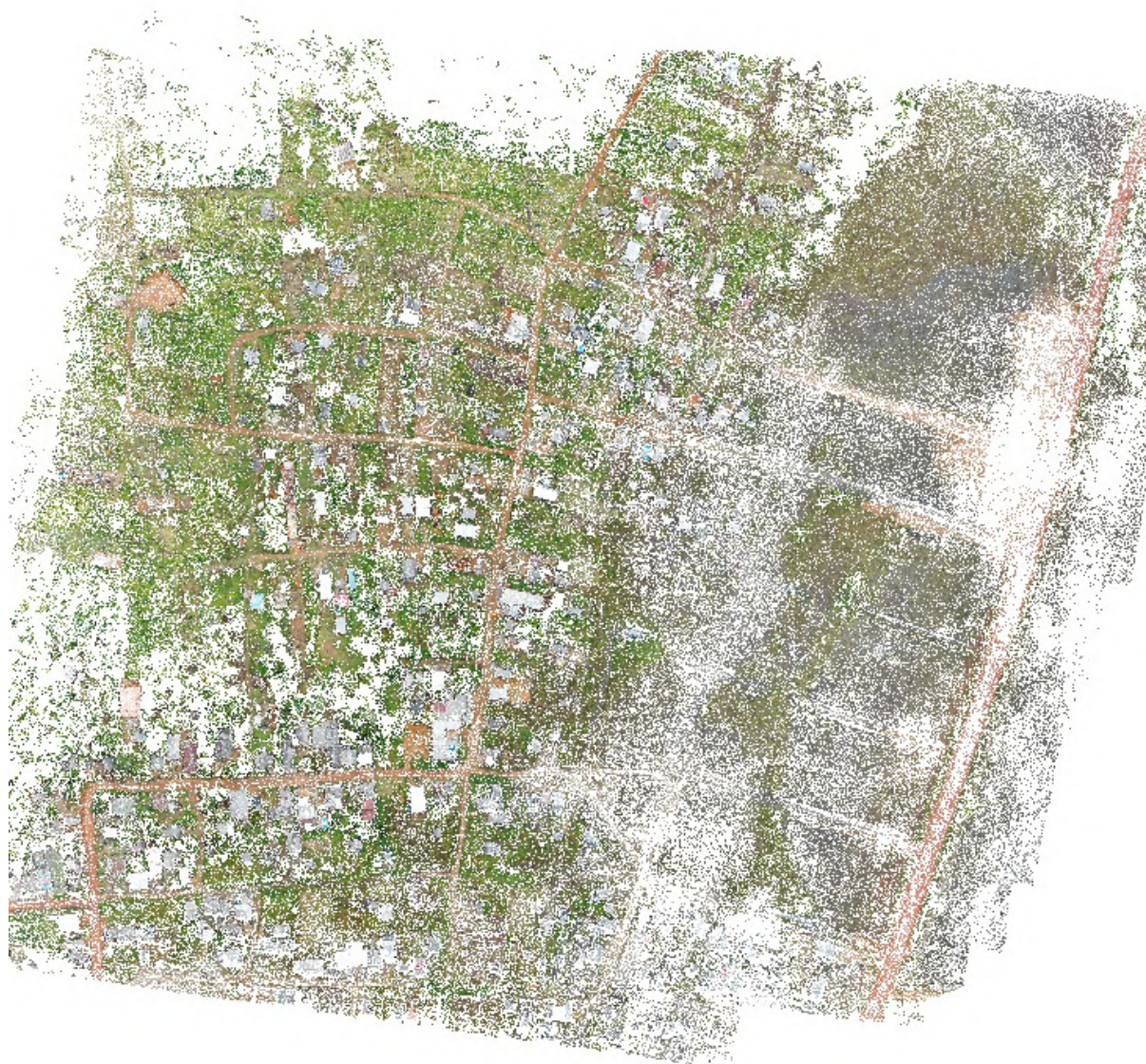
TAVARES, V. **Promessa de petróleo no Oiapoque atrai brasileiros do exterior e transforma região: 'É um bairro atrás do outro'.** Amapá: G1, 2026. Disponível em: <https://g1.globo.com/ap/amapa/noticia/2026/01/14/promessa-de-petroleo-no-oiapoque-atrai-brasileiros-do-exterior-e-transforma-regiao-e-um-bairro-atras-do-outro.ghtml>. Acesso em 16 jan. 2026.

TOSTES, J. A. **Urbanismo no Amapá.** Maringá, PR: Uniedusul, 2023, *Ebook*. ISBN 978-65-5418-041-2. Disponível em: <https://www.uniedusul.com.br/wp-content/uploads/2023/06/E-BOOK-URBANISMO-NO-AMAPA>. Acesso em: 05/02/2026.

A Relatório de processamento de voo - Área 01

Oiapoque 01 R01

**Processing Report
01 September 2025**



Survey Data

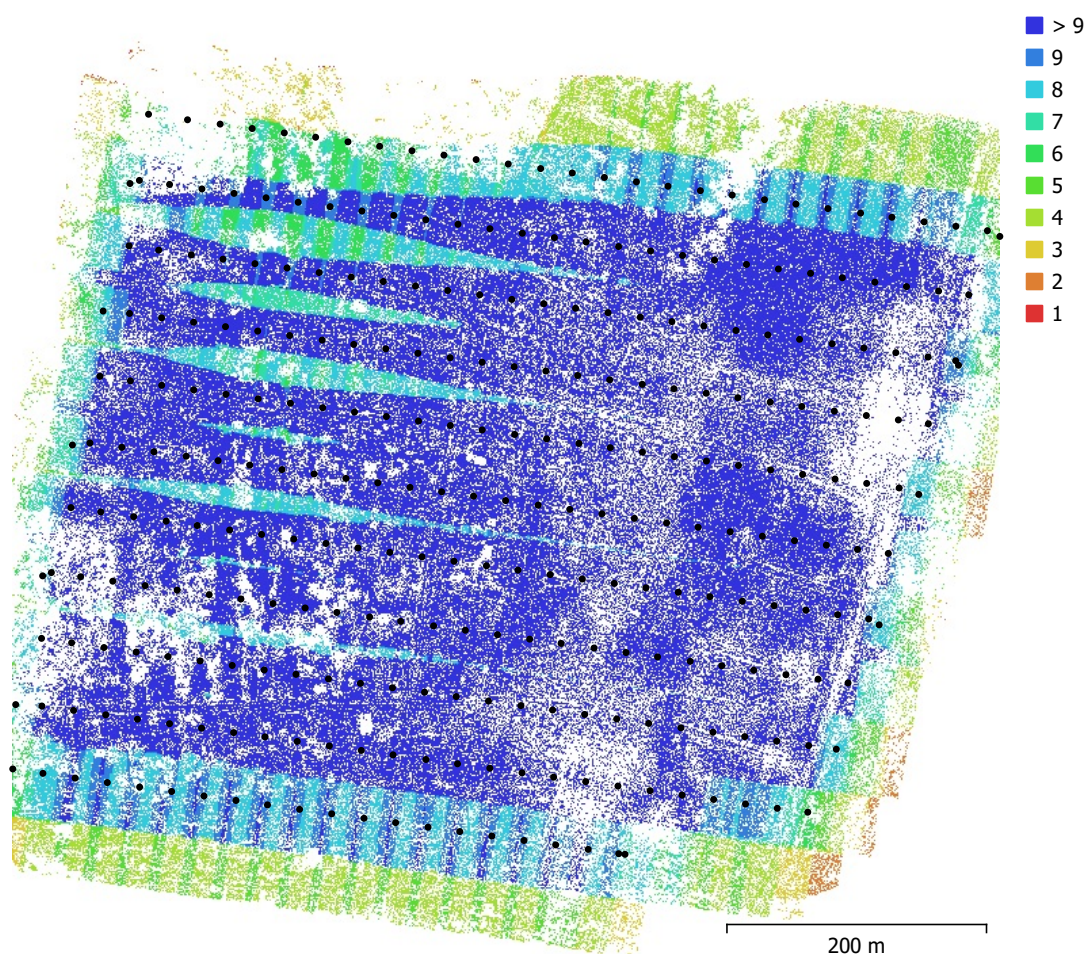


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	292	Camera stations:	292
Flying altitude:	127 m	Tie points:	532,693
Ground resolution:	2.99 cm/pix	Projections:	1,838,268
Coverage area:	0.257 km^2	Reprojection error:	0.606 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
Test_Pro (10.26mm)	5472 x 3648	10.26 mm	2.41 x 2.41 um	Não

Table 1. Cameras.

Calibração da Câmara

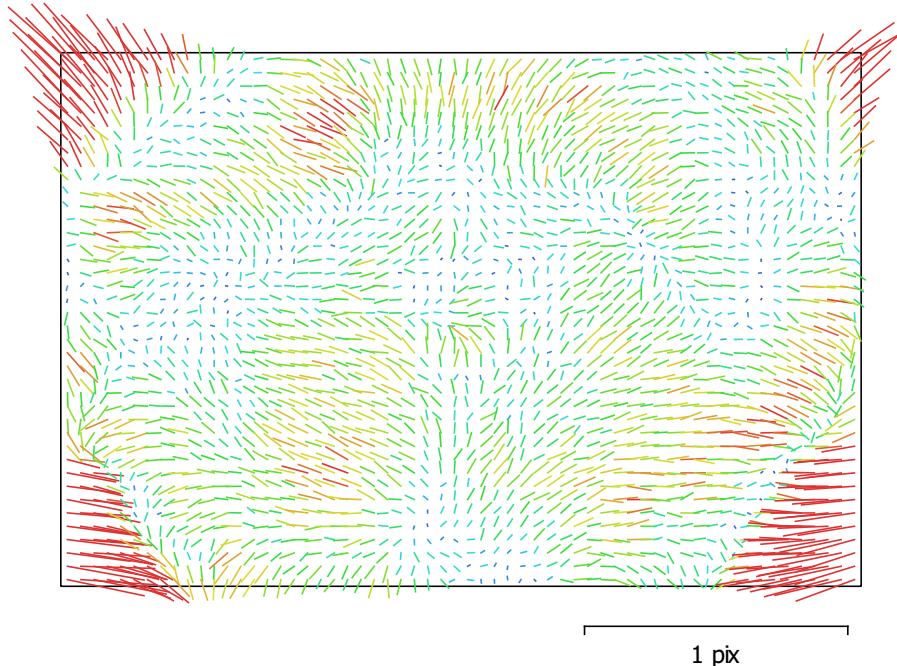


Fig. 2. Image residuals for Test_Pro (10.26mm).

Test_Pro (10.26mm)

292 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	5472 x 3648	10.26 mm	2.41 x 2.41 um

	Valor	Error	Cx	Cy	K1	K2	P1	P2
F	4256							
Cx	0.280192	0.029	1.00	0.03	-0.08	0.00	0.30	-0.03
Cy	5.65237	0.029		1.00	0.01	-0.00	0.02	0.27
K1	0.00155698	4.2e-05			1.00	-0.22	-0.62	0.44
K2	-0.00438571	1.1e-05				1.00	0.04	-0.03
P1	0.000900969	1.3e-06					1.00	-0.28
P2	0.000820829	9.8e-07						1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Locations

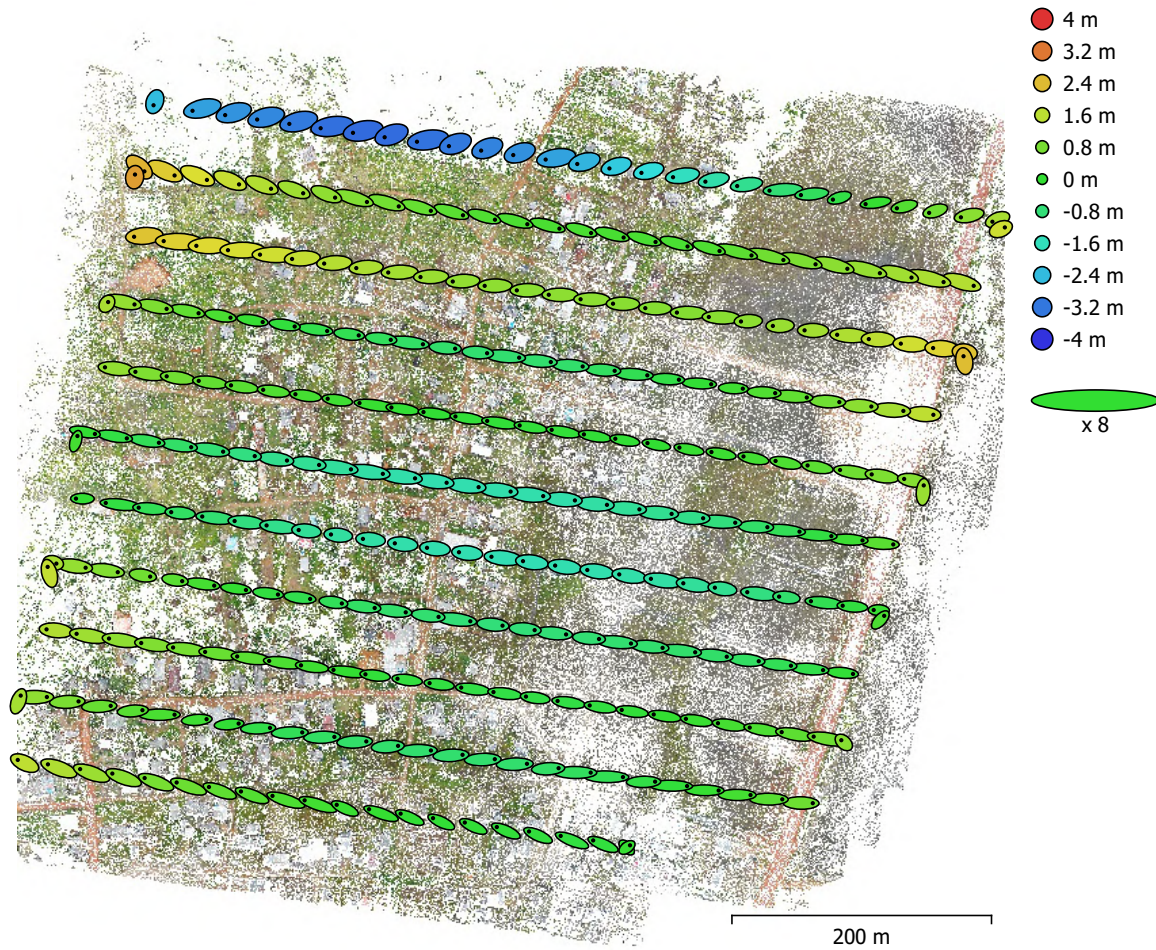


Fig. 3. Camera locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.
Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
2.11374	0.408632	1.14305	2.15288	2.43751

Table 3. Average camera location error.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Digital Elevation Model

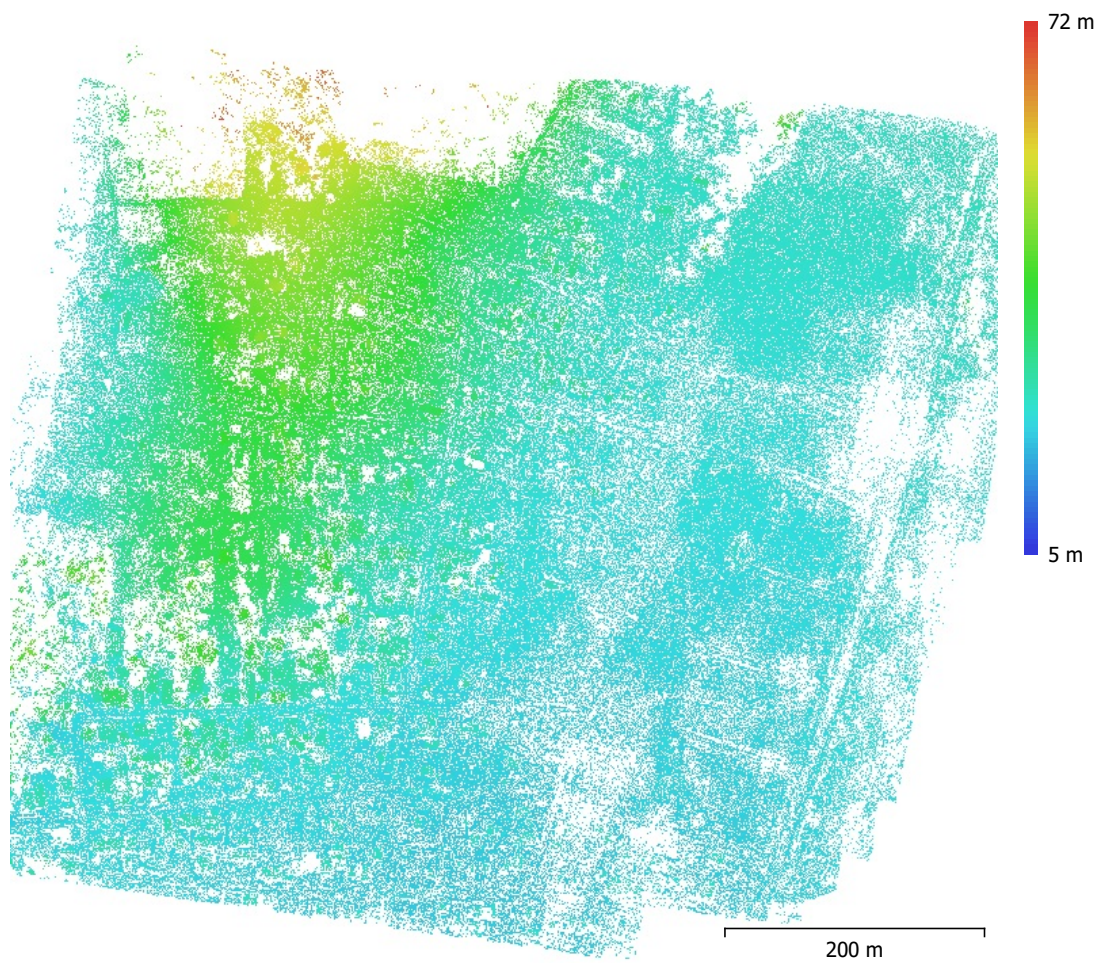


Fig. 4. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: unknown
Point density: unknown

Processing Parameters

Geral

Câmaras	292
Aligned cameras	292
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 22N (EPSG::31976)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

Nuvem de Pontos

Pontos	532,693 of 741,835
RMS reprojection error	0.127241 (0.605626 pix)
Max reprojection error	0.323605 (30.0251 pix)
Mean key point size	3.65577 pix
Cores dos pontos	3 bands, uint8
Key points	Não
Average tie point multiplicity	3.79921

Parâmetros de alinhamento

Precisão	Elevada
Generic preselection	Não
Reference preselection	Source
Key point limit	40,000
Key point limit per Mpx	1,000
Tie point limit	10,000
Filter points by mask	Sim
Mask tie points	Não
Exclude stationary tie points	Não
Guided image matching	Não
Adaptive camera model fitting	Sim
Matching time	10 minutes 55 seconds
Matching memory usage	390.84 MB
Alignment time	3 minutes 38 seconds
Alignment memory usage	1022.44 MB

Optimization parameters

Parâmetros	cx, cy, k1, k2, p1, p2
Adaptive camera model fitting	Não
Optimization time	5 seconds
Date created	2025:09:01 01:09:30
Software version	1.8.0.13794
File size	81.43 MB

System

Software name	Agisoft Metashape Professional
Software version	1.8.0 build 13794
OS	Windows 64 bit
RAM	31.71 GB
CPU	13th Gen Intel(R) Core(TM) i7-13620H
GPU(s)	NVIDIA GeForce RTX 4050 Laptop GPU

B Relatório de processamento de voo - Área 02 com identificação de outliers

OPQ 02 R00 - OUTLIER

Processing Report

16 September 2025



Survey Data

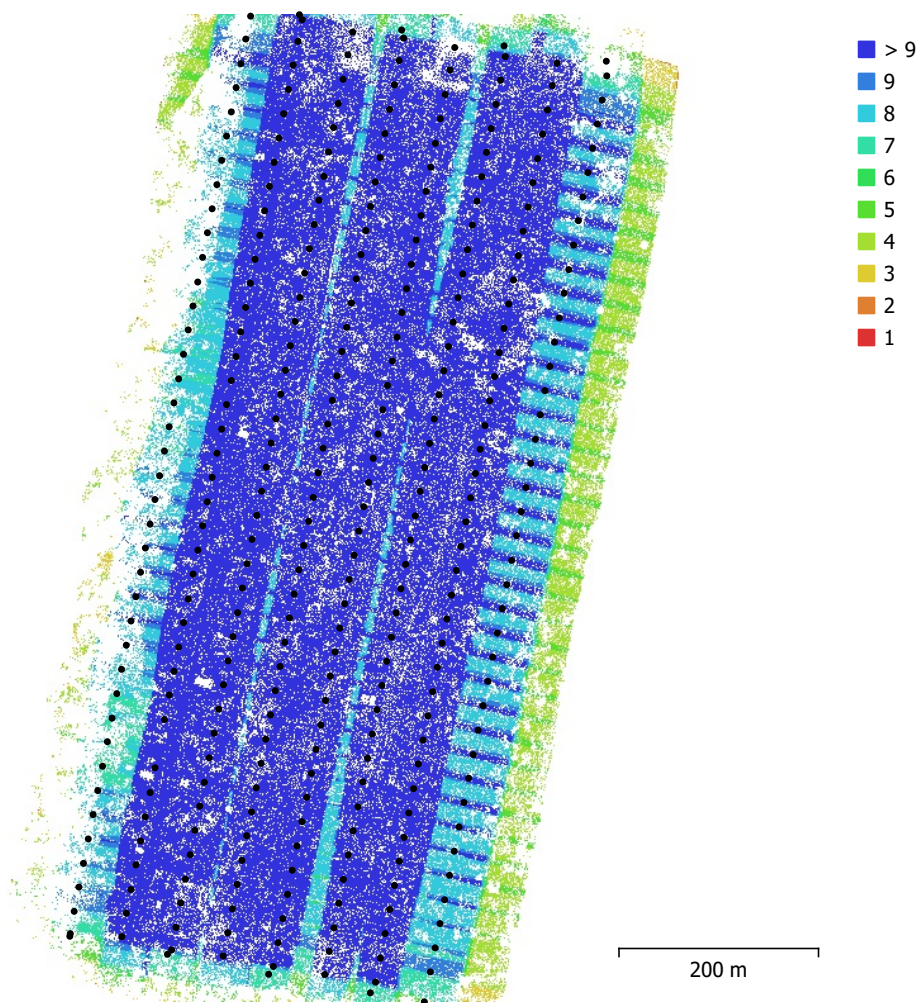


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	319	Camera stations:	319
Flying altitude:	126 m	Tie points:	609,589
Ground resolution:	2.97 cm/pix	Projections:	2,076,846
Coverage area:	0.339 km^2	Reprojection error:	0.438 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
Test_Pro (10.26mm)	5472 x 3648	10.26 mm	2.41 x 2.41 um	Não

Table 1. Cameras.

Calibração da Câmara

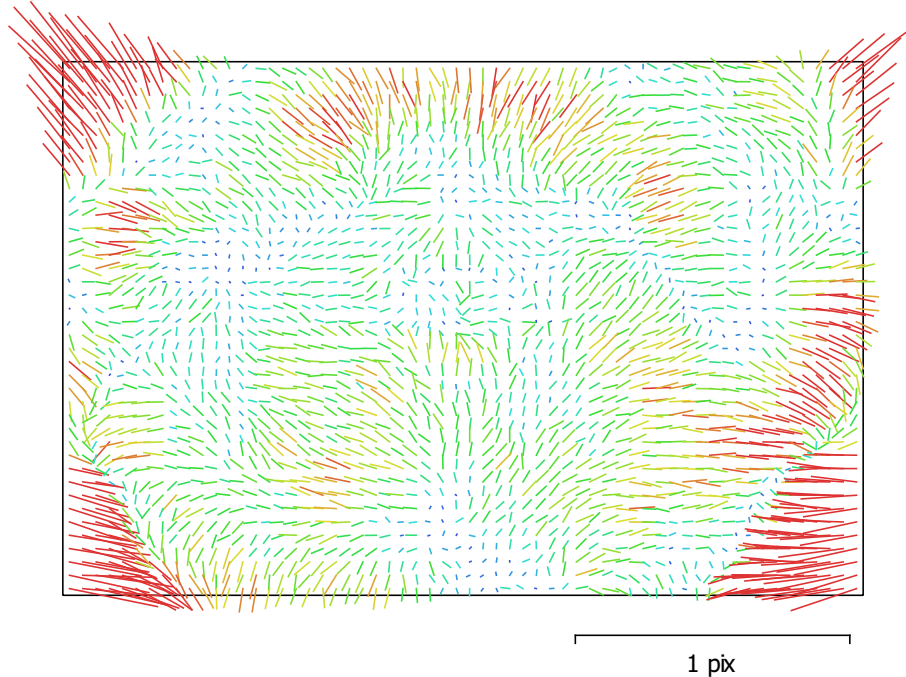


Fig. 2. Image residuals for Test_Pro (10.26mm).

Test_Pro (10.26mm)

319 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	5472 x 3648	10.26 mm	2.41 x 2.41 um

	Valor	Error	Cx	Cy	K1	K2	P1	P2
F	4256							
Cx	-1.75923	0.026	1.00	0.01	0.02	-0.01	0.18	0.02
Cy	8.84911	0.022		1.00	-0.04	-0.00	0.04	0.31
K1	0.000460969	5.2e-05			1.00	-0.19	-0.82	0.47
K2	-0.00448529	1.1e-05				1.00	0.05	-0.04
P1	0.000894201	1.8e-06					1.00	-0.38
P2	0.000813515	9.9e-07						1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Locations

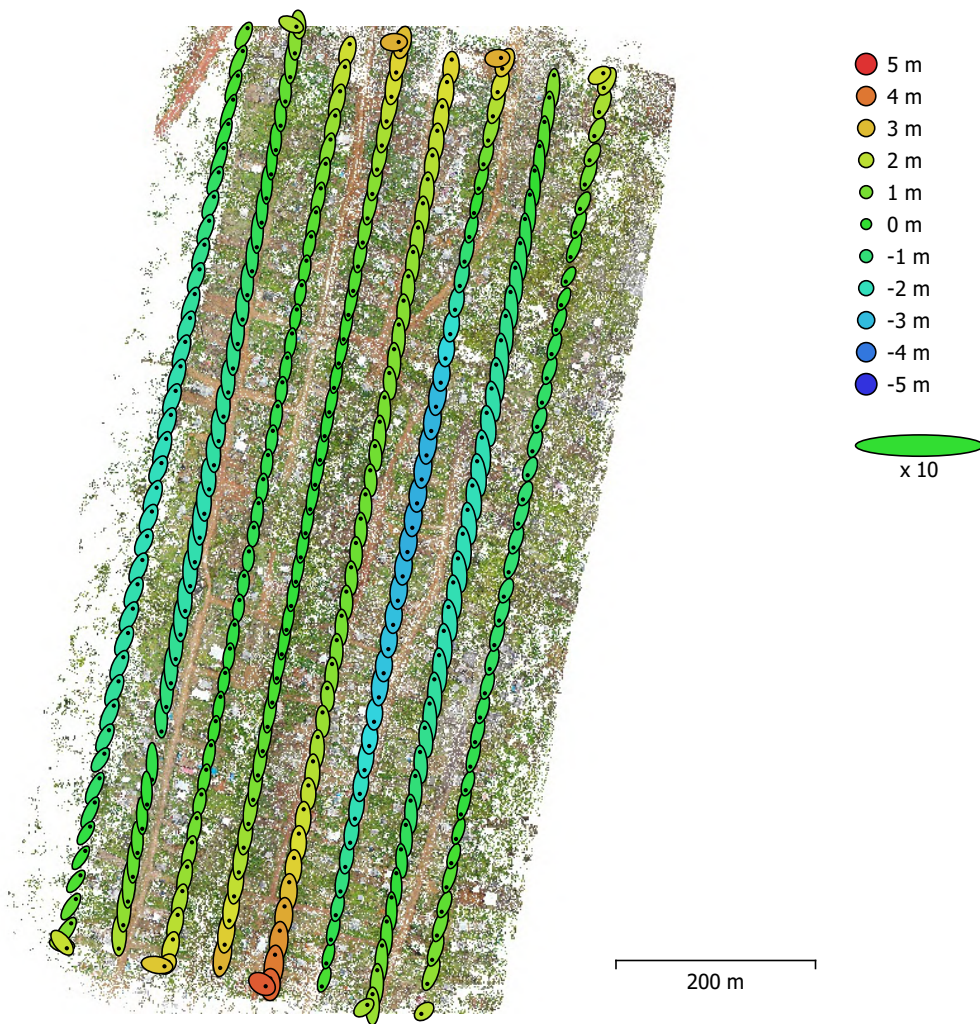


Fig. 3. Camera locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.
Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
0.461517	2.26671	1.5473	2.31322	2.783

Table 3. Average camera location error.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Digital Elevation Model

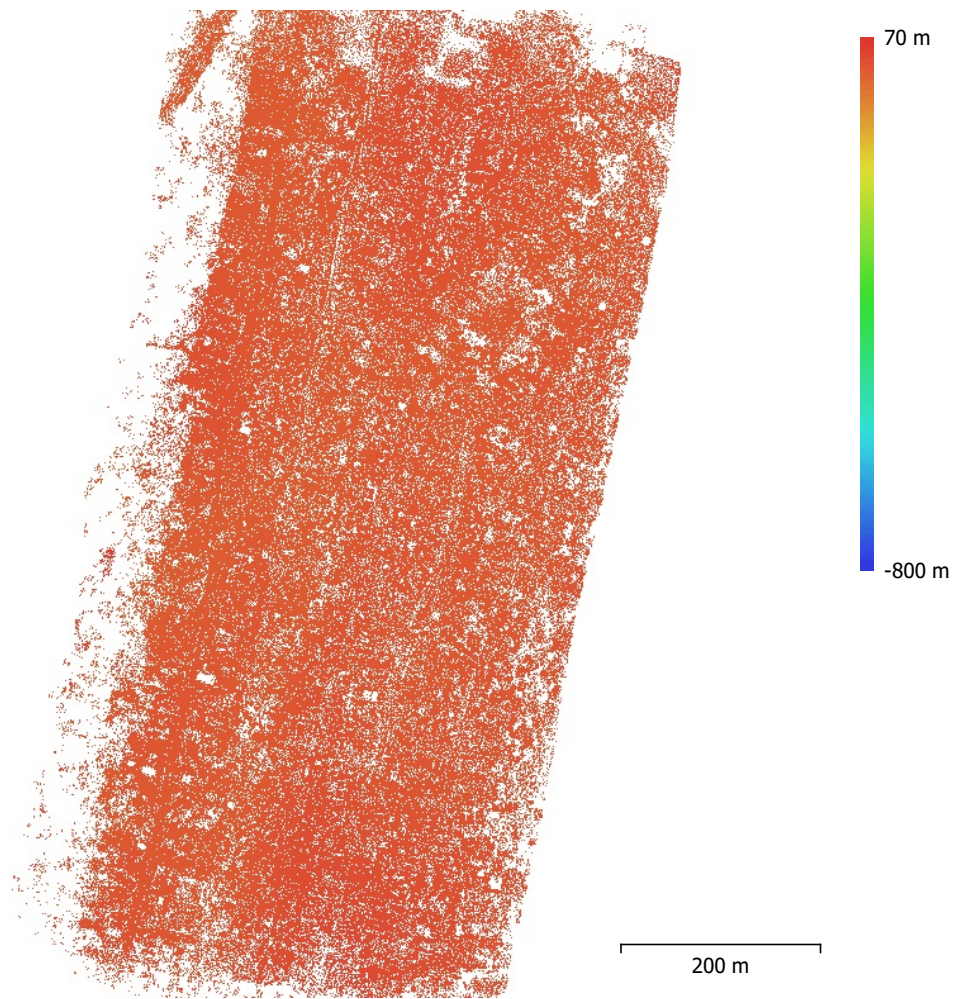


Fig. 4. Reconstructed digital elevation model.

Resolution:	unknown
Point density:	unknown

Processing Parameters

Geral

Câmaras	319
Aligned cameras	319
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 22N (EPSG::31976)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

Nuvem de Pontos

Pontos	609,589 of 864,654
RMS reprojection error	0.130233 (0.438264 pix)
Max reprojection error	0.328923 (6.60222 pix)
Mean key point size	3.16842 pix
Cores dos pontos	3 bands, uint8
Key points	Não
Average tie point multiplicity	3.67981

Parâmetros de alinhamento

Precisão	Elevada
Generic preselection	Não
Reference preselection	Source
Key point limit	40,000
Key point limit per Mpx	1,000
Tie point limit	10,000
Filter points by mask	Sim
Mask tie points	Não
Exclude stationary tie points	Não
Guided image matching	Não
Adaptive camera model fitting	Sim
Matching time	12 minutes 14 seconds
Matching memory usage	712.67 MB
Alignment time	4 minutes 23 seconds
Alignment memory usage	807.89 MB

Optimization parameters

Parâmetros	cx, cy, k1, k2, p1, p2
Adaptive camera model fitting	Não
Optimization time	6 seconds
Date created	2025:09:16 00:41:50
Software version	1.8.0.13794
File size	92.73 MB

System

Software name	Agisoft Metashape Professional
Software version	1.8.0 build 13794
OS	Windows 64 bit
RAM	31.71 GB
CPU	13th Gen Intel(R) Core(TM) i7-13620H
GPU(s)	NVIDIA GeForce RTX 4050 Laptop GPU

**C Relatório de processamento de voo - Área 02 com remoção
de outliers**

OPQ 02 R00 - SEM OUTLIERS

Processing Report

16 September 2025



Survey Data

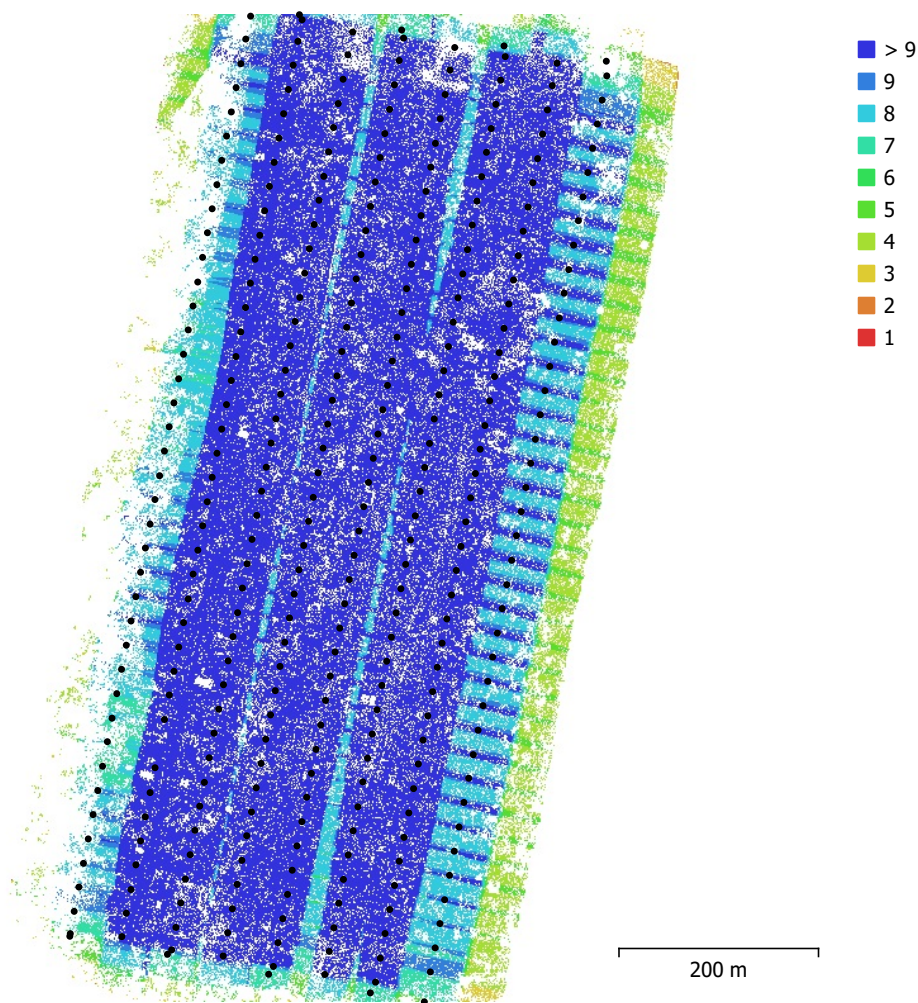


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	319	Camera stations:	319
Flying altitude:	126 m	Tie points:	608,905
Ground resolution:	2.97 cm/pix	Projections:	2,075,448
Coverage area:	0.339 km^2	Reprojection error:	0.438 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
Test_Pro (10.26mm)	5472 x 3648	10.26 mm	2.41 x 2.41 um	Não

Table 1. Cameras.

Calibração da Câmara

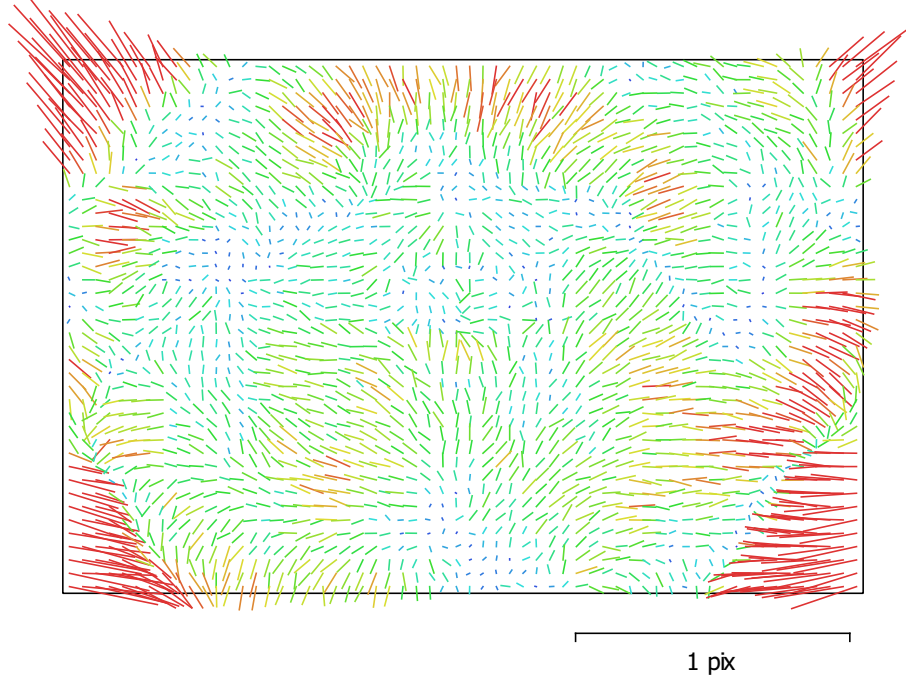


Fig. 2. Image residuals for Test_Pro (10.26mm).

Test_Pro (10.26mm)

319 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	5472 x 3648	10.26 mm	2.41 x 2.41 um

	Valor	Error	Cx	Cy	K1	K2	P1	P2
F	4256							
Cx	-1.75923	0.026	1.00	0.01	0.02	-0.01	0.18	0.02
Cy	8.84911	0.022		1.00	-0.04	-0.00	0.04	0.31
K1	0.000460969	5.2e-05			1.00	-0.19	-0.82	0.47
K2	-0.00448529	1.1e-05				1.00	0.05	-0.04
P1	0.000894201	1.8e-06					1.00	-0.38
P2	0.000813515	9.9e-07						1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Locations

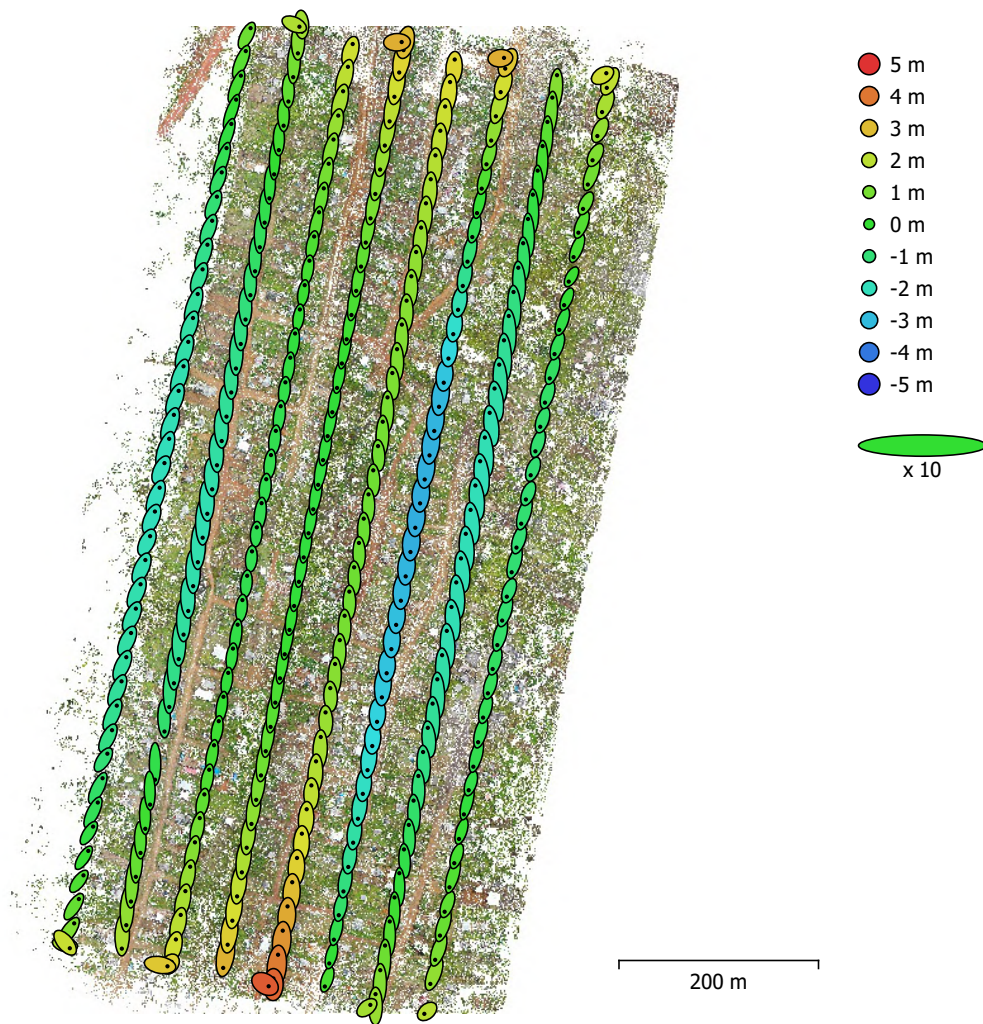


Fig. 3. Camera locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.
Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
0.461517	2.26671	1.5473	2.31322	2.783

Table 3. Average camera location error.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Digital Elevation Model

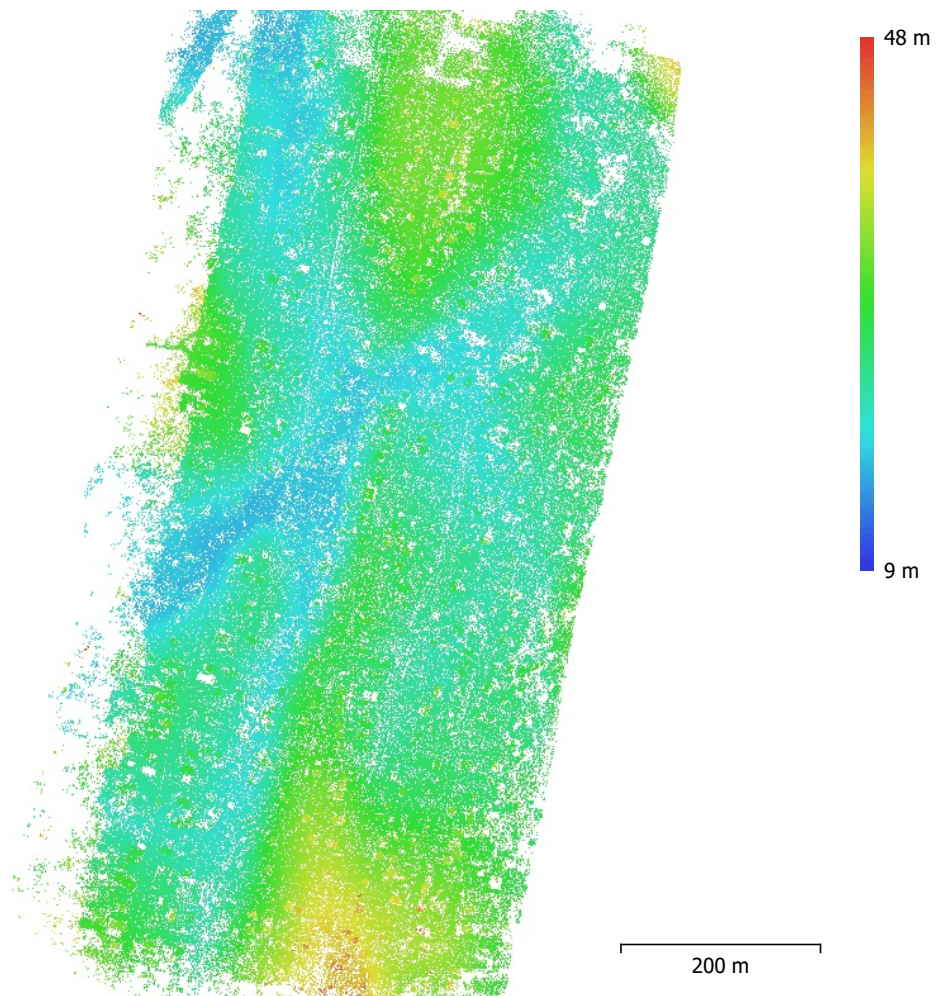


Fig. 4. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: unknown
Point density: unknown

Processing Parameters

Geral

Câmaras	319
Aligned cameras	319
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 22N (EPSG::31976)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

Nuvem de Pontos

Pontos	608,905 of 864,654
RMS reprojection error	0.130231 (0.43829 pix)
Max reprojection error	0.328923 (6.60222 pix)
Mean key point size	3.16874 pix
Cores dos pontos	3 bands, uint8
Key points	Não
Average tie point multiplicity	3.67981

Parâmetros de alinhamento

Precisão	Elevada
Generic preselection	Não
Reference preselection	Source
Key point limit	40,000
Key point limit per Mpx	1,000
Tie point limit	10,000
Filter points by mask	Sim
Mask tie points	Não
Exclude stationary tie points	Não
Guided image matching	Não
Adaptive camera model fitting	Sim
Matching time	12 minutes 14 seconds
Matching memory usage	712.67 MB
Alignment time	4 minutes 23 seconds
Alignment memory usage	807.89 MB

Optimization parameters

Parâmetros	cx, cy, k1, k2, p1, p2
Adaptive camera model fitting	Não
Optimization time	6 seconds
Date created	2025:09:16 00:41:50
Software version	1.8.0.13794
File size	65.00 MB

System

Software name	Agisoft Metashape Professional
Software version	1.8.0 build 13794
OS	Windows 64 bit
RAM	31.71 GB
CPU	13th Gen Intel(R) Core(TM) i7-13620H
GPU(s)	NVIDIA GeForce RTX 4050 Laptop GPU

D Relatório de processamento de voo - Área 03

OPQ 03 R00

Processing Report

16 September 2025



Survey Data

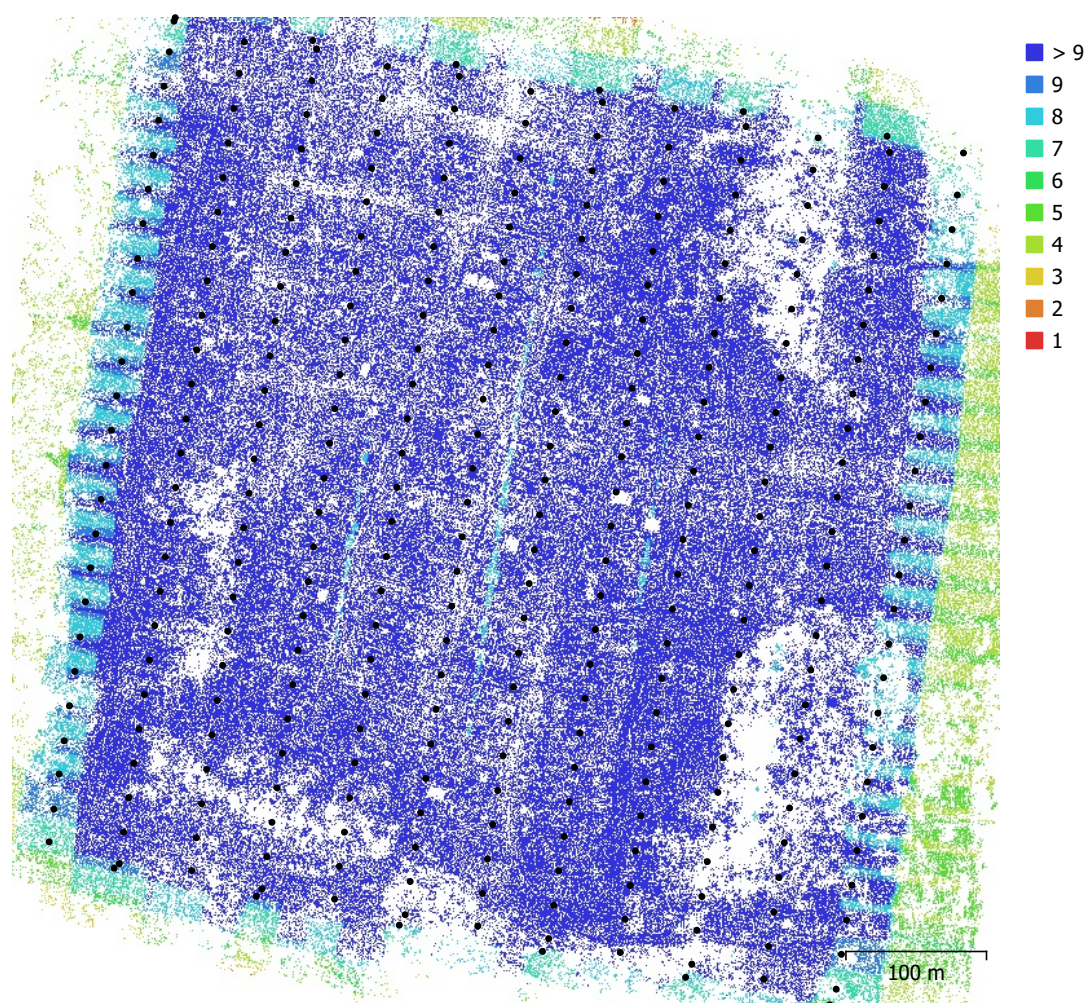


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	312	Camera stations:	312
Flying altitude:	135 m	Tie points:	584,780
Ground resolution:	3.18 cm/pix	Projections:	1,961,608
Coverage area:	0.237 km^2	Reprojection error:	0.671 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
Test_Pro (10.26mm)	5472 x 3648	10.26 mm	2.41 x 2.41 um	Não

Table 1. Cameras.

Calibração da Câmara

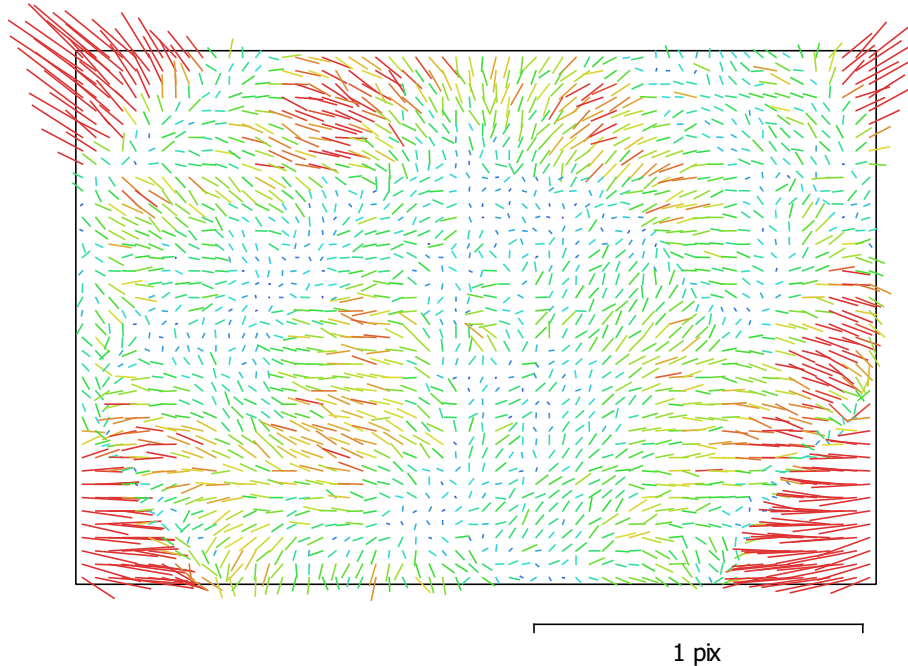


Fig. 2. Image residuals for Test_Pro (10.26mm).

Test_Pro (10.26mm)

312 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	5472 x 3648	10.26 mm	2.41 x 2.41 um

	Valor	Error	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	4256								
Cx	2.01842	0.024	1.00	0.03	-0.01	0.02	-0.02	0.31	0.01
Cy	8.21636	0.02		1.00	-0.00	-0.00	0.00	0.02	0.42
K1	-0.00196318	5.1e-05			1.00	-0.30	0.26	-0.72	0.51
K2	0.00107164	6.4e-05				1.00	-0.98	0.00	-0.00
K3	-0.00623341	7.4e-05					1.00	0.02	-0.02
P1	0.00104339	1.6e-06						1.00	-0.40
P2	0.000851078	1.1e-06							1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Locations

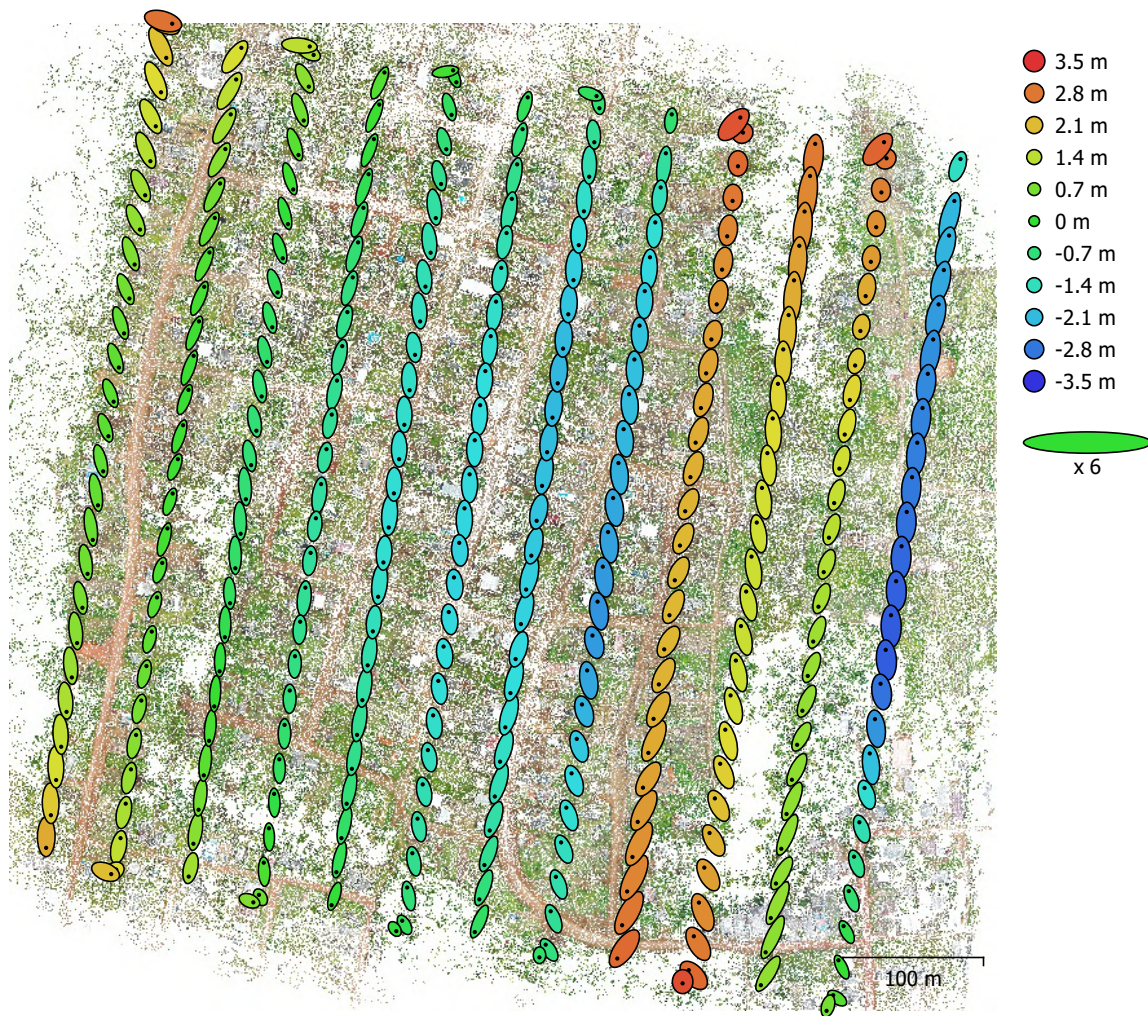


Fig. 3. Camera locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.
Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
0.734735	2.36683	1.63079	2.47825	2.96668

Table 3. Average camera location error.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Digital Elevation Model

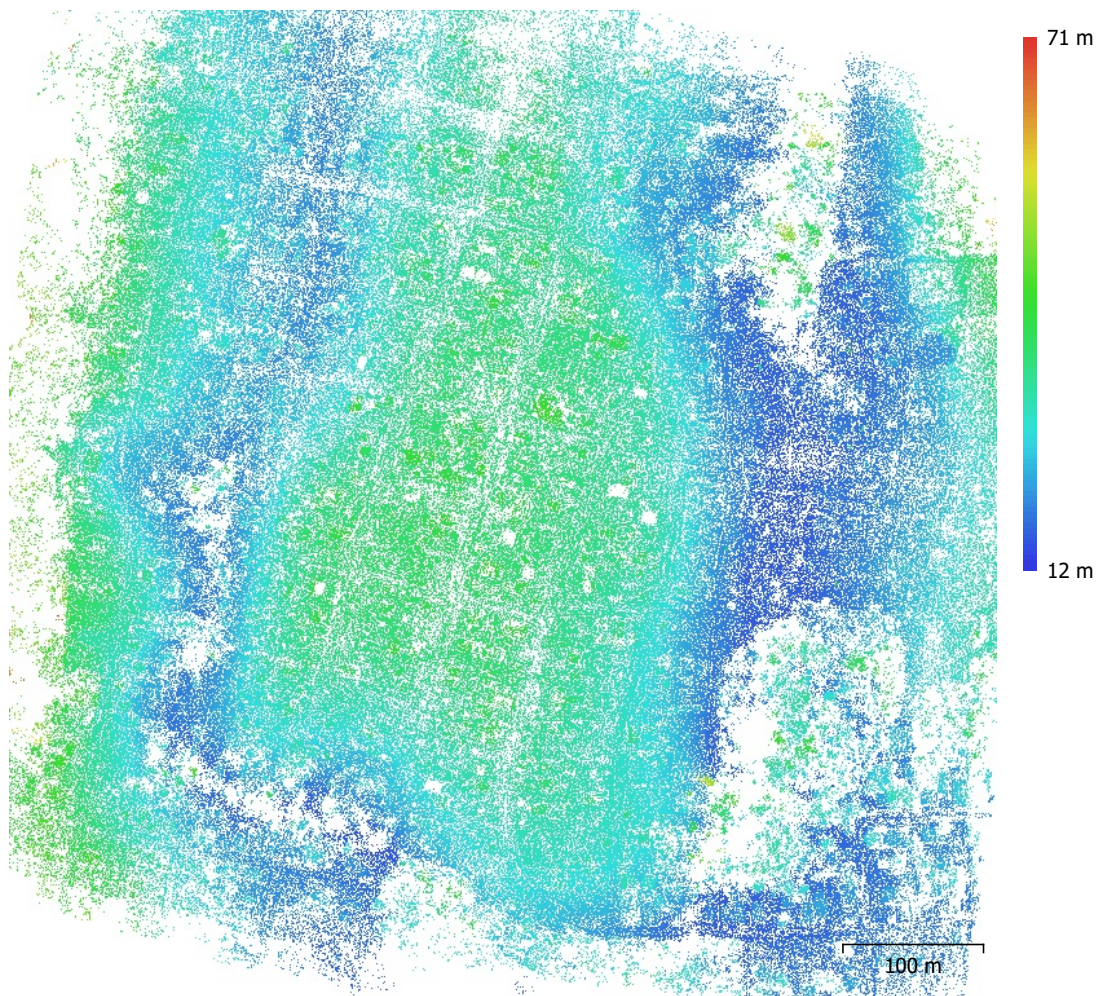


Fig. 4. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: unknown
Point density: unknown

Processing Parameters

Geral

Câmaras	312
Aligned cameras	312
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 22N (EPSG::31976)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

Nuvem de Pontos

Pontos	584,780 of 825,658
RMS reprojection error	0.127124 (0.670577 pix)
Max reprojection error	0.326596 (30.929 pix)
Mean key point size	3.98858 pix
Cores dos pontos	3 bands, uint8
Key points	Não
Average tie point multiplicity	3.67601

Parâmetros de alinhamento

Precisão	Elevada
Generic preselection	Não
Reference preselection	Source
Key point limit	40,000
Key point limit per Mpx	1,000
Tie point limit	10,000
Filter points by mask	Sim
Mask tie points	Não
Exclude stationary tie points	Não
Guided image matching	Não
Adaptive camera model fitting	Sim
Matching time	11 minutes 57 seconds
Matching memory usage	635.22 MB
Alignment time	4 minutes 52 seconds
Alignment memory usage	642.62 MB

Optimization parameters

Parâmetros	cx, cy, k1-k4, p1, p2
Adaptive camera model fitting	Não
Optimization time	8 seconds
Date created	2025:09:16 14:28:07
Software version	1.8.0.13794
File size	88.31 MB

System

Software name	Agisoft Metashape Professional
Software version	1.8.0 build 13794
OS	Windows 64 bit
RAM	31.71 GB
CPU	13th Gen Intel(R) Core(TM) i7-13620H
GPU(s)	NVIDIA GeForce RTX 4050 Laptop GPU

E Relatório de processamento de voo - Área Total

Voo Total OPQ R00

Processing Report

22 September 2025



Survey Data

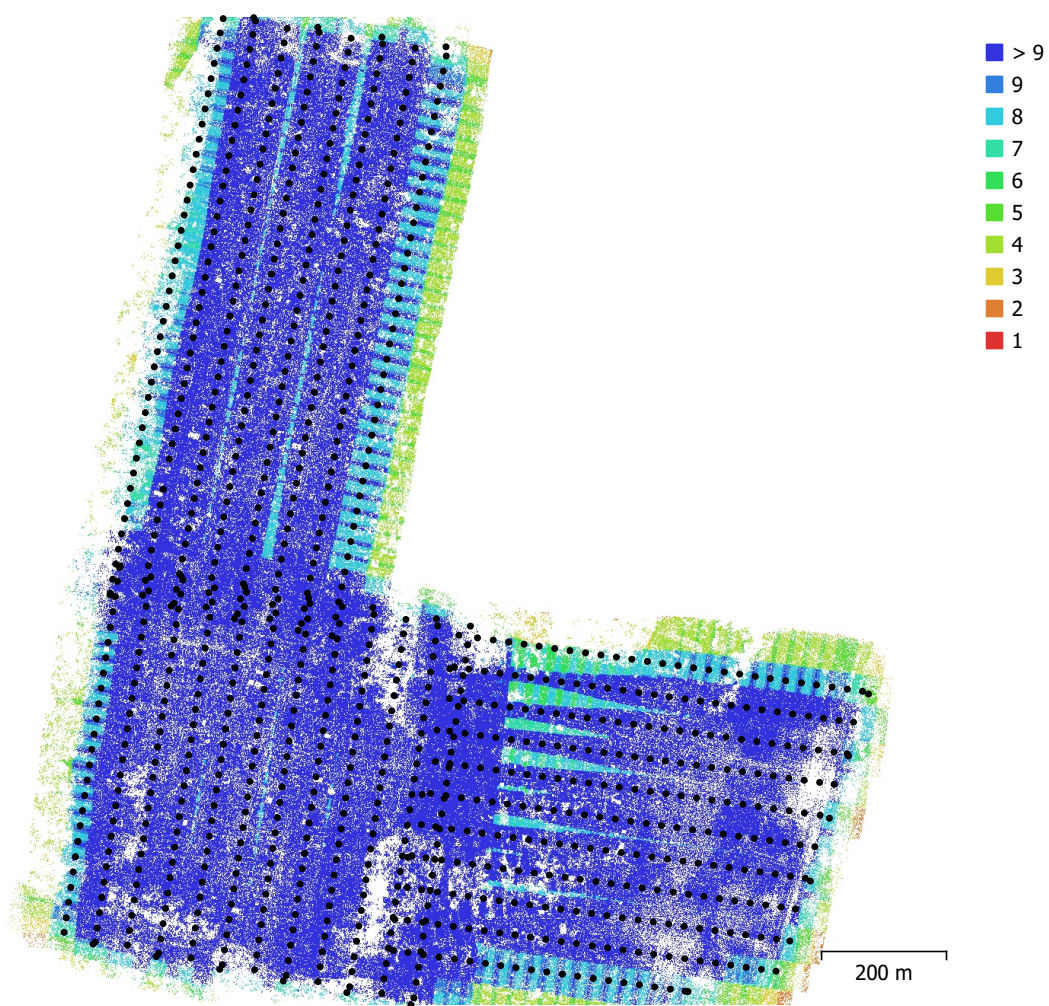


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	923	Camera stations:	923
Flying altitude:	129 m	Tie points:	1,685,219
Ground resolution:	3.02 cm/pix	Projections:	5,733,965
Coverage area:	0.871 km^2	Reprojection error:	0.434 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
Test_Pro (10.26mm)	5472 x 3648	10.26 mm	2.41 x 2.41 um	Não
Test_Pro (10.26mm)	5472 x 3648	10.26 mm	2.41 x 2.41 um	Não
Test_Pro (10.26mm)	5472 x 3648	10.26 mm	2.41 x 2.41 um	Não

Table 1. Cameras.

Calibração da Câmara

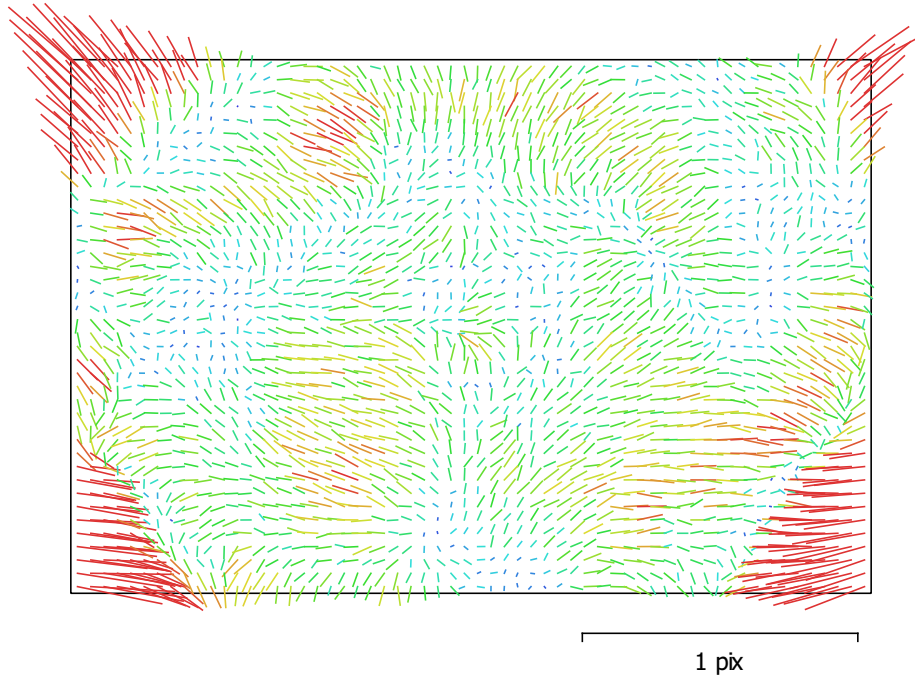


Fig. 2. Image residuals for Test_Pro (10.26mm).

Test_Pro (10.26mm)

292 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	5472 x 3648	10.26 mm	2.41 x 2.41 um

	Valor	Error	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	4256								
Cx	0.511196	0.028	1.00	0.04	-0.07	0.01	-0.01	0.30	-0.03
Cy	5.61241	0.029		1.00	0.01	-0.00	0.00	0.02	0.28
K1	0.00151399	4.3e-05			1.00	-0.34	0.31	-0.58	0.40
K2	-0.00428584	6.2e-05				1.00	-0.98	-0.01	0.01
K3	-4.68491e-05	7.2e-05					1.00	0.02	-0.01
P1	0.000907051	1.3e-06						1.00	-0.26
P2	0.000813577	9.9e-07							1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Calibração da Câmera

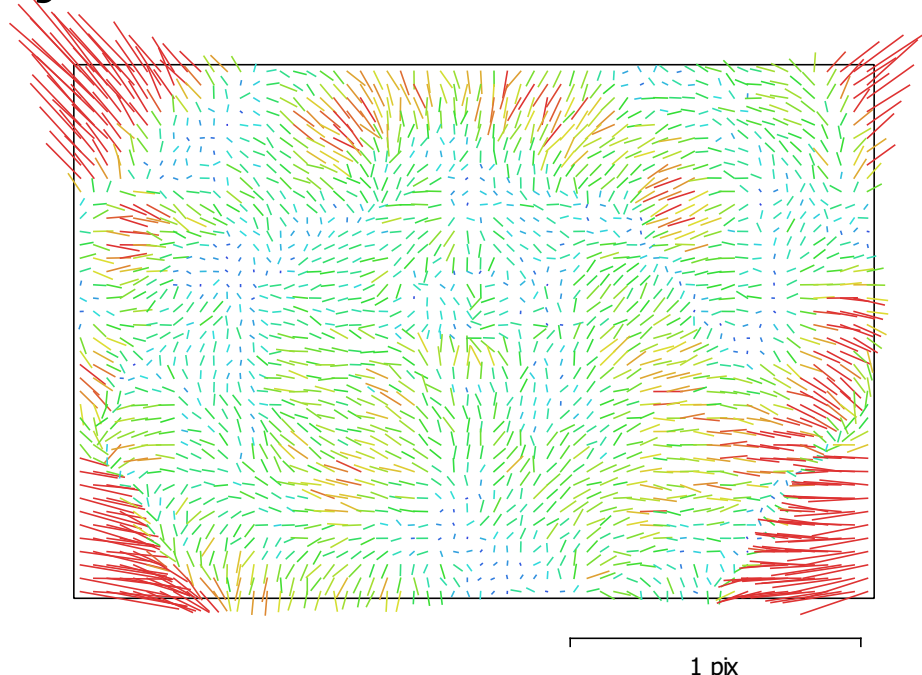


Fig. 3. Image residuals for Test_Pro (10.26mm).

Test_Pro (10.26mm)

319 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	5472 x 3648	10.26 mm	2.41 x 2.41 um

	Valor	Error	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	4256								
Cx	-1.81903	0.026	1.00	0.01	0.02	-0.00	-0.00	0.17	0.03
Cy	8.95731	0.022		1.00	-0.04	-0.00	0.00	0.04	0.33
K1	0.000739462	5.2e-05			1.00	-0.24	0.21	-0.79	0.44
K2	-0.00432294	5.9e-05				1.00	-0.98	-0.04	0.02
K3	-0.000116975	6.9e-05					1.00	0.05	-0.02
P1	0.00088862	1.7e-06						1.00	-0.37
P2	0.000813747	9.8e-07							1.00

Table 3. Calibration coefficients and correlation matrix.

Calibração da Câmara

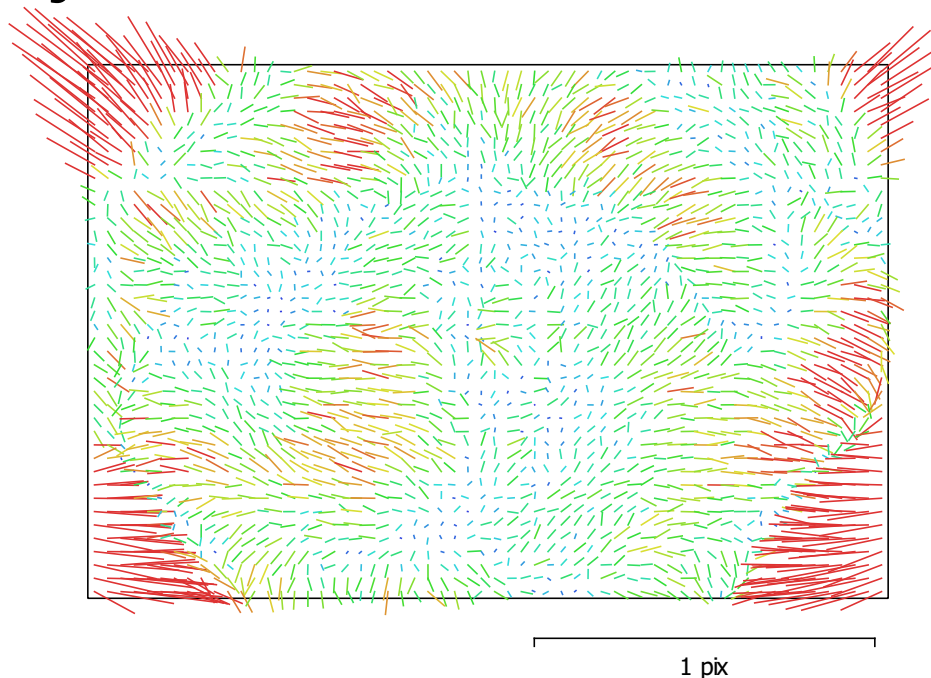


Fig. 4. Image residuals for Test_Pro (10.26mm).

Test_Pro (10.26mm)

312 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	5472 x 3648	10.26 mm	2.41 x 2.41 um

	Valor	Error	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	4256								
Cx	2.31458	0.024	1.00	0.03	-0.00	0.02	-0.02	0.30	0.01
Cy	8.27423	0.02		1.00	-0.00	-0.00	0.00	0.02	0.44
K1	-0.00113961	5.4e-05			1.00	-0.30	0.26	-0.74	0.53
K2	0.0008953	6.6e-05				1.00	-0.98	0.01	-0.01
K3	-0.00600383	7.7e-05					1.00	0.01	-0.01
P1	0.00103041	1.7e-06						1.00	-0.42
P2	0.00085887	1.1e-06							1.00

Table 4. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Locations

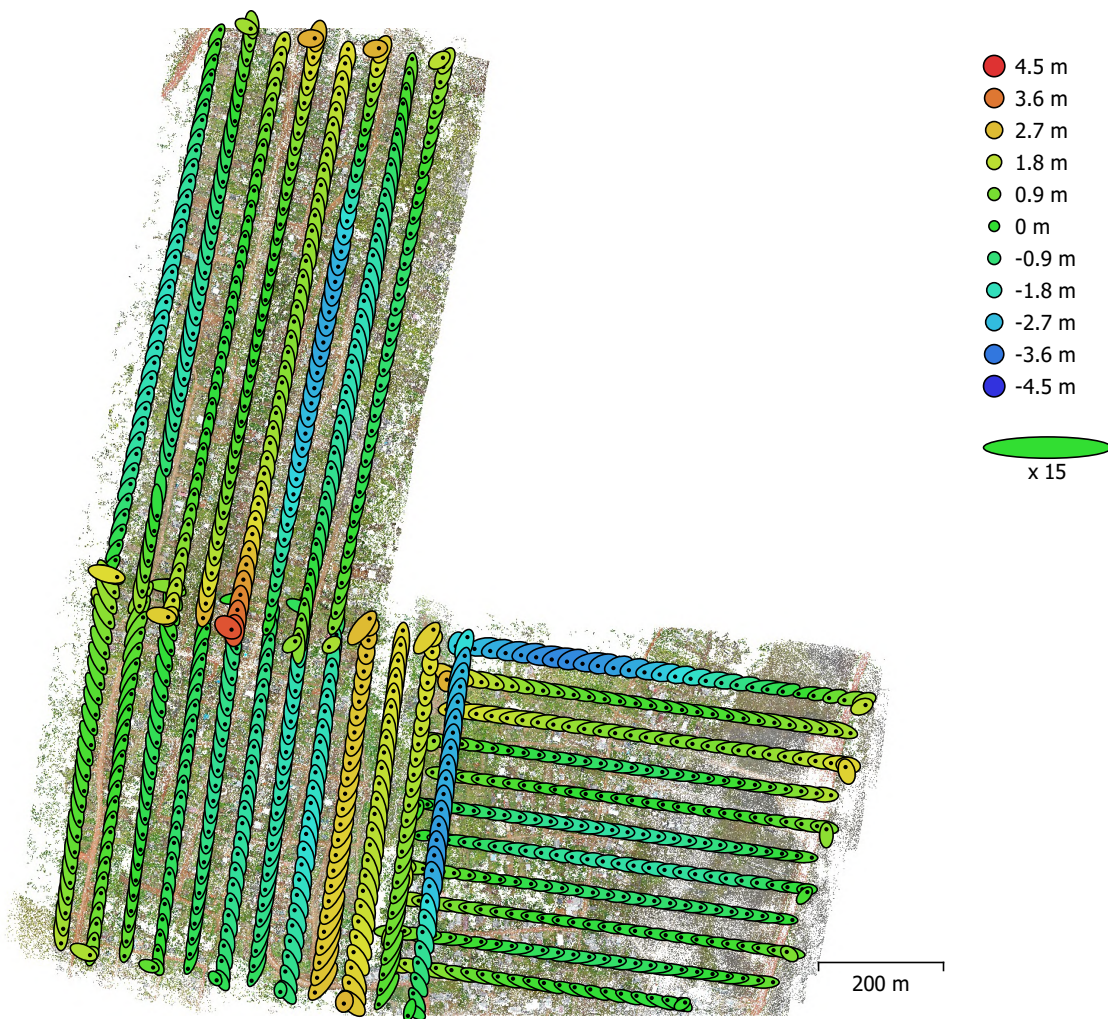


Fig. 5. Camera locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.
Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
1.29047	1.9308	1.38702	2.32234	2.70501

Table 5. Average camera location error.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Digital Elevation Model

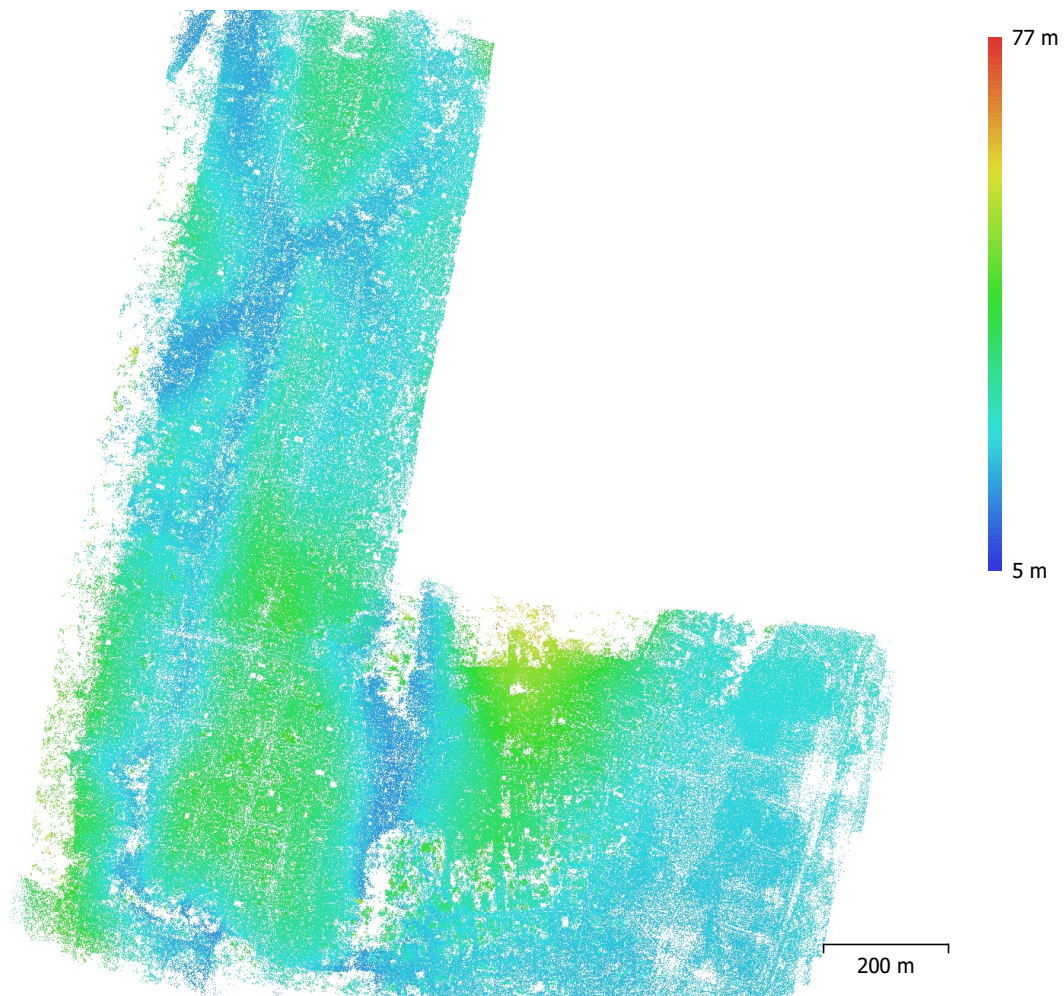


Fig. 6. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: unknown
Point density: unknown

Processing Parameters

Geral

Câmaras	923
Aligned cameras	923
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 22N (EPSG::31976)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

Nuvem de Pontos

Pontos	1,685,219 of 2,432,144
RMS reprojection error	0.128083 (0.433705 pix)
Max reprojection error	1.16281 (6.05498 pix)
Mean key point size	3.19959 pix
Cores dos pontos	3 bands, uint8
Key points	Não
Average tie point multiplicity	3.71492

Optimization parameters

Parâmetros	cx, cy, k1-k4, p1, p2
Adaptive camera model fitting	Não
Optimization time	35 seconds
File size	252.33 MB

System

Software name	Agisoft Metashape Professional
Software version	1.8.0 build 13794
OS	Windows 64 bit
RAM	31.71 GB
CPU	13th Gen Intel(R) Core(TM) i7-13620H
GPU(s)	NVIDIA GeForce RTX 4050 Laptop GPU

F QR Code para produtos gerados

