

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA
CAMPUS MONTE CARMELO
CURSO DE ENGENHARIA DE AGRIMENSURA E CARTOGRÁFICA

FILIPPE AUGUSTO DOS SANTOS

ORTOFOTO DO BAIRRO JARDINS DO MUNICÍPIO DE OLIVEIRA - MG

MONTE CARMELO

2022

FILIPPE AUGUSTO DOS SANTOS

ORTOFOTO DO BAIRRO JARDINS DO MUNICÍPIO DE OLIVEIRA - MG

Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado como requisito para a obtenção do
título de bacharel em Engenharia de Agrimensura
e Cartográfica da Universidade Federal de
Uberlândia, Campus Monte Carmelo.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Luís Barbosa.

MONTE CARMELO

2022

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

S237 2022	Santos, Filipe Augusto dos, 1997- ORTOFOTO DO BAIRRO JARDINS DO MUNICÍPIO DE OLIVEIRA - MG [recurso eletrônico] / Filipe Augusto dos Santos. - 2022. Orientador: Ricardo Luís Barbosa. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Uberlândia, Graduação em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica. Modo de acesso: Internet. Inclui bibliografia. 1. Agrimensura. I. Barbosa, Ricardo Luís, 1968-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Graduação em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica. III. Título. CDU: 528
--------------	--

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:
Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

FILIPPE AUGUSTO DOS SANTOS

ORTOFOTO DO BAIRRO JARDINS DO MUNICÍPIO DE OLIVEIRA – MG

Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado como requisito para a obtenção do
título de bacharel em Engenharia de Agrimensura
e Cartográfica da Universidade Federal de
Uberlândia, Campus Monte Carmelo.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Luís Barbosa.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ricardo Luís Barbosa (Orientador)
Universidade Federal de Uberlândia

Prof. Dr. George Deroco Martins (Examinador)
Universidade Federal de Uberlândia

Me. Samuel Lacerda de Andrade (Examinador)
Universidade Federal de Uberlândia

MONTE CARMELO

2022

*“O Senhor é meu rochedo, minha
salvação, minha fortaleza, jamais
vacilarei!”*
(Salmo 62)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me proporcionar muita saúde, força, paciência e persistência, me ajudando a ultrapassar todos os obstáculos encontrados durante o curso.

Agradeço a toda minha família, meus pais Rosana e Carlos, que me deram apoio e incentivo em todas as horas difíceis. Sou grato também as minhas irmãs Maria Isabel e Cássia que sempre me incentivaram e torceram por mim. Dedico esse trabalho em memória da minha madrinha Jacinta de Fátima e do meu avô Joaquim. Meus agradecimentos a todos meus familiares, a minha amiga Ingridy, aos meus tios e primos que de alguma forma também contribuíram para que o sonho da faculdade se realizasse.

Agradeço ao meu amigo Fernando Seixas, que disponibilizou os equipamentos necessários para a realização do trabalho, também sou grato a todos meus amigos da universidade.

Por fim, agradeço ao meu orientador Ricardo Luís Barbosa pela grande ajuda na realização deste trabalho, e presto minha homenagem a todos os outros professores, técnicos e funcionários da Universidade Federal de Uberlândia (UFU).

RESUMO

O Brasil é carente em mapas e dados geográficos atualizados com alta resolução, e uma ortofoto é um produto que vem cada vez mais ganhando destaque pela sua riqueza de detalhes e informações geográficas que podem ser mapeadas. A ortofoto ou ortomosaico é gerada através de imagens aéreas e atualmente uma Aeronave Remotamente Pilotada (ARP) pode ser utilizada. No cadastro e atualização urbana são de grande serventia, já que um dos grandes desafios das administrações públicas é o fato da falta de base cartográficas para sustentar e planejar a organização do avanço municipal, pois a maioria das vezes o banco de dados dessas prefeituras se encontra desatualizados, seja pela falta da mão de obra qualificada ou por falta de recursos financeiros, dentre outros. O presente trabalho teve como objetivo utilizar uma ARP para coletar imagens do bairro Jardins, na cidade de Oliveira – MG com parâmetros adequados para um Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) - Produtos Cartográficos Digitais (PCD) classe A em uma escala 1:1.000, que é adequada para fins de cadastro urbano. Foi realizado um levantamento aéreo com pontos de apoio sinalizados em solo e coordenadas coletadas com GNSS. Também ocorreu a coleta de pontos de verificação para o controle de qualidade através do PEC-PCD.

PALAVRAS-CHAVE: Ortofoto, Aeronave Remotamente Pilotada, Base Cartográfica, Padrão de Exatidão Cartográfica.

ABSTRACT

Brazil lacks updated maps and geographic data with high resolution, and an orthophoto is a product that is increasingly gaining prominence for its wealth of details and geographic information that can be mapped. The orthophoto or orthomosaic is generated through aerial images and currently a Remotely Piloted Aircraft (RPA) can be used. Registration and urban updating are very useful, since one of the great challenges of public administrations is the lack of a cartographic base to support and plan the organization of municipal progress, since most of the time the database of these municipalities is located outdated, either due to lack of qualified labor or lack of financial resources, among others. The present work aimed to use an ARP to collect images of the Jardins neighborhood, in the city of Oliveira - MG with adequate parameters for a Cartographic Accuracy Standard (PEC) - Class A Digital Cartographic Products (PCD) at a scale of 1:1,000, which is suitable for urban cadastre purposes. An aerial survey was carried out with support points signaled on the ground and coordinates collected with GNSS. Checkpoints were also collected for quality control through the PEC-PCD.

KEYWORDS: *Orthophoto, Remotely Piloted Aircraft, Cartographic Base, Cartographic Accuracy Standard.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização do município	17
Figura 2 - DJI PHANTOM 4 STANDARD	18
Figura 3 - GNSS CHCNAV i50 ROVER.....	19
Figura 4 - Base GNSS	19
Figura 5 - Modelo dos alvos	20
Figura 6 - Fluxograma da metodologia	22
Figura 7 - Plano de voo	23
Figura 8 - Coleta dos Pontos de Controle e Checagem	24
Figura 9 - Distribuição Sistemática dos Pontos de Controle e Checagem	25
Figura 10 - Pontos Coletados em Campo	27
Figura 11 - Nuvem esparsa.....	28
Figura 12 - Apontando os Alvos	29
Figura 13 - Pontos de Controle Observados na Imagem	29
Figura 14 - Nuvem de Pontos Densificada.....	30
Figura 15 - Modelo Digital de Superfície.....	30
Figura 16 - Ortofoto do Bairro Jardins	31
Figura 17 - Tamanho do Pixel na Ortofoto.....	31
Figura 18 - Exemplo da qualidade geométrica e radiométrica da ortofoto	32

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Valores do PEC e EP na escala 1:1.000 conforme Decreto N° 89.817/89 14

Quadro 2 - Detalhes do voo.....23

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

ARP - Aeronave Remotamente Pilotada

EP - Erro Padrão

GCP - *Ground Control Point* (Ponto de Controle no Terreno)

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

GSG - *Ground Sample Distance* (Distância da Amostra do Solo)

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MDE - Modelo Digital de Elevação

NTRIP - *Networked Transport of Radio Technical Commission for Maritime Services via Internet Protocol* (Transporte em Rede da Comissão Técnica de Rádio para Serviços Marítimos via Protocolo de Internet)

PEC- Padrão de Exatidão Cartográfica

PCD - Produtos Cartográficos Digitais

RTK - Real Time Kinematic (Cinemático em tempo real)

SfM - *Structure from Motion* (Estrutura do Movimento).

UTM - *Projeção Universal Transversa de Mercator*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVO GERAL	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3 MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	16
3.2 MATERIAL	17
3.2.1 <i>ARP DJI PHANTOM 4 STANDARD</i>	17
3.2.2 <i>Receptores GNSS CHCNAV i50</i>	18
3.2.3 <i>Alvos artificiais</i>	20
3.2.4 <i>Os Softwares</i>	20
3.3 FLUXOGRAMA	21
3.4 PLANEJAMENTO DO AEROLEVANTAMENTO	22
3.5 COLETA E PROCESSAMENTO DOS PONTOS DE CONTROLE	23
3.6 ELABORAÇÃO DA ORTOFOTO	25
3.7 ANÁLISE DA EXATIDÃO DA ORTOFOTO	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
4.1 PRIMEIRA ETAPA	28
4.2 SEGUNDA ETAPA	28
4.3 TERCEIRA ETAPA	30
5 CONCLUSÕES	33
REFERÊNCIAS	34
ANEXO A – RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO DA ORTOFOTO	36
ANEXO B – RELATÓRIO DE CLASSIFICAÇÃO GEOPEC	45

1 INTRODUÇÃO

O processo de construção das cidades deu-se há muitos anos atrás (REIS, 2014) e até hoje na grande parte das vezes não há um planejamento urbano onde exista políticas sociais que possam atender a todos de forma igual e justa, sendo assim um problema para a administração municipal.

Para o sistema administrativo municipal é de extrema importância possuir uma base cadastral atualizada com um volume grande de informações, dessa forma se possibilita a ideal interpretação da realidade, sendo capaz de indicar a melhor alternativa que seja precisa e eficiente (OLIANI; ANTUNES, 2011). Para ser possível realizar essa interpretação da forma exata, as bases cartográficas devem ser usadas, porém, devido ao avanço urbano, regularmente essas bases acabam ficando desatualizadas e em desacordo com a realidade, visto isso a solução é a contínua atualização dessas informações geoespaciais.

Porém, é de conhecimento da maioria das pessoas que um município de pequeno porte possui recursos financeiros escassos, como é o caso da cidade onde esse trabalho foi realizado, sendo assim não há uma prioridade para a renovação desses dados, pois são estabelecidas outras prioridades.

Levando em consideração essas adversidades que impedem a obtenção de dados cartográficos para o avanço municipal, deve-se buscar novas formas de realizar essa tarefa tendo como prioridade a relação custo/benefício. Um equipamento para esse propósito é uma Aeronave Remotamente Pilotada (ARP), pois é um instrumento com um custo relativamente baixo, pode gerar produtos cartográficos com uma boa resolução e precisão.

De acordo com a definição de base cartográfica dada pela NBR 14.166/1998, o sistema cartográfico municipal deve apresentar bases territoriais suficientes para a elaboração de planos, de projetos, de cadastro técnico e imobiliário fiscal, dentre outros (BRASIL, 1998), porém a maioria dos municípios não possuem recursos suficientes para renovar seu banco de dados espaciais, assim acabam tomando decisões em cima de informações desatualizadas.

Há diferentes maneiras de se atualizar as informações geoespaciais de uma cidade, seja por mapeamento móvel, imagens de satélites com alta resolução, voo aerofotogramétrico, dentre outras.

Atualmente, principalmente pela relação custo/benefício, o uso de uma Aeronave Remotamente Pilotada (ARP) está sendo de grande valia pois possibilita a cobertura de uma grande área com um custo relativamente baixo.

Essa cobertura aérea permite a produção de uma ortofoto digital, onde os objetos se encontram em suas reais posições ortográficas, o que a torna geometricamente equivalente às cartas planimétricas (LOPES, 1987) e consequentemente podem ser usadas para a produção de uma base cartográfica.

Para a cartografia a exatidão é um fator importante, pois retrata da forma mais real possível a realidade, por isso pontos de controle são componentes indispensáveis em um projeto. Segundo Rangel, Gonçalves e Pérez (2018), no fluxo de trabalho devem ser usados *Ground Control Points* - Pontos de Controle no Terreno (*GCPs*), para assim se alcançar padrões altos de posicionamento.

Na geração de produtos com ARP, uma boa espacialização dos pontos de controle gera melhores resultados, uma pesquisa realizada por Martínez-Carricondo et al. (2018) mostra que os melhores resultados se deram com a distribuição dos GCPs nas bordas, portanto se é necessário realizar esse procedimento para minimizar os erros de planimetria.

A análise da exatidão cartográfica se fundamenta no estudo detalhado das discrepâncias entre as coordenadas retiradas dos pontos na carta/ortofoto e as coordenadas correspondentes obtidas através da coleta em campo, essas por sua vez são conceituadas como coordenadas de referência (GALO; CAMARGO, 1994).

Para os Produtos Cartográficos Digitais (PCD) existe uma especificação técnica que classifica a qualidade desses resultados (IBGE, 2017). A classificação para os PCDs apresenta as classes A, B, C e D, partindo do princípio que o melhor produto pertence a classe A.

O Quadro 1 apresenta um resumo dos valores do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) e do Erro Padrão (EP) planimétrico conforme as normas do Decreto N° 89.817/84 (BRASIL 1984) na escala 1:1.000.

Quadro 1 - Valores do PEC e EP na escala 1:1.000 conforme Decreto N° 89.817/89

Classe	Planimetria	
	PEC (m)	EP (m)
A	0,28	0,17

Fonte: Adaptado de EXÉRCITO BRASILEIRO (2016)

Dessa forma, esse trabalho se propôs a elaborar uma ortofoto com imagens coletadas com uma ARP e verificar se a mesma se enquadra no Padrão de Exatidão Cartográfica, na escala 1:1.000, que é útil para a criação ou uma atualização de base geoespacial para fins cadastrais.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Elaborar uma ortofoto do bairro Jardins no município de Oliveira do estado de Minas Gerais, utilizando uma Aeronave Remotamente Pilotada.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar uma ortofoto do bairro Jardins e possua um *Ground Sample Distance* - Distância da Amostra do Solo (GSD) inferior a 10 cm;
- Classificar a ortofoto na classe A para a escala 1:1.000 usando o Padrão de Exatidão Cartográfica de Produtos Cartográficos Digitais (PEC – PCD).

3 MATERIAL E MÉTODOS

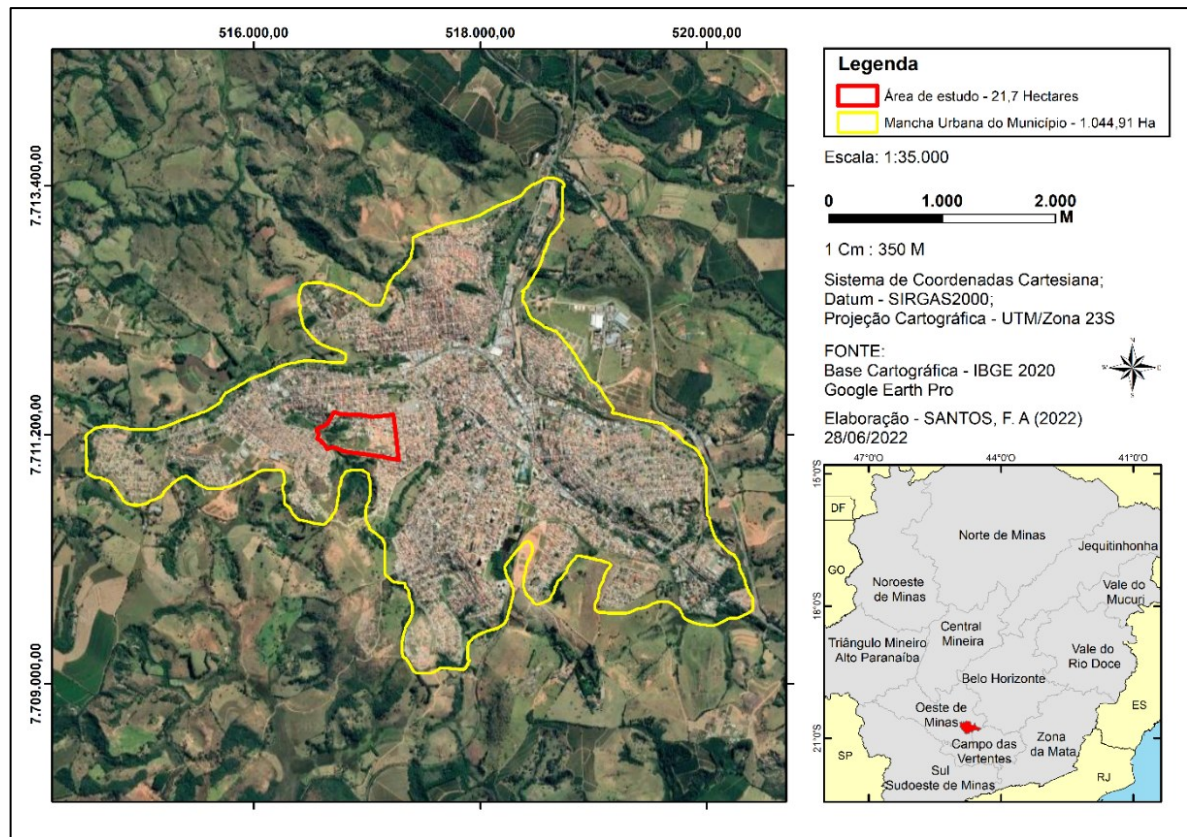
Antes de apresentar a metodologia proposta, é válido lembrar que o desenvolvimento do trabalho foi realizado com a colaboração da empresa JG Topografia Limitada, que disponibilizou os *softwares*, os receptores *Global Navigation Satellite System* - Sistema Global de Navegação por Satélites (GNSS) e a ARP.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é um bairro da cidade de Oliveira, pertencente ao estado de Minas Gerais, ela corresponde a 2,07% de toda a extensão do Distrito Sede, como é exibido na Figura 1. O município está situado na região oeste de Minas Gerais, sua estimativa de população no censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE em 2021 é de 41.987 habitantes.

Localizado nas coordenadas geográficas 20° 41' 50" S e 44° 49' 40" O, é o local de nascimento do médico, cientista, pesquisador e sanitarista brasileiro Carlos Justiniano Ribeiro Chagas, mais conhecido com Carlos Chagas, que foi quem descobriu o protozoário do gênero *Plasmodium*, causador da malária e o parasita *Trypanosoma Cruzi*, transmissor da doença de Chagas (UNIFEI, 2022).

Figura 1 - Mapa de localização do município



Fonte: O autor (2022).

3.2 MATERIAL

Para serem realizadas as etapas previstas no planejamento da metodologia do presente trabalho, foi necessário a utilização de equipamentos e *softwares* específicos descritos nas seções a seguir:

3.2.1 ARP DJI PHANTOM 4 STANDARD

O levantamento fotogramétrico foi realizado com uma ARP DJI PHANTOM 4 STANDARD exibida na Figura 2, o dispositivo é equipado com uma câmara CMOS 1/2,3" que possui uma resolução de 12,4 MP, lente de focal nominal de 8,8 mm e campo de visão de 84°, também dispõe de uma bateria com 5.350 mAh, para uma autonomia de 28 minutos de voo aproximadamente (DJI, 2022).

Também foi utilizada mala para transporte, controle remoto original do modelo e uma bateria.

Figura 2 - DJI PHANTOM 4 STANDARD



Fonte: O autor (2022).

3.2.2 Receptores GNSS CHCNAV i50

Para a realização da coleta dos pontos de controle e checagem, foi utilizado o receptor GNSS da marca CHCNAV modelo i50 exibido na Figura 3, pelo método do *Real Time Kinematic* - Cinemático em tempo real (RTK) o instrumento possui uma precisão horizontal de $8 \text{ mm} + 1 \text{ ppm RMS}$, e precisão vertical de $15 \text{ mm} + 1 \text{ ppm RMS}$, com uma confiabilidade de 99,9% segundo o manual do fabricante (CPE TECNOLOGIA, 2022).

No levantamento foi utilizado usado o protocolo *Networked Transport of Radio Technical Commission for Maritime Services via Internet Protocol* - Transporte em Rede da Comissão Técnica de Rádio para Serviços Marítimos via Protocolo de Internet (NTRIP), que é uma técnica de rastreamento de coordenadas que visa distribuir as observações do GNSS, semelhante ao RTK, o que os diferencia, é o fato do NTRIP ter sua coletora com conexão à internet, dessa forma os dados diferenciais são transmitidos pela rede do celular usando a internet durante todo o levantamento, realizando correções automáticas de acordo com a rede de base, possibilitando ir somente com o receptor em campo para realizar a coleta dos alvos artificiais sinalizados (COSTA et al., 2008).

Figura 3 - GNSS CHCNAV i50 ROVER



Fonte: O autor (2022).

Para a operação do protocolo NTRIP, foi utilizado a base exibida na Figura 4 que se encontra fixa na residência do responsável pela empresa ao qual foi realizada a parceria.

Figura 4 - Base GNSS



Fonte: O autor (2022).

Para o transporte, operação e sucessivamente a extração dos dados, foram necessários os seguintes materiais.

- 1 Coletora;
- 1 Mala rígida para o transporte;
- 1 Bateria lithium 3400 mAh;
- 1 Cabo USB;
- 1 Bastão de fibra de carbono para o rover.

3.2.3 Alvos artificiais

Os pontos de controle (Figura 5a) e de checagem (Figura 5b) foram pintados com cal branca no asfalto com formatos diferentes para possibilitar a identificação no *software* fotogramétrico.

Figura 5 - Modelo dos alvos



Fonte: O autor (2022).

3.2.4 Os *Softwares*

Para o processamento dos dados e a geração do produto final, foram necessários seis *softwares*:

O planejamento e execução do voo exibido na Figura 7 foi pelo aplicativo gratuito de voo automatizado DroneDeploy, que pode ser manuseado por meio do smartphone ou pelo site oficial da empresa (DRONEDEPLOY, 2022).

A organização das informações coletadas em campo, bem como seu tratamento aconteceu pelo programa Excel, pertencente ao pacote Office.

Com a finalidade do processamento dos pontos de controle e checagem, dispõe-se do *software* gratuito QGIS, que é um sistema de informações geográficas que permite a análise e mapeamento de pontos (QGIS, 2022).

Para o cálculo da ondulação geoidal dos pontos coletados em campo, a fim de realizar a correção da altitude geométrica para a ortométrica, foi utilizado o programa MAPGEO 2015, um *software* livre criado e disponibilizado pelo IBGE (BLITZKOW et al., 2016).

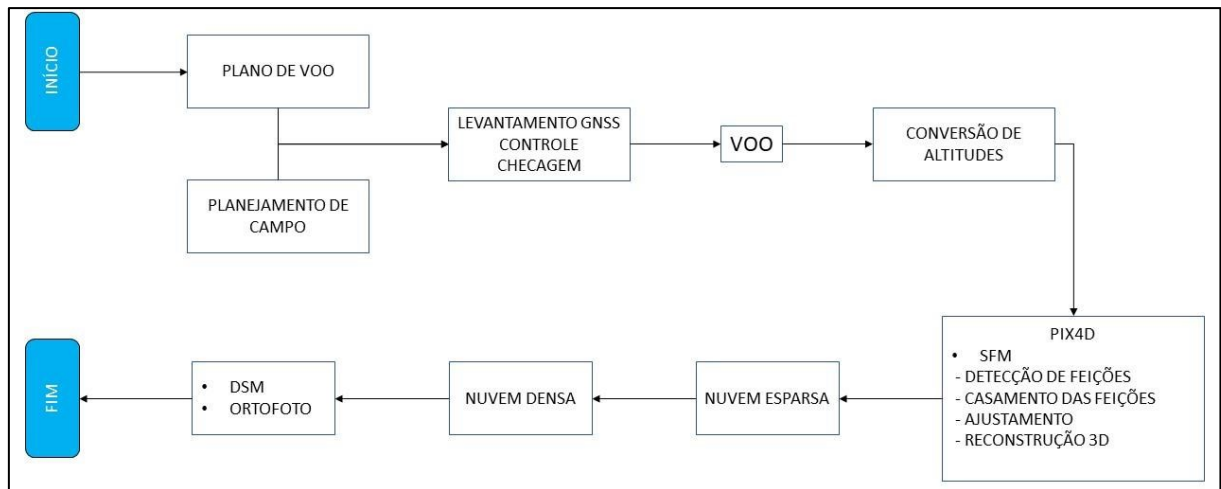
A parte relacionada ao tratamento das imagens capturadas e criação da ortofoto, ocorreu no *software* PIX4Dmapper, que é específico para construção e análises de mapas com modelos digitais de elevação do terreno e modelos 3D texturizados (PIX4D, 2022).

Ao final, para a verificação da qualidade do trabalho, foi utilizado o *software* GeoPEC, que é de uso gratuito e encontra-se a disposição no site do curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica da Universidade Federal de Viçosa (GEOPEC, 2019), para a realização do Padrão de Exatidão Cartográfica – Produto Cartográfico Digital – PEC - PCD.

3.3 FLUXOGRAMA

A Figura 6 exhibe o planejamento geral que o trabalho seguiu. Inicialmente houve a etapa de planejamento, em seguida está o período da execução e por fim o deferimento do resultado.

Figura 6 - Fluxograma da metodologia



Fonte: O autor (2022).

3.4 PLANEJAMENTO DO AEROLEVANTAMENTO

Precedendo um aerolevantamento, o planejamento de campo é importante para garantir uma boa execução do trabalho e o recobrimento total da área de interesse, tendo em vista isso, o segundo passo da metodologia é voltado para a organização do voo.

Levando em conta o tamanho da área de estudo da tarefa e o tempo de duração médio da bateria do equipamento utilizado, foi possível realizar o aerolevantamento em apenas um voo, logo não houve demanda de subdividir a área em porções menores.

Posto isso, se manuseou o *software* DroneDeploy a fim de se realizar a preparação do voo, tendo como base imagens de satélite da região de interesse.

Figura 8 - Coleta dos Pontos de Controle e Checagem

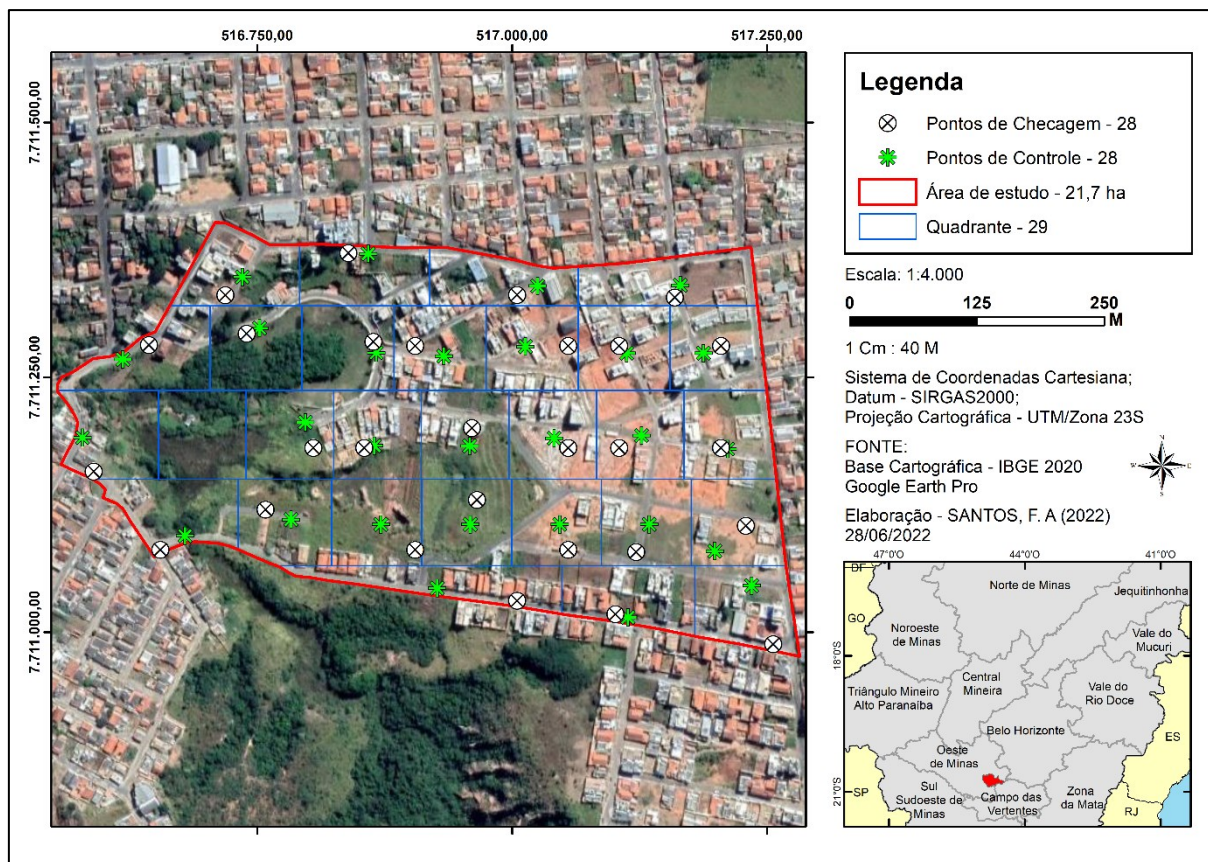


Fonte: O autor (2022).

A distribuição dos pontos ocorreu de forma sistemática, como é exibido na Figura 9, com o auxílio do *software* QGIS, onde foi feito a divisão da área total em quadrantes com áreas aproximadamente iguais, e ao centro de cada quadrante, foi inserido um ponto de controle, e num raio de 10 metros a esse ponto de controle, foi introduzido um ponto de checagem, assim, garantindo uma boa espacialização de toda a área de interesse com pontos bem distribuídos, como apresentado na metodologia de Gripp Júnior, (2009).

Em campo, foi feito um reconhecimento da área, verificando se no local de inserção e coleta dos pontos, não havia alguma obstrução, como casas, lotes inacessíveis, dentre outros. Quando ocorreu obstrução ou impossibilidade, houve o deslocamento do ponto para um local de acesso mais próximo.

Figura 9 - Distribuição Sistemática dos Pontos de Controle e Checagem



Fonte: O autor (2022).

O tratamento dos pontos coletados em campo ocorreu por meio do *software* Excel, onde foram organizados em planilhas, logo em seguida aconteceu a conversão das altitudes geométricas para ortométrica, com o auxílio do *software* MAPGEO2015, que realizou o cálculo da ondulação geoidal, possibilitando a inserção da altitude ortométrica no programa Pix4Dmapper.

3.6 ELABORAÇÃO DA ORTOFOTO

Para a elaboração da Ortofoto, foi utilizado o *software* Pix4Dmapper 4.4.12, mas antes foi feita uma inspeção visual nas altitudes das imagens em busca de valores discrepantes em suas altitudes. Após as imagens serem carregadas pelo *software*, a primeira etapa do processamento se inicia com a detecção e extração de feições (pontos chave) em todas as imagens. Em seguida, é realizado o casamento entre esses pontos chave, e juntamente com as coordenadas e orientações de cada imagem (que são os parâmetros aproximados), é realizado

um ajustamento para estimar os parâmetros de orientação exterior e interior de cada imagem. Nessa etapa, tem-se a chamada nuvem de pontos esparsa. (HE F. et al., 2018); (PIX4D, 2022).

Com a nuvem de pontos esparsa e a inserção dos pontos de controle, é realizada uma triangulação sobre a qual foi realizada uma interpolação para a geração da nuvem de pontos densa (HE F. *et al.*, 2018).

Com a nuvem densa, que são os pontos 3D que formam o Modelo Digital de Elevação (MDE), foi produzida a ortofoto, com a projeção ortogonal desses pontos, a reamostragem e texturização da ortofoto (PIX4D, 2022), além do relatório que se encontra no Anexo A.

3.7 ANÁLISE DA EXATIDÃO DA ORTOFOTO

A verificação da qualidade da ortofoto gerada, se deu por meio do *software* GeoPEC, que segue padrão de exatidão cartográfica segundo o 4º parágrafo do item 2. do Art. 8º do Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984 (BRASIL, 1984), assim verificou-se a acurácia, o comportamento e a normalidade posicional das amostras, realizando análises de precisão e tendência (GEOPEC, 2019).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A coleta dos pontos de apoio, de verificação e o voo foram realizados no dia 19/04/2022, e o levantamento aéreo por volta das 15h09min. Foram levantados 28 pontos de apoio e 28 pontos de checagem, exibidos na Figura 10.

Figura 10 - Pontos Coletados em Campo

Ponto	Descricao	x	y	z	Ponto	Descricao	x	y	z
0	base	517354,21	7711180,70	1002,06	0	base	517354,21	7711180,70	1002,06
1	checagem	517167,93	7711332,91	990,69	1	controle	517166,61	7711348,51	988,63
2	checagem	517000,32	7711329,32	980,02	2	controle	517025,15	7711340,64	984,76
3	checagem	516647,00	7711276,53	947,61	3	controle	516606,76	7711262,09	940,62
4	checagem	516736,41	7711292,89	953,93	4	controle	516769,69	7711304,91	955,12
5	checagem	516866,38	7711277,68	956,55	5	controle	516859,82	7711296,70	957,47
6	checagem	516904,01	7711278,60	959,38	6	controle	516940,11	7711269,53	964,66
7	checagem	517055,90	7711275,37	984,06	7	controle	517026,84	7711257,40	979,11
8	checagem	517124,41	7711273,91	992,87	8	controle	517109,82	7711280,05	992,02
9	checagem	517207,20	7711285,73	995,93	9	controle	517181,02	7711272,85	996,91
10	checagem	517197,13	7711173,78	1004,26	10	controle	517223,41	7711169,59	1004,41
11	checagem	517110,43	7711179,85	996,76	11	controle	517129,06	7711191,03	998,24
12	checagem	517063,43	7711168,32	991,87	12	controle	517034,43	7711188,63	985,36
13	checagem	516958,76	7711211,11	970,05	13	controle	516958,32	7711184,27	971,11
14	checagem	516852,98	7711181,36	956,62	14	controle	516893,85	7711192,73	960,33
15	checagem	516808,14	7711171,01	952,84	15	controle	516803,80	7711206,46	950,31
16	checagem	516595,17	7711145,71	944,42	16	controle	516685,27	7711088,16	945,46
17	checagem	516661,88	7711081,54	945,72	17	controle	516580,63	7711212,05	941,01
18	checagem	516763,45	7711118,08	951,24	18	controle	516794,43	7711113,50	954,88
19	checagem	516914,66	7711075,28	976,57	19	controle	516867,29	7711114,54	964,98
20	checagem	516946,45	7711123,16	974,67	20	controle	516941,28	7711093,19	977,04
21	checagem	517060,96	7711077,99	997,53	21	controle	517050,25	7711109,75	995,86
22	checagem	517122,65	7711072,65	1005,29	22	controle	517132,89	7711107,44	1005,98
23	checagem	517233,57	7711105,21	1008,58	23	controle	517201,25	7711079,07	1010,92
24	checagem	517270,76	7710980,59	1000,73	24	controle	517235,41	7711045,78	1010,74
25	checagem	517132,98	7711010,98	1002,65	25	controle	517108,76	7711016,14	1000,39
26	checagem	517003,08	7711030,62	987,99	26	controle	516925,39	7711042,23	976,48
27	checagem	516839,12	7711372,95	977,61	27	controle	516735,71	7711340,52	969,93
28	checagem	516723,93	7711324,08	965,30	28	controle	516866,61	7711371,49	977,54

Fonte: O autor (2022).

Para recobrir a área, foram tomadas 135 imagens, totalizando 649 MB e todas estavam adequadas para o processamento fotogramétrico.

O processamento foi realizado em um computador com processador Intel i5-5200 de 2.2 GHz, memória RAM de 12GB e Placa Gráfica Intel 5.500, tendo por tempo total 59min07 de processo.

4.1 PRIMEIRA ETAPA

Ao iniciar o processamento, a primeira etapa gera a nuvem de pontos esparsa. Foram utilizadas as 135 fotos obtidas com a ARP, pois nenhuma apresentou erros em sua geolocalização. A Figura 11 mostra a nuvem de pontos esparsa.

Figura 11 - Nuvem esparsa

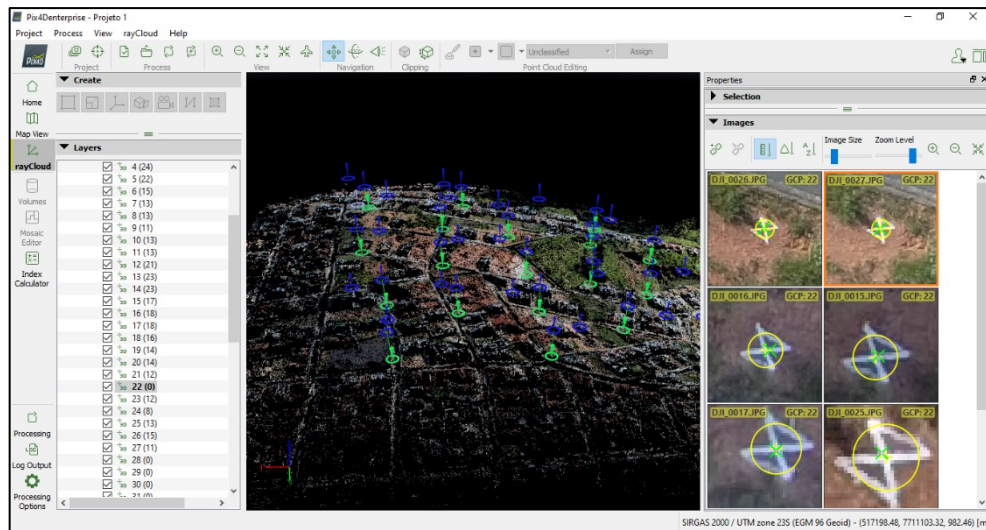


Fonte: O autor (2022).

4.2 SEGUNDA ETAPA

Ao iniciar a segunda etapa, foram inseridos os pontos de controle e de checagem com o sistema de Coordenadas Cartesianas SIRGAS2000, com a Projeção *Universal Transversa de Mercator* (UTM) na Zona 23 S como é exibido na Figura 12, apontando o local exato dos alvos dentro em cada imagem.

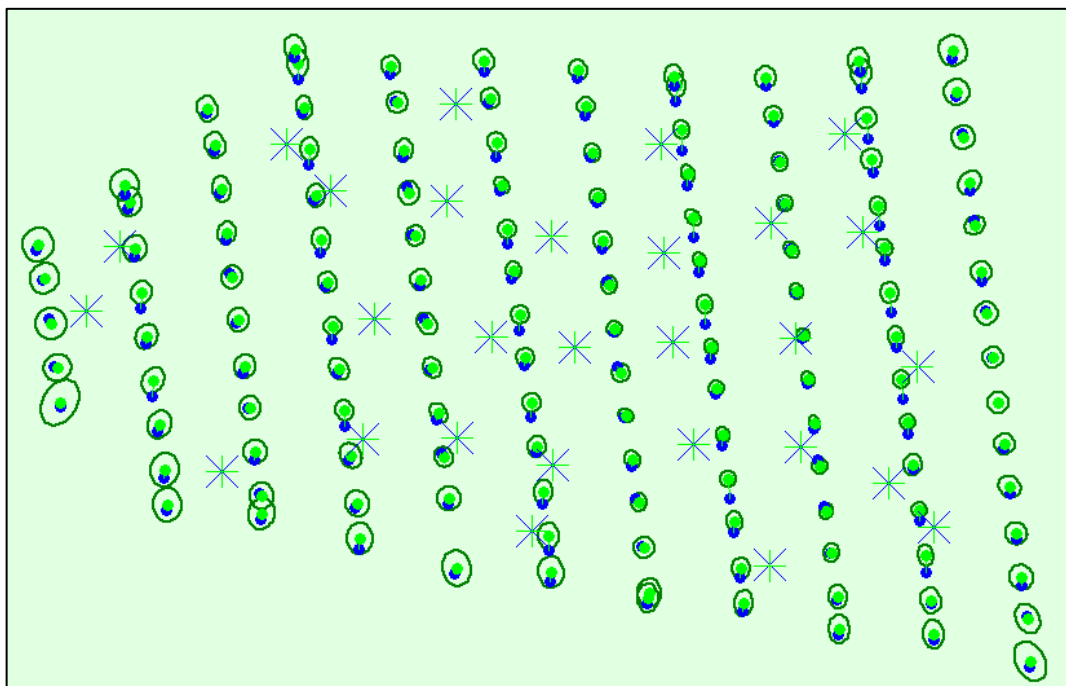
Figura 12 - Apontando os Alvos



Fonte: O autor (2022).

A Figura 13 ilustra a posição dos pontos de controle inseridos no projeto fotogramétrico:

Figura 13 - Pontos de Controle Observados na Imagem



Fonte: O autor (2022).

A nuvem de pontos densificada teve 871.336 pontos 3D, exibida na Figura 14.

Figura 14 - Nuvem de Pontos Densificada

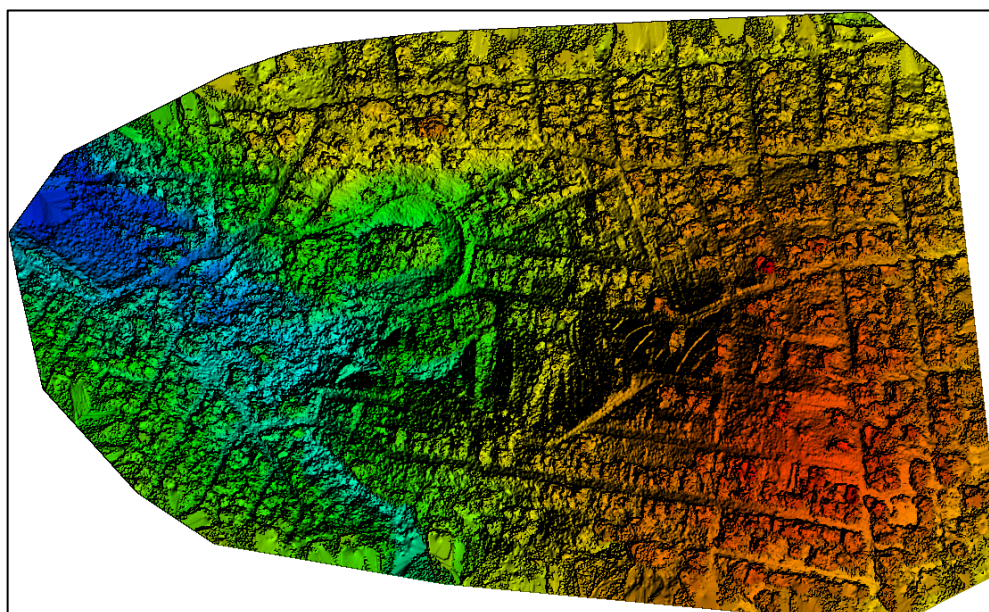


Fonte: O autor (2022).

4.3 TERCEIRA ETAPA

Ao final, na terceira e última etapa, se teve por resultado o Modelo Digital de Superfície exibido na Figura 15.

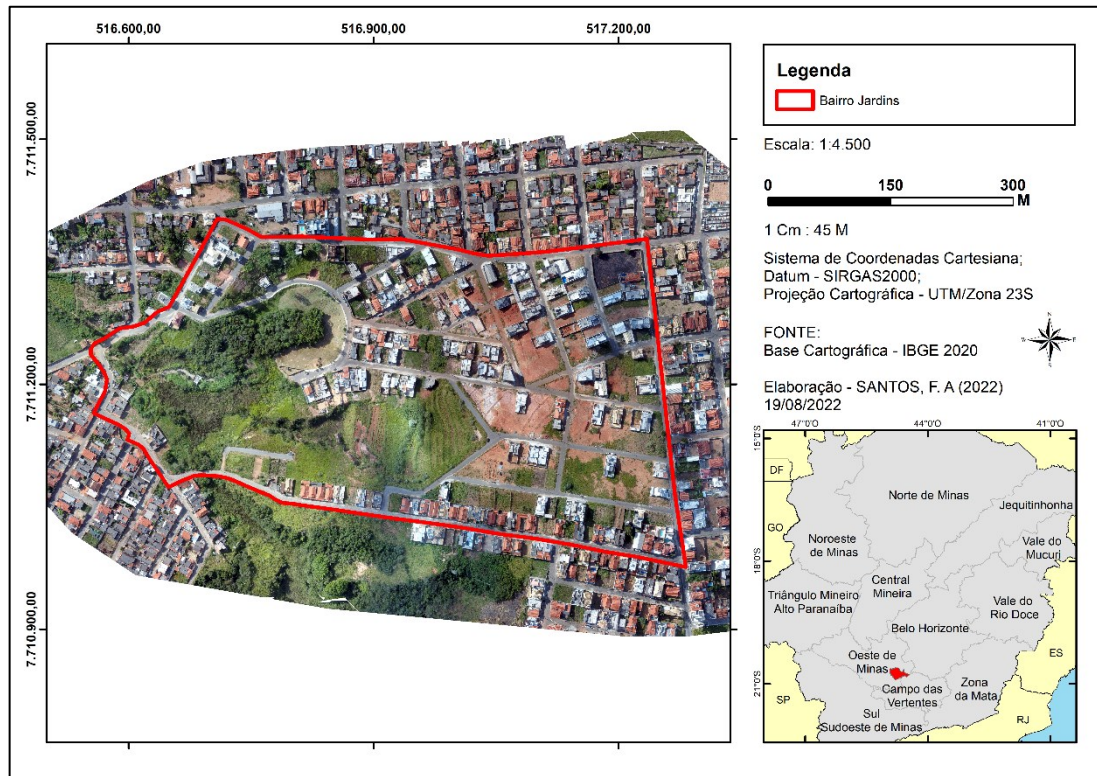
Figura 15 - Modelo Digital de Superfície



Fonte: O autor (2022).

Como último resultado, gerou-se a Ortofoto exibida na Figura 16 com um GSD de 5,70 cm e um erro médio de 9,7 cm.

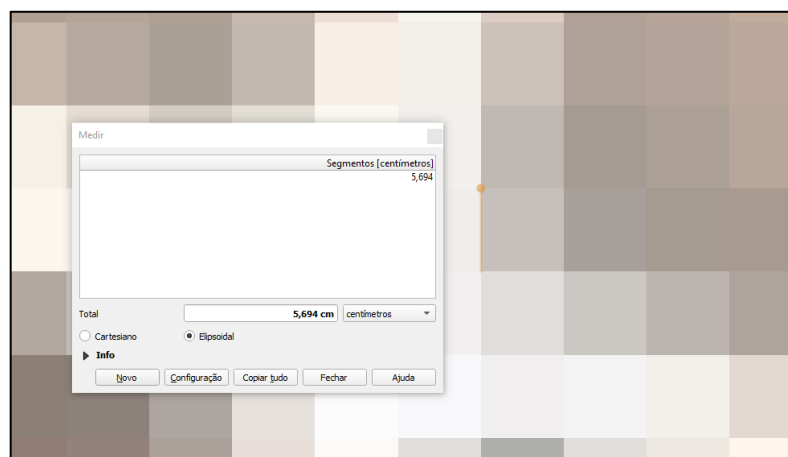
Figura 16 - Ortofoto do Bairro Jardins



Fonte: O autor (2022).

A Figura 17 exibe o tamanho do pixel resultante (GSD) que foi medido com o auxílio do *software* QGIS, para ilustrar o resultado alcançado no processo fotogramétrico.

Figura 17 - Tamanho do Pixel na Ortofoto



Fonte: O autor (2022).

A Figura 18, também ilustra a qualidade geométrica e também radiométrica da ortofoto, com um zoom sobre um automóvel, demonstrando a qualidade visual do produto elaborado.

Figura 18 - Exemplo da qualidade geométrica e radiométrica da ortofoto



Fonte: O autor (2022).

A classificação da Ortofoto quanto ao Padrão de Exatidão Cartográfica foi realizada no *software* GeoPEC, que resultou como **Acurada** para a escala 1:1.000, a qualidade atribuída para o produto foi de **Classe A**.

A análise de tendência e precisão em seus componentes posicionais a qual o produto foi submetido, teve por resultado **Preciso** e **Não há Tendência**. Por fim, a Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático para as discrepâncias foi de 0,1537 metros. O relatório gerado na classificação contendo todas as informações, de precisão, tendência e as discrepâncias entre os pontos de checagem utilizados se encontra no Anexo B.

5 CONCLUSÕES

Toda a metodologia proposta foi executada durante a realização do trabalho, utilizando uma ARP que é um equipamento de baixo custo, e foi possível produzir uma ortofoto com sucesso do bairro Jardins no município de Oliveira, estado Minas Gerais.

A ortofoto teve um GSD de 5,70cm, muito superior ao objetivo inicial de até 10cm. O produto cartográfico também foi avaliado pelo PEC-PCD que classificou a imagem na Classe A, escala 1:1.000, sem tendência e com acurácia, o que possibilita seu uso como uma base cartográfica para o bairro.

Outro ponto a ser destacado, foi o uso da metodologia NTRIP para a coleta dos pontos de controle e verificação, que contribuiu para a otimização desse processo e para o aprendizado da tecnologia.

REFERÊNCIAS

- BLITZKOW, D. et al. **MAPGEO2015: O NOVO MODELO DE ONDULAÇÃO GEÓIDAL DO BRASIL**. Revista Brasileira de Cartografia, Rio de Janeiro, v. 10, n. 68, p. 1873-1884, 08 out. 2016.
- BRASIL. **Decreto n. 89.817, de 20 de junho de 1984**. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Brasília, DF, jun, 1984.
- BRASIL. **NBR 14.166/1998**. Rede de referência cadastral Municipal. Rio de Janeiro, 13 mai, 1998.
- COSTA, S. M. A. et al. **RPMC EM TEMPO REAL, VIA NTRIP, E SEUS BENEFÍCIOS NOS LEVANTAMENTOS RTK E DGPS**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, Recife - PE, Trabalho apresentado no IIº II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife - PE, 2008.
- CPE TECNOLOGIA. **GNSS RTK i50**. Disponível em: <https://www.cpetecnologia.com.br/produto/674/gnss-rtk-i50>. Acesso em: 14 jul. 2022.
- DJI. **PHANTOM 4 Especificações**. Disponível em: <https://www.dji.com/br/phantom-4/info>. Acesso em: 14 jul. 2022.
- DRONEDEPLOY. **Drone & Plataforma de mapeamento**. Disponível em: <https://www.dronedeploy.com/pt-br/>. Acesso em: 14 jul. 2022.
- EXÉRCITO BRASILEIRO. EB80-N-72.003: **NORMA DA ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA PARA AQUISIÇÃO DE DADOS GEOESPACIAIS VETORIAIS DE DEFESA DA FORÇA TERRESTRE**. 2 ed. .: Departamento de Ciência e Tecnologia, 2016. 85 p.
- GALO, M.; CAMARGO, P. O. **Utilização do GPS no controle de qualidade de cartas**. Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. 1994. p. 41-8.
- GEOPEC **Software para avaliação da acurácia posicional em dados cartográficos**. Disponível em: <http://www.geopec.com.br/>. Acesso em: 11 ago. 2022.
- GRIPP JÚNIOR, J. **Ortorretificação de imagens de alta resolução para aplicação no cadastro técnico rural e mapeamento de área de preservação permanente e reservas legais**. 2009. 174p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Departamento de Manejo Florestal, Universidade Federal de Viçosa. 2009.
- HE, F.; ZHOU, T.; XIONG, W.; Hasheminnasab, S.M.; Habib, A. *Automated Aerial Triangulation for UAV-Based Mapping*. *Remote Sens.* **2018**, *10*, 1952.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manuais técnicos em Geociências**. Coordenação de Cartografia. Rio de Janeiro, 2017.
- LOPES, J. A. Ortofoto. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 43, p. 32-36, 2011.

MARTÍNEZ CARRICONO, P. et al. **Assessment of UAV-photogrammetric mapping accuracy based on variation of ground control points**. International journal of applied earth observation and geoinformation, v. 72, p. 1-10, 2018.

OLIANI, L. O.; ANTUNES, A. F. B. **Estudo de atualização de bases cartográficas e banco de dados cadastrais. Um estudo de atualização de bases cartográficas e banco de dados cadastrais a partir de imagens orbitais de alta resolução extraídas do Google na região metropolitana de Curitiba, Curitiba, PR, Trabalho apresentado no XV° SBSR, Curitiba, PR, 2011.**

PIX4D. Disponível em: <https://www.pix4d.com/>. Acesso em: 11 ago. 2022.

PIX4D. **PIX4Dmapper Guia para iniciantes**. Disponível em: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/115002496466-Pix4Dmapper-Getting-Started-PDF-version-EN-ES-FR-PT-LV-UA-RU>. Acesso em: 14 jul. 2022.

QGIS **Um sistema de informações geográficas gratuito e de código aberto**. Disponível em: <https://www.qgis.org/en/site/>. Acesso em: 11 ago. 2022.

RANGEL, J. M. G.; GONÇALVES, G. R.; PÉREZ, J. A.. **The impact of number and spatial distribution of GCPs on the positional accuracy of geospatial products derived from low-cost UASs**. International Journal Of Remote Sensing, [S.L.], v. 39, n. 21, p. 7154-7171, 10 set. 2018. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2018.1515508>.

REIS, L. F. S.. **O Direito Surgiu Antes da Escrita**. In: Conpedi. (Org.). História do Direito II. 1ªed.João Pessoa-PB: Conpedi, 2014, v. único, p. 256-272.

Universidade Federal de Itajubá. **Carlos Chagas**. Disponível em: <https://unifei.edu.br/personalidades-do-muro/extensao/carlos-chagas/>. Acesso em: 14 jul. 2022.

ANEXO A – RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO DA ORTOFOTO

Quality Report



Generated with Pix4Denterprise version 4.4.12

Important: Click on the different icons for:

- ? Help to analyze the results in the Quality Report
- i Additional information about the sections

💡 Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary i

Project	Projeto 1
Processed	2022-05-21 02:13:39
Camera Model Name(s)	FC330_3.6_4000x3000 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	5.70 cm / 2.24 in
Area Covered	0.509 km ² / 50.8543 ha / 0.20 sq. mi. / 125.7287 acres

Quality Check i

? Images	median of 39081 keypoints per image	✔
? Dataset	135 out of 135 images calibrated (100%), all images enabled	✔
? Camera Optimization	3.19% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✔
? Matching	median of 17683.2 matches per calibrated image	✔
? Georeferencing	yes, 28 GCPs (28 3D), mean RMS error = 0.097 m	✔

? Preview i

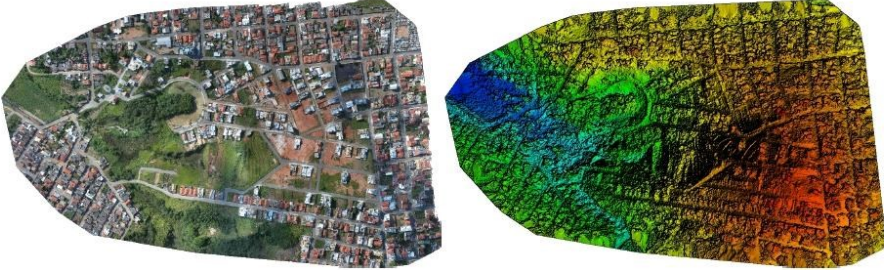


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration Details i

Number of Calibrated Images	135 out of 135
Number of Geolocated Images	135 out of 135

? Initial Image Positions i

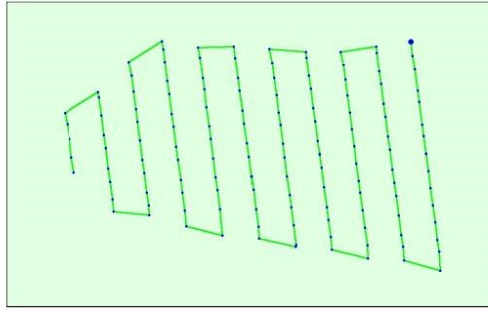


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions

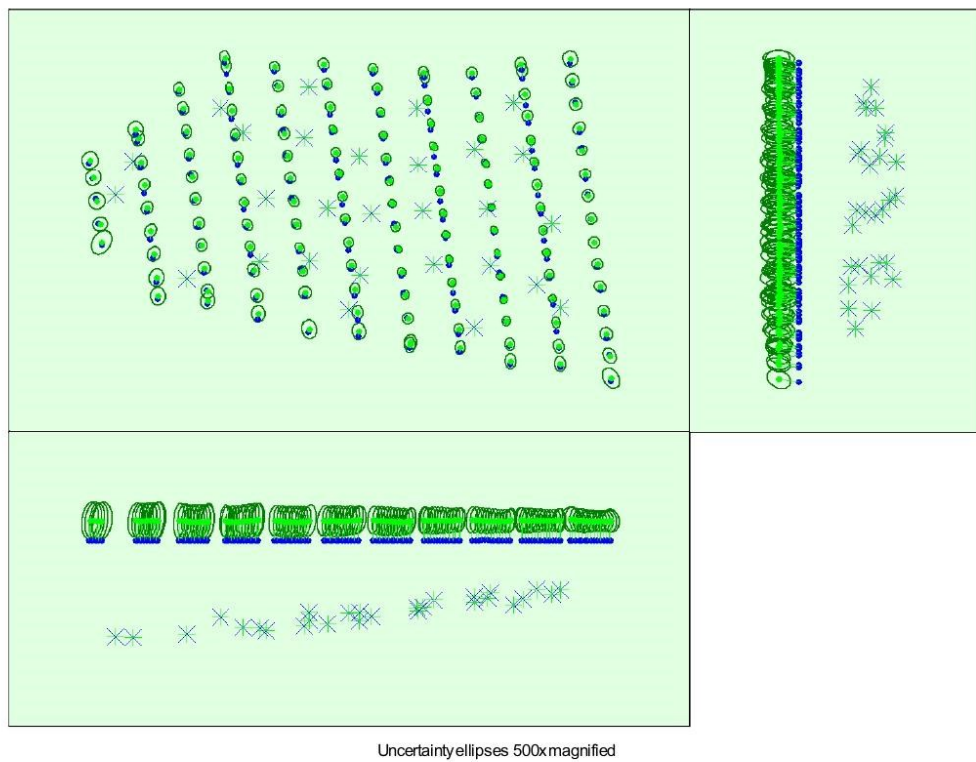


Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Absolute camera position and orientation uncertainties

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.016	0.018	0.042	0.007	0.006	0.002
Sigma	0.003	0.004	0.007	0.002	0.001	0.001

Overlap

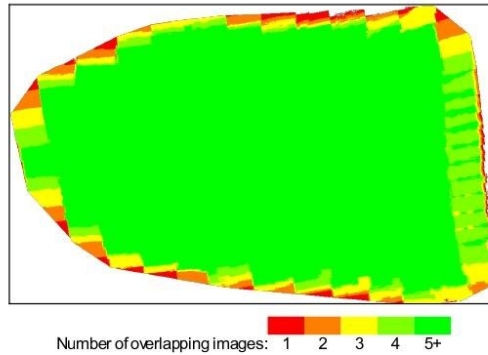


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Bundle Block Adjustment Details

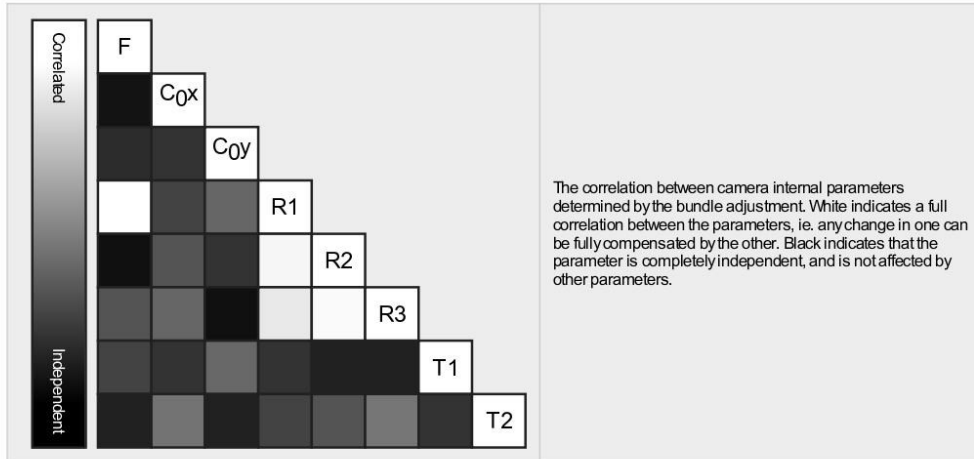
Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	2339963
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	871336
Mean Reprojection Error [pixels]	0.236

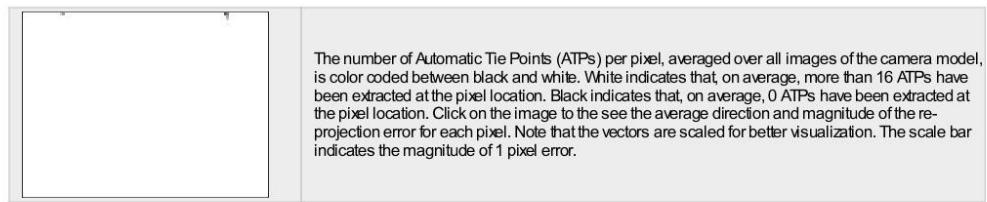
Internal Camera Parameters

FC330_3.6_4000x3000 (RGB). Sensor Dimensions: 6.317 [mm] x 4.738 [mm]

EXIF ID: FC330_3.6_4000x3000

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	2285.722 [pixel] 3.610 [mm]	2000.006 [pixel] 3.159 [mm]	1500.003 [pixel] 2.369 [mm]	-0.001	-0.002	0.000	-0.001	-0.001
Optimized Values	2358.727 [pixel] 3.725 [mm]	1966.698 [pixel] 3.106 [mm]	1479.594 [pixel] 2.337 [mm]	0.002	0.006	-0.005	-0.000	-0.001
Uncertainties (Sigma)	0.732 [pixel] 0.001 [mm]	0.114 [pixel] 0.000 [mm]	0.104 [pixel] 0.000 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000





? 2D Keypoints Table



	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	39081	17683
Mn	30382	7594
Max	50360	26875
Mean	39433	17333

? 3D Points from 2D Keypoint Matches



	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	614019
In 3 Images	135854
In 4 Images	51988
In 5 Images	24590
In 6 Images	14246
In 7 Images	9457
In 8 Images	6189
In 9 Images	4182
In 10 Images	3017
In 11 Images	2245
In 12 Images	1624
In 13 Images	1119
In 14 Images	775
In 15 Images	564
In 16 Images	466
In 17 Images	307
In 18 Images	215
In 19 Images	143
In 20 Images	115
In 21 Images	82
In 22 Images	79
In 23 Images	37
In 24 Images	22
In 25 Images	1

? 2D Keypoint Matches



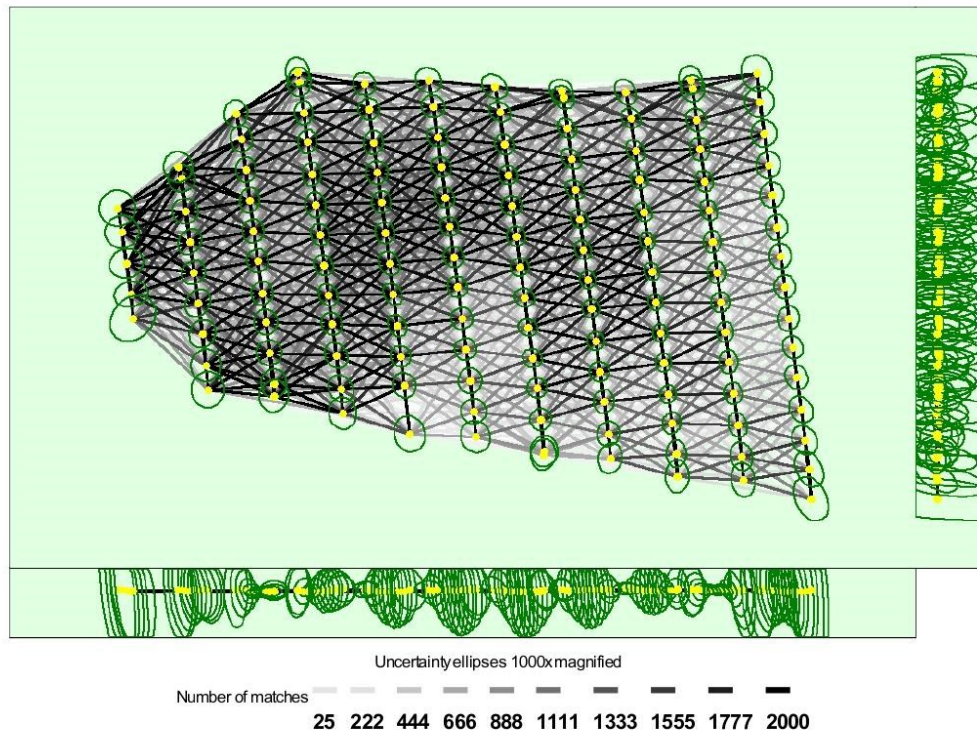


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

? Relative camera position and orientation uncertainties

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.013	0.014	0.033	0.014	0.018	0.002
Sigma	0.003	0.003	0.021	0.008	0.010	0.001

Geolocation Details

? Ground Control Points

GCP Name	Accuracy XYZ [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
0 (3D)	0.020/0.020	0.214	-0.154	0.021	0.884	9 / 9
1 (3D)	0.020/0.020	0.070	-0.189	-0.072	0.951	14 / 14
2 (3D)	0.020/0.020	-0.068	-0.082	-0.068	1.422	16 / 16
3 (3D)	0.020/0.020	-0.127	-0.134	-0.112	1.028	20 / 20
4 (3D)	0.020/0.020	-0.024	-0.122	-0.001	1.324	24 / 24
5 (3D)	0.020/0.020	-0.002	-0.108	-0.004	0.897	22 / 22
6 (3D)	0.020/0.020	0.047	-0.061	0.089	1.173	15 / 15
7 (3D)	0.020/0.020	0.072	-0.124	-0.037	1.045	13 / 13
8 (3D)	0.020/0.020	0.191	-0.055	0.111	1.101	13 / 13
9 (3D)	0.020/0.020	0.228	-0.000	-0.032	2.460	11 / 11
10 (3D)	0.020/0.020	0.017	0.002	0.010	1.555	13 / 13
11 (3D)	0.020/0.020	-0.005	-0.051	0.042	0.975	13 / 13

12 (3D)	0.020/0.020	-0.015	0.011	0.065	1.236	21 / 21
13 (3D)	0.020/0.020	-0.047	0.018	0.132	1.084	23 / 23
14 (3D)	0.020/0.020	-0.049	0.001	0.142	1.061	23 / 23
15 (3D)	0.020/0.020	-0.109	0.168	0.029	1.148	17 / 17
16 (3D)	0.020/0.020	-0.131	-0.084	-0.087	1.929	18 / 18
17 (3D)	0.020/0.020	-0.055	0.082	-0.019	0.592	18 / 18
18 (3D)	0.020/0.020	-0.063	0.115	-0.182	2.048	16 / 16
19 (3D)	0.020/0.020	-0.022	0.088	-0.062	1.443	14 / 14
20 (3D)	0.020/0.020	-0.082	0.081	-0.031	0.965	14 / 14
21 (3D)	0.020/0.020	-0.042	0.027	-0.046	1.726	12 / 12
23 (3D)	0.020/0.020	0.073	0.066	-0.021	0.739	12 / 12
24 (3D)	0.020/0.020	-0.076	0.187	-0.193	1.023	8 / 8
25 (3D)	0.020/0.020	-0.114	0.194	-0.125	0.748	13 / 13
26 (3D)	0.020/0.020	-0.041	-0.155	-0.160	0.945	15 / 15
27 (3D)	0.020/0.020	0.068	-0.170	-0.127	0.978	11 / 11
50 (3D)	0.020/0.020	0.052	0.061	0.074	1.220	8 / 8
Mean [m]		-0.001441	-0.013770	-0.023783		
Sigma [m]		0.094736	0.109253	0.089246		
RMS Error [m]		0.094747	0.110117	0.092361		

0 out of 28 check points have been labeled as inaccurate.

Check Point Name	Accuracy XYZ [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
22		0.2203	0.0262	-0.0223	2.1493	9 / 9
28		0.1620	-0.1657	-0.0029	1.2098	11 / 11
29		0.1343	-0.1545	0.0101	0.6404	15 / 15
30		-0.0613	-0.1230	0.0826	0.9840	21 / 21
31		-0.0323	-0.1780	-0.0390	1.4041	21 / 21
32		-0.0689	-0.0907	-0.0035	0.8089	18 / 18
33		0.0433	-0.0954	-0.0790	1.5130	16 / 16
34		0.2098	-0.0795	-0.1278	2.4965	13 / 13
35		0.1812	-0.0407	0.0128	1.5787	13 / 13
36		0.3219	-0.0437	0.0043	1.5734	12 / 12
37		0.1169	-0.0149	0.1026	0.9387	12 / 12
38		0.0444	0.0367	0.0078	0.8449	10 / 10
39		-0.0431	0.0071	-0.0654	2.2556	13 / 13
40		0.0091	-0.0220	0.0837	1.0813	20 / 20
41		-0.0492	0.0461	-0.0833	1.3215	15 / 15
42		-0.0698	0.0211	0.1014	1.0258	23 / 23
43		-0.1512	0.0302	0.0464	1.1380	16 / 16
44		-0.1475	0.1485	-0.0946	1.2044	17 / 17
45		-0.0665	0.0858	-0.0560	1.4217	22 / 22
46		-0.1203	0.0895	-0.0920	0.9983	14 / 14
47		-0.0181	0.0683	0.0407	1.1499	14 / 14
48		-0.0466	0.0932	-0.0127	1.0438	13 / 13
49		-0.0406	0.0902	-0.0590	0.8165	8 / 8
51		0.0264	0.1275	-0.2219	0.5616	7 / 7
52		-0.1095	0.1807	-0.2013	1.0614	8 / 8
53		-0.1233	0.2087	-0.1472	1.1041	12 / 12
54		0.1051	-0.1203	-0.1873	0.6443	13 / 13
55		-0.0447	-0.1388	-0.1298	0.7559	20 / 20
Mean [m]		0.013634	-0.000266	-0.040445		
Sigma [m]		0.121440	0.106362	0.087901		
RMS Error [m]		0.122203	0.106362	0.096759		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked.

? Absolute Geolocation Variance



Mn Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X[%]	Geolocation Error Y[%]	Geolocation Error Z [%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	5.93	0.00
-9.00	-6.00	0.00	7.41	0.00
-6.00	-3.00	0.00	12.59	0.00
-3.00	0.00	48.15	19.26	54.07
0.00	3.00	51.85	31.11	45.93
3.00	6.00	0.00	9.63	0.00
6.00	9.00	0.00	11.11	0.00
9.00	12.00	0.00	2.96	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		-1.039920	-4.883524	-28.194842
Sigma [m]		0.855024	4.976311	1.022746
RMS Error [m]		1.346291	6.972265	28.213385

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	-1.039920	-4.883524	-28.194842

Bias between image initial and computed geolocation given in output coordinate system.

? Relative Geolocation Variance



Relative Geolocation Error	Images X [%]	Images Y [%]	Images Z [%]
[-1.00, 1.00]	100.00	64.44	100.00
[-2.00, 2.00]	100.00	95.56	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	5.000000	5.000000	10.000000
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.000000	0.000000	0.000000

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	0.915
Phi	0.568
Kappa	2.526

Geolocation RMS error of the orientation angles given by the difference between the initial and computed image orientation angles.

Initial Processing Details



System Information



Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i5-5200U CPU @ 2.20GHz RAM: 12GB GPU: Intel(R) HD Graphics 5500 (Driver: 20.19.15.4835)
Operating System	Windows 10 Home Single Language, 64-bit

Coordinate Systems



Image Coordinate System	WGS 84 (EGM96 Geoid)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	SIRGAS 2000 / UTMzone 23S (EGM96 Geoid)
Output Coordinate System	SIRGAS 2000 / UTMzone 23S (EGM96 Geoid)

Processing Options



Detected Template	No Template Available
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, yes

Point Cloud Densification details



Processing Options



Image Scale	multiscale, 1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes
3D Textured Mesh Settings:	Resolution: Medium Resolution (default) Color Balancing: no
LOD	Generated: no
Advanced: 3D Textured Mesh Settings	Sample Density Divider: 1
Advanced: Image Groups	group 1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	01h:04m:22s
Time for Point Cloud Classification	NA
Time for 3D Textured Mesh Generation	12m:37s

Results



Number of Generated Tiles	1
Number of 3D Densified Points	12313026
Average Density (per m ³)	15.7

DSM, Orthomosaic and Index Details



Processing Options



DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (5.7 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: no
Time for DSM Generation	30m:13s
Time for Orthomosaic Generation	28m:54s

Time for DTM Generation	00s
Time for Contour Lines Generation	00s
Time for Reflectance Map Generation	00s
Time for Index Map Generation	00s

ANEXO B – RELATÓRIO DE CLASSIFICAÇÃO GEOPEC

GeoPEC

Avaliação do Padrão de Acurácia Posicional em Dados Espaciais

RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO

(completo)

DADOS DO PRODUTO

Produto: Ortofoto do Bairro Jardins
Local: Oliveira - MG
Data: 07/08/2022
Responsável Técnico: Filipe Augusto dos Santos

CLASSIFICAÇÃO FINAL DO PRODUTO

Padrão de acurácia utilizado: Decreto n. 89.817/1984 - Análise Planimétrica
Metodologia: Santos et al. (2016) com as tolerâncias PEC-PCD da ET-CQDG

O produto "Ortofoto do Bairro Jardins", É **ACURADO** para a escala de **1/1000**. O resultado do PEC-PCD foi "**Classe A**", de acordo com o Decreto n. 89.817 de 20 de junho de 1984, que regulamenta as normas cartográficas brasileiras, aliada às tolerâncias da ET-CQDG. O produto foi submetido a análise de tendência e precisão em suas componentes posicionais, onde os resultados foram: É **Preciso** e **Não há Tendência**.

Pontos de checagem utilizados: 28
RMS das discrepâncias (m): 0,1537

INFORMAÇÕES GERAIS

Padrão de acurácia utilizado: Decreto n. 89.817/1984
Análise Planimétrica

PROCESSAMENTO
Escala de Referência: 1/1000
Pontos de checagem inseridos: 28
Pontos de checagem utilizados: 28

OUTLIERS

>> Outliers detectados: 0
 >> Valor limite - detecção: 0,9

ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

>> Média(E)= -0,0279	Média(N)= 0,0087	Média(ABS)= 0,1351
>> Desv-pad(E)= 0,1089	Desv-pad(N)= 0,1083	Desv-pad(ABS)= 0,0745
>> RMS(E)= 0,1105	RMS(N)= 0,1067	RMS(ABS)= 0,1537

PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL

>> Vizinho mais próximo:
 :: Área (m²) = 220000
 :: 1ª ordem - R= 1,4996 Zcalc= 5,057 Ztab= 1,96
 Resultado = Padrão DISPERSO - (significativo estatisticamente) - 95%
 :: 2ª ordem - R= 1,4198 Zcalc= 6,1204 Ztab= 1,96
 Resultado = Padrão DISPERSO - (significativo estatisticamente) - 95%
 :: 3ª ordem - R= 1,4462 Zcalc= 8,0282 Ztab= 1,96
 Resultado = Padrão DISPERSO - (significativo estatisticamente) - 95%

TESTE DE NORMALIDADE

>> Teste de Normalidade Shapiro-Wilk :
 Wcalc(E)= 0,8971 Wcalc(N)= 0,9498
 p-value(E)= 0,0098 p-value(N)= 0,1964
 Nível de Confiança = 95%
 Amostra NÃO Normal

TESTE DE PRECISÃO

>> Decreto 89.817:
 PEC= 0,28 EP= 0,17
 Resultado: Classe A

TESTE DE TENDÊNCIA

>> Teste t de Student
 tcalc(E)= -1,3557 tcalc(N)= 0,4251 ttab= 1,7033
 Resultado: Inconclusivo

>> Estatística Espacial
 Média Direcional (Azimute)= 208,1613 Variância Circular= 0,897
 Resultado: Não Tendencioso

DISCREPÂNCIAS - PONTOS DE CHECAGEM

ID	di(E)	di(N)	di(ABS)
1	-0,2483	0,1704	0,3011
10	-0,1088	0,0177	0,1102
11	-0,0336	-0,0473	0,058
12	0,0112	-0,0221	0,0248
13	0,0191	0,0218	0,029
14	0,007	-0,0682	0,0686
15	0,0306	-0,0441	0,0537
16	0,0784	-0,0433	0,0896
17	0,055	-0,1146	0,1271
18	0,0736	-0,0865	0,1136
19	0,0566	-0,062	0,0839
2	-0,1341	0,1897	0,2323
20	-0,0478	-0,0516	0,0703
21	0,0527	-0,0667	0,085
22	0,056	-0,0921	0,1078
23	-0,2114	-0,0124	0,2118
24	-0,0318	-0,1009	0,1058
25	0,0872	-0,1824	0,2022
26	0,1067	-0,1786	0,208
27	-0,098	0,0882	0,1318
28	0,0641	0,1484	0,1617
3	0,0099	0,1291	0,1295
4	0,072	0,1865	0,1999
5	0,013	0,0831	0,0841
6	-0,0743	0,0874	0,1147
7	-0,1087	0,1305	0,1698
8	-0,1819	0,0884	0,2022
9	-0,2965	0,0744	0,3057
