

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**INSTITUTO DE GEOGRAFIA**  
**ENGENHARIA DE AGRIMENSURA E CARTOGRÁFICA**

**MATHEUS MARTINS PEREIRA**

**GERAÇÃO DA ORTOFOTO DA REGIÃO CENTRAL DA MANCHA URBANA DO  
MUNICÍPIO DE ESTRELA DO SUL – MG USANDO AERONAVE REMOTAMENTE  
PILOTADA**

MONTE CARMELO - MG

2021

**MATHEUS MARTINS PEREIRA**

**GERAÇÃO DA ORTOFOTO DA REGIÃO CENTRAL DA MANCHA URBANA DO  
MUNICÍPIO DE ESTRELA DO SUL – MG USANDO AERONAVE REMOTAMENTE  
PILOTADA**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica, da Universidade Federal de Uberlândia - Campus Monte Carmelo, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Luís Barbosa.

Coorientador: Prof. Dr. Rodrigo Bezerra de Araújo Gallis.

MONTE CARMELO - MG

2021

**MATHEUS MARTINS PEREIRA**

**GERAÇÃO DA ORTOFOTO DA REGIÃO CENTRAL DA MANCHA URBANA DO  
MUNICÍPIO DE ESTRELA DO SUL – MG USANDO AERONAVE REMOTAMENTE  
PILOTADA**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica, da Universidade Federal de Uberlândia - Campus Monte Carmelo, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Luís Barbosa.

Coorientador: Prof. Dr. Rodrigo Bezerra de Araújo Gallis.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Ricardo Luís Barbosa (Orientador)

Universidade Federal de Uberlândia

---

Prof. Dr. Rodrigo Bezerra de Araújo Gallis (Coorientador)

Universidade Federal de Uberlândia

---

Marcelo Araújo de Faria (Convidado)

Especialista em Geoprocessamento

Técnico do Laboratório de Sensoriamento Remoto

Universidade Federal de Uberlândia

MONTE CARMELO - MG

2021

*“Tudo posso naquele que me fortalece”  
(Filipenses 4:13)*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por toda saúde e força durante essa caminhada e por iluminar meus pensamentos me afastando do caminho do mal.

Agradeço a minha família por toda paciência, amor e apoio durante essa trajetória. Dedico esse trabalho aos meus avós Jairo José Pereira, Maria Abadia Alves Pereira, Nalvo Lemos Nogueira e Célia Regina Martins.

Agradeço a minha namorada Andrezza Esteves de Carvalho por todo amor, carinho e apoio.

Agradeço ao meu amigo Valter Felizardo Neto que disponibilizou a ARP para que fosse possível a execução do trabalho.

Agradeço ao meu orientador Ricardo Luís Barbosa e ao meu coorientador Rodrigo Bezerra de Araújo Gallis que me instruíram e me auxiliaram para que o trabalho fosse executado da melhor forma possível.

Agradeço aos professores e técnicos da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) Campus Monte Carmelo por contribuírem com a minha formação acadêmica.

Por fim, agradeço a todos que colaboraram de forma indireta ou direta no decorrer da minha graduação.

## RESUMO

Um dos grandes desafios das administrações públicas é a falta de recursos para planejar e controlar o desenvolvimento urbano, as administrações contam com bases cartográficas para apoiar estes planejamentos, no entanto, muitas das vezes as bases de conhecimento das prefeituras também não acompanham o dinamismo da realidade urbana seja por falta de mão de obra qualificada, recursos financeiros escassos, entre outros. O presente trabalho teve como objetivo empregar tecnologias de baixo custo, as ARPs, para gerar produtos com qualidade atestada pelo padrão de exatidão cartográfica, com a possibilidade de fornecê-los a administração pública. A área de estudo do trabalho foi uma porção da mancha urbana do município de Estrela do Sul – MG. Em suma para execução dos produtos foram necessários a ARP, receptores GNSS/RTK e softwares de planejamento de campo, processamento e classificação do produto. A ortofoto gerada alcançou a “Classe A” na PEC, sendo considerada acurada para a escala de 1:1000, foram aplicados na classificação 25 pontos de checagem, além disso, o produto gerado apresentou uma boa qualidade quando analisado visualmente com o pixel de 5,53cm de tamanho.

**Palavras chaves:** Aeronave Remotamente Pilotada; Base Cartográfica; Padrão de Exatidão Cartográfica; Ortofoto.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma da metodologia.	15
Figura 2 – Mapa de localização da área de estudo.	16
Figura 3 – ARP DJI Mavic 2 Pro.	17
Figura 4 – Receptores GNSS/RTK.	18
Figura 5 - Modelo dos alvos foto-identificáveis.	20
Figura 6 – Planos de voo.	21
Figura 7 - Coleta dos pontos de controle.	23
Figura 8 – Distribuição espacial dos pontos de controle.	24
Figura 9 – Distribuição espacial dos pontos de validação.	25
Figura 10 – Nuvem esparsa.	26
Figura 11 – Nuvem densa.	27
Figura 12 – Modelo digital de elevação.	28
Figura 13 – Ortofoto.	28
Figura 14 – Tamanho do pixel na ortofoto.	29
Figura 15 – Quadra poliesportiva do bairro Alto São Vicente.	29
Figura 16 – Praça João Leite da Silva Ortiz.	30

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 – Classes da PEC para PCD de acordo com a classe A na escala 1:1000	7
Quadro 2 – Especificações dos voos.	22



## LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

ARP – Aeronave Remotamente Pilotada.

CONCAR – Comissão Nacional de Cartografia

GNSS – *Global Navigation Satellite Systems* (Sistema Global de Navegação por Satélites).

PEC – Padrão de Exatidão Cartográfica.

PCD – Produto Cartográfico Digital.

RTK – *Real Time Kinematic* (Posicionamento Cinemático em Tempo Real).

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

MDE – Modelo Digital de Elevação.

GSD – *Ground Sample Distance* (Distância de Amostra do Solo).

INS – *Inertial Navigation Systems* (Sistema de Navegação Inercial).

ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil.

DECEA – Departamento de Controle do Espaço Aéreo.

VANT – Veículo Aéreo Não Tripulado.

GCP – *Ground Control Points* (Pontos de Controle).

*CHECK POINTS* – Pontos de Checagem.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	11
2.1	Objetivo geral.....	11
2.2	Objetivos específicos.....	11
<b>3</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b> .....	11
<b>4</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	12
4.1	Fotogrametria por ARP .....	13
4.1.1	Ortofoto .....	14
4.1.2	Pontos de controle (GCPs – <i>Ground Control Points</i> ) .....	14
4.2	Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC).....	15
<b>5</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	16
5.1	Caracterização da área de estudo .....	17
5.2	Material .....	17
5.2.1	ARP DJI Mavic 2 Pro.....	18
5.2.2	Receptor GNSS TOPOMAP T10 RTK integrado.....	18
5.2.3	Alvos foto-identificáveis .....	20
5.2.4	Os Softwares .....	20
5.3	Planejamento do aerolevanteamento.....	21
5.4	Coleta e processamento dos pontos de controle .....	22
5.5	Elaboração da ortofoto .....	25
5.6	Avaliação da exatidão da ortofoto.....	26
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	27
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	32
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	33
	<b>ANEXO A – RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO DA ORTOFOTO</b> .....	35
	<b>ANEXO B – RELATÓRIO DE CLASSIFICAÇÃO GEOPEC</b> .....	44

## 1 INTRODUÇÃO

O rápido processo de urbanização das cidades e a fragilidade das políticas públicas de planejamento urbano, são um problema para a administração municipal que tende a se agravar em curto prazo, uma vez que este crescimento avança a uma velocidade maior do que as possibilidades econômicas e as técnicas para planejá-lo e controlá-lo (RECH, 1997).

A administração municipal necessita de grande volume de informações que espelhem e interpretem a realidade urbana, capazes de propor alternativas e fundamentalmente, dar suporte técnico à tomada de decisão de forma precisa, eficiente e contínua (RECH, 1997). Para apoiar tais tomadas de decisão é que existem as bases cartográficas municipais, no entanto, a mancha urbana de um município passa por mudanças constantemente, isso resulta em uma base cartográfica que não acompanha o desenvolvimento urbano, e a solução para este problema seria a constante atualização da base de informações.

Existem diversos meios para se atualizar a base cartográfica, como imagens de satélite de alta resolução espacial, dados de mapeamento móvel, dados de aerofotogrametria, entre outros. No entanto, como supramencionado as possibilidades econômicas de uma gestão municipal em geral são escassas, principalmente quando é considerado o cenário atual de crise da saúde mundial causada pela pandemia do vírus da COVID-19, que demanda uma priorização da destinação dos recursos financeiros disponíveis aos setores de saúde.

Tendo em vista esses problemas e a necessidade de se obter informações cartográficas eficazes para o desenvolvimento de um planejamento urbano, é essencial considerar metodologias de atualização da base com uma boa relação custo/benefício. Um promissor equipamento para essa finalidade são as Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs), as ARPs são equipamentos de baixo custo, com sofisticada visão computacional, robótica e engenharia geomática, os resultados dos aerolevantamentos com ARP são produtos cartográficos de precisão e resolução a nível centimétrico gerados com câmaras que custam algumas centenas de euros (COLOMINA; MOLINA, 2014).

Sendo assim, o presente trabalho dispõe-se a produzir uma ortofoto a partir de dados de ARP e avaliar o potencial dela para compor uma base cartográfica municipal de acordo com o decreto do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC). Desta forma, o trabalho propõe-se a realizar um voo aerofotogramétrico com ARP Mavic 2 Pro para produção de uma ortofoto recobrando parte da mancha urbana do município de Estrela do Sul -MG, avaliá-la utilizando pontos de controle levantados com receptores GNSS, e caso alcançada a exatidão desejada, disponibilizar os produtos gerados para atualizar a base cartográfica do município.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

O objetivo geral deste trabalho é produzir uma ortofoto de parte da mancha urbana do município de Estrela do Sul - MG com qualidade posicional centimétrica que atenda a PEC PCD Classe A na escala 1:1000, utilizando aerolevanteamento com ARP e pontos de controle, e que conseqüentemente sirva para auxiliar na atualização da base cartográfica municipal.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Produzir uma ortofoto que recubra a parte central da mancha urbana do município, com GSD de 5cm;
- Avaliar e classificar o produto digital de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfica de Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD);
- Disponibilizar a ortofoto como base cadastral para o município.

## **3 JUSTIFICATIVA**

O planejamento urbano foi um instrumento de grande prestígio no ordenamento do espaço urbano, entretanto, a partir da década de 1980 com a perda de protagonismo do poder público após a crise do Estado teve seu prestígio sepultado, ainda assim, a sociedade espera que o poder público intervenha na organização das cidades e melhore as condições de moradia popular, da ineficiência dos transportes urbanos, da falta de saneamento e do tratamento do lixo urbano, do agravamento da violência urbana, entre outros (SANTOS, 2006).

Nas discussões sobre gestão pública, há grande ênfase no processo de implantação e administração das bases de informação, que nesse contexto, devem poder espelhar as diversas situações sociais a partir da perspectiva do território, em informações que permitam tanto o diagnóstico e o planejamento da ação pública como o seu monitoramento e avaliação (IPEA, 2006). Um importante item para compor o sistema de informações da gestão é a base cartográfica municipal.

A NBR 14.166/1998 define base cartográfica municipal como um conjunto de cartas e plantas integrantes do Sistema Cartográfico Municipal que apresentam as informações

territoriais necessárias ao desenvolvimento de planos, de anteprojetos, de projetos, de cadastro técnico e imobiliário fiscal, entre outros (BRASIL, 1998). Ainda de acordo com a normativa, a base deve ser composta pela planta de referência cadastral, planta quadra, planta indicativa de sistemas de infraestrutura urbana, planta geral do município, planta genérica de valores – PGV e a planta cadastral municipal, onde a planta cadastral municipal tem a maior resolução 1:1000 ou mais e serve de base aos cadastros de infraestrutura urbana (água, esgoto, drenagem, pavimentação, força e luz, telefone, gás e etc.), ao cadastro imobiliário fiscal, cadastro fundiário para registros públicos, cadastro de equipamentos comunitários ou sociais abrangendo apenas as áreas urbanizadas.

Como dito anteriormente, seja por falta de recursos financeiros ou por falta de planejamento urbano, a administração dos municípios não consegue, em sua imensa maioria, manter a base cartográfica atualizada, que por sua vez, torna as decisões administrativas mais passivas de erro pois sem uma boa base não é possível realizar um bom planejamento.

Visando uma alternativa para atualizar uma base cadastral de cidades de pequeno porte, um equipamento promissor são as ARPs, isso porque levantamentos com ARP são rápidos, coletam um grande volume de dados, resultam em produtos com alta resolução espacial, e sobretudo, tem baixo custo. De acordo com Gonçalves e Henrique (2015) as ARPs podem substituir muitos dos voos convencionais, com ganhos consideráveis no custo de aquisição de dados e sem qualquer perda na qualidade dos dados topográficos e de imagens aéreas.

Desta forma, o presente trabalho justifica-se em avaliar o potencial de produtos gerados com ARP para compor a base cadastral do município de Estrela do Sul – MG.

#### **4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Os produtos gerados por aerofotogrametria são uma boa alternativa para obtenção de informações cartográficas quando analisada a relação custo/benefício dos levantamentos por ARP, é fundamental compreender a base teórica e os conceitos envolvidos na geração dos produtos. Nas subseções que seguem, alguns desses conceitos base serão apresentados.

#### 4.1 Fotogrametria por ARP

A antiga *American Society for Photogrammetry* (ASP) (renomeada para *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (ASPRS)) definiu a fotogrametria em 1979, como sendo: “ a arte, ciência e tecnologia de obtenção de informação confiável sobre objetos físicos e o meio ambiente através de processos de gravação, medição e interpretação de imagens fotográficas e padrões de energia eletromagnética radiante e outras fontes.”.

Caracterizada pela aquisição de informações por sensores passivos, a fotogrametria digital baseia-se na técnica conhecida como *Structure from Motion* (SfM), fundamentada nos princípios da estereoscopia e paralaxe, que consiste na aquisição de informações tridimensionais a partir do movimento aparente do objeto em duas cenas capturadas em posições diferentes (BEMIS et al., 2014; WILKINSON et al., 2016).

Para que isso ocorra, a estrutura para aquisição de modelos por meio do SfM deve respeitar a coleta de um conjunto de imagens digitais com, no mínimo, 60% de sobreposição em múltiplas perspectivas. (BEMIS et al., 2014; JAMES; ROBSON, 2014).

Aplicado à essa técnica, o uso de ARP, principalmente os veículos das classes multirrotores, propiciaram a construção de novas metodologias para digitalização de grandes áreas e com baixo custo. Em âmbito nacional, as ARPs aparecem comumente como Veículos Aéreos não Tripulados (VANTs), por definição os VANTs são aeronaves projetadas para operar sem piloto a bordo e que não é utilizada para fins recreativos incluindo todos os aviões, helicópteros e dirigíveis controláveis nos três eixos (ANAC, 2017) É chamada ARP um equipamento que seja pilotado a partir de uma estação de pilotagem remota (DECEA, 2017).

Na literatura não há um consenso sobre a classificação de ARP, no extenso artigo de revisão proposto por Colomina e Molina (2014), os autores citam classificações de ARP de acordo com as várias características da aeronave (tamanho, peso, aerodinâmica) ou a operação do sistema (alcance da missão ou altitude de voo, natureza de sua aplicação e etc.). Os autores ainda concluem que ao se tratar de ARP, muito provavelmente será uma aeronave de asa fixa ou multirrotor, que pesa menos de 30 kg, com alcance a uma distância inferior a 10 km, voando abaixo de 300 m, com um sensor óptico acoplado de pequeno ou médio formato (provavelmente no espectro visível), e pilotado remotamente por um humano ou por um piloto automático baseado em duas tecnologias de navegação principais, *Global Navigation Satellite Systems* (GNSS) e *Inertial Navigation Systems* (INS).

#### 4.1.1 Ortofoto

Uma ortofotografia é uma fotografia vertical ou mosaico que exhibe objetos em posição planimétrica verdadeira (THROWER; JENSEN, 1976). A ortofoto é produzida a partir do processo de retificação de uma mosaico de fotos, neste processo se retira os deslocamentos da imagem em relação ao relevo e à inclinação fotográfica (LOPES, 1987).

Um mosaico é uma montagem de fotos de uma região contendo escalas aproximadas, aparentando ser uma única fotografia (WOLF, 2014). Andrade (1998) alerta sobre dois cuidados na aquisição das fotos para realizar o processo de montagem com sucesso, são eles a coincidência geométrica das feições imageadas e a continuidade radiométrica dos pixels entre as imagens.

No processo de retificação dos deslocamentos da imagem aplica-se modelos digitais de elevação (MDE) (RAU et. al, 2001), os MDEs são divididos em modelos digitais de terreno (MDT) e modelos digitais de superfície (MDS). Segundo Burrough e McDonnell (1986), um MDE é uma representação matemática da distribuição espacial vinculada a uma superfície real. Considerando o MDE é possível achar a correspondência entre a imagem e o solo (RAU et. al, 2001), logo a qualidade da ortofoto está atrelada à qualidade do modelo.

#### 4.1.2 Pontos de controle (GCPs – *Ground Control Points*)

No que tange à Cartografia onde a exatidão posicional é um fator importante, pontos de controle, pontos de apoio ou vértices geodésicos de controle são elementos indispensáveis e que devem ser contemplados em todas as etapas de um levantamento. Para atingir um posicionamento de alta precisão, os pontos de controle devem ser utilizados no fluxo de trabalho (RANGEL; GONÇALVES; PÉREZ, 2018).

Por definição, pontos de controle são feições ou alvos visíveis no produto cartográfico que está sendo gerado, as feições recomendadas para serem mensuradas são pontos bem visualizados na imagem e no terreno, como edificações, cercas, entre outras, e desejável que eles sejam distribuídos ao longo de toda a extensão da imagem (GRIPP JUNIOR, 2009). Tais feições são chamadas de alvos e podem ser classificados entre alvos artificiais - aqueles gerados e posicionados no campo pelo próprio produtor - e alvos naturais, podendo esses últimos variar desde arbustos distinguíveis na imagem às quinas e cruzamentos, dependendo da escala do produto.

Para produtos gerados por ARP, diferentes distribuições de GCPs tem sido verificadas a fim de otimizá-los e entender o impacto dos GCPs. Em Martínez-Carricono (2018), foram testadas algumas distribuições, entre elas os melhores resultados foram obtidos com distribuição de bordas e distribuição estratificada, portanto, é necessário colocar GCPs em torno da borda da área de estudo para minimizar os erros de planimetria.

Para que esses pontos sirvam como referência para um cadastramento preciso e de qualidade, considera-se que o método usado para determinar a sua geolocalização tenha uma precisão maior que a do equipamento usado no levantamento (WANG et al., 2012).

Além de servir para posicionar o produto virtualmente onde ele se encontra no mundo real, também serve como ferramenta de escalonamento, indispensável quando se deseja realizar medições das mais variadas no modelo. O número exato de pontos de controle que mais se adequa a área ser levantada deve ser analisado de forma empírica pelo pesquisador, visando sempre uma boa cobertura e espaçamento entre cada alvo, visto que não há uma metodologia exata para quantificação e posicionamento de pontos de controle.

#### 4.2 Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC)

A avaliação da qualidade posicional dos produtos cartográficos baseia-se na análise de erros aleatórios e sistemáticos (VITTI et al. 2017). Em resumo, a maioria dos padrões de avaliação calcula a distribuição normal das discrepâncias observadas nos pontos de referência e aplica métodos estatísticos paramétricos para realizar a análise da qualidade posicional (ARIZA; ATKINSON, 2008).

A análise da exatidão cartográfica é baseada na análise das discrepâncias entre coordenadas de referência coletadas em campo e seus respectivos pontos homólogos na carta (GALO; CAMARGO, 1994). No Brasil, um decreto estabelece as Instruções reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional, o Decreto Nº 89.817, de 20 de junho de 1984 que define o PEC para a análise de qualidade posicional das cartas e suas classes (A, B, C) (BRASIL, 1984).

Importante salientar aqui que para Produtos Cartográficos Digitais (PCD) há em Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR) Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais – ET-ADGV, na qual se aborda a classe de qualidade de produtos digitais (IBGE, 2017). A norma ET-ADGV apresenta uma nova classificação para os PCDs, sendo agora os produtos cartográficos classificados nas classes A, B, C e D, onde o produto



melhor classificado quanto a exatidão, pertence a classe A. Segue no quadro 1 as especificações da PEC PCD Classe A na escala 1:1000.

Quadro 1 – Classes da PEC para PCD de acordo com a classe A na escala 1:1000

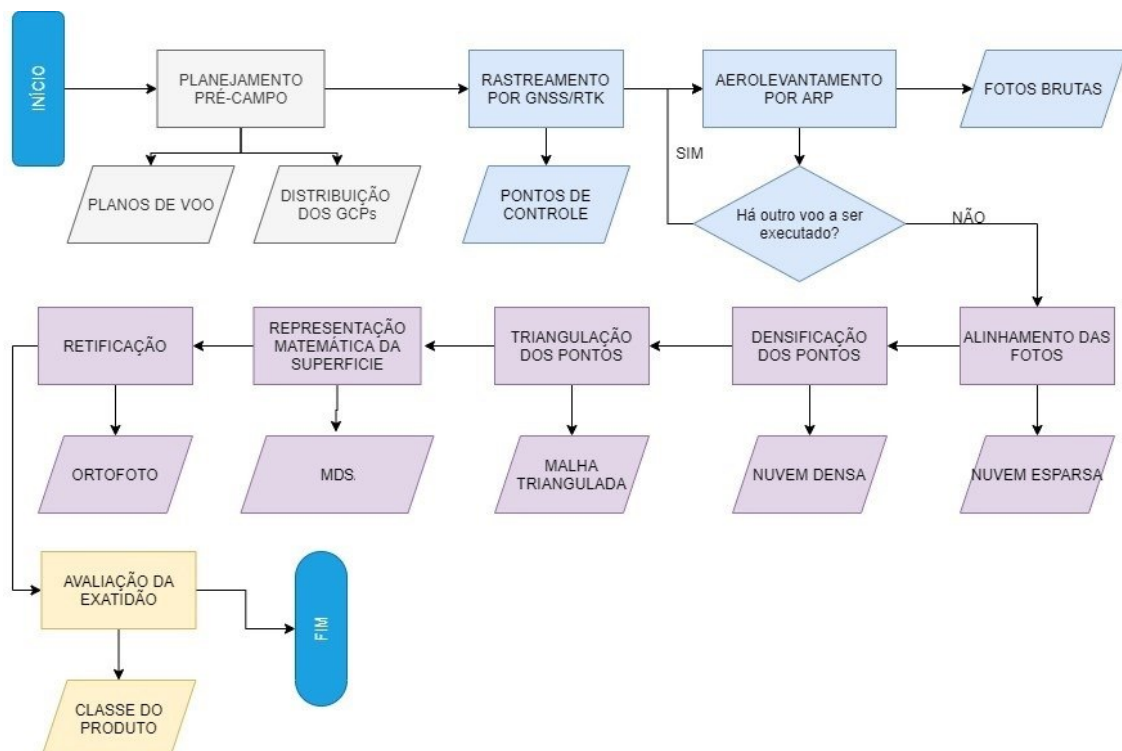
PEC PCD	CLASSE A 1:1000	
	PEC (mm)	EP (mm)
PLANIMETRIA	0,28	0,17

Fonte: Adaptado de CONCAR (2011).

## 5 MATERIAL E MÉTODOS

Antes de abordar a metodologia proposta, é importante salientar que o desenvolvimento do trabalho se deu em parceria com a empresa de agrimensura PRECISA Agrimensura que disponibilizou os softwares e o Receptor GNSS e a Fazenda Primavera que disponibilizou a ARP. A figura 1 mostra o fluxo geral que o trabalho seguiu para a elaboração do produto, em cinza estão as atividades destinadas ao planejamento, em azul a etapa de execução de campo, em roxo o processamento dos dados e em amarelo a validação do resultado.

Figura 1 - Fluxograma da metodologia

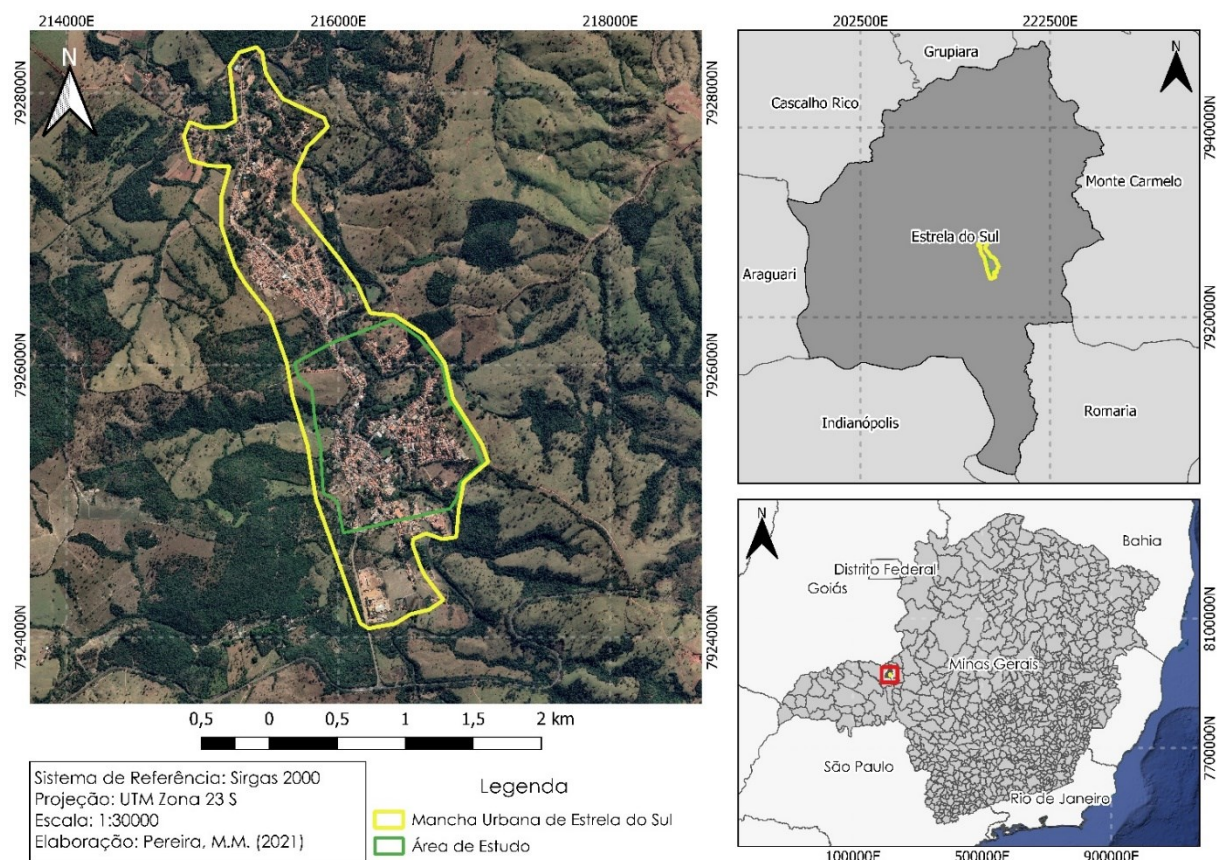


Elaboração: o autor.

## 5.1 Caracterização da área de estudo

Como dito anteriormente, a área de estudo é uma porção da mancha urbana do município de Estrela do Sul – MG (Figura 2), o município está situado na região do triângulo mineiro e é limítrofe de Monte Carmelo – MG, teve sua população estimada no censo do IBGE em julho de 2017 em 7.981 habitantes. Localizado nas coordenadas  $18^{\circ} 44' 45''$  S e  $47^{\circ} 41' 34''$  O, o município de Estrela do Sul faz parte do circuito turístico do Triângulo Mineiro.

Figura 2 – Mapa de localização da área de estudo



Elaboração: o autor.

## 5.2 Material

Para realizar as etapas previstas no fluxograma da metodologia do presente trabalho, foram necessários equipamentos e softwares específicos descritos nas subseções a seguir.

### 5.2.1 ARP DJI Mavic 2 Pro

O levantamento fotogramétrico foi realizado com o ARP DJI Mavic 2 Pro (Figura 3), o equipamento carrega uma câmera Hasselblad L1D-20c com resolução de 20 MP, com bateria de 30 minutos aproximadamente, sensor CMOS de 1", abertura ajustável f/2.8 – f/11 e sistema de cores Dlog-M de 10 bits.

Figura 3 – ARP DJI Mavic 2 Pro



Elaboração: O autor.

Ainda, como mostra a Figura 3 foram utilizados a mala de transporte, o controle remoto padrão DJI e um par de baterias para otimizar o levantamento.

### 5.2.2 Receptor GNSS TOPOMAP T10 RTK integrado

Para o levantamento dos pontos de controle foi utilizado o Receptor GNSS TOPOMAP T10 RTK integrado (Figura 4), o equipamento possui precisão horizontal de 8mm + 1ppm, precisão vertical de 15mm + 1.0ppm para levantamentos RTK.



Figura 4 - Receptores GNSS/RTK



Elaboração: O autor.

Para transportar, operar e descarregar o equipamento foram necessários os seguintes acessórios:

- 01 Controladora TPS com *software* SurvCE e suporte;
- 02 Malas rígidas para transporte;
- 04 Baterias Lithium 2600mAh;
- 01 Cabo USB;
- 01 Tripé de alumínio para base;
- 01 Base nivelante com adaptador;
- 01 Bastão de fibra de carbono para o rover.

### 5.2.3 Alvos foto-identificáveis

Foram produzidos alvos foto-identificáveis que sinalizam os pontos de controle nas imagens, os alvos foram produzidos em cartolina (75x75cm), a Figura 5 representa o modelo dos alvos, foram utilizados na execução da metodologia do trabalho 28 alvos ao todo.

Figura 5 – Modelo dos alvos foto-identificáveis



Elaboração: O autor.

### 5.2.4 Os Softwares

Foram necessários 3 softwares para a execução da metodologia:

- Para realizar o planejamento e execução dos voos foi utilizado o Drone Deploy, que é um aplicativo gratuito de voo automatizado disponível para os sistemas Android e iOS e no site da empresa;
- O processamento das imagens e produção da ortofoto se deu no *software* de fotogrametria Agisoft Metashape na versão 1.7.5, que possui um fluxo automatizado seguindo a técnica SfM para gerar os produtos;
- Por fim, para validação do produto gerado de acordo com a PEC foi utilizado o aplicativo GeoPEC que é de uso gratuito e está disponível na página eletrônica do



curso de Engenharia de Agrimensura da Universidade Federal de Viçosa (<http://www.eam.ufv.br>).

### 5.3 Planejamento do aerolevanteamento

Antecedendo a execução de um aerolevanteamento um planejamento de campo é essencial para garantir a resolução que se espera e o recobrimento da área total, desta forma, o primeiro passo da metodologia é dedicado ao planejamento dos voos.

Considerando o tamanho da área de estudo do trabalho e o tempo de vida da bateria do equipamento utilizado, não é possível realizar o aerolevanteamento em apenas um voo, logo, há necessidade de dividir a área em duas porções menores que posteriormente foram unidas na fase de processamento e construção da ortofoto.

Sendo assim utilizou-se do software Drone Deploy para realizar o planejamento dos voos da região, o levantamento foi dividido em 2 voos, garantindo assim o recobrimento da área total de interesse do trabalho, como mostra a Figura 6.

Figura 6 – Planos de voo, onde: (1) plano de voo 1 e (2) plano de voo 2.



Elaboração: o autor.

O Quadro 2 apresenta as especificações dos voos separadamente, considerando o tempo de autonomia da ARP e o intervalo com menos sombra para aquisição das fotos (de 11:30h às 12:30h). O levantamento foi realizado no dia 22/08/2021 e recobriu uma área de 180 hectares.

O tempo médio de cada voo foi de 15 minutos e o tempo total gasto para recobrir toda a área de interesse foi de aproximadamente 35 minutos.

Quadro 2 – Especificações dos voos

	Voo 1	Voo 2
Área de cobertura (ha)	93	91
Número de imagens	179	184
Tempo de voo (mm:ss)	15:54	15:43

Elaboração: o autor.

#### 5.4 Coleta e processamento dos pontos de controle

Nesta etapa do trabalho foram coletados os pontos de controle em campo, a coleta foi realizada com um par (base e *rover*) de receptores GNSS utilizando o posicionamento pelo RTK (*Real Time Kinematic*). A primeira atividade realizada em campo é a instalação e conexão do par de receptores GNSS-RTK, e em seguida foram coletados os pontos de controle com o *rover*, permanecendo por 1 minuto em cada ponto, para isso foram utilizados os alvos foto-identificáveis artificiais, como mostra a figura 7.

Figura 7 – Coleta dos pontos de controle

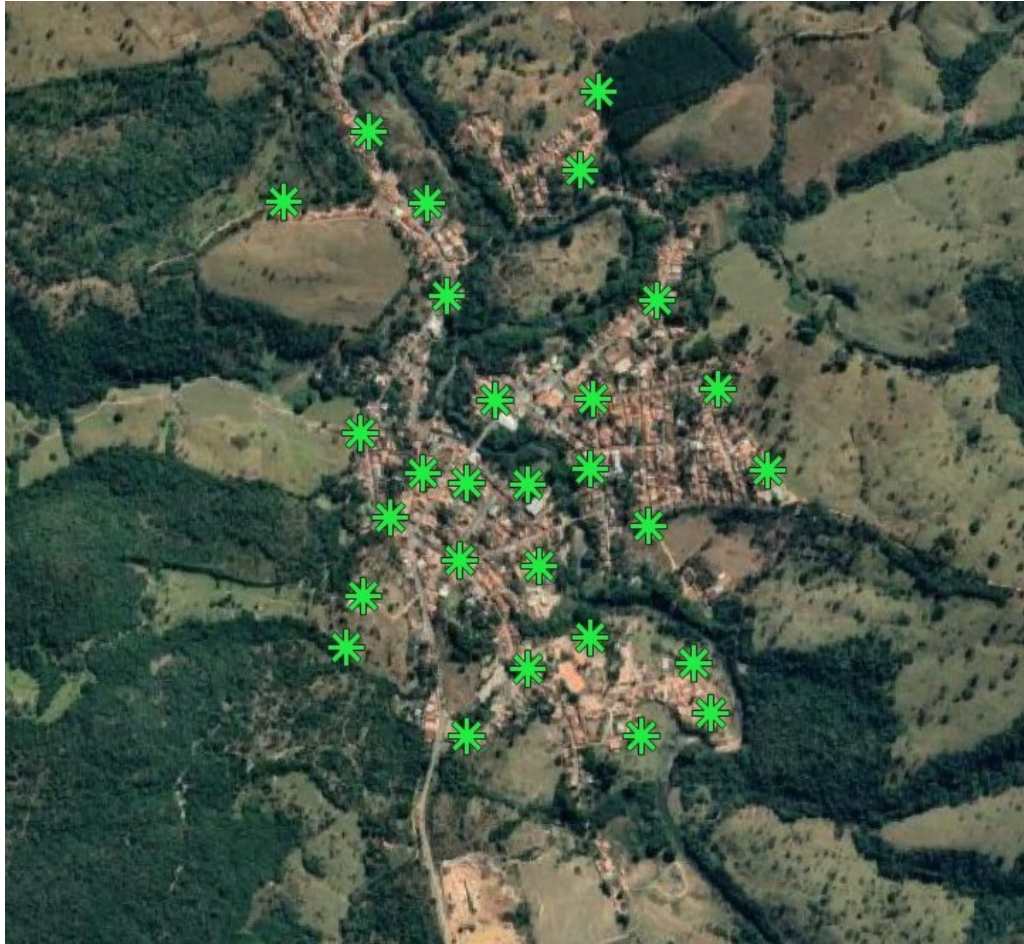


Elaboração: o autor.

A distribuição dos pontos de controle foi realizada anteriormente ao campo, a partir de um planejamento definindo disposição dos pontos a serem utilizados no trabalho, de forma a garantir uma boa geometria de distribuição dos pontos, principalmente nos pontos mais críticos para elaboração da ortofoto. Em campo foi realizado um reconhecimento verificando obstáculos que prejudiquem o rastreamento, na presença deles ou de outros obstáculos para a ocupação do ponto, foi coletado um ponto próximo ao pré-definido, a distribuição dos pontos de controle pode ser vista na figura 8.



Figura 8 – Distribuição espacial dos pontos de controle



Elaboração: o autor.

Os dados coletados pelo Receptor GNSS foram organizados em planilhas e posteriormente inseridos no software utilizado para gerar a ortofoto, ao todo foram coletados 28 pontos de controle.

Além dos pontos de controle, pontos de validação (*check points*) foram coletados nesta etapa, para posteriormente serem utilizados como os pontos de referência para a avaliação segundo a PEC. Para isso foram levantados alvos naturais, como faixa de pedestre, calçada e etc. A distribuição espacial dos 25 pontos de validação coletados está exposta na figura 9.

Figura 9– Distribuição espacial dos pontos de validação



Elaboração: o autor.

### 5.5 Elaboração da ortofoto

No primeiro momento do processamento, foram inseridas no software Agisoft Metashape as imagens coletadas em campo e os pontos de controle processados, as imagens contendo sobreposição foram alinhadas, de modo que os pontos homólogos existentes nas feições possam ser identificados, a identificação é dada por meio de algoritmos próprios do software que utilizam do processo de triangulação fotogramétrica, fazendo possível estimar a posição dos pontos no espaço tridimensional. Para promover o alinhamento das fotos utilizou-se do comando *Align Photos*, aplicando o parâmetro *medium* na caixa de diálogo do *software*.

A nuvem esparsa resultante do processo é definida por uma escala arbitrária e localizada em um espaço de coordenadas locais. Para dimensioná-la foi atribuída a ela uma escala real

inserindo as informações de posicionamento obtidas por meio do levantamento dos pontos de controle em campo.

A etapa seguinte a geração da nuvem esparsa, foi a geração da nuvem densa por meio do comando *build dense cloud*, o parâmetro selecionado foi o *medium*. Esse processo é baseado no algoritmo *Multi-View Stereo* (MVS), que estabelece como entrada as posições de câmara obtidos no ajustamento de profundidade de cada imagem e os pontos já posicionados (local ou globalmente) da nuvem esparsa. A partir da clusterização de pontos semelhantes entre diferentes posições de câmara, novos pontos foram criados por meio da triangulação de pelo menos outros quatro, assim densificando a nuvem de pontos.

Obtida a nuvem densa, foi gerada a malha triangulada que é um tipo de malha poligonal formada por um conjunto de triângulos, oriundos da conexão entre os pontos existentes na nuvem de pontos densa conectados pelas suas arestas ou vértices comuns. Com a obtenção da malha, foram criados o MDE e em seguida a ortofoto.

Por fim, foi gerado no software o relatório de processamento que se encontra no ANEXO A, apresentando os parâmetros utilizados e descrição dos resultados produzidos.

## 5.6 Avaliação da exatidão da ortofoto

A avaliação da ortofoto foi realizada por meio da aplicação do padrão de exatidão cartográfica analógica e digital, segundo o Decreto-Lei Nº 89.817/84, utilizando o método disponível no aplicativo GeoPEC, onde foram verificados o comportamento da distribuição espacial, a normalidade e a acurácia posicional das amostras, com análises de tendência e de precisão.

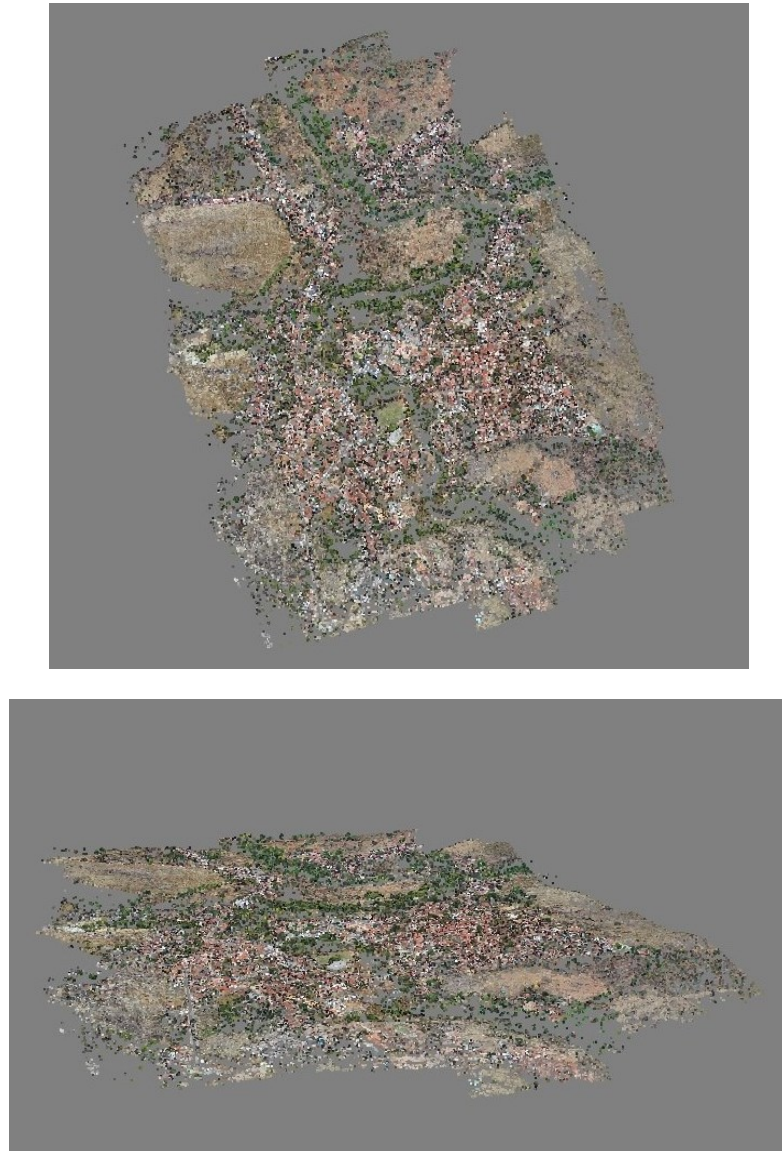
Para isso, foram coletadas na ortofoto as coordenadas dos pontos de checagem levantados por receptores GNSS e, em seguida, os dados foram inseridos no software GeoPEC onde foi checada a acurácia posicional planimétrica do produto.



## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A figura 10 mostra o resultado do alinhamento das fotos por duas perspectivas, foram inseridas e alinhadas 328 fotos retiradas com o ARP, nela foram aplicados os 28 pontos de controle utilizando o sistema de coordenadas SIRGAS 2000 / UTM zone 23S (EPSG::31983).

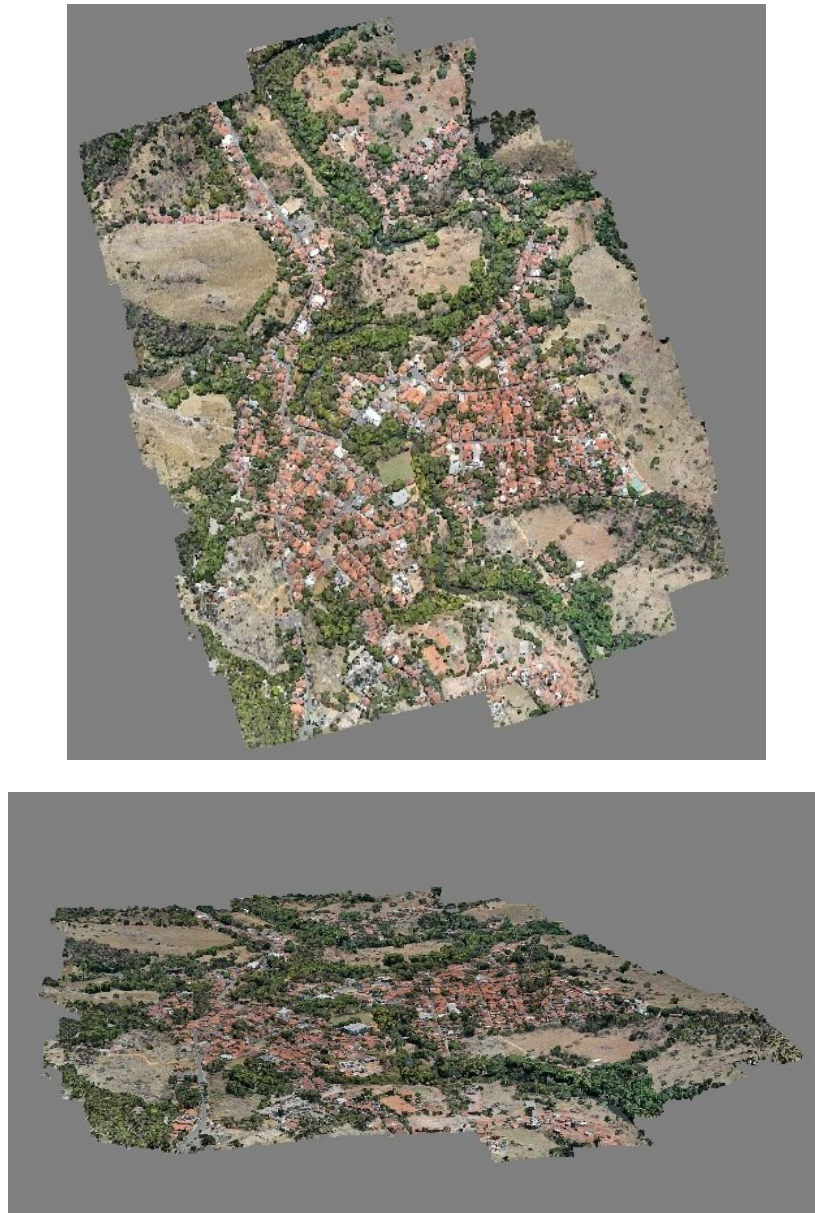
Figura 10 – Nuvem esparsa



Elaboração: O autor.

O segundo resultado gerado pela metodologia do trabalho foi a nuvem densificada (Figura 11), apresentando aproximadamente 600 mil pontos.

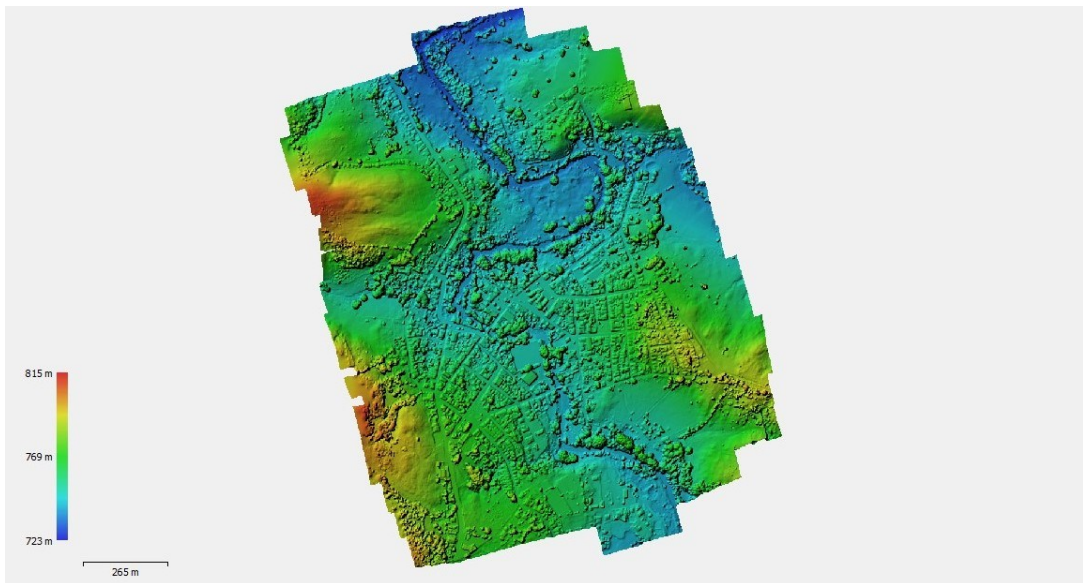
Figura 11 – Nuvem densa



Elaboração: O autor.

O modelo digital de elevação resultante (Figura 12) foi gerado a partir de uma malha triangulada com 3,5 milhões de faces, assim como as nuvens, o MDE também foi gerado em SIRGAS 2000 / UTM zone 23S.

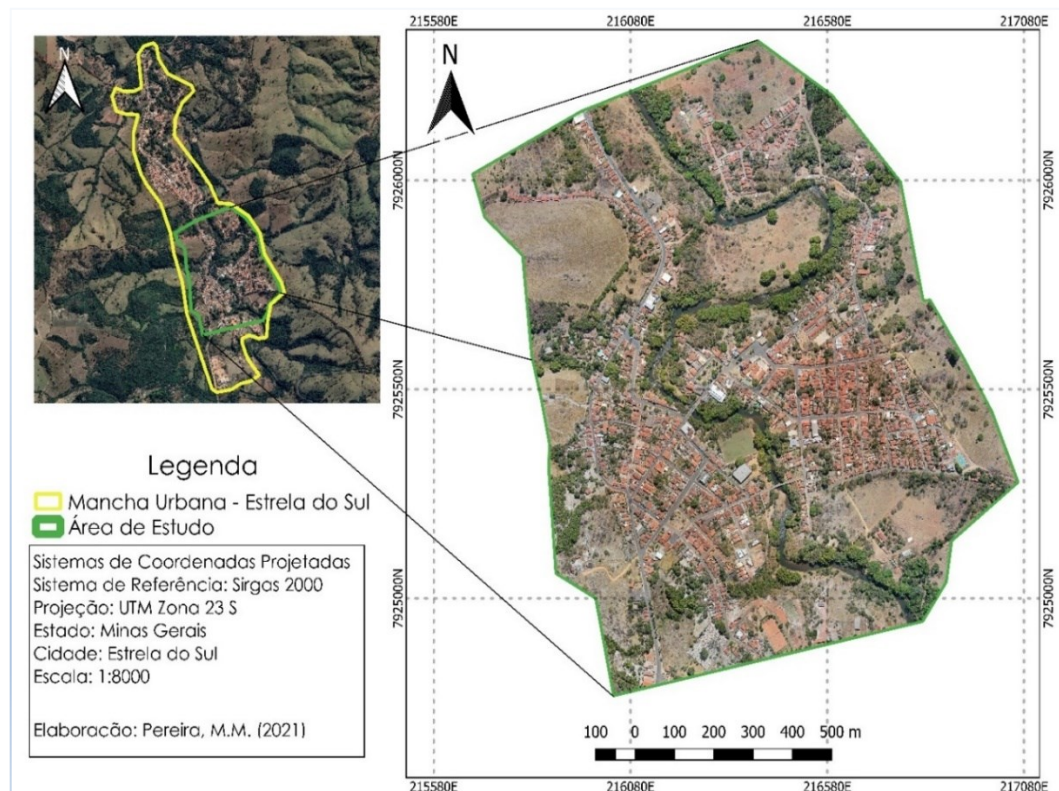
Figura 12 – Modelo digital de elevação



Elaboração: O autor.

Em seguida gerou-se a ortofoto representada na figura 13 com GSD de 5,53 cm (figura 14), com pixel de tamanho 2,41 x 2,41  $\mu\text{m}$  apresentando erro na coordenada X de 1,42522 cm e Y de 1,12874 cm.

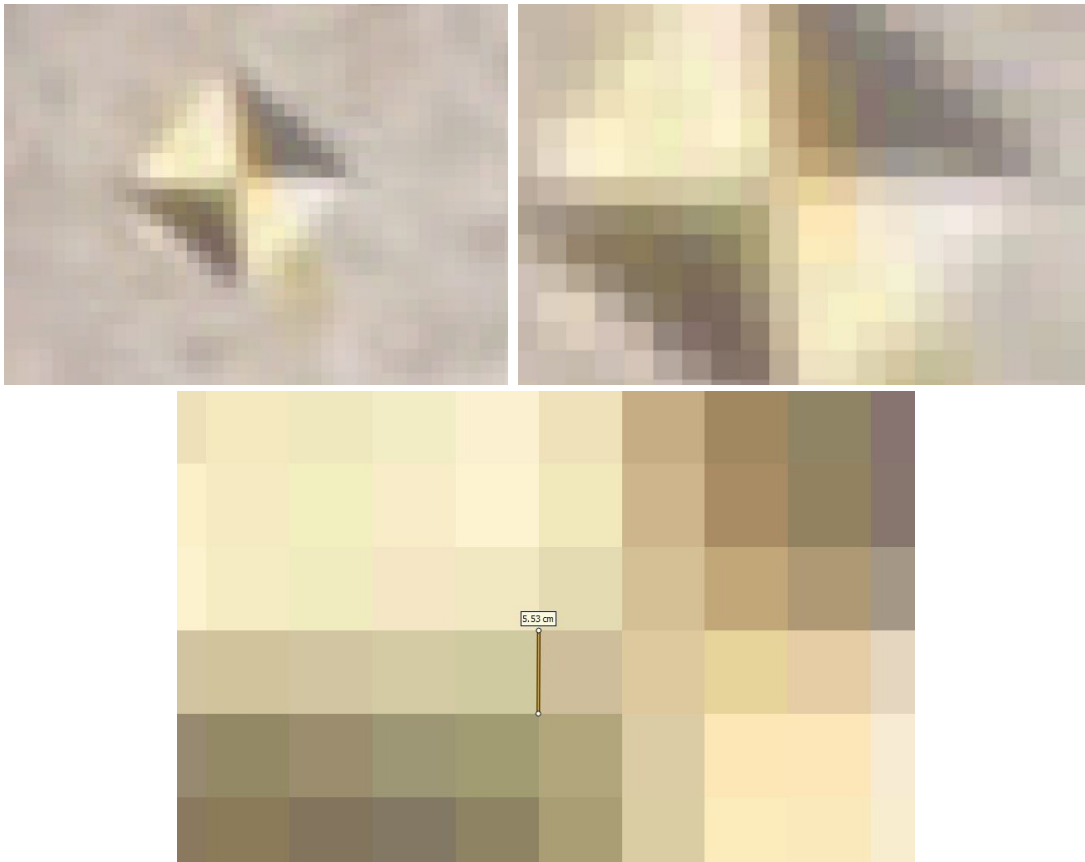
Figura 13 – Ortofoto



Elaboração: O autor.



Figura 14 – Tamanho do pixel na ortofoto



Elaboração: O autor.

A figura 15 mostra uma ampliação da ortofoto na região da quadra poliesportiva do bairro Alto São Vicente e a figura 16 da praça João Leite da Silva Ortiz no centro de Estrela do Sul. As aproximações atestam a qualidade visual do produto gerado.

Figura 15– Quadra poliesportiva do bairro Alto São Vicente



Elaboração: O autor.

Figura 16 – Praça João Leite da Silva Ortiz



Elaboração: O autor.

Quanto a classificação do padrão de exatidão cartográfica realizada no GeoPEC, a ortofoto foi classificada como acurada para a escala de 1:1000, a classe que foi atribuída ao produto foi “Classe A”. Quanto a análise de tendência e precisão em seus componentes posicionais a qual o produto foi submetido, os resultados alcançados foram “Preciso” e “Não há tendência”. O valor quadrático médio (RMS - *Root mean square*) das discrepâncias foi de 0,0236m. O relatório gerado na classificação contendo as estatísticas descritivas, padrão de distribuição espacial, teste de normalidade, de precisão e de tendência e as discrepâncias entre os pontos de checagem, encontra-se no ANEXO B.



## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal do presente trabalho era elaborar uma ortofoto de parte mancha urbana do município de Estrela do Sul – MG que atendesse aos seguintes parâmetros: GSD de 5cm e classe A na escala de 1:1000 da PEC-PCD, para que posteriormente os resultados gerados pudessem servir à gestão do município.

Por meio da metodologia proposta e executada no trabalho, foi possível empregar ARP, um equipamento de baixo custo, e ainda produzir uma ortofoto em alta definição, com qualidade visual, com pixel de 5,53cm de tamanho.

A principal premissa do trabalho era de produzir uma ortofoto que atendesse aos requisitos da “Classe A” na PEC de produtos digitais para a escala de 1:1000, o produto gerado foi classificado como acurado para essa classe.

Embora o resultado encontrado do tamanho do GSD tenha sido diferente do esperado, visto que era previsto 5cm e o resultado alcançado foi de 5,53 cm, após a boa classificação da ortofoto de acordo com a PEC e da análise visual da ortofoto, é possível atestar a adequabilidade dos produtos gerados para compor a base cartográfica municipal.

Dessa forma, a ortofoto e o modelo digital, assim como os dados brutos produzidos no presente trabalho serão disponibilizados à gestão municipal de Estrela do Sul – MG, e também, as instituições públicas que demonstrarem interesse.

## REFERÊNCIAS

- ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil. **Regras sobre drones**. Disponível em: <[http://www.anac.gov.br/noticias/2017/regras-da-anac-para-uso-de-drones/release\\_drones\\_v2.pdf](http://www.anac.gov.br/noticias/2017/regras-da-anac-para-uso-de-drones/release_drones_v2.pdf)> Acesso em: 27 mai. 2021.
- ANDRADE, J. B. **Fotometria**. 1ed. Curitiba: SBEE, 1998. 258 p.
- ARIZA LÓPEZ, F. J.; ATKINSON GORDO, A. D. **Analysis of some positional accuracy assessment methodologies**. Journal of Surveying Engineering, v. 134, n. 2, p. 45-54, 2008.
- BEMIS, S. P. et al. **Ground based and UAV-Based photogrammetry: A multi-scale, high-resolution mapping tool for structural geology and paleoseismology**. Journal of Structural Geology, v. 69, p. 163–178, dez. 2014.
- 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.
- BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. **Principles of geographical information systems**. 4ed. Oxford university press, 1986.
- COLOMINA, I.; MOLINA, P. **Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review**. ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing, v. 92, p. 79-97, 2014.
- DECEA – **Departamento de Controle do Espaço Aéreo**. Disponível em: <<https://www.decea.mil.br/>>. Acesso em: 01 jun. 2017.
- GALO, M.; CAMARGO, P. O. **Utilização do GPS no controle de qualidade de cartas**. Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. 1994. p. 41-8.
- GONÇALVES, A.; HENRIQUES, A. **UAV photogrammetry for topographic monitoring of coastal areas**. ISPRS Jour. of Phot. and Remote Sens. v. 104, p. 101-111, 2015.
- 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.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manuais técnicos em Geociências**. Coordenação de Cartografia. Rio de Janeiro, 2017.
- IPEA – **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**. IPEAGEO. Ministério do Planejamento. Disponível em <<https://www.ipea.gov.br/portal/>> Acesso em: 26 mai, 2021.
- JAMES, M. R.; ROBSON, S. **Mitigating systematic error in topographic models derived from UAV and ground-based image networks: mitigating systematic error in topographic models**. Earth Surface Processes and Landforms, v. 39, n. 10, p. 1413–1420, 2014.
- 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.
- 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, v. 39, n. 21, p. 7154-7171, 2018.
- RAU, J. Y. et al. **True orthophoto generation of built-up areas using multi-view images**. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, v. 68, n. 6, p. 581-588, 2002.
- RECH, J. V. **Base cartográfica digital comum para concessionárias de serviços públicos e prefeituras municipais, utilizando-se SIG (Sistemas de Informações Geográficas)**. 1997. 171p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.
- SANTOS, A. M. S. P. **Planejamento urbano: para quê e para quem?**. Revista de Direito da Cidade, v. 1, n. 1, p. 51-94, 2006.
- THROWER, N. J. W.; JENSEN, J. R. **The orthophoto and orthophotomap: characteristics, development and application**. The American Cartographer, v. 3, n. 1, p. 39-56, 1976.
- VITTI, D. M. C.; BIELENKI-JÚNIOR, C.; MAUAD, F. F.; VERONEZ, M. R. **Determinação das componentes do desvio vertical para estabelecimento de referencial batimétrico na represa do Lobo, Itirapina-SP**. Revista de Cartografia, v. 69, p. 231-253, 2017.
- WANG, J. et al. **Effect of the sampling design of ground control points on the geometric correction of remotely sensed imagery**. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, v. 18, p. 91-100, 2012.
- WILKINSON, M. W. et al. **A comparison of terrestrial laser scanning and structure-from-motion photogrammetry as methods for digital outcrop acquisition**. Geosphere, v. 12, n. 6, p. 1865–1880, 2016.
- WOLF, P. R.; DEWITT, B.A. **Elements of Fotogrammetry: with Application in GIS**. 4ed. Boston: McGraw-Hill, 2014.

**ANEXO A – RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO DA ORTOFOTO**

**Relatório de Processamento - Ortofoto  
Central**

**Matheus Martins Pereira**

**22 October 2021**



## Survey Data

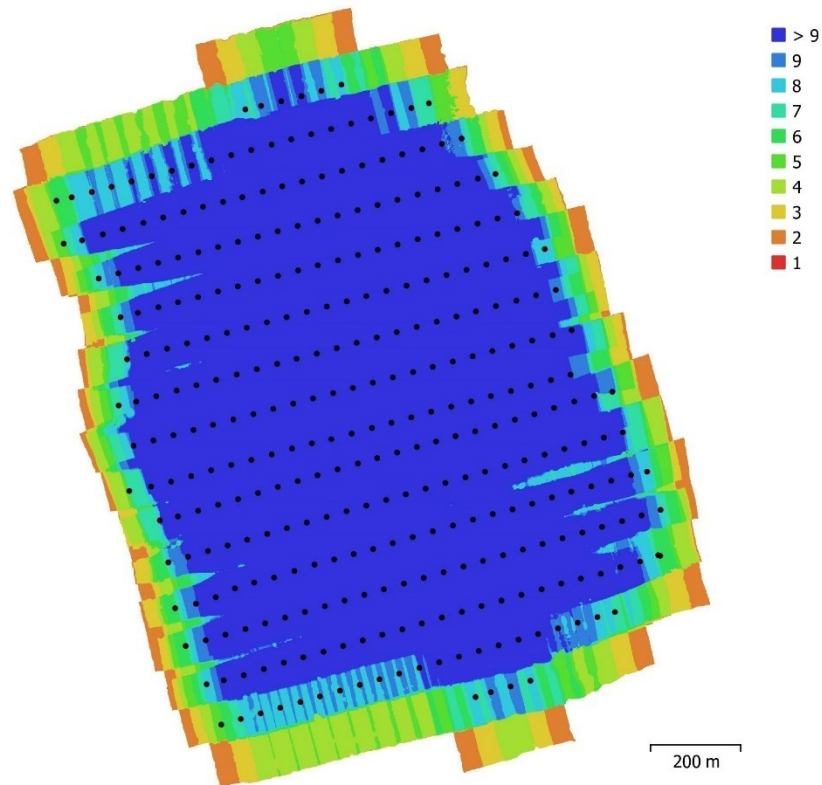


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	328	Camera stations:	328
Flying altitude:	254 m	Tie points:	611,137
Ground resolution:	5.53 cm/pix	Projections:	2,151,146
Coverage area:	1.79 km <sup>2</sup>	Reprojection error:	1.07 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
L1D-20c (10.26mm)	5472 x 3648	10.26 mm	2.41 x 2.41 $\mu$ m	No

Table 1. Cameras.



## Camera Calibration

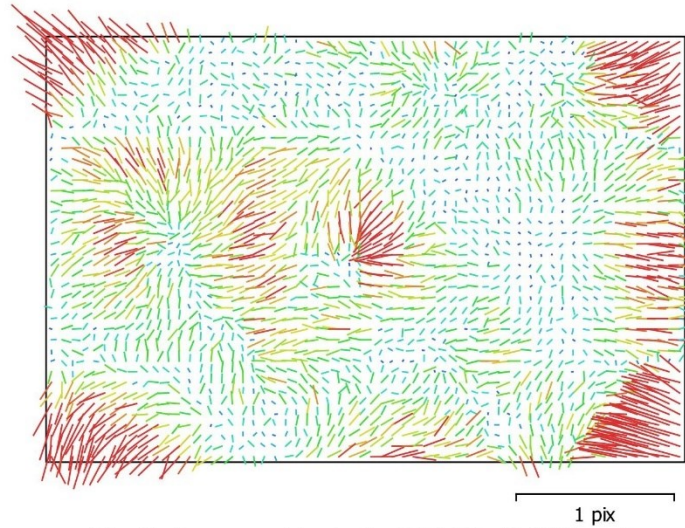


Fig. 2. Image residuals for L1D-20c (10.26mm).

### L1D-20c (10.26mm)

328 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
<b>Frame</b>	<b>5472 x 3648</b>	<b>10.26 mm</b>	<b>2.41 x 2.41 <math>\mu</math>m</b>

	Value	Error	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	P1	P2
<b>F</b>	<b>4256</b>										
<b>Cx</b>	<b>18.9597</b>	0.036	1.00	-0.02	0.11	-0.08	-0.01	0.00	0.01	0.50	-0.03
<b>Cy</b>	<b>-5.02515</b>	0.032		1.00	0.07	0.16	0.01	-0.01	0.01	-0.01	0.46
<b>B1</b>	<b>-14.8333</b>	0.0053			1.00	0.03	-0.01	-0.02	0.03	0.05	0.03
<b>B2</b>	<b>0.787527</b>	0.0051				1.00	0.00	-0.01	0.00	-0.05	0.10
<b>K1</b>	<b>0.00280716</b>	2.7e-05					1.00	-0.97	0.92	-0.02	0.01
<b>K2</b>	<b>0.0176801</b>	0.00011						1.00	-0.98	0.01	-0.00
<b>K3</b>	<b>-0.0158385</b>	0.00013							1.00	0.01	0.00
<b>P1</b>	<b>0.00203324</b>	1.8e-06								1.00	-0.03
<b>P2</b>	<b>2.14304e-05</b>	1.5e-06									1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

## Camera Locations

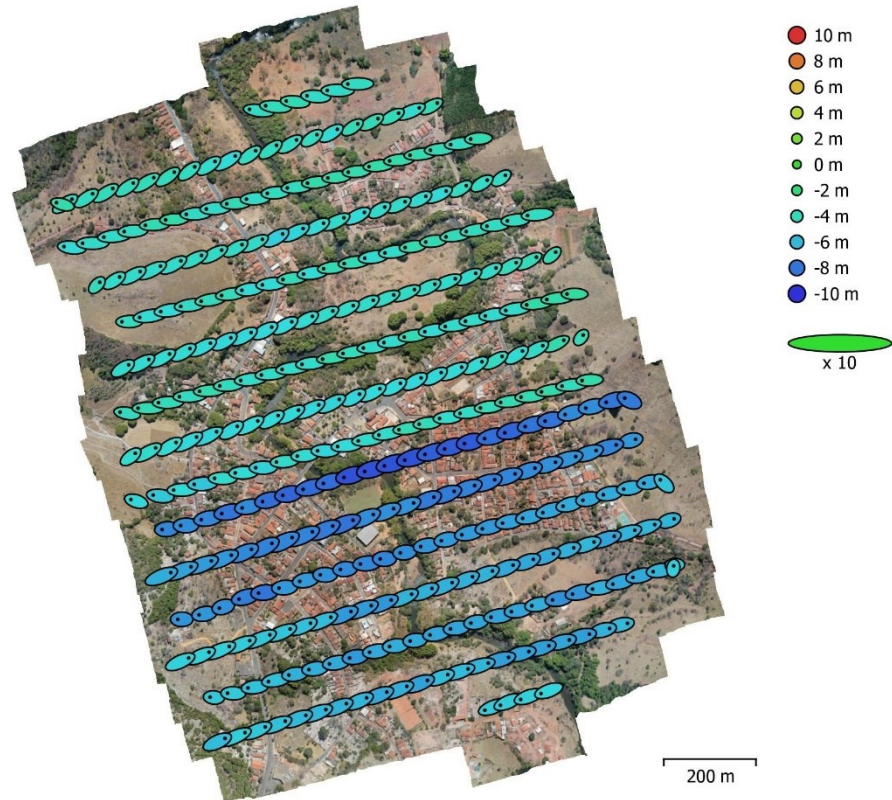


Fig. 3. Camera locations and error estimates.  
Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.  
Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
3.49874	1.19586	5.65384	3.69746	6.75553

Table 3. Average camera location error.  
X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

# Ground Control Points

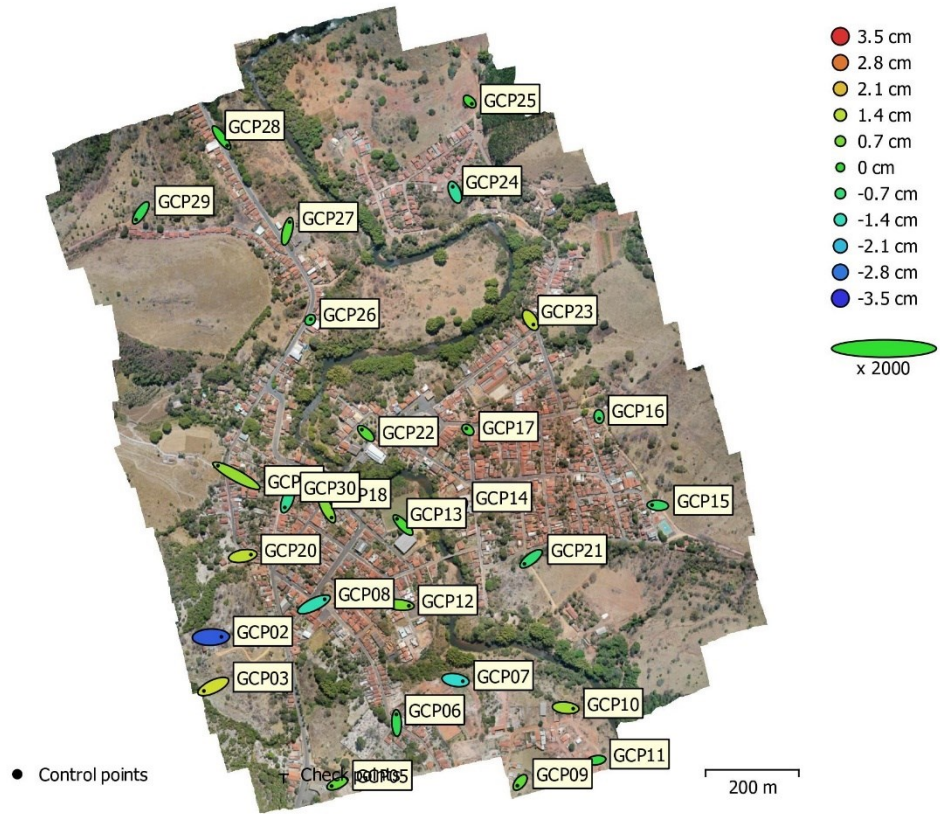


Fig. 4. GCP locations and error estimates.

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

Count	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
28	1.42522	1.12874	1.01177	1.81805	2.08062

Table 4. Control points RMSE.  
 X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.



<b>Label</b>	<b>X error (cm)</b>	<b>Y error (cm)</b>	<b>Z error (cm)</b>	<b>Total (cm)</b>	<b>Image (pix)</b>
GCP02	2.22991	0.0663466	-3.07436	3.7985	0.359 (7)
GCP03	-2.01172	-0.94636	1.63353	2.75881	0.361 (3)
GCP05	-1.24108	-0.552736	0.495601	1.44618	0.162 (4)
GCP06	-0.0609015	1.83911	-0.323606	1.86836	0.103 (9)
GCP07	1.56329	-0.252067	-1.61276	2.26018	0.241 (9)
GCP08	2.29137	1.0964	-1.31954	2.86245	0.169 (12)
GCP09	-0.591711	-0.702471	0.485272	1.03879	0.111 (2)
GCP10	1.62449	-0.167601	1.14772	1.99608	0.149 (7)
GCP11	-1.07081	-0.162478	-0.183929	1.09857	0.111 (3)
GCP12	2.11291	-0.212834	0.761994	2.25617	0.117 (15)
GCP13	-1.29906	1.34034	0.223875	1.87994	0.148 (15)
GCP14	0.517805	1.5188	0.166163	1.61322	0.091 (14)
GCP15	-1.22306	0.0799285	-0.536923	1.33811	0.151 (10)
GCP16	0.0501445	-0.414783	-0.465648	0.625609	0.104 (14)
GCP17	-0.329091	0.274076	0.247594	0.494693	0.160 (11)
GCP18	1.0429	-2.01895	0.85831	2.42909	0.190 (17)
GCP19	-3.94666	2.15048	1.03933	4.61312	0.191 (18)
GCP20	1.732	0.294481	1.44895	2.27728	0.216 (16)
GCP21	-1.4025	-1.07815	-0.649204	1.88438	0.166 (17)
GCP22	-0.883546	0.818032	0.377609	1.26191	0.112 (9)
GCP23	0.62808	-0.962284	1.4473	1.84801	0.144 (14)
GCP24	-0.476739	1.16716	-1.05499	1.64394	0.111 (12)
GCP25	0.464666	-0.455625	0.191434	0.678348	0.180 (7)
GCP26	0.148764	0.153427	-0.366482	0.42424	0.100 (9)
GCP27	0.493402	1.97283	0.356113	2.06453	0.161 (17)
GCP28	1.25705	-1.69653	0.05395	2.11218	0.175 (8)
GCP29	-0.984912	-1.45961	-0.321315	1.78991	0.232 (9)
GCP30	-0.624924	-1.68248	-0.973097	2.04162	0.219 (12)
<b>Total</b>	<b>1.42522</b>	<b>1.12874</b>	<b>1.01177</b>	<b>2.08062</b>	<b>0.173</b>

Table 5. Control points.  
X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

## Digital Elevation Model

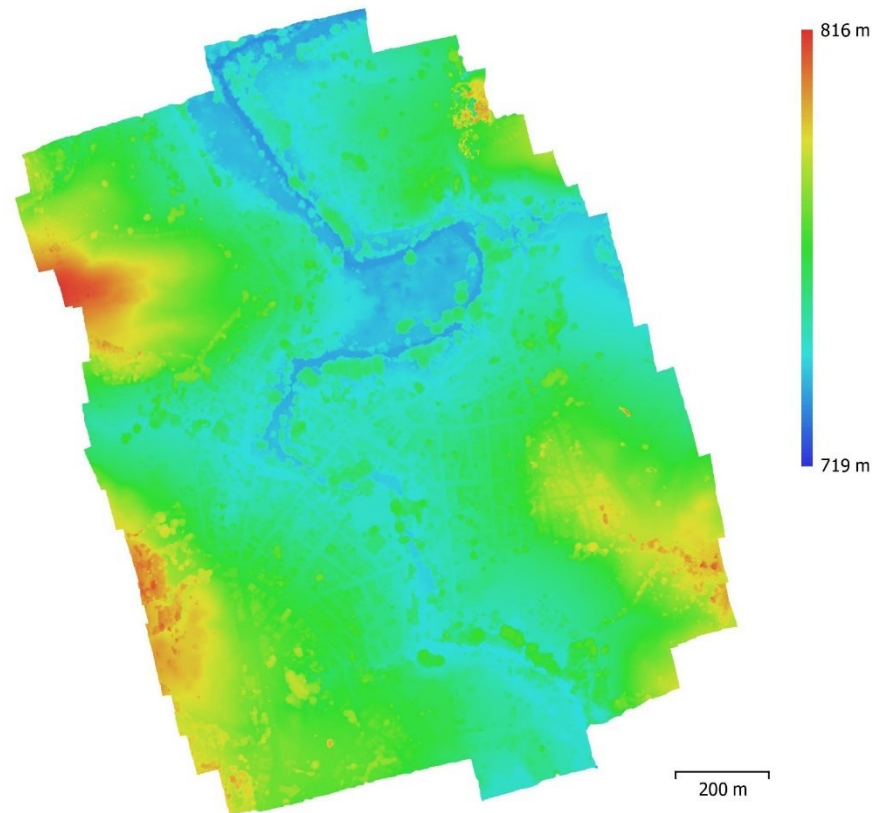


Fig. 5. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 22.1 cm/pix  
Point density: 20.5 points/m<sup>2</sup>

# Processing Parameters

<b>General</b>	
Cameras	328
Aligned cameras	328
Markers	28
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 23S (EPSG::31983)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll
<b>Point Cloud</b>	
Points	611,137 of 735,786
RMS reprojection error	0.114069 (1.07289 pix)
Max reprojection error	0.732675 (27.0341 pix)
Mean key point size	8.1513 pix
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	4.00677
<b>Alignment parameters</b>	
Accuracy	Medium
Generic preselection	No
Reference preselection	Yes
Key point limit	40,000
Tie point limit	10,000
Adaptive camera model fitting	Yes
Matching time	6 minutes 29 seconds
Alignment time	2 minutes 45 seconds
<b>Optimization parameters</b>	
Parameters	b1, b2, cx, cy, k1-k3, p1, p2
Adaptive camera model fitting	No
Optimization time	6 seconds
File size	61.12 MB
<b>Depth Maps</b>	
Count	328
<b>Depth maps generation parameters</b>	
Quality	Medium
Filtering mode	Moderate
Processing time	13 minutes 59 seconds
File size	568.13 MB
<b>Dense Point Cloud</b>	
Points	53,057,459
Point colors	3 bands, uint8
<b>Depth maps generation parameters</b>	
Quality	Medium
Filtering mode	Moderate
Processing time	13 minutes 59 seconds
<b>Dense cloud generation parameters</b>	
Processing time	9 minutes 48 seconds
File size	692.15 MB
<b>Model</b>	
Faces	3,491,907
Vertices	1,749,489
Vertex colors	3 bands, uint8
Texture	4,096 x 4,096, 4 bands, uint8

<b>Depth maps generation parameters</b>	
Quality	Medium
Filtering mode	Moderate
<b>Reconstruction parameters</b>	
Surface type	Height field
Source data	Dense cloud
Interpolation	Enabled
Processing time	1 minutes 27 seconds
<b>Texturing parameters</b>	
Mapping mode	Generic
Blending mode	Mosaic
Texture size	4,096
Enable hole filling	Yes
Enable ghosting filter	Yes
UV mapping time	1 minutes 6 seconds
Blending time	11 minutes 56 seconds
File size	187.07 MB
<b>Tiled Model</b>	
Texture	3 bands, uint8
<b>Reconstruction parameters</b>	
Source data	Dense cloud
Tile size	256
Face count	Medium
Enable ghosting filter	Yes
Processing time	1 hours 13 minutes
File size	1.17 GB
<b>DEM</b>	
Size	8,571 x 9,671
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 23S (EPSG::31983)
<b>Reconstruction parameters</b>	
Source data	Dense cloud
Interpolation	Enabled
Processing time	50 seconds
File size	144.58 MB
<b>Orthomosaic</b>	
Size	28,028 x 31,316
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 23S (EPSG::31983)
Colors	3 bands, uint8
<b>Reconstruction parameters</b>	
Blending mode	Mosaic
Surface	DEM
Enable hole filling	Yes
Processing time	6 minutes 28 seconds
File size	7.82 GB
<b>System</b>	
Software name	Agisoft Metashape Professional
Software version	1.7.5 build 13229
OS	Windows 64 bit
RAM	7.84 GB
CPU	Intel(R) Core(TM) i5-9300H CPU @ 2.40GHz
GPU(s)	None

## 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 Estrela do Sul  
 Local: Estrela do Sul - MG  
 Data: 06/10/2021  
 Responsável Técnico: Matheus Martins Pereira  
 -----

##### 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 Estrela do Sul", **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: 25  
 RMS das discrepâncias (m): 0,0236  
 -----

##### INFORMAÇÕES GERAIS

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

PROCESSAMENTO  
 Escala de Referência: 1/1000



Pontos de checagem inseridos: 25  
 Pontos de checagem utilizados: 25

---

OUTLIERS

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

---

ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

>> Média(E)= -0,0047	Média(N)= -0,0012	Média(ABS)= 0,0185
>> Desv-pad(E)= 0,0147	Desv-pad(N)= 0,018	Desv-pad(ABS)= 0,0144
>> RMS(E)= 0,0151	RMS(N)= 0,0174	RMS(ABS)= 0,0236

---

PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL

>> Vizinho mais próximo:  
 :: Área (m<sup>2</sup>) = 1840000  
 :: 1ª ordem - R= 1,0881 Zcalc= 0,843 Ztab= 1,96  
 Resultado = Padrão DISPERSO - (NÃO é significativo estatisticamente) - 95%  
 :: 2ª ordem - R= 1,0052 Zcalc= 0,0721 Ztab= 1,96  
 Resultado = Padrão DISPERSO - (NÃO é significativo estatisticamente) - 95%  
 :: 3ª ordem - R= 1,0737 Zcalc= 1,2535 Ztab= 1,96  
 Resultado = Padrão DISPERSO - (NÃO é significativo estatisticamente) - 95%

---

TESTE DE NORMALIDADE

>> Teste de Normalidade Shapiro-Wilk :  
 Wcalc(E)= 0,8612 Wcalc(N)= 0,9621  
 p-value(E)= 0,0029 p-value(N)= 0,4574  
 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)= -1,5986 tcalc(N)= -0,3333 ttab= 1,7109  
 Resultado: Inconclusivo

>> Estatística Espacial

Média Direcional (Azimute)= 300,8642 Variância Circular= 0,857  
 Resultado: Não Tendencioso

---

### DISCREPÂNCIAS - PONTOS DE CHEGAGEM

ID	di(E)	di(N)	di(ABS)
10	-0,0017	0,0213	0,0214
14	-0,003	-0,029	0,0292
17	-0,0008	0,0018	0,002
19	0,0009	0,0052	0,0053
2	-0,0007	-0,0374	0,0374
20	-0,0089	-0,0142	0,0168
22	0,0123	-0,0015	0,0124
24	0,0068	0,002	0,0071
25	-0,0137	-0,0235	0,0272
27	-0,0269	-0,0231	0,0355
28	-0,0199	-0,0004	0,0199
30	-0,0038	-0,0105	0,0112
33	0,0008	-0,0336	0,0336
35	-0,0044	0,0008	0,0045
37	-0,0044	0,0115	0,0123
4	-0,0088	0,0021	0,009
40	0,0039	0,0085	0,0094
41	0,0087	-0,0059	0,0105
43	0,0036	-0,0006	0,0036
44	-0,0017	0,0069	0,0071
45	-0,0041	-0,0002	0,0041
5	-0,0543	0,0252	0,0599
7	-0,0252	0,0328	0,0414
8	0,0134	0,0194	0,0236
9	0,0152	0,0116	0,0191

### GRÁFICO DAS DISCREPÂNCIAS POSICIONAIS PLANIMÉTRICAS

